

BAM Bundesanstalt
für Materialforschung
und -prüfung, Berlin

Forschungsbericht 172

Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen

von Dr.-Ing. Johannes Vielhaber

Dr.-Ing. Günther Plauk



Berlin 1990

Aufgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft das technisch-wissenschaftliche Staatsinstitut der Bundesrepublik Deutschland für Werkstoffwissenschaften, Materialprüfung und Chemische Sicherheitstechnik. Dieser Komplex stellt in allen Industrieländern einen technologischen Schlüsselbereich dar, da Materialien als Konstruktions- und Funktionswerkstoffe die Grundlage der gesamten Technik bilden. Die Materialforschung, die zuverlässige, normgerechte und neutrale Prüfung sowie die sicherheitstechnische Beurteilung von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen sind wesentliche Voraussetzungen für eine leistungs- und wettbewerbsfähige Wirtschaft im Hinblick auf die Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte, Umweltschutzanforderungen und die Notwendigkeit der sparsamen Verwendung von Rohstoffen und Energie.

Die Ursprünge der BAM reichen bis in das Jahr 1870 zurück, in dem durch Erlaß des damaligen Preußischen Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten die Gründung einer Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Gewerbeakademie beschlossen wurde. 1895 erfolgte die Angliederung der im Jahre 1875 eingerichteten Prüfungsstation für Baumaterialien als neue Abteilung der Versuchsanstalt. Im Jahre 1904 kam es darüber hinaus zur Zusammenlegung mit der 1877 errichteten Chemisch-Technischen Versuchsanstalt zum Königlichen Materialprüfungsamt. Dessen erster Direktor, Adolf Martens (1850—1914), trat u. a. als Entdecker des nach ihm benannten Martensitgefüges von Stahl und als Mitbegründer sowie Vorsitzender (1896—1913) des „Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“ hervor. Das Königliche Materialprüfungsamt, das im Jahre 1907 eine selbständige Behörde geworden war, wurde nach dem Ersten Weltkrieg dem Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung unterstellt. Es bestand als Staatliches Materialprüfungsamt (MPA) — bei ständiger Erweiterung seiner Aufgabenbereiche und Angliederung anderer Institutionen, wie z. B. der Reichs-Röntgenstelle — bis 1945.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde dem MPA die im Jahre 1889 errichtete Chemisch-Technische Reichsanstalt (CTR) angeschlossen. Diese vereinigten Institutionen erhielten im Jahre 1954 den Status einer Bundesanstalt im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft, die seit 1956 den Namen „Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)“ trägt und ab 1. 1. 1987 „Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)“ heißt.

Die Aufgaben der BAM wurden durch einen Erlaß des Bundesministers für Wirtschaft vom 1. September 1964 letztmalig festgelegt. Danach hat die Bundesanstalt die Aufgabe, Werkstoff- und Materialforschung entsprechend ihrer Zweckbestimmung zu betreiben und die Materialprüfung sowie die Chemische Sicherheitstechnik stetig weiter zu entwickeln. Die Ergebnisse ihrer und fremder wissenschaftlicher Arbeiten hat die Bundesanstalt zu sammeln, zu ordnen und der Allgemeinheit zugänglich und nutzbar zu machen. Für das Land Berlin hat die Bundesanstalt die Aufgaben eines staatlichen Materialprüfungsamtes. Auf Antrag steht die BAM Industriefirmen, Wirtschaftsverbänden, Verbrauchereinrichtungen sowie privaten Antragstellern zur Verfügung. Außerdem berät sie Bundesministerien und unterstützt Verwaltungsbehörden sowie Gerichte. Mit Institutionen ähnlicher Zielsetzung des In- und Auslandes, insbesondere den nationalen Schwesterinstituten, arbeitet die BAM eng zusammen. Daneben ist sie in die technische Zusammenarbeit mit verschiedenen Entwicklungsländern eingebunden. Die Mitarbeiter der Bundesanstalt wirken in zahlrei-

chen Fachgremien, gesetzgebenden Körperschaften und normensetzenden Institutionen an der Aufstellung von technischen Regeln und Sicherheitsbestimmungen mit und vertreten die Bundesrepublik Deutschland in internationalen und supranationalen Einrichtungen.

Aufgrund des Gesetzes über explosionsgefährliche Stoffe, des Gesetzes über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, des Waffengesetzes sowie einer Reihe weiterer gesetzlicher Regelungen und Verordnungen hat die Bundesanstalt den Status einer Bundesoberbehörde. Damit erhalten die in diesem Zusammenhang erteilten Zulassungen, Richtlinien und Auflagen bundesweit gesetzlichen Charakter. Im Rahmen der genannten Gesetze obliegen der BAM u. a. die Prüfung von Stoffen und Konstruktionen für die Zulassung explosionsgefährlicher Stoffe und Sprengzubehör, die Zulassung der Bauart von Verpackungen und die Genehmigung der Beförderung von gefährlichen Gütern ohne Schutzbehälter. Ferner läßt die Bundesanstalt Raketenmunition und Geschosse mit pyrotechnischer Wirkung im zivilen Bereich zu und prüft die Vielzahl weiterer Produkte und Gegenstände im öffentlichen Interesse.

Mit nahezu 1.200 Mitarbeitern, darunter etwa 300 Wissenschaftlern unterschiedlicher naturwissenschaftlicher und technischer Fachrichtungen, befaßt sich die BAM in mehr als 100 Laboratorien damit, die chemischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften von Werkstoffen zu bestimmen und Zusammenhänge zwischen Stoffkennwerten und Materialverhalten beim praktischen Einsatz aufzuklären. Dadurch werden Rohstoffe und Werte erhalten, Schäden vermindert und Unfälle verhütet. Das Arbeitsgebiet schließt alle technischen Materialien ein: Metalle, anorganische nichtmetallische Stoffe, insbesondere Baustoffe und keramische Werkstoffe, organische Stoffe wie Kautschuk, Kunststoffe, Textilien, Leder, Papier, Holz, aber auch Verbundwerkstoffe, technische Fluide und Gase sowie feste, flüssige und gasförmige explosionsfähige Stoffe. Für die Untersuchung von Materialien unter den verschiedensten Beanspruchungen, z. B. mechanischer, thermischer, tribologischer, chemischer, korrosiver oder biologischer Art, werden unterschiedlichste Meß-, Prüf- und Analysetechniken einschließlich zerstörungsfreier Prüfverfahren und Computertechniken eingesetzt. Durch Forschung und Entwicklung, Prüfung und Untersuchung sowie Beratung und Information dient die BAM dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Wirtschaft zu fördern, die technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erweitern sowie die Lebensbedingungen zu sichern und zu verbessern.

Die Arbeitsergebnisse der BAM werden — soweit sie nicht vertraulicher Natur sind — in eigenen Publikationsreihen veröffentlicht:

- den „BAM - ZULASSUNGEN, die jährlich mit 4 Ausgaben erscheinen und in denen die amtlichen Zulassungen der BAM veröffentlicht werden;
- dem Jahresbericht, der die Arbeitsschwerpunkte und die wichtigsten Erträge des jeweils vorausgegangenen Jahres ausführlich dokumentiert;
- den Forschungsberichten, die in unregelmäßiger Folge die Resultate wichtiger BAM-Forschungsvorhaben präsentieren.

Für weitere Information steht gerne BAM — 7.1 „Information und Öffentlichkeitsarbeit“, Tel.: 030 / 8104 7100, zur Verfügung.

ISBN 3-88314-998-5

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Forschungsbericht 172

Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen

von Dr.-Ing. Johannes Vielhaber

Dr.-Ing. Günther Plauk

Berlin 1990

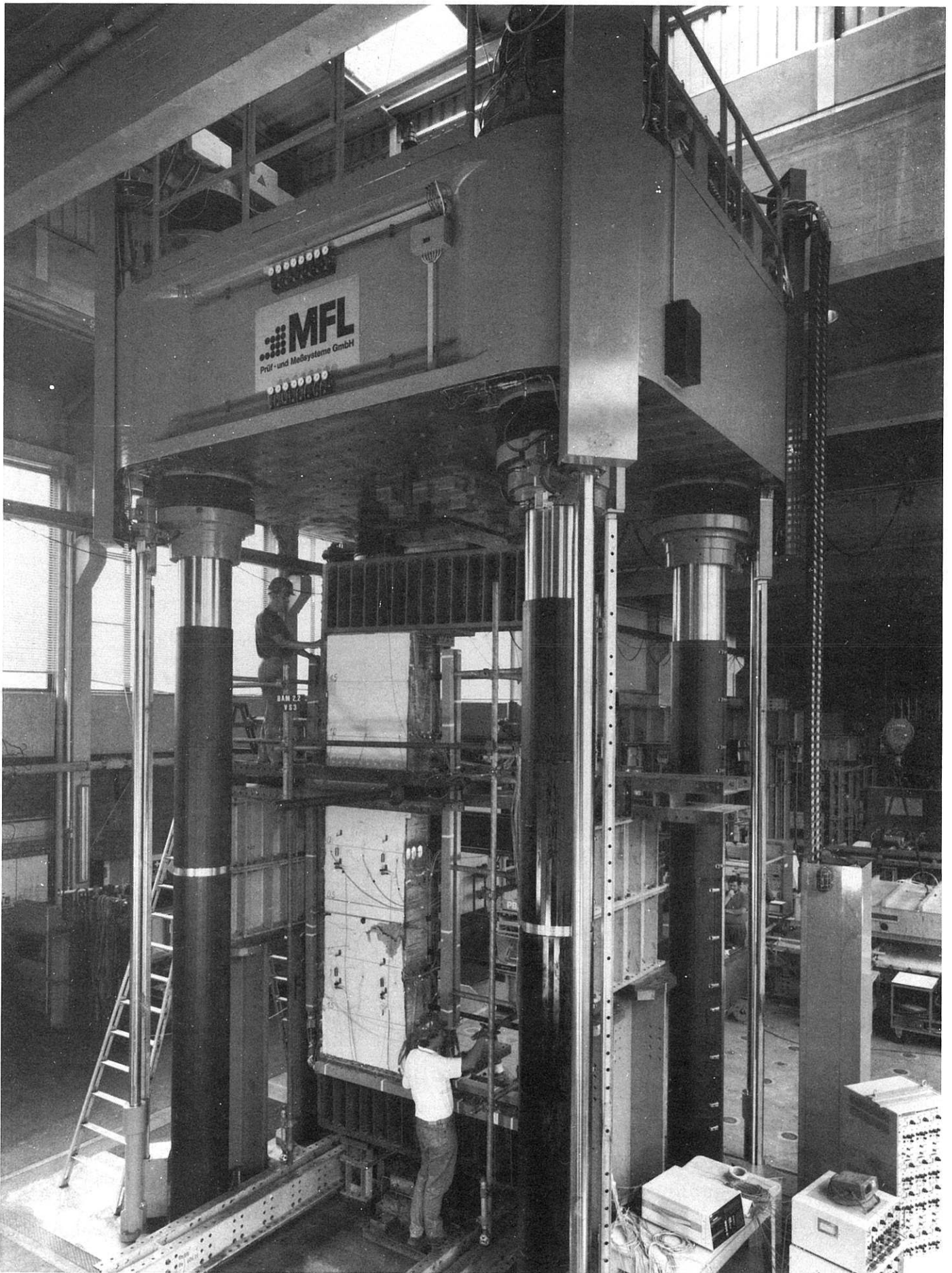
76 Seiten, 78 Abbildungen, 4 Tabellen

Das Forschungsvorhaben wurde durch den
Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau finanziell gefördert
(Geschäftszeichen BI6-800184-9)

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon (030) 8104-1 Telex 183 261 bamb d
Telefax (030) 8 112 029 Teletex 2 627-308 372=bamb

Copyright © 1990 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1
Telefon (0471) 46093-95



25 MN-Großprüfmaschine der BAM mit eingebauter Stahlverbundstütze (Probekörper VS3)

Vorwort

Die vorliegenden Untersuchungen an Verbundprofilstützen erfolgten auf Anregung des ehemaligen Kurators der BAM, Herrn Prof. Dr.-Ing. O. Jungbluth. Das Vorhaben wurde in der Planungsphase insbesondere von den Herren Dipl.-Ing. Bangert und Dipl.-Ing. S. Winter von der TH Darmstadt sowie von Prof. Dr.-Ing. W. Struck von der BAM in hervorragender Weise unterstützt. Die zur Herstellung der Probekörper benötigten Stahlprofile wurden auf Initiative von Prof. Jungbluth dankenswerterweise von der Firma ARBED-Recherches, Luxemburg, zur Verfügung gestellt.

Unser besonderer Dank gilt ferner:

- Dem Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens
 - der betreuenden Arbeitsgruppe, bestehend aus den Herren Prof. Dr.-Ing. Roik, Prof. Dr.-Ing. König., Ing. grad. Muess und Dr.-Ing. Wölfel.

Die Probekörperausrüstung und -herstellung sowie Prüfung lagen laborübergreifend in den Händen der Fachgruppe Tragfähigkeit der Baukonstruktionen der BAM. Für die mit großer Sorgfalt und Einsatzbereitschaft ausgeführten Arbeiten möchten wir uns ausdrücklich bei den Herren Dipl.-Ing. A. Barner, B. Stoeck, Th. Schneider, J. Stahlschmidt und J. Riedel bedanken.

Berlin im September 1989

Die Verfasser

Hinweis:

Die Aufzeichnung der einzelnen gemessenen Werte befindet sich in einem getrennt gebundenen Anhang. Auf Wunsch stellen wir diese auch als ASCII-Dateien zur Verfügung.

Zusammenfassung

Verbundstützen sind häufig eine sowohl konstruktiv als auch wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu reinen Stahlbeton- oder Stahlstützen. Die Bemessung von Verbundprofilstützen mit ausbetonierten Kammern kann z. B. mit Hilfe der in DIN 18 806 Teil 1 oder im EUROCODE 4 enthaltenen Annahmen durchgeführt werden. Diesen Normen liegen theoretische Unterlegungen und Berechnungen zugrunde, deren Gültigkeit experimentell noch nicht überprüft worden war.

Der vorliegende Bericht gibt einen Teil der Ergebnisse wieder, die an vier großmaßstäblichen Versuchsstützen HE 1000 AA mit einer Knicklänge von ca. 5,50 m gewonnen wurden. Die vier Stützen wiesen jeweils unterschiedliche Anfangsexzentrizitäten auf (3 Stützen mit Biegung um die starke Achse, 1 Stütze mit Biegung um die schwache Achse).

Es zeigte sich, daß die auf der Grundlage der o. a. Normen berechneten Ergebnisse gut mit den experimentell ermittelten übereinstimmen. Um die Bruchlast erreichen zu können, ist die konstruktive Ausbildung der Lasteinleitungsbereiche von großer Bedeutung. Die vorhandenen Untersuchungen und Normen sind, wie sich herausstellte, auf diesem Gebiet noch unzureichend.

Summary

From the designer's point of view and also for economic reasons composite columns are often a suitable alternative to steel columns or reinforced steel columns. Composite columns with H-rolled sections concreted between the flanges may for instance be designed according to specifications of DIN 18 806 part 1 or those of EUROCODE 4. These standards are based on theoretical assumptions and calculations which have not yet been verified experimentally.

This report presents part of the results which have been obtained with four large-scale test columns HE 1000 AA with a buckling length of about 5.50 m. The four columns had different initial eccentricities (3 columns exposed to bending around the major axis, 1 column around the minor axis).

The experimental results obtained on the basis of the above mentioned standards agree well with the calculated results. The design of the load application areas is very important for obtaining the ultimate load. The experiments revealed that the studies carried out so far and the available standards are sometimes not sufficient in this field.

Résumé

Du point de vue du constructeur et pour des raisons économiques des colonnes mixtes sont souvent une alternative rationnelle pour des colonnes en béton armé ou en acier. Des colonnes mixtes qui consistent de profils laminés en H dont l'espace situé entre les ailes est rempli de béton, peuvent être dimensionnées selon le DIN 18 806, partie 1, ou selon l'EUROCODE 4. Ces normes sont basées sur des suppositions théorétiques et des calculations dont la validité doit encore être vérifiée.

Ce rapport présente quelques résultats obtenus de quatre colonnes grand format (industrielles) HE 1000 AA avec une longueur de flambage de ca. 5,50 m. Les quatre colonnes ont eu de différentes excentricités initiales (3 colonnes exposées à des sollicitations de flexion autour l'axe majeur, 1 colonne autour l'axe mineur).

Les essais ont montré que les résultats obtenus répondent bien aux résultats calculés selon les normes. Pour obtenir la charge limite la construction des sections à coté des plaques de base et de tete est très importante. Les essais ont montré que les expériences faites jusqu'à présent ainsi que les normes existantes ne suffisent parfois pas dans ce domaine.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1.0 Einleitung	9
2.0 Untersuchungsprogramm	10
2.1 Zielsetzung	10
2.2 Probekörper und Versuchsanordnung	10
2.2.1 Verbundstütze VS1	12
2.2.2 Verbundstütze VS2	13
2.2.3 Verbundstütze VS3	14
2.2.4 Verbundstütze VS4	15
3.0 Materialuntersuchungen	17
3.1 Untersuchungsprogramm	17
3.2 Werkstoffuntersuchungen am Betonstahl	17
3.3 Werkstoffuntersuchungen am Profilstahl	19
3.4 Werkstoffuntersuchungen am Beton	22
4.0 Versuchseinrichtung und Probekörperherstellung	24
4.1 Großprüfmaschine der BAM	24
4.2 Bestimmung der Anfangsexzentrizitäten und der zu erwartenden Stützenverformungen	24
4.3 Herstellung der Probekörper	31
4.4 Einbau der Stützen in die GPM	
4.5 Belastungsprogramm	32
5.0 Meßprogramm und Meßwerterfassung	33
5.1 Bei allen Stützen vorhandene Meßstellen	33
5.1.1 Ausbiegung der Stützen	33
5.1.2 Lagerbewegungen	34
5.1.3 Relativbewegungen Stahl-Beton	35
5.1.4 Gurtdehnungen des Profilstahles	35
5.1.5 Dehnungsmessungen auf der Betonoberfläche	36
5.1.6 Dehnungsmessungen am Beton mit induktiven Wegaufnehmern	36
5.2 Nicht bei allen Stützen vorhandene Meßstellen	38
5.2.1 Stegaufweitung	38
5.2.2 Dehnungsmessungen am Stahl in den Betonkammern	38
5.2.3 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS1	40
5.2.4 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS2	41
5.2.5 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS3	42
5.2.6 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS4	43
5.3 Meßwerterfassungssysteme	44
6.0 Versuchsergebnisse	45
6.1 Stütze VS1 – Biegung um die starke Achse	45
6.1.1 Bruchbilder der Stütze VS1 nach Versuchsende	47
6.1.2 Verformung	48
6.1.3 Dehnungsverteilung in Stützenmitte	48
6.2 Stütze VS2 – Biegung um die schwache Achse	50
6.2.1 Bruchbilder der Stütze VS2 nach Versuchsende	51
6.2.2 Verformung	52
6.2.3 Dehnungen in Stützenmitte	52

6.3	Stütze VS3 mit großer Ausmitte und Biegung um die starke Achse	53
6.3.1	Bruchbilder der Stütze VS3 nach Versuchsende	54
6.3.2	Verformung	55
6.3.3	Dehnungen in Stützenmitte	56
6.4	Stütze VS4 – Biegung um die starke Achse und mäßige Ausmitte	56
6.4.1	Bruchbilder der Stütze VS4 nach Versuchsende	57
6.4.2	Verformung	58
6.4.3	Dehnungen in Stützenmitte	59
7.0	Vergleichende Berechnungen	60
7.1	M/N-Interaktion (Stützenmitte)	60
7.1.1	Abmessungen	60
7.1.2	Werkstoffkennwerte	61
7.1.3	Werkstoffgesetze	63
7.1.4	M/N-Diagramme	65
7.1.5	Wertung des Ergebnisvergleichs	65
7.2	Globales Tragverhalten	66
7.2.1	Berechnung nach DIN 18 806 Teil 1	66
8.0	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	70
9.0	Literatur	72

1.0 Einleitung

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) gehört zu den ersten Forschungsinstituten, die sich mit der Verbundbauweise befaßt haben. Schon in den dreißiger Jahren konnten erste Forschungsergebnisse von zentrisch und exzentrisch gedrückten Verbundstützen (Rahmenstäbe mit Betonkern) veröffentlicht werden [1, 2]. Während es damals galt, das grundsätzliche Zusammenwirken von Stahl und Beton zu klären, sind derartige Konstruktionen heute in den Normen vieler Länder enthalten, z. B. in DIN 18 806 Teil 1 [3] oder im Eurocode 4 [4]. Die Grundlage dafür bildete eine Vielzahl von Versuchen und theoretischen Überlegungen. Eine große Anzahl von Verbundstützen mit einbetonierten Stahlprofilen oder mit Beton gefüllten Stahlrohren ist in der Vergangenheit untersucht worden [5]. Gewalzte Stahlprofile mit ausbetonierten Seitenkammern sind zwar inzwischen ebenfalls in den Normenvorschriften enthalten, jedoch fehlt hierzu eine ausreichende versuchsmäßige Absicherung. Die Bedeutung und die Einsatzmöglichkeiten derartiger Bauteile wachsen jedoch, da gerade in jüngster Zeit nachgewiesen werden konnte, daß auch sie eine Feuerwiderstandsdauer von bis zu 120 Minuten erreichen können und damit einen ausreichenden Brandschutz gewährleisten [10].

Die neue Großprüfmaschine (GPM) der BAM erlaubt es, nun auch Versuchskörper mit in der Praxis auftretenden großen Abmessungen ($h \leq 7,00$ m) und entsprechend hohen Beanspruchungen ($P_u \leq \pm 25000$ kN) bis zum Bruch zu belasten. Der vorliegende Bericht beschreibt den Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung von 3 Stahlverbundstützen (HE 1000 AA) mit ausbetonierten Kammern und stellt die gewonnenen Ergebnisse dar.

2. Untersuchungsprogramm

2.1 Zielsetzung

Das Untersuchungsprogramm umfaßte die Durchführung von Belastungsprüfungen an vier Stahlverbundstützen. Als Probekörper waren bewehrte, beidseitig ausbetonierte I-Profile vorgesehen. Für ausgewählte Beanspruchungsverhältnisse von Biegemoment/Längskraft sollte außerdem ein Vergleich des experimentell und theoretisch ermittelten Trag- und Verformungsverhaltens der Stützen vorgenommen werden.

In Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Darmstadt wurden im Rahmen einer Durchführbarkeitsstudie [6] die einzelnen Versuchsparameter, wie Profilabmessungen, Betonfestigkeit, Ausführung der Betonstahlbewehrung, Lagerbedingungen der Probekörper in der Prüfmaschine sowie die in den einzelnen Versuchen anzustrebenden Bruchschnittgrößen vorgeschlagen. Ausgehend von den Ergebnissen dieser Studie erfolgte die endgültige Festlegung der Probekörperausbildung und Beanspruchung, die dem folgenden zu entnehmen ist.

2.2 Probekörper und Versuchsanordnung

Es wurden vier Stützen untersucht, die sich nur hinsichtlich der Beanspruchung unterschieden. Sie wurden gelenkig in der Prüfmaschine gelagert, wobei das gewünschte Randbiegemoment durch die

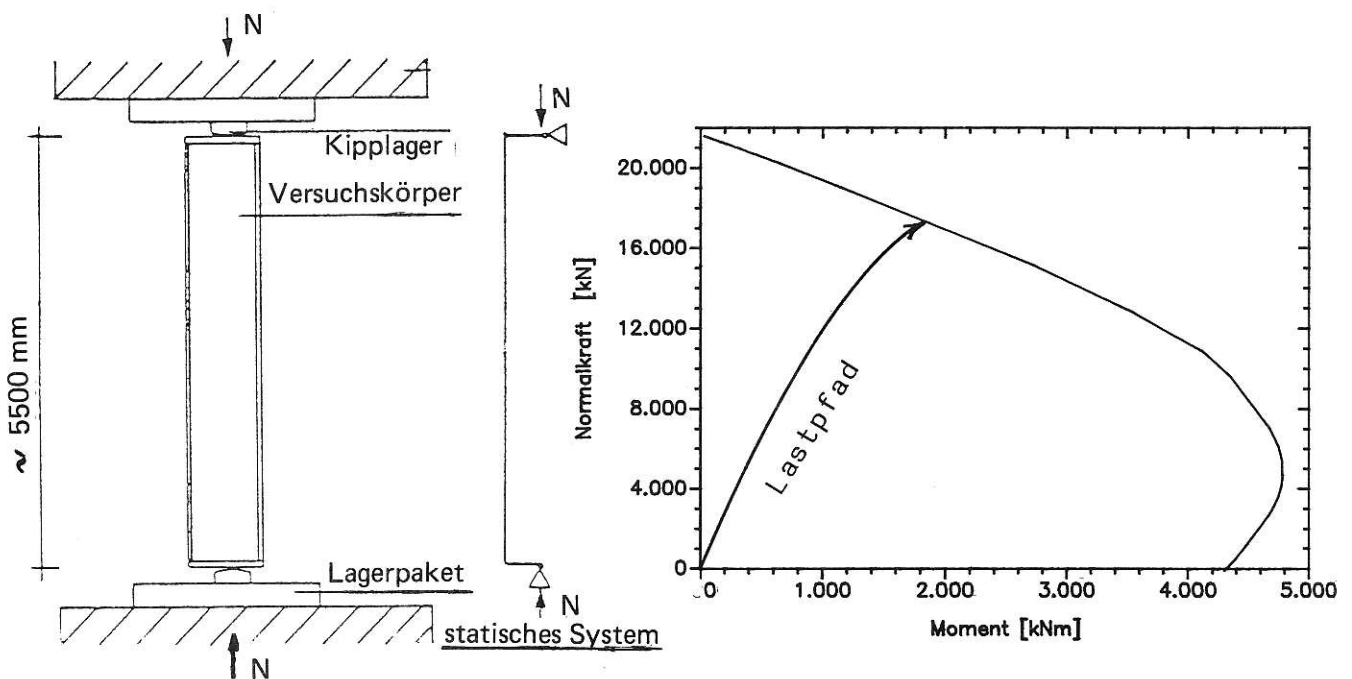


Bild 1: Gewähltes System und zugehöriger Lastpfad

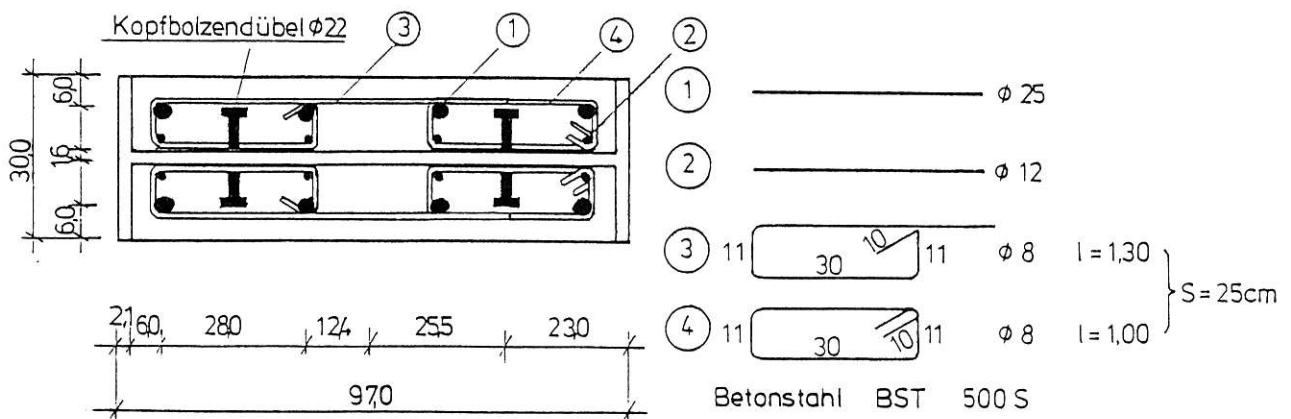
Ausmittigkeit des Kraftangriffspunktes erzielt wurde. Bild 1 stellt das statische System und den Lastpfad im M-N-Interaktionsdiagramm dar.

Die vier Probekörper unterschieden sich wie folgt:

- VS1: Verbundstütze 1, Biegung um die starke Achse mit geringer Lastausmitte
- VS2: Verbundstütze 2, Biegung um die schwache Achse mit großer Ausmitte
- VS3: Verbundstütze 3, Biegung um die starke Achse mit großer Ausmitte
- VS4: Verbundstütze 4, Biegung um die starke Achse mit mäßiger Ausmitte.

Gemeinsam waren allen Stützen:

- a) Die Stützenlänge (Abstand der Scheitellinien der Kipplager):
L = 5,45 m (außer VS3: L = 5,55 m),
- b) das Stützenprofil: HE 1000 AA,
- c) die Bewehrung: Betonstahl BST 500 S (s. Bild 2)
- d) die Verbindung Steg/Beton mit Kopfbolzendübeln $\varnothing 22/110$
e = 50 cm



(Profilabmessungen = Nennmaße)

Bild 2: Querschnitt durch eine Stütze

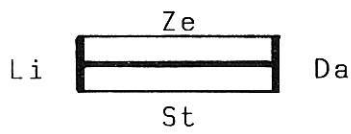
e) die Werkstoffkennwerte des Stahls:

- Bewehrung: BSt 500 S
- Kopfbolzendübel: St 37-3
- Profilstahl: St 37-2

Die Abmessungen der einzelnen Stützen und ihre Lasteinleitungs-konstruktionen sind in den Bildern 3 bis 8 dargestellt.

Hinweis:

Den BAM-internen Gepflogenheiten entsprechend werden die Probe-körperseitenflächen wie folgt bezeichnet.



Ze ... Richtung Zehlendorf
St ... Richtung Steglitz
Da ... Richtung Dahlem
Li ... Richtung Lichterfelde

2.2.1 Verbundstütze VS1

Beanspruchung: Biegung um die starke Achse
geringe Ausmitte ($e = 80 \text{ mm}$)

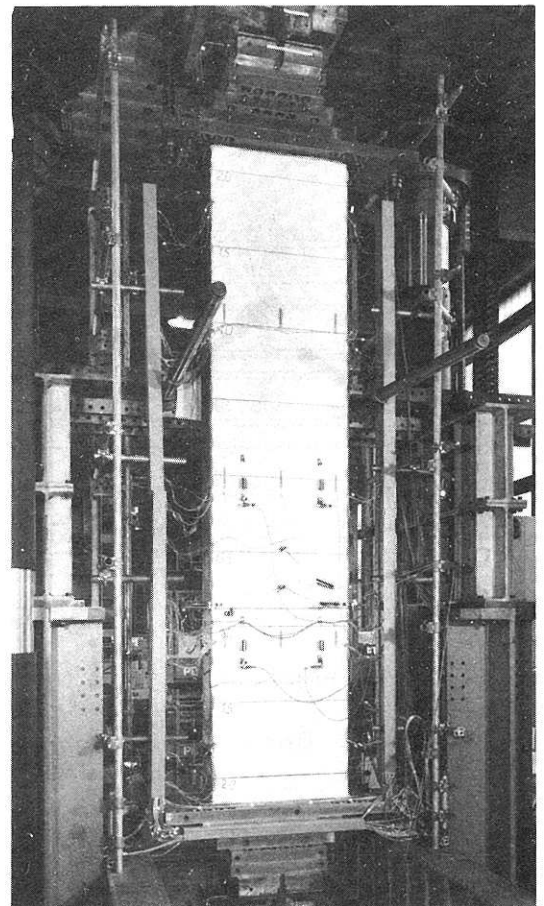
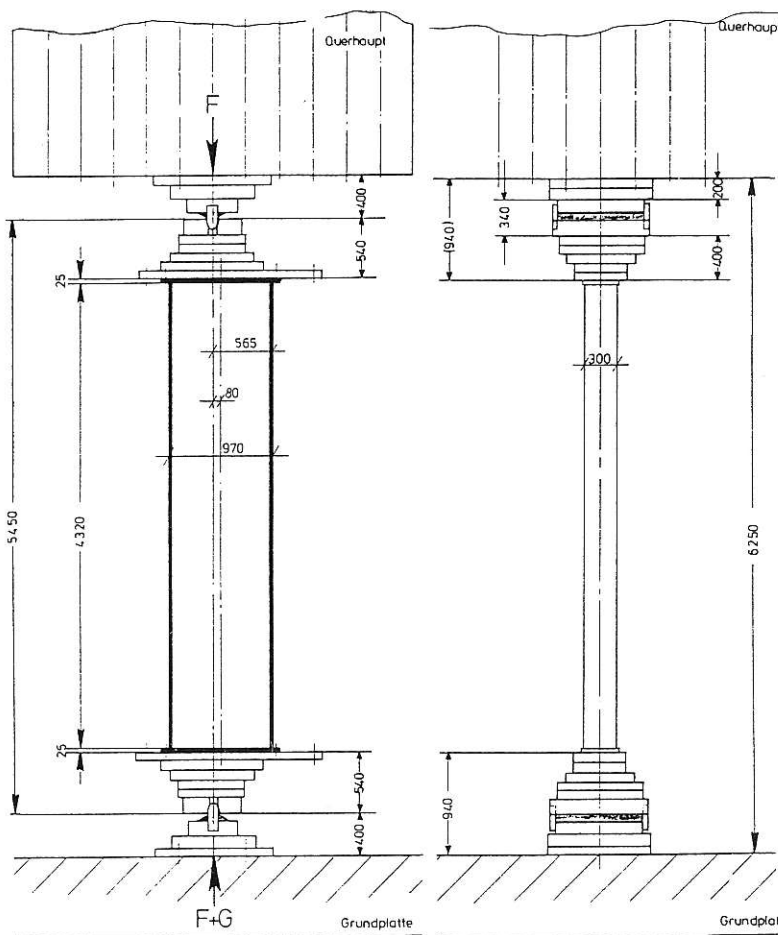


Bild 3: Stützenabmessungen in mm und Lageraufbau VS1

Bild 4: Verbundstütze VS1, Seite St

2.2.2 Verbundstütze VS2

Beanspruchung: Biegung um die schwache Achse
geringe Ausmitte (ca. 3 cm)

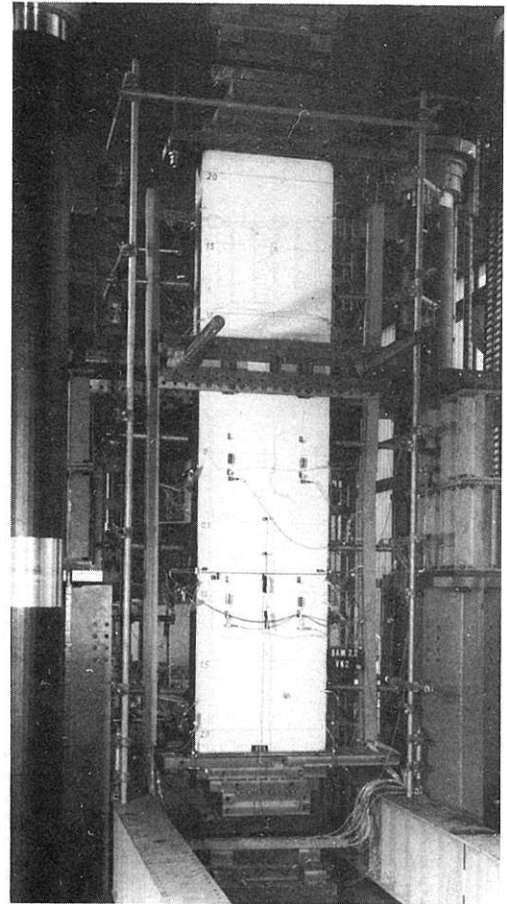
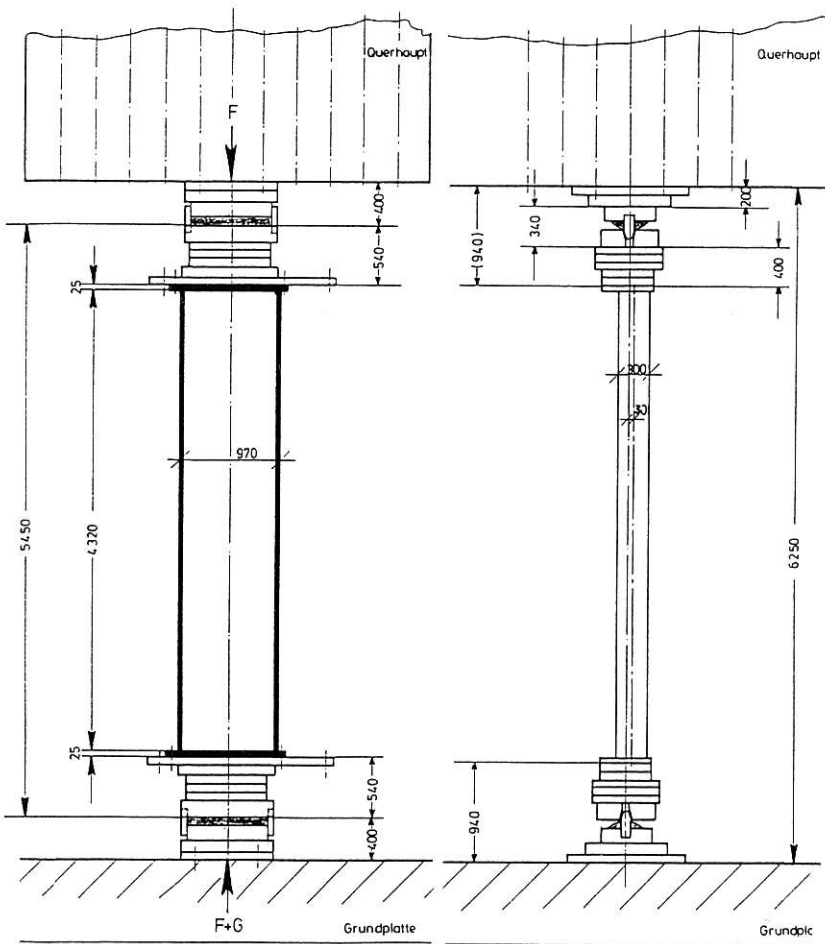


Bild 5: Stützenabmessungen in mm und Lageraufbau VS2

Bild 6: Verbundstütze VS2, Seite St

2.2.3 Verbundstütze VS3

Beanspruchung: Biegung um die starke Achse
große Ausmitte ($e = 825 \text{ mm}$)

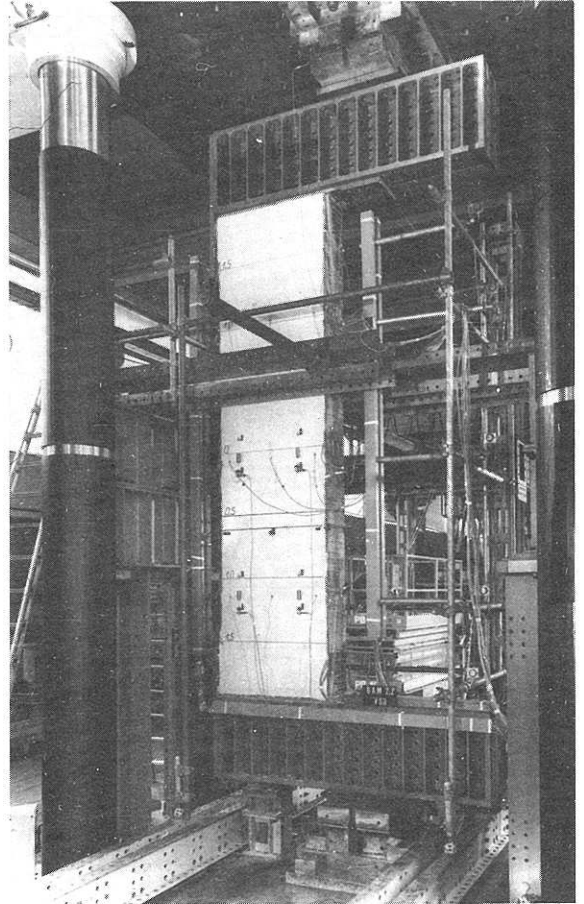
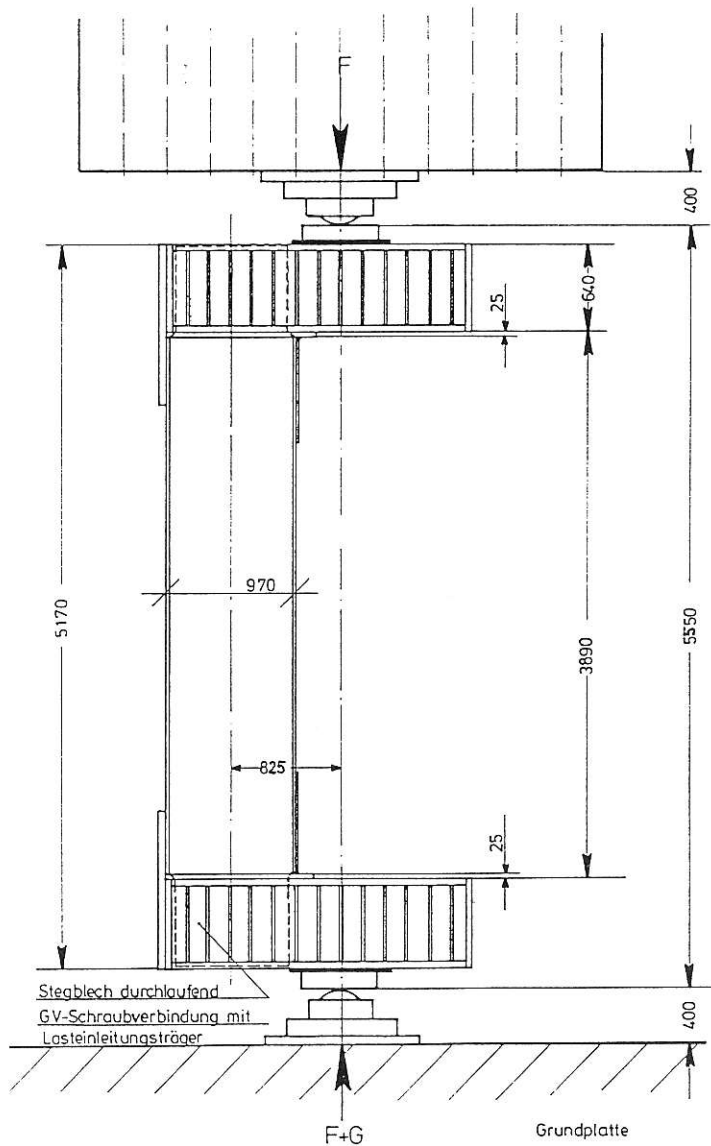


Bild 7: Stützenabmessungen in mm und Lasteinleitungsträger VS3

Bild 8: Verbundstütze VS3, Seite St

Wie auch in Bild 8 zu sehen ist, ließ sich die vorgesehene Ausmitte der Stütze nicht mehr durch eine einfache exzentrische Lageranordnung realisieren. Es war vielmehr nötig, die Kräfte durch angeschraubte Kragarme einzuleiten. Die Zuggurtkräfte wurden durch 2 am Profilstahl angeschweißte Laschen in die Kragarmstirnseite über eine Schraubverbindung in die Kragträger eingeleitet. Der durchlaufende Steg ist mit HV-Schrauben an 2 U-Träger angeschlossen worden.

Da bei VS1 ein Versagen im Lasteinleitungsbereich aufgetreten war, sollten zusätzlich aufgeschweißte Bleche die Druckzone im Kopfplattenbereich gezielt verstärken. Die Ausbildung des Kopf- bzw. Fußpunktes ist im folgenden Bild 9 gut zu erkennen.

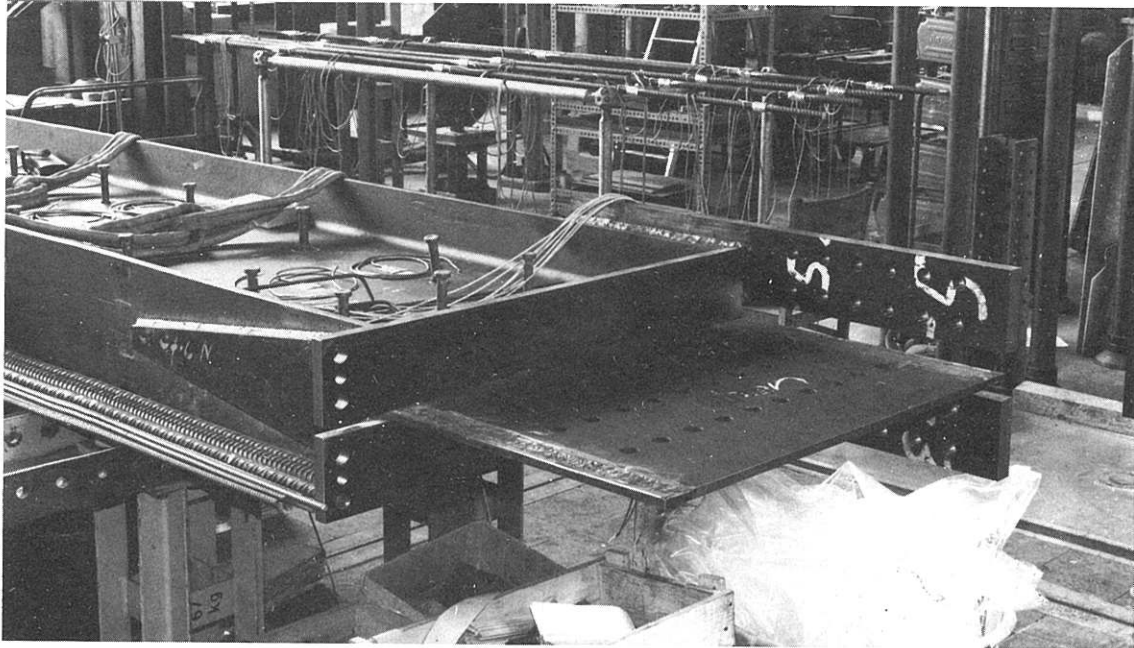


Bild 9: Kopfpunkt der Stütze VS3, Seite St/Da

2.2.4 Verbundstütze VS4

Beanspruchung: Biegung um die starke Achse
mäßige Ausmitte ($e = 160 \text{ mm}$)

Die Stützen VS3 und VS4 wurden erst betoniert, nachdem VS1 und VS2 geprüft waren. Somit flossen einzelne Ergebnisse der ersten Versuche in die Ausbildung der Probekörper VS3 und VS4 ein. Wie bereits erwähnt, versagte VS1 im Bereich der Lasteinleitung. Ein solches Versagen war nicht erwünscht, da es der Zielsetzung und Aufgabenstellung zuwider lief. Daher wurde auch VS4 im Kopf- bzw. Fußpunktbereich verstärkt. Dies geschah durch eine Querschnittsvergrößerung: Gurte wurden beidseitig um 9 cm verbreitert und damit die Betonkammer in den Stützenendbereichen entsprechend vergrößert (siehe Bild 10). Die übrigen Abmessungen entsprechen denen der Stütze VS1. Die Lastausmitte wurde jedoch auf 160 mm festgelegt.

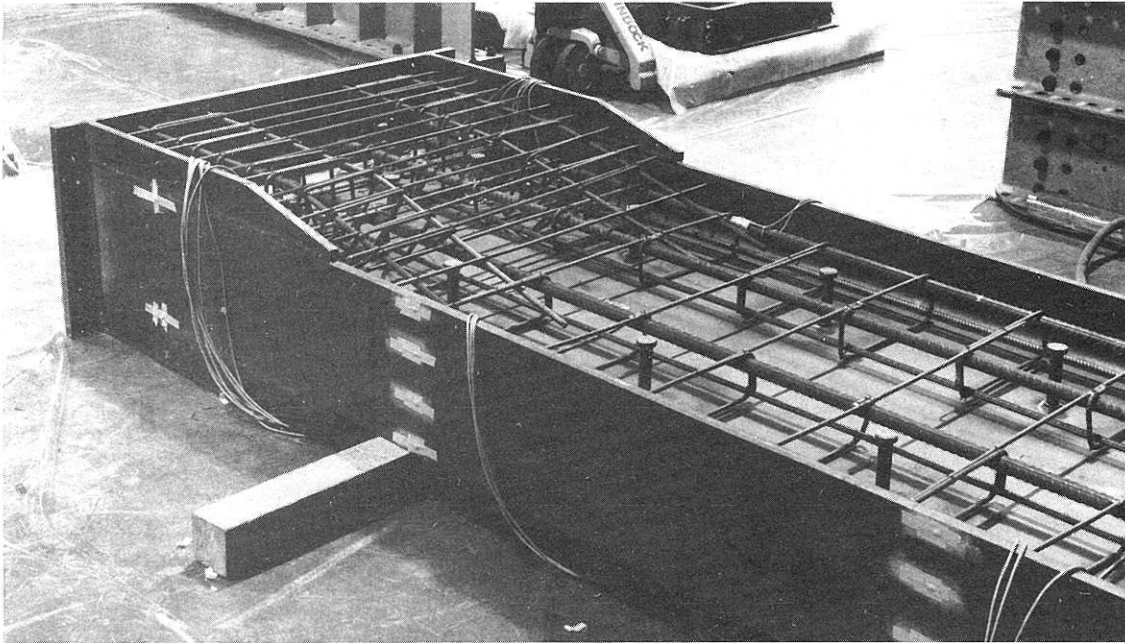


Bild 10: Verstärkung von VS4 im Lasteinleitungsbereich

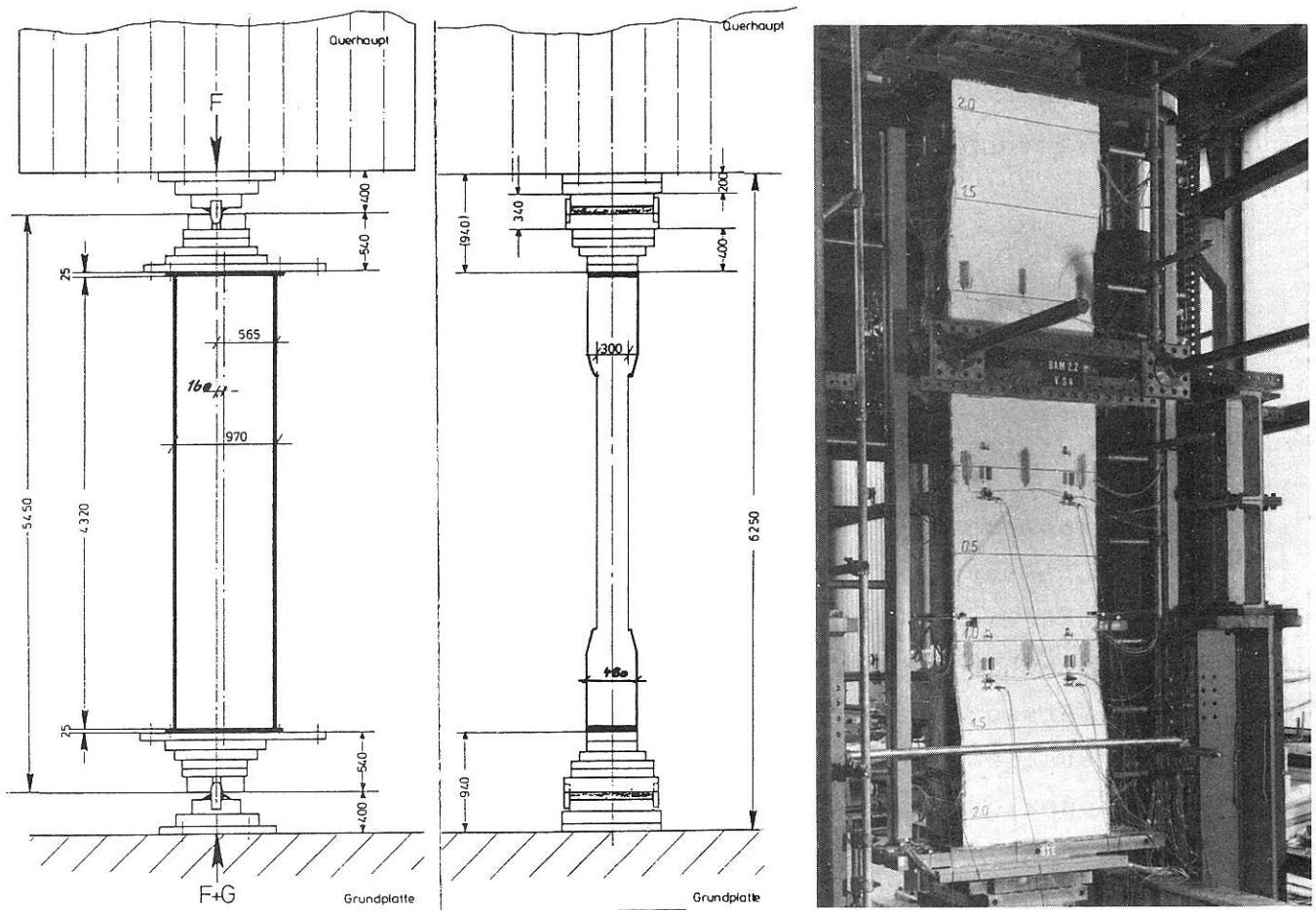


Bild 11: VS4 - Stützenabmessungen und Foto der eingebauten Stütze vor Versuchsbeginn

3. Materialuntersuchungen

3.1 Untersuchungsprogramm

Folgende Materialeigenschaften wurden bestimmt:

- a) Stahl: Die Spannungs-Dehnungslinien der verwendeten Betonstähle und des Profilstahles
- b) Beton: Die Würfeldruckfestigkeiten, die Biegezugfestigkeiten und die Spannungs-Dehnungslinien

3.2 Werkstoffuntersuchungen am Betonstahl

Die Festigkeit des Betonstahls wurde gemäß DIN 488 an Zugproben mit einer freien Dehnlänge von $20 \cdot d_s$ ermittelt. Je Durchmesser wurden 5 Probestäbe, die zuvor von jeweils unterschiedlichen Bewehrungsstäben abgeschnitten worden waren, bis zum Bruch gezogen.

Es handelt sich um einen Tempcore-Stahl BSt 500 S, hergestellt lt. Kennzeichnung von der Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianhütte mbH, Maxhütte.

Die Tabelle 1 beinhaltet die nach DIN 488 berechneten Mittelwerte der Stabquerschnitte für die einzelnen Durchmesser.

\varnothing	d_s	A_s
	mm	mm ²
8	8,025	50,6
12	11,922	111,6
25	25,092	494,2

Tabelle 1:
Gemessene Betonstahlquerschnitte

Zur Erfassung der Stahldehnung diente ein elektrischer Wegaufnehmer, Bauart INSTRON, mit einer Meßbasis von 50 mm. Dieser erfaßte die Dehnungen bis zum Ende des Fließbereichs ($\dot{\epsilon}$ = Dehngeschwindigkeit = 0,5 %/min). Die darüber hinausgehenden Dehnungen wurden aus dem Kolbenweg der Prüfmaschine ermittelt (\dot{w} = Weggeschwindigkeit $\hat{=} \dot{\epsilon} = 20$ %/min). Die Kolbenkraft und der Kolbenweg sowie die gemessene Dehnung wurden in einem 1-Sekunden-Takt elektronisch gemessen und abgespeichert. Tabelle 2 gibt die festgestellten Mittelwerte der Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung für die einzelnen Durchmesser wieder.

	∅ 8	∅ 12	∅ 25
Streckgrenze β_S [N/mm ²]	559,5	550,0	611,2
Zugfestigkeit β_Z [N/mm ²]	639,7	665,1	726,0
Bruchdehnung ϵ^U [%]	12,1	14,6	14,0

Tabelle 2:

Ergebnisse der Zugversuche an Betonstählen.
Die Einzelergebnisse können den Bildern 1a bis 1c entnommen werden.

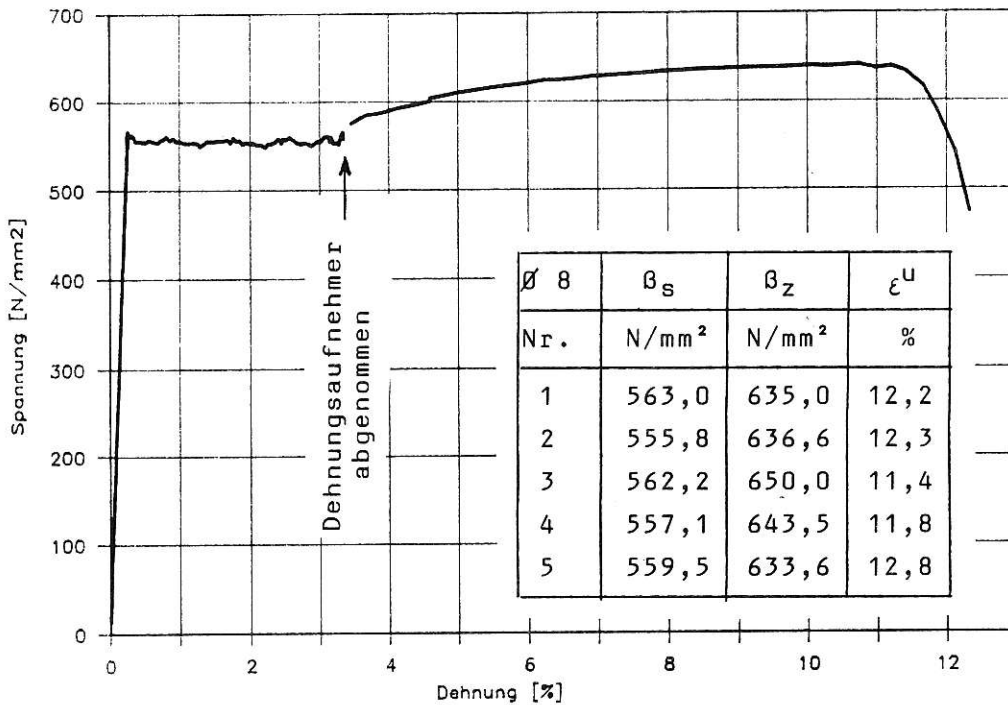


Bild 11: Kennwerte des Betonstahls ∅ 8 mm

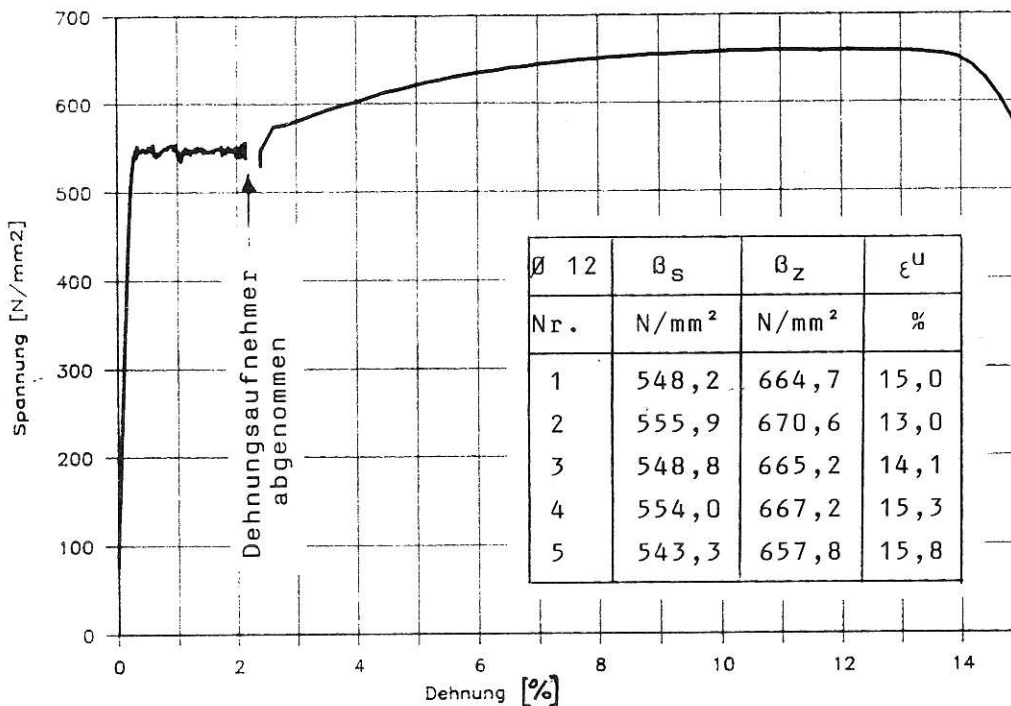


Bild 12: Kennwerte des Betonstahls ∅ 12 mm

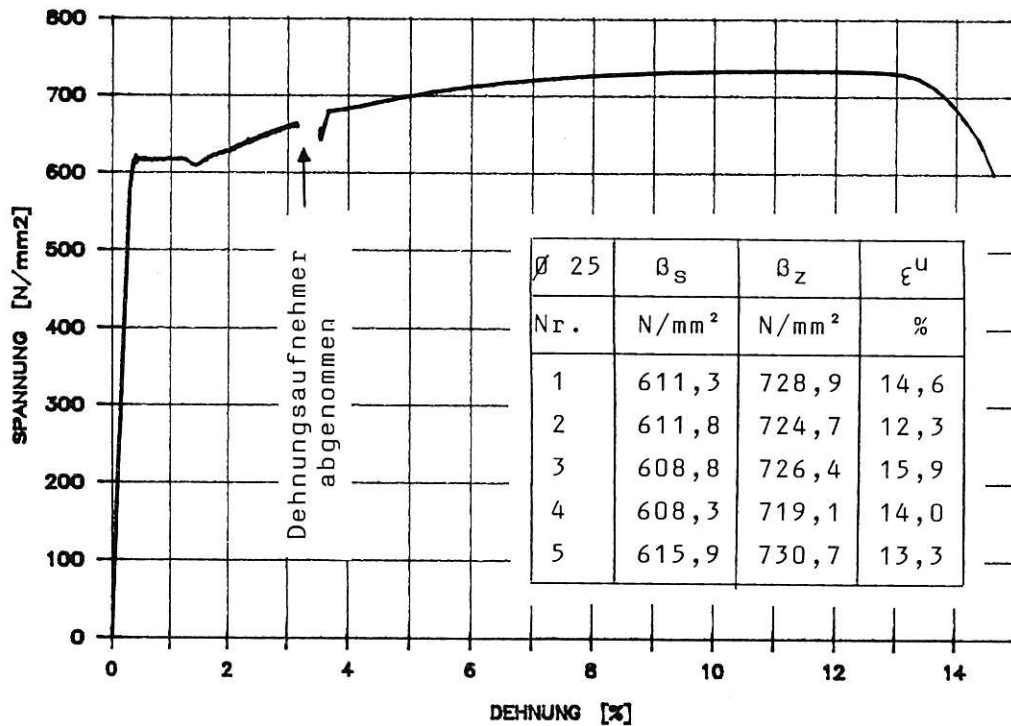


Bild 13: Kennwerte des Betonstahls Ø 25 mm

3.3 Werkstoffuntersuchungen am Profilstahl

Die vier Stahlprofile (HE 1000 AA, St 37-2, Stahlwerk Differdange) stammen aus einer Fertigungscharge. Sie wurden von der Fa. ARBED-Recherches, Luxemburg, zur Verfügung gestellt. Zur Bestimmung der Materialfestigkeiten war ein 50 cm langes Profilstück mitgeliefert worden. Aus diesem Abschnitt wurden insgesamt 7 Zugproben entnommen, vier aus den Gurten und drei aus dem Steg.

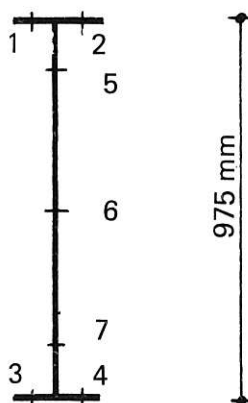


Bild 14:
Numierung der Entnahmestellen
für die Zugproben

Die Abmessungen der Zugproben sind gemäß DIN 50 125 (kurzer Proportionalstab) festgelegt worden. Die Geometrie der einzelnen Probestäbe läßt sich aus Bild 15 entnehmen. Auffällig sind die unterschiedlichen Flanschkicken.

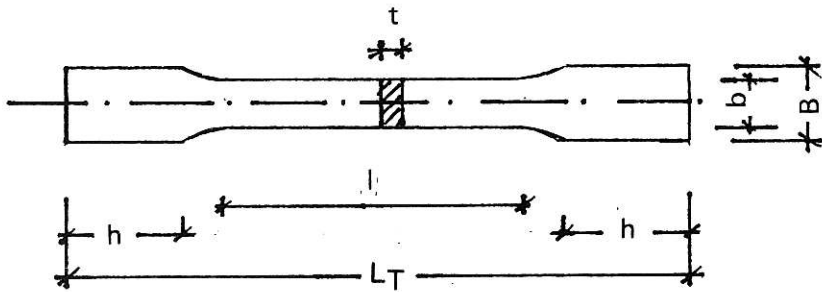


Bild 15:
Form und Abmessungen
der Zugproben

Ort	1	2	3	4	5	6	7
L_T [mm]	371	371	371	371	331	330	331
B [mm]	50,0	50,2	50,2	50,0	40,0	40,0	40,0
h [mm]	66,4	66,4	65,4	66,0	67,1	66,1	66,2
l [mm]	200,0	200,0	200,0	200,0	160,0	160,0	160,0
b [mm]	40,03	40,01	40,02	40,07	30,02	30,01	30,01
t [mm]	22,98	21,13	21,34	21,47	17,30	17,10	17,06

Die Zugversuche wurden in der Kleinprüfmaschine (KPM) der Fachgruppe 2.2 der BAM weggeregelt durchgeführt, wobei die eingestellten Versuchsgeschwindigkeiten in Übereinstimmung mit DIN 50 145 wie folgt gewählt wurden:

bis zum Erreichen der oberen Streckgrenze: $\dot{\epsilon} = 0,25 \text{ \%}/\text{min}$
 bis zum Ende des Fließbereiches: $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ \%}/\text{min}$
 bis zum Bruch: $\dot{\omega} = \dot{\epsilon} = 25 \text{ \%}/\text{min}$

Die Weggeschwindigkeit war so eingestellt worden, daß die oben angegebenen Dehngeschwindigkeiten $\dot{\epsilon}$ eingehalten wurden. Zur Messung der Dehnung wurde ein elektrischer Wegaufnehmer, Bauart INSTRON, mit einer Basis von 50 mm verwendet, der nach dem Überschreiten des Fließbereichs von der Probe abgenommen wurde. Die weiteren Dehnungen mußten aus dem Kolbenweg ermittelt werden. Auch bei diesen Untersuchungen erfolgten die Messung und Abspeicherung der gemessenen Werte (Kolbenkraft, -weg und Dehnung) in einem Abstand von jeweils einer Sekunde.

Die gemittelten Ergebnisse der Stahlzugproben sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Darin bedeuten:

β_{So} obere Streckgrenze
 β_{mi} mittlere Spannung im Fließbereich
 β_{Su} untere Streckgrenze
 β_B Zugfestigkeit
 ϵ^u Bruchdehnung

Probe Kennwert	1	2	3	4	5	6	7	Mittel
β_{So} [N/mm ²]	268	281	290	282	286	328	294	289,9
β_{mi} [N/mm ²]	260	270	270	276	272	308	282	276,9
β_{Su} [N/mm ²]	251	263	262	272	262	300	275	269,3
β_B [N/mm ²]	420	425	429	434	416	431	423	425,4
ϵ^u [%]	32,5	32,6	28,4	31,2	30,9	28,9	28,5	30,4

Tabelle 3: Ergebnisse der Zugversuche am Profilstahl

Die gemessenen Spannungs-Dehnungslinien der Zugproben aus den Flanschen und dem Steg sind in Bild 16 und Bild 17 dargestellt.

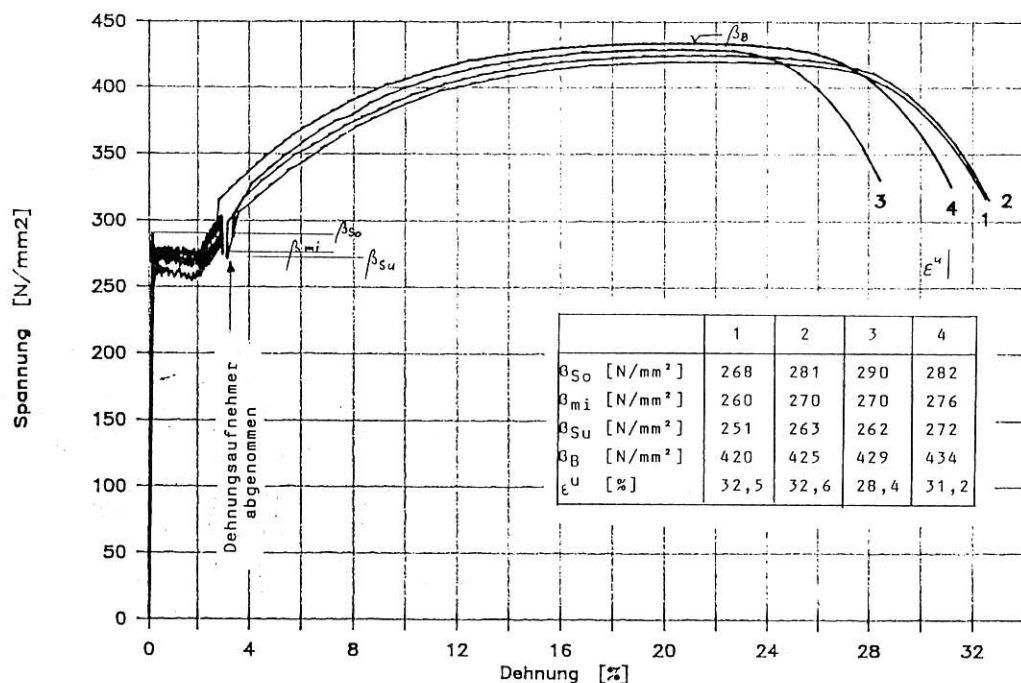


Bild 16: Spannungs-Dehnungslinien der Zugproben aus den Gurten

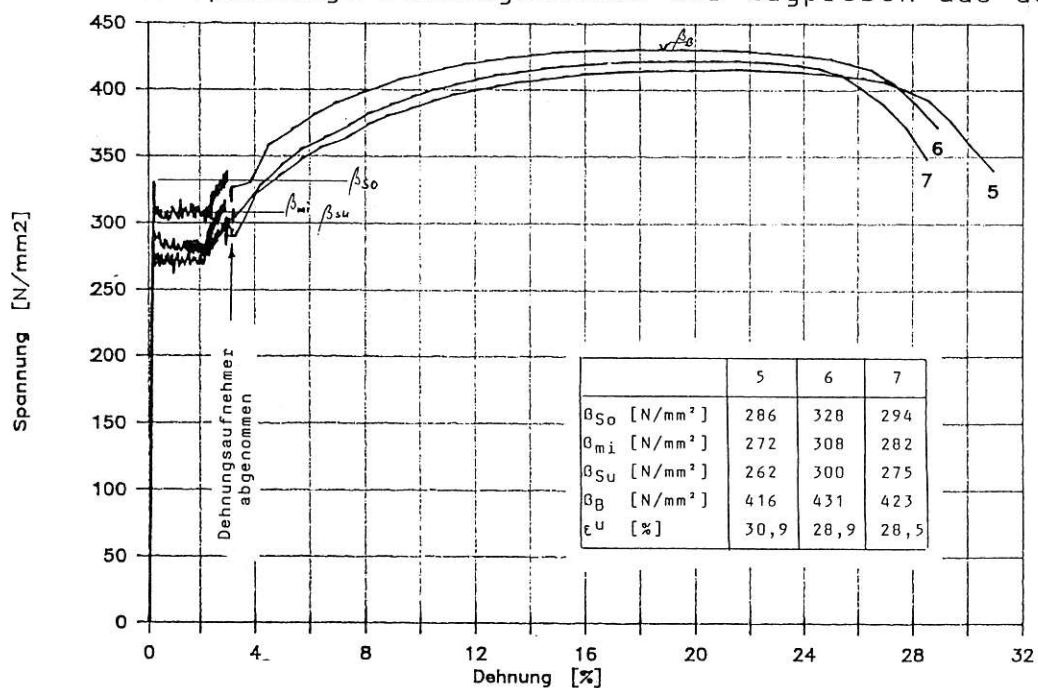


Bild 17: Spannungs-Dehnungslinien der Zugproben aus dem Steg

3.4 Werkstoffuntersuchungen am Beton

Angestrebt wurde ein Beton mit einer mittleren Druckfestigkeit von etwa 40 N/mm². Um die Verdichtungsarbeit zu minimieren und eine Beschädigung der eingebauten Dehnungsmeßstreifen zu vermeiden, wurde ein Fließbeton mit 8 mm Größtkorn gewählt. Dieser bestand für VS1 und VS2 pro m³ aus:

Zuschläge:	0/1 ... 175 kg	} Sieblinienbereich AB 8
	0/2 ... 625 kg	
	2/8 ... 975 kg	
Zement:	PZ 45 F... 350 kg	} W/Z = 0,55
Wasser:	193 kg	
Zusatzmittel:	Sica FF 3,5 l/m ³ (Fließmittel)	

Aufgrund von technischen Problemen beim Betrieb der Großprüfmaschine mußte der Versuchstermin der ersten zwei Stützen mehrfach verschoben werden. Am endgültigen Prüftermin waren die Probekörper bereits über 5 Monate alt und die Druckfestigkeit entsprechend (ca. 20 %) höher als geplant. Dieser Festigkeitszuwachs wurde durch einen erhöhten Zementgehalt von 370 kg/m³ bei VS3 und VS4 weitgehend ausgeglichen.

Der Beton wurde von der Fa. Lieferbeton GmbH & Co KG hergestellt und angeliefert.

Folgende Werte wurden bestimmt:

- β_{W28} ... 28-Tage-Würfeldruckfestigkeit bei Lagerung nach DIN 1048 an Würfeln der Größe 15 x 15 x 15 cm
 - β_W ... Würfeldruckfestigkeit am Tage des Versuchs
 - β_{BZ} ... Biegezugfestigkeit zum Versuchszeitpunkt an Prismen der Größe 15 x 15 x 70 cm
 - E ... Elastizitätsmodul aus der Spannungs-Dehnungs-Linie zum Versuchszeitpunkt an Prismen der Größe 15 x 15 x 45 cm
- Die Probekörper zu b), c) und d) wurden wie die Versuchskörper selbst gelagert (6 Tage abgedeckt, dann in der Prüfhalle bei ca. 20 °C und 50 % rel. Luftfeuchte).
- Die Frischbetonrohddichte

In Tabelle 4 sind die ermittelten Werkstoffkennwerte zusammengestellt.

Tabelle 4: Kennwerte des Betons

	VS 1		VS 2		VS 3		VS 4	
	Ze	Ste	Ze	Ste	Ze	Ste	Ze	Ste
betoniert am	4.8.88	10.8.88	4.8.88	10.8.88	6.4.89	11.4.89	9.3.89	14.3.89
β_w^{28} 1 [N/mm ²]	43.5	45.6			53.8	49.8	59.7	53.1
2	45.7	46.4	wie VS1		49.9	53.1	55.3	50.9
3	43.5	46.0			52.4	51.1	56.0	55.0
im Mittel ¹⁾	44.2	46.0	wie VS1		52.0	51.3	57.0	53.0
umger. 20cm Wü.	42.0	43.7	wie VS1		49.4	48.8	54.2	50.4
geprüft am	2.3.89		24.1.89		13.6.89		19.4.89	
β_w 1 [N/mm ²]	52.2	55.4	50.8	55.1	56.5	53.5	60.0	52.9
2	54.3	54.8	53.4	54.8	55.4	54.3	59.5	54.9
3	54.0	54.5	51.6	54.9	56.4	51.4	59.4	52.0
im Mittel	53.5	54.9	51.9	54.9	56.1	53.1	59.6	53.1
umger. 20cm Wü.	50.8	52.2	49.3	52.2	53.3	50.5	56.6	50.5
β_P 1 [N/mm ²]	43.3	44.7	45.4	44.7	43.0	45.5	43.8	39.6
2	43.0	42.6	44.1	45.0	42.7	44.3	43.9	40.6
3	43.7	44.3	41.1	46.3	42.8	44.8	44.1	41.2
im Mittel	43.3	43.9	43.5	45.3	42.8	44.8	43.9	40.5
E-Mod. [N/mm ²]	30900	30400	30600	30700	30200	30500	30000	30400
β_{Bz} 1 [N/mm ²]	3.4	3.8	4.0	3.8	Bei VS3 und VS4 nicht geprüft			
2	3.4	3.3	3.7	3.6				
3	3.4	3.9	3.4	4.0				
im Mittel	3.4	3.7	3.7	3.8				
Rohdichte (28)	2.29	2.31	2.29	2.31	2.36	2.34	2.29	2.28
Versuchsdatum:	16.2.89		12.1.89		12.6.89		20.4.89	

¹⁾ ... Die Betondruckfestigkeiten wurden an Würfeln mit 15 cm Kantenlänge gemessen; bezogen auf eine Kantenlänge von 20 cm (DIN 1045) ergeben sich 5% geringere Druckfestigkeiten.

4. Versuchseinrichtung und Probekörperherstellung

4.1 Großprüfmaschine der BAM

Für die Durchführung der Belastungsversuche stand eine 25 MN-Prüfmaschine zur Verfügung. Es handelte sich hierbei um eine Vier-Säulen-Druck-Zugmaschine mit im oberen Querhaupt integrierten 6,3 MN servo-hydraulischen Prüfzylindern. Die Grundrißabmessungen von Maschinengrundplatte und oberem Querhaupt betragen 7,16 m x 3,90 m bzw. 4,85 m x 3,85 m mit einer lichten Weite zwischen den Säulen von 3,0 m x 2,0 m. Das obere Querhaupt ist mit den Säulen in der Höhe verfahrbar, wobei die Klemmung der Prüfmaschinensäulen in der Grundplatte erfolgt. Die maximale Prüfraumhöhe beträgt 7,0 m, die kleinste bei voll eingefahrenen Säulen 1,60 m. Sowohl oberes Querhaupt als auch die Grundplatte sind mit Durchgangsbohrungen im Raster 32 cm x 32 cm versehen, so daß Lagerteile, Abfangeinrichtungen u. ä. leicht befestigt werden können. Die Lastaufbringung auf den Probekörper kann sowohl kraft- als auch weggeregelt erfolgen. Eine periodische Beanspruchung von Proben bis zu ca. 2 Hz ist ebenfalls möglich. Eine Abbildung der Prüfmaschine ist auf Seite I des Bericht gegeben.

4.2 Bestimmung der Anfangsexzentrizitäten und der zu erwartenden Stützenverformungen

Um das im Versuch angestrebte Verhältnis der Bruchschnittgrößen M/N erreichen zu können, müssen in Abhängigkeit von den vorhandenen Werkstoffkenngrößen vor dem Einbau der Probekörper in die Prüfmaschine die von den Bruchschnittgrößen abhängenden Anfangsausmitten ermittelt werden. Da die tatsächliche Betonfestigkeit erst unmittelbar vor Versuchsbeginn festgestellt werden kann, müssen die Bruchschnittgrößen vorgeschätzt werden.

Vorgegeben wird die im Bruchzustand in Stützenmitte zu erreichende Lastausmitte e [cm].

$$VS1: e/d \approx 8/97^5$$

$$VS2: e/d \approx 8/30$$

$$VS3: e/d \approx 80/97^5$$

$$VS4: e/d \approx 16/97^5$$

Ausgehend von den Spannungs-Dehnungs-Beziehungen der DIN 1045 für Beton (Parabel-Rechteck) mit einer Rechenfestigkeit von $\beta_R = 38,25 \text{ MN/m}^2$ und einem bilinearen Spannungs-Dehnungs-Verhalten

von Stahl mit einer Streckgrenze von $\beta_{s,a} = 277 \text{ N/mm}^2$ und $\beta_{s,s} = 611 \text{ N/mm}^2$ für das Profil bzw. den Betonstahl können Interaktionsdiagramme für das Moment und die Normalkraft aufgestellt werden, wobei die Dehnung des Betondruckrandes zu $-3,5 \text{ ‰} = \text{grenz } \epsilon$ gesetzt wird. Diese sind für die Biegung um die starke und schwache Achse in den Bildern 18 und 19 dargestellt.

Ferner ist es möglich, zu einer vorgegebenen Normalkraft die Momenten-Krümmungs-Linien darzustellen, mit deren Hilfe eine Aussage zur Größenordnung der Stützenverformungen getroffen werden kann. An der Stelle des Maximalwerts der Krümmung beträgt die Betonrandstauchung $3,5 \text{ ‰}$. Diese im folgenden als "Grenzkrümmung" bezeichnete Größe läßt sich ebenfalls grafisch darstellen, und zwar sowohl in Abhängigkeit von dem Moment als auch von der Normalkraft.

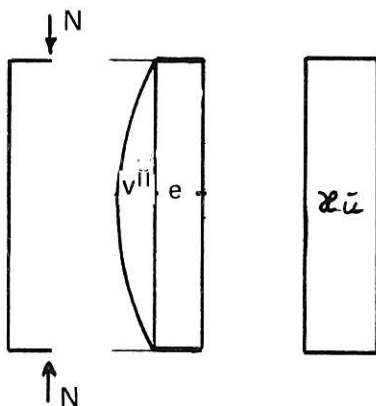
Zwei rechnerische Durchbiegungswerte sollen bestimmt werden:

- 1) Ein oberer Grenzwert für die Durchbiegung. Dieser ist erforderlich, um die Meßwertgeber entsprechend zu wählen.
- 2) Ein wahrscheinlicher (möglicher) Durchbiegungswert. Dieser dient zur Festlegung der Anfangsexzentrizität am Lager.

Für beide wurden Verfahren verwendet, die aus dem Stahlbetonbau (Heft 220 des DAfStb) [7] bekannt sind.

1) Oberer Grenzwert

Es wird angenommen, die Krümmung der gesamten Stütze entspräche der Grenzkrümmung κ_u . Damit läßt sich die Verformung in Stützenmitte angeben zu:



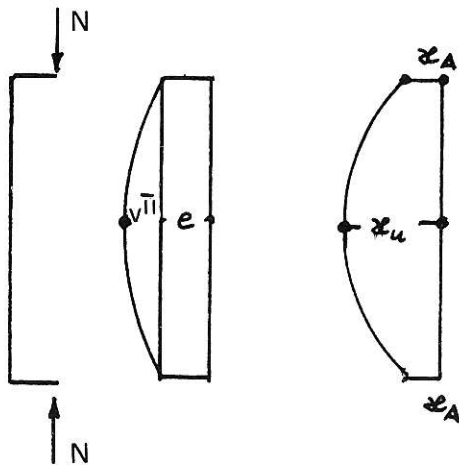
$$v_u^{II} = \frac{1}{8} \cdot \kappa_u \cdot s^2 = \max v^{II}$$

vgl. [7], Bild 4.3.13,
letzte Zeile

¹ Mittelwerte aus den Stahl-Zugversuchen

2) Zu erwartende Verformung

Am Auflager betrage die Krümmung als Folge der Ausmittigkeit der Last α_A . Der Krümmungsverlauf wird über die Stützhöhe durch eine Parabel angenähert, deren Maximalwert in Stützenmitte der Bruchkrümmung α_U entspricht. Damit ergibt sich:



$$v^{II} = \left(\frac{1}{48} \alpha_A + \frac{1}{10} \alpha_U \right) \cdot s^2$$

oder bei angenommener sinusförmiger Krümmungsfigur:

$$v^{II} = \left(\frac{1}{40} \alpha_s + \frac{1}{10} \alpha_U \right) \cdot s^2$$

Berechnung der Stützen VS1, VS2, VS3 und VS4

1) VS1 (Biegung um die starke Achse; geringe Ausmitte)

$$N_U \text{ geschätzt} = -16\,500 \text{ kN} \quad \alpha_U = 3,15 \cdot 10^{-3}$$

$$v^{II} (\text{max.}) = 1/8 \alpha_U \cdot s^2 = 3,15 \cdot 10^{-3} \cdot 5,45^2 / 8 = 1,17 \text{ cm}$$

$$e_A = 8 \text{ cm} \quad v^{II} = e_A + v^{II} = 8 + 1,17 = 9,2 \text{ cm}$$

$$M_U^{II} = 0,092 \cdot 16\,500 = 1520 \text{ kNm}$$

16 500/1520 liegt fast auf der Interaktionskurve

Zu erwartende Durchbiegung:

$$M_U = N(v^{II} + e_A) = 16\,500 \cdot 0,09 = M_A + 16\,500 \cdot 5,45^2 \cdot \left(\frac{2,5}{48} + \frac{3,15}{10} \right) \cdot 10^{-3}$$

$$1305 = M_A \quad e_A = 1305 / 16,5 = 7,91 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$

Aus den M- α -Diagrammen ergibt sich für $M = 1305 \text{ kNm}$ etwa eine Krümmung von $2,5 \cdot 10^{-3}$, wie vorgeschätzt

2) VS2 (Biegung um die schwache Achse)

Hier liegt die Anfangsausmitte noch nicht endgültig fest. Der angestrebte Punkt auf der Interaktionskurve beträgt $N = 9,0 \text{ MN}$, $M = 720 \text{ kNm}$. Die Bruchkrümmung ergibt sich für diese Bruchlastkombination zu $18,3 \cdot 10^{-3}$

$$\text{max. Verformung } v^{II} = 1/8 \cdot 18,3 \cdot 10^{-3} \cdot 5,45^2 \approx 6,8 \text{ cm}$$

genauerer Wert:

1. Iterationsschritt: $M_A = 6,03 \cdot 9000 = 270 \text{ kNm}$ $\alpha_A \approx 4,5 \cdot 10^{-3}$

$$M_A = 720 - 9,000 \cdot \left(\frac{1}{48} \cdot 4,5 + \frac{1}{10} \cdot 18,3 \right) \cdot 5,45^2 = 206 \text{ kNm}$$

$$\alpha_A = 3,3 \cdot 10^{-3} \neq 4,5 \cdot 10^{-3}$$

2. Iterationsschritt: $M_A = 720 - 9 \left(\frac{3,3}{48} + \frac{18,3}{10} \right) \cdot 5,45^2 = 212 \text{ kNm}$

$$e_A = 212/9000 = 2,4 \text{ cm! erforderliche Anfangsausmitte}$$

3) VS3 (Biegung um die starke Achse; große Ausmitte)

$$e_A = 80 \text{ cm} \quad N = -5000 \text{ kN} \quad M_A = 4000 \text{ kNm}$$

$$u = 6,5 \cdot 10^{-3} \quad \alpha_A = 4,75 \cdot 10^{-3}$$

$$\max v^{II} = 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5,45^2/8 = 2,41 \text{ cm}$$

$$v^{II} = \left(\frac{4,75}{48} + \frac{6,5}{10} \right) \cdot 5,45^2 = 2,2 \text{ cm}$$

$M_u = (0,80 + 0,022) \cdot 5000 = 4110 \text{ kNm}$ unterhalb der Interaktionskurve \checkmark N wird größer

$$N = -5300 \text{ kN} \quad v^{II} \approx 2,2 \cdot 5,3/5,0 = 2,3 \text{ cm}$$

$$M^{II} = 0,823 \cdot 5300 = 4362 \text{ kNm}$$

$M/N = 4362/-5300$ liegt auf der Interaktionskurve des Biegebruchzustandes

4) VS4 (Biegung um die starke Achse; mäßige Ausmitte)

VS4 ist der Ersatz für VS1, die im Lasteinleitungsbereich versagt hatte. Die Anfangsausmitte wurde auf $2 \cdot e(\text{VS1}) = 160 \text{ mm}$ festgelegt.

$$v^{II}(\max) = 1/8 \cdot \alpha_u \cdot s^2 = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 5,45^2/8 = 13,4 \text{ mm}$$

Die den vorangehenden Berechnungen entsprechenden Diagramme auf den folgenden drei Seiten zeigen

- a) die Interaktion zwischen M und N
- b) die M- α -Beziehungen für unterschiedliche Normalkräfte
- c) den Zusammenhang zwischen der Grenzkrümmung und der Normalkraft sowie dem zugehörigen Biegemoment.

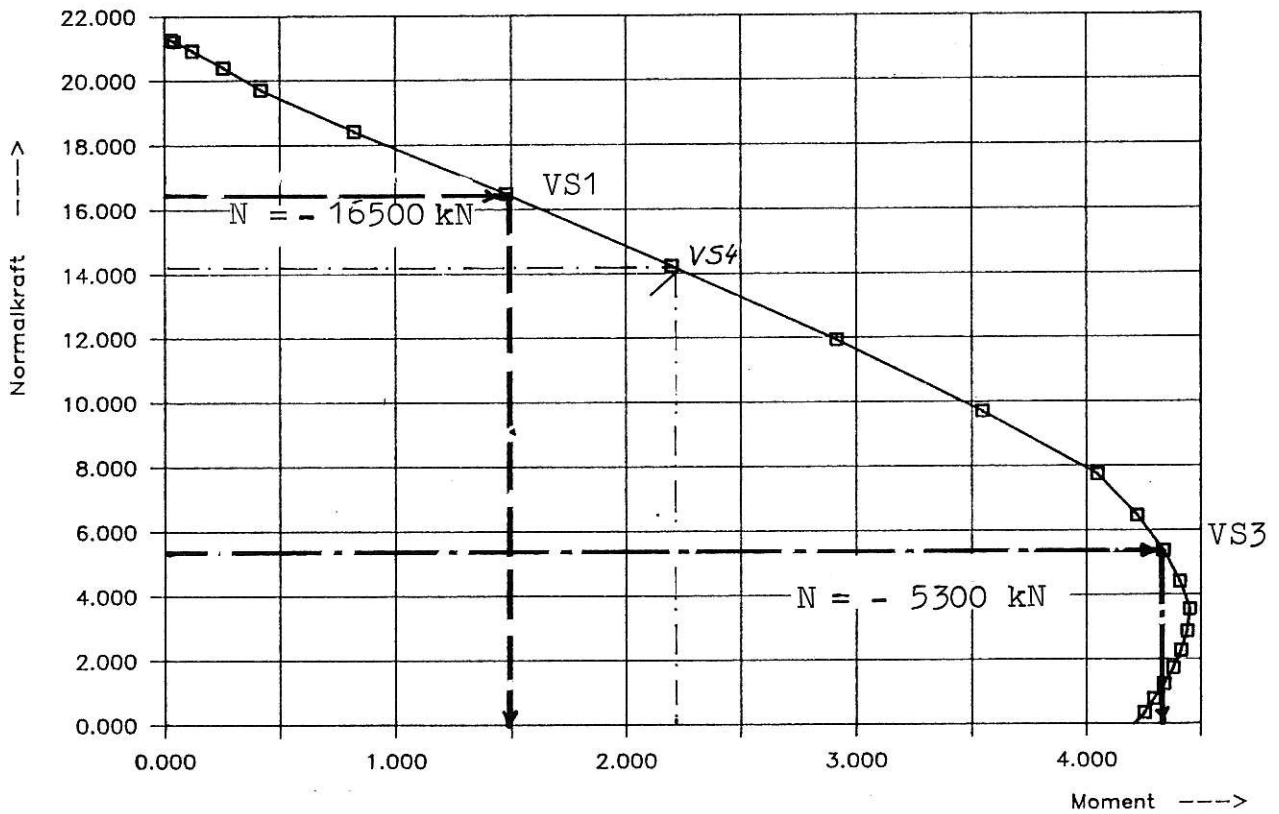


Bild 18: MN-Interaktion, starke Achse
mit $\beta_R = 38,25 \text{ N/mm}^2$; $\beta_{S,a} = 277 \text{ N/mm}^2$; $\beta_{S,s} = 611 \text{ N/mm}^2$
und $\epsilon_b = -3,5 \text{ ‰}$

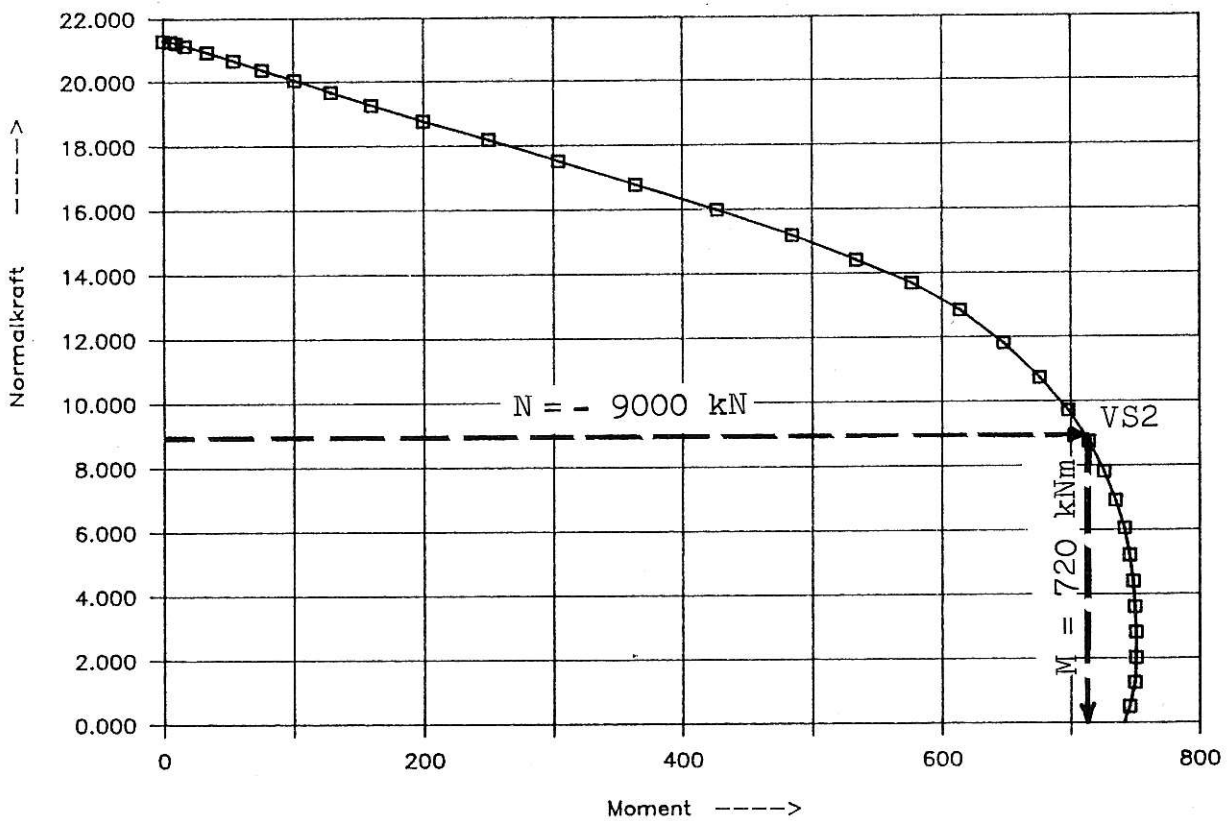


Bild 19: MN-Interaktion, schwache Achse, Eingangswerte wie oben

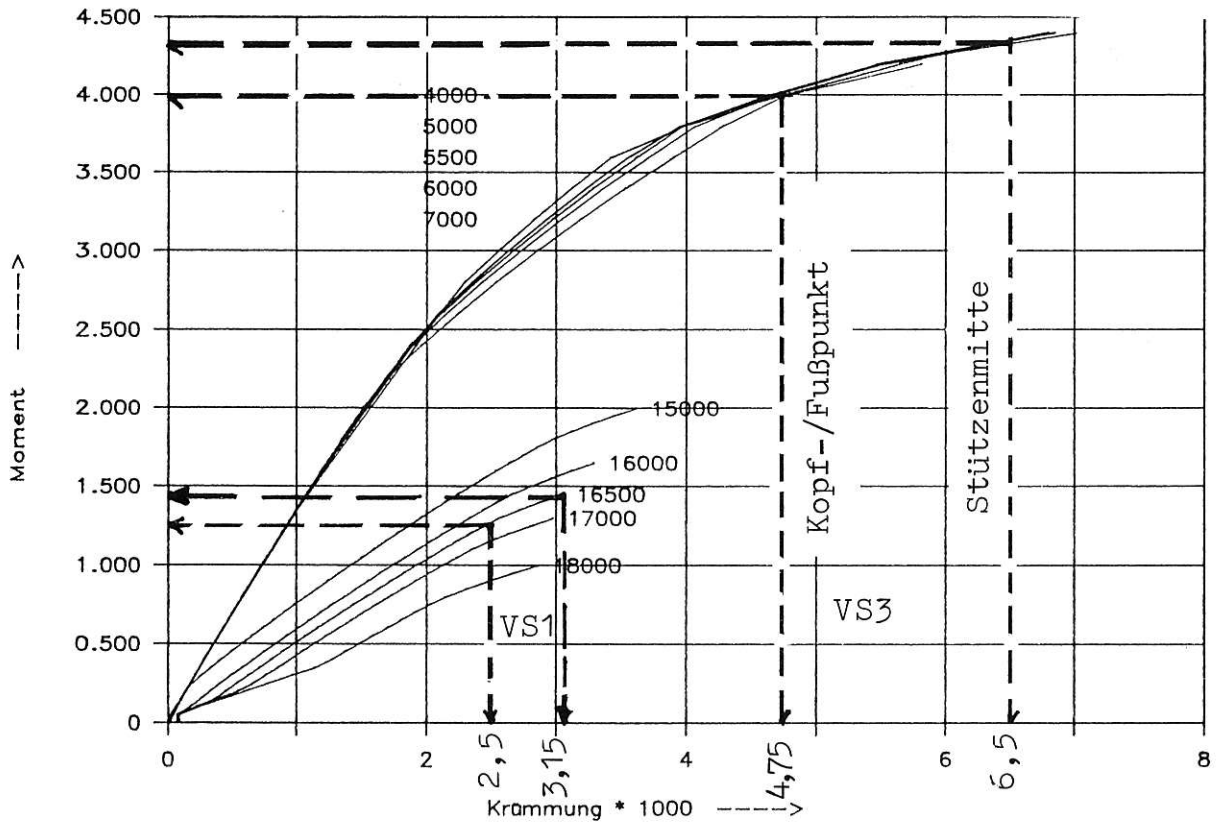


Bild 20: M- ϕ -Interaktion, starke Achse
mit $\beta_R = 38,25 \text{ N/mm}^2$; $\beta_{S,a} = 277 \text{ N/mm}^2$; $\beta_{S,s} = 611 \text{ N/mm}^2$
und $\min \epsilon_b = -3,5 \text{ ‰}$

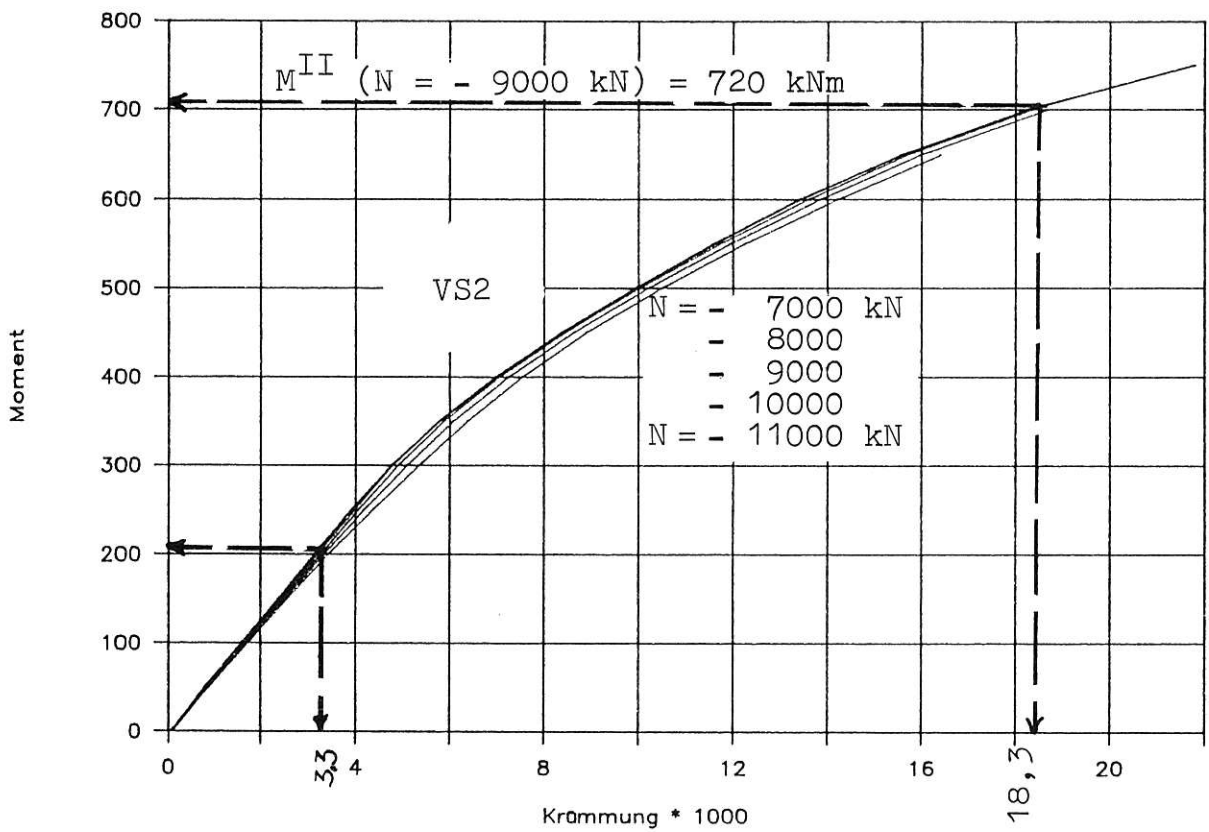


Bild 21: M- ϕ -Verlauf, schwache Achse; Eingangswerte wie oben

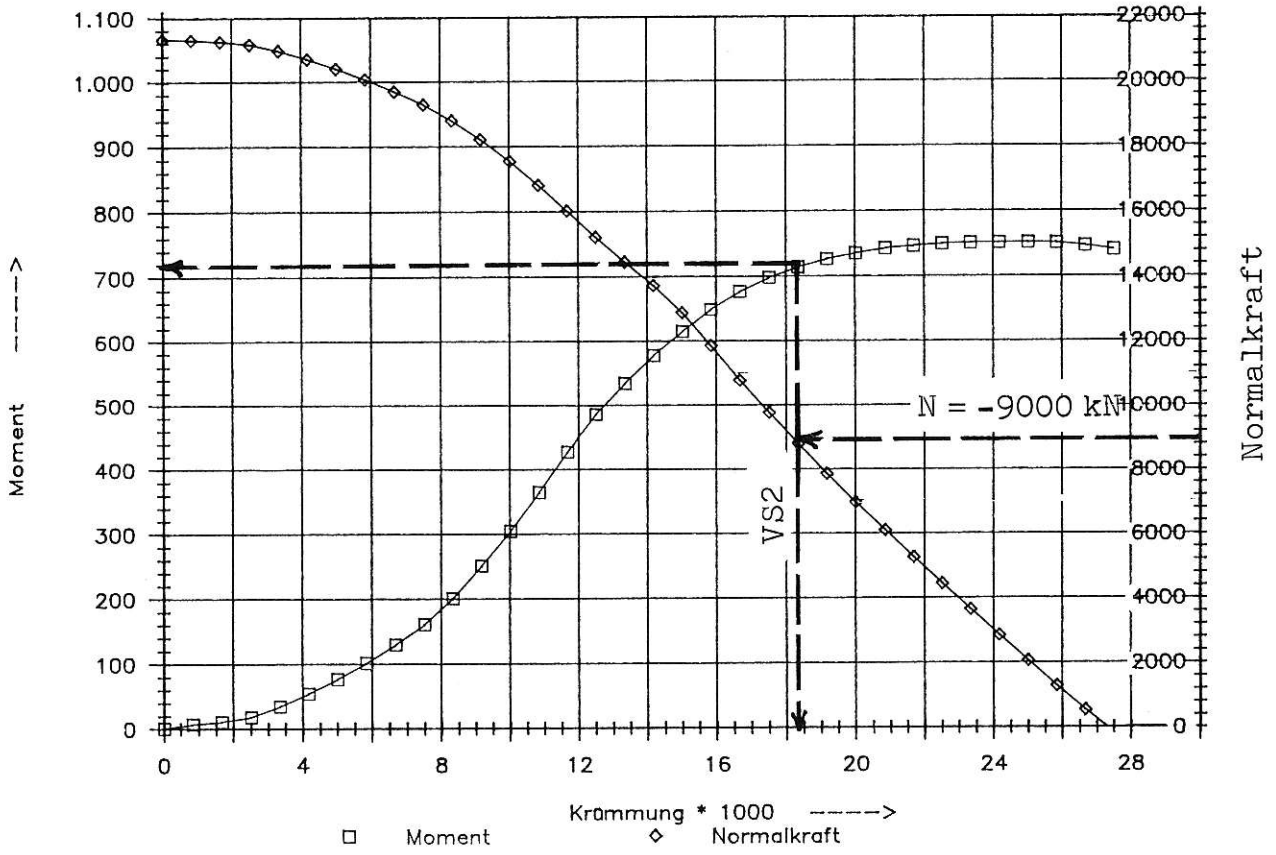


Bild 22: Grenzkrümmung, $\epsilon_b = -3,5 \text{ ‰}$, schwache Achse

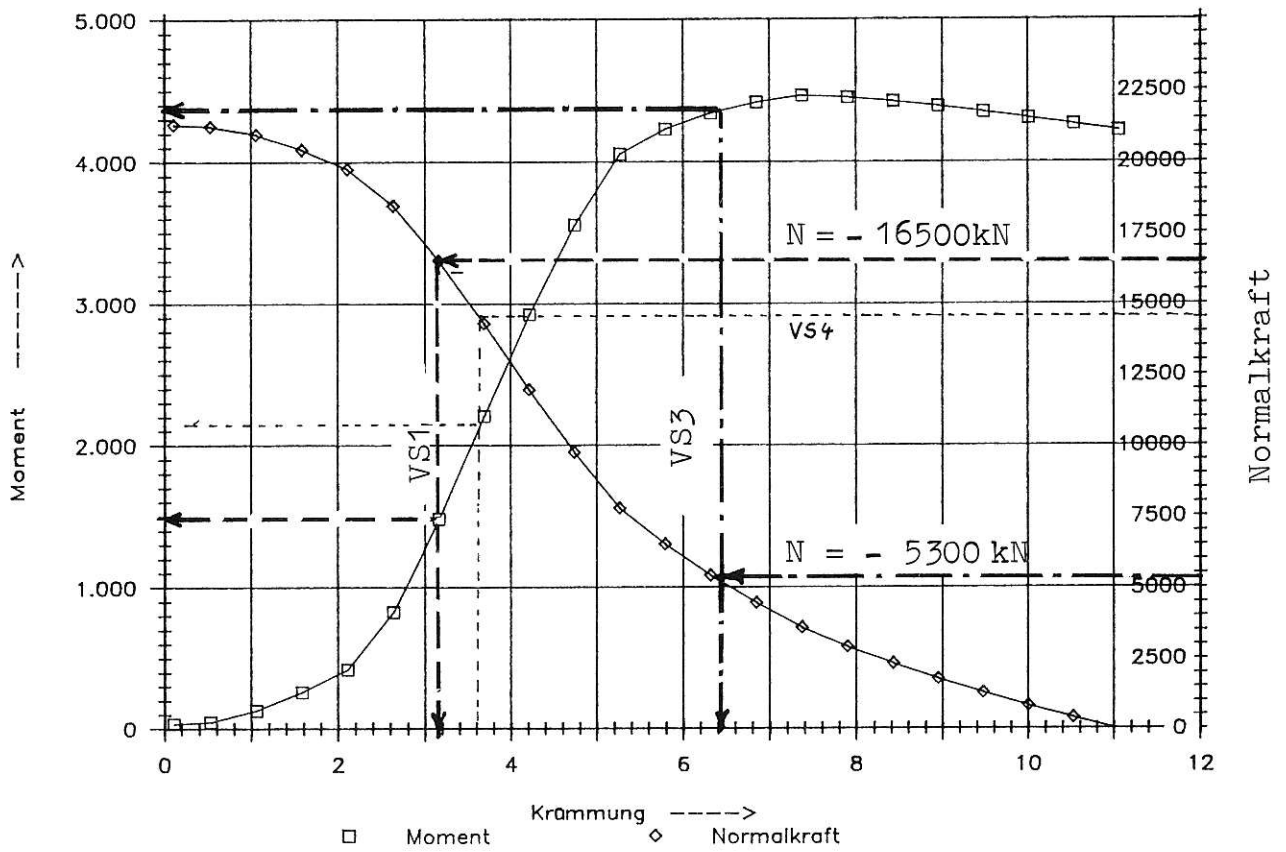


Bild 23: Grenzkrümmung, $\epsilon_b = -3,5 \text{ ‰}$, starke Achse

4.3 Herstellung der Probekörper

Nach Anlieferung der Stahlprofile durch die Fa. Arbed Recherches, Luxemburg, mußten diese auf Länge geschnitten und entrostet werden. Diese Arbeiten sowie das Anschweißen der Kopfbolzendübel hat die Fa. Krupp, Berlin, durchgeführt. In der BAM wurden anschließend die Kopfplatten angeschweißt und die mit Dehnungsmeßstreifen versehene Bewehrung eingebaut. Zur Lagesicherung wurde die Längsbewehrung an die Kopfplatten geschweißt und einzelne Bügel angeheftet. Die Stützen ließen sich so ohne Schwierigkeiten wenden. Bild 25 zeigt den Einbau des Bewehrungskorbes in eine Stütze.

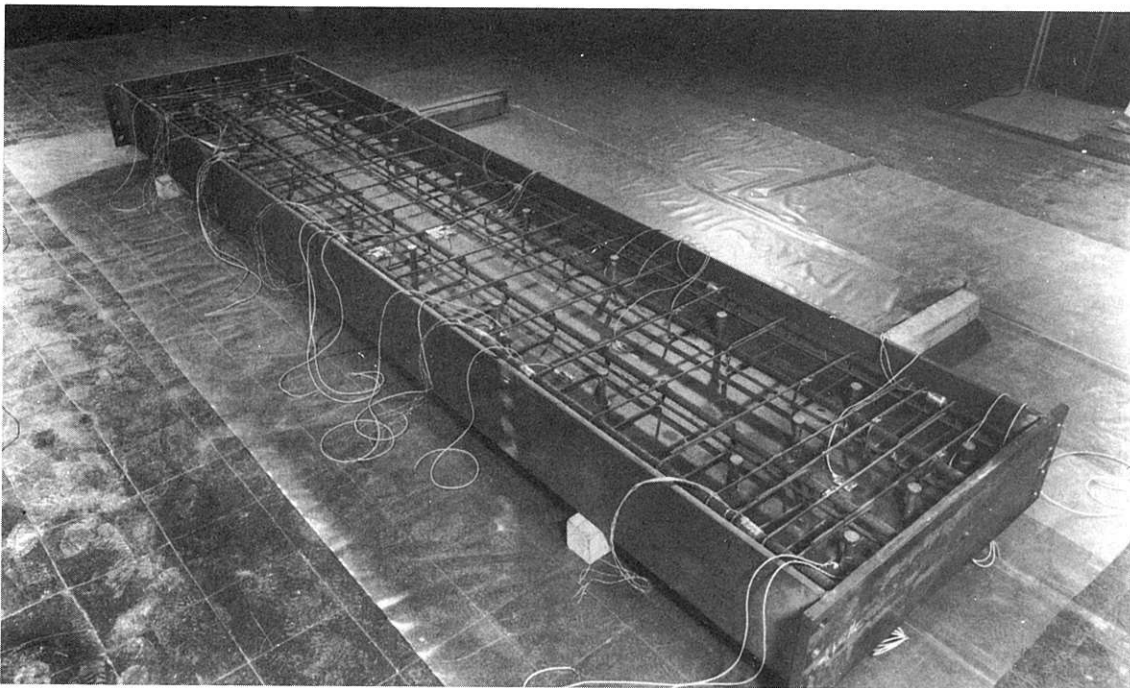


Bild 25: Einbau des Bewehrungskorbes

Die Seite Ze der Prüfkörper wurde zuerst betoniert (liegend), der Beton mit einer Rüttelflasche \varnothing 25 mm verdichtet. Die Betonierzeit für 2 Versuchskörper betrug je Seite ca. 45 Minuten. 6 Tage nach dem Betonieren der ersten Seite konnte die Rückseite betoniert werden. Feuchte Jutesäcke und eine Folienabdeckung schützten die Betonoberflächen vor einem Austrocknen. Nach sechs Tagen wurde die Abdeckung entfernt und die Prüfkörper mit der noch fehlenden Meßtechnik versehen.

4.4 Einbau der Stützen in die GPM

Bei einem Probekörpergewicht von ca. 4000 kg und einer Krantragkraft von 5000 kg war es nicht möglich, die Stütze ein-

schließlich der Lagerung komplett zu bewegen. Statt dessen erfolgte der Einbau in drei Abschnitten:

- 1) Anhängen des oberen Lagers bis einschließlich der Probekörperanschlußplatte an das obere Querhaupt.
- 2) Aufrichten des Verbundkörpers; Anschrauben der unteren Kopfplatte an zwei Verschubträger; Einschieben der Stütze in die gewünschte Position auf Rollen; Anschrauben der oberen Kopfplatte an die Probekörperanschlußplatte des oberen Lagers.
- 3) Einbau und Anschluß des unteren Lagerpaketes.

Parallel dazu wurde die Stabilisierungskonstruktion eingebaut. Diese sollte ein Ausknicken der Stütze in Richtung der schwachen Achse behindern und als Halte- und Sicherungsgerüst während der Installation der Meßtechnik dienen.

4.5 Belastungsprogramm

Drei Teilschritte lassen sich unterscheiden:

- a) Stufenweise, kraftgeregelte Belastung der Probekörper bis zur Gebrauchslast $F_G = F_U / 1,5$
- b) 1000 Lastwechsel mit $\max F = 0,8 \cdot F_G$ und $\min F = 0,4 \cdot F_G$, kraftgeregelt mit einer Frequenz von 0,15 Hz. Hierdurch sollen der Verbund herabgesetzt und eine Belastungsvorgeschichte "simuliert" werden.
- c) Stufenweise, weggeregelte Belastung bis zum Bruch, d. h. bis zum Kraftabfall.

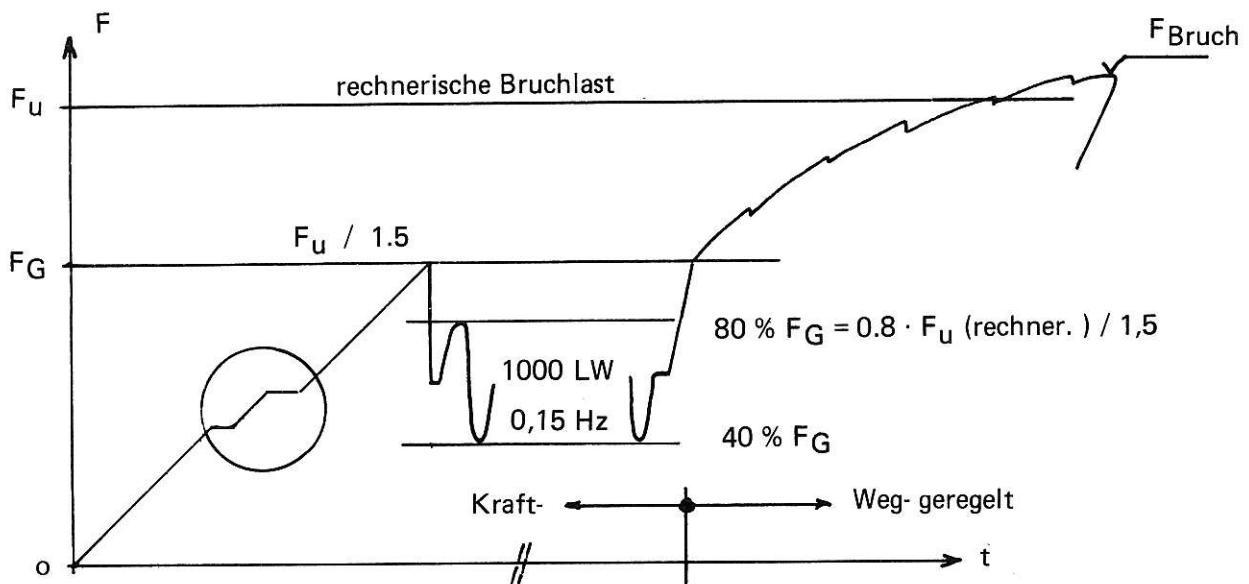


Bild 26: Belastungsprogramm

nicht erforderlich, die sich aus der Verschiebung Da-Li ergebenden Meßwertverzerrungen infolge Schrägstellung der Fäden bei W E.2 und W E.3 zu berücksichtigen.

Abschätzung: max W 3.1 \approx 20 mm

$$\approx \Delta W 3.2/3.3 = \sqrt{1000^2 + 20^2} - 1000 = 0,2 \text{ mm}$$

Anders verhält es sich bei VS2 (Biegung um die schwache Achse). Der geringe Abstand der Drehpotibefestigungspunkte am Meßgerüst von der Stütze (50 bis 75 cm) führt bei größeren Horizontalbewegungen (Aufnehmer W E.2/E.3) zu nicht unbedeutenden Meßwertanzeigen der Aufnehmer W E.1.

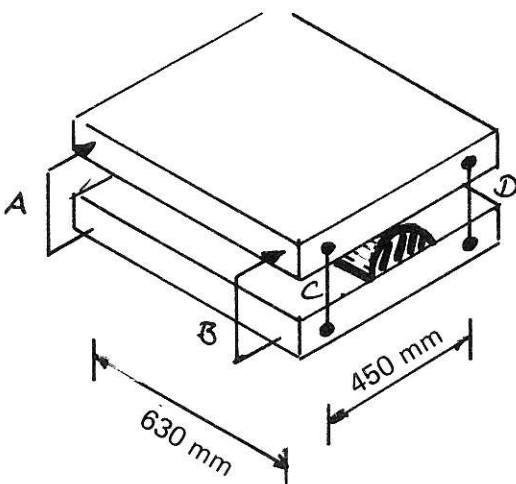
Abschätzung: max W 3.2 \approx 50 mm

$$\approx \Delta W 3.1 = \sqrt{500^2 + 50^2} - 500 = 2,5 \text{ mm}$$

Die Meßwerte der Geberreihe W E.1 sind daher bei VS2 entsprechend rechnerisch korrigiert worden.

5.1.2 Lagerbewegungen

Bei dem eingesetzten Lager handelt es sich um ein Stahl-Linienkipplager mit einem Krümmungsradius von 175 mm. Eine Verdrehung der Probekörper am Lager führt somit auch gleichzeitig zu einer horizontalen Verschiebung, die sich aus der Verdrehung rechnerisch einfach bestimmen läßt. Vier induktive Wegaufnehmer (Hottinger) wurden je Lager eingesetzt und wie folgt angeordnet:



oberes Lager	A...H(G)A	Bezeich- nungen im Meß- wert proto- koll (Anlage)
	B...H(G)B	
	C...H(G)C	
	D...H(G)D	
unteres Lager	A...H(G)E	
	B...H(G)F	
	C...H(G)G	
	D...H(G)H	

Bild 28: Anordnung der Wegaufnehmer am oberen bzw. unteren Linienkipplager

Bei VS1 und VS2 sind A und B mit C und D zu vertauschen.

5.1.3 Relativbewegungen Stahl-Beton

Sowohl auf der Seite St wie auf der Seite Ze wurden in Höhe der Ebene 4 Abstandsänderungen mit Hilfe induktiver Wegaufnehmer (Hottinger W10 und W5 mit Meßweg 10 mm bzw. 5 mm) gemessen.

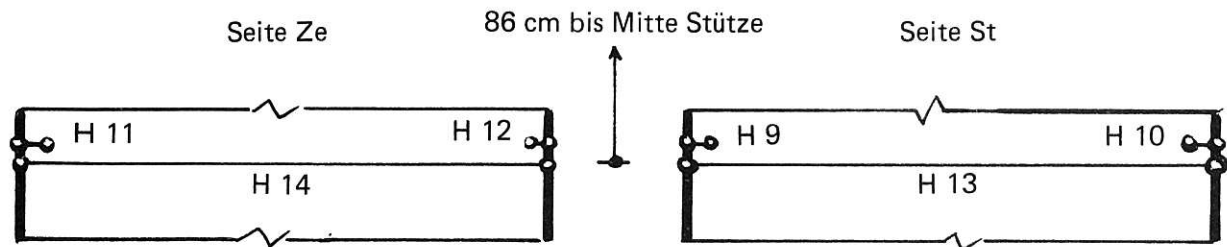


Bild 29: Anordnung der induktiven Wegaufnehmer

Die eingetragenen Bezeichnungen entsprechen denen der Meßwertprotokolle.

5.1.4 Gurtdehnungen des Profilstahles

In den Ebenen 1 bis 5 wurde auf den Seiten Li und Da einheitlich folgende Anordnung der Dehnungsmeßstreifen gewählt:

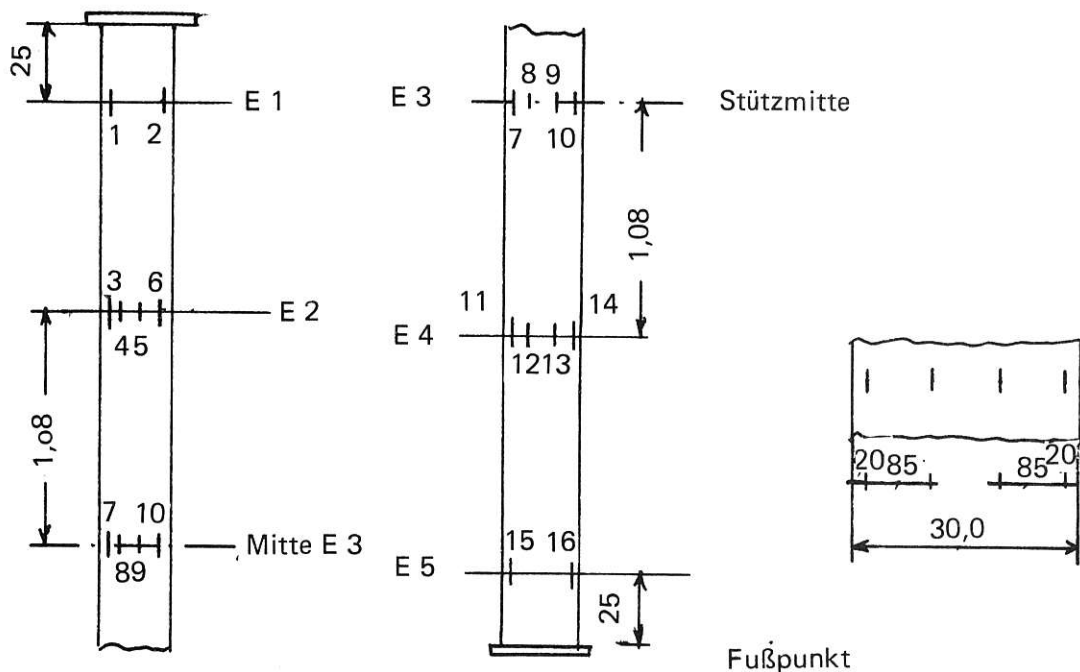


Bild 30a: DMS-Anordnung auf den Seiten Da und Li

Verwendete Dehnungsmeßstreifen: TML, PL-10 (Europavia 12052, 120 Länge des Meßgitters 10 mm) mit Kleber CN oder X60 (Hottinger).

5.1.5 Dehnungsmessungen auf der Betonoberfläche

In den Ebenen 2, 3 und 4 wurden jeweils drei DMS mit einer Meßgitterlänge von 90 mm - das entspricht dem 11fachen Größtkorndurchmesser - auf den abgeschliffenen Beton geklebt. Die Anordnung auf Seite Ze entsprach derjenigen auf der Seite St. Sie ist im folgenden Bild wiedergegeben. Im Meßwertprotokoll sind die Beton-DMS-Ergebnisse je nach Stützensseite unter BSt oder BZe zu finden. Auch hier kamen DMS der Fa. Europavia (TML, PL-90; 120 Ω , Kleber X66) zum Einsatz.

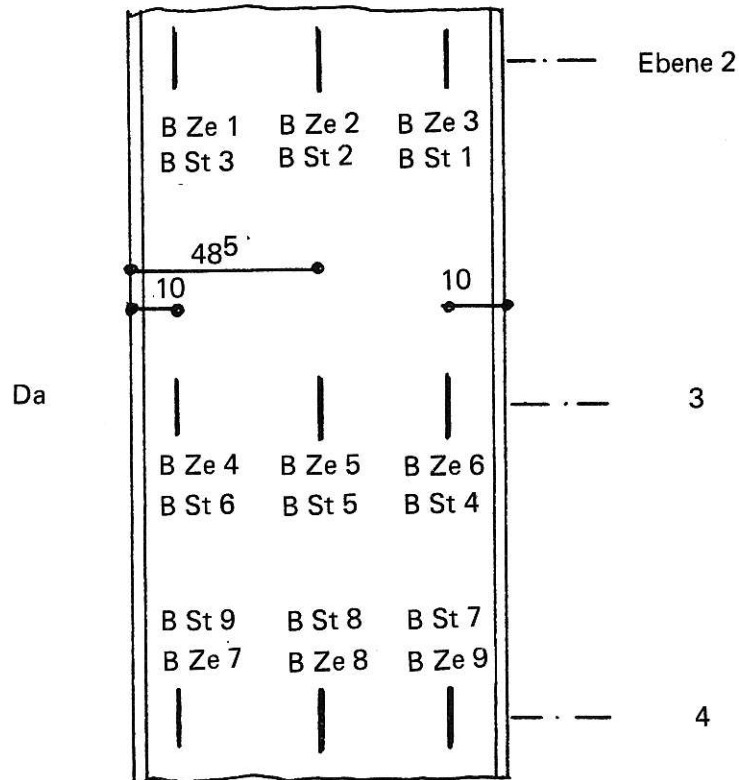


Bild 30b: Anordnung der Beton-DMS

5.1.6 Dehnungsmessungen am Beton mit induktiven Wegaufnehmern

Zusätzlich zu den Beton-DMS ermöglichten jeweils 4 induktive Wegaufnehmer pro Seite eine Berechnung der Dehnungen aus der Abstandsänderung zweier Punkte. Somit ist es möglich, Dehnungen auch dann noch bestimmen zu können, wenn die DMS defekt sind, d. h. zum Beispiel durch Risse zerstört sind. Die Basislänge betrug jeweils einheitlich 25 cm, der Abstand vom Beton 5 cm. Die Anordnung der Aufnehmer (Typ W5 Hottinger) ist Bild 31 zu entnehmen. Dort sind ebenfalls die in den Meßwertprotokollen gewählten Bezeichnungen eingetragen.

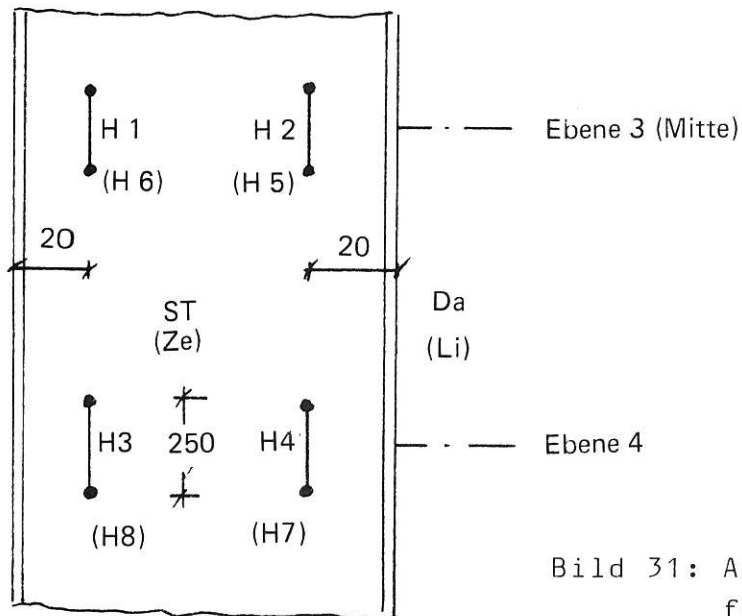


Bild 31: Anordnung der Wegaufnehmer für die Dehnungsmessung

Einen Ausschnitt der Stütze VS4 zeigt Bild 32. Hier ist die zuvor im einzelnen beschriebene Anordnung der Geber zu erkennen.

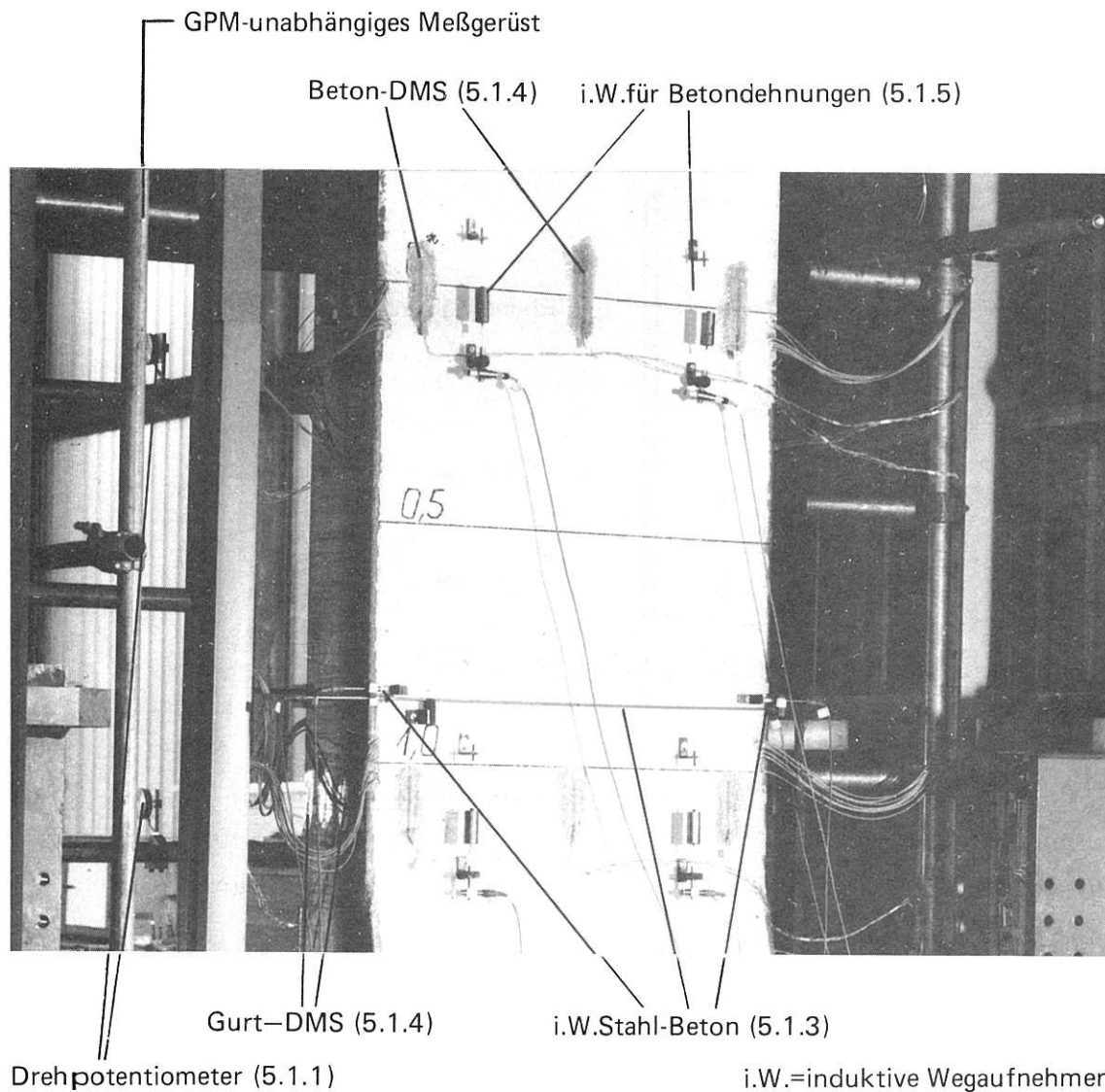


Bild 32: Detail von VS4 mit angebauten Wegaufnehmern, die beschreibenden Textabschnitte sind in Klammern angegeben.

5.2 Nicht bei allen Stützen vorhandene Meßstellen

5.2.1 Ablösung Steg-Beton

Bei den ersten zwei Versuchskörpern wurden 2 induktive Wegaufnehmer (Hottinger W10) eingebaut, die die Querdehnung erfassen sollten, d. h. die Abstandsänderung zweier Punkte der Betonoberflächen St bzw. Ze. Dazu wurde der Profilstahl im Steg an 2 Stellen, die in Bild 33 vermaßt sind, durchbohrt. Durchgehende Stahlrohre $\varnothing 12$ mm, die nach dem Betonieren wieder gezogen wurden, gewährleisteten ein gerades, durchgehendes Loch. Der weitere Meßstellenaufbau ist in Bild 33 dargestellt.

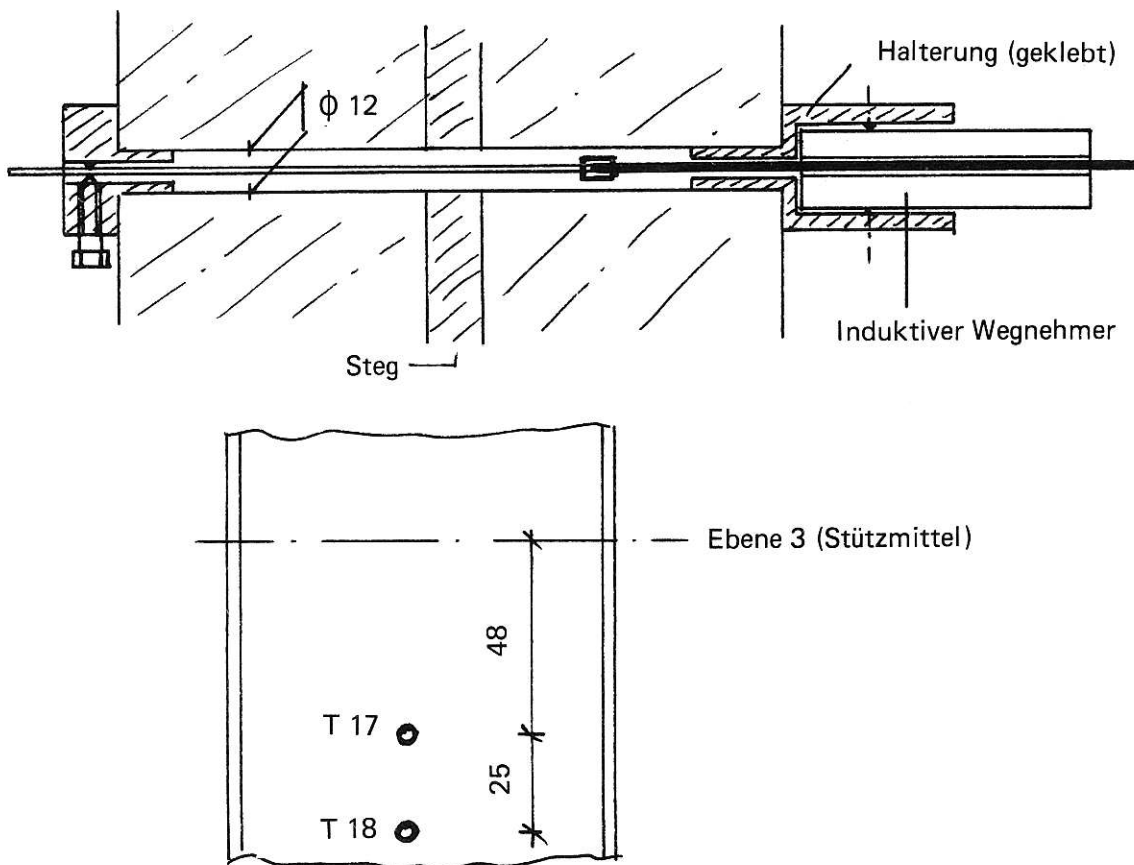


Bild 33: Stegaufweitungs-Meßstellen T17, T18

5.2.2 Dehnungsmessungen am Stahl in den Betonkammern

Sämtliche einbetonierte DMS sind vom Typ TML, PL-10. Der Schutz vor mechanischer Beschädigung bzw. Feuchtigkeit bestand aus

- 2 Schichten PU-Lack (PU-100, HBM)
- Silicon-Abdeckung (SG-250, HBM)
- Alufolien-Abdeckband (ABM-75, HBM).

Gemessen wurden Dehnungen

- des Profilstahles in den Ebenen 1 bis 5 in Längsrichtung,

- des Profilstahles in der Ebene 3 in Querrichtung,
- der Längsbewehrung in der Ebene 3,
- der Quer- und Bügelbewehrung in der Ebene 4,
- einzelner Kopfbolzendübel.

Die DMS auf der Bewehrung waren jeweils paarweise angeordnet, um die Dehnungsanteile aus Biegung weitgehend eliminieren zu können. Die DMS der Kopfbolzendübel waren ebenfalls paarweise angeordnet, und zwar jeweils oben (Richtung Kopfpunkt) und unten (Richtung Fußpunkt), aber immer möglichst nah am Steg, Bild 34. Durch ein Versehen wurden sie bei VS4 in Dübelmitte angeklebt. Um die falsch geklebten Meßstreifen nicht entfernen zu müssen, wurden hier zusätzlich Kopfbolzendübel im Kopfpunktbereich mit Meßstreifen ausgerüstet.



Bild 34: Kopfbolzendübel mit DMS unter Schutzschicht

5.2.3 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS1

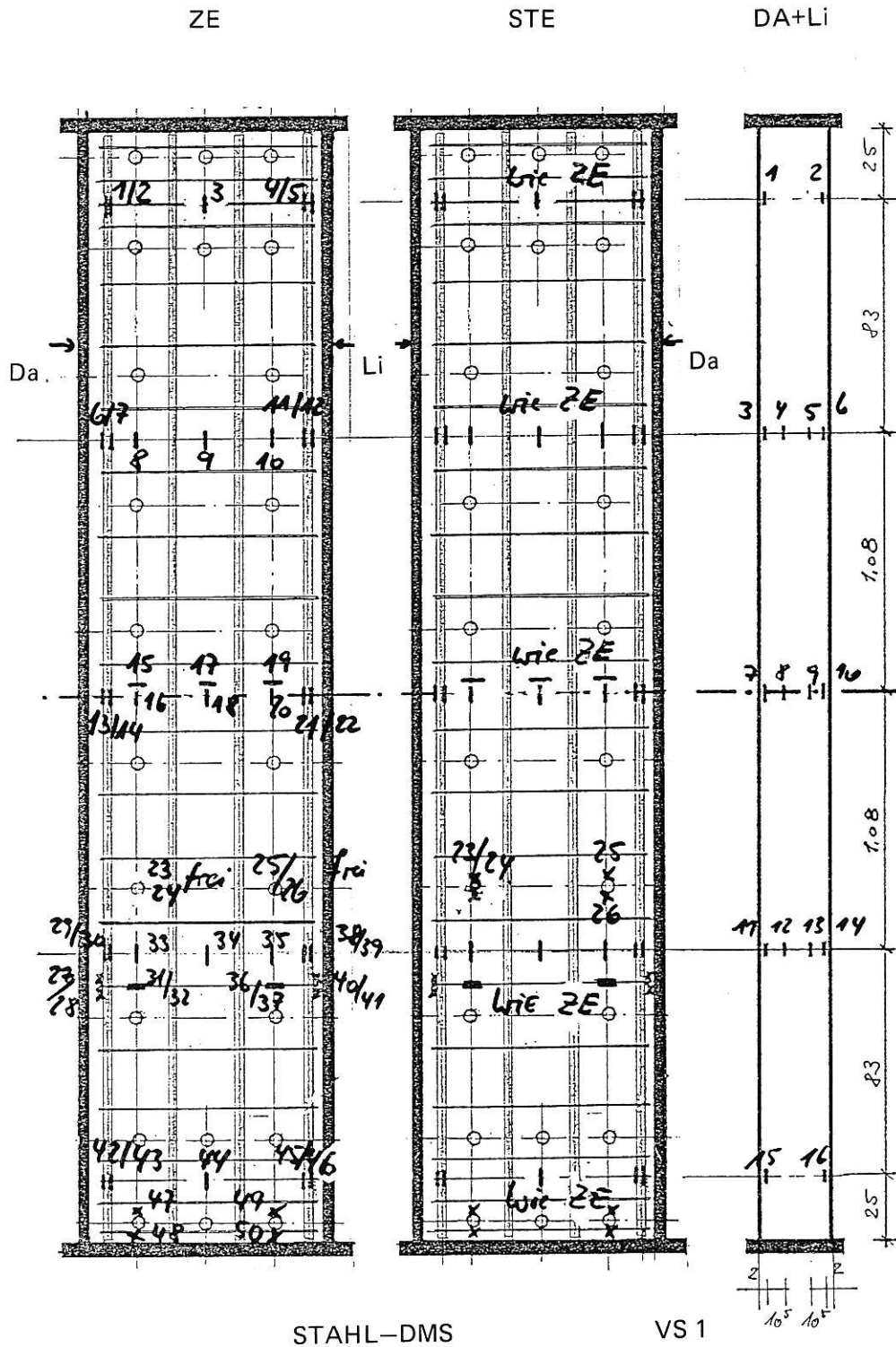


Bild 35: Meßstellen St und Ze

5.2.4 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS2

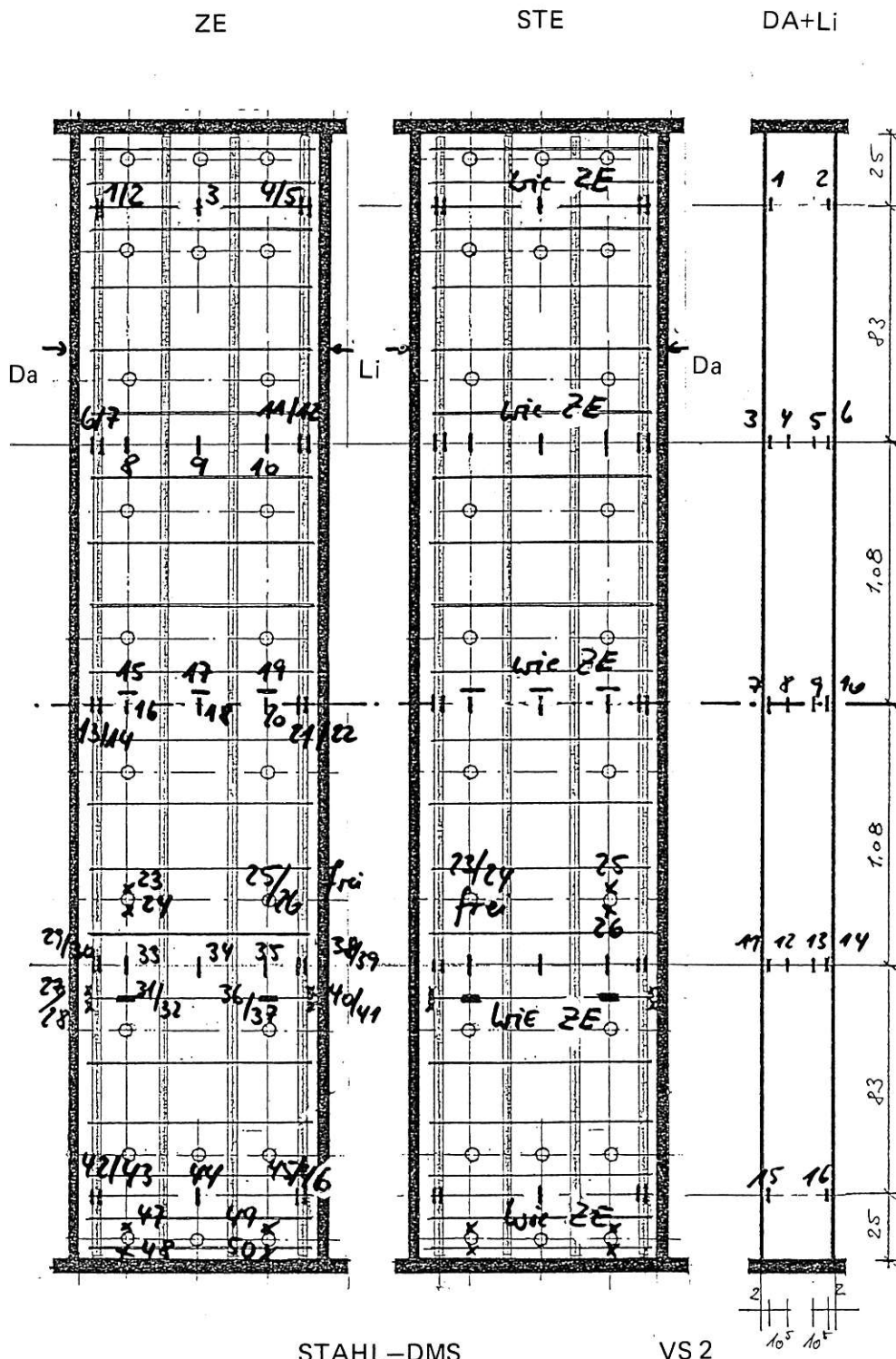


Bild 36: Meßstellen St und Ze

5.2.5 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS3

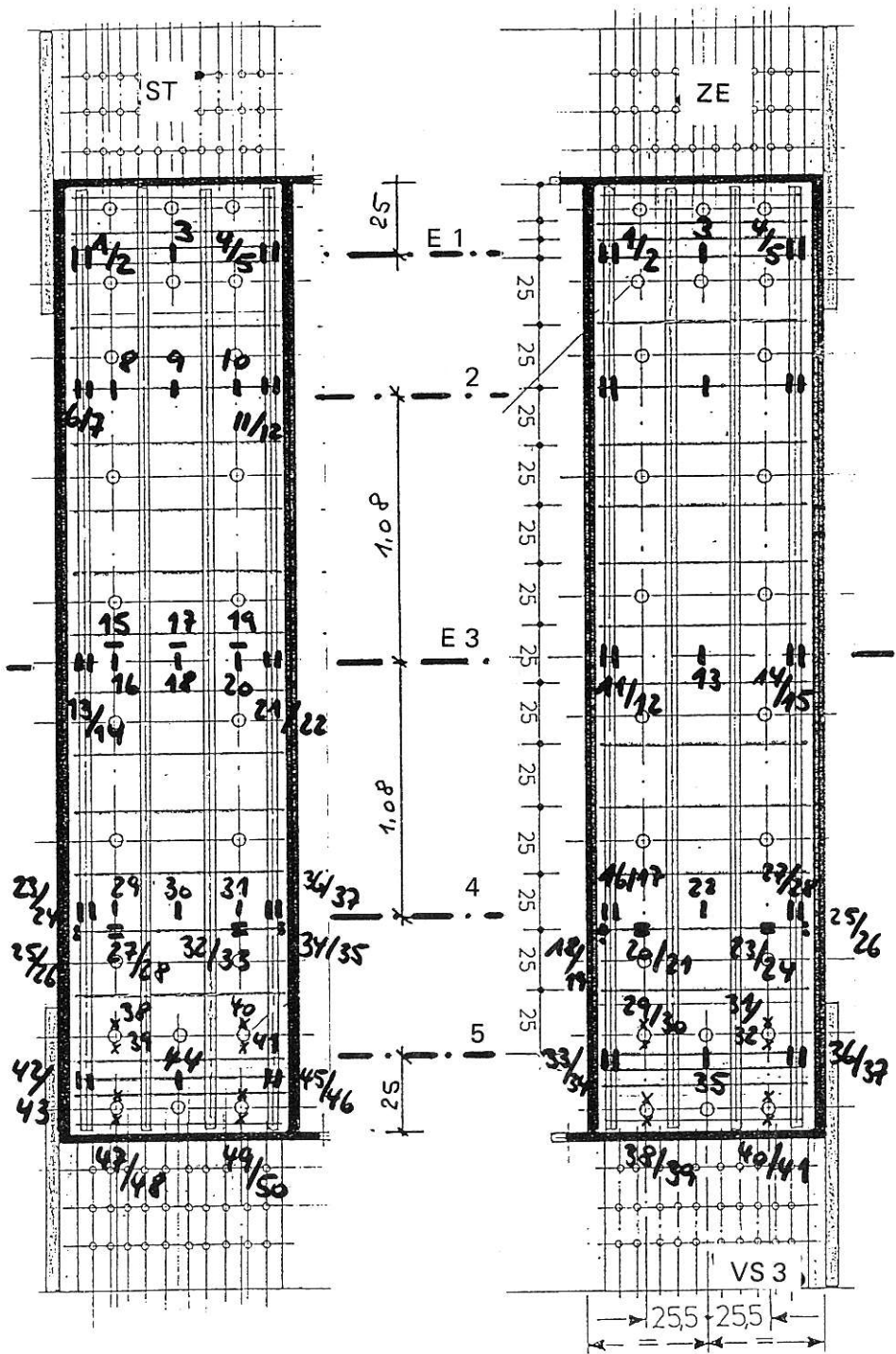


Bild 37: Meßstellen St und Ze

5.2.6 Anordnung der Stahl-DMS bei Stütze VS4

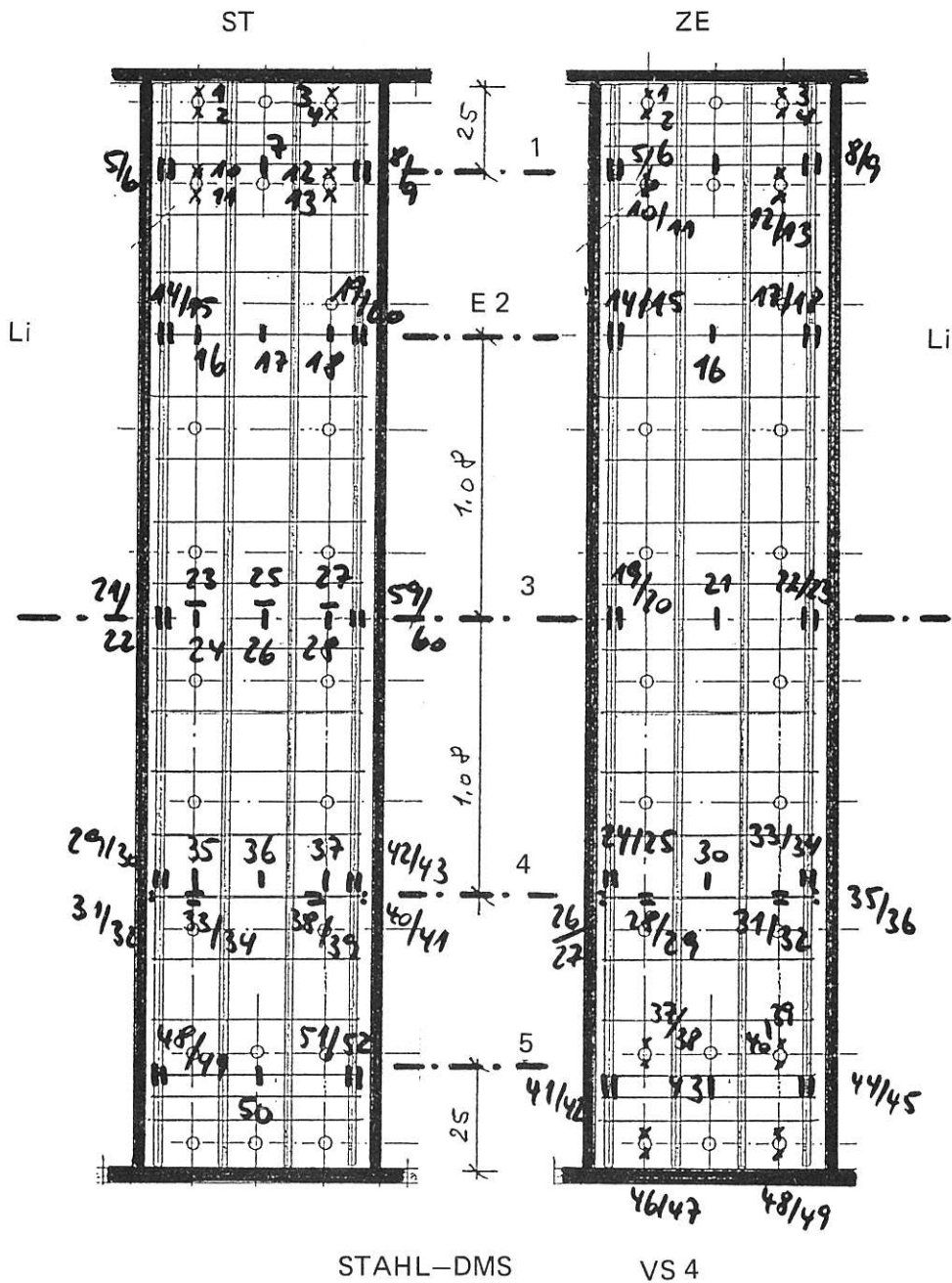


Bild 38: Meßstellen St und Ze

5.3 Meßwerterfassungssysteme

Insgesamt mußten je Versuch etwa 220 Meßwerte einschl. der Maschinenkennwerte erfaßt und abgespeichert werden. Dies erforderte den Einsatz zweier unterschiedlicher Meßsysteme. Zur Verwendung kamen:

a) System 1: ORION 3530 Data Logging System (Solatron Instruments)

Es handelt sich dabei um eine Vielstellenmeßanlage, die sowohl eigenständig Meßdaten erfassen als auch rechnergesteuert arbeiten kann. Gewählt wurde eine Mischung beider Möglichkeiten: ORION erfaßt die Daten selbständig und benutzt den angeschlossenen IBM-AT-Rechner lediglich als Speichermedium. Während der Verbundstützenversuche waren jeweils 89 DMS und das Kraftsignal der GPM am ORION angeschlossen. ORION-Daten sind im Anhang mit "OR" gekennzeichnet.

b) System 2: SNET-IMPs 3595 (Isolated Measurement Pots, Solatron Instruments)

SNET ist eine erweiterbare Vielstellenmeßanlage für IBM-PCs und kompatible Rechner. Die Kabel der Meßwertaufnehmer werden an Datenerfassungsblöcke (Typ 35951 A und B) angeschlossen und über eine gemeinsame Leitung zu einer Interface-Karte im Rechner weitergegeben. An SNET waren die übrigen DMS sowie die Gleichspannungssignale der GPM und Wegaufnehmer angeschlossen. SNET-Daten sind in den Meßwertprotokollen mit "SN" gekennzeichnet.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Stütze VS1 - Biegung um die starke Achse

Die in Kapitel 4 wiedergegebenen Vorberechnungen führten zu folgenden Vorgaben:

erwartete Bruchlast F_U :	16,5 MN
Gebrauchslast $F_U/1,5$:	11,0 MN
obere Schwinglast:	8,8 MN
untere Schwinglast:	4,4 MN

Tatsächlich konnte nur eine Versuchslast von 15,40 MN erreicht werden. Grund dafür war, daß unbeabsichtigterweise das Versagen des Betons im Bereich der Lasteinleitung (Kopfplatte) eine weitere Laststeigerung verhinderte. Um einem derartigen Versagen vorzubeugen, war die Längsbewehrung an die Kopfplatten angeschweißt worden. Diese Maßnahme sollte, so die Vorüberlegungen, ein Versagen im Stützenmittelpbereich bewirken. Hierfür sprachen drei wesentliche Gründe:

- a) Die Ausbiegung hat in Stützenmitte ihr Maximum; somit treten auch dort die größten Beanspruchungen auf.
- b) Da bei einer Ausmitte von nur 8 cm die Kraft im Lasteinleitungsbereich im Kern bleibt, steht dieser insgesamt unter Druckspannungen. Die angeschweißte Bewehrung müßte damit eine optimale Krafteinleitung gewährleisten.
- c) Günstig wirkt sich die Querdehnungsbehinderung des Betons durch die Kopfplatte aus. Sie müßte gegenüber der Stützenmitte eine zusätzliche Verstärkung des Lasteinleitungsbereichs verursachen.

Der Versuch zeigte jedoch, daß die Verhältnisse anders liegen. Die angeschweißte Bewehrung stärkt nicht die Tragfähigkeit, sie schwächt sie. Die direkte Krafteinleitung bewirkt einen sehr steifen Anschluß Bewehrung-Kopfplatte. Während der Beton sich durch Relaxation und Kriechen der Belastung ein wenig zu entziehen versucht, kann dies der Stahl nicht. Da zudem aufgrund geometrischer Imperfektionen (die Kopfplatte verformt sich beim Anschweißen) der Anschluß Kopfplatte/Lager nicht völlig eben sein kann, treten auch hier zusätzliche Verformungen und Spannungsspitzen auf, die den Bewehrungsstahl ggf. erhöht beanspruchen. Als Folge davon knickte dieser vorzeitig trotz der erhöh-

ten Verbügelung und Querbewehrung aus und verursachte eine Schwächung der Betondruckzone.

Tatsächlich sollte auf das Anschweißen der Längsbewehrung unbedingt verzichtet werden. Sowohl beim Versuch VS4 als auch bei drei anderen vor kurzem in der BAM im Rahmen von Vorversuchen getesteten Verbundstützen zeigte sich, daß ohne ein Anschweißen der Längsbewehrung an die Kopfplatten eine Rißbildung zwar im Lasteinleitungs-Bereich auftreten kann, der Bruch jedoch im mittleren Bereich erfolgt. Da diese Dinge nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsvorhabens sind, wird auf weitere Einzelheiten hier nicht eingegangen.

Auch wenn zur Grenztragfähigkeit der Stütze VS1 in Hinblick auf ein Versagen infolge Biegung und Längskraft somit keine Aussage getroffen werden kann, folgt eine Zusammenstellung einzelner Ergebnisse. Betrachtet wird dabei überwiegend der Bereich der Stützenmitte.

Die folgenden Seiten zeigen:

- a) Fotos von VS1 nach Versuchsende
- b) Die Verformungsfigur bei einzelnen Laststufen
- c) Die Dehnungsentwicklung in Stützenmitte

6.1.1 Bruchbilder der Stütze VS1 nach Versuchsende

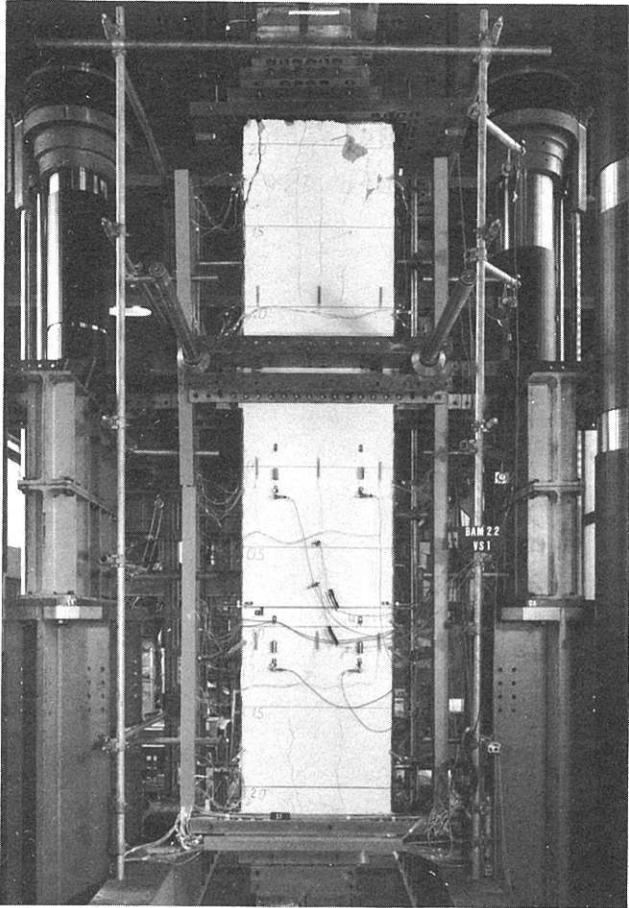


Bild 38: Stützenansicht Seite St

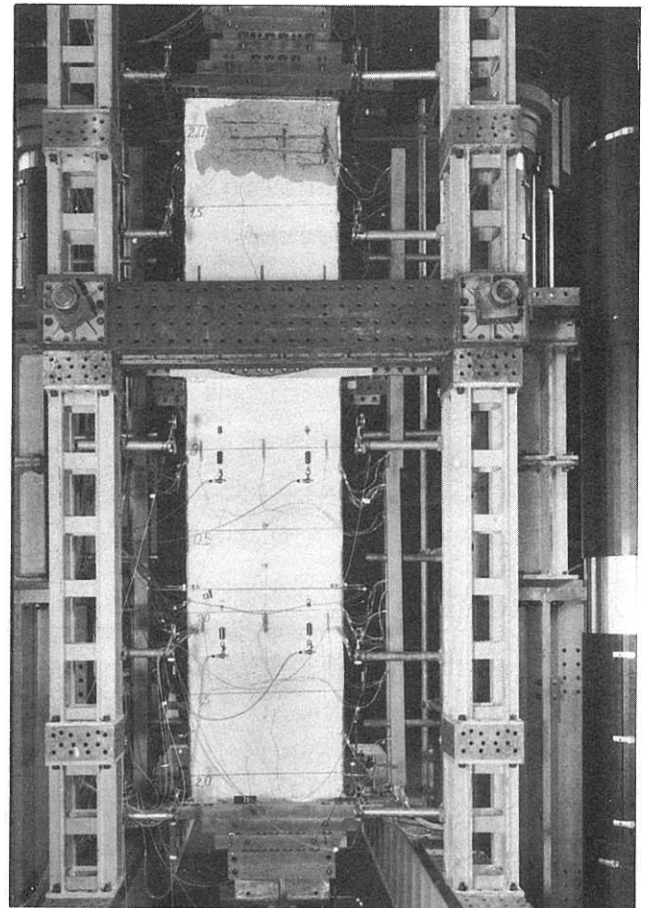


Bild 39: Stützenansicht Seite Ze

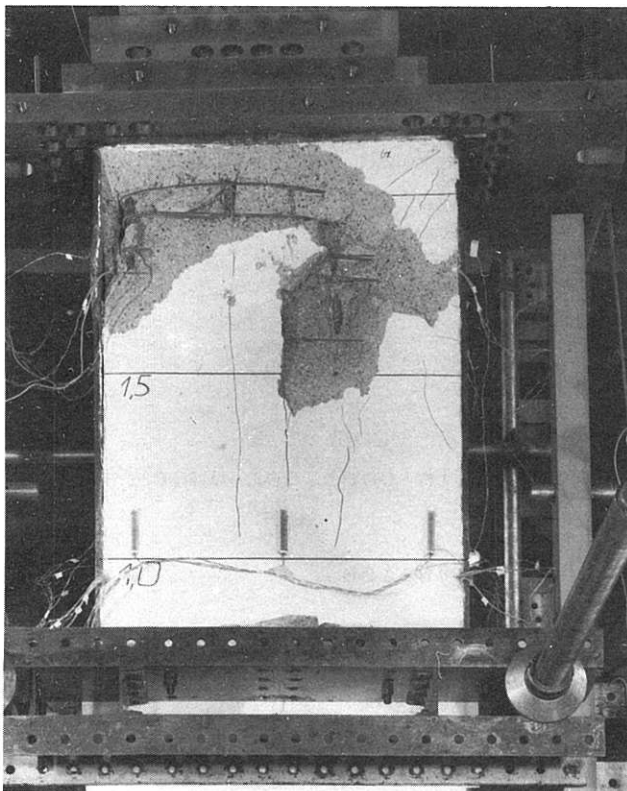


Bild 40: Detail, Lasteinleitung St

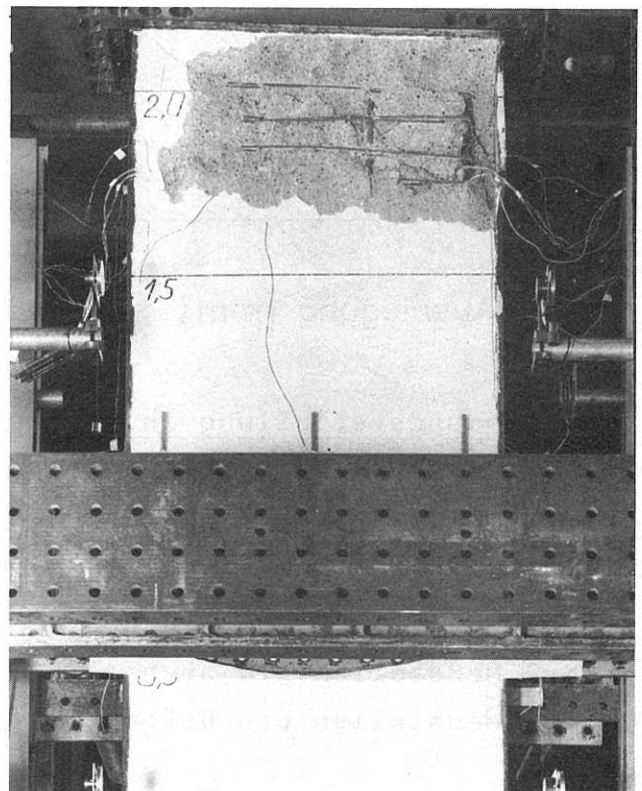


Bild 41: Detail, Lasteinleitung Ze

6.1.2 Verformung

Die laststufenweise Ausbiegung von VS1 ist in Bild 42 dargestellt. Gleichzeitig ist die Last-Verformungskurve in Stützenmitte eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, daß erst die allmähliche Zerstörung im oberen Lasteinleitungs-Bereich eine unsymmetrische Biegelinie zur Folge hat (abfallender Ast der Last-Verformungskurve).

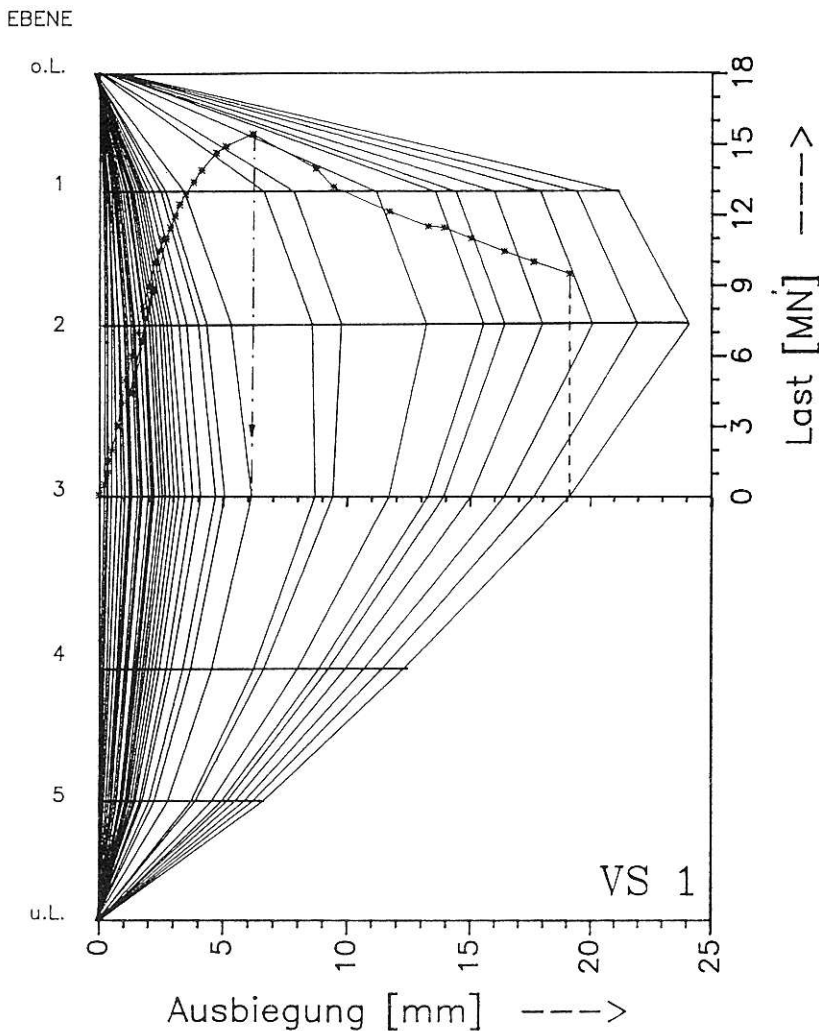


Bild 42: Verformungsfigur von VS1

6.1.3 Dehnungsverteilung in Stützenmitte

In Stützenmitte sind in Längsrichtung 28 einzeln über den Querschnitt verteilte DMS angebracht:

- 4 Meßstellen auf der Längsbewehrung (paarweise)
- je 4 Meßstellen auf den Gurtaußenseiten
- je 3 Meßstellen pro Stegseite
- je 3 Meßstellen pro Betonaußenfläche

Deren Meßwerte streuen mehr oder weniger stark. Um dennoch Aussagen zum Dehnungsverhalten des Gesamtquerschnitts zu erhalten,

wird eine Ausgleichsgerade mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse erstellt. Danach ist es einfach festzustellen, welche DMS möglicherweise unzutreffende Meßwerte liefern. Gründe hierfür können beispielsweise sein:

- gerissene DMS, z. B. auf dem Beton,
- beim Betonieren beschädigte DMS,
- DMS auf der Bewehrung, wenn diese auszuknicken beginnt.

Besonders auffällig war, daß die äußeren Rand-DMS auf den Gurten etwa ab dem Erreichen der Fließgrenze des Stahls stark vergrößerte Dehnungen erfahren (Bild 43 oben). Dies läßt sich einerseits auf gewisse Biegestörungen zurückführen (nahezu gleichzeitig mit dem Erreichen der Profilstahlstreckgrenze lösen sich Gurt und Beton voneinander; es entsteht ein senkrechter Riß), andererseits auf Dehnungsumlagerungen durch den Abbau von Eigenstressungen des Profils.

Einer zweiten Regressionsanalyse wurden dann nur noch Meßwerte von den DMS zugrunde gelegt, die nicht offensichtlich unzutreffende Ergebnisse lieferten (Bild 43 unten). Durch die große Anzahl von Einzelwerten ist die Empfindlichkeit gegenüber einer einzelnen Fehlmessung ohnehin nicht sehr groß.

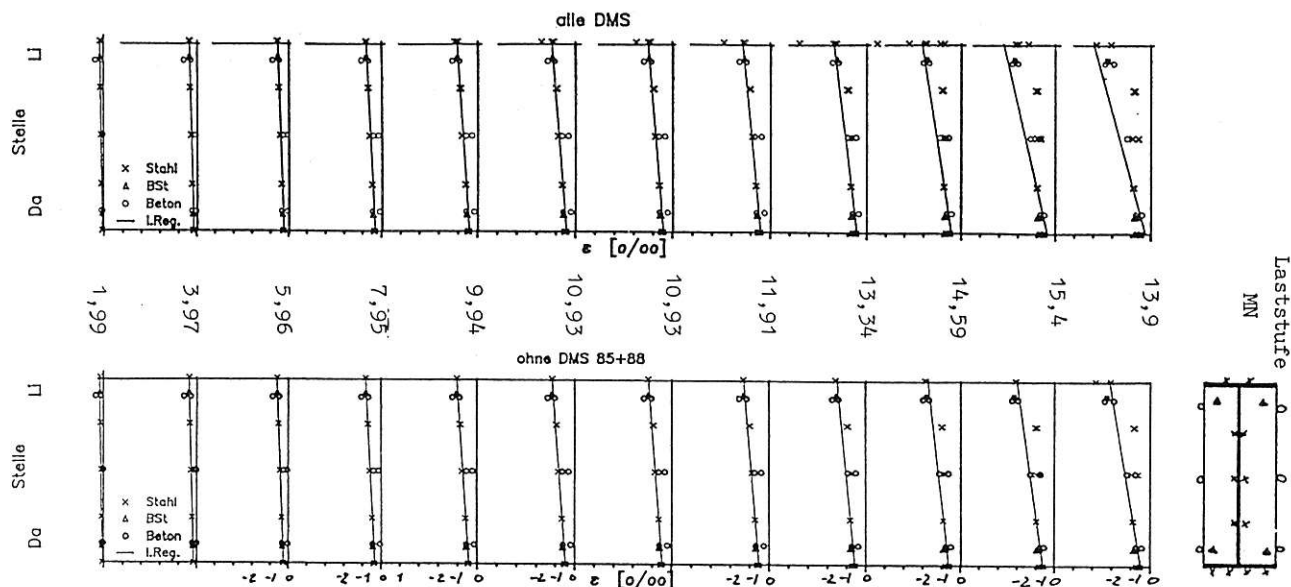


Bild 43: Dehnungsverteilung bei unterschiedlichen Laststufen in Stützenmitte

Die Randdehnungen dieser Regressionsgeraden können nun als Randdehnungen des verformten Querschnitts angesehen und dargestellt werden (Bild 44), wobei die Gültigkeit der Bernoulli-Hypothese vorausgesetzt wurde. Ebenso läßt sich daraus der Momenten-Krümmungsverlauf ermitteln (Bild 45).

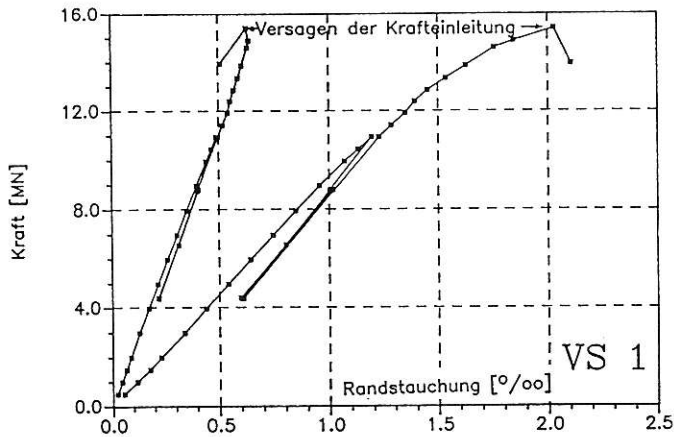


Bild 44:
Kraft-Dehnungs-Verlauf nach
linearer Regression

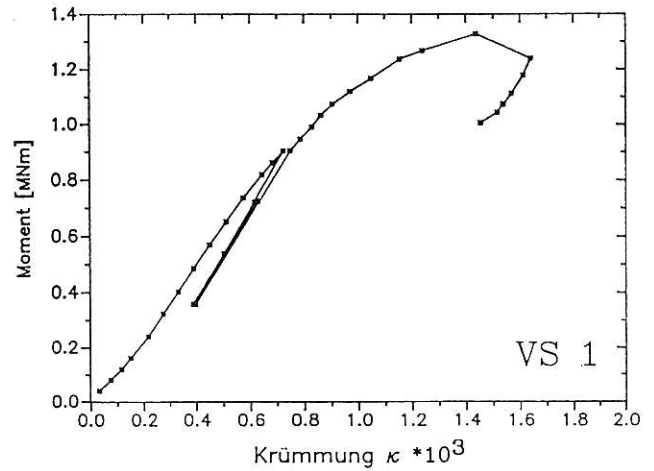


Bild 45:
Momenten-Krümmungs-Verlauf

6.2 Stütze VS2 - Biegung um die schwache Achse

Die in Kapitel 4 wiedergegebenen Vorberechnungen führten zu folgenden Vorgaben:

- erwartete Bruchlast F_U : 9,0 MN
- Gebrauchslast $F_U/1,5$: 6,0 MN
- obere Schwinglast: 4,8 MN
- untere Schwinglast: 2,4 MN

Die Anfangsausmitte war zu 30 mm gewählt worden. Aufgrund der Berechnungen wurde eine Ausbiegung von etwa 5 cm erwartet.

Die tatsächliche Maximallast betrug: 9,44 MN
Die maximale Ausbiegung betrug: 45 mm

Der Probekörper verhielt sich wie erwartet. Die zunehmende Ausbiegung in Stützenmitte führte zu großen Biegemomenten. Somit stellten sich auch nach dem Überschreiten der Betonfestigkeit auf der Zugseite (St) erste horizontal verlaufende Biegerisse ein. Der erste Horizontalriß entstand bei etwa 8,5 MN in Stützenmitte. Weitere Risse folgten erst im Bereich des Lastplateaus, wo eine Ausbiegungssteigerung ohne Lastzunahme erfolgte. Nach Versuchsbeendigung lag ein sehr gleichmäßiges Rißbild vor.

Versagensursache: Betondruckbruch in Stützenmitte, begleitet von einem einzelnen großen Horizontalriß auf der Zugseite.

Wie bei VS1 folgt eine Zusammenstellung einzelner Ergebnisse. Die Grundlagen für die dargestellten Diagramme sind unter 6.1 bereits beschrieben.

6.2.1 Bruchbilder der Stütze VS2 nach Versuchsende

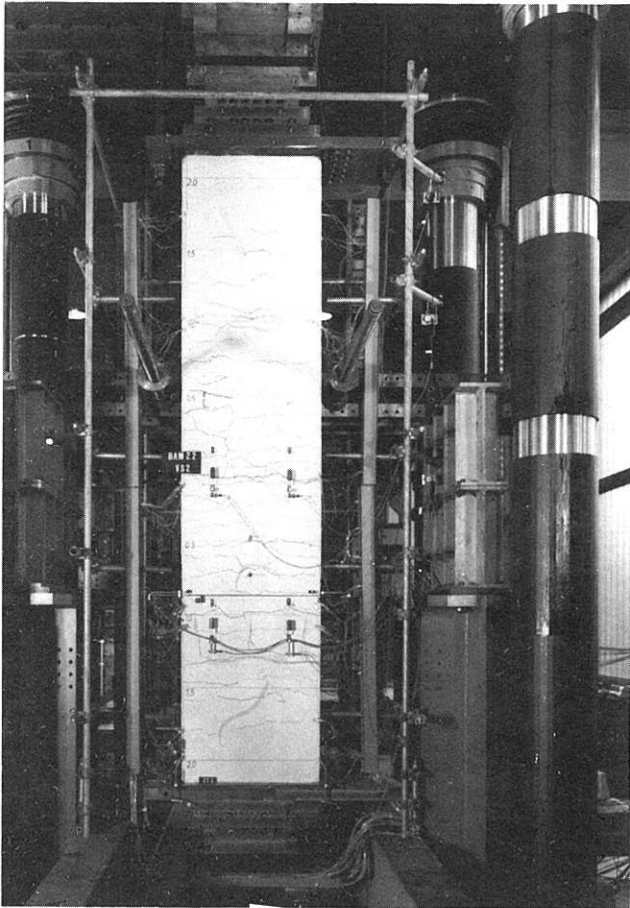


Bild 46: Stützenansicht Seite St

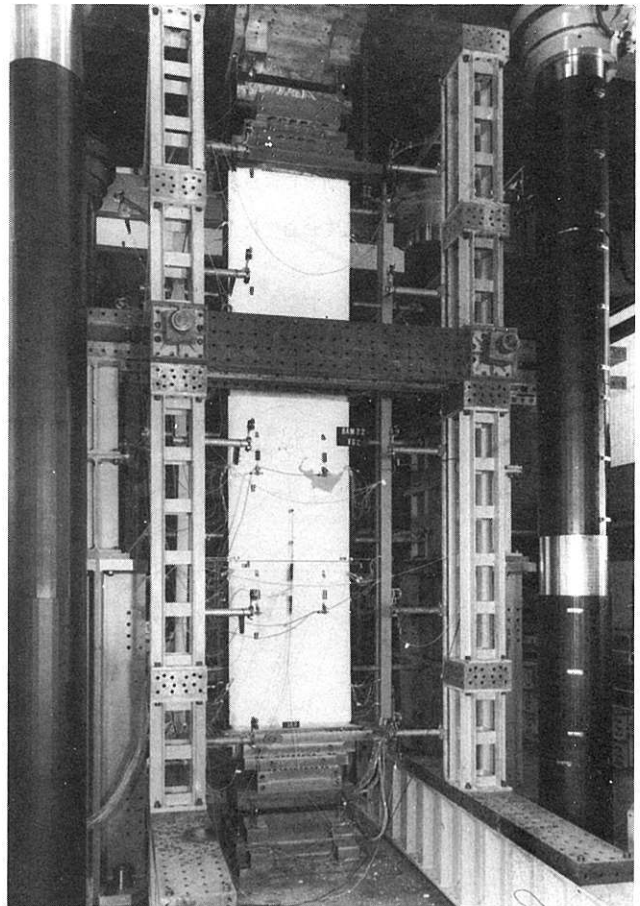


Bild 47: Stützenansicht Seite Ze

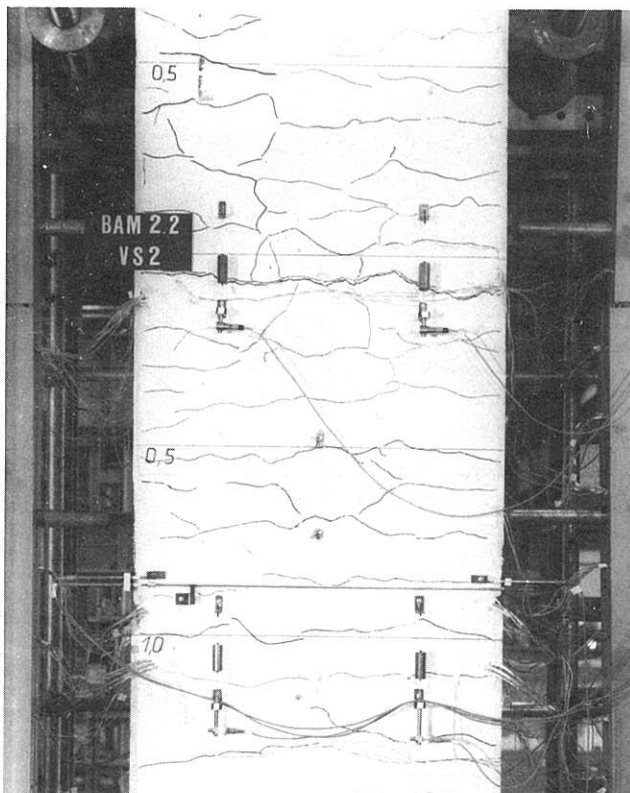


Bild 48: Detail, Bruchbereich, St

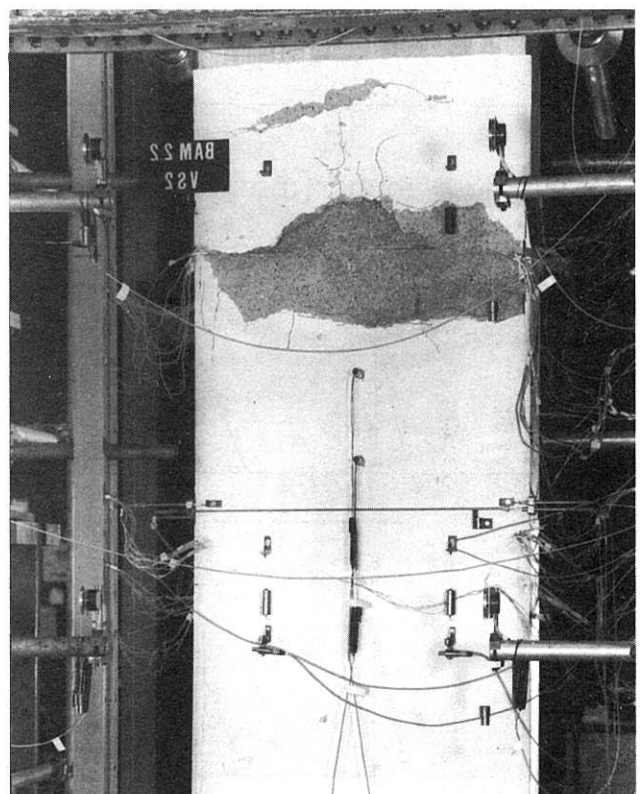


Bild 49: Detail, Bruchbereich, Ze

6.2.2 Verformung

Im folgenden Bild ist die laststufenweise Ausbiegung von VS2 dargestellt. Gleichzeitig ist die Last-Verformungskurve in Stützenmitte eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Biegelinie bis zum Bruch symmetrisch verläuft und auch die erfolgten 1000 Lastwechsel keinen erkennbaren Einfluß auf das Verformungsverhalten haben.

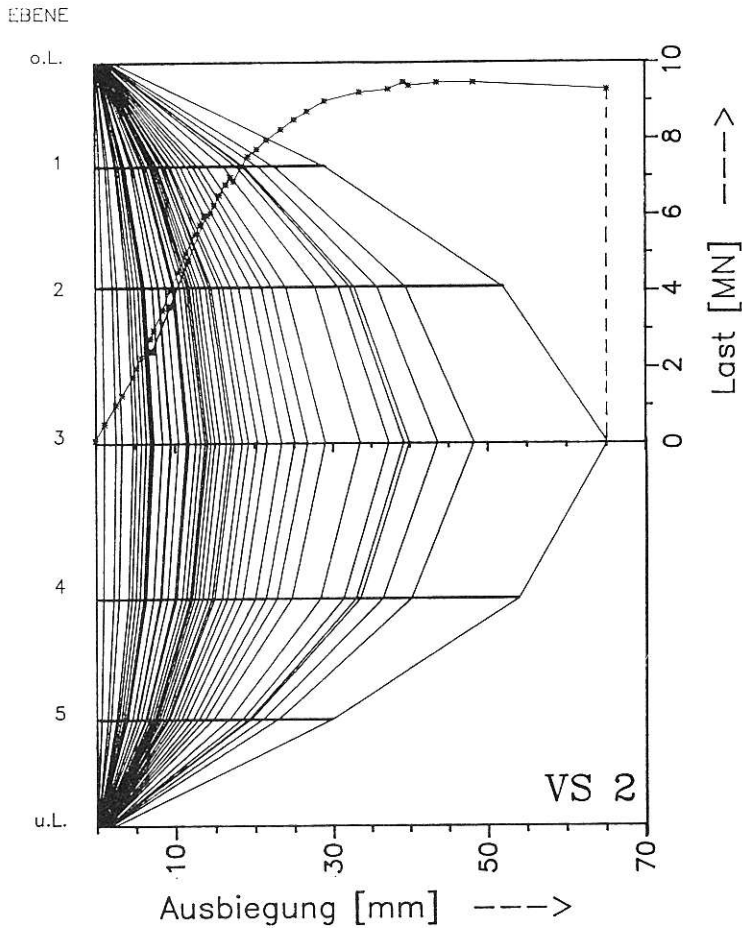


Bild 50: Verformungsfigur von VS2

6.2.3 Dehnungen in Stützenmitte

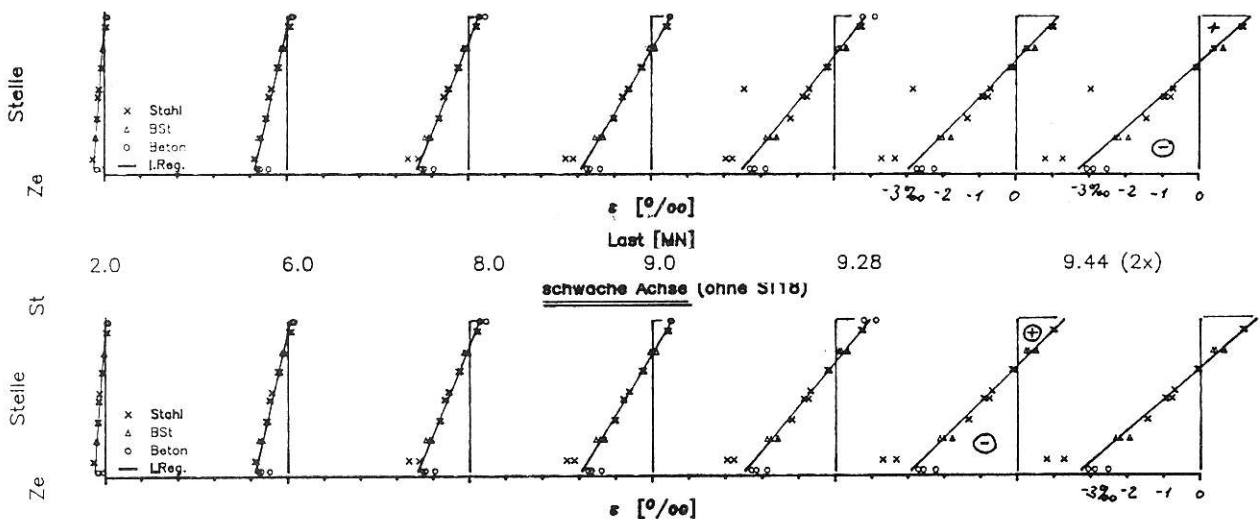


Bild 51: Dehnungsverteilung bei unterschiedlichen Laststufen in Stützenmitte

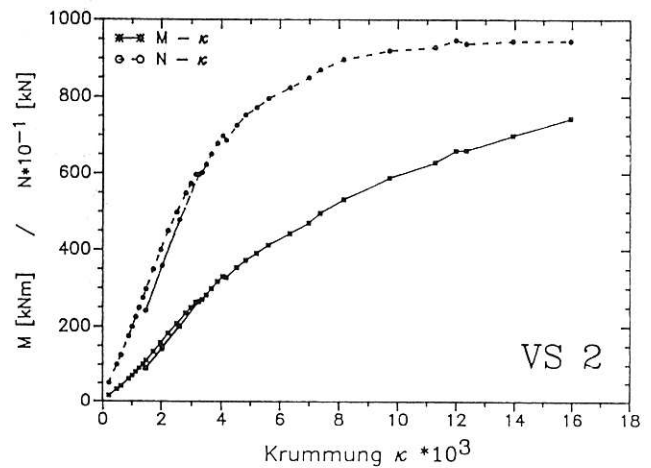
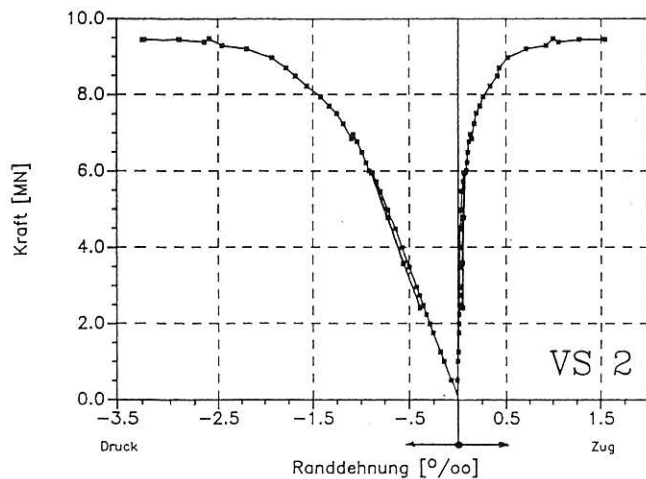


Bild 52:
Kraft-Dehnungsverlauf nach linearer
Regression

Bild 53:
Momenten-Krümmungs-Verlauf

6.3 Stütze VS3 mit großer Ausmitte und Biegung um die starke Achse

Die in Kapitel 4 wiedergegebenen Vorberechnungen führten zu folgenden Vorgaben:

- erwartete Bruchlast F_U : 5,3 MN
- Gebrauchslast $F_U/1,5$: 3,5 MN
- obere Schwinglast: 2,8 MN
- untere Schwinglast: 1,4 MN

Die Anfangsausmitte war zu 825 mm gewählt worden. Aufgrund der Berechnungen wurde eine Ausbiegung von etwa 2,5 cm erwartet.

Die tatsächliche Maximallast betrug: 5,19 MN

Die zugehörige Ausbiegung betrug: 30 mm

Der Probekörper verhielt sich wie erwartet. Die große Lastexzentrizität bedingt große Biegemomente bei relativ kleiner Längskraft. Somit stellten sich auch frühzeitig auf der Zugseite (St) horizontal bis etwa zur Stegmitte verlaufende Biegerisse ein. Der erste Horizontalriß entstand bei 2,8 MN. Nach Versuchsende lag ein sehr gleichmäßiges Rißbild vor, vergleichbar demjenigen eines Biegeträgers. Messungen einzelner Rißbreiten ergaben Werte bis zu 0,2 mm im Bereich der oben definierten Gebrauchslast. Die Verstärkung der Druckfläche im Lasteinleitungsbereich hat ein vorzeitiges Versagen der Lasteinleitungsbereiche sicher verhindert.

Versagensursache: Betondruckbruch in Stützenmitte.

Wie bei VS1 folgt eine Zusammenstellung einzelner Ergebnisse. Die Grundlagen für die dargestellten Diagramme sind unter 6.1 bereits beschrieben.

6.3.1 Bruchbilder der Stütze VS3 nach Versuchsende

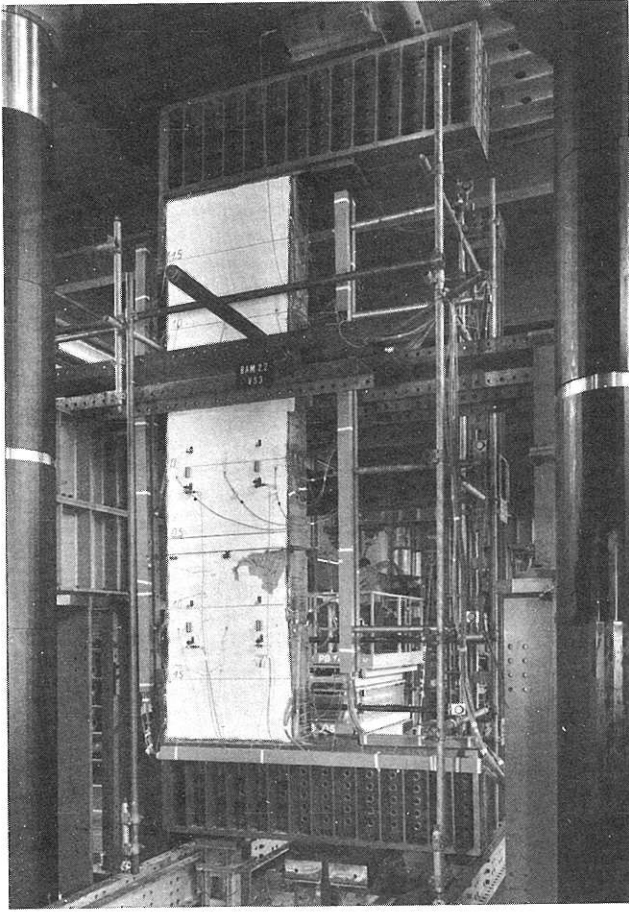


Bild 54: Stützenansicht Seite St

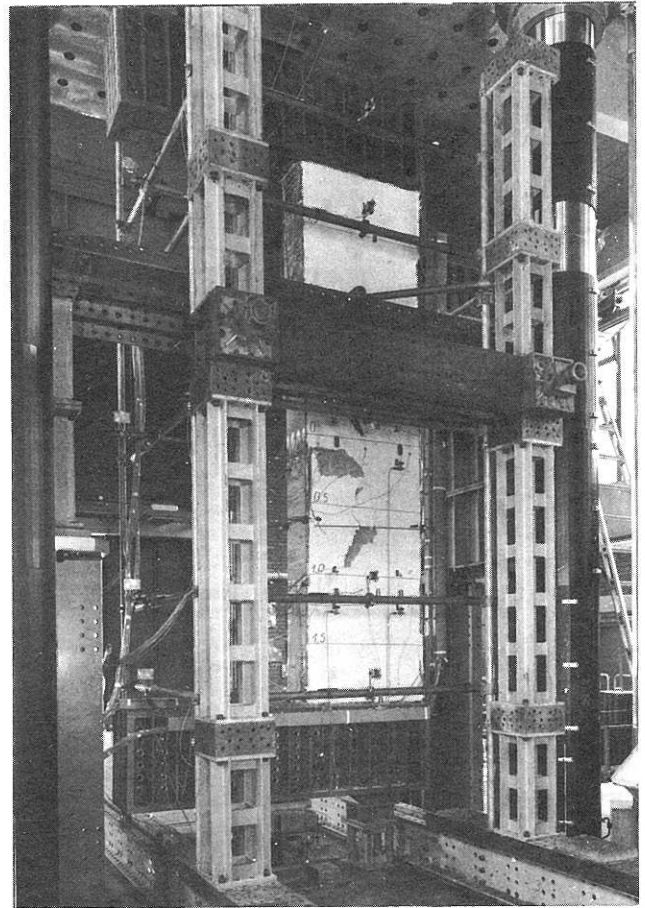


Bild 55: Stützenansicht Seite Ze

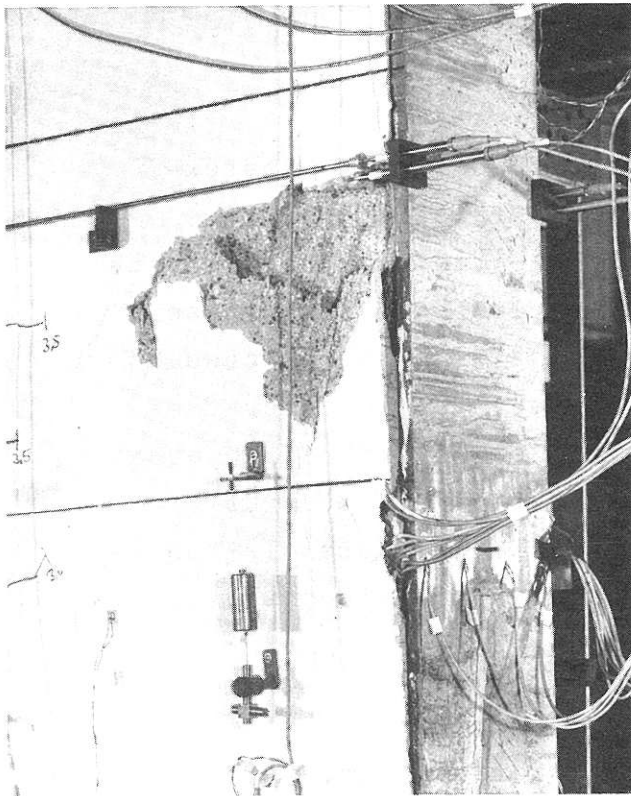


Bild 56: Detail, Bruchbereich, St

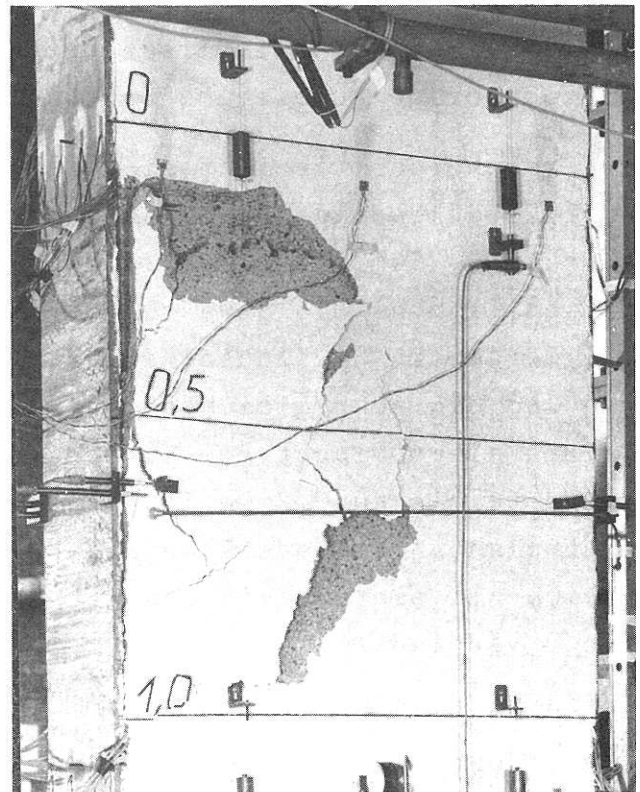


Bild 57: Detail, Bruchbereich, Ze

6.3.2 Verformung

Im folgenden Bild ist die laststufenweise Ausbiegung von VS3 dargestellt. Gleichzeitig ist die Last-Verformungskurve in Stützenmitte eingezeichnet.

EBENE

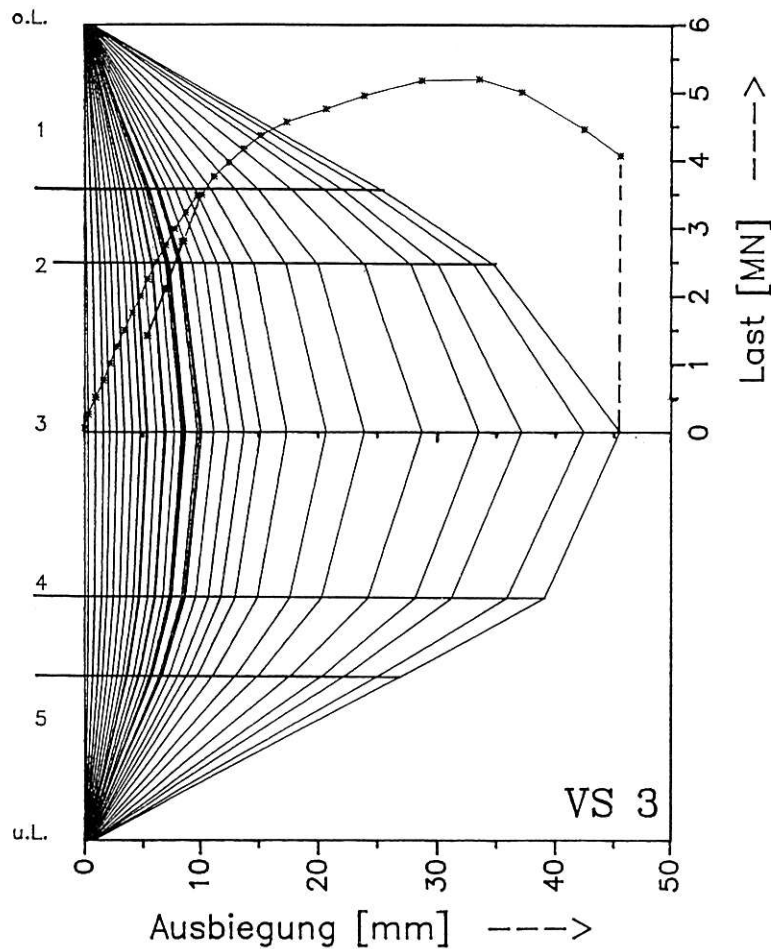


Bild 58:
Verformungsfigur
von VS3

6.3.3 Dehnungen in Stützenmitte

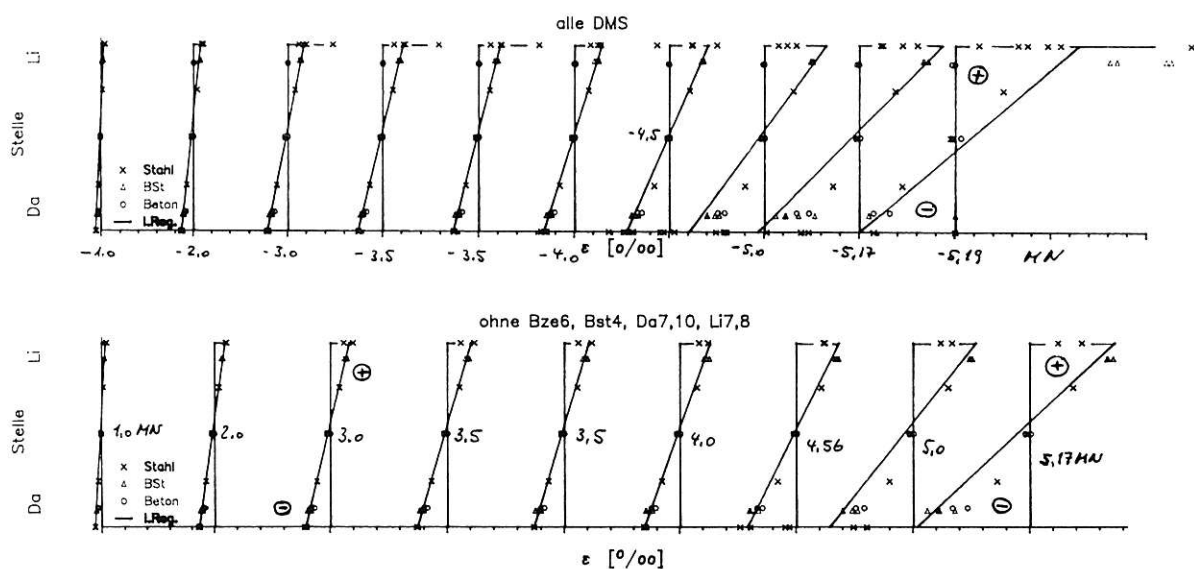


Bild 59: Dehnungsverteilung bei unterschiedlichen Laststufen in Stützenmitte

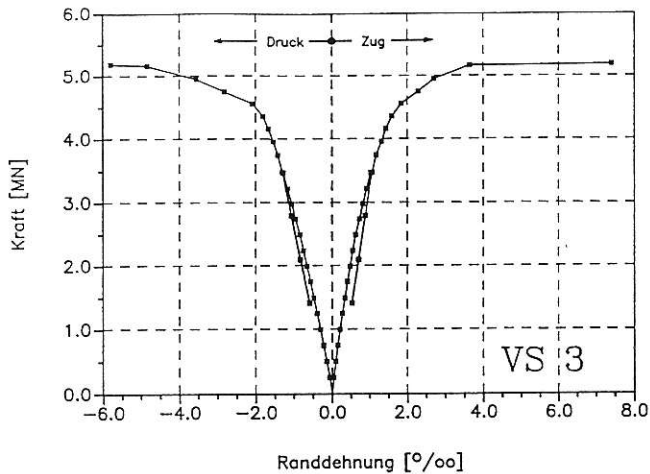


Bild 60:
Kraft-Dehnungs-Verlauf nach
linearer Regression

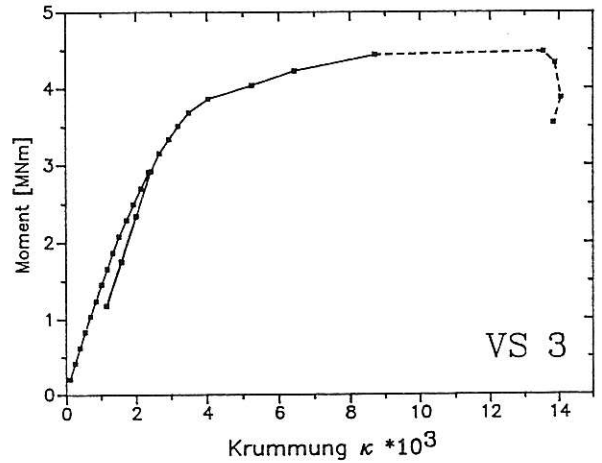


Bild 61:
Momenten-Krümmungs-Verlauf

6.4 Stütze VS4 - Biegung um die starke Achse und mäßige Ausmitte

Die in Kapitel 4 wiedergegebenen Vorberechnungen führten zu folgenden Vorgaben:

erwartete Bruchlast F_U :	14,3 MN
Gebrauchslast $F_U/1,5$:	9,5 MN
obere Schwinglast:	7,6 MN
untere Schwinglast:	3,8 MN

Die Anfangsausmitte war zu 160 mm gewählt worden.

Die tatsächliche Maximallast betrug: 14,79 MN

Die maximale Ausbiegung betrug: 10 mm

VS4 war als Ersatz bzw. Ergänzung für den Versuch VS1, bei der der Bruch vom Lasteinleitungsbereich ausging, gedacht. Durch die Verstärkungen im Kopf- und Fußbereich ließ sich ein solches Versagen sicher verhindern. Es traten dort nicht einmal mehr Risse auf. Abgesehen von geringen Ablösungen zwischen den Gurten und dem Kammerbeton war bis zum Bruch keine Schädigung zu erkennen.

Versagensursache: Betondruckbruch in Stützenmitte.

Wie bei VS1 folgt eine Zusammenstellung einzelner Ergebnisse. Die Grundlagen für die dargestellten Diagramme sind unter 6.1 bereits beschrieben.

6.4.1 Bruchbilder der Stütze VS 4 nach Versuchsende

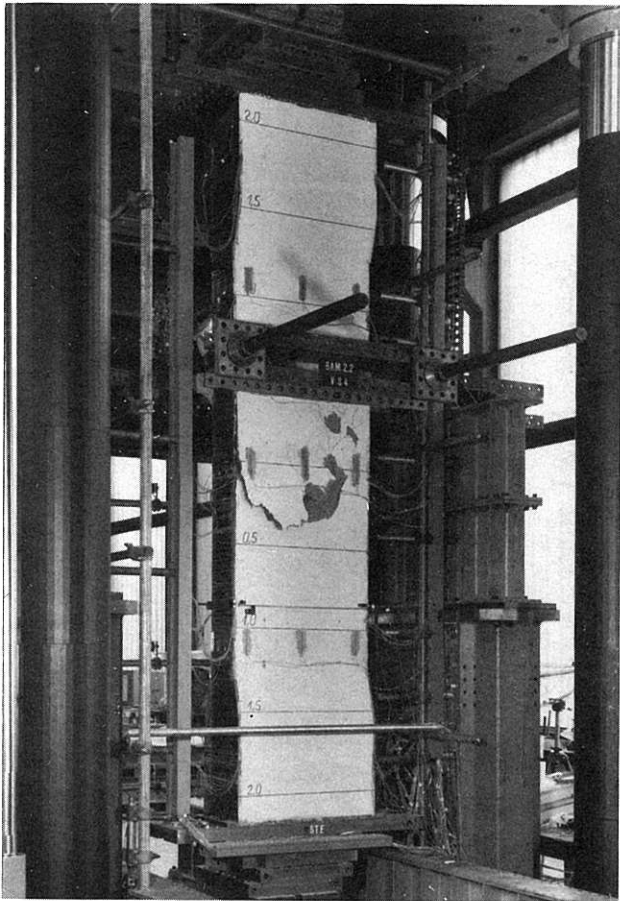


Bild 62: Stützenansicht Seite St

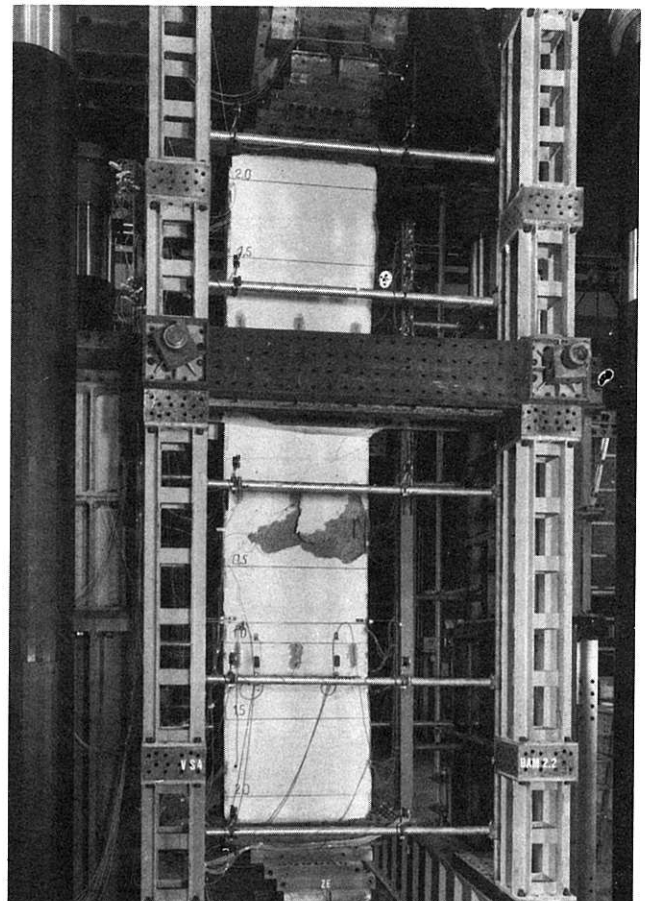


Bild 63: Stützenansicht Seite Ze

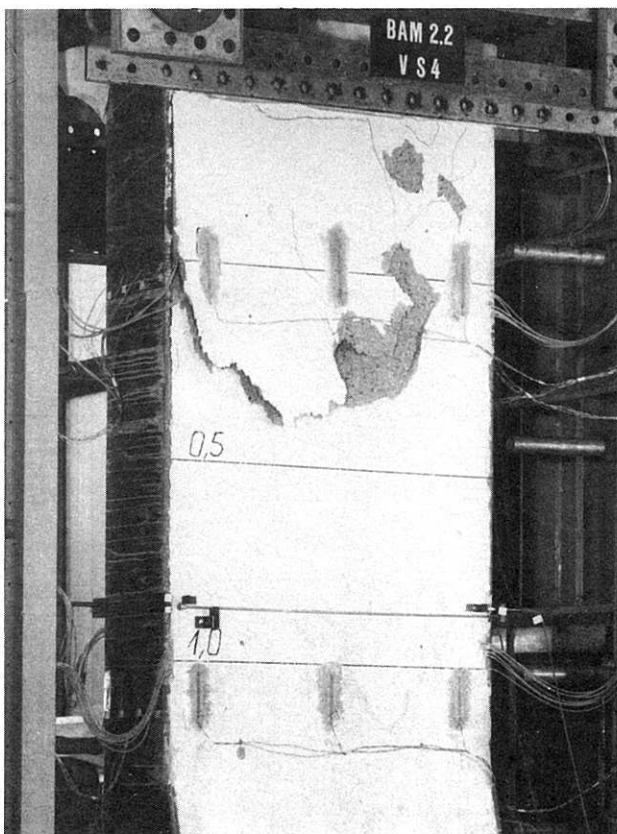


Bild 64: Detail, Bruchbereich, St

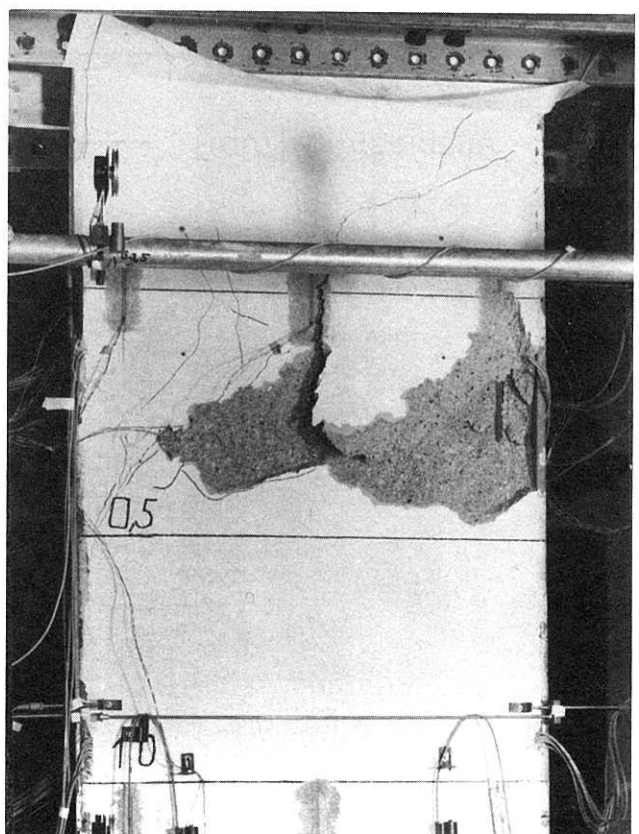


Bild 65: Detail, Bruchbereich, Ze

6.4.2 Verformung

Im folgenden Bild ist die laststufenweise Ausbiegung von VS1 dargestellt. Gleichzeitig ist die Last-Verformungskurve in Stützenmitte eingezeichnet.

EBENE

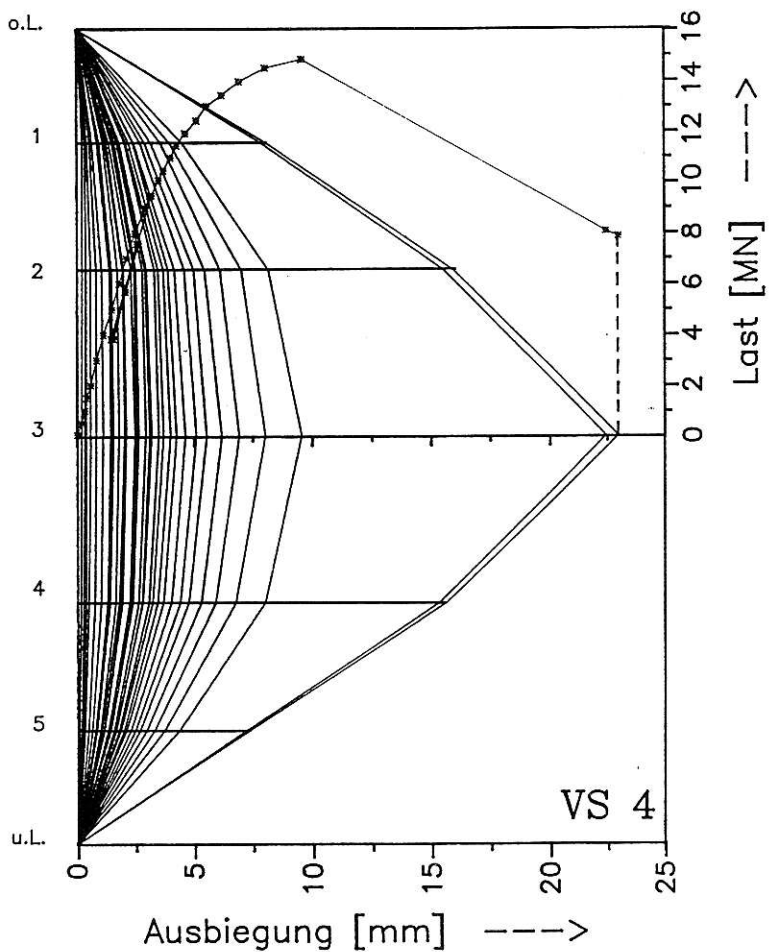


Bild 66:
Verformungsfigur von VS4

6.4.3 Dehnungen in Stützenmitte

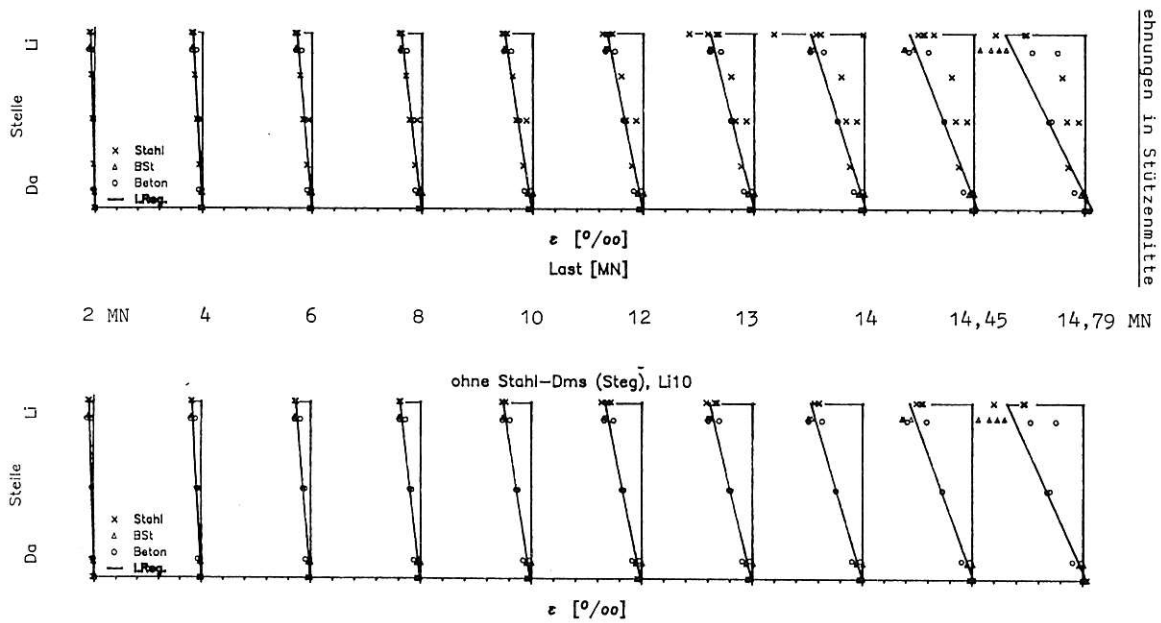


Bild 68: Dehnungsverteilung bei unterschiedlichen Laststufen in Stützenmitte

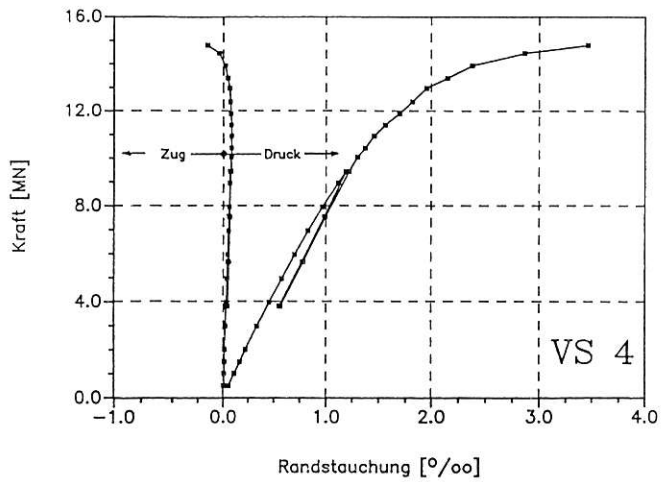


Bild 69: Kraft-Dehnungs-Verlauf nach linearer Regression

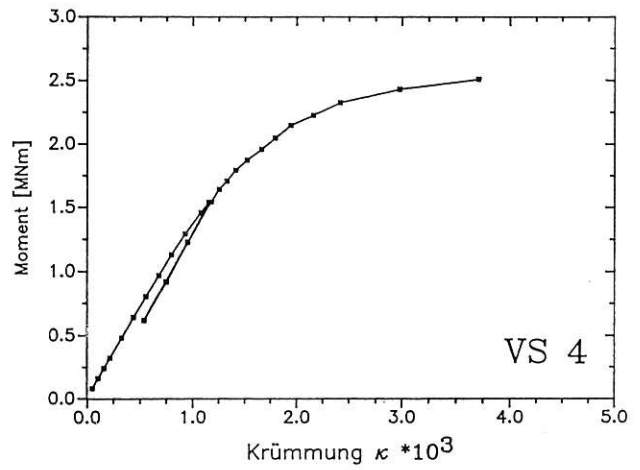


Bild 70: Momenten-Krümmungs-Verlauf

7.0 Vergleichende Berechnungen

Von besonderem Interesse und wesentliches Ziel der durchgeführten Untersuchungen ist die Beantwortung der Frage, inwieweit die gewonnenen Versuchsergebnisse mit dem theoretisch ermittelten Tragverhalten der Stützen übereinstimmen. Dies gilt einerseits für lokale Betrachtungen (stimmen rechnerische und experimentell ermittelte Bruchschnittgrößen überein?), andererseits auch für das globale Tragverhalten (wird die Verformung nach Theorie II. Ordnung durch die zugrunde gelegten Rechenannahmen zutreffend abgeschätzt?).

Zunächst soll die lokale Übereinstimmung überprüft werden. Dazu eignet sich die Darstellung im Interaktionsdiagramm Biegemoment-Normalkraft am besten.

7.1 M/N-Interaktion (Stützenmitte)

Die größten Beanspruchungen treten aufgrund der Exzentrizität und damit der vorhandenen Biegung in Stützenmitte auf. Daher wird auch nur dieser Bereich betrachtet. Vergleichende Berechnungen können jedoch nicht auf der Grundlage der Festigkeitskennwerte der DIN 18 806 basieren, sondern sie müssen die im Versuch vorhandenen Verhältnisse möglichst zutreffend erfassen. Folgende Annahmen wurden zugrunde gelegt:

7.1.1 Abmessungen

Bedingt durch den Walzvorgang treten von den Angaben im Lieferprogramm abweichende Maße auf.

Die Berechnungen erfolgten mit einem Querschnitt, dessen Maße den im Mittel festgestellten Profilabmessungen entsprechen (die Schwankungen sind nur gering, da alle 4 Probekörper aus einem Herstellungsprozeß stammen).

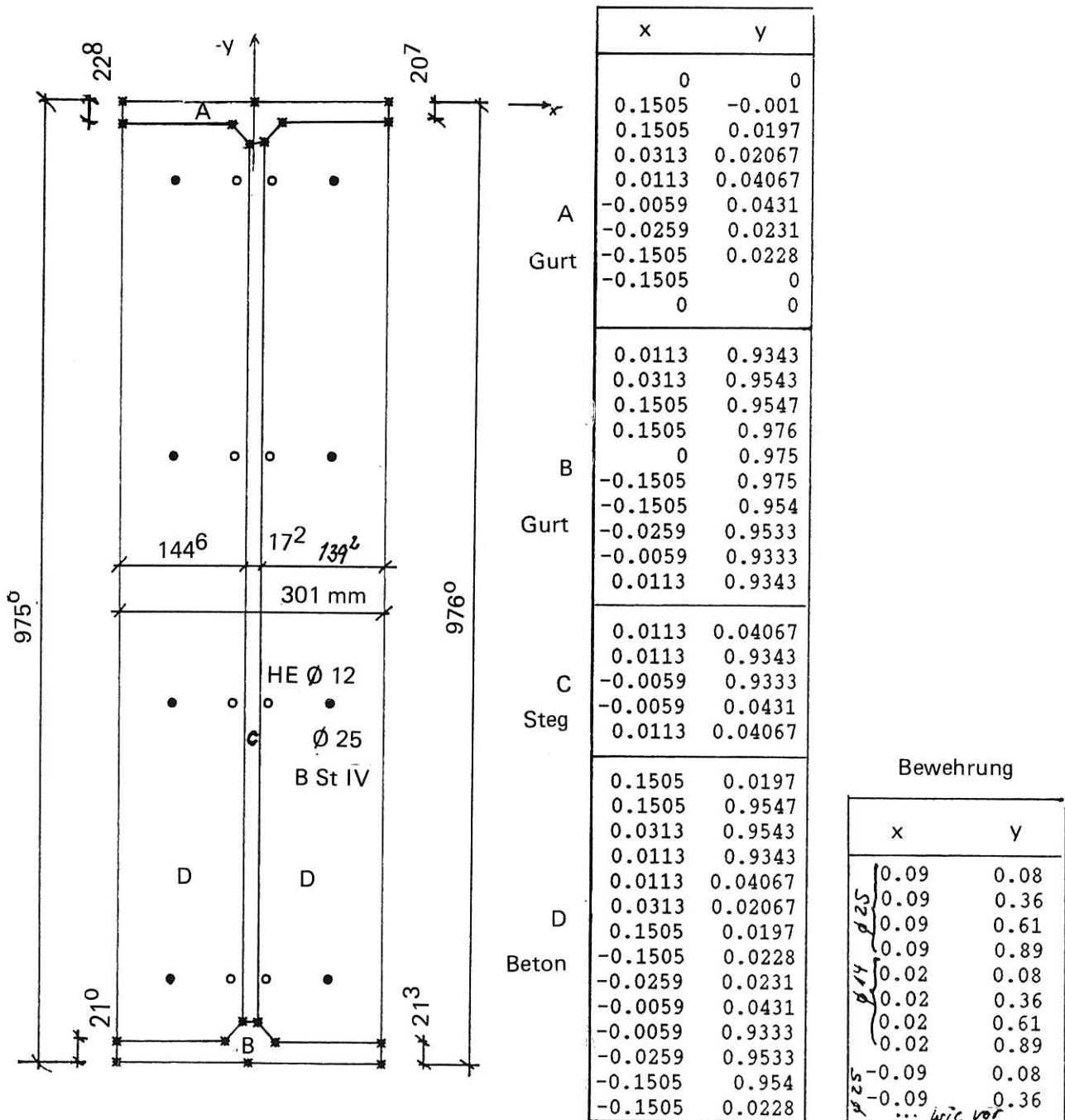


Bild 71: Den Berechnungen zugrunde gelegte Querschnittsgeometrie

7.1.2 Werkstoffkennwerte

a) Profilstahl

Wie in Bild 71 zu erkennen ist, wurde das Stahlprofil in 3 Bereiche zerlegt: 1) Obergurt, 2) Untergurt, 3) Stegbereich. Grund für diese Unterscheidung ist die Tatsache, daß herstellungsbedingt Steg und Gurte unterschiedliche Festigkeiten aufweisen. Aufgrund der an Zugproben festgestellten Eigenschaften wird angenommen:

Streckgrenze (Steg) = $\beta_S = 287 \text{ N/mm}^2$

Streckgrenze (Gurte) = $\beta_S = 269 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätsmodul = $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

b) Betonstahl

Der Einfluß der Montageeisen \emptyset 12 mm ist nur gering. Es wird daher sowohl für diese als auch für die Hauptlängsbewehrung \emptyset 25 mm mit den Festigkeitswerten der größeren Durchmesser gearbeitet. An Hand von Zugproben wurden ermittelt:

Streckgrenze: $\beta_s = 611 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätsmodul: $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

c) Beton

Naturgemäß streuen die Betonfestigkeiten stärker als die des Stahls. Dabei ergibt die Würfeldruckprüfung, die in Deutschland standardmäßig vorgesehen ist, die unsichersten Werte. Besser ist es, von der Prismenfestigkeit β_p auszugehen. Eine Versuchsdauer von ca. 4 Stunden - wie bei den Verbundstützen - kann schon annähernd als Langzeitbelastung angesehen werden. Gegenüber der Kurzzeitfestigkeit der Prismenprüfung ergeben sich bei einem 4-Stunden-Versuch um etwa 5-10 % reduzierte Festigkeiten. Tatsächlich wird zudem im Versuch nicht der Bereich mit einer mittleren Druckfestigkeit versagen, sondern der mit der geringsten. Hierfür muß ebenfalls mit einem Abzug von 5-10 % gerechnet werden. Um die Festigkeit zur für die Nachrechnung von Versuchsergebnissen sicheren Seite (möglichst hoch) abzuschätzen, wird im folgenden gerechnet mit

$$\beta_R \approx 0,95 \cdot 0,95 \cdot \beta_p = 0,9 \cdot \beta_p$$

Die Ausstattung der Prismen mit Meßwertaufnehmer gestattete die Aufzeichnung der Spannungs-Dehnungs-Verläufe in Prismenlängs- und Querrichtung. Die gemessenen σ - ϵ -Beziehungen eines mit der Stütze VS4 hergestellten Prismas und die der Berechnung zugrunde gelegten sind in Bild 72 dargestellt. Auf dem zugehörigen Foto ist die Anordnung der Meßwertaufnehmer zu erkennen.

Auf Grund der Versuche an Prismen wird von folgenden Rechenwerten ausgegangen:

$$\text{Für VS1: } \beta_R = 39,24 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Für VS2: } \beta_R = 39,96 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Für VS3: } \beta_R = 39,42 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Für VS4: } \beta_R = 37,98 \text{ MN/m}^2.$$

Diese Festigkeitswerte liegen unerwartet nah zusammen. Daher wird bei den folgenden Berechnungen nur noch unterschieden zwischen

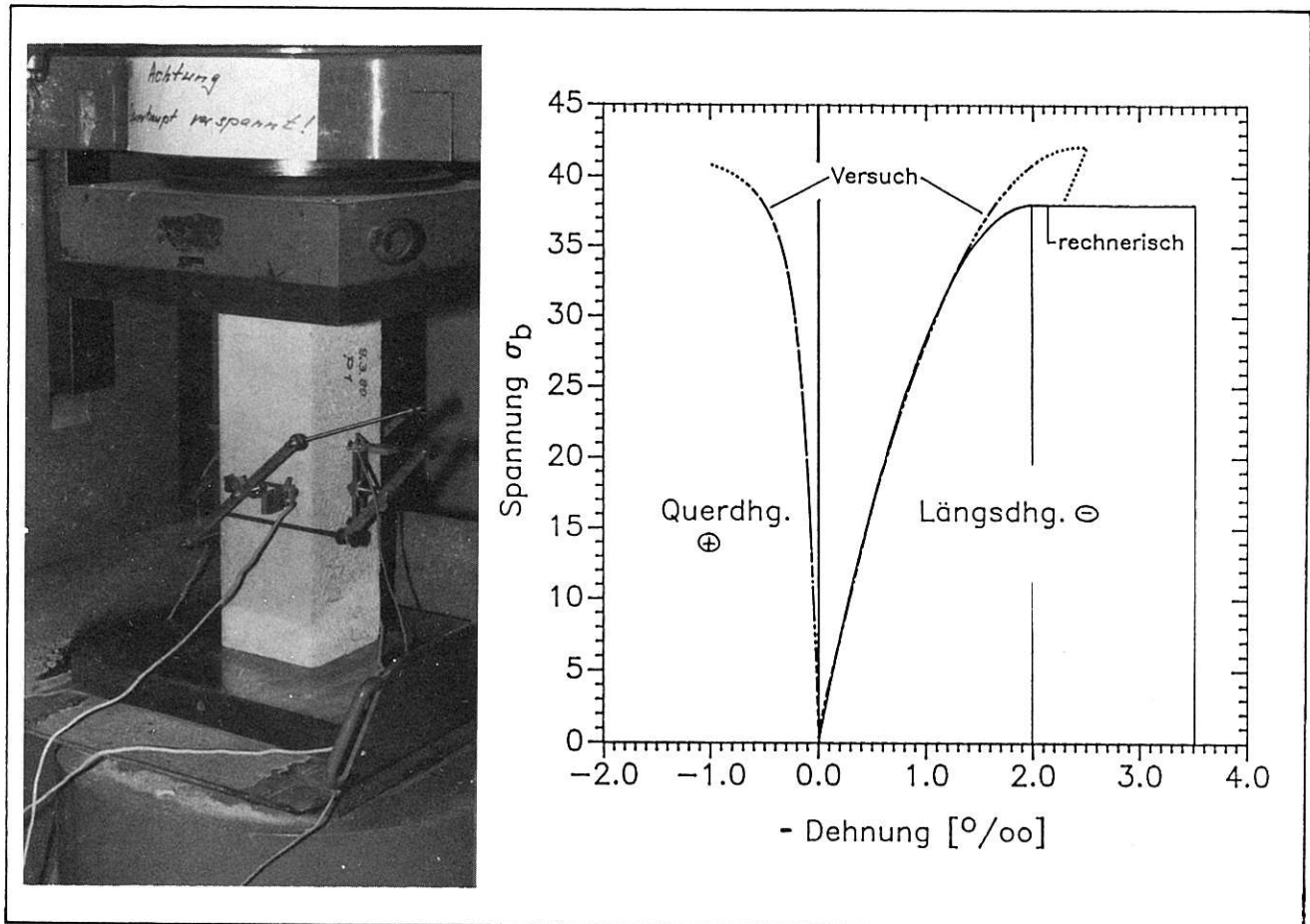


Bild 72: Aufnehmeranordnung bei der Bestimmung der Prismenfestigkeit und σ - ϵ -Beziehungen

- a) Biegung um die starke Achse: $\beta_R = 39,2 \text{ N/mm}^2$
- b) Biegung um die schwache Achse: $\beta_R = 40,0 \text{ N/mm}^2$.

Somit läßt sich die Gesamtzahl der Berechnungen stark reduzieren, und die Ergebnisse der drei Stützen VS1, VS3 und VS4 lassen sich zusammenfassen.

7.1.3 Werkstoffgesetze

Die DIN 18 806 und der Eurocode 2 [8] sehen vor, die M/N-Interaktion unter Zugrundelegung starr-idealplastischen Materialverhaltens für den Beton und den Stahl zu berechnen. Die sich aus dieser Annahme ergebenden Kurven sind in den zwei folgenden Diagrammen der Bilder 75 und 76 durchgezogen dargestellt. Die markierten Stellen entsprechen den berechneten, zu Polygonzügen verbundenen Punkten. Die Anpassung an ein "wirklichkeitsnäheres" Werkstoffverhalten erfolgt durch einen Hilfsbeiwert.

Diesen Kurven gegenübergestellt sind zwei andere: Die erste geht von einem bilinearen Verhalten des Stahles aus und berücksich-

tigt den Beton entsprechend DIN 1045 [9] (Parabel-Rechteck-Diagramm), Bild 73. Dabei wird die Betonrandstauchung auf $-3,5 ‰$ begrenzt (gestrichelte Linie).

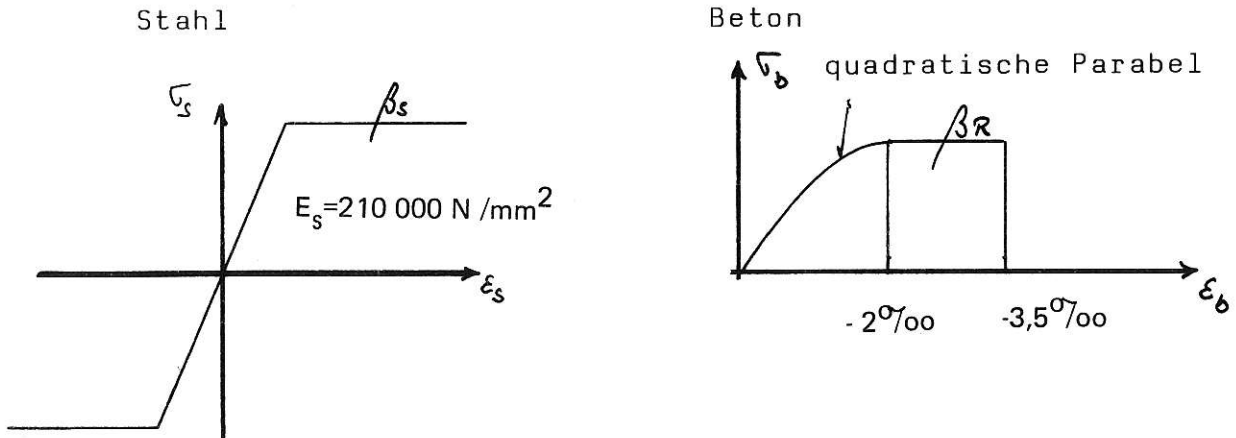


Bild 73: Idealisierte Spannungs-Dehnungslinien [9]

Die zweite berücksichtigt zusätzlich den Einfluß des Dehnungsgradienten auf die maximal zulässige Betonrandstauchung entsprechend DIN 1045 bzw. EC 2 (punktierte Linie).

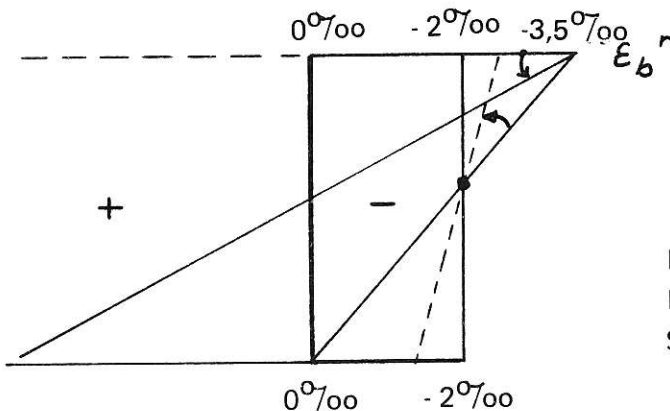


Bild 74:
Dehnungsverteilung in
Stahlbetonquerschnitten [9]

Im Fall der Biegung um die starke Achse lassen sich damit eindeutige Lösungen finden. Von Interesse war im Fall der Stütze VS2 (Biegung um die schwache Achse), ob hier als Betonranddehnung des weniger gedrückten Rands (Zugrand) diejenige auf der Zugseite angenommen werden darf, oder ob die Druckseite als Einzeldruckquerschnitt zu betrachten ist und somit dessen Randdehnung des weniger gedrückten Rands (etwa in Querschnittsmitte = am Steg) maßgeblich wird. Letzteres ist der ungünstigere Fall. Die gepunktete Kurve stellt die sich unter dieser Voraussetzung ergebenden Werte dar.

7.1.4 M/N-Diagramme

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen die Bilder 75 und 76. Die schwarz eingetragenen Punkte repräsentieren dabei jeweils die Versuchsergebnisse.

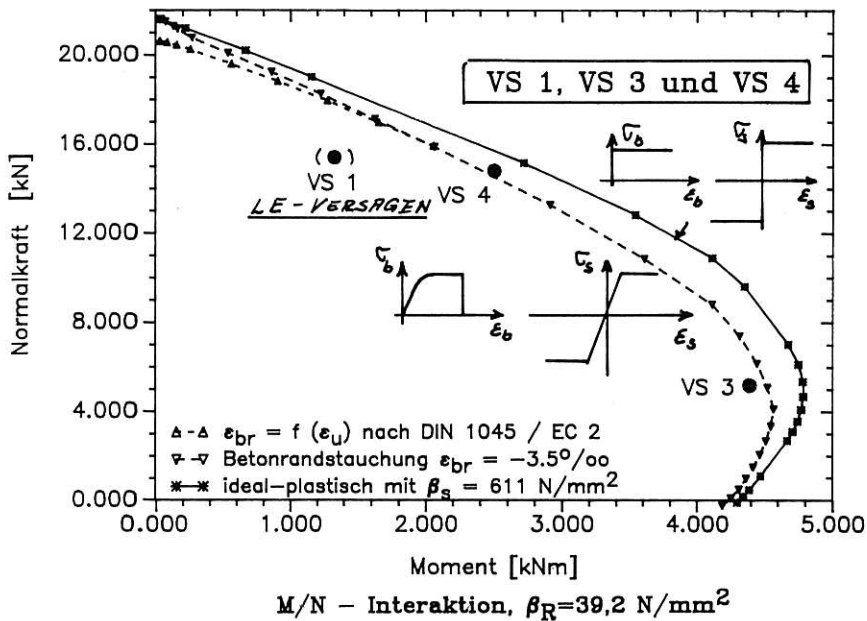


Bild 75:
Ergebnisse von VS1,
VS3 und VS4 im
M/N-Diagramm
(LE = Lasteinleitungs-
bereich)

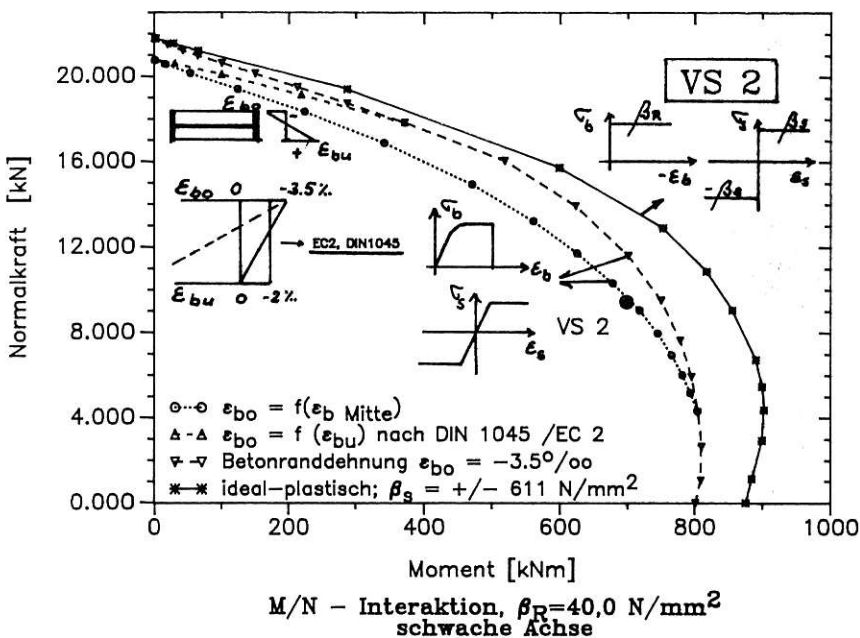


Bild 76:
Versuchsergebnis von
VS2 im M/N-Diagramm

7.1.5 Wertung des Ergebnisvergleichs

Die Prüfergebnisse der Stütze VS1 finden bei diesem Vergleich keine Berücksichtigung, da - wie mehrfach erwähnt - infolge des Versagens der Lasteinleitung in Stützenmitte die Bruchlasten nicht erreicht werden konnten. Betrachtet man nun die Ergebnisse der übrigen Stützen, so ist festzustellen, daß mit den getroffenen Annahmen die Bruchschnittgrößen mit guter Genauigkeit ermittelt werden können.

Neben einer "genaueren" Berechnung der M/N-Interaktion mit "wirklichkeitsnahen" Werkstoffkennwerten sieht der vereinfachte Bemessungsvorschlag der DIN 18 806 vor, die Interaktionskurven unter Zugrundelegung starr-idealplastischen Materialverhaltens zu ermitteln und die daraus resultierenden Biegemomente um 10 % zu reduzieren. Die dargestellten M/N-Kurven auf den Bildern 75 und 76 zeigen, daß mit dieser Annahme eine gute Übereinstimmung von Versuchsergebnissen und Berechnung vorliegt. In DIN 18 806 Teil 1 ist jedoch nicht eindeutig geregelt, welche Betonranddehnungen im Bruchzustand angenommen werden dürfen. Nur die Begrenzung der Stahlspannungen auf 420 N/mm^2 und damit der Dehnungen auf 2 ‰ gibt einen Anhalt dafür, daß nicht ohne weiteres bei der Ermittlung der Bruchschnittgrößen von maximalen Betonrandstauchungen von $-3,5 \text{ ‰}$ ausgegangen werden darf.

7.2 Globales Tragverhalten

Im folgenden werden die Versuchsergebnisse des Gesamtsystems mit den Berechnungsergebnissen nach DIN 18 806 Teil 1 verglichen.

7.2.1 Berechnung nach DIN 18 806 Teil 1

a) Querschnittswerte (vgl. auch Bild 71)

Beton: $A_b = 2\,638 \text{ cm}^2$
 $I_{bx} = 1\,900\,200 \text{ cm}^4$
 $I_{by} = 211\,900 \text{ cm}^4$
 Profilstahl: $A_a = 298,1 \text{ cm}^2$ davon $135,1 \text{ cm}^2 =$ Steganteil
 $I_{ax} = 428\,300 \text{ cm}^4$
 $I_{ay} = 9\,850 \text{ cm}^4$
 Betonstahl: $A_s = 51,6 \text{ cm}^2$
 $I_{sx} = 46\,400 \text{ cm}^4$
 $I_{sy} = 3\,230 \text{ cm}^4$

b) Festigkeitswerte

Beton: $\beta_{Rx} = 0,9 \cdot \beta_p = 39,24 \text{ N/mm}^2$; $\beta_{Ry} = 40,0 \text{ N/mm}^2$
 Stahl: Steg: $\beta_{sa} = 287 \text{ N/mm}^2$; Gurte: $\beta_{sa} = 269 \text{ N/mm}^2$
 Betonstahl: $\beta_s = 611 \text{ N/mm}^2$ bzw. 420 N/mm^2 , soweit die DIN 18 806 die Stahlspannungen beschränkt.
 E-Modul Beton: Kurzzeit-E-Modul (E_{DIN}) = $500 \cdot \beta_{WN}$ nach DIN 18 806
 $E_{DIN} \approx 500(\beta_p/0,85-5) = 20\,600 \text{ N/mm}^2$
 nach Jungbluth $E = 700 \beta_{WN} = 28\,815 \text{ N/mm}^2$ [6]
 aus σ - ϵ -Diagramm (Prismenfestigkeit)
 $E_{Mittel} \approx 30\,200 \text{ N/mm}^2$.

Die Versuchsdauer betrug jeweils ca. 4 bis 5 Stunden, so daß kein echter Kurzzeitversuch vorlag. In den folgenden Berechnungen dürften daher mit $E = 500 \cdot \beta_{WN} \approx 21\,000 \text{ N/mm}^2$ zutreffende Aussagen zu erwarten sein.

E-Modul Stahl: Einheitlich für Profil- und Betonstahl:

$$E_s = 210\,000 \text{ N/mm}^2.$$

Die aus diesen Annahmen resultierenden M/N-Interaktionsdiagramme sind in den zwei folgenden Bildern dargestellt. Als 2. durchgezogene Kurve sind die um 10 % verringerten Momentenwerte eingetragen. Die zuvor bereits dargestellten Kurven sind zum Vergleich gepunktet eingezeichnet.

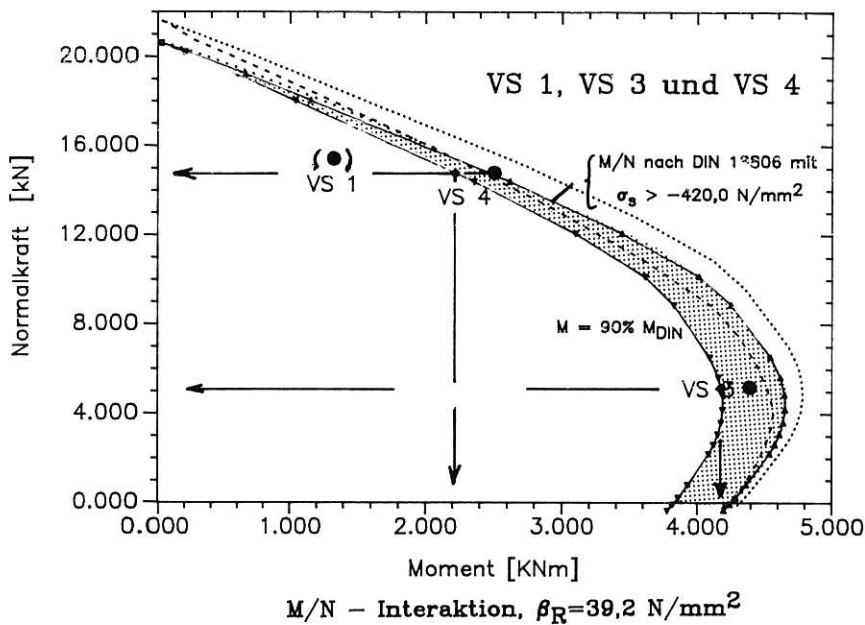


Bild 77:
M/N-Interaktion nach
DIN 18 806,
starke Achse

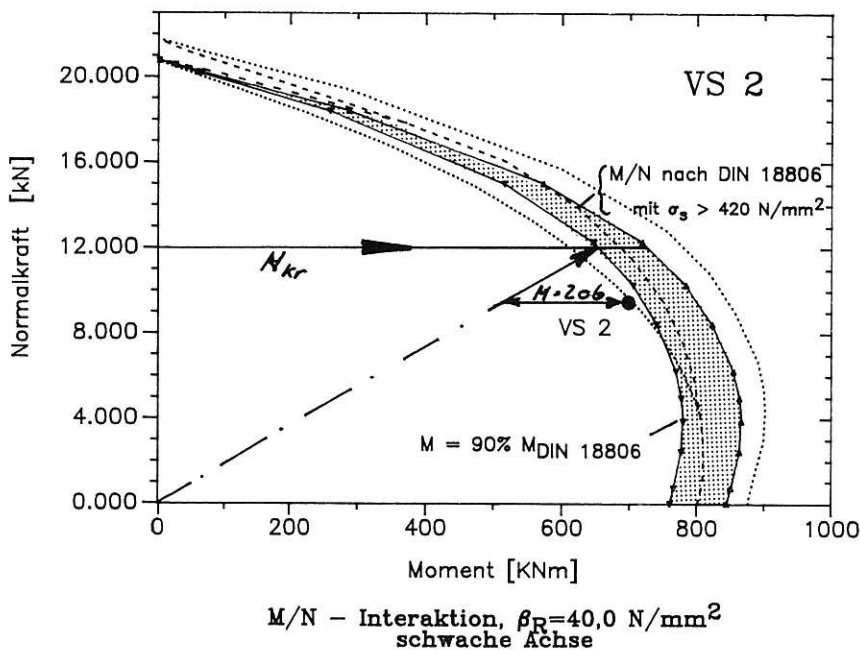


Bild 78:
M/N-Interaktion nach
DIN 18 806,
schwache Achse

c) Quetschlast N_{p1}

$$\begin{aligned} N_{p1} &= N_{p1,a} + N_{p1,b} + N_{p1,s} \\ &= 28,7 \cdot 135,1 + 26,9 \cdot 163,0 + 3,924 \cdot 2638 + 42 \cdot 51,6 \\ &= 20\,780 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$N_{p1,a} = 26,9 \cdot 163 + 28,7 \cdot 135,1 = 8\,262 \text{ kN}$$

$$\delta = \frac{N_{p1,a}}{N_{p1}} = \frac{8262}{20780} = 0,40 \quad 0,2 \leq \delta \leq 0,9 \text{ ist erfüllt.}$$

d) Stabilitätskennwerte für Biegung um die starke Achse

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{p1}}{N_{ki}}} \quad \text{mit } \bar{\lambda} \dots \text{ bezogener Schlankheitsgrad} \\ N_{ki} \dots \text{ ideale Knicklast}$$

wirksame Biegesteifigkeit:

$$\begin{aligned} (EI)_w &= \{21\,000 \cdot 1\,900\,200 + 210\,000(428\,300 + 46\,400)\} \cdot 10^{-8} \\ &= 1\,395,9 \text{ MNm}^2 \end{aligned}$$

$$N_{ki} = \frac{\pi^2}{S_k^2} \cdot (EI)_w = \frac{\pi^2}{5,45^2} (EI)_w = 463 \text{ MN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{20,78}{463}} = 0,212 \approx 2,0$$

α = Abminderungsfaktor nach DIN 18 800 $\approx 1,0$ (s. DIN 18 806, Anhang)

$$\text{Also } N_{kr} = \alpha \cdot N_{p1} \hat{=} N_{p1}!$$

VS4:

Eine im Versuch gemessene Bruchlast von $N^U = 14,8 \text{ MN}$ erlaubt ein maximales Moment von $2\,220 \text{ kNm}$; dies entspricht einer Ausmitte von $e = 15,0 \text{ cm}$. Tatsächlich waren $16,0 \text{ cm}$ vorhanden (ohne Berücksichtigung der Verformungen aus der Theorie II. Ordnung). Die Rechenannahmen liegen somit auf der sicheren Seite.

VS3:

$$\begin{aligned} N^U &= 5\,200 \text{ kN} \\ e &= 80,4 \text{ cm} \\ M^U &= 4\,183 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Auch hier liegt die tatsächlich vorhandene Ausmitte ($e = 82,5 \text{ cm}$) oberhalb der rechnerisch zulässigen, so daß auch hier mit den Vorgaben der DIN 18 806 auf der sicheren Seite liegende Resultate erzielt werden.

e) Stabilitätskennwerte für Biegung um die schwache Achse
wirksame Biegesteifigkeit:

$$(EI)_w = \{21\,000 \cdot 21,19 + 210\,000(0,985+0,323)\} \cdot 10^{-4} \\ = 71,4 \text{ MNm}^2$$

$$N_{ki} = \frac{\pi^2}{s_k^2} \cdot (EI)_w = \frac{\pi^2}{5,45^2} \cdot 71,4 = 23,72 \text{ MN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{20,78}{23,72}} = 0,94 \rightsquigarrow \alpha = 0,578 \text{ (Europ. Knickspannungskurve c)}$$

$$N_{kr} = 0,578 \cdot N_{pl} = 12,0 \text{ MN} \text{ und für} \\ (E = 30\,000 \text{ N/mm}^2) = 0,82 \rightsquigarrow \alpha = 0,650 \text{ folgt } N_{kr} = 13,5 \text{ MN}$$

Bei Zugrundelegung einer Ausmitte von $e_y = 3 \text{ cm}$, einer Biegesteifigkeit von $EI_w = 71\,400 \text{ kNm}^2$ und einer Druckkraft von $9,44 \text{ MN}$ (Versuchsbruchlast) ergibt sich nach der Theorie II. Ordnung eine Mittenausbiegung von

$$v^{II} = 2,55 \text{ cm}$$

ohne Berücksichtigung struktureller Imperfektionen und von

$$v^{II} = 6,94 \text{ cm}$$

bei Berücksichtigung einer Vorverformung von $1/200 = 2,73 \text{ cm}$.

Das dem vereinfachten Verfahren nach DIN 18 806 zugrunde zu legende Bemessungsmoment beträgt somit

$$M^{II} = (0,0255+0,03) \cdot 9,44 = 0,524 \text{ MNm,}$$

das des Standardnachweises

$$M^{II} = (0,0694+0,03) \cdot 9,44 = 0,938 \text{ MNm.}$$

Rechnerisch aufnehmbar sind im ersten Fall

$$M(N = 9,44 \text{ MN}) = 206 \text{ kNm,}$$

und im zweiten Fall liegt ($M^{II} = 938 \text{ kNm} | N = 9,44 \text{ MN}$) außerhalb der 90 %-Grenzkurve, Bild 78.

Beide Verfahren führen also einheitlich zu dem Ergebnis, daß eine Druckkraft von $9,44 \text{ MN}$ bei einer Ausmitte von 30 mm rechnerisch nicht aufgenommen werden kann. Die tatsächliche Normalkraft betrug im Bruchzustand $9,44 \text{ MN}$. Die Annahmen der DIN 18 806 liegen somit auf der sicheren Seite, ohne von der tatsächlichen Tragfähigkeit weit entfernt zu sein.

8. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Aufgrund der Vergleiche zwischen den Berechnungsergebnissen nach DIN 18 806, den Versuchsergebnissen und den eigenen Berechnungen lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Berechnungen auf der Grundlage der DIN 18 806 liefern zutreffende Aussagen zur Tragfähigkeit im Bruchzustand.
- Geringfügig lassen sich die Rechenergebnisse noch verbessern, wenn das Werkstoffverhalten des Betons und des Stahls genauer beschrieben wird. Dabei ist insbesondere die Abhängigkeit der maximalen Randstauchung von der Zugranddehnung bzw. dem Dehnungsgradienten zu berücksichtigen. Da gut aufbereitete Diagramme oder Tabellen zur Berechnung von Verbundstützen als normale Stahlbetontragglieder fehlen, ist eine derartige Bemessung sinnvoll nur mit entsprechenden Rechenprogrammen möglich.
- Bei Biegung um die schwache Achse sollte die Randstauchung in Abhängigkeit von der Randstauchung oder -dehnung der überwiegend gedrückten Kammer festgelegt werden und nicht in Abhängigkeit von den Dehnungswerten am Zugrand des Zugkammerbetons. Eine Begrenzung der Stahlspannungen auf 420 N/mm^2 ist dann überflüssig.

Die Annahmen der DIN 18 806 beschreiben das Bruchverhalten der Stahlverbundstützen recht gut. Von Interesse hinsichtlich zukünftiger Untersuchungen erscheinen aufgrund der Beobachtungen vor allem Probleme, die sich aus dem Anschluß der Stahlbetonstützen an das Stahlprofil ergeben.

Zwei Punkte sind besonders zu nennen:

- 1) Wie sieht die optimale Fußpunktausbildung aus? Es wurde deutlich, daß ein Anschweißen der Bewehrung an die Kopf- und Fußplatte keine Verstärkung, sondern eher eine Querschnittschwächung zur Folge hat. Bei drei vor kurzem in der BAM durchgeführten Knickversuchen an Verbundstützen zeigte sich, daß das Nicht-Anschweißen zwar größere Rißbildung im Fuß- bzw. Kopfbereich verursachte, in keinem Fall aber bruchauslösend wirkte.

2) Wie soll der Anschluß der Betonstütze an den Steg gestaltet sein? Die gewählte Kopfbolzendübelausführung ist zwar ablauf-technisch recht einfach - wenn auch teuer -, sie scheint aber einer Variante, bei der entweder die Bügelbewehrung durchgesteckt oder am Steg angeschweißt wird, unterlegen zu sein. Die Längsbewehrung knickt nämlich nicht nur zwischen zwei Bügeln aus, sondern der Beton selbst löst sich zwischen den Kopfbolzendübeln vom Steg ab und "knickt" örtlich. Eine umschließende Wirkung der Bügel tritt nur bedingt auf. Angeschweißte oder durchgesteckte Bügel bewirken eine stärkere Ausknickbehinderung.

Die zwei zuvor genannten Probleme haben keinen Einfluß auf die Gebrauchstauglichkeit, da von ihnen im Gebrauchszustand nahezu keine Wirkung ausgeht. Für die Bruchlast können sie jedoch bestimmend werden. Zusammenfassend läßt sich aber feststellen, daß bei guter konstruktiver Durchbildung auch Verbundstützen aus Profilstahl mit ausbetonierten Kammern auf der Grundlage der DIN 18 806 sicher bemessen werden können.

9. Literatur

- [1] Memmler, K.; Bierett, G.; Grüning, G.: Tragfähigkeit von Stahlstützen mit Betonkern bei mittigem Kraftangriff. Der Stahlbau, Hefte 7 und 8, Berlin, 1934
- [2] Memmler, K.; Bierett, G.; Grüning, G.: Tragfähigkeit von Stahlstützen mit Betonkern bei verschiedenen Betoneigenschaften und außermittigem Druck. Der Stahlbau, Hefte 11 und 12, Berlin, 1935
- [3] DIN 18 806 Teil 1: Verbundkonstruktionen; Verbundstützen. Ausgabe März 1984
- [4] Eurocode 4: Gemeinsame einheitliche Regeln für Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton, Ausgabe 1985
- [5] Roik, K.: Verbundkonstruktionen. Stahlbau-Handbuch; Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln, 1982
- [6] Jungbluth, O.; Winter, S.: Festlegung von Versuchskörpern für Traglastversuche an Profilverbundstützen für die BAM, Berlin. Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik, Technische Hochschule Darmstadt, Bericht, 1987
- [7] Bemessung von Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 220, 1979
- [8] Eurocode 2: Gemeinsame einheitliche Regeln für Beton, Stahlbeton- und Spannbetonbauten. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Bericht EUR 8848 DE, EN, FR, Brüssel, 1984
- [9] DIN 1045: Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung, Ausgabe Juli 1988
- [10] Altmann, R.; Doudina, J.B.; Kruppa, J.; Schleich, J.B.: La construction mixte résistante au feu. Construction Metallique, N° 3, 1988

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

- Nr. 1/1968
Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft
- Nr. 2/1970 (vergriffen)
G. Andrae
Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern
- Nr. 3/1970
J. Ziebs
Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile
- Nr. 4/1970 (vergriffen)
A. Burmester
Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit – Grundlagen und Vergütungsverfahren
- Nr. 5/1971
N. Steiner
Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken
- Nr. 6/1971
P. Schneider
Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen
- Nr. 7/1971
H.-J. Petrowitz
Chromatographie und chemische Konstitution – Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie
- Nr. 8/1971
H. Veith
Zum Spannungs-Drehungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung
- Nr. 9/1971
K.-H. Möller
Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen
- Nr. 10/1972
D. Aurich, E. Martin
Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode
- Nr. 11/1972
H.-J. Krause
Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden
- Nr. 12/1972
H. Feuerberg
Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren
- Nr. 13/1972
K.-H. Habig, K. Kirschke, W.-W. Maennig, H. Tischer
Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr
- Nr. 14/1972
E. Fischer
Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz
- Nr. 15/1972
H. Pohl
Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse
- Nr. 16/1972
E. Knublauch
Über Ausführung und Assagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer
- Nr. 17/1972
P. Reimers
Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen
- Nr. 18/1973
W. Struck
Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
- Nr. 19/1973
K. Kaffanke, H. Czichos
- Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**
- Nr. 20/1973
R. Rudolphi
Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden
- Nr. 21/1973
D. Klaffke, W. Maennig
Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrütung
- Nr. 22/1973
R. Rudolphi, E. Knublauch
Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen
- Nr. 23/1973
W. Ruske
Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen
- Nr. 24/1973
J. Stanke, E. Klement, R. Rudolphi
Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung
- Nr. 25/1973
E. Knublauch
Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen
- Nr. 26/1974
P. Jost, P. Reimers, P. Weise
Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM – Eigenschaften und erste Anwendungen
- Nr. 27/1974
H. Wüstenberg
Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall
- Nr. 28/1974
H. Heinrich
Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern
- Nr. 29/1974
P. Schneider
Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelet für senkrechten, schrägen und allseitigen Schallenfall
- Nr. 30/1974 (vergriffen)
H. Czichos, G. Salomon
The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology
- Nr. 31/1975
G. Fuhrmann
Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung
- Nr. 32/1975
R. Rudolphi, B. Böttcher
Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen
- Nr. 33/1975
A. Wagner, G. Kieper, R. Rudolphi
Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens
- Nr. 34/1976 (vergriffen)
H.-J. Deppe
Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoff Nr. 35/1976
- E. Limberger
Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper – Vorschlag für ein Prüfverfahren –
- Nr. 36/1976 (vergriffen)
J. Hundt
Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles
- Nr. 37/1976
W. Struck
Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen – Vorschlag für ein Prüfverfahren –
- Nr. 38/1976
K.-H. Habig
Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4
- Nr. 39/1976
K. Kirschke, G. Kempf
Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung
- Nr. 40/1976
H. Hantsche
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren
- Nr. 41/1976
B. Böttcher
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten
- Nr. 42/1976
S. Dietlen
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft
- Nr. 43/1976
W. Struck
Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
- Nr. 44/1976
W. Matthees
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“
- Nr. 45/1976
W. Paatsch
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
- Nr. 46/1977 (vergriffen)
G. Schickert, H. Winkler
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
- Nr. 47/1977
A. Plank
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
- Nr. 48/1977
U. Holzlöhner
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
- Nr. 49/1977
G. Wittig
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
- Nr. 50/1978 (vergriffen)
N. Czaika, N. Mayer, C. Amberg, G. Magiera, G. Andrae, W. Markowski
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
- Nr. 51/1978
J. Sickfeld
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
- Nr. 52/1978
A. Tomov
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
- Nr. 53/1978
R.-G. Rohrmann, R. Rudolphi
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
- Nr. 54/1978
H. Sander
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
- Nr. 55/1978
D. Klaffke
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
- Nr. 56/1979
W. Brünner, C. Langlie
Stabilität von Sandwichbauteilenn
- Nr. 57/1979
M. Stadthaus
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpul-

verprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
 Nr. 58/1979
 W. Struck
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
 Nr. 59/1979
 G. Plauk
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
 Nr. 60/1979
 H. Spreckelmeyer, R. Helms, J. Ziebs
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
 Nr. 61/1979
 K. Richter
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmimetrie mit Hilfe des Gegenfarbensystems
 Nr. 62/1979
 W. Gerisch, G. Becker
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
 Nr. 63/1979
 E. Behrend, J. Ludwig
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
 Nr. 64/1980
 W. Rücker
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
 Nr. 65/1980
 P. Schmidt, D. Aurich, R. Helms, H. Veith, J. Ziebs
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungsstandes auf bruchmechanische Kennwerte
 Nr. 66/1980
 M. Hattwig
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
 Nr. 67/1980
 W. Matthees
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
 Nr. 68/1980
 D. Petersohn
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik. Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
 Nr. 69/1980
 F. Buchhardt, P. Brandl
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitsbehältern (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
 Nr. 70/1980 (vergriffen)
 G. Schickert
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
 Nr. 71/1980
 W. Matthees, G. Magiera
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
 Nr. 72/1980
 R. Rudolphi
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
 Nr. 73/1980
 P. Wegener
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
 Nr. 74/1980
 R. Rudolphi, R. Müller
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
 Nr. 75/1980
 H.-J. Heinrich
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen

Nr. 76/1980
 D. Klaffke, W.-W. Maennig
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
 Nr. 77/1981
 M. Gierloff, M. Maulzsch
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
 Nr. 78/1981
 W. Rücker
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Swellensystems mit dem Untergrund
 Nr. 79/1981
 V. Neumann
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflußten Kaltrißeigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
 Nr. 80/1981
 A. Plank, W. Struck, M. Tzschätzsch
Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
 Nr. 81/1981
 J. Schmidt
Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
 Nr. 82/1982
 R. Helms, H.-J. Kühn, S. Ledworuski
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
 Nr. 83/1982
 H. Czichos, P. Feinle
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen
- Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen -
 Nr. 84/1982
 R. Müller, R. Rudolphi
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
 Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/1982
 H. Czichos
Technische Materialforschung und -prüfung - Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ - Materials Research and Testing - Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme „Basic Technological Research“ -
 Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/1982
 K. Niesel, P. Schimmelwitz
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügekennmerkmale
 Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/1982
 B. Isecke, W. Stichel
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
 Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/1983
 A. Erhard
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
 Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/1983
 D. Conrad, S. Dietlen
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
 Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/1983
 K. Brandes, E. Limberger, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
 Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/1983
 M. Weber
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
 Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/1983
 L. Auersch
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
 Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/1983
 P. Städt
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen

Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/1983
 Xian-Quan Dong
Untersuchungen der Störsschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
 Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/1983
 M. Römer
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
 Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/1983
 H. Eifler
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
 Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/1983
 G. Fuhrmann, W. Schwarz
Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
 Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/1983
 E. Schnabel
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschinenwaren - Stretch- und Erholungsvermögen -
 Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/1983
 K. Brandes, E. Limberger, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von Stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
 Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/1984
 G. Klamrowski, P. Neustupny
Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
 Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/1984
 P. Reimers, J. Goebbels, H. Heidt, P. Weise, K. Wilding
Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie
 Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/1984
 G. Magiera
Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton
 Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/1984
 D. Schnitger
Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
 Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/1984
 M. Gierloff
Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
 Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/1984
 B. Schulz-Forberg
Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
 Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/1984
 J. Lehnert
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
 Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/1984
 W. Stichel, J. Ehreke
Korrosion von Stahlradiatoren
 Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/1984
 L. Auersch
Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen - Ergebnisse von Modellrechnungen
 Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/1985
 M. Omar
Zur Wirkung der Schrumpfbegrenzung auf den Schweißspannungszustand und das Sprödbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N
 Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/1985
 H. Walde, B. Kropp
Wasserstoff als Energieträger
 Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/1985
 K. Ziegler
Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Analex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte
 Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/1985
 W. Lützwow
Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen
 Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/1985
 R. Helms, H. Henke, G. Oelrich, T. Saito
Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungskorrosion von Offshore-Konstruktionen
 Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/1985
 P. Rose, P. Raabe, W. Daum, A. Szameit

Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen

Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/1985

K. Richter

Farbempfindungsmerkmal Elementaruntton und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld

Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/1985

F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi, A. Wagner

Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik

Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/1985

H. Czichos, G. Sievers

Materials Technologies and Techno-Economic Development

A Study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)

Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/1985

H. Treumann, H. Andre, E. Blossfeld, N. Pfeil, M.-M. Zindler

Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung. Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen

Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/1985

J. Herter, K. Brandes, E. Limberger

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I

Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/1986

A. Hecht

Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung

Nr. 121/ISBN 3-88314-530-0/1986

P. Feinte, K.-H. Habig

Versagenskriterien von Stahlleitpaarungen unter Verschleißbedingungen: Einflüsse von Stahlsammensetzung und Wärmebehandlung

Nr. 122/ISBN 3-88314-521-1/1986

J. Mischke

Entsorgung kerntechnischer Anlagen

Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K.E. Wieser und B. Droste

Nr. 123/ISBN 3-88314-531-9/1986

D. Rennoch

Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase

Nr. 124/ISBN 3-88314-538-6/1986

H.-M. Thomas

Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung

Nr. 125/ISBN 3-88314-540-8/1986 (vergriffen)

B. Droste, U. Probst

Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks

Nr. 126/ISBN 3-88314-547-5/1986

W. Stichel

Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen

Nr. 127/ISBN 3-88314-564-5/1986 (vergriffen)

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I

Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I

Nr. 128/ISBN 3-88314-568-8/1986 (vergriffen)

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II

Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II

Nr. 129/ISBN 3-88314-569-6/1980 (vergriffen)

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load

Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit

Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates

Nr. 130/ISBN 3-88314-570-X/1986

W. Struck

Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft

Nr. 131/ISBN 3-88314-585-8/1986

E. Limberger, K. Brandes, J. Herter

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load

Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II

Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II

Nr. 132/ISBN 3-88314-595-5/1987

Chr. Herold, F.-U. Vogdt

Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen

Nr. 133/ISBN 3-88314-609-9/1987 (vergriffen)

M. Woydt, K.-H. Habig

Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe

Nr. 134/ISBN 3-88314-615-3/1987

G. Andreae, G. Niessen

Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen

Nr. 135/ISBN 3-88314-618-8/1987

J. Ludwig, W.-D. Mischke, A. Ulrich

Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen

Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/1987

H.-J. Deppe, K. Schmidt

Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau

Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/1987

D. Aurich

Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiete der Komponentensicherheit

Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/1987

M. Dogunke, F. Buchhardt

Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.

Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/1987

J. Olschewski, S.-P. Scholz

Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle

Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/1987

K. Brandes, E. Limberger, J. Herter

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/1987

Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken

Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/1987

Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen

Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/1987

K. Brandes, E. Limberger, J. Herter

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung

Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load

Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/1987

Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR-Reaktorgebäudes

Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/1987

U. Holzlöhner

Untersuchung selbstähnlicher Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften von Reibungsböden

Nr. 146/ISBN 3-88314-714-1/1987

W. Schön, M. Mallon

Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks

Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/1987

H.-D. Kleinschrodt

Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen

Nr. 148/ISBN 3-88314-774-5/1988

W. Müller

Theoretische Untersuchung von Variationsprinzipien für elastoplastisches Materialverhalten sowie Entwicklung und numerische Erprobung von Finite-Element-Verfahren für den ebenen Spannungszustand

Nr. 149/ISBN 3-88314-775-3/1988

U. Holzlöhner

Bestimmung baugrunderdynamischer Kenngrößen aus der Untersuchung von Bodenproben

Nr. 150/ISBN 3-88314-776-1/1988

M. Weber

VG3D Zeichenprogramm für Vektorgraphische Darstellung dreidimensionaler Strukturen

Nr. 151/ISBN 3-88314-785-0/1988

L. Auersch-Saworski

Wechselwirkung starrer und flexibler Strukturen mit dem Baugrund insbesondere bei Anregung durch Bodenerschütterungen

Nr. 152/ISBN 3-88314-796-6/1988

G. Plauk, G. Kretschmann, R.-G. Rohrmann

Untersuchung des baulichen Zustandes und der Tragfähigkeit vorgespannter Riegel von Verkehrszeichenbrücken der Berliner Stadtautobahn

Nr. 153/ISBN 3-88314-797-4/1988

H. Sander, W.-W. Maennig

Magnetisches Verhalten von Eisenproben bei mechanischer Wechselbeanspruchung

Nr. 154/ISBN 3-88314-822-9/1988

K. Breitzkreutz, R. Uttech, K. Haeddecke

Druckgesinterte Stähle als zertifiziertes Referenzmaterial für die Spektrometrie

Nr. 155/ISBN 3-88314-825-3/1988

L. Auersch

Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messung am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental

Nr. 156/ISBN 3-88314-887-3/1989

G. Klamrowski, P. Neustupny, H.-J. Deppe, K. Schmidt, J. Hundt

Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Faserzementen

Nr. 157/ISBN 3-88314-888-1/1989

E. Limberger, K. Brandes

Versuche zum Verhalten von Stahlbetonbalken mit Übergreifungsstößen der Zugbewehrung unter stoßartiger Belastung

Nr. 158/ISBN 3-88314-889-X/1989

R. Wäsche, K.-H. Habig

Physikalisch-chemische Grundlagen der Feststoffschmierung – Literaturübersicht –

Nr. 159/ISBN 3-88314-890-3/1989

R. Müller, R. Rudolphi

Berechnung des Wärmeurchlaßwiderstandes und der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6

Nr. 160/ISBN 3-88314-917-9/1989

W. Matthees

Entwicklung eines Makroelementes durch Kondensation am Beispiel der Lastfälle Flugzeugabsturz und Erdbeben bei Boden-Bauwerk-Wechselwirkung mit biegeweichen Fundamenten

Nr. 161/ISBN 3-88314-920-9/1989

G. Mellmann, M. Maultzsch

Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Flachglas für bauliche Anlagen

Nr. 162/ISBN 3-88314-921-7/1989

W. Brünnner

Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben

Nr. 163/ISBN 3-88314-922-5/1989

W. Brünnner, G. Mellmann, W. Struck

Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen

Nr. 164/ISBN 3-88314-934-9/1989

R. Helms, B. Jaenicke, H. Wolter, C.-P. Bork

Zur Schwingfestigkeit großer geschweißter Stahlträger

Nr. 165/ISBN 3-88314-935-7/1989

P. Göbel, L. Meckel, W. Schiller

Untersuchung zur Erarbeitung von Kennwerten bei Einrichtungsmaterialien (Holzwerkstoffen, Möbeln und Textilien) hinsichtlich der Formaldehyd-Emission.

Teil B: Textilien

Nr. 166/ISBN 3-88314-936-5/1989

K. Breitzkreutz

Modelle für Stereologische Analysen

Nr. 167/ISBN 3-88314-937-3/1989

A. Mitakidis, W. Rücker

Erschütterungsausbreitung im elastischen Halbraum bei transienten Belastungsvorgängen

Nr. 168/ISBN 3-88314-958-6/1990

F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi

Numerische Untersuchung geometriebedingter Wärmebrücken (Winkel und Ecken) unter Einsatz hochauflösender Farbgraphik bei Berücksichtigung der Tauwasserproblematik und des Mindestluftwechsels

Nr. 169/ISBN 3-88314-959-4/1990

Chr. Kohl, W. Rücker

Integration der Untergrunddynamik in das Programmsystem MEDYNA, dargestellt am Beispiel des Intercity Experimental (ICE)

Nr. 170/ISBN 3-88314-960-8/1990

P. Studt, W. Kerner, Tin Win

Untersuchung der mikrobiologischen Schädigung wassergemischter Kühlschmierstoffe mit dem Ziel der Verbesserung der Arbeitshygiene, der Minderung der Geruchsbelastung und der Menge zu entsorgender Emulsionen

Nr. 171/ISBN 3-88314-997-7/1990

F. Buchhardt

Ein Operator zur Koppelung beliebig benachbarter dynamischer Systeme am Beispiel der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung

Nr. 172/ISBN 3-88314-998-5/1990

J. Vielhaber, G. Plauk

Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen

Nr. 173/ISBN 3-88314-999-3

B. Droste, J. Ludwig, B. Schulz-Forberg

Höherwertige Transporttechnik und ihre Konsequenzen für die Beförderung gefährlicher Güter

**Bundesanstalt
für Materialforschung
und -prüfung (BAM)**

**Federal Institute
for Materials
Research and Testing**

**Institut Fédéral pour la
Recherche et l'Essai des
Materiaux**

Unter den Eichen 87
D-1000 Berlin 45

Telefon (030) 8104-1
Telex 183 261 bamb d
Telegramme BAM BERLIN

Telefax (030) 8 112 029
Teletex 2627-308 372=bamb

- **Berichte**
- **Gutachten**
- **Zulassungen**
- **Zertifikate**
- **Tagungspapiere**
- **Prüfungszeugnisse**
- **Prüfstellenanerkennungen**

