

Dauerschwingprüfung von Betonstählen

T 2446

T 2446

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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.

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

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUINGENIEURWESEN III
LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU
O. PROF. DR.-ING. HERBERT KUPFER

Nr. 1270/Ku/Ru/Mü/Mue

8000 MÜNCHEN 2
Arcisstraße 21
Postfach 202420
Tel. (089) 2105-3039/3026
Telefax 2105-3057
Telex 522854

München, den 17.12.91

Bericht
zum
Forschungsvorhaben
Dauerschwingprüfung von Betonstählen
Geschäftszeichen IV 1-5-623/90

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.
Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf
der vorherigen Genehmigung des Lehrstuhls für Massivbau

INHALT

1. ÜBERBLICK

1.1 AUSGANGSSITUATION

1.2 ZIEL DES FORSCHUNGSVORHABENS

2. BISHERIGE ARBEITEN

2.1 ERSTER SCHRITT

2.2 ZWEITER SCHRITT

2.3 DRITTER SCHRITT

3. VERSUCHSMATERIAL UND VERSUCHSBEDINGUNGEN

4. VERSUCHSERGEBNISSE

5. ZUSAMMENFASSUNG

1. ÜBERBLICK

1.1 AUSGANGSSITUATION

Zur Untersuchung der Dauerschwingfestigkeit von Betonstählen werden in der BRD derzeit folgende Prüfungen durchgeführt:

- Prüfung von einbetonierten Stäben, gebogen um $D = 15 \cdot d_s$
entsprechend DIN 488, Teil 3 (Juni 1986)
- Prüfung von freien geraden Stäben
entsprechend den Richtlinien für Zulassungs- und Überwachungsprüfungen von
Betonstahl in Ringen (Fassung 1988)

Für die internationale Normung in Europa zeichnet sich ab, daß in Zukunft zur Vereinheitlichung und Vereinfachung nur noch gerade freie Stäbe geprüft werden.

Bei der Prüfung gerader freier Stäbe wird das Dauerschwingverhalten nur als Qualitätsmerkmal der Betonstähle erfaßt. Das Verhalten im Bauteil, also in einbetoniertem Zustand unter den Bedingungen (Abbiegung) und Beanspruchungen der Praxis (Biegung, Querkraft, Verbund) ist aus den Versuchsergebnissen an geraden freien Stäben nicht ohne weiteres abzuleiten.

Ein Vergleichsmaßstab für die unterschiedlichen Prüfmethode fehlt bisher. Eine der Ursachen hierfür ist der große Aufwand bei der Prüfung von Balken nach DIN 488.

1.2 ZIEL DES FORSCHUNGSVORHABENS

Die in der DIN 488 angegebene Prüfkörperform zur Ermittlung der Dauerschwingfestigkeit von Betonstählen ist aufwendig. Der Preis für einen Versuch beträgt über 2000,— DM.

Für die statistisch gesicherte Angabe der Dauerschwingfestigkeit von Betonstahl sind größere Versuchsanzahlen erforderlich, als sie derzeit üblich sind. Bei dem Verfahren nach DIN 488 sind aber unvertretbar hohe Kosten anzusetzen, weshalb in der Praxis nur wenige Versuche mit unbefriedigender Aussagekraft durchgeführt werden.

Im Versuchskörper nach DIN 488 wird der Zugbeanspruchung des geprüften Bewehrungsstabes eine von den Balkenabmessungen abhängige Biegespannung überlagert. Die Prüfergebnisse sind deshalb nicht ohne weiteres, z.B. auch für andere Balkenabmessungen zu verallgemeinern.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens sollte ein kostengünstiger, neuartiger Prüfkörper entwickelt werden, mit dem solche Reihenuntersuchungen bei vertretbaren Kosten und allgemein gültigen Versuchsergebnissen durchgeführt werden können.

2. BISHERIGE ARBEITEN

Sämtliche Versuche und Weiterentwicklungen waren auf den Betonstabstahl $\emptyset 16$ mm abgestimmt (siehe auch Punkt 3, Versuchsmaterial und Versuchsbedingungen)

2.1 ERSTER SCHRITT

Die ersten Vorversuche wurden an drei Versuchskörpern gemäß Anlage 1, Seite 3, des Forschungsvorschlags vom 9.3.90 vorgenommen. Zur Verdeutlichung sind die Ausführungsskizzen dieser ersten Versuchsserie in Anlage 1, Bild 1, noch einmal dargestellt.

Der neuartige Versuchskörper hat demnach die Form eines Dehnkörpers. Der Symmetrie halber wurden zwei im Prüfbereich analog DIN 488 um $D = 15 \cdot d_s$ gebogene Stäbe einbetoniert. Die herausstehenden Stabenden wurden einer Zugschwellbeanspruchung ausgesetzt. Durch die Vorgabe eines Querrisses im Betonkörper wurde der Prüfquerschnitt in die Krümmungsmittle gelegt.

Die erreichten Bruchlastspielzahlen der ersten Versuchsserie lagen im Verhältnis zu den zu erwartenden Ergebnissen von Betonstabstählen, die in gebogenem Zustand in Biegebalken nach DIN 488 einbetoniert waren, sehr niedrig. Die Bruchursache war stets ein Absprengen von Prüfkörperteilen und somit vorzeitiges Versagen des Prüfkörpers.

Der Grund hierfür war darin zu sehen, daß die gewünschte Symmetrie innerhalb des Betonkörpers hinsichtlich der Stabbiegung und der Lastverteilung im Betonquerschnitt nicht erreicht wurde.

Die beiden Stäbe eines Prüfkörpers wurden jeweils nacheinander in einer herkömmlichen Stabstahlbiegemaschine in Anlehnung an die DIN 488 Teil 3, 4.2.1 Versuchsbedingungen, auf die gewünschten Maße gebogen. Eine exakte Übereinstimmung der Biege Maße war dabei nicht zu erzielen. Dies führte bei der Belastung der Dehnkörper dazu, daß der vorgegebene Querriß unabhängig von der momentanen Last ($F_u \leq F \leq F_o$) auf einer Seite geöffnet und auf der gegenüberliegenden Seite überdrückt war, was zu einem vorzeitigen Versagen des Prüfkörpers durch Betonabsprengungen führte.

Durch die Erfahrungen dieser ersten Tastversuche sollte, wie im Forschungsvorschlag beschrieben, die Form des Körpers schrittweise optimiert werden.

2.2 ZWEITER SCHRITT

Der gegenüber dem im Forschungsvorschlag angegebenen Prüfkörper verbesserte Dehnkörper ist in Bild 2, Anlage 2, dargestellt.

Zunächst galt es, die beiden Betonstabstähle eines Prüfkörpers auf die exakt gleichen Maße zu biegen.

Hierfür wurde eine Biegevorrichtung konstruiert, die es erlaubte, beide Stäbe gleichzeitig auf die gewünschten Maße auszurichten. Bild 3, Anlage 3, und die Photos 1 ÷ 4, Anlagen 4 ÷ 5, zeigen die entwickelte, an die Versuchsbedingungen angepaßte Biegevorrichtung. Diese Vorrichtung erlaubte durch ihre Einstellvor-

richtung ein schrittweises Herantasten an die gewünschten Biegegröße der Stäbe. Ein "Überbiegen" der Stäbe konnte somit ausgeschlossen werden.

Der Querriß im Betonkörper in der Krümmungsmitte der eingelegten Stäbe wurde durch ein zweigeteiltes, in die Schalung eingeschobenes Stahlblech vorgegeben.

Zur Verbesserung der Handhabbarkeit beim Transport und Einbau in die Prüfmaschine wurden die Prüfkörperabmessungen verringert (siehe Bild 2, Anlage 2).

Auf jegliche Zusatzbewehrung wie sie in der ersten Versuchsserie eingelegt war wurde verzichtet, da ein exzentrischer Kräfteverlauf innerhalb des Betonkörpers durch exaktes symmetrisches Ausrichten der beiden Stabstähle ausgeschlossen werden konnte und der Körper so bemessen war, daß die durch die Umlenkung der Stäbe (Rückbiegung von $D = 15 \cdot d_s$ über $30 \cdot d_s$ auf den geraden Stab) auftretenden Sprengkräfte vom Beton aufgenommen werden konnten. Im Sinne einer Minimierung der Kosten sollte der Versuchskörper möglichst einfach, d.h.z.B. ohne zusätzliche Bewehrung hergestellt werden.

Diese Überlegungen wurden durch das Versuchergebnis bestätigt.

Während des Schwingvorgangs war auf jeder Seite des Prüfkörpers ein gleiches, ständiges "Offenbleiben" des vorgegebenen Querrisses zu beobachten. Dies verdeutlichte die Verbesserung hinsichtlich der symmetrischen Einbettung der Stäbe im Prüfkörper und die Wirksamkeit der neu entwickelten Biegevorrichtung.

Die Schwingspielzahl der Probe bis zum Bruch ist in Tabelle 1, Seite 9, zusammen mit den Versuchsparametern angegeben.

Das Ende des Dauerschwingversuches war nicht wie bei der vorangegangenen Versuchsserie durch vorzeitiges Versagen des Prüfkörpers durch Absprengen von Betonteilen, sondern durch einen gewöhnlichen Dauerschwingbruch eines der beiden eingelegten Betonstabstähle gegeben. Vermutlich führte ein Berührungspunkt zwischen dem eingelegten Rißblech zur Vorgabe des Querrisses und dem Betonstabstahl im Prüfbereich zu Reibkorrosion und verfrühter Anrißbildung.

Photo 5, Anlage 6, zeigt das "Anfahren" des Dauerschwingversuchs. Die während der ersten Tausend Lastwechsel angelegten Schraubzwingen stellten eine reine Vorsichtsmaßnahme dar, die ein vorzeitiges Abplatzen von Betonteilen beim Anfahren (Unregelmäßigkeiten der Lastaufbringung, etc.) verhindern sollte. Die Schraubzwingen wurden nach etwa 10000 Lastwechseln abgenommen.

Photo 6, Anlage 6, zeigt den Prüfkörper nach dem Bruch noch eingebaut in die Prüfmaschine.

Photos 7 ÷ 8, Anlage 7, zeigen den nach dem Versuch aufgespaltenen Prüfkörper mit dem Stabstahlbruch.

2.3 DRITTER SCHRITT

Der beim zweiten Entwicklungsschritt verwendete Prüfkörper sollte in einer Versuchsserie mit drei Körpern auf seine Einsatzfähigkeit hin untersucht werden.

Die Photos 9 und 10, Anlage 8, zeigen die drei Stabstahlpaare nach dem Ausrichten mit der eigens hierfür hergestellten Biegevorrichtung.

Die Photos 11 und 12, Anlage 9, zeigen die Anordnung der Betonstabstähle in der Schalung.

Zur Vorgabe des Querrisses im Betonkörper in der Krümmungsmittle der eingelegten Stäbe wurde anstelle eines Stahlbleches eine 1 mm starke, zweigeteilte Kunststoffplatte gewählt. Diese Platte wurde in die in die Schalungsseitenwände eingeschnittenen Nuten eingeschoben. Etwaig auftretende Berührungspunkte zwischen dem biegsamen Kunststoff und der Stahloberfläche lassen keine verfrühte Anrißbildung bzw. schnelleres Rißwachstum erwarten (im Gegensatz zur Stahlblecheinlage).

Die Photos 13 und 14, Anlage 10, zeigen den Versuchsaufbau mit den in vertikaler Richtung eingebauten Dehnkörpern.

Zur Beobachtung der Rißbreitenänderungen während des Dauerschwingvorgangs wurden bei den ersten beiden Körpern auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Prüfkörpers in Höhe der Rißöffnung Meßuhren aufgebracht; beim dritten Versuchskörper wurden Meßuhren auf allen vier Seiten appliziert.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 2, Seite 11, detailliert dargestellt; sie zeigen eine auf jeder Seite der Versuchskörper gleiche und während der Versuchsdurchführung gleichbleibende Rißbreiten und verdeutlichen wiederum die Notwendigkeit einer exakt-symmetrischen Einbettung der Stäbe in die Dehnkörper.

Die Schwingspielzahlen der Proben bis zum Bruch sind in Tabelle 1, Seite 9, zusammen mit den Versuchsparametern angegeben.

In allen Fällen war das Ende der Dauerschwingversuche durch einen normalen Dauerschwingbruch eines der beiden Betonstabstähle gegeben. Ein vorzeitiges Versagen der Dehnkörper durch Absprengen von Betonteilen trat nicht auf. Dies verdeutlicht die ausreichende Dimensionierung der neuartigen Prüfkörper ohne jegliche Zusatzbewehrung.

Die Photos 16 und 17, Anlagen 11 und 12, zeigen die nach dem Versuch aufgespaltenen Prüfkörper mit den Stabstahlbrüchen.

3. VERSUCHSMATERIAL UND VERSUCHSBEDINGUNGEN

Sämtliche Versuche und Weiterentwicklungen waren auf den Betonstabstahl \varnothing 16 mm abgestimmt.

Das vorliegende Forschungsvorhaben "Dauerschwingprüfung von Betonstählen" soll die Grundlage für unseren Forschungsvorschlag "Prüf- und Beurteilungsverfahren für die Dauerschwingfestigkeit von Betonstabstählen" vom 27.07.88 sein. Das Ziel dieses geplanten Forschungsvorschlages ist die Zeit- und Dauerschwingfestigkeit der handelsüblichen Betonstabstähle unter Berücksichtigung der Herstellerwerke und Prüfeinflüsse gesichert zu ermitteln. Im Versuchsplan dieses Vorschlages sind Betonstabstähle mit den Durchmessern 10, 16 und 28 mm vorgesehen.

Im Hinblick darauf bieten sich Betonstabstähle mit dem Durchmesser 16 mm zur Durchführung des vorliegenden Forschungsvorhabens an.

Verwendeter Betonstabstahl:

Ø 16 mm / BSt 500 S

Entsprechend DIN 488, Teil 3, wurde das Biegen der Stabstähle so ausgeführt, daß auf der Innenseite der Krümmung stets Schrägrippen lagen.

Die gebogenen Stäbe wurden gealtert (Erwärmung auf 250 °C). Diese Temperatur wurde über eine halbe Stunde lang gehalten; anschließend wurden die Stäbe auf Raumtemperatur abgekühlt.

Die Betondruckfestigkeit β_w betrug bei allen Prüfkörpern analog zur Prüfvorschrift in DIN 488 stets über 40 N/mm².

4. VERSUCHSERGEBNISSE

In der folgenden Tabelle 1 sind die Versuchsergebnisse der durchgeführten Dauerschwingversuche zusammengestellt.

Die Oberspannung σ_o betrug bei allen Versuchen $\sigma_o = 0,7 \cdot \beta_s = 350$ N/mm², wobei für die Streckgrenze β_s der nominelle Wert der Stäbe angesetzt wurde.

Sämtliche Prüfungen wurden in einem hydraulischen Pulsator (UHS 60) als lastgesteuerte Versuche durchgeführt. Die Proben waren dabei vertikal eingebaut (siehe Photo 13, Anlage 10). Die Prüf-Schwingspielfrequenz betrug etwa 5 Hz.

Im Fall des ersten Entwicklungsschrittes war das Versuchsende stets durch einen vorzeitigen Bruch der Dehnkörper durch Betonabplatzungen gegeben. Die Ursache hierfür lag darin, daß die Biege Maße der eingelegten Stabstahlpaare nicht exakt miteinander übereinstimmten und somit die zum Gelingen der Dauerschwingversuche erforderliche Symmetrie innerhalb der Betonkörper nicht erreicht wurde. Die Stäbe waren in einer Biegemaschine, wie sie auf Baustellen eingesetzt wird gebogen worden (analog DIN 488, Teil 3).

Im Fall des zweiten und dritten Entwicklungsschrittes war das Versuchsende durch normale Dauerschwingbrüche jeweils eines der beiden eingelegten Stabstähle, wie sie auch in Prüfkörpern nach DIN 488 auftreten, gekennzeichnet. Die Stabstahlpaare wurden in einer speziell für die Dauerschwingversuche konstruierten Biegevorrichtung gleichzeitig und somit exakt auf die gleichen Maße ausgerichtet (siehe Bild 3, Anlage 3, und Photos 1 ÷ 4, Anlagen 4 ÷ 5)

Die Dauerschwingbrüche lagen stets im vorgesehenen Prüfbereich, in dem die Stäbe um $D = 15 \cdot d_s$ gebogen waren. Sie gingen wie erwartet bei jedem Prüfkörper von einem an der Krümmungsinnenseite liegenden Rippenfuß aus. Die Dehnkörper wurden nach Ablauf der Dauerschwingversuche derart aufgespalten, daß die eingelegten Stabstahlpaare noch eingebettet im Beton zu sehen waren und die Bruchursache untersucht werden konnte.

Die Photos 7 und 16, Anlagen 7 und 11, zeigen die nach dem Versuch aufgespaltenen Prüfkörper ; die Photos 8 und 17, Anlagen 7 und 12, zeigen die freigelegten Stabstahlpaare mit den Dauerschwingbrüchen.

Entwicklungs- stand	Versuchs- Nr.	Stab- stahl	Ober- spannung	Unter- spannung	Schwing- breite	Bruchschwing- spielzahl	Bruchursache
		σ	σ_o	σ_u	$2 \cdot \sigma_a$	N	
		mm	N / mm ²	N / mm ²	N / mm ²	Mio	
1. Schritt	1	16	350	225	125		Vorzeitiger Bruch des Dehnkörpers durch Betonabplatzungen
	2						
	3						
2. Schritt	1	16	350	200	150	0,437 1)	Dauerschwingbruch eines Betonstabstahles
3. Schritt	1a	16	350	225	125	3,314 2)	
	1b			175	175	0,33 2)	
	2			175	175	0,317	
	3			200	150	1,041	

Tabelle 1: Ergebnisse der Dauerschwingversuche

- 1) Vermutlich führte ein Berührungspunkt zwischen dem eingelegten Rißblech und dem Betonstabstahl zu Reibkorrosion und verfrühter Anrißbildung
- 2) Nachdem die Probe bei $2 \cdot \sigma_a = 125 \text{ N/mm}^2$ durchgelaufen war, wurde die Schwingbreite auf $2 \cdot \sigma_a = 175 \text{ N/mm}^2$ erhöht

Zur Beobachtung der Riffnungsnderungen während des Dauerschwingvorgangs wurden an den Prfkrpern der dritten Versuchsserie in Höhe der vorgegebenen Rißöffnung Meßuhren aufgebracht.

Stets reagierten die Meßuhren beim Anfahren der Dauerschwingversuche (statische Belastung bis zur Oberlast) auf allen gemessenen Seiten in gleichem Maße (mit Ausnahme Meßuhr 4, Versuch Nr. 3). Während der Versuchsdurchführung änderten sich die Riffnungs-Schwingbreiten nicht.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in der folgenden Tabelle 2 dargestellt:

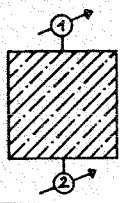
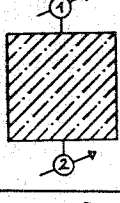
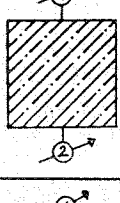
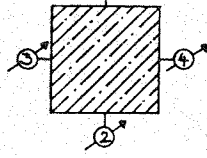
Entwicklungs- stand	Versuchs- Nr.	Riffnungs - Schwingbreite				Anordnung der Meßuhren
		Meßuhr				
		1	2	3	4	
3. Schritt	1a	0,10	0,10			
	1b	0,13	0,15			
	2	0,14	0,15			
	3	0,13	0,13	0,17	0,05	

Tabelle 2: Ergebnisse der Riffnungs-Schwingbreitenmessungen

5. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens sollte ein kostengünstiger, neuartiger Prüfkörper entwickelt werden, mit dem Reihenuntersuchungen für die statistisch gesicherte Angabe der Dauerschwingfestigkeit von Betonstabstahl bei vertretbaren Kosten durchgeführt werden können.

Die durch Versuche, abgestimmt auf den Betonstabstahl $d_s=16$ mm, gewonnenen Erfahrungen sind im folgenden kurz zusammengefaßt:

- Der im Forschungsvorschlag vorgesehene neuartige Versuchskörper in Form eines Dehnkörpers konnte in seinen Abmessungen auf $400 \times 200 \times 200$ mm verkleinert werden.

In die Prüfkörper ist außer dem zu prüfenden Betonstabstahlpaar keine zusätzliche Bewehrung einzulegen.

- Biegemaschinen, wie sie auf Baustellen üblich sind, sind zur Herstellung der gewünschten Stabstahlformen in einem vereinfachten Prüfkörper zur Ermittlung der Dauerschwingfestigkeit von Betonstabstählen gänzlich ungeeignet.

Die exakte, stets gleiche Ausführung der Biegeformen ist die Voraussetzung dafür, daß die Betonstabstahlprüfung ohne vorzeitiges Versagen des neuartigen Prüfkörpers durchgeführt werden kann.

Derart exakte Abmessungen sind nur mithilfe einer speziellen Biegevorrichtung herstellbar.

- Die Prüfkörperabmessungen sind so gering gehalten, daß die Körper von zwei Personen ohne Anstrengung transportiert und in einen hydraulischen Pulsator eingebaut werden können.

Die Herstellung der Schalung ist unkompliziert und erfordert minimalen Arbeitsaufwand.

- Ein spezieller Versuchsaufbau wie bei der Prüfung nach DIN 488, Teil 3 (Prüfstand für Biegeversuche) ist für den neuartigen Prüfkörper in Form eines Dehnkörpers nicht erforderlich. Es genügt hierfür der Einsatz eines herkömmlichen hydraulischen Pulsators mit Einspannbacken für Zugversuche.

- Die Zugkraft in den Versuchsstäben kann direkt an der Prüfmaschine abgelesen werden. Die Abweichungen der tatsächlichen Stahlspannungen von den Sollwerten sind somit kleiner als bei der Prüfung mit einem Biegebalken nach DIN 488.



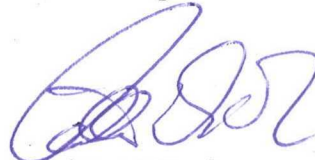
(H. Kupfer)
o. Prof.



(H.H. Müller)
Dipl.-Ing.



(Rußwurm)
Dr.-Ing.



(U. Müller)
Dipl.-Ing.

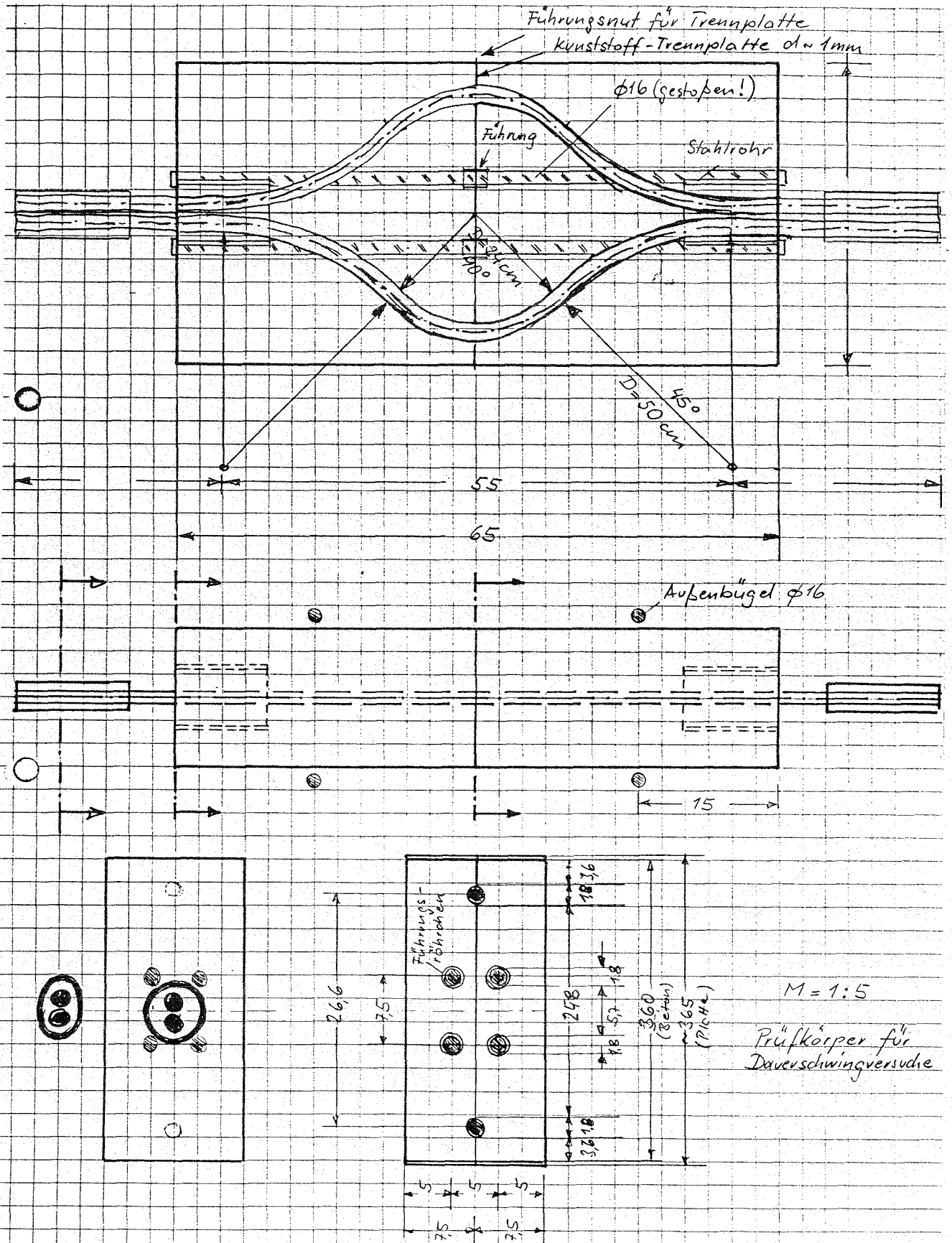


Bild 1: Versuchskörper des ersten Entwicklungsschrittes

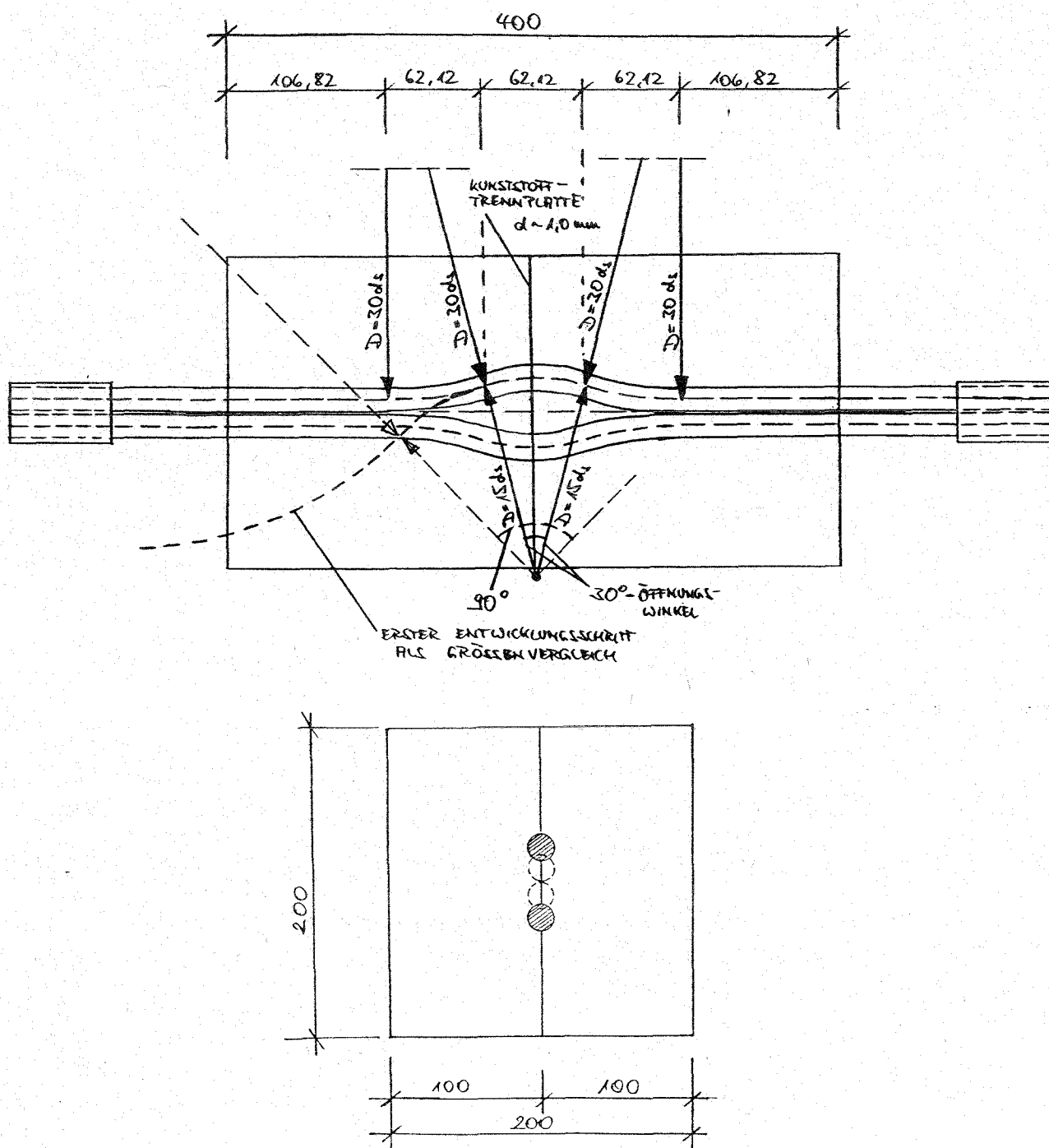


Bild 2: Versuchskörper des 2. und 3. Entwicklungsschrittes

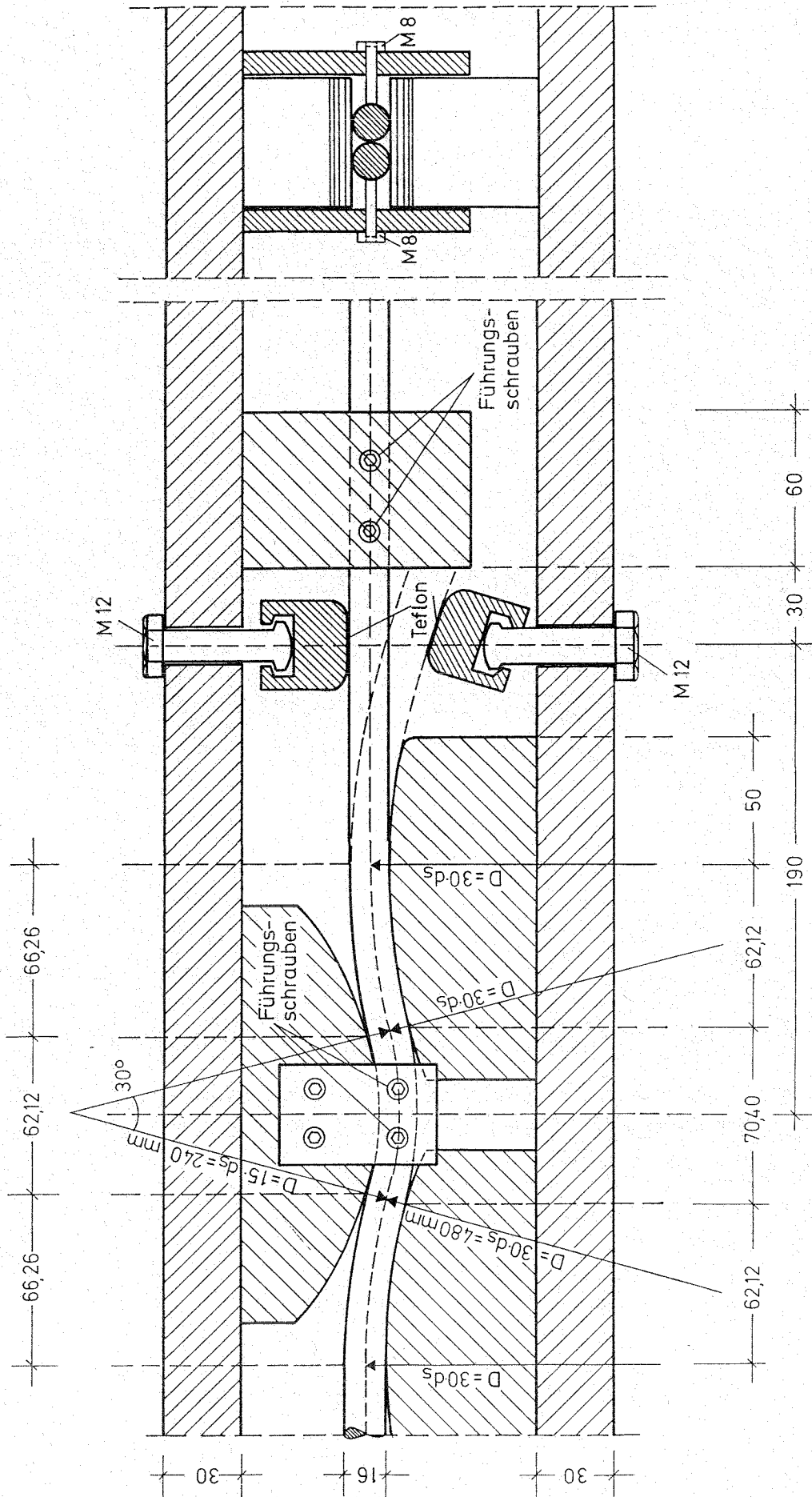


Bild 3: Biegevorrichtung für den 2. und 3. Entwicklungsschritt

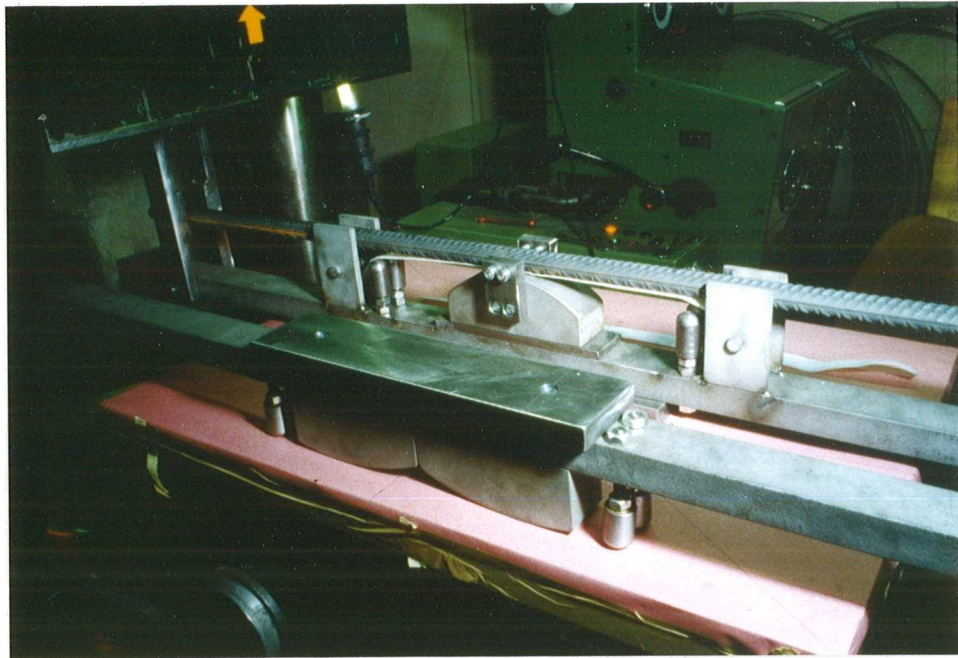


Photo 1: Biegevorrichtung für den 2. und 3. Entwicklungsschritt

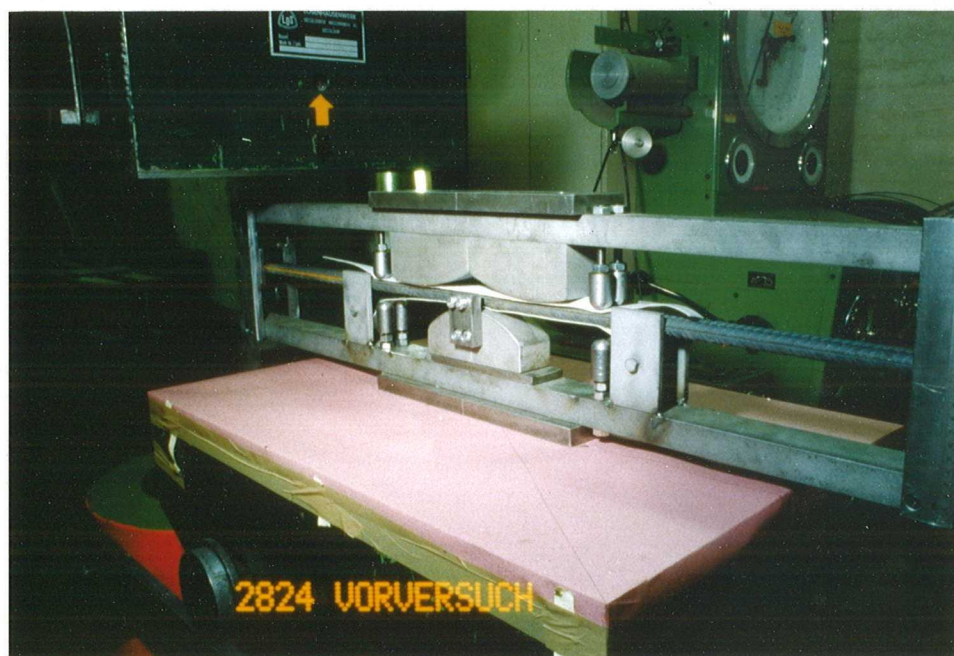


Photo 2: Biegevorrichtung für den 2. und 3. Entwicklungsschritt



Photo 4: Biegevorrichtung für den 2. und 3. Entwicklungsschritt

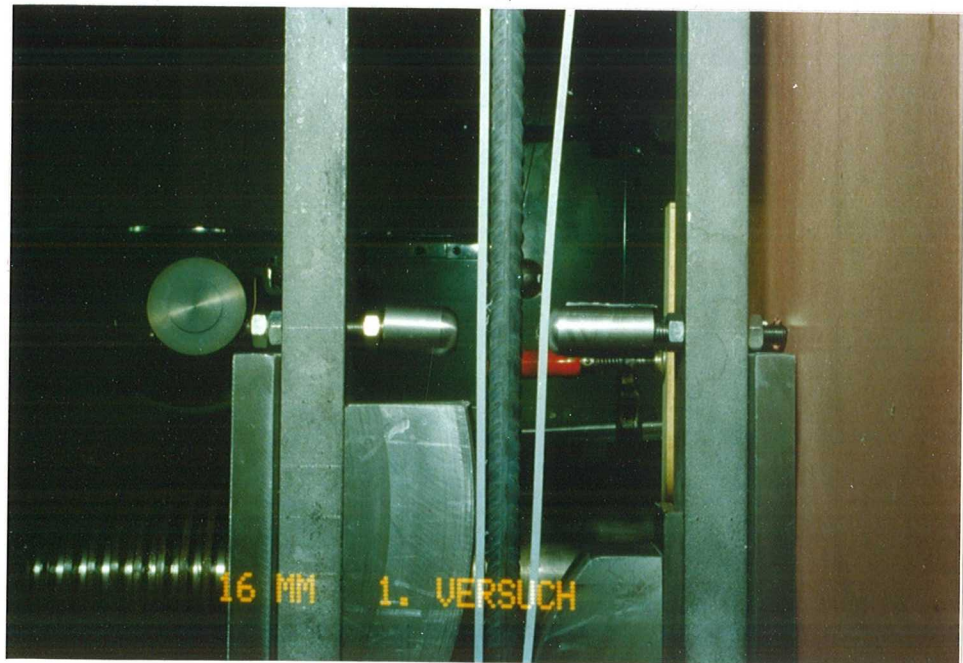


Photo 3: Biegevorrichtung für den 2. und 3. Entwicklungsschritt



Photo 6: 2. Entwicklungsschritt / Versuchskörper nach Beendigung des Dauerschwingversuchs

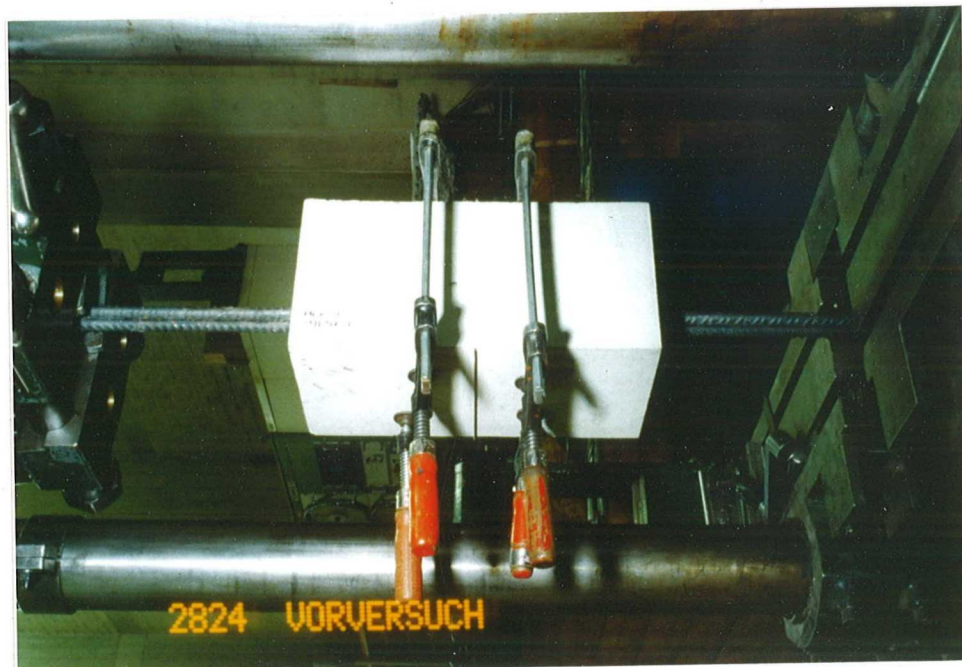


Photo 5: 2. Entwicklungsschritt / Anfahren des Dauerschwingversuchs (Abbau der Schraubzwingen nach den ersten Tausend Lastwechseln)

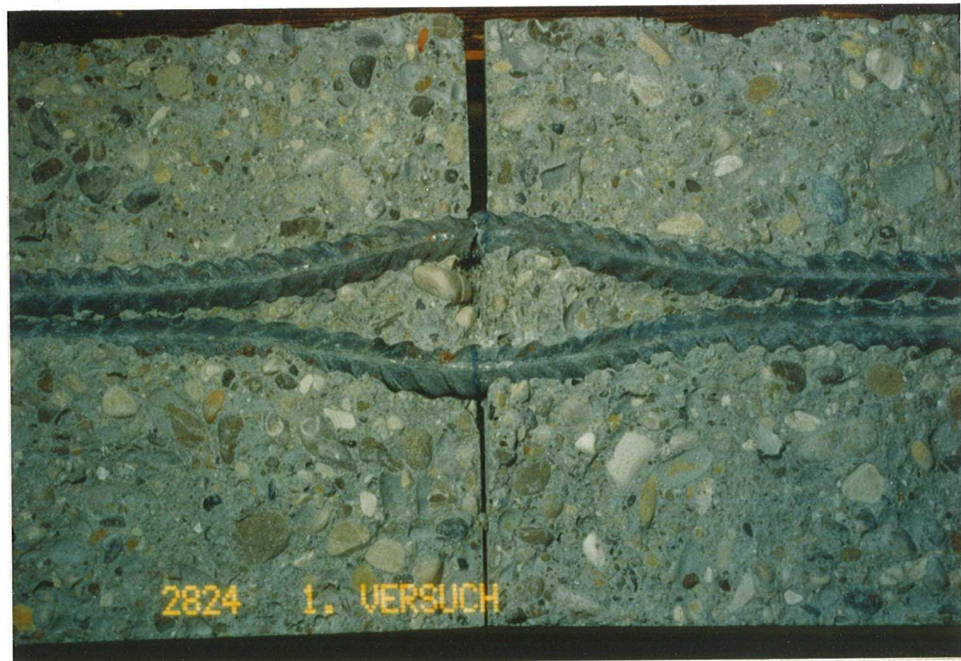


Photo 7: 2. Entwicklungsschritt
Nach dem Versuch aufgespaltener Versuchskörper



Photo 8: 2. Entwicklungsschritt
Dauerschwingbruch an einem der eingelegten Betonstabstähle



3. Entwicklungsschritt / Stabstahlpaare nach dem Biegen in der Biegevorrichtung (die Stabenden wurden hierfür verschweißt)



Photo 9: 3. Entwicklungsschritt / Stabstahlpaare nach dem Biegen in der Biegevorrichtung

Photo 10:



Photo 11:

3. Entwicklungsschritt
Stabstahlpaare, eingebaut in die Schalung

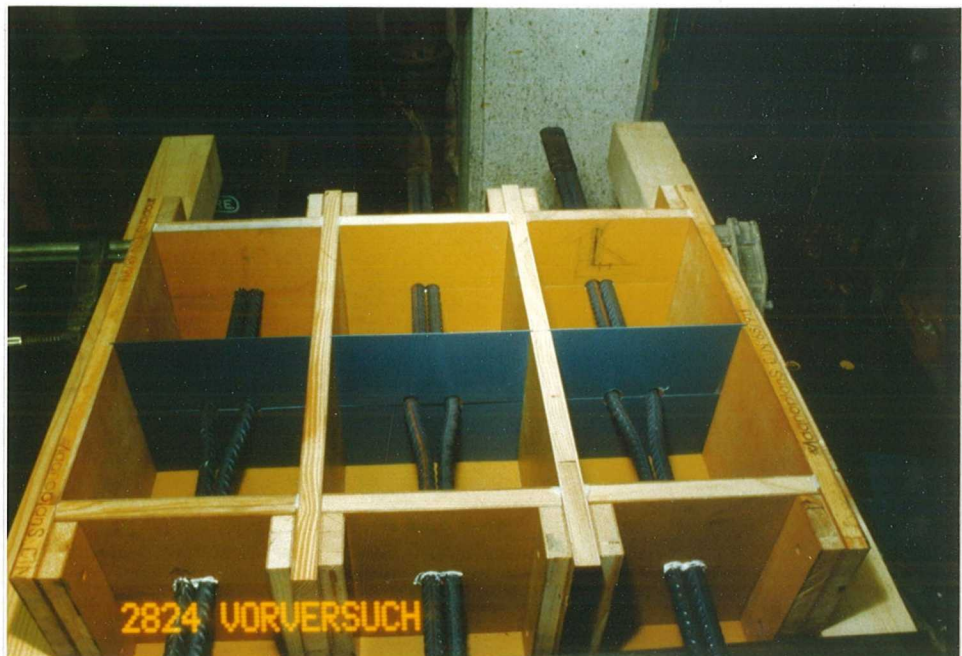
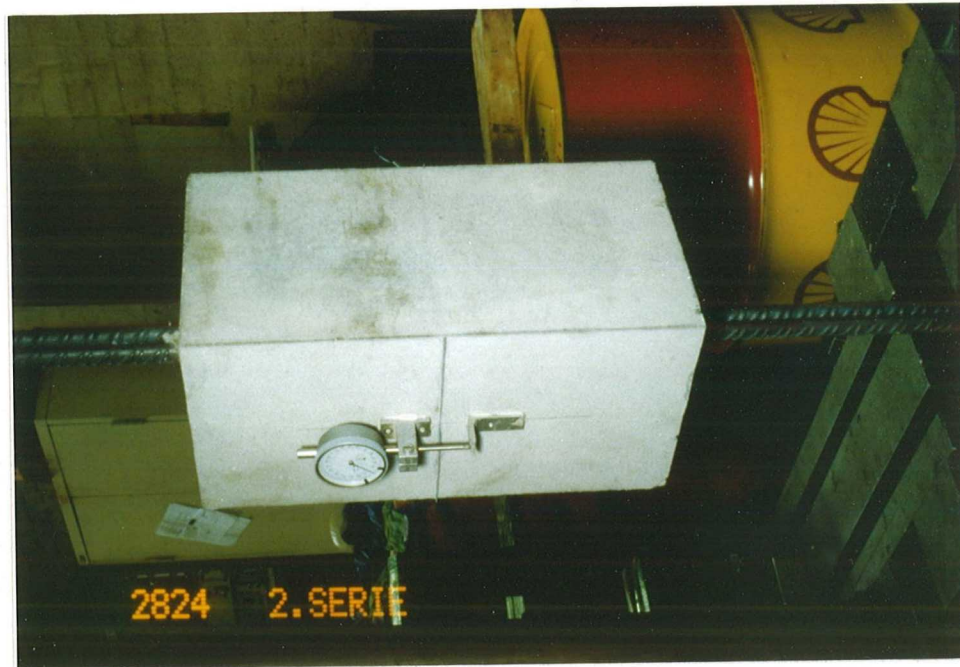


Photo 12:

3. Entwicklungsschritt
Stabstahlpaare, eingebaut in die Schalung



3. Entwicklungsschritt / Versuchsaufbau
Mefuhren auf der Vorder- und Rückseite
in Höhe des vorgegebenen Risses

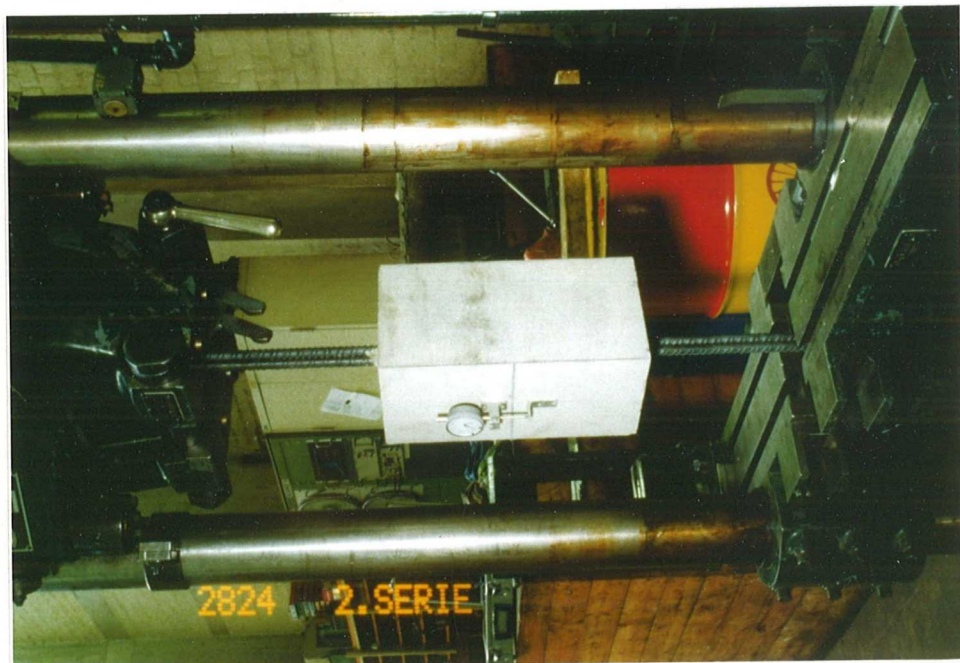


Photo 13: 3. Entwicklungsschritt / Versuchsaufbau

Photo 14:



Photo 15:

3. Entwicklungsschritt

Versuchskörper nach Beendigung der Dauerschwingversuche



Photo 16:

3. Entwicklungsschritt

Nach dem Versuch aufgespaltene Versuchskörper
(Lage der Dauerschwingbrüche durch Pfeile markiert)



Photo 17: 2. und 3. Entwicklungsschritt
Ansichten der Dauerschwingbrüche

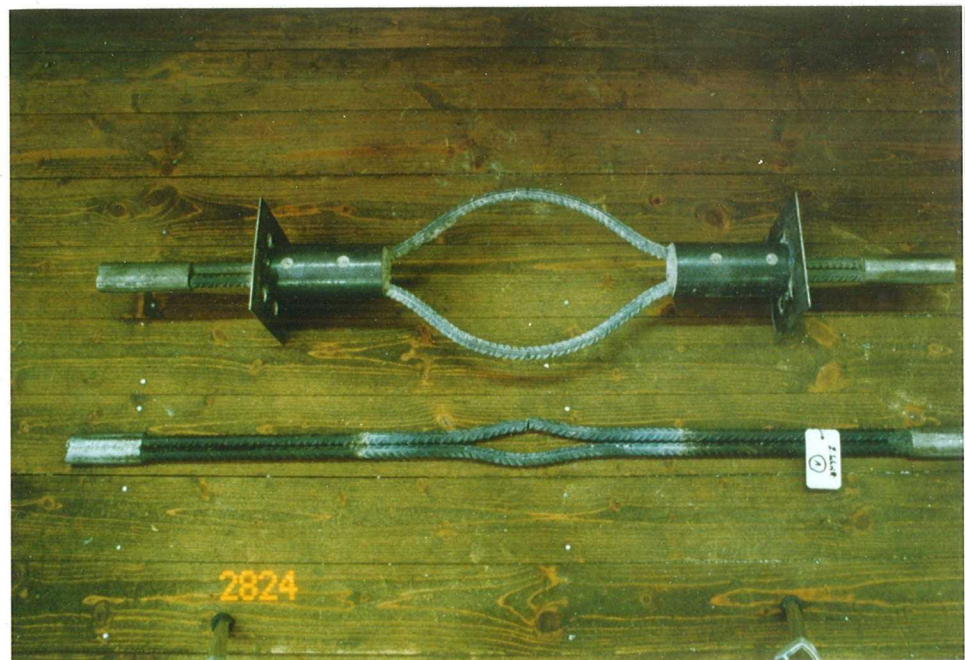


Photo 18: Vergleich der Biegeformen der eingelegten Stabstahlpaare des
ersten und dritten Entwicklungsschrittes

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUINGENIEURWESEN III
LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU
O. PROF. DR.-ING. HERBERT KUPFER

Nr. 1162/Mü/Mue

8000 MÜNCHEN 2
Arcisstraße 21
Postfach 202420
Tel. (089) 2105-3039/3026
Telefax 2105-3057
Telex 522854

Munich, 17.10.91

Summary of the report
on the research program
Fatigue Tests On Reinforcing Steel
Business sign IV 1-5-623/90

This summary should only be published unabridged.
The abridged publication or a publication of excerpts
requires the permission of the Techn. Univ. of Munich

The task of this research was to develop a new test sample with which test series could be performed to find a statistical safe fatigue strength value of reinforcing steel at adequate costs and with acceptable results.

This new test sample has the form of a ductile specimen. Inside the test sample two bars were placed which were bent around a diameter of $D = 15 \cdot d_s$ within their testing section according to DIN 488. The testing cross section was laying within the middle of the curvature by creating a transverse crack in the concrete sample. The transverse crack was constructed by a 1 mm thick plastic plate laying in the concrete sample in two parts. The two bar ends looking out of the test sample were loaded for pulsating tensile stresses.

All tests were designed for a reinforcing steel 16 mm in diameter.

The upper stress level σ_0 was chosen at $\sigma_0 = 0,7 \cdot \beta_s = 350 \text{ N/mm}^2$. All tests were performed in a hydraulic pulsator (UHS 60) as load regulated tests. The samples were installed in a vertical position. The test frequency was approximately 5 Hz.

According to DIN 488, part 3, the reinforcing bars were bent in the way that at the inner side of the curvature oblique ribs were laying. The pairs of reinforcing bars were bent at the same time to exactly equal dimensions with a specially herefore designed bending machine.

There was no additional reinforcement laying in the test samples (minimizing of costs), because

- the exact symmetrical bending of the bar pairs prevented eccentric forces within the concrete samples and
- the sample was constructed in its dimensions in the way that strutting forces caused by the bar curvature could be absorbed by concrete.

The end of the tests were caused by ordinary fatigue cracks of one of the reinforcing bars equal to the fatigue cracks according to the test samples of DIN 488. A premature failure caused by concrete collaps did not occur. This shows that the new test samples are sufficiently designed without the addition of reinforcement.

The experiences won by tests performed with reinforcement 16 mm in diameter are described in the following:

- The dimensions of the new developed test sample formed as a ductile specimen are $400 \times 200 \times 200 \text{ mm}^3$. No further reinforcement is necessary apart from the pair of bars being tested.
- Bending machines as used in site are not suitable to produce the necessary bar forms of this simple testing sample.

The exact and identical fabrication of the bending forms of the two bars is an important condition to avoid premature failure of the concrete structure.

- The dimensions of the testing sample are designed so small, that two persons can handle it easily and install it in a hydraulic pulsator.

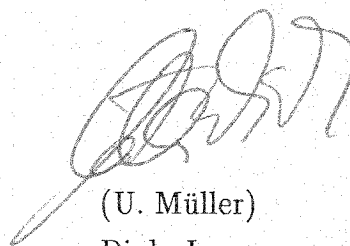
The fabrication of the concrete formwork is not complicated and does not demand much work.

- The tests will be performed in a hydraulic pulsator with the usual fixing tools used in a tensile testing machine. No special test arrangement such as described in DIN 488, part 3, is necessary.
- The tensile forces in the reinforcing bars are shown directly in the testing machine. The difference between the actual bar stresses and the nominal stresses is smaller than that of a fatigue test performed with a bending beam according to DIN 488.

Technische Universität München
Institut für Bauingenieurwesen III
Lehrstuhl für Massivbau



(H.H. Müller)
Dipl.-Ing.



(U. Müller)
Dipl.-Ing.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUINGENIEURWESEN III
LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU
O. PROF. DR.-ING. HERBERT KUPFER

8000 MÜNCHEN 2
Arcisstraße 21
Postfach 2024 20
Tel. (089) 2105-3039/3026
Telefax 2105-3057
Telex 522854

Nr. 1162/Mü/Mue

Munich, 17.10.91

Résumé du rapport concernant le projet de recherche

Test en fatigue d'armatures du béton

Reference IV 1-5-623/90

Dans le cadre du présent projet de recherche, une éprouvette peu onéreuse d'un nouveau type devait être développée. A l'aide de celle-ci, les séries d'études qui sont nécessaires pour obtenir des données statistiques sûres quant à la ténacité d'une armature du béton peuvent être menées, tout en fournissant des résultats valables pour des coûts induits supportables.

L'éprouvette d'un nouveau type a la forme d'une éprouvette de traction. Pour des raisons de symétrie, les deux barres de type DIN 488 courbées à $D=15.d_s$ ont été encastrées dans la zone de test. Les extrémités sortantes des barres ont été soumises à une sollicitation de traction en fatigue. De par la donnée d'une fissure transversale dans l'éprouvette en béton, la section de test a été positionnée au centre de courbure. Pour fixer la fissure transversale au centre de courbure des barres encastrées, une plaque en plastique en deux parties a été choisie plutôt qu'une tôle d'acier de 1mm d'épaisseur. Toutes les expériences ont été réalisées sur des armatures en acier de 16mm de diamètre.

La contrainte supérieure σ_0 s'élevait à $\sigma_0 = 0,7.\beta_s = 350 \text{ N/mm}^2$ dans toutes les expériences. Tous les tests ont été réalisés sous chargement dans une presse hydraulique (UHS 60). Les échantillons ont été installés verticalement. La fréquence de sollicitation employée était de 5 Hz.

Conformément à la partie 3 de la norme DIN 488, la flexion des armatures en acier a été réalisée de telle sorte que les nervures obliques soient toujours situées dans la courbure. Les paires d'armatures d'acier ont été positionnées en même temps et exactement de la même manière dans un dispositif de mise en flexion spécialement conçu pour ces tests en fatigue.

On a renoncé à introduire des armatures supplémentaires (d'où une minimisation des coûts), parce que l'évolution excentrique des forces à l'intérieur de l'éprouvette en béton peut être exclue du fait de la position exactement symétrique des armatures d'acier, et parce que l'éprouvette a été dimensionnée de sorte que les forces explosives du béton apparaissant à la suite de la flexion des barres (flexion inverse de $D=15.d_s$ jusqu'à $30.d_s$) soient élevées.

La fin de l'expérience a à chaque fois été caractérisée par une fracture de fatigue normale de l'une des deux barres d'acier insérées, ainsi que cela se produit avec les éprouvettes de la norme DIN 488. Une ruine prématurée de l'éprouvette de traction par éclatement de parties de béton ne s'est pas produite. Cela justifie le dimensionnement de la nouvelle éprouvette sans armatures supplémentaires.

Les conclusions auxquelles conduisent les résultats des expériences menées sur des armatures en acier de diamètre $d_s=16 \text{ mm}$ sont ici brièvement résumées :

- Les dimensions de l'éprouvette d'un nouveau type présentée dans la proposition de recherche peuvent être réduites à $400 \times 200 \times 200 \text{ mm}^3$. En dehors de la paire d'armatures d'acier testée, aucune autre armature n'a à être positionnée dans l'éprouvette de test.
- Tel qu'elles sont employées sur les chantiers, les machines de mise en flexion sont totalement inadaptées à la fabrication des formes d'armatures d'acier désirées pour une éprouvette simplifiée utilisée pour l'analyse de la ténacité d'armatures du béton. En supposant que des formes fléchies exactement identiques peuvent être obtenues en plusieurs exemplaires, des armatures en acier du béton peuvent être testées sans ruine

anticipée de l'éprouvette d'un nouveau type.

Les dimensions précises ne peuvent être obtenues qu'à l'aide de mises en flexion particulières.

- Les dimensions de l'éprouvette ont été tant abaissées que deux personnes peuvent transporter celle-ci sans effort puis l'installer dans une presse hydraulique. La réalisation du coffrage est peu compliquée et n'implique qu'un temps de travail raisonnable.
- Un dispositif expérimental tel que celui qui doit être employé pour un test d'après la partie 3 de la norme 488 (Test en flexion) n'est pas nécessaire pour l'éprouvette d'un nouveau type qui a la forme d'un éprouvette de traction. Il suffit pour celle-ci d'installer une simple presse hydraulique munie de mâchoires pour les expériences en traction.
- La contrainte de traction dans les barres testées peut être lue directement sur la machine de test. Les écarts entre les contraintes réelles et les contraintes imposées sont donc plus faibles que ceux obtenus avec un dispositif muni d'un bras de flexion d'après la norme DIN 488.

Technische Universität München
Institut für Bauingenieurwesen III
Lehrstuhl für Massivbau



(H.H. Müller)
Dipl.-Ing.



(U. Müller)
Dipl.-Ing.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUINGENIEURWESEN III
LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU
O. PROF. DR.-ING. HERBERT KUPFER

8000 MÜNCHEN 2
Arcisstraße 21
Postfach 202420
Tel. (089) 2105-3039/3026
Telefax 2105-3057
Telex 522854

Nr. 1162/Mü/Mue

München, den 17.10.91

Kurzfassung des Berichtes
zum
Forschungsvorhaben
Dauerschwingprüfung von Betonstählen
Geschäftszeichen IV 1-5-623/90

Diese Kurzfassung darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.

Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf
der vorherigen Genehmigung des Lehrstuhls für Massivbau

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens sollte ein kostengünstiger, neuartiger Prüfkörper entwickelt werden, mit dem Reihenuntersuchungen, die für die statistisch gesicherte Angabe der Dauerschwingfestigkeit von Betonstahl erforderlich sind, bei vertretbaren Kosten und allgemein gültigen Versuchsergebnissen durchgeführt werden können.

Der neuartige Versuchskörper hat die Form eines Dehnkörpers. Der Symmetrie halber wurden zwei im Prüfbereich analog DIN 488 um $D = 15 \cdot d_s$ gebogene Stäbe einbetoniert. Die herausstehenden Stabenden wurden einer Zugschwellbeanspruchung ausgesetzt. Durch die Vorgabe eines Querrisses im Betonkörper wurde der Prüfquerschnitt in die Krümmungsmitte gelegt. Zur Vorgabe des Querrisses im Betonkörper in der Krümmungsmitte der eingelegten Stäbe wurde anstelle eines Stahlbleches eine 1 mm starke, zweigeteilte Kunststoffplatte gewählt.

Sämtliche Versuche waren auf den Betonstahl $\varnothing 16$ mm abgestimmt.

Die Oberspannung σ_0 betrug bei allen Versuchen $\sigma_0 = 0,7 \cdot \beta_s = 350 \text{ N/mm}^2$. Sämtliche Prüfungen wurden in einem hydraulischen Pulsator (UHS 60) als lastgesteuerte Versuche durchgeführt. Die Proben waren dabei vertikal eingebaut. Die Prüf-Schwingspielfrequenz betrug etwa 5 Hz.

Entsprechend DIN 488, Teil 3, wurde das Biegen der Stabstähle so ausgeführt, daß auf der Innenseite der Krümmung stets Schrägrippen lagen. Die Stabstahlpaare wurden in einer speziell für die Dauerschwingversuche konstruierten Biegevorrichtung gleichzeitig und somit exakt auf die gleichen Maße ausgerichtet.

Auf jegliche Zusatzbewehrung wurde verzichtet (Kostenminimierung), da ein exzentrischer Kräfteverlauf innerhalb des Betonkörpers durch exaktes symmetrisches Ausrichten der Stabstähle ausgeschlossen werden konnte und der Körper so bemessen war, daß die durch die Umlenkung der Stäbe (Rückbiegung von $D=15 \cdot d_s$ über $30 \cdot d_s$ auf den geraden Stab) auftretenden Sprengkräfte vom Beton aufgenommen werden konnten.

Das Versuchsende war durch normale Dauerschwingbrüche jeweils eines der beiden eingelegten Stabstähle, wie sie auch in Prüfkörpern der DIN 488 auftreten, gekennzeichnet. Ein vorzeitiges Versagen der Dehnkörper durch Absprengen von Betonteilen trat nicht auf. Dies verdeutlicht die ausreichende Dimensionierung der neuartigen Prüfkörper ohne jegliche Zusatzbewehrung.

Die durch Versuche, abgestimmt auf den Betonstabstahl $d_s=16$ mm, gewonnenen Erfahrungen sind im folgenden kurz zusammengefaßt:

- Der im Forschungsvorschlag vorgesehene neuartige Versuchskörper in Form eines Dehnkörpers konnte in seinen Abmessungen auf $400 \times 200 \times 200$ mm³ verkleinert werden.

In den Prüfkörper ist außer dem zu prüfenden Betonstabstahlpaar keine zusätzliche Bewehrung einzulegen.

- Biegemaschinen, wie sie auf Baustellen üblich sind, sind zur Herstellung der gewünschten Stabstahlformen in einem vereinfachten Prüfkörper zur Ermittlung der Dauerschwingfestigkeit von Betonstabstähen gänzlich ungeeignet.

Die exakte, stets gleiche Ausführung der Biegeformen ist die Voraussetzung dafür, daß die Betonstabstahlprüfung ohne vorzeitiges Versagen des neuartigen Prüfkörpers durchgeführt werden kann.

Derart exakte Abmessungen sind nur mithilfe einer speziellen Biegevorrichtung herstellbar.

- Die Prüfkörperabmessungen sind so gering gehalten, daß die Körper von zwei Personen ohne Anstrengung transportiert und in einen hydraulischen Pulsator eingebaut werden können.

Die Herstellung der Schalung ist unkompliziert und erfordert minimalen Arbeitsaufwand.

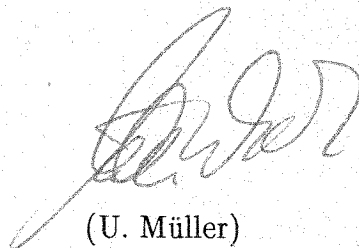
- Ein spezieller Versuchsaufbau wie bei der Prüfung nach DIN 488, Teil 3 (Prüfstand für Biegeversuche) ist für den neuartigen Prüfkörper in Form eines Dehnkörpers nicht erforderlich. Es genügt hierfür der Einsatz eines herkömmlichen hydraulischen Pulsators mit Einspannbacken für Zugversuche.

- Die Zugkraft in den Versuchstäben kann direkt an der Prüfmaschine abgelesen werden. Die Abweichungen der tatsächlichen Stahlspannungen von den Sollwerten sind somit kleiner als bei der Prüfung mit einem Biegebalken nach DIN 488.

Technische Universität München
Institut für Bauingenieurwesen III
Lehrstuhl für Massivbau



(H.H. Müller)
Dipl.-Ing.



(U. Müller)
Dipl.-Ing.