

Sicherheit beim Entwurf von Traggerüsten

T 1198

T 1198

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

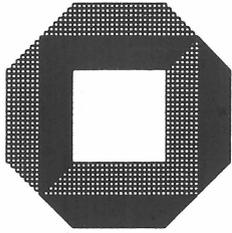
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

T 1198: Sicherheit beim Entwurf von Traggerüsten



Universität Karlsruhe

E r l ä u t e r u n g e n
zur DIN 4421
- Traggerüste -

Abschlußbericht zum Forschungsvorhabens
"Sicherheit beim Entwurf von Traggerüsten"

von Prof. Dr.-Ing. J. Eibl

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Abteilung Massivbau
Universität Karlsruhe

Karlsruhe, 1983

Erläuterungen zur DIN 4421 - Traggerüste

Vorbemerkung	II
1. Allgemeines	1
2. Erläuterungen zur DIN 4421 - Traggerüste	2
Abschnitt 1 und 2	
- Anwendungsbereich, Begriffe	2
Abschnitt 3	
- Traggerüstgruppen	3
Abschnitt 4	
- Werkstoffe und tragende Gerüstbauteile	5
Abschnitt 5	
- Konstruktive Anforderungen	6
Abschnitt 6	
- Standsicherheit	
Abschnitt 7	
- Bautechnische Unterlagen für die Baustelle	19
3. Schlußbemerkung	20
4. Anhang	21
4.1 Definition der Schubsteifigkeit	21
4.2 Ermittlung der Schubsteifigkeit	22
4.3 Querkraft nach Theorie II. Ordnung bei Stützenjochen	24
4.4 Querkraft nach Theorie II. Ordnung bei den Obergurten von Rüstbindern	25
5. Literatur	26

Vorbemerkung

Die Ergebnisse, über die im folgenden berichtet wird, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens

"Sicherheit beim Entwurf von Traggerüsten"

Az: IV/1-5-117/76

erarbeitet. Die Untersuchungen wurden durch das

Institut für Bautechnik, Berlin

gefördert, dem hierfür besonderer Dank ausgesprochen sei.

1. Allgemeines

Die alte Traggerüstnorm DIN 4420 "Arbeits- und Schutzgerüste" wurde bereits um 1960 den Entwicklungen im Traggerüstbau nicht mehr gerecht. Deshalb war bereits 1963 ein Arbeitsausschuß mit der Zielsetzung, eine neue DIN 4421 "Traggerüste" vorzubereiten, ins Leben gerufen worden.

Dieser legte 1965 die Fassung eines Normblatts - Gerüstordnung Traggerüste - vor. Bevor diese Arbeiten zu Ende geführt werden konnten, machten zwei schwere Schadensfälle einen ersten Ergänzungserlaß zur damaligen DIN 4420 vorrangig notwendig.

Verursacht durch einen weiteren schweren Unfall wurde 1973 unter der neuen Leitung des Verfassers zunächst der Erlaß "Ergänzende Bestimmungen zur DIN 4420", Fassung Sept. 1973, erstellt. 1974 wurde dann mit den Arbeiten zur vorliegenden DIN 4421 begonnen.

Hierbei zeigte sich bald die Notwendigkeit, grundlegende theoretische Untersuchungen in vielen Bereichen des Traggerüstbaus durchzuführen, da dieser bislang fast ausschließlich von empirischen Regelungen bestimmt war, mit denen die inzwischen eingeführten seriellen Tragsysteme nicht mehr hinreichend erfaßt werden konnten.

Die Resultate dieser Sicherheitsuntersuchungen werden am besten wiedergegeben, indem die Hintergründe der einzelnen Regelungen dieser Norm näher erläutert werden.

Aus einer solchen Form der Darstellung dürfte vom praktisch tätigen Ingenieur der weitaus größte Nutzen gezogen werden.

2. Erläuterungen zur DIN 4421 - Traggerüste

Entsprechend der Aufgabenstellung werden im folgenden zu speziell studierten Problemen in Abschnitten von DIN 4421 erläuternde Bemerkungen gemacht. Die angeführten Abschnittsbezeichnungen beziehen sich auf diese Norm.

Zu den Abschnitten 1 und 2 - Anwendungsbereich, Begriffe

Neben dem Versuch einer Präzisierung des Begriffs Traggerüste sind im Abschnitt 2.2 wichtige Gerüstbauteile definiert. Ihre Anzahl wurde im Laufe der Beratungen wechselweise beträchtlich erhöht und anschließend wieder stark reduziert. Die nunmehr zustande gekommene Auswahl ist das Ergebnis des schließlich anerkannten Prinzips, nur solche Begriffe des Gerüstbaus zu definieren, die nicht bei der Mehrzahl aller Anwender vorausgesetzt werden können.

Die Fußnoten bei den Abschnitten 2.2.1, 2.2.3 und 2.2.7 kamen zustande, weil die Norm mit der Absicht erstellt wurde, die bestehende Prüfzeichenpflicht für Kupplungen mit Schraub- und Keilverschluß, Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtungen und Längenverstellbaren Schalungsträgern künftig nach Festlegen der notwendigen rechtlichen Schritte aufzuheben und durch entsprechende Normen zu ersetzen.

Dies ist u.a. notwendig, weil an keiner Stelle der Norm Biegetragwerke und Druckglieder mit veränderlicher Gliederung ausgeschlossen werden. Abschnitt 6.5.7 enthält sogar ausdrücklich Hinweise auf solche Systeme.

Bis zur entsprechenden Änderung bleiben die angesprochenen Bauteile prüfzeichenpflichtig.

Zum Abschnitt 3 - Traggerüstgruppen

Zu 3.1 - Einteilung

Die Norm sieht eine Einteilung der Traggerüste in drei Gruppen vor, gemäß der Vorstellung, daß es sinnvoll sein kann, das gleiche Sicherheitsniveau mit jeweils unterschiedlichen Mitteln zu erzielen.

Es dürfte wirtschaftlich und praxisgerecht sein, die notwendige Sicherheit bei Gerüsten des üblichen Hochbaus - Gerüste der Gruppe I - vor allem durch konstruktive Maßnahmen zu erreichen.

Traggerüste für Brücken und vergleichbare Ingenieurbauwerke mit den derzeit üblichen Anforderungen bezüglich Konstruktion und Nachweis sollen die Gruppe II bilden.

Gerüste der Gruppe III - die seltene Ausnahme - mit besonderen Anforderungen an den rechnerischen Standsicherheitsnachweis und die zeichnerische Darstellung bei gleichzeitig geringen konstruktiven Auflagen sollen speziellen Aufgabenstellungen vorbehalten bleiben. Hierzu gehören insbesondere Traggerüste, die vollständig nach DIN 1052 oder den einschlägigen Stahlbauvorschriften - bei Vorbaurüstungen und Verlegegeräten nach den Vorschriften des Stahlbrückenbaus - erstellt werden.

Grundsätzlich ist jedoch die Wahl der Traggerüstgruppe, beruhend auf der Vorstellung gleicher Sicherheit, dem Anwender mit wenigen Einschränkungen nach Abschnitt 3.2 freigestellt.

Ob sich diese Gruppeneinteilung bewähren wird, muß die Zukunft zeigen. Der damit ermöglichte Austausch von Personalkosten für Nachweis und schwierige Montage gegen Materialaufwand erschien zunächst sinnvoll. Eine solche Einteilung muß scheitern, wenn Bauherren bei ihren Ausschreibungen nicht akzeptieren, daß jede Gruppe prinzipiell das gleiche Sicherheitsniveau gewährleistet und für ihre Bauwerke fälschlicherweise eine bestimmte, möglichst "hohe" Gerüstgruppe bindend vorschreiben.

Zu 3.2 Traggerüste der Gruppe I

Da bei Traggerüsten der Gruppe I im Sinne der Zielsetzung und mit Rücksicht auf die Gepflogenheiten der Praxis auf Zeichnungen gänzlich und auf schriftliche Standsicherheitsnachweise weitgehend verzichtet werden sollte, wurde die Anwendung dieser Gerüstgruppe abweichend vom erläuterten Prinzip geringfügig eingeschränkt.

Der Versuch, dabei Schalung und Rüstung im Sinne einer Definition gegeneinander abzugrenzen bzw. ihre Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Norm eindeutig festzulegen, ist praktisch gescheitert. Dies ist durch die mögliche Doppelfunktion ein und derselben Konstruktion bedingt. Wenn sich deshalb Forderungen von Normen, die Schalungen betreffen, mit der vorliegenden Traggerüstnorm überschneiden, muß im Einzelfall entschieden werden, ob die betroffene Konstruktion mehr dem Begriff der Schalung oder dem des Traggerüsts zuzuordnen ist.

Der vorletzte Absatz dieses Abschnitts muß im Zusammenhang mit Abschnitt 6.4.3 gesehen werden. Der Ausschuß war der Meinung, daß bei **e i n f a c h e n** Gerüstkonstruktionen, z.B. im Hochbau, auf Zeichnung und Standsicherheitsnachweis, wie in der Praxis üblich, bei entsprechender handwerklicher Erfahrung verzichtet werden kann. Liegt bei der Neueinführung u.U. serienmäßig gefertigter Stützen oder Biegeträger eine solche Erfahrung noch nicht vor oder handelt es sich um nicht übliche Belastungen, so wird es in der Regel genügen, zunächst die Sicherheit der wesentlichen Druck- und Biegetragglieder nachzuweisen.

Nur in diesem Zusammenhang wird die Forderung nach Berücksichtigung des Gruppenfaktors γ_T gemäß Abschnitt 6.1 - bei einer sonst rechnerisch nicht zu unterscheidenden Konstruktion - verständlich.

Zu 3.3 Traggerüste der Gruppe II

Traggerüste der Gruppe II sollten zukünftig die Mehrzahl aller Gerüste des Brücken- und Ingenieurbaus umfassen. Die Anforderungen an diese Traggerüstgruppe entsprechen deshalb im wesentlichen der derzeit üblichen Praxis.

Zu 3.5 - Verschiedene Gerüstgruppen in einem Traggerüst

Es soll grundsätzlich möglich sein, innerhalb einer Baumaßnahme Gerüstabschnitte verschiedenen Traggerüstgruppen zuzuordnen, wenn diese voneinander unabhängig sind und eine Abgrenzung eindeutig möglich ist.

Auf die Frage der Verwendung von Serienbauteilen der Gruppe III, die mit hohem Aufwand wirklichkeitsnah untersucht wurden, in Traggerüsten der Gruppen I oder II ist bei der Erörterung des Abschnitts 6 speziell eingegangen.

Zum Abschnitt 4 - Werkstoffe für tragende Gerüstbauteile

Zu 4.1 - Werkstoffe

Tabelle 1 nennt "zusätzliche" Werkstoffe für Gerüste und gibt hierfür zulässige Spannungen in den Tabellen 4 und 5 an. Damit soll der bestehende Zustand sanktioniert werden, wonach im Gerüstbau seit langem Werkstoffe verwendet werden, für die die technischen Baubestimmungen keine hinreichenden Bemessungsangaben enthalten. Die künftige Verwendung dieser Werkstoffe in der bisher üblichen Form wird damit ausdrücklich erlaubt.

Weiter sollte - siehe Fußnote in der Tabelle - die Weiterverwendung von Gerüstbauteilen nach außer Kraft gesetzten anderen Normen abgesichert werden.

Zum Abschnitt 5 *) - Konstruktive Anforderungen

Zu 5.1.1.2 - Mindestdicken und Korrosionsschutz bei Stahlbauteilen

Der zweite Absatz dieses Abschnitts soll der Forderung Rechnung tragen, daß dünnwandige Stahlbauteile immer hinreichend gegen Korrosion geschützt sein müssen. Es wird deshalb gefordert, daß bereits bei der Herstellung solcher Bauteile ein Korrosionsschutz vorgesehen werden muß. Damit ist eine notwendige, keinesfalls generell hinreichende Mindestbedingung formuliert.

Zu 5.1.1.3/5.1.1.5 - Schalungsträger und Stützen mit Ausziehvorrichtung

Langfristig soll die Prüfzeichenpflicht für diese beiden Gerüstbauteile entfallen. Derzeit auch in der Prüfzeichenverordnung enthaltene Randbedingungen wurden deshalb auf das notwendige Maß gekürzt in die DIN 4421 aufgenommen.

Zu 5.1.1.7 - Zugglieder aus Spannstahl

Mit diesem Abschnitt sollte vor allem der gelegentliche Einsatz des DYWIDAG-Spannstahls 835/1030 bzw. seiner unmittelbaren Nachfolger sanktioniert werden. Hochfeste und damit empfindliche Spannstähle anderer Zulassungen wurden bislang in keinem nennenswerten Umfang im Gerüstbau verwendet.

Hingewiesen ist insbesondere auf eine einwandfreie Endverankerung sowie auf die Vermeidung von Querschwingungen im Bereich der freien Länge. Erfahrungen haben gezeigt, daß hiervon Gefahren ausgehen können.

*) Der Weißdruck von DIN 4421 enthält im Abschnitt 5.1, letzter Absatz, einen Druckfehler. Der Absatz muß beginnen mit "Teileinspannungen" statt "Teilspannungen".

Zu 5.1.2.3 - Schrauben und Bolzen

Es war lange Zeit bewährte Konstruktionspraxis im Stahlbau, als Verbindungsmittel mindestens zwei Schrauben, Bolzen, Nieten etc. anzuordnen. Davon ist man erst in letzter Zeit, z.B. mit DIN 18 800, abgegangen. Nur mit Rücksicht auf diese zeitlich parallel eingetretene Fortentwicklung schien es notwendig, auf die Zulässigkeit von nur einem Verbindungsmittel unter bestimmten Umständen ausdrücklich hinzuweisen.

Zu 5.1.3 - Verformungsfähigkeit

Zunächst ist hier zum Ausdruck gebracht, daß sehr steife Konstruktionen, bei denen bereits geringe Zwangsverformungen zu erheblichen Traglastminderungen führen, für den Traggerüstbau ungeeignet sind, da sich geringe Zwangsverformungen meist einer Kontrolle entziehen.

Die Vorgabe eines Traglastabfalls von höchstens 10 % bei einer vorgegebenen Setzung Δs wurde nur gemacht, um diese Vorstellung i n e t w a zu quantifizieren.

Eine Reihe von Versuchen hat gezeigt, daß unter Berücksichtigung der tatsächlichen Arbeitslinie des Baustahls, d.h. unter Berücksichtigung seiner Streck- und Bruchdehnung, derartige Verformungen fast immer ohne nennenswerte Reduktion der Traglast aufgenommen werden können. Um unnötigen Aufwand zu vermeiden, wurde deshalb weiter festgelegt, daß dieses Kriterium bei Traggerüsten der Gruppe II mit Rohrkupplungsverbänden bzw. bei Holzkonstruktionen stets als erfüllt zu gelten hat. Gleiches gilt für die üblichen Konstruktionen im Bereich der Traggerüstgruppe I. Ungewöhnliche Situationen können natürlich auch hier als Ausnahme die Regel bestätigen.

5.1.4 - Gründungen

In diesem Abschnitt ist eine Reihe von Bedingungen formuliert, wenn keine nennenswerte Einbindetiefe der Fundamente vorgesehen ist. Auf die Angabe von zulässigen Bodenpressungen wurde jedoch verzichtet, da in solchen Fällen immer ein Nachweis nach DIN 4017 gefordert ist. Ein entsprechender Sicherheitsabstand gegen danach bestimmte "Bruch"-Beanspruchungen empfiehlt sich schon mit Rücksicht auf die dabei zu erwartenden Traggerüstverformungen. Eine allgemeine Empfehlung mit Rücksicht auf letztere kann nicht gegeben werden.

Im letzten Absatz ist auf Gefahren, die von hohen, mehrlagigen Kantholzstapeln zum notwendigen Höhenausgleich ausgehen können, hingewiesen.

Des weiteren ist darauf aufmerksam gemacht, daß bei gerammten Holzpfählen mit darüberliegenden Stahlprofil als Unterbau für das eigentliche Traggerüst Lastexzentrizität entstehen können, wenn der Schwerpunkt der Last nicht mit dem Schwerpunkt der Pfähle übereinstimmt. Hier ist gegebenenfalls eine entsprechende Zwangszentrierung bzw. Festhaltung vorzusehen.

Zu 5.2.2.2 - Stützenkonstruktionen

Querschotte, d.h. waagerechte Verbände bei mehrstieligen Stützentürmen, werden als übliche und zusätzliche Maßnahme zur Aussteifung empfohlen. Wenn die an einer gemeinsamen Kante zusammentreffenden Stützenscheiben jeweils alleine den aufzunehmenden Kräften entsprechend sicher ausgebildet sind, kann die weitere Notwendigkeit eines solchen Verbandes nicht begründet werden. Auf den rechnerischen Nachweis über die Mitwirkung eines solchen Verbandes kann deshalb in der Regel verzichtet werden.

Zu Abschnitt 6 - Standsicherheit

Zu 6.1 - Grundlagen

Ausgangspunkt für diese Festlegungen ist eine inzwischen allgemein akzeptierte Sicherheitstheorie. Dabei werden erhöhte Nenn-Lasten - Einwirkungen - nutzbaren Widerständen, d.h. um einen Sicherheitsfaktor reduzierten aufnehmbaren Beanspruchungen gegenübergestellt.

Der Vergleich erfolgt bei Stahl- und Holzkonstruktionen am ungünstigst beanspruchten Querschnitt - von Traglastverfahren abgesehen - auf der Ebene der Spannungen. Derzeit wird der lasterhöhende Teilsicherheitsbeiwert mit dem die Widerstandsseite abmindernden Teilsicherheitsbeiwert noch zu einem globalen Sicherheitsbeiwert zusammengefaßt. Die mit diesem globalen Wert reduzierte Festigkeit bzw. Streckgrenze ergibt zulässige Spannungen, die den Spannungen aus einer in etwa wirklichkeitsnahen Bemessungslast gegenüber zu stellen sind.

In diesem Bemessungskonzept sollen die besonderen Belange des Gerüstbaus berücksichtigt werden. Insbesondere soll der höheren Abnutzung der Gerüstbauteile beim oftmaligen Einsatz sowie der im Vergleich zum Holz- und Stahlbau meist weniger sorgfältigen Ausführung von Gerüstkonstruktionen durch zusätzliche Sicherheiten Rechnung getragen werden. Um diese auch bei Stabilitätsnachweisen voll wirksam werden zu lassen, wurde deshalb folgender Nachweis gewählt:

$$P \cdot \gamma_T \leq \text{zul } R \quad (1)$$

Der zusätzliche Sicherheitsfaktor γ_T , als Gruppenfaktor bezeichnet, ist in Tabelle 2 in Abhängigkeit von der jeweiligen Gerüstgruppe festgelegt. Damit soll einem von Gruppe I nach II zunehmendem Maß von Vorplanung, Untersuchungen, zeichnerischer Detaillierung, Überwachung etc. durch eine zunehmende rechnerische Werkstoffausnutzung Rechnung getragen werden.

Hierbei handelt es sich bis zu einem gewissen Grade um eine Ermessensentscheidung. Es wird in extremen Einzelfällen möglich sein, zu zeigen, daß ein sogenannter "exakter Nachweis" bei Traggerüsten der Gruppe I zu einer Reduzierung der Traglast führen kann, die mehr als 25 % beträgt, so daß in einem solchen Fall $\gamma_T = 1,25$ für Gruppe III z.B. noch zu klein ist. Solche Einzelfälle, die zweifellos auf die mit einer einfachen Regelung verbundenen Unzulänglichkeiten hinweisen, sollten jedoch nicht gegen eine Gruppenlösung, die vor allem der großen Anzahl einfacher Gerüste im Hochbau besser als bisher Rechnung tragen kann, ins Feld geführt werden.

Mit dem letzten Absatz des Abschnittes 6.1 soll erreicht werden, daß z.B. auch bei Traggerüsten der Gruppe I oder II Serienbauteile verwendet werden können, deren zulässige Beanspruchung durch Kriterien der Gerüstklasse III bestimmt wurden. Es muß dann jedoch die Einwirkung mit dem höheren Gruppenfaktor des vorliegenden Gesamtsystems I bzw. II verwendet werden.

Dies ist das Ergebnis folgender Überlegungen. Die Sicherheit bei der Lastableitung in einem Bauteil wird im wesentlichen von zwei Einflußfaktoren bestimmt. Dies ist zum einen die Einwirkung, die dem Bauteil meist über ein komplexes System anderer Bauteile zugeleitet wird. Die zweite Einflußgröße ist die mehr oder weniger korrekte Analyse der Ab- bzw. Fortleitung der Last im betrachteten Bauteil. Sicherheitszuschläge γ_T müßten deshalb in Abhängigkeit von beiden Einflußgrößen, d.h. von der Vereinfachung bei der Ermittlung der dem Bauteil zukommenden Last und von den Vereinfachungen im Nachweis der Lastableitung abhängig gemacht werden. Somit ergibt sich eine Matrix für die Sicherheitsbeiwerte γ_T , etwa wie in Bild 1 dargestellt. Die insgesamt neun Werte müßten dabei in jeder Zeile von rechts nach links ansteigen und in gleicher Weise in jeder Spalte von unten nach oben zunehmen. Eine derart feine Differenzierung der einzelnen neun Werte konnte jedoch mit Rücksicht auf die Belange der Praxis nicht sinnvoll sein. Deshalb wurden nur Werte in der Hauptdiagonale dieser Matrix festgelegt. Damit ist dafür gesorgt, daß im Sinne der Matrix statt eines Wertes ν_{ij} jeweils ein sicherer Wert γ_{ij} zum Tragen kommen wird, weil immer die niedrigeren Gerüstgruppen bestimmend sein sollen.

		Einwirkung		
		I	II	III
Abtragung	I	$\gamma_{T,I} = \gamma_{I,I}$		
	II		$\gamma_{T,II} = \gamma_{II,II}$	
	III			$\gamma_{T,III} = \gamma_{III,III}$

Bild 1 Matrix der Sicherheitsbeiwerte

Der Rechen a u f w a n d darf kein Kriterium für die Unterscheidung z.B. zwischen Gerüstgruppen II und III sein. Wenn die Abtragung einer Last, die durch einen angenommenen, aber sicheren oberen Grenzwert bestimmt ist, im Falle eines einfachen Bieegliedes mit

$$\frac{M}{W} = \sigma \leq \sigma_{zul}$$

nachgewiesen wird, so genügt dieses Vorgehen durchaus der Gerüstgruppe III. Muß in Ausnahmefällen, die sich einer eindeutigen Einordnung im Rahmen der Normvorgabe entziehen, zwischen Gruppe II und III unterschieden werden, so mag in etwa gelten:

Gruppe III ist gegeben, wenn die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen mit Sicherheit nicht größer als die errechneten sind.

Gruppe II ist gegeben, wenn im Rahmen allgemein üblicher, vereinfachter Rechenverfahren nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann, daß in seltenen Einzelfällen die auftretenden Beanspruchungen die errechneten geringfügig überschreiten.

Zu 6.2 - Geometrische Imperfektionen

Da Imperfektionen bei den Stabilitätsuntersuchungen eine wichtige Rolle spielen und derzeit kein umfassenden Datenmaterial über tatsächliche Imperfektionen vorliegt, sind dem Entwerfer eines Traggerüstes drei prinzipielle Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Imperfektionen zur Verfügung gestellt.

- Zunächst sind mit den Gleichungen 3, 4, 5a und 5b der Norm ausreichende Imperfektionen für die Bemessung festgelegt.

Geht man davon aus, daß diese Imperfektionen Fraktilwerte darstellen - eine detaillierte probabilistische Begründung des derzeit üblichen Bemessungskonzeptes fehlt - so dürfen bei einer Abnahme auf der Baustelle diese Werte in seltenen Ausnahmefällen auch noch geringfügig überschritten werden.

- Außerdem soll, um auch Anreiz für die fertigungstechnische Reduzierung von Toleranzen zu bieten, eine Imperfektionsermittlung anhand einer hinreichenden Anzahl von Toleranzversuchen erlaubt sein. Bei Traggerüsten der Gruppe III ist hierfür ein entsprechender Fraktilwert mit zugehöriger Aussagewahrscheinlichkeit für die Bemessung angegeben. Für Traggerüste der Gruppe II dürfte im allgemeinen die Festlegung des 1,25fachen Mittelwertes an Stelle einer entsprechenden Fraktile ausreichen.
- In Sonderfällen soll es außerdem erlaubt sein, daß der Hersteller eines Gerüstes im Entwurfsstadium eine maximale Vorverformung vorgibt und einen entsprechenden Überwachungsvorschlag unterbreitet, der das Überschreiten dieses Maximalwertes in jedem Falle ausschließt.

Zu 6.3 - Einwirkungen

Das neue eingeführte Konzept der Lastkombination stellt einen Kompromiß zwischen dem Verfahren der Haupt- und Zusatzlasten und neueren sicherheitstheoretischen Erkenntnissen dar. Danach ist es richtiger, die geringe Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens mehrerer Lasteinwirkungen durch Reduktion der rechnerisch anzusetzenden Last-Werte zu berücksichtigen, als dieser durch eine Veränderung der Festigkeitswerte Rechnung zu tragen.

Den Ausgangspunkt bildet die folgende inzwischen allgemein akzeptierte Grundgleichung:

$$P_m = \gamma_g \cdot P_g + \gamma_p \cdot (P_{p,max} + \sum_i \alpha_i P_{p,i}); \quad (\alpha \leq 1) \quad (2a)$$

wobei

- P_m = maßgebende Bemessungslast;
- P_g = Eigengewicht, ständig wirkend;
- $\max P_p$ = Nutzlast mit der größten Auswirkung für die jeweilige Bemessung;
- P_p = Nutzlast, veränderlich;
- γ_g, γ_p = Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkung;

Zieht man die ersten beiden Terme als die für die Bemessung entscheidenderen zusammen und berücksichtigt man außerdem, daß die Norm sinnvoll nur für alle Lasten einen Teilsicherheitsbeiwert in einem globalen Sicherheitsbeiwert impliziert, so ergibt sich daraus folgende Fortentwicklung:

$$P_m = \gamma [(P_g + \max P_p) + \alpha \cdot \sum_i P_{p,i}] \quad (2b)$$

bzw.

$$\text{Norm } P = (P_g + \max P_p) + \alpha \cdot \sum_i P_{p,i} \quad (2c)$$

da γ im globalen Sicherheitsbeiwert, d.h. z.B. in den zulässigen Spannungen, berücksichtigt wird.

Gleichung (2c) führt sodann unmittelbar auf die in DIN 4421 gewählte Form:

$$\text{Norm } P = P_{S,i} + 0,9 P_{b,i} \quad (3)$$

dabei entspricht der erste Term in etwa den früheren Hauptlasten, der zweite den Zusatzlasten.

Gleichung (3) stellt somit ein Kompromiß dar, der inhaltlich etwa bei "Haupt- und Zusatzlasten" bleibt, letztere jedoch abmindert, anstatt die zulässigen Spannungen zu manipulieren.

Zu 6.3 - Ständige Einwirkungen

Im Sinne dieser Ausführungen werden die ständigen Einwirkungen wie Eigenlast von Schalung und Bewehrung und die lange andauernden veränderlichen Einwirkungen wie Frischbetongewicht, Setzungen und horizontale Ersatzlasten zu einer Lastgruppe "Ständige Einwirkungen" zusammengefaßt.

Zu 6.3.2 - Einwirkungen mit begrenzter Dauer

Mit dieser Gruppe werden alle übrigen Lasten erfaßt, die mit dem Kombinationsfaktor $\alpha = 0,9$ reduziert werden dürfen.

Zu 6.3.2.1 - Ersatzlasten aus Arbeitsbetrieb

Mit der etwas komplizierten Festlegung der Ersatzlast aus Arbeitsbetrieb sollte zunächst berücksichtigt werden, daß beim Betonieren auf der Schalungsoberfläche örtlich eine größere Ansammlung von Beton nicht ausgeschlossen werden kann. Daraus resultiert die Forderung, auf einer Fläche von etwa 3 m x 3 m eine erhöhte Last anzusetzen. Bei der Quantifizierung dieses Zuschlages hat sich jedoch gezeigt, daß ein Ansatz, der im Brückenbau sinnvoll ist, im Hochbau, wenn es darum geht, Fertigteile durch Ortbeton zu ergänzen, zu einer unzumutbar hohen Beanspruchung dieser Fertigteile führt. Deshalb wurde die festzulegende Last von der Soll-Last des Frischbetons abhängig gemacht. Mit Rücksicht auf extrem dünne bzw. extrem dicke Konstruktionen wurde eine untere Schranke von 1,5 kN/m² und eine obere Schranke von 5,0 kN/m² eingeführt. Bei Bauteilen mit über dem Querschnitt in kurzem Abstand wechselnden Beton-Solldicken muß sinngemäß entschieden werden.

Zu 6.4 - Schnittgrößen - Statische Systeme

Zu 6.4.1 - Traggerüste der Gruppe III

Hier ist nochmals festgestellt, daß eine Schnittkraftermittlung für Gerüste der Gruppe III nicht unbedingt mit einem hohen Rechenaufwand verbunden sein muß. Jede sichere Erfassung einwirkender Lasten und ihrer Ableitung - unter Umständen durch Abschätzung von Grenzwerten - kann den besonderen Anforderungen in gleicher Weise genügen.

Zu 6.4.2 - Traggerüste der Gruppe II

Für die am häufigsten im Ingenieurbau auftretende Traggerüstgruppe II sind in den Abschnitten 6.4.2.2 bis einschließlich 6.4.2.4 Näherungsformeln angegeben, die es erlauben, die Verbände von Stützjochen und Stütztürmen sowie die aussteifenden Verbindungen in der Obergurtebene von Rüstbindern zu dimensionieren. Diese Ableitungen beruhen auf dem Begriff der ideellen Schubsteifigkeit S_j , wie er im Anhang zu dieser Veröffentlichung ausführlich erläutert ist; sie berücksichtigen den Einfluß der Theorie II. Ordnung.

Zu beachten ist, daß bei den üblichen Holzkonstruktionen und Rohrkupplungskonstruktionen die Verbundsteifigkeit nahezu ausschließlich durch die Anschlußsteifigkeiten bestimmt wird. Diese ist bei den Rohrkupplungsverbänden durch eine pauschale Abminderung der Rohrsteifigkeit erfaßt

$$\text{eff EA} = \text{EA}/\beta.$$

Der festgelegte Wert von $\beta = 35$ für Normal- wie Drehkupplungen wurde anhand von rechnerischen Untersuchungen und Rückbestimmung aus Versuchen [1, 2, 3] gewonnen. In Anbetracht der komplexen Aussteifungen auf der Baustelle mit einer Vielzahl von räumlichen, exzentrischen Stabanschlüssen schien eine detailliertere Festlegung kaum gerechtfertigt.

Nach Gleichung (8) in DIN 4421 darf dieser Wert β mit zunehmender Anzahl der wirksamen Diagonalen erhöht werden, da dann statt des niedrigeren Fraktilwerts der höhere Mittelwert der Anschlußsteifigkeiten relevant wird.

In analoger Weise würden die Nachgiebigkeiten der Holzanschnitte über die Verschiebungsmodule C_{VD} bzw. C_{VP} berücksichtigt.

Zu 6.5 - Nutzbare Widerstände zu R

Zu 6.5.1 - Allgemeines

Die im folgenden aufgeführten zulässigen Beanspruchungen, welche den nach Abschnitt 6.1 γ_T -fach erhöhten Lasten gegenübergestellt werden sollen, enthalten in der Regel bereits Sicherheitsbeiwerte, wie sie in einschlägigen DIN-Normen, Zulassungen oder Prüfbescheiden festgelegt sind.

Zu 6.5.2 - Zulässige Spannungen für Traggerüstbauteile und Verbindungsmittel aus Stahl

Nach den Ausführungen in Abschnitt 6.1 und Abschnitt 6.3 gelten hier die Spannungen, wie sie dem Lastfall Hauptlast entsprechen. Diese sind mit den einschlägigen technischen Baubestimmungen und den Tabellen 3 bis 6 vorgegeben.

Zu 6.5.4 - Rohrkupplungsverbände bei Traggerüsten der Gruppe II

Abschnitt 5.2.2.3 legt fest, inwieweit exzentrische Anschlüsse bei Rohrkupplungsverbänden näherungsweise noch nach der klassischen Fachwerktheorie, d.h. unter der Voraussetzung eines zentrischen Anschlusses, berechnet werden dürfen. In Fortführung gibt 6.5.4 Hinweise, wie Anschlüsse, bei denen die genannten Grenzexzentrizitäten überschritten sind, vereinfachend nachgewiesen werden dürfen.

In der Regel genügt es dabei, exzentrische Anschlüsse an einem statisch bestimmten Einfeldträger nachzuweisen. Die Lastableitung über den unmittelbar betroffenen Stab hinaus kann im allgemeinen unterbleiben.

Zu 6.5.5 - Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtung

Mit den Gleichungen (18) und (19) der Norm sind die Widerstände zu R für Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtung, für die derzeit noch die Prüfzeichenpflicht gilt, festgelegt. Wenn solche Stützen in Traggerüsten der Gruppe II oder III mit den besonderen Bedingungen, wie sie in Abschnitt 6.5.5 beschrieben sind, eingesetzt werden, können diese Widerstände um weitere 50 % erhöht werden. Diesen zulässigen Widerständen sind jedoch die um den Faktor γ_T erhöhten Lasten der einzelnen Traggerüstgruppen gegenüberzustellen. Für die Traggerüstgruppe I bedeutet dies, daß die Ausnutzung um etwa 25 % gegenüber der bisher üblichen Praxis reduziert wird. Dies erscheint mit Rücksicht auf die gewährte Erleichterung, keine Standsicherheitsnachweise führen zu müssen, in Abgrenzung zu Traggerüsten der Gruppe II sinnvoll. Will man solche Stützen auch künftig höher nutzen, so kann dies bei geringfügig vermindertem Aufwand erreicht werden, indem die Bedingungen für die Gruppe II

eingehalten werden. Im einfachen Hochbau wird dafür in der Regel eine Skizze der vorgesehenen Aussteifung und der Nachweis der auf die einzelne Stütze entfallenden Last genügen.

Zu 6.5.6 - Spindeln

Systematisch durchgeführte Messungen auf Baustellen haben gezeigt, daß wegen der notwendigen Toleranzen Spindeln im Kopf- und Fußbereich vertikaler Tragglieder zu großen Lastexzentrizitäten in diesen Baugliedern führen können. Aufgrund solcher Untersuchungen wurde eine Schiefstellung von 2 % festgelegt. Um nun von einem solchen Ermessenswert ausgehend den Standsicherheitsnachweis nicht unnötig zu erschweren, wurde zugestanden, die Schiefstellung nach der Theorie I. Ordnung zu berücksichtigen. Die notwendigen Querschnittswerte wurden für Spindeln mit den Gleichungen 20a, 21a, 20b und 21b gegeben. Davon abweichend ist es bei Traggerüsten der Gruppe III in Abschnitt 6.2 erlaubt, eigene Toleranzuntersuchungen durchzuführen und bei Beachtung entsprechender Randbedingungen Fraktilwerte für die Schiefstellung zu ermitteln.

Zu 6.5.7 - Regelmäßig gelochte Rohre

Da zunehmend gelochte Rohre zusammen mit Steckverbindungen verwendet werden, schien es sinnvoll, erste Hinweise für deren Standsicherheitsnachweis zu geben. Mangels allgemein gültiger Untersuchungen mußte jedoch der Anwendungsbereich dieser Anweisungen entsprechend eingeschränkt werden. Dieser Abschnitt bestätigt außerdem die bereits erörterte Voraussetzung, daß zukünftig für ausziehbare Stahlrohrstützen die Prüfzeichenpflicht entfallen soll. Wenn nämlich nach Abschnitt 6.5.7 generell Rohrsteckverbindungen beliebiger Art und Beanspruchung erlaubt sind, verliert die Sonderregelung "Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtung" zumindest aus statisch konstruktiver Sicht ihre rationale Basis.

Zu 6.5.8 - Zugglieder aus Spannstahl

Es ist u.a. darauf hingewiesen, daß bei Abspannungen mit großer freier Stützweite der Durchhang, d.h. der Einfluß der Theorie II. Ordnung nicht generell vernachlässigt werden darf.

Zu 6.5.9 - Reibung

Der dritte Absatz dieses Abschnittes gewährt eine sinnvolle Erleichterung, wenn der Katastrophen-Windlastfall, ein sehr seltenes Ereignis, bei einem Traggerüst im Leerzustand auftritt. In einem solchen Fall darf der Sicherheitsbeiwert γ gegen Abgleiten von 1,5 auf 1,2 reduziert werden.

Zu 6.5.10 - Gründungen

Wichtig ist in diesem Abschnitt der Hinweis, daß bei Gründungen mit einer Mindest-Einbindetiefe, die außerhalb der Festlegungen von DIN 1054 liegt, ein Grundbruchnachweis zu führen ist, bei dem der Lastfall 2 maßgebend ist.

Zum Abschnitt 7 - Bautechnische Unterlagen für die Baustelle

Zu 7.3.3 - Ausführungsprotokoll

Ungewöhnlich dürfte in diesem Abschnitt die Forderung sein, daß Abweichungen von Ausführungsunterlagen festgehalten und begründet werden müssen, da solche an sich nicht zulässig sind.

Die oft kaum mögliche vollständige zeichnerische Darstellung, die in Übereinstimmung mit der Baupraxis bei der Traggerüstgruppe II und I ausdrücklich erlaubt ist, zwingt jedoch des öfteren zu Abweichungen von ursprünglich festgelegten Konstruktionsabsichten.

Zweck der vorliegenden Festlegung ist es, in diesen Fällen die Verantwortlichen zu veranlassen, Improvisationen bzw. Ersatzmaßnahmen in einem Protokoll festzuhalten und alle zur Erhaltung der Standsicherheit getroffenen Maßnahmen zu dokumentieren. Dies soll u.a. die Beteiligten zu sorgfältigem und verantwortlichem Handeln veranlassen.

Dieser Abschnitt, der fast wörtlich den "Ergänzende Bestimmungen zu DIN 4420", Fassung September 1973, entnommen ist, hat sich in der Vergangenheit im übrigen durchaus bewährt.

3. Schlußbemerkung

Die vorliegenden Ausführungen sind das Ergebnis vieler eigener Untersuchungen und Überlegungen; jedoch in gleicher, untrennbarer Weise auch das Ergebnis der fortlaufenden Beratung mit den Mitgliedern des Arbeitskreises zur Neufassung von DIN 4421:

Herrn Prof. Dr.-Ing. Bamm,
Herrn Dipl.-Ing. Bomhard,
Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. Bonatz †,
Herrn Dr.-Ing. h.c. Graßl †,
Herrn Dipl.-Ing. Coldewe,
Herrn Dipl.-Ing. Hoffmann,
Herrn Dipl.-Ing. Kastorff,
Herrn Dipl.-Ing. Krause
Herrn Prof. Dr.-Ing. Lindner,
Herrn Dipl.-Ing. Martin,
Herrn Dipl.-Ing. Meesmann,
Herrn Prof. Dr.-Ing. Möhler,
Herrn Dipl.-Ing. Moser,
Herrn Dipl.-Ing. Ochsenbauer,
Herrn Dipl.-Ing. Schmiedel,
Herrn Dipl.-Ing. Schneider,
Herrn Dr.-Ing. Schubert,

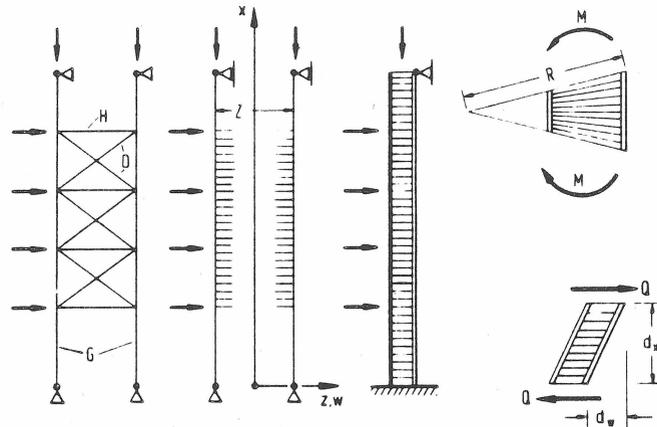
denen ich hiermit meinen Dank für ihre Mitarbeit aussprechen möchte.

Mein spezieller Dank gilt außerdem den Herren Prof. Dipl.-Ing. Nather und Prof. Dr.-Ing. Scheer, die diese Erläuterungen kritisch durchgesehen und dabei wesentliche Anregungen gegeben. bzw. Einzelheiten der Beratung in Erinnerung gebracht haben.

Dank gebührt dem Institut für Bautechnik, Berlin, das die im Rahmen dieses Abschlußberichts aufgeführten Sicherheitsuntersuchungen am Lehrstuhl des Verfassers finanziell unterstützt hat.

Anhang

4.1 Definition der Schubsteifigkeit



$$w_B'' \approx \frac{1}{R} = 2 \frac{M}{Z} \cdot \frac{1}{EA_G} \cdot \frac{1}{Z} \quad (\text{Biegung})$$

$$w_Q' \approx \frac{Q}{S_i} \quad (\text{Schub})$$

(S_i = ideale Schubsteifigkeit)

$$\Sigma w'' \approx \frac{1}{R} = 2 \cdot \frac{M}{Z^2} \cdot \frac{1}{EA_G} + \frac{d}{dx} \left[\frac{Q}{S_i} \right]$$

Wenn

$$\frac{2M}{Z^2} \cdot \frac{1}{EA_G} \ll \frac{d}{dx} \left[\frac{Q}{S_i} \right]$$

folgt

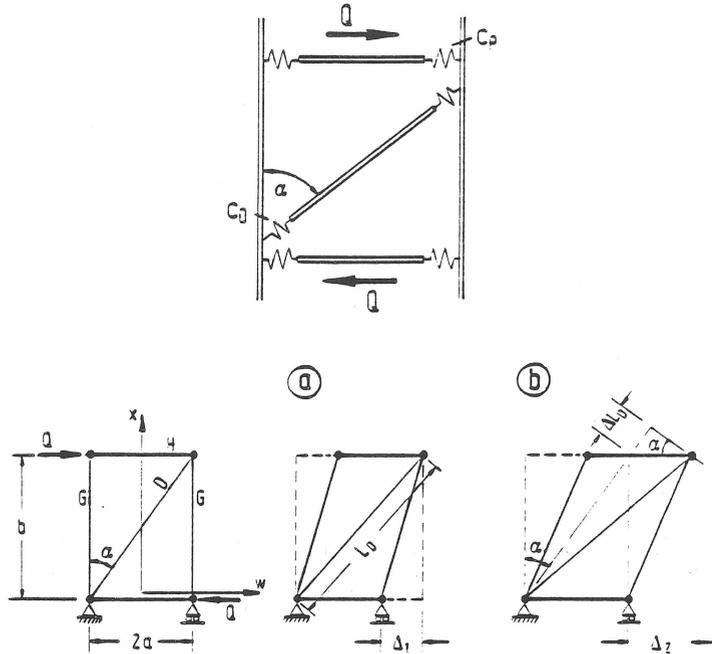
$$\Sigma w' = \frac{Q}{S_i}$$

Für $Q = 1 \rightarrow w' = \frac{1}{S_i}$

d.h.

$$S_i = \frac{1}{w'} \quad \Bigg| \quad Q = 1$$

4.2 Ermittlung der Schubsteifigkeit



- a Verformung infolge von c_p - Federsteifigkeit eines Horizontalanschlusses
- b Verformung infolge von c_D - Federsteifigkeit eines Diagonalanschlusses

$$D = \frac{Q}{\sin \alpha} ; \quad H = Q;$$

$$\Delta_1 = 2 \frac{Q}{c_p} ;$$

$$\Delta L_D = 2 \frac{D}{c_D} ; \quad \Delta_2 = \frac{\Delta L_D}{\sin \alpha} ;$$

$$\Delta_2 = 2 \cdot \frac{Q}{\sin^2 \alpha \cdot c_D} ;$$

$$\sum w' = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{b} \quad \text{mit} \quad b = \frac{2a}{\operatorname{tg} \alpha} ;$$

$$\Sigma w' = 2 Q \left[\frac{1}{c_p} + \frac{1}{\sin^2 \alpha \cdot c_D} \right] \cdot \frac{\text{tg} \alpha}{2a}$$

$$S_i = \frac{a \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\frac{1}{c_D} + \frac{\sin^2 \alpha}{c_p}}$$

z.B. für Holzkonstruktionen

Für zwei gekreuzte Diagonalen mit verschwindender Beanspruchung des horizontalen "Pfostens" ($\frac{\sin^2 \alpha}{c_p} \rightarrow 0$) gilt z.B. bei Stahlrohren

$$\Delta L_D = L_D \cdot \frac{1}{EA/\beta} \cdot D = \frac{1}{c_D} \cdot D,$$

wenn EA/β eine wegen der Anschlüsse reduzierte Dehnsteifigkeit der Diagonale bezeichnet.

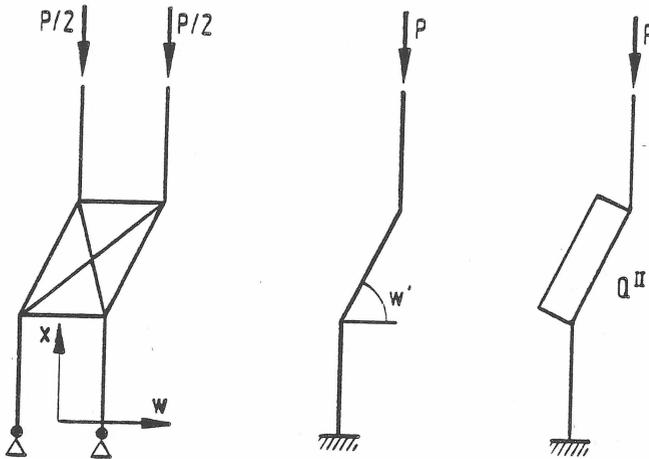
$$S_i = 2 \frac{a \sin \alpha \cos \alpha}{\frac{1}{c_D}} = 2 \frac{a \sin \alpha \cos \alpha}{L_D} \cdot \frac{EA}{\beta}$$

$$\frac{2a}{L_D} = \sin \alpha$$

$$S_i = \frac{EA}{\beta} \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha$$

z.B. für Stahlrohre

4.3 Querkraft nach Theorie II. Ordnung bei Stützjochen



$$Q^{II} = Q^I + P \cdot \sin w' \approx Q^I + P \cdot w'$$

$$Q^{II} = Q^I + P(w' + w'_0)$$

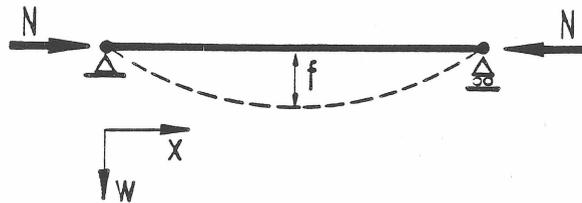
Q^I = Querkraft nach Theorie I. Ordnung infolge von Querlast

w'_0 = Knick infolge Imperfektion,

$$Q^{II} = Q^I + P \cdot \frac{Q^{II}}{S_i} + P \cdot w'_0$$

$$Q^{II} = \frac{Q^I + P \cdot w'_0}{\left(1 - \frac{P}{S_i}\right)}$$

4.4 Querkraft nach Theorie II. Ordnung bei den Obergurten von Rüstbindern



Imperfektion:

$$w = f \cdot \sin \frac{\pi x}{L} ;$$

$$w'' \approx \frac{1}{R} = -f \cdot \frac{\pi^2}{L^2} \cdot \sin \frac{\pi x}{L} ;$$

maximale Umlenkkraft u:

$$\max u \approx N \cdot \frac{1}{\max R} = N \cdot \frac{f}{L} \cdot \frac{\pi^2}{L} ;$$

$$\Delta Q^{II} \approx N \cdot \frac{f}{L} \cdot \frac{\pi^2}{2} = 4,93 \cdot N \cdot \frac{f}{L} ;$$

bei zusätzlichem Q^I

$$Q^{II} \approx \frac{Q^I + 4,93 \cdot \frac{f}{L}}{1 - \frac{N}{S_i}}$$

5. Literatur:

- [1] Nather, F.:
Schubsteifigkeit
VDI-Berich 245/1975, VDI-Verlag, Düsseldorf
- [2] Scheer, J.; Ulrich, U.:
Bestimmungen für Traggerüste (Fassung September 1973)
nach DIN 4420 (1952), Mitteilung des IfB, 4/1974, Berlin
- [3] Eibl, J.; Pelle, K.:
Steifigkeitsmessungen an Rohrkupplungsverbänden,
Bauingenieur 51 (1976), S. 217 - 222