

Vergleichende Untersuchungen des Entwurfs DIN 18800 Teil 2 mit der zur Zeit gültigen Vorschrift DIN 4114, Ausgabe Juli 1952

**T 2541**

T 2541

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

em. UNIV.-PROF. DIPL.-ING. FRIEDRICH NATHER

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
LEHRSTUHL FÜR STAHLBAU  
ARCISSTRASSE 21  
80333 MÜNCHEN  
TELEFON (089) 2105-3054  
TELEFAX (089) 2105-2522  
PRIVAT: ADALBERT-STIFTER-STR. 19  
85521 OTTOBRUNN  
TELEFON (089) 6013614

**Vergleichende Untersuchungen des Entwurfs DIN 18800 Teil 2  
mit der zur Zeit gültigen Vorschrift DIN 4114, Ausgabe Juli 1952**

**Schlußbericht**

**Forschungsvorhaben, gefördert vom Institut für Bautechnik  
Förderungsnummer: IV 1-5-523/87**

**Leiter des Forschungsvorhabens: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Friedrich Nather  
Lehrstuhl für Stahlbau der Technischen Universität München**

**Sachbearbeiter: Dr.-Ing. Walter Schmitt (1. Teilbericht)  
Dipl.-Ing. Martina Stephan (2. Teilbericht)**

**München, den 16.09.1988/16.09.1993**

### Einführung:

Der Gelbdruck DIN 18800 Teil 2 (Ausg. Dez. 1980) wurde aufgrund zahlreicher Einsprüche zurückgezogen. Eine Grundlage hierfür bot u.a. die „Vergleichende Untersuchung des Entwurfs DIN 18800, Teil 2 mit der zur Zeit gültigen Vorschrift DIN 4114, Ausgabe Juli 1952xx“ [1]. Zu diesem vom Institut für Bautechnik erteilten Forschungsauftrag wurde mit Schreiben vom 12. August 1987 ein Nachtragsauftrag über DM 10000,-- beantragt, da seitens des Lehrstuhls für Stahlbau bereits zu diesem Zeitpunkt zahlreiche Untersuchungen nicht nur von beamteten, sondern auch von aus Forschungsmitteln bezahlten Mitarbeitern durchgeführt worden waren. Außerdem sollte eine abschließende Stellungnahme zur Frage, ob das mit den Entwürfen zu DIN 18800 Teil 1 und Teil 2 erzielbare Zuverlässigkeitsniveau im Einklang steht mit den Aussagen der „Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ (GRUSIBAU) [2] erarbeitet werden. Vor allem ging es hierbei um die Abschnitte 2.3 (Sicherheitsklassen) und 5.3.2 (Vorgabe des Sicherheitsindex) der GRUSIBAU.

Zu dem Forschungsvorhaben wurden zwei Teilberichte erarbeitet. Auf den 1. Teilbericht vom 7. August 1987 gingen Stellungnahmen von Herrn Prof. Scheer mit Schreiben vom 20. Oktober 1987 und Unterlagen von Herrn Prof. Lindner mit Schreiben vom 6. November 1987 ein.

In diesen Stellungnahmen wurde u.a. bemängelt, daß die Beispiele einseitig nur solche Systeme beinhalten würden, bei denen die Ausnutzung nach den Normentwürfen im Vergleich zur geltenden DIN 4114 deutlich ansteigt. Prof. Scheer vermutete, daß die Modellunsicherheit statistisch nicht genügend abgesichert sei. Er war der Ansicht, daß es an Erfahrung fehle, wie sich Erhöhungen der Gebrauchslasten von 40 % bis über 100 % bei Anwendung plastisch-plastischer Nachweisverfahren auswirken und fand, daß in diesem Teilbericht nicht zentral und deutlich genug herausgestellt worden sei, daß dieses Verlassen eines durch jahrzehntelange Übung abgesicherten Erfahrungsbereichs noch keine Aussage zur Sicherheit ergäbe. Ferner wies er darauf hin, daß die mangelhafte Übereinstimmung der GRUSIBAU mit den hier erarbeiteten Ergebnissen kein stahlbauspezifisches Problem darstellt und daß bei Einbeziehung der Gebrauchssicherheit in manchen Fällen die Vorteile der plastischen Bemessung wieder verloren gehen. Von Prof. Lindner wurden drei ergänzende Beispiele zur Verfügung gestellt, auf die bei Besprechung der Beispiele zurückgekommen wird.

In der Beantwortung der Stellungnahmen konnte nachgewiesen werden, daß die Auswahl der Beispiele keineswegs einseitig im Hinblick auf besonders hohe Ausnutzung getroffen war. Im übrigen war von der Aufgabenstellung her zu prüfen gewesen, ob bei Bemessung nach den Normentwürfen Sicherheitsdefizite zu befürchten sind, weshalb von vornherein Systeme aus der Betrachtung ausschieden, bei denen diese nicht zu erwarten waren. Deshalb sollte in einem 2. Teilbericht untersucht werden, ob Aussagen zur Veränderung des Zuverlässigkeitsniveaus stabilitätsgefährdeter Stäbe möglich sind, wie sich Änderungen der Lastfraktilen (z.B. 95%- bzw. 99%-Fraktilen der Schneelast) auf das Zuverlässigkeitsniveau auswirken und wie die in der GRUSIBAU vorgesehenen Sicherheitsklassen durch zusätzliche Bemessungselemente berücksichtigt werden können. In der Tat sind Modellunsicherheiten bisher statistisch nicht abgesichert, ausgenommen die Berechnungsmodelle (Fließgelenk- und Fließzonentheorie, Schubverformung der Rahmenecken, räumliche Tragwirkung, Vereinfachungen der technischen Biegelehre).

Blatt 3 des Schlußberichtes zum Forschungsvorhaben „Vergleichende Untersuchungen..“

Mit Datum vom 16. September 1988 wurde ein zweiter Teilbericht erarbeitet, welcher gleichzeitig als Entwurf des Schlußberichtes dienen sollte. Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens hatte wesentlich länger als ursprünglich geplant gedauert. Dies war darauf zurückzuführen, daß die Materie erheblich umfangreicher und komplexer war, als ursprünglich vorausgesehen werden konnte.

Der 2. Teilbericht und der Schlußbericht blieben liegen, da beide Sachbearbeiter infolge Beendigung der Dienstzeit als Beamter auf Zeit bzw. wegen Gründung einer Familie ausschieden und eine Neueinstellung wegen der vielfach überschrittenen Kosten des Forschungsvorhabens nicht mehr infrage kam.

Ein weiterer Grund war die durch die Bearbeitung von Schadensgutachten und die Sanierung stählerner Straßenbrücken gewonnene Erkenntnis, daß verwertbare Aussagen zur Sicherheit der Konstruktion ohne gleichzeitige Einbeziehung der Lastseite und der zukünftigen Entwicklung derselben nicht möglich sind. In seiner Stellungnahme hatte bereits Prof. Scheer die Ansicht vertreten, daß wegen der mangelhaften statistischen Absicherung der Lastannahmen eine detaillierte Diskussion im Zusammenhang mit der Einführung der neuen DIN 18800 nicht sinnvoll sei. Hierorts wurde darauf verwiesen, daß nach Einführung einer neuen Normengeneration seitens der Industrie nur noch der Besitzstand verteidigt und damit die Berücksichtigung neuer, auf der Lastseite gewonnener, Erkenntnisse schwierig wird.

Die folgenden Ausführungen stellen eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens aus damaliger Sicht dar. Seit 1982 sind einige grundsätzliche Darstellungen zum Sicherheitsproblem, zur Berechnung der Zuverlässigkeit und zur Bemessung baulicher Anlagen auf semiprobabilistischer Basis [3,4,5,14,15,18,19] sowie spezielle Untersuchungen [6,7,8,9,21] veröffentlicht worden. Soweit dienlich, wird auf diese Bezug genommen.

### Überblick über die untersuchten Beispiele:

Insgesamt wurden acht Beispiele untersucht, außerdem ein eigenes Ergänzungsbeispiel und zwei von Herrn Prof. Lindner vorgelegte Beispiele:

Beispiel 1: Pendelstütze, durch mittigen Druck belastet.

- " - 2: Durchlaufträger über drei Felder, beansprucht durch zweiachsige Biegung ohne Längskraft.
- " - 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen, belastet durch einachsige Biegung mit Längskraft.
- " - 4: Zweigelenrechteckrahmen mit gleichmäßig verteilter Belastung des Riegels und Horizontallast in einer Rahmenecke.
- " - 5: Eingespannte Stütze unter mittigem Druck.
- " - 6: Biegedrillknachweis gabelgelagerter Einfeldträger.
- " - 7: Zugstab.
- " - 8: Hauptträger einer Eissporthalle mit rechteckigen Hohlquerschnitt.

Ergänzungsbeispiel 1: Biegedrillknickuntersuchung der Stiele eines zweifeldigen Rahmens

Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner): Eingespannte Stütze mit angehängter Pendelstütze

Ergänzungsbeispiel 4 (Lindner): Mittig beanspruchte Pendelstütze

Blatt 4 des Schlußberichtes zum Forschungsvorhaben „Vergleichende Untersuchungen..“

Es wurde angenommen, daß mit diesen Beispielen ein signifikanter Bereich des Stahlhochbaus erfaßt ist. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Beispielrechnungen kurz erläutert. Die Anlagen liefern ergänzende Aussagen hierzu.

### Beispiel 1 - Pendelstütze:

Der Biegeknicknachweis der auf mittigen Druck beanspruchten Pendelstütze aus HE-A 200, Knicklänge 5,0 m, wurde nach Formel (301) des Entwurfs - heute (3) - geführt. Der  $\kappa$ -Wert wurde für Knickspannungslinie c (Knicken um die schwache Achse) angesetzt. Gemäß Element (306) braucht der Einfluß des Biegedrillknickens nicht untersucht zu werden. Anlage 2 zeigt, daß die Beanspruchbarkeit BE, mit welcher das Verhältnis der zulässigen Lasten nach Entwurf DIN 18800 und DIN 4114 bezeichnet wird, abhängig ist vom Verhältnis der ständigen Last  $P_g$  zur veränderlichen Last  $P_s$  (hier Schneelast):  $\alpha = P_g/P_s$ . Da nur eine veränderliche Last angesetzt ist, tritt keine wesentliche Veränderung der zulässigen Last im Vergleich zu der nach DIN 4114 mittels  $\omega$ -Nachweis ermittelten ein. Erst bei Berücksichtigung weiterer veränderlicher Lasten treten Veränderungen auf.

Über die zuverlässigkeitstheoretische Untersuchung hat Schmitt auf dem 5. DASt-Forschungskolloquium berichtet [11]. Die Variablen mit ihren Verteilungsparametern sind in Anlage 4 aufgelistet. Trotz der praxisnahe angesetzten Fließgrenzen von 273 N/mm<sup>2</sup> im Steg und 256 N/mm<sup>2</sup> im Flansch wird der von der GRUSIBAU angestrebte Sicherheitsindex  $\beta = 4,7$  für Sicherheitsklasse 2 bei weitem nicht erreicht. Zwischen der Bemessung nach DIN 4114 und 0018800 klaffen Differenzen zwischen  $0,3 \leq \Delta\beta \leq 0,62$ . Das Beispiel berücksichtigt die Forschungsergebnisse von Gränzer und Riemann [12], die beinhalten, daß die Schneelasten der DIN 1055 Teil 5 nur eine etwa 85 %-Fraktile darstellen. Dies führt zu einer Reduktion des Sicherheitsindex  $\beta$ . Angewendet wurde die Fließzonentheorie.

Prof. Lindner hat zu diesem Beispiel Stellung genommen. Es zeigte die Vergleichsrechnung, daß er mit seiner Knicklänge von 5,50 m fast genau das Minimum der BE-Werte getroffen hat (Anlage 39). In der Tat lag auch das Beispiel 1 nicht weit von diesem Minimum entfernt. Für andere Knicklängen liegen die Beanspruchbarkeiten vor allem für Lastfall H wesentlich höher.

Die Anlagen 21 bis 24 beinhalten als Ergänzung zu Beispiel 1 die Berechnung des Sicherheitsindex  $\beta$  für Pendelstützen aus HE-B-Profilen. Den Untersuchungen dieser Anlagen liegen die Kennzahlen und Häufigkeitsverteilungen der Basisvariablen zugrunde, die später bei Beispiel 5 erwähnt sind. Die Schneelast wurde in allen vier Fällen mit 60 % der Gesamtlast angesetzt. Die Anlagen 21 und 22 betreffen den Lastfall HZ, bei welchem eine Verkehrslast in Höhe von 20 % der Gesamtlast berücksichtigt ist, die Anlagen 23 und 24 den Lastfall H. In allen vier Fällen liegen hohe Schlankheiten vor, für welche das Zuverlässigkeitsniveau der DIN 4114, wie bereits Hawranek bemerkt hat [13], sehr hoch liegt. Bei Bemessung nach den Normenentwürfen 0018800 sinkt der Sicherheitsindex um etwa  $0,4 \leq \Delta\beta \leq 0,9$  ab. Zur Unterscheidung werden im Folgenden die ergänzenden Untersuchungen mit Beispiel 1b bis 1e, das ursprüngliche Beispiel mit 1a bezeichnet. Den Anlagen kann entnommen werden, daß bei Anhebung der Lastfraktile der Schneelast von 95 % auf 99 %  $\beta$  um  $0,79 \leq \Delta\beta \leq 0,91$  ansteigt.

**Beispiel 2: Durchlaufträger über drei Felder:**

Der Durchlaufträger mit Kastenquerschnitt spannt sich über drei Felder mit Stützweiten von je 12,0 m und wird auf zweiachsige Biegung (gleichmäßig verteilte Lasten in y- und z-Richtung, Einzellast in Mitte Mittelfeld) ohne Längskraft beansprucht. Die Grenzwerte b/t sind für sämtliche Nachweisverfahren eingehalten. Mit Schnee- und Windlast in voller Höhe sind zwei veränderliche Lasten vorhanden, weshalb mit  $\gamma_F = 1,35$  gerechnet wurde.

Für das Verfahren Elastisch-Elastisch erhält man Beanspruchbarkeiten  $1,01 < BE < 1,16$ . Bei Berücksichtigung einer Momentenumlagerung bis zu 15 % der Ausgangswerte und der Interaktion für vollplastische Schnittgrößen  $M_y$  und  $M_z$  bei schiefer Biegung ohne Längskraft gemäß Anlage 6 erbringt das Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch Beanspruchbarkeiten BE in ähnlicher Höhe wie das Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch und damit Steigerungen der Gebrauchslasten zwischen 32 % und 75 %.

In der schlechten Ausnutzung des Kastenprofils bei Anwendung elastisch-elastischer Nachweisverfahren sieht Scheer ein Schulbeispiel für die Dringlichkeit der Forderung nach elastisch-plastischen oder sogar plastisch-plastischen Nachweisverfahren. Er wiederholt seine Bemerkung, daß keine Erfahrungen vorliegen, wie sich die oben erwähnten möglichen Steigerungen der Gebrauchslasten auf die Sicherheit auswirken. Außerdem bezweifelt er die Praxisnähe des hier gewählten Beispiels.

Der ersten Bemerkung kann zugestimmt werden, solange man sich mit deterministischen Nachweisen begnügt. Zur zweiten ist mitzuteilen, daß die Systemabmessungen des Beispiels der Literatur entnommen sind (Torträger einer Flugzeughalle) und lediglich der Trägerquerschnitt verändert wurde. Die Wahl fiel auf den Kastenträger, da ein Nachweis nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Forschungsauftrags hierorts nur für doppelsymmetrische Walzprofile bekannt war.

Die zuverlässigkeitstheoretische Untersuchung betrachtet die ständige Last als Freiwert und verwendet einen Querschnitt, dessen Höhe mit 350 mm geringfügig höher als derjenige ist, welcher der Berechnung der Beanspruchbarkeit zugrunde liegt. Die Schneelasten sind mit

$$s = 6,0 \cdot 1,07 = 6,42 \text{ kN/m}$$

wesentlich höher, die Windlasten vergleichbar. Die Einzellast ist vernachlässigt.

Die Zuverlässigkeitsstudie zeigt, daß die Bemessung nach der 1987 gültigen DIN 18800 Teil 1 die Sicherheitsforderungen der GRUSIBAU mit  $\beta = 4,65$  gerade erfüllt. Bei Anwendung des Nachweisverfahrens Plastisch-Plastisch verringert sich der Sicherheitsindex auf 3,90. Ähnlich liegt er auch bei Anwendung der DAST-Richtlinie 008.

### **Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen:**

Die stabilisierende im Fußpunkt eingespannte Stütze hat einen quadratischen Hohlquerschnitt und besteht aus St 37. Je nachdem, welches Nachweisverfahren angewendet wird, erhöhen sich die Beanspruchbarkeiten für den Lastfall  $\max(g + s/2 + w + p_a; g + s + w/2 + p_a)$  bis auf das 1,36-fache.

Der Schiefstellung der Stützen in Anlage 9 errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned}\psi &= r_1 \cdot r_2 / 200; & r_1 &= \sqrt{5/15} = 0,537 \\ & & r_2 &= (1 + \sqrt{1/3})/2 = 0,7887 \\ \psi &= 0,537 \cdot 0,7887 / 200 = 1/439\end{aligned}$$

Die Schiefstellung der Anlage 11 (Mittelwert 1/640, Standardabweichung 1/790) gilt für das Beispiel 3b der Anlage 10.

Die zuverlässigkeitstheoretische Untersuchung wurde ebenfalls mit einem quadratischen Kastenquerschnitt geführt, wobei die Seitenlänge  $h$  als Bemessungsfreiwert diente. Die Gesamtlast  $Q = G + S + P$  liegt mit 1956 kN (Nennlast) höher als bei der deterministischen Untersuchung. Bei Berechnung nach DIN 4114, Ri 10.2 wird eine Seitenlänge von 74 cm benötigt. Mittels der Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch kann die Seitenlänge  $h$  bis zu 7 cm reduziert werden. Der Sicherheitsindex  $\beta$  verringert sich dabei von 4,41 auf 3,85.

Für das von Herrn Prof. Lindner eingereichte Ergänzungsbeispiel wurden die Beanspruchbarkeiten BE und die zulässigen Lasterhöhungsfaktoren  $z$   $f$  ermittelt (Anlagen 40 und 41). Infolge der hohen Normalkräfte der angehängten Pendelstützen und der geringen Stützhöhe von 5,0 m sind die BE-Werte dieses Ergänzungsbeispiels niedrig, vor allem, wenn man sie auf die Ergebnisse der nach der Spannungstheorie II. Ordnung (DIN 4114, Ri 10.2) bezieht.

### **Beispiel 4: Zweigelenkrahmen:**

Der Rahmen mit einer Stützweite von 12,0 m und Stielhöhen von 6,0 m (Anlagen 12 und 13) wurde bereits im Forschungsbericht [1] untersucht. Verändert wurden die Stützen- und Riegelprofile (hier IPE 400) und die Lasten. Die seinerzeit errechneten Beanspruchbarkeiten haben sich u.a. durch die Einführung des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_M = 1,1$  auf der Materialseite verringert.

Die Rahmenstiele wurden zusätzlich auf Biegedrillknicken untersucht für den Fall, daß keine Wandriegel die Stiele elastisch gegen eine Verdrillung stützen. Als Stielprofile wurde IPE 400 und HE-AA 340 angesetzt. Mit den IPE-Profilen wird bei dem Biegedrillknicknachweis sowohl nach DIN 4114 als auch nach 0018800 Teil 2 die Gebrauchslast nicht erreicht, die man mittels eines Nachweises nach der Spannungstheorie II. Ordnung erhält.



Von Prof. Lindner wurde ein Nachweis für den Rahmenstiel mit gebundener Drehachse zur Verfügung gestellt. Auch in diesem Beispiel wird Biegedrillknicken maßgebend. In seinem Ergänzungsbeispiel 4 (Anlage 42) behandelt Lindner eine 12 m lange Fassadenstütze mit Endmoment. Die Stütze ist gegen Ausweichen aus der Ebene und gegen Biegedrillknicken gehalten. Die BE-Werte von Lindner liegen unter 1,0, da er sich mit der Stützenlänge 12,0 m nahe dem Minimum für BE bewegt.

In den zuverlässigkeitstheoretischen Untersuchungen wurde einmal der Rahmenabstand, zum anderen Mal das IPE-Profil variiert. Aufgrund der wirtschaftlicheren Bemessungsmöglichkeiten nach 0018800 reduziert sich der Sicherheitsindex  $\beta$  um  $\Delta\beta = 0,77$  und  $\Delta\beta = 0,61$  auf  $\beta = 3,41$  (Anlage 14) bzw.  $\beta = 3,56$  (Anlage 15).

**Ergänzungsbeispiel 1: Biegedrillknickuntersuchung der Stiele eines zweifeldigen Rahmens mit gelenkig gelagerten Stiefüßen (Anlage 17):**

Die Lasterhöhungsfaktoren der DIN 4114 und der 0018800 Teil 2 unterscheiden sich nur unwesentlich, wie bereits beim Zweigelenrahmen des Beispiels 4 gezeigt. Für kleine Schlankheiten ist der Außenstiel 3, für große der Mittelstiel 2 maßgebend für die Bemessung.

**Beispiel 5: Eingespannte Stütze unter mittigem Druck:**

Den Untersuchungen liegen folgende Kennzahlen und Häufigkeitsverteilungen der Basisvariablen zugrunde:

<u>Variable</u>	<u>Mittelwert</u>	<u>Variationskoeffizient oder Standardabweichung [mm]</u>	<u>Häufigkeitsverteilung</u>
Querschnittsabmessungen:			
Profilhöhe	Sollwert	$1,3 + 0,00175 \cdot \text{Sollw.} \leq 2,0$	Lognormal
Profilbreite	Sollwert	1,5	Lognormal
Stegdicke	$1,02 \cdot \text{Sollwert}$	$0,3 + 0,03 \cdot \text{Sollwert}$	Lognormal
Flanschdicke	Sollwert	$0,45 + 0,01375 \cdot \text{Sollwert}$	Lognormal
Streckgrenze:			
St 37	$27,0 \text{ kN/cm}^2$	$V = 10 \%$	Lognormal
St 52-3	$40,0 \text{ kN/cm}^2$	$V = 10 \%$	Lognormal
Elastizitätsmodul	$21000 \text{ kN/cm}^2$	$V = 4 \%$	Normalverteilung
Ständige Lasten	DIN-Werte	$V = 10 \%$	Normalverteilung
Schneelasten	Fraktilwerte	$V = 45 \%$ $95 \%$ und $99 \%$	Gumbel

Blatt 8 des Schlußberichtes zum Forschungsvorhaben „Vergleichende Untersuchungen..“

In diesem Beispiel werden die Veränderungen des Zuverlässigkeitsniveaus unter vereinfachenden Annahmen und der Einfluß der Fraktile der Schneelast auf den Sicherheitsindex  $\beta$  gezeigt (Anlage 20). Die Sicherheitsindizes sind als obere Grenzwerte zu betrachten, da auf der Widerstandsseite die Eulerlast mit ihrer geringen Anzahl Basisvariabler steht. Im Gegensatz hierzu sind die  $\beta$ -Werte des Beispiels 1a (Anlagen 1 bis 4) aufgrund der dort angewendeten Fließzonentheorie und der Annahme der Basisvariablen als realistische Werte anzusehen.

Der Bemessungswert der Einwirkungen beträgt, da mit der Schneelast nur eine veränderliche Einwirkung vorliegt,

$$120 \cdot (1,35 + 1,50) = 342 \text{ kN.}$$

Die beim damaligen Stand des Normenentwurfs mögliche Erhöhung der Streckgrenze um 5 % für Erzeugnisdicken  $t \leq 16 \text{ mm}$  für St 37-2 blieb unberücksichtigt.

#### **Beispiel 6: Biegedrillknicknachweis gabelgelagerter Einfeldträger:**

Die Bemessung des durch eine gleichmäßig verteilte Last beanspruchten Trägers nach DIN 4114 und Entwurf 0018800 unterscheidet sich in bezug auf das Zuverlässigkeitsniveau unwesentlich. Geht man von der 95 %-Fraktile der Schneelast aus, liegt das Sicherheitsniveau beider Normen erheblich unter den Forderungen der GRUSIBAU (Anlage 25).

Beim Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten führt die Bemessung nach 0018800 (Anlage 26) zu einem etwas höheren Sicherheitsniveau als der Nachweis nach DIN 4114. Insgesamt liegt der Sicherheitsindex mit  $3,05 \leq \Delta\beta \leq 3,25$  auch hier wesentlich unter den Forderungen der GRUSIBAU.

Der gabelgelagerte Einfeldträger mit Einzellast in Feldmitte und mittig angreifender Normalkraft wurde für die beiden Stützweiten 9,0 m und 12,0 m sowie für die beiden Profile IPE 400 und HE-A 300 untersucht. Für diesen Lastfall enthält die DIN 4114 keine Hinweise zum Biegedrillknicken. Hilfsweise wird in den Anlagen 27 und 28 die Biegedrillknicklast ermittelt und die zulässige Last in Abhängigkeit vom Verhältnis  $N/P$  mit  $\nu = 1,71$  für  $N/P \rightarrow 0$  bzw.  $\nu = 2,5$  für  $N/P \rightarrow \infty$  abgesichert. Die Schlankheitsgrade  $\lambda_z$  liegen in den untersuchten Fällen zwischen 160 und 228.

#### **Beispiel 7: Zugstäbe:**

Mit dem in Anlage 30 untersuchten Zugstab werden die Hauptträger des Olympia-Eisstadions Garmisch-Partenkirchen vorgespannt. Die Vorspannkkräfte werden durch ständige Lasten und Schneelasten beeinflusst.

Das Zuverlässigkeitsniveau dieser im Jahre 1964 erstellten Stahlkonstruktion liegt hoch. Würde dieser Zugstab konsequent nach DIN 18800 Teil 1 (Ausg. März 1981) oder nach Entwurf 0018800 bemessen, mindert sich das Sicherheitsniveau wesentlich von  $\beta = 5,33$  auf etwa  $\beta = 3,85$  ab. Im Vergleich zu DIN 18800 Teil 1 führt der Entwurf 0018800 zu geringfügig höheren Sicherheitsindizes.

Blatt 9 des Schlußberichtes zum Forschungsvorhaben „Vergleichende Untersuchungen..“

Bei Bemessung unter zuverlässigkeitstheoretischen Gesichtspunkten ist zu berücksichtigen, daß eine derartige Sporthalle nicht nur eine große Bedeutung für die Öffentlichkeit besitzt, sondern daß sich in ihr auch mehr als 10000 Menschen aufhalten können. Daher sollte die Sicherheitsklasse 3 herangezogen werden, für welche die seinerzeitige Bemessung gerade richtig liegt.

Von Prof. Lindner wurde als ergänzendes Beispiel ein Zugstab, bestehend aus zwei L 100-75-7, St 37, zur Verfügung gestellt (Anlage 31). Die Bemessung nach DIN 18800 Teil 1 (Ausg. März 1981) ergibt erwartungsgemäß ein niedrigeres Zuverlässigkeitsniveau als die nach Entwurf 0018800. Dieses ist mit  $\beta = 2,99$  beim Allgemeinen Spannungsnachweis sehr gering und entspricht nur der Forderung der Sicherheitsklasse 2 für den Zustand der Gebrauchsfähigkeit (!). Die operative Versagenswahrscheinlichkeit steigt auf über  $10^{-3}$  an. Beim Nachweis nach 0018800 mit  $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$  wird der Sicherheitsindex auf  $\beta = 3,4$  angehoben. Mit dieser zuverlässigkeitstheoretischen Aussage erfährt die Anhebung der Sicherheiten des Zugstabes gegen Erreichen der Fließgrenze, die von der Praxis sehr angegriffen wurde, ihre nachträgliche Begründung.

### **Beispiel 8: Hauptträger einer Eissporthalle mit rechteckigem Hohlquerschnitt:**

Um sicherheitstheoretische Untersuchungen dieses komplexen Systems überhaupt zu ermöglichen, mußte das statische Modell der Hauptträger der Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen wesentlich vereinfacht werden. Der Kastenquerschnitt wird über die gesamte Hauptträgerlänge konstant angenommen, untersucht wird nur der Lastfall H - ständige Last, Schneelast und Vorspannung.

Für die Schneehöhen liegen Aufzeichnungen über einen Zeitraum von 30 Jahren vor. Sie wurden statistisch ausgewertet. Die Bemessungsschneelast des Beispiels entspricht der 98,3 %-Fraktilen, der Abminderungsfaktor  $\kappa$  ist mit 0,8, die Schneerohwichte mit  $\gamma = 2,15 \text{ kN/m}^3$  nach DIN 1055, Teil 5, angesetzt.

Zuverlässigkeitstheoretisch wurden untersucht

- die Sicherheit gegen Erreichen der elastischen Grenzlast,
- die Sicherheit gegen Erreichen des 1. Fließgelenkes,
- die Sicherheit gegen Erreichen der Traglast, wobei entsprechend der ausgeführten Konstruktion eine System-Reserve von 20 % angenommen wurde.

In Anlage 29 sind die Sicherheitsindizes in Abhängigkeit von der Stegblechhöhe aufgetragen. Die Unterschiede im Sicherheitsniveau sind bei diesem Beispiel beträchtlich und entsprechen einer Veränderung der operativen Versagenswahrscheinlichkeit um über vier Zehnerpotenzen, wobei die seinerzeit gültige Bemessungsnorm hohe Sicherheitsreserven beinhaltet hat. Bei Beurteilung derselben ist jedoch zu berücksichtigen, daß diese Sporthalle gemäß GRUSIBAU in die Sicherheitsklasse 3 mit  $\beta = 5,2$  für den Grenzzustand der Tragfähigkeit einzustufen wäre.

Neben zuverlässigkeitstheoretischen wurden deterministische Untersuchungen unter Zugrundelegung der tatsächlich ausgeführten Konstruktion vorgenommen, um den Einfluß zwischenzeitlich erfolgter bzw. zu erwartender Änderungen der Vorschriften zu ermitteln [20].

Anlage 32 zeigt die Momentendeckungslinie und die Biegemomentenverteilung der statischen Berechnung aus dem Jahre 1964. Anlage 33 stellt die Biegemomentenverteilung nach gültiger heutiger Lastnorm der Momentendeckungslinie gegenüber. Mit Ausgabe Juni 1975 der DIN 1055 Teil 5 wurde die Schneebelastung erhöht. Damit überschreitet die Momentenzustandslinie an einigen Stellen die Momentendeckungslinie.

In den Anlagen 34 bis 36 sind die unter Zugrundelung der gültigen Lastnormen nach den drei Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch, Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch erhaltenen Biegemomente den zulässigen Momenten bzw. Grenzmomenten gegenübergestellt. Bei den Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch und Elastisch-Plastisch werden die Grenzbedingungen jeweils mindestens an einer Stelle überschritten.

Die Anlagen 37 und 38 beinhalten Berechnungsergebnisse nach Entwurf 0018800 Teil 2 und DIN 4114 mit Variation der Schneelasten (103 % und 94 %) und der Sicherheitsbeiwerte (1,35/1,50 bzw. 1,71). In beiden Fällen tritt Tragwerksversagen infolge Bildung von jeweils zwei Fließgelenken ein.

#### **Zusammenfassung und Schlußbemerkung:**

Im Forschungsbericht [1] wurden ausschließlich die Beanspruchbarkeiten BE, dies sind die Faktoren, mit welchen die nach DIN 4114 errechneten zulässigen Lasten zu multiplizieren sind, um die nach dem jeweiligen Nachweis zulässigen Gebrauchslasten zu erhalten, ermittelt. Es wurde gezeigt, daß die damalige Normvorlage EDIN 18800, Teil 2 (Fassung Juli 1979), zu Gebrauchslasten führt, die zumindest in den untersuchten Fällen wesentlich über denen der damals gültigen DIN 4114 liegen.

Das hier vorgelegte nunmehr abgeschlossene zweite Forschungsvorhaben sollte darüber hinaus einige objektive Aussagen zur Veränderung des Zuverlässigkeitsniveaus durch die neue Normengeneration erbringen. Bei einem Vergleich der Beanspruchbarkeiten mit den Ergebnissen des 1. Forschungsvorhabens ist zu berücksichtigen, daß das Sicherheitsproblem mit den neuen Entwürfen 0018800 Teil 1 und Teil 2 etwas entschärft ist. Die folgende Zusammenfassung bezieht sich ausschließlich auf Fragen des Zuverlässigkeitsniveaus.

Bei den auf Druck beanspruchten Pendelstützen und eingespannten Stützen sinkt der Sicherheitsindex  $\beta$  bei einem Nachweis nach Entwurf 0018800 Teil 2 im Vergleich zu dem bei einem nach DIN 4114 geführten Nachweis ab.

Die Unterschiede in den  $\beta$ -Werten der Beispiele 1a und 1b bis 1e sind auf zwei Einflüsse zurückzuführen: Im Beispiel 1a wurden die Ergebnisse des Forschungsberichtes [12] berücksichtigt. Dies hat zur Folge, daß die Schneelasten der DIN 1055 Teil 5 etwa eine 85 %-Fraktile darstellen mit entsprechender Verringerung des Wertes  $\beta$ . Ferner wurde die Fließzonentheorie unter Einschluß geometrischer und struktureller Imperfektionen angewendet. Bei Berücksichtigung der oben erwähnten Schneelastannahmen stellen die Sicherheitsindizes dieses Beispiels untere Grenzwerte dar.

In den vier Teilbeispielen 1b bis 1e wurde zur Rechenbeschleunigung in der Grenzzustandsfunktion für R die Eulersche Knicklast angesetzt. Damit liegt der Mittelwert von R zu hoch, die Streuung der den Widerstand beeinflussenden Werte ist klein. Die Schneelastannahmen wurden nach DIN 1055 Teil 5 unter der Annahme getroffen, daß es sich bei ihnen um 95 %-Fraktilen handelt.

Bei den auf Biegedrillknicken beanspruchten Einfeldträgern wurde auf der Widerstandsseite die Biegedrillknicklast eingeführt, welche als Basisvariable lediglich die Querschnittswerte und den E-Modul enthält. Zwischen DIN 4114 und Entwurf 0018800 Teil 2 besteht kein Unterschied im Zuverlässigkeitsniveau. Die in den Anlage 27 und 28 enthaltenen Lastfälle (veränderliche Biegemomente mit Normalkraft) sind nach DIN 4114 nicht nachweisbar. Trotz der sicherheitstheoretischen Absicherung gegen die zu hoch liegende Biegedrillknicklast sind die Sicherheitsindizes des schlanken IPE 400-Trägers niedrig, wenn mit der 95 %-Fraktile der Schneelast gerechnet wird.

Das statische System des Kastenträgers in Beispiel 8 ist einfach statisch unbestimmt, der Querschnitt hat eine plastische Querschnittstragreserve von  $1,22 \leq \alpha_{pl} \leq 1,23$ . Mit Hilfe der Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch wäre eine wesentliche Verminderung der Stegblechhöhe möglich, die freilich mit einer ebenso signifikanten Reduzierung des Zuverlässigkeitsniveaus verbunden ist. Die Anlagen 32 und 33 zeigen, daß im Jahre 1964 geringfügige Spannungsüberschreitungen in Kauf genommen wurden. Die höheren Schneelasten nach gültiger DIN 1055 Teil 5 führen zu Überschreitungen der zulässigen Spannungen im Feld am Ort des Werkstoffwechsels von St 37 zu St 52. Das Verfahren Plastisch-Plastisch enthält bei Außerachtlassung der zuverlässigkeitstheoretischen Betrachtung noch eine geringe Sicherheitsreserve von etwa 3 %.

Eine Sporthalle von der Bedeutung und den Ausmaßen der Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen wäre nach GRUSIBAU in die Sicherheitsklasse 3 einzustufen, für welche  $\beta = 5,2$  gefordert wird. Dieser Wert wird nach Entwurf 0018800 nur beim Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch erreicht. In [9] wurde empfohlen, Wertigkeitsfaktoren auf der Lastseite einzuführen. Für Sicherheitsklasse 3 käme der Faktor 1,1 infrage.

Bei Zugstäben (Beispiele 7) führt der Nachweis nach Entwurf 0018800 zu einem höheren Zuverlässigkeitsniveau. Dies dürfte erwartet werden, da bisher gegen die Fließgrenze mit  $\nu = 1,50$  im Lastfall H und mit  $\nu = 1,33$  im Lastfall HZ abgesichert wurde. Mit  $\gamma_M = 1,1$  und  $\gamma_F = 1,50/1,35$  wird die Ausnutzbarkeit des Querschnitts vermindert. Trotzdem steht auch nach dieser Anhebung von  $\beta$  das Sicherheitsniveau nicht im Einklang mit den Forderungen der GRUSIBAU. Die tatsächliche Bemessung des vorgespannten Zugstabes der Eissporthalle lag weit auf der sicheren Seite.

Die im Rahmen dieses Forschungsauftrags erhaltene Aussage, daß das tatsächliche Sicherheitsniveau zum Teil erheblich unter dem in der GRUSIBAU angestrebten liegt, wird von mehreren Forschern bestätigt:

In [14] wird gezeigt, daß auf Grund der gegenwärtigen Normen der Niederlande der Sicherheitsindex  $\beta$  für einen Bezugszeitraum von 50 Jahren stark streut und für Stahlkonstruktionen zwischen 2,2 und 5,0 liegt. Die Schlußfolgerungen des Forschungsberichtes [15] lauten: „Das Sicherheitsniveau von Bauteilen, welches in Übereinstimmung mit den gegenwärtigen Normen und den bestehenden Vorstellungen ist, beträgt im Mittel  $\beta = 3,8$  für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und  $\beta = 1,7$  für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Die Streuung um diese Mittelwerte ist beträchtlich.“ Ziel der niederländischen Untersuchungen war, unter Beibehaltung des bewährten Zuverlässigkeitsniveaus mit Hilfe von Teilsicherheitsbeiwerten, die wahrscheinlichkeitstheoretisch abgesichert sind, die Streuung dieses Niveaus zu verringern und es zu vergleichmäßigen.

Von Interesse sind auch einige Arbeiten aus der ehemaligen DDR [6, 8, 9]. Dort wurden fünf Zuverlässigkeitsklassen anstelle der drei Sicherheitsklassen der GRUSIBAU gebildet. Die Sicherheitsindizes variieren in Stufen von 0,5, beginnend mit 5,2 in der höchsten, endend mit 3,2 in der niedrigsten Klasse. Die Differenzierung des Zuverlässigkeitsniveaus sollte mit Hilfe von Wertigkeitsfaktoren der Lasten und Einwirkungen erreicht werden. Diese variieren zwischen 0,90 und 1,10 in Stufen von 0,05.

In [6, 8] wird das Ergebnis einer Zuverlässigkeitsstudie vorgestellt, der ein Zweigelenkrahmen mit einer Stützhöhe von 6,0 m und sehr leichter Eindeckung zugrunde lag. Das Sicherheitsmaß wurde für die Lastkombination Eigenlast, Wind und Schnee in Abhängigkeit von der Spannweite ermittelt, wobei erhebliche Unterschiede auftreten.

Die von Galambos [17] aufgrund einer umfassenden Studie mitgeteilten Werte des Sicherheitsindex -  $2,5 \leq \beta \leq 3,0$  - sind wegen unterschiedlicher statistischer Ausgangsdaten nicht ohne weiteres vergleichbar mit den hier erhaltenen.

Zusammengefaßt kann, soweit mit den wenigen untersuchten Beispiele überhaupt verallgemeinert werden darf, festgestellt werden:

Das Zuverlässigkeitsniveau von Stahlkonstruktionen, welche nach dem Vorschriftenstand vor 1987 bemessen sind, streut sehr stark und liegt im allgemeinen niedriger als  $\beta = 4,7$ . Die Forderungen der GRUSIBAU werden nicht erfüllt.

Die Anwendung des Entwurfs 0018800 Teil 1 und 2 führt zu einer Vergleichmäßigung des Zuverlässigkeitsniveaus auf niedrigem Level mit Absenkung desselben bei auf Druck und Biegung beanspruchten Bauteilen. Bei Bauteilen, welche auf Zug beansprucht sind, wird  $\beta$  leicht angehoben.

Bei biegedrillknickgefährdeten Bauteilen scheint der Sicherheitsindex mit Rücksicht darauf, daß er in den Anlagen 25 bis 28 für die Biegedrillknicklast und nicht für die Traglast ermittelt wurde, besonders niedrig zu liegen.

Insgesamt bringt der Normenentwurf 0018800 eine Vergleichmäßigung des Sicherheitsniveaus.

Blatt 13 des Schlußberichtes zum Forschungsvorhaben „Vergleichende Untersuchungen..“

Die Forderungen der GRUSIBAU sollten überprüft und dem in der Vergangenheit bewährten realen Sicherheitsniveau angepaßt werden. Bei dem glücklicherweise seltenen Ereignis eines Schadensfalles ist eine Kalibrierung der Versagensquote baulicher Anlagen nicht möglich.

Dies trifft möglicherweise für ein Spezialgebiet des Ingenieurbaus, den Gerüstbau, nicht zu. Bei diesem dürfte die reale Versagenswahrscheinlichkeit durchaus in einem Bereich über  $10^{-3}$  liegen. Ein Versuch, diese zumindest für eine zusammengesetzte Gitterstütze zuverlässigkeitstheoretisch im Rahmen der Arbeiten des Sonderforschungsbereich 96 „Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke“ zu quantifizieren, schlug fehl [21,22,23]. Die Anzahl der Basisvariablen und die Komplexheit des statischen Systems waren derart beschaffen, daß auch bei Einsatz von Großrechnern unzumutbar hohe Kosten aufgetreten wären.

**Literaturverzeichnis:**

- [1] Nather, F. und Kreutz, J.-St.: Vergleichende Untersuchung des Entwurfs DIN 18800, Teil 2 mit der zur Zeit gültigen Vorschrift DIN 4114, Ausgabe Juli 1952xx. Forschungsauftrag des Instituts für Bautechnik Berlin. Mitteilungen aus dem Lehrstuhl für Stahlbau der TU München, Heft 18, München 1981.
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Beuth Verlag GmbH Berlin-Köln, 1. Aufl. 1981.
- [3] Siemes, A.J.M., Vrouwenfelder, A.C.W.M. and van den Beukel, A.: Durability of buildings: a reliability analysis. HERON vol. 30 (1985), no. 3. STEVIN-LABORATORY of the department of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, INSTITUTE TNO for Building Materials and Building Structures, Rijswijk (ZH), The Netherlands.
- [4] Spaethe, G.: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1987.
- [5] Klingmüller, O. und Bourgund, U.: Sicherheit und Risiko im Konstruktiven Ingenieurbau. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1992.
- [6] Glas, H.-D. und Grasse, W.: Zuverlässigkeitsuntersuchungen von Stahlkonstruktionen. IVBH 13. Kongreß Helsinki 6.-10. Juni 1988, Kongreß-Bericht, S. 817-822.
- [7] Hebestreit, K.: Imperfektionen an Stahlträgern und deren Einfluß auf die Tragfähigkeit. Dissertation TH Leipzig 1988.
- [8] Glas, H.-D.: Die Zuverlässigkeit von Konstruktionssystemen aus Stahl. VII. Leipziger Metallbaukolloquium „Fortschritte in Theorie und Praxis“, 6. April 1988, S. 45-52.
- [9] Spaethe, G.: Grundlagen der modernen Normenarbeit und die „Zuverlässigkeitskonzeption für tragende Baukonstruktionen“. VII. Leipziger Metallbaukolloquium „Fortschritte in Theorie und Praxis“, 6. April 1988, S. 23-29.
- [10] Schmitt, W.: Zur Zuverlässigkeitsanalyse von Stabtragwerken aus Stahl unter vorwiegend ruhender Belastung. Dissertation TU München 1987. Mitteilungen aus dem Lehrstuhl für Stahlbau der TU München, Heft 23, München 1987.
- [11] Schmitt, W.: Zur Kalibration des Sicherheitsindex  $\beta$  der Zuverlässigkeitstheorie an Bemessungsformaten des Stahlhochbaus. Vortrag auf dem 5. DAST-Forschungskolloquium am 19. März 1987 in Braunschweig
- [12] Gränzer, M. und Riemann, H.: Statistische Auswertung langjähriger Schneemessungen zur Ermittlung der Schneelastverteilung im Bundesgebiet. Schlußbericht des Forschungsvorhabens. Landesstelle für Baustatik Baden-Württemberg, Tübingen 1980.
- [13] Hawranek, R.: Optimierung von Sicherheitsnachweisen mit besonderem bezug auf den Tragsicherheitsnachweis von Stützen aus Formstahl. Dissertation TU München 1978. Mitteilungen aus dem Lehrstuhl für Stahlbau der TU München, Heft 13, München 1978
- [14] Vrouwenfelder, A.C.W.M. und Siemes, A.J.M.: Probabilistic calibration procedure for the derivation of partial safety factors for the Netherland building codes. HERO, vol. 32 (1987), no. 4, pp. 9-29. STEVIN LABORATORY of the departement of Civil Engineering, Delft University of Technolgy, Delft. Institute TNO for Building Materials and Building Structures, Rijswijk (ZH), The Netherlands.
- [15] Siemes, A.J.M. and Vrouwfelder, A.C.W.M.; Veiligheid von Bouwconstruties. TNO-IBBC Report B I-84-36/62.4.1301

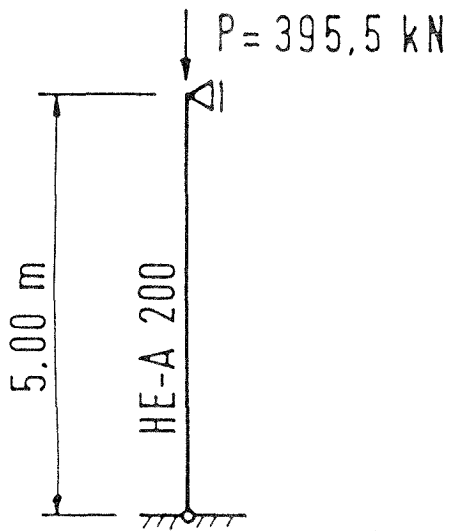


- [16] Grasse, W.: Zuverlässigkeitsuntersuchungen an vorgespannten Zugstäben und Biegeträgern aus Stahl. VII. Leipziger Metallbaukolloquium „Fortschritte in Theorie und Praxis“, 6. April 1988, S. 45-52.
- [17] Galambos, Th.V.: Load and Resistance Factor Design. Engineering Journal, AISC, Third Quarter 1981, pp. 74-82.
- [18] Hemmert-Halswick, A.: Beitrag zur Umstellung der Bemessung stählerner Konstruktionen auf Grenzzustände auf semiprobabilistischer Basis. Dissertation RWTH Aachen 1986. Heft 13 der Schriftenreihe Stahlbau der RWTH Aachen.
- [19] Grimmelt, H.: Eine Methode zur Berechnung der Zuverlässigkeit von Tragsystemen unter kombinierten Belastungen. Dissertation TU München 1984. Sonderforschungsbereich 96 „Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke“, Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke Heft 76/1984.
- [20] Hagen, G. von der, und Stephan, M.: Vergleich der Bemessung nach geltenden und zukünftigen Regeln der Technik. 2. Beispiel: Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen. In: Konstruktiver Ingenieurbau - Neuerungen und Tendenzen. Band 1: Stahlbau. VBI-Seminar Bayern, München, März 1988, S. 3/1-3/22.
- [21] Nather, F.: Sicherheit von Rüststützen aus Stahl als Einzelstützen und als Bauelemente von Rüststützen und Stütztürmen. Sonderforschungsbereich 96 der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Zuverlässigkeit der Bauwerke“. Arbeits- und Ergebnisbericht 1979-81, S. 153-167. TU München 1982.
- [22] Schmitt, W.: Das Programmsystem SYSIC zur Ermittlung der Zuverlässigkeit von Tragsystemen. Interner Bericht SFB 96 (1979), TU München.

**Anlagenverzeichnis:**

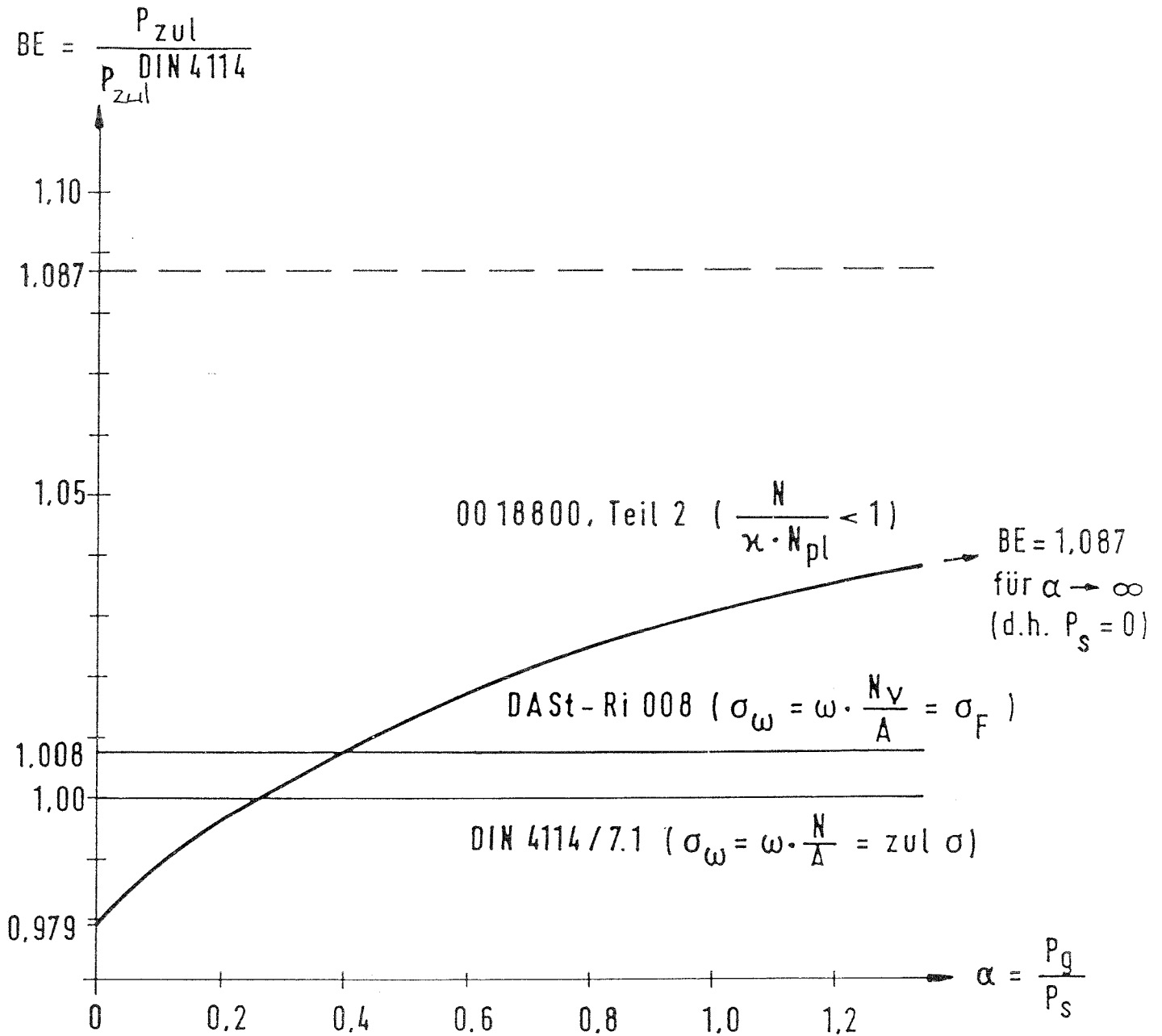
- 1 Beispiel 1: Pendelstütze  
Beanspruchbarkeit  $BE = P_{zul}^{DIN 18800}$
- 2 Beispiel 1: Pendelstütze  
Beanspruchbarkeit in Abhängigkeit vom Verhältnis  $\alpha = P_g/P_s$
- 3 Beispiel 1: Pendelstütze  
Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Schlankheitsgrades  $\lambda$
- 4 Beispiel 1: Pendelstütze  
Variable mit Verteilungsparametern
- 5 Beispiel 2: Durchlaufträger mit Kastenquerschnitt über drei Felder bei zweiachsiger Biegung ohne Längskraft  
BE-Werte für verschiedenen Berechnungsverfahren
- 6 Beispiel 2: Durchlaufträger  
Interaktion für vollplastische Schnittgrößen  $M_y$  und  $M_z$  bei schiefer Biegung ohne Längskraft
- 7 Beispiel 2: Durchlaufträger - Zweiachsige Biegung ohne Längskraft  
Sicherheitsindex  $\beta$  mit ständiger Last  $g$  als Variable, Schneelast  $s = 6,42$  kN/m als Festwert
- 8 Beispiel 2: Durchlaufträger - Zweiachsige Biegung ohne Längskraft  
Variable mit Verteilungsparametern
- 9 Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen  
BE-Werte für verschiedene Berechnungsverfahren
- 10 Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen  
Sicherheitsindex  $\beta$  mit der Seitenlänge  $h$  als Variable
- 11 Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen  
Variable mit Verteilungsparametern
- 12 Beispiel 4: Zweigelenkrahmen  
BE-Werte für verschiedene Berechnungsverfahren
- 13 Beispiel 4: Zweigelenkrahmen  
BE-Werte bei Nachweis des Biegedrillknickens
- 14 Beispiel 4: Zweigelenkrahmen  
Sicherheitsindex  $\beta$  mit dem Rahmenabstand als Variable
- 15 Beispiel 4: Zweigelenkrahmen  
Sicherheitsindex  $\beta$  mit dem IPE-Profil als Variable
- 16 Beispiel 4: Zweigelenkrahmen  
Variable mit Verteilungsparametern
- 17 Ergänzungsbeispiel 1: Biegedrillknickuntersuchung der Stiele eines zweifeldigen Rahmens mit gelenkig gelagerten Stiefüßen - Lasterhöhungsfaktoren als Funktion der Rahmenhöhe
- 18 Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten - Versagen durch Biegedrillknicken - Lasterhöhungsfaktoren als Funktion der Stützweite
- 19 Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten - Interaktionsbedingung in Abhängigkeit vom Lasterhöhungsfaktor
- 20 Beispiel 5: Eingespannte Stütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  mit dem Lasterhöhungsfaktor als Variable
- 21 Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profiles, Lastfall HZ

- 22 Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die starke Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profils, Lastfall HZ
- 23 Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profils, Lastfall H
- 24 Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die starke Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profils, Lastfall H
- 25 Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gleichmäßig verteilter Belastung - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Stützweite (Profil IPE 400, Lastfall H)
- 26 Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Stützweite (Profil IPE 400, Lastfall HZ)
- 27 Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit mittiger Einzellast P und Normalkraft N - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Verhältnisses N/P (Profil IPE 400, Lastfall H)
- 28 Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit mittiger Einzellast P und Normalkraft N - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Verhältnisses N/P (Profil HE 300 A, Lastfall H)
- 29 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Bauhöhe des Kastenträgers
- 30 Beispiel 7: Vorgespannter Zugstab der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Normalkraftanteile aus Eigengewicht und Schnee
- 31 Zugstab aus Ergänzungsbeispiel 3 von Prof. Lindner - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Lasterhöhungsfaktors
- 32 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und zulässige Biegemomente, Stand der Bemessung 1964
- 33 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und zulässige Biegemomente, Bemessung Normenstand 1988
- 34 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Grenzmomente nach Verfahren Elastisch-Elastisch
- 35 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Grenzmomente nach Verfahren Elastisch-Plastisch
- 36 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Grenzmomente nach Verfahren Plastisch-Plastisch
- 37 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Momentengrenzlinie nach Fließzonentheorie mit Variation der Schneelasten (Sicherheitsbeiwerte 1,35/1,50 nach 0018800)
- 38 Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Momentengrenzlinie nach Fließzonentheorie mit Variation der Schneelasten (Sicherheitsbeiwert 1,71 nach DIN 4114)
- 39 Beispiel 1: Pendelstütze  
Beanspruchbarkeit der Variante Lindner
- 40 Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner): Eingespannte Stütze mit angehängter Pendelstütze - Beanspruchbarkeiten BE als Funktion der Stützenhöhe
- 41 Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner) : Eingespannte Stütze mit angehängter Pendelstütze - Zulässige Lasterhöhungsfaktoren f als Funktion der Stützenhöhe h
- 42 Ergänzungsbeispiel 4 (Lindner): Mittig beanspruchte Pendelstütze - Beanspruchbarkeit BE als Funktion der Stablänge l



Berechnungsverfahren	$BE = \frac{P_{zul}}{P_{zul}^{DIN 4114}}$	Beziehung
DIN 4114, 7.1	1,0	$\sigma_{\omega} = \omega \frac{N}{A} = zul \sigma$
0018800, Teil 2	1,01 *)	$\frac{N}{\alpha N_{pl}} \leq 1$
DAST - Ri 008	1,01	$\omega \frac{N_y}{A} = \beta_s$

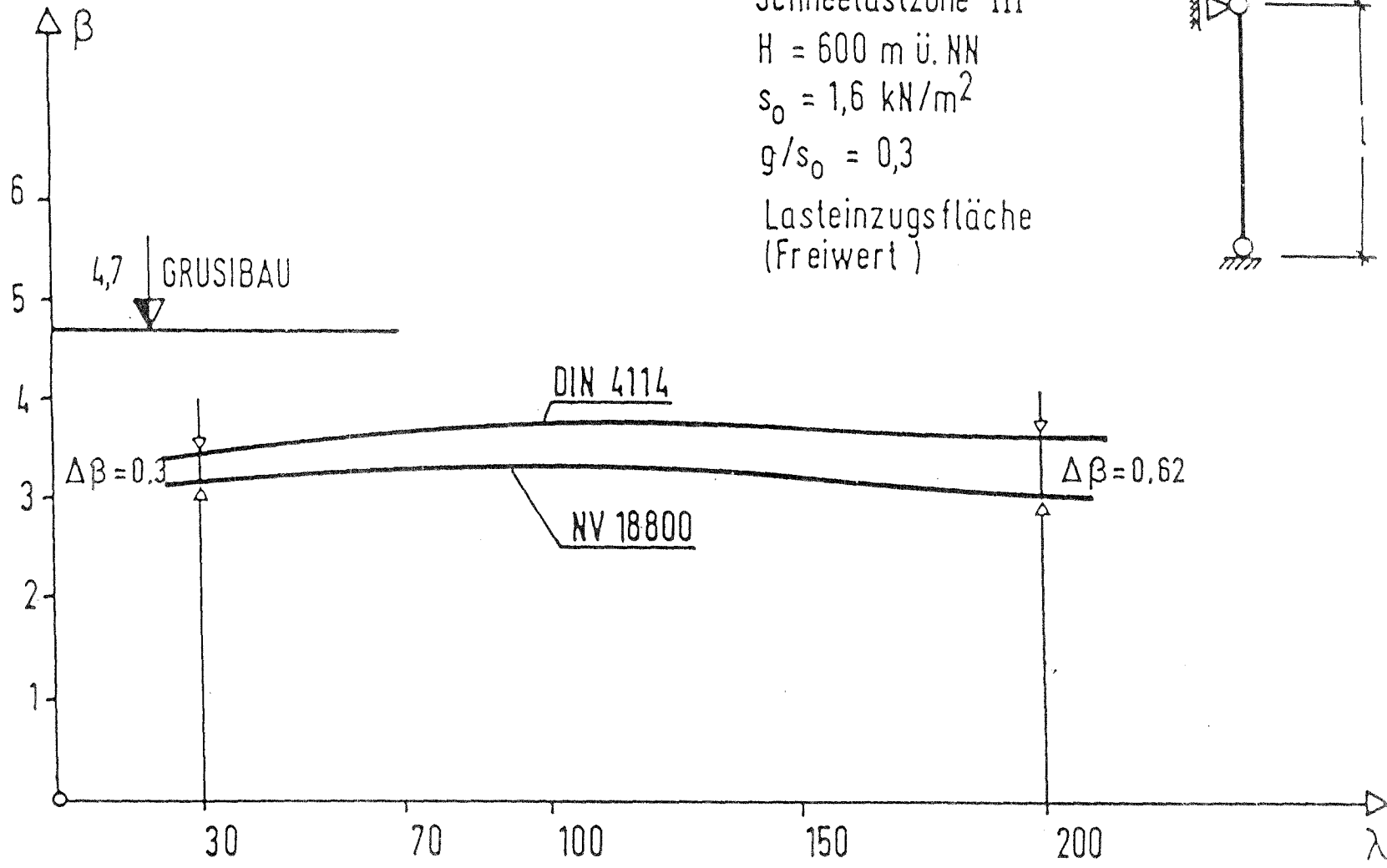
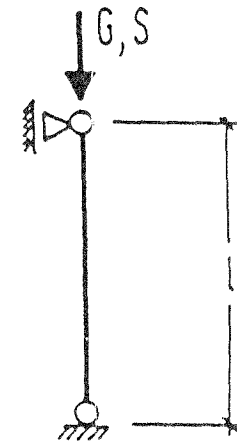
\*) BE - Faktor abhängig vom Verhältnis  $g/s$   
 Hier angesetzt  $g/s = 0,4$



Beispiel 1: Pendelstütze

Beanspruchbarkeit in Abhängigkeit vom Verhältnis  $\alpha = P_g / P_s$

HE 200A St 37  
 Schneelastzone III  
 $H = 600 \text{ m ü. NN}$   
 $s_0 = 1,6 \text{ kN/m}^2$   
 $g/s_0 = 0,3$   
 Lasteinzugsfläche  
 (Freiwert)



Anlage 3

Beispiel 1: Pendelstütze  
 Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Schlankheitsgrades  $\lambda$ .

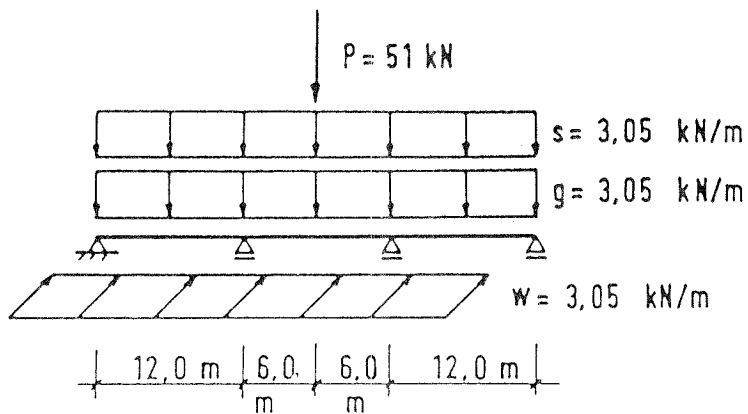
## Variable, Verteilungsparameter

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Typ	Bemerkung
1 Flanschdicke	10,0 mm	0,59 mm	LN	
2 Flanschbreite	200 mm	1,5 mm	LN	
3 Profilhöhe	190 mm	1,6 mm	LN	
4 Stegdicke	6,6 mm	0,5 mm	LN	siehe [2], Tabelle 3
Rundungsradius				10 mm = const.
5 Flanschunparallelität	0.	0,0025 rad	Rechteckvert.	
6 Flanschverjüngung	0.	0,5 mm	Rechteckvert.	siehe [5], Bild 37
7 Stegversatz	0.	1,2 mm	Rechteckvert.	
8 E-modul	210000 N/mm <sup>2</sup>	8400 N/mm <sup>2</sup>	N	
9 Fließgrenze Flansch	256 N/mm <sup>2</sup>	25,6 N/mm <sup>2</sup>	LN	
10 Fließgrenze Steg	273 N/mm <sup>2</sup>	27,3 N/mm <sup>2</sup>	LN	
11 Fließplateaubreite	18,5 ‰	4,5 ‰	N	
12 Verfestigungsmodul	4100 N/mm <sup>2</sup>	1000 N/mm <sup>2</sup>	N	
13 Zugfestigkeit	400 N/mm <sup>2</sup>	20 N/mm <sup>2</sup>	N	
14 Eigenspannung (Flansch außen)	50 N/mm <sup>2</sup>	50 N/mm <sup>2</sup>	N	Druckspannung
15 Eigenspannung (Stegmitte)	125 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	N	Druckspannung
16 Fließgrenzenunterschied Flansch, Steg	0	0,05	N	$X_9$ bzw. $X_{10} \cdot (1 \pm X_{16})$
17 Vorkrümmung	0	abh. von $\lambda$	LN	siehe [5], Abschnitt 5.1.2.3
18 Randexzentrizität	0	4,7 mm	N	
19 Ständige Last	0,48 kN/m <sup>2</sup>	0,048 kN/m <sup>2</sup>	N	
20 Schneehöhe D	0,5 m	0,21 m	Gammavert.	
21 Boden-Dach-Faktor C	0,65	0,29	LN - 3 P	Obergrenze 1,0
22 $\epsilon_r \cdot A$	A · 1,02	A · 0,3	N	A (Lasteinzugsfläche) abh. von $\lambda$
23 Modellunsicherheit	1,0	0,05	N	Widerstand

## Anmerkungen zum Beispiel 1:

- Grenzzustandsbedingung entsprechend Gl. 37 [5]
- Korrelation Fließgrenze - Zugfestigkeit  $\rho = 0,75$
- Flanschfließgrenzen mit  $\rho = 0,9$ , Flansch- und Stegfließgrenze mit  $\rho = 0,5$  korreliert

Beispiel 1: Pendelstütze  
Variable mit Verteilungsparametern

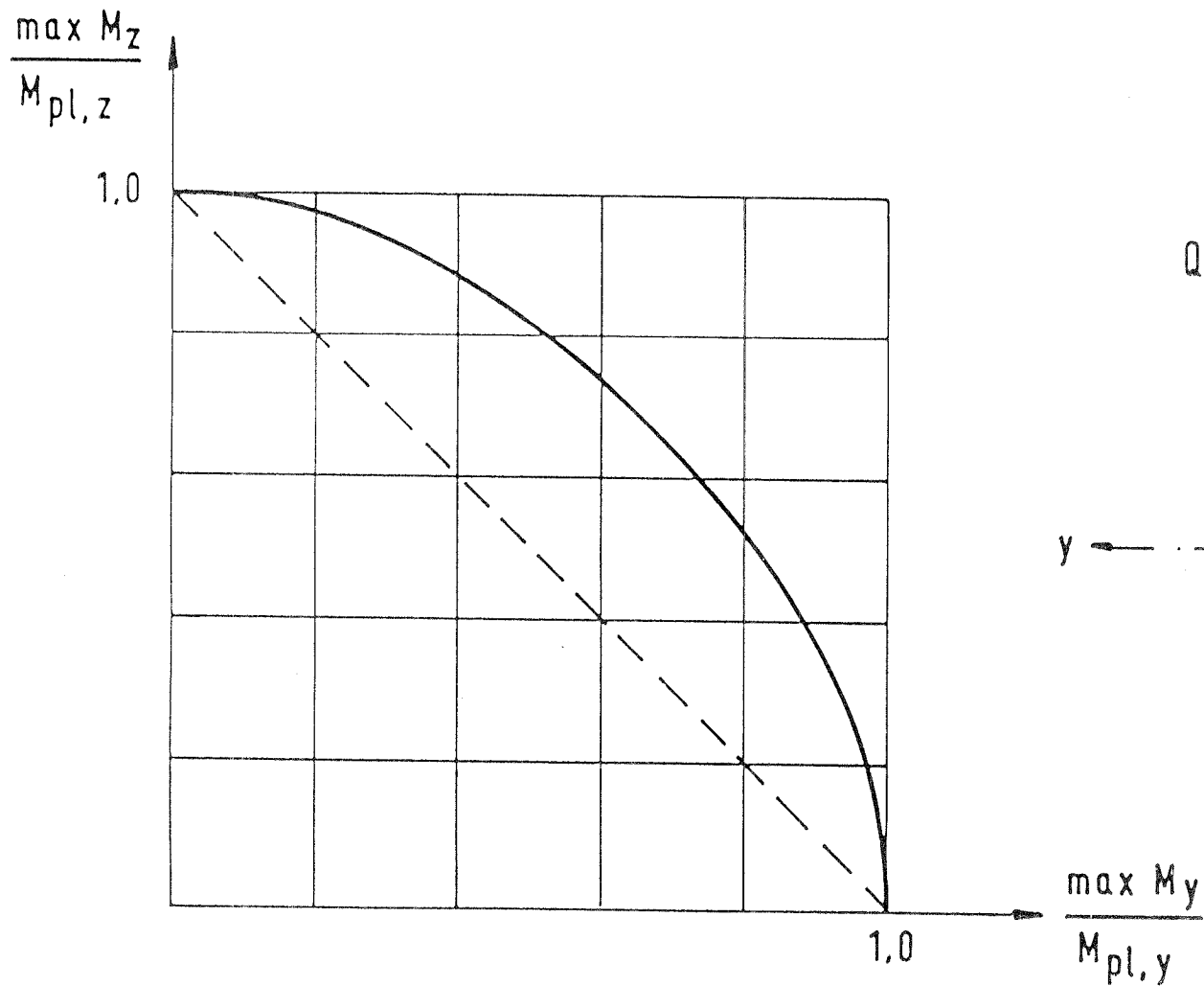


- BE = 1,0 für allgem. Spannungsnachweis nach DIN 18800, Teil 1 (Ausg. März 1981), Lastfall HZ
- Klammerwerte ohne Momentenumlagerung
- \*) Werte mit Momentenumlagerung bis 15 % der Ausgangswerte

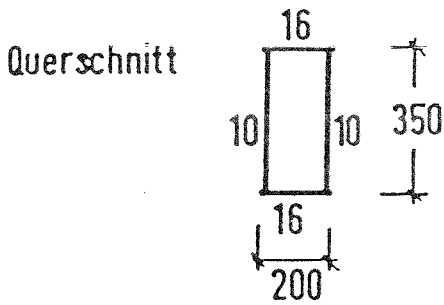
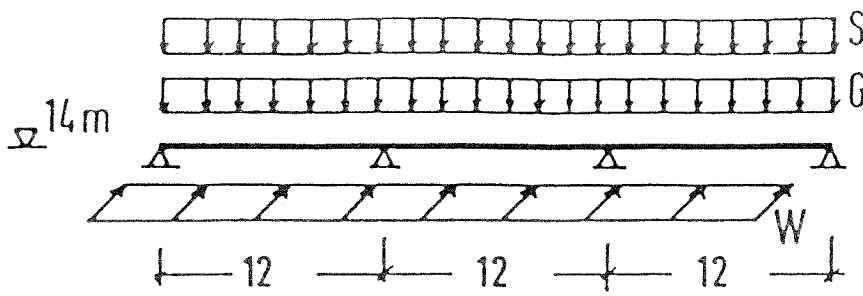
Berechnungsverfahren	BE = $\frac{F_{zul}}{F_{zul, DIN 4114}}$			Bemerkungen
	g+s+w+P	g+s+ $\frac{w}{2}$ +P	g+ $\frac{s}{2}$ +w+P	
Allgem. Spannungsnachweis	1,00 (HZ)	1,05 (H)	0,98 (H)	$\sigma \leq \sigma_{zul}$
0018800 Elast. - Elast.	1,01	1,22	1,13	$\sigma \leq \frac{\beta_s}{\gamma_M}$
0018800 Elast. - Plast.	1,32* (1,13)	1,50* (1,36)	1,43* (1,27)	$\frac{M_{y,z}}{M_{pl,y,z}} = 1$
	1,60* (1,47)	1,70* (1,63)	1,75* (1,67)	$\frac{M_{yz}}{M_{pl,yz}} = 1$
0018800 Plast. - Plast.	1,60	1,70	1,75	Fließgelenktheorie
	1,60	1,70	1,75	Fließzonen-theorie (SET)
DAST 008	1,58	1,68	1,73	Fließgelenktheorie

Beispiel 2: Durchlaufträger mit Kastenquerschnitt über drei Felder bei zweiachsiger Biegung ohne Längskraft  
BE-Werte für verschiedenen Berechnungsverfahren

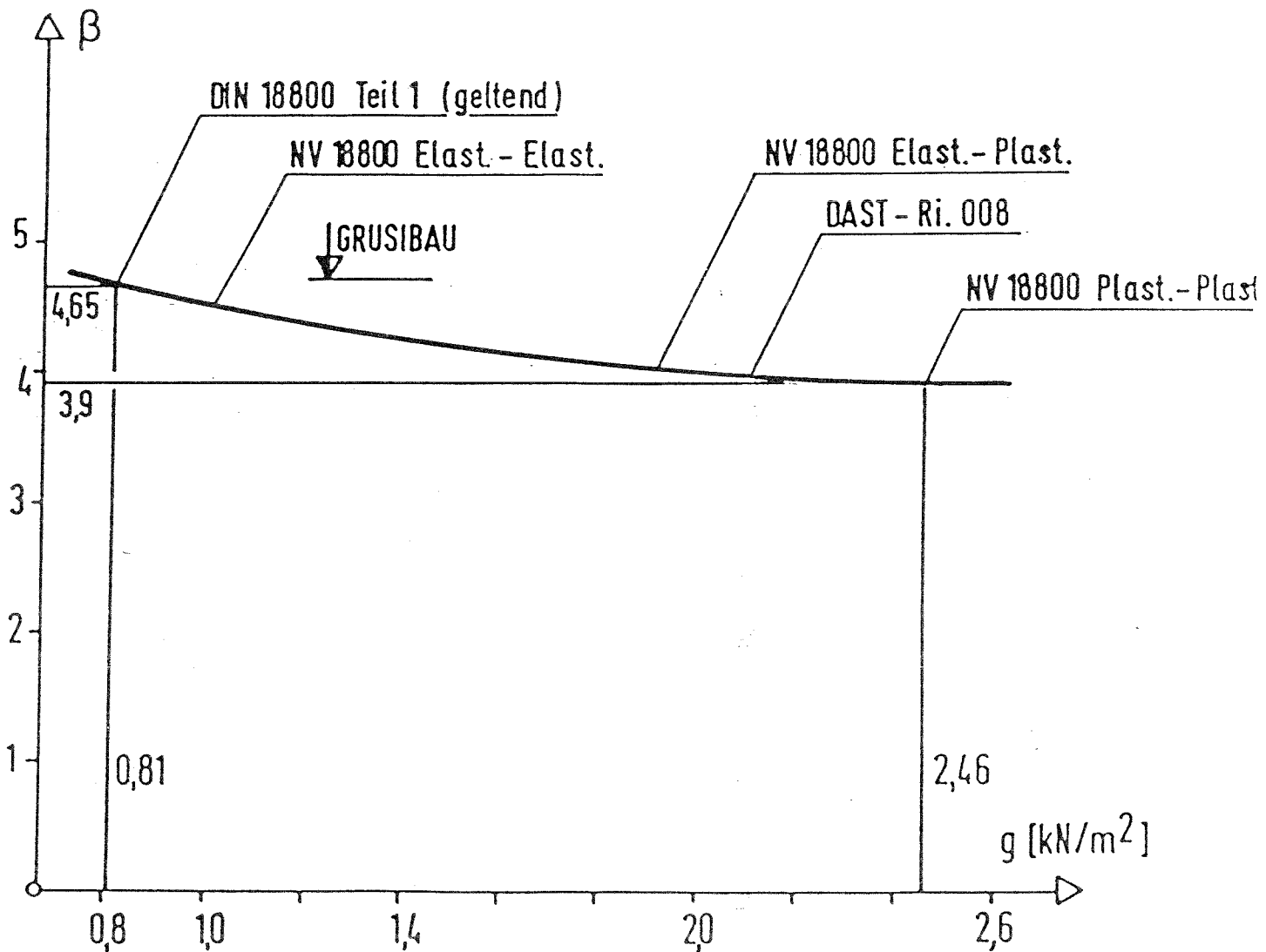




Beispiel 2: Durchlaufträger  
 Interaktion für vollplastische Schnittgrößen  $M_y$  und  $M_z$  bei schiefer Biegung ohne Längskraft



St 37  
 Schneelastzone II  
 $H = 556 \text{ m ü. NN}$   
 $s_0 = 1,07 \text{ kN/m}^2$   
 Einflußbreiten  
 Wind: 7 m  
 $g, s_0 : 6 \text{ m}$   
 $g$  ständ. Flächenlast (Freiwert)



Beispiel 2: Durchlaufträger - Zweiachsige Biegung ohne Längskraft  
 Sicherheitsindex  $\beta$  mit ständiger Last  $g$  als Variable, Schneelast  $s = 6,42 \text{ kN/m}$  als Festwert

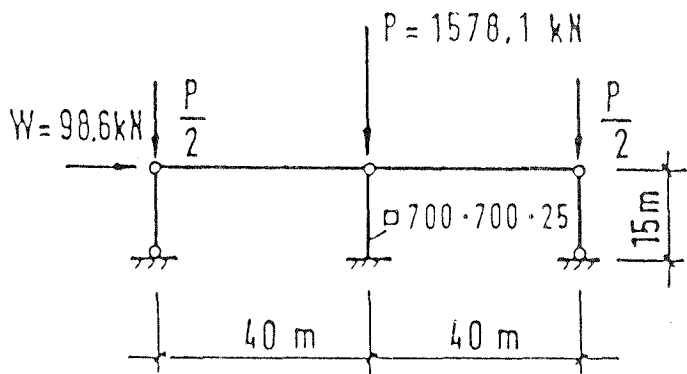
## Variable, Verteilungsparameter

Variable	Mittelwert	Standard- abweichung	Typ	Bemerkung
1 Flanschdicke	16 mm	0,6 mm	LN	
2 Flanschbreite	200 mm	1,5 mm	LN	
3 Stegdicke	10 mm	0,5 mm	LN	
4 Stegblechhöhe	318 mm	1,5 mm	LN	
5 E-modul	210000 N/mm <sup>2</sup>	8400 N/mm <sup>2</sup>	N	
6 Fließgrenze Flansch	270 N/mm <sup>2</sup>	27 N/mm <sup>2</sup>	LN	
7 Fließgrenze Steg	285 N/mm <sup>2</sup>	28,5 N/mm <sup>2</sup>	LN	
8 Fließplateaubreite	18,5 ‰	4,5 ‰	N	
9 Verfestigungsmodul	4100 N/mm <sup>2</sup>	1000 N/mm <sup>2</sup>	N	
10 Zugfestigkeit	400 N/mm <sup>2</sup>	20 N/mm <sup>2</sup>	N	
11 Ständige Last	Variabel	m · 0,1	N	
12 Schneehöhe D	0,33 m	0,17 m	Gammavert.	
13 Boden-Dach-Faktor C	0,65	0,29	LN - 3 P	Obergrenze 1,0
14 $\epsilon_r \cdot b$	6,12 m	1,8 m	N	siehe [5], Abschnitt 5.2.2.1
15 Windgeschwindigkeit $v_{b,10}$	5,2 m/s	3,9 m/s	EW - III	Lastkombination siehe [5], Abschnitt 5.2.3.2
Windgeschwindigkeit $v_{b,10}$	25,9 m/s	3,37 m/s	EW - I	jährliche Extremwerte
16 Modellvariable (Wind)	1,0	0,1	N	siehe [5], Gl. 91

Anmerkungen zum Beispiel 2:

- Grenzzustandsbedingung entspricht Gl. 37 [5]
- Korrelationen wurden nicht betrachtet. Ober- und Unterflansch werden durch die gleichen Variablen beschrieben (= volle Korrelation). Analog gilt dieses für die Stegbleche.
- Untersucht wurden die Lastkombinationen  $g+s+w$ ,  $g+s$  und  $g+w$ . Die Einzelversagenswahrscheinlichkeiten wurden vereinigt (Seriensystem).

Beispiel 2: Durchlaufträger - Zweiachsige Biegung ohne Längskraft  
Variable mit Verteilungsparametern

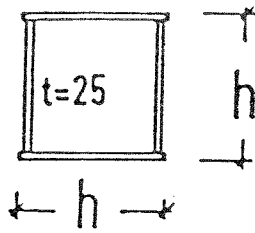
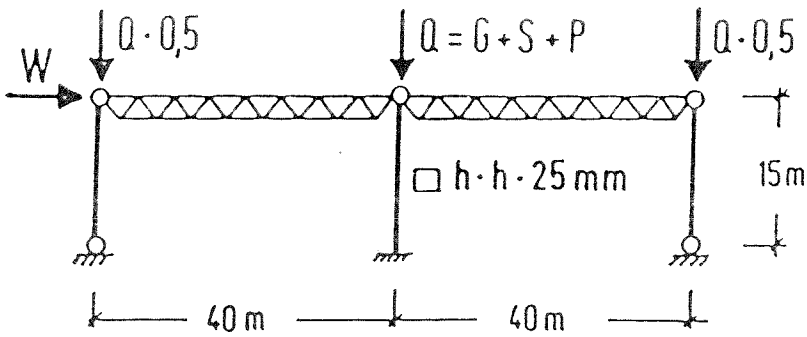


$P$ : 450,9 kN aus  $g$   
 845,4 kN "  $s$   
 281,8 kN "  $p_a$  (Anhängelast)

-  $BE = 1,0$  für Stabilitätsnachweis  
 nach DIN 4114, Abschn. 10.02;  
 Lastfall HZ

Berechnungsverfahren	$BE = \frac{F_{zul}}{F_{DIN4114, zul}}$			Bemerkungen
	$g+s+w+p_a$	$g+s+\frac{w}{2}+p_a$	$g+\frac{s}{2}+w+p_a$	
DIN 4114 / 10.02	1.00	1.19	1.00	$\sigma_w = w \cdot \frac{N}{A} + 0.9 \cdot \frac{M}{W} = zul \sigma$
DIN 4114 / Ri 10.2	0.94	1.15	0.93	$\sigma^{II} = \frac{N^{II}}{A} + \frac{M^{II}}{W} = \beta_s$
0018800 Elast. - Elast.	1.01	1.45	1.13	$\sigma^{II} = \frac{N^{II}}{A} + \frac{M^{II}}{W} = \frac{\beta_s}{\gamma_M}$
0018800 Elast. - Plast.	1.18	1.64	1.34	$\frac{M^{II}}{\gamma_M \cdot M_{pl}} + \frac{N^{II}}{N_{pl}} = 1$
	1.21	1.71	1.36	bzw. nach Rubin ( )
0018800 Plast. - Plast.	-	-	-	$\cong$ DIN 18800 Elast.-Plast.
DAST 008	1.21	1.50	1.21	

Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen  
 BE-Werte für verschiedene Berechnungsverfahren



St 37

Schneelastzone II

H = 770 m ü. NN

s = 1,74 kN/m<sup>2</sup>

Stützenraster 40 × 15 m

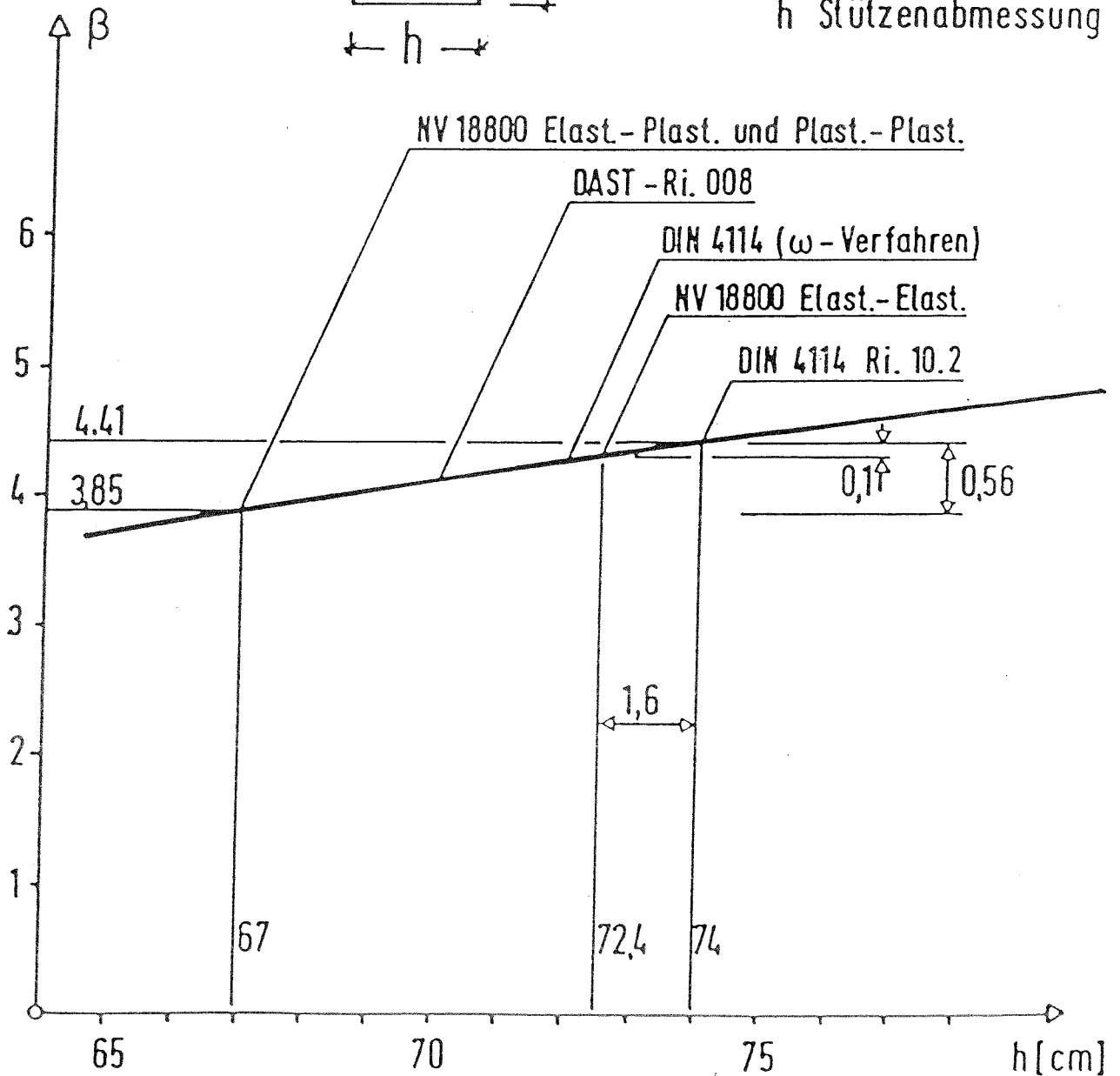
P aus Anhängelast p

p = 0,6 kN/m<sup>2</sup> als

95% Fraktile einer

Lognormalvert. (v = 40%)

h Stützenabmessung



Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen  
Sicherheitsindex  $\beta$  mit der Seitenlänge  $h$  als Variable

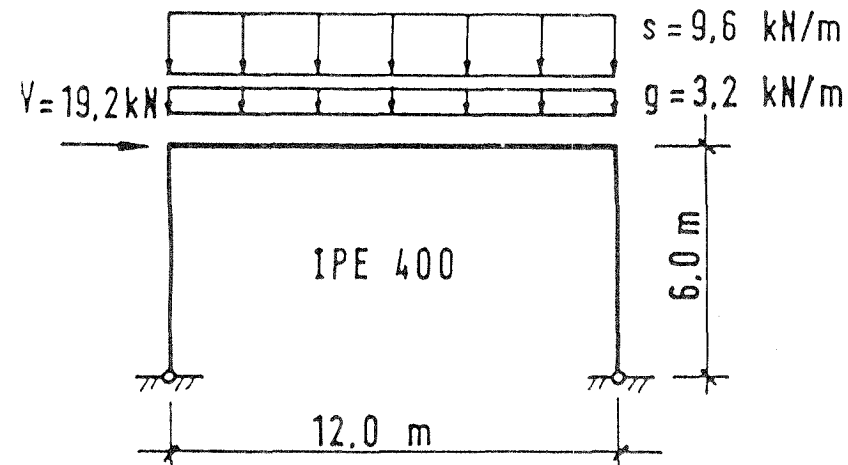
## Variable, Verteilungsparameter

Variable	Mittelwert	Standard- abweichung	Typ	Bemerkung
1 Blechdicke	25 mm	0,8 mm	LN	
2 Blechbreite	650 - 750 mm	1,5 mm	LN	
3 E-modul	2100 N/mm <sup>2</sup>	8400 N/mm <sup>2</sup>	N	
4 Fließgrenze	259 N/mm <sup>2</sup>	25,9 N/mm <sup>2</sup>	LN	
5 Fließplateaubreite	18,5 ‰	4,5 ‰	N	
6 Verfestigungsmodul	4100 N/mm <sup>2</sup>	1000 N/mm <sup>2</sup>	N	
7 Zugfestigkeit	400 N/mm <sup>2</sup>	20 N/mm <sup>2</sup>	N	
8 Schiefstellung	1/640	1/790	N	
9 Ständige Last	0,92 kN/m <sup>2</sup>	0,092 kN/m <sup>2</sup>	N	
10 Anhängelast	0,5 kN/m <sup>2</sup>	0,2 kN/m <sup>2</sup>	LN	
11 Schneehöhe D	0,54 m	0,22 m	Gammavert.	
12 Boden-Dach-Faktor C	0,65	0,29	LN - 3 P	Obergrenze 1,0
13 $\epsilon_r \cdot A$	612 m <sup>2</sup>	183,6 m <sup>2</sup>	LN	siehe [5], Abschnitt 5.2.2.1
14 Windgeschwindigkeit $v_{b,10}$	5,2 m/s	3,9 m/s	EW - III	Kombination mit Schnee. Siehe [5], Abschnitt 5.2.3.2
Windgeschwindigkeit $v_{b,10}$	25,9 m/s	3,37 m/s	EW - I	jährliche Extremwerte
15 Modellvariable Wind	1,0	0,1	N	siehe [5], Gl. 91
16 Modellunsicherheit	1,0	0,05	N	Widerstand

Anmerkungen zum Beispiel Bild 12:

- Untersucht wurden die Lastkombinationen Vollast ( $g+s+w+p_A$ ) sowie ( $g+s+p_A$ ) und ( $g+w+p_A$ ) mit der Grenzzustandsbedingung entsprechend Gl. 37 aus [5]. Die Einzelwahrscheinlichkeiten wurden vereinigt (Seriensystem).
- Korrelationen wurden nicht betrachtet.

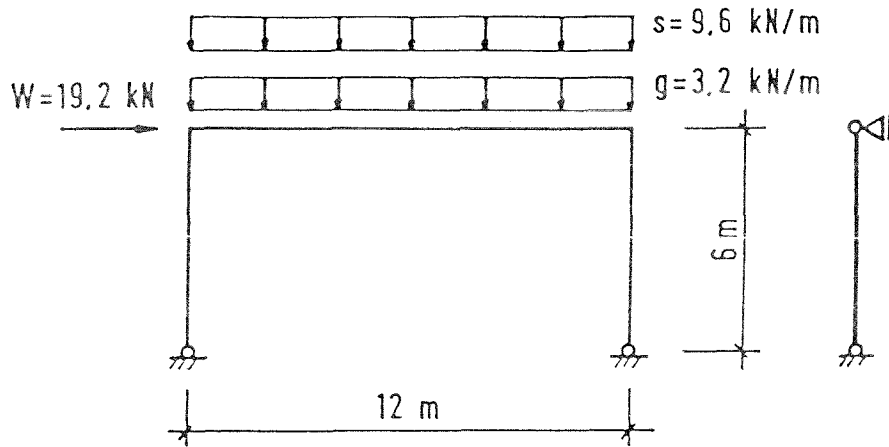
Beispiel 3: Eingespannte Stütze mit zwei angehängten Pendelstützen  
Variable mit Verteilungsparametern




- BE = 1,0 für allgemeinen Spannungsnachweis nach DIN 4114, 10.01; Lastfall HZ.

Berechnungsverfahren	$BE = \frac{F_{zul}}{F_{DIN 4114, zul}}$		Bemerkungen
	$g + s + w$	$g + s + \frac{w}{2}$	
DIN 4114 / 10.01	1.00	1.04	$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \text{zul } \sigma$
DIN 4114 / Ri.10.2	0.98	1.03	$\sigma = \frac{N_{II}}{A} + \frac{M_{II}}{W} = \beta_s$
0018800 Elast.-Elast.	1.01	1.10	$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{\beta_s}{\gamma_M}$
0018800 Elast.-Plast.	1.21	1.31	$\frac{M}{1.15 \cdot M_{pl}} + 0.39 \cdot \frac{Q}{Q_{pl}} = 1$
0018800 Plast.-Plast.	1.37	1.42	Fließgelenkth. II. O.
	1.30	1.36	Fließzonenth. II. O. (SET)
DAST 008	1.15	1.18	$\omega \cdot \frac{N_V}{A} + \kappa \cdot \frac{M_V}{W_{pl}} = \beta_s$

Beispiel 4: Zweigelenrahmen  
BE-Werte für verschiedene Berechnungsverfahren



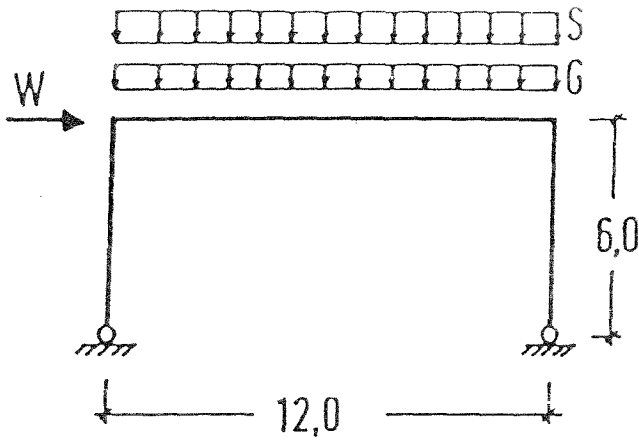
Profile: Riegel IPE 400  
 Stiel IPE 400  
 bzw. HEAA 340

	Stiel IPE 400		Stiel HEAA 340	
	$g+s+W$	$g+s+\frac{W}{2}$	$g+s+W$	$g+s+\frac{W}{2}$
DAST 008 Dunkerley - Gerade	1.01	1.04	1.20	1.43
Kurve 2 für 	1.11	1.16	1.24	1.49
0018800 / Teil 2	0.88	0.96	1.16	1.39
DIN 4114 / Ri 10.1	0.92	0.94	1.16	1.21

( Bezugsverfahren : DIN 4114 / 10.02 )

Beispiel 4: Zweigelenrahmen  
 BE-Werte bei Nachweis des Biegedrillknickens





IPE 400 St 37

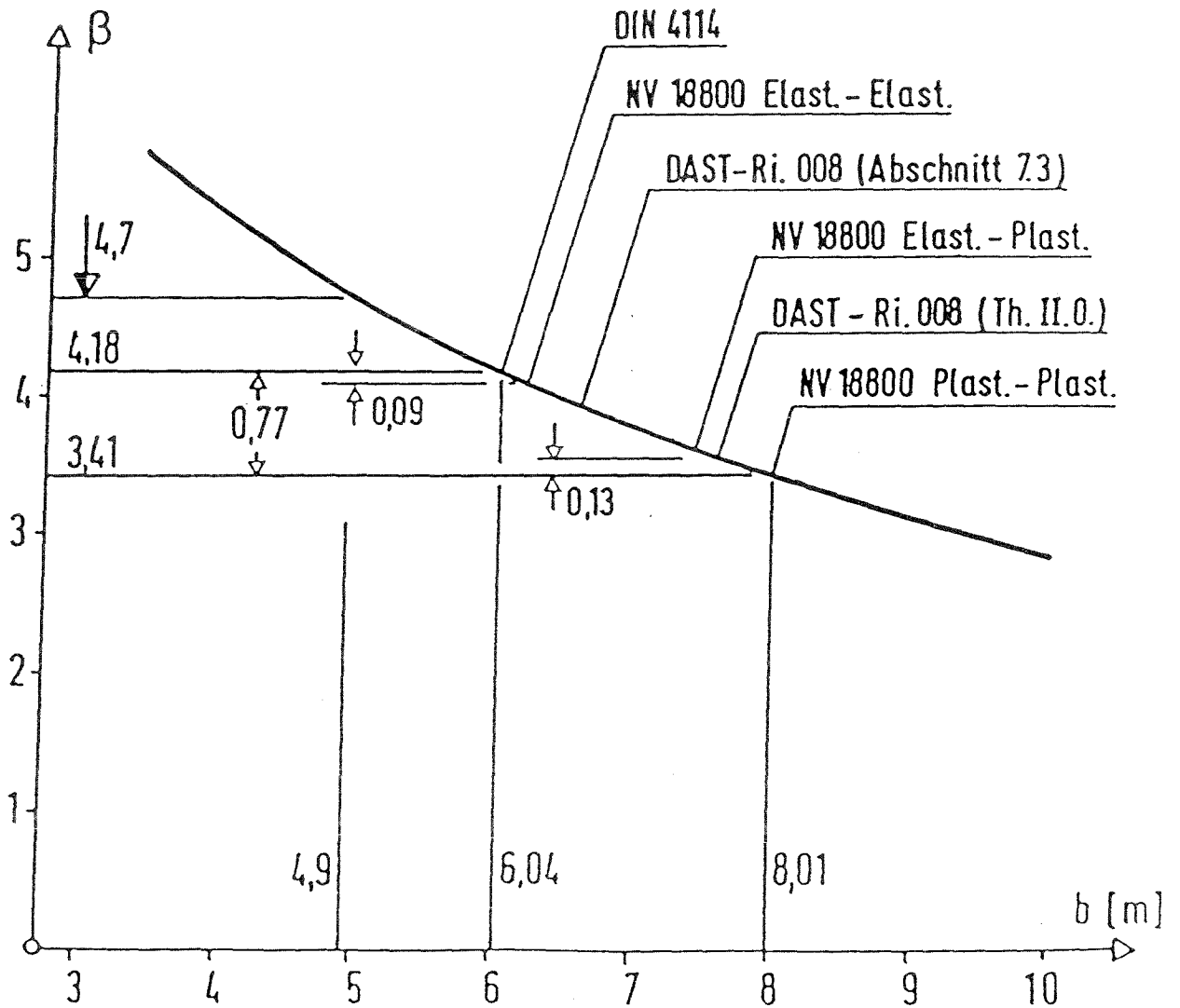
Schneelastzone III

$H = 685 \text{ m ü. NN}$

$s_0 = 1,94 \text{ kN/m}^2$

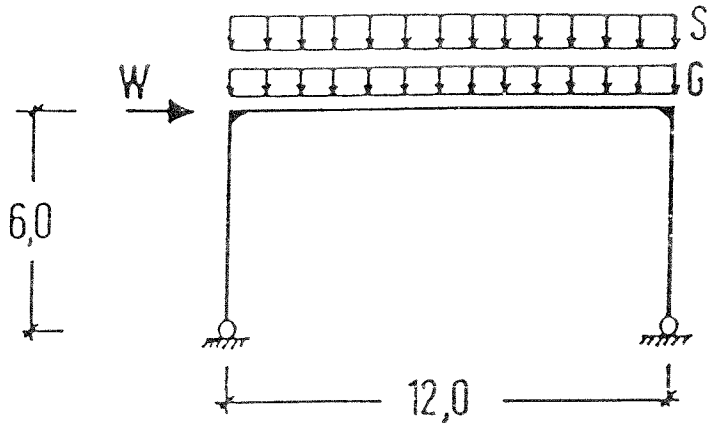
$g/s_0 = 0,3$

$b$  Rahmenabstand (Freiwert)



Beispiel 4: Zweigelenrahmen

Sicherheitsindex  $\beta$  mit dem Rahmenabstand als Variable



IPE, St 37

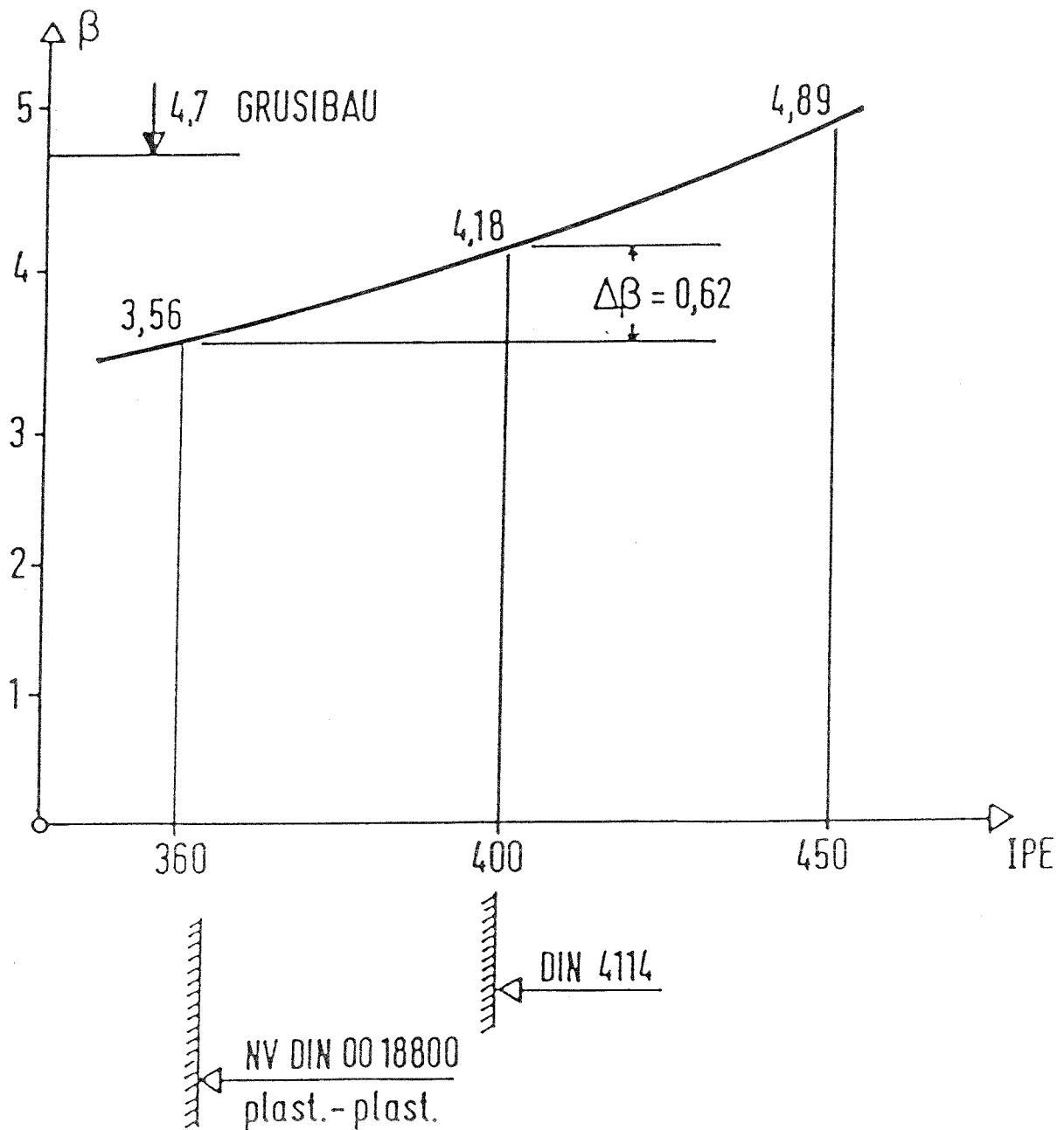
Schneelastzone III

$H = 685 \text{ m ü. NN}$

$s_o = 1,94 \text{ kN/m}^2$

$g/s = 0,3$

Rahmenabstand 6,0 m



Beispiel 4: Zweigelenrahmen  
Sicherheitsindex  $\beta$  mit dem IPE-Profil als Variable

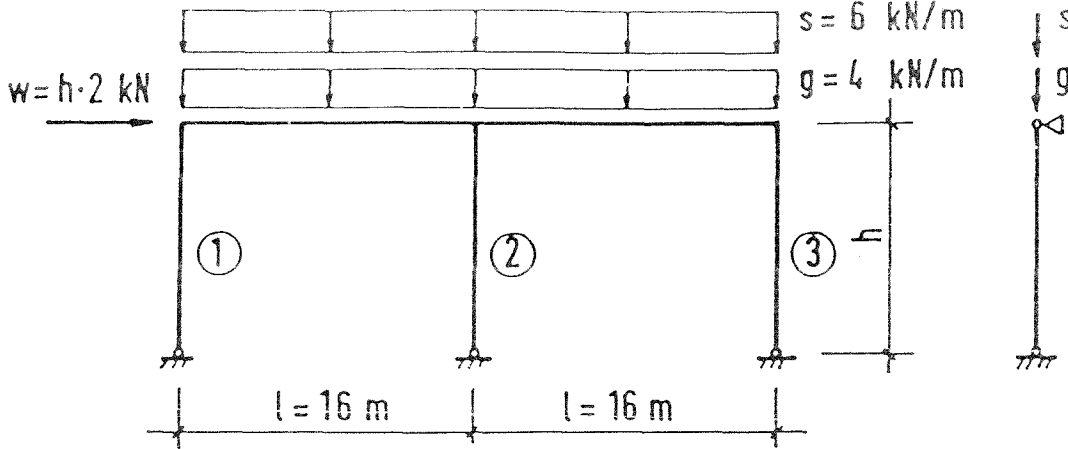
## Variable, Verteilungsparameter

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Typ	Bemerkung
1 Flanschdicke	12,7 mm	0,62 mm	LN	IPE 360
	13,5 mm	0,64 mm	LN	IPE 400
	14,6 mm	0,65 mm	LN	IPE 450
2 Flanschbreite	170 mm	1,5 mm	LN	IPE 360
	180 mm	"	LN	IPE 400
	190 mm	"	LN	IPE 450
3 Profilhöhe	360 mm	1,93 mm	LN	IPE 360
	400 mm	2,00 mm	LN	IPE 400
	450 mm	2,00 mm	LN	IPE 450
4 Stegdicke	8,2 mm	0,54 mm	LN	IPE 360
	8,8 mm	0,56 mm	LN	IPE 400
	9,6 mm	0,58 mm	LN	IPE 450
Rundungsradius	nichtstreuend nach DIN			
5 E-modul	21000 N/mm <sup>2</sup>	8400 N/mm <sup>2</sup>	N	
6 Fließgrenze Flansch	250 N/mm <sup>2</sup>	25,0 N/mm <sup>2</sup>	LN	IPE 360
	248 N/mm <sup>2</sup>	24,8 N/mm <sup>2</sup>	LN	IPE 400
	246 N/mm <sup>2</sup>	24,6 N/mm <sup>2</sup>	LN	IPE 450
7 Fließgrenze Steg	274 N/mm <sup>2</sup>	27,4 N/mm <sup>2</sup>	LN	IPE 360
	268 N/mm <sup>2</sup>	26,8 N/mm <sup>2</sup>	LN	IPE 400
	262 N/mm <sup>2</sup>	26,2 N/mm <sup>2</sup>	LN	IPE 450
8 Fließplateaubreite	18,5 ‰	4,5 ‰	N	
9 Verfestigungsmodul	4100 N/mm <sup>2</sup>	1000 N/mm <sup>2</sup>	N	
10 Zugfestigkeit	400 N/mm <sup>2</sup>	20 N/mm <sup>2</sup>	N	
11 Eigenspannung Flansch außen	30 N/mm <sup>2</sup>	50 N/mm <sup>2</sup>	N	Druckspannung, in guter Näherung profilunabhängig
12 Eigenspannung Stegmitte	175 N/mm <sup>2</sup>	75 N/mm <sup>2</sup>	N	Druckspannung, in guter Näherung profilunabhängig
13 Fließgrenzenunterschied Flansch, Steg	0.	0,05	N	$X_6$ bzw. $X_7 \times (1 \pm X_{13})$
14 Stützenschiefstellung	1/640	1/790	N	
15 ständige Last	0,58 kN/m <sup>2</sup>	0,058 kN/m <sup>2</sup>	N	
16 Schneehöhe D	0,606 m	0,23 m	Gammavert.	
17 Boden-Dach-Faktor C	0,65	0,29	LN - 3 P	Obergrenze 1,0
18 $c_T \cdot b$	6,12 m	1,84 m	LN	siehe [5], Abschnitt 5.2.2.1
19 Windgeschwindigkeit $V_{b,10}$	6,5 m/s	3,9 m/s	EW - III	Lastkombination siehe [5], Abschnitt 5.2.3.2
20 Modellvariable Wind	1,0	0,1	N	siehe [5], Gl. 91
21 Modellunsicherheit	1,0	0,05	N	Widerstand

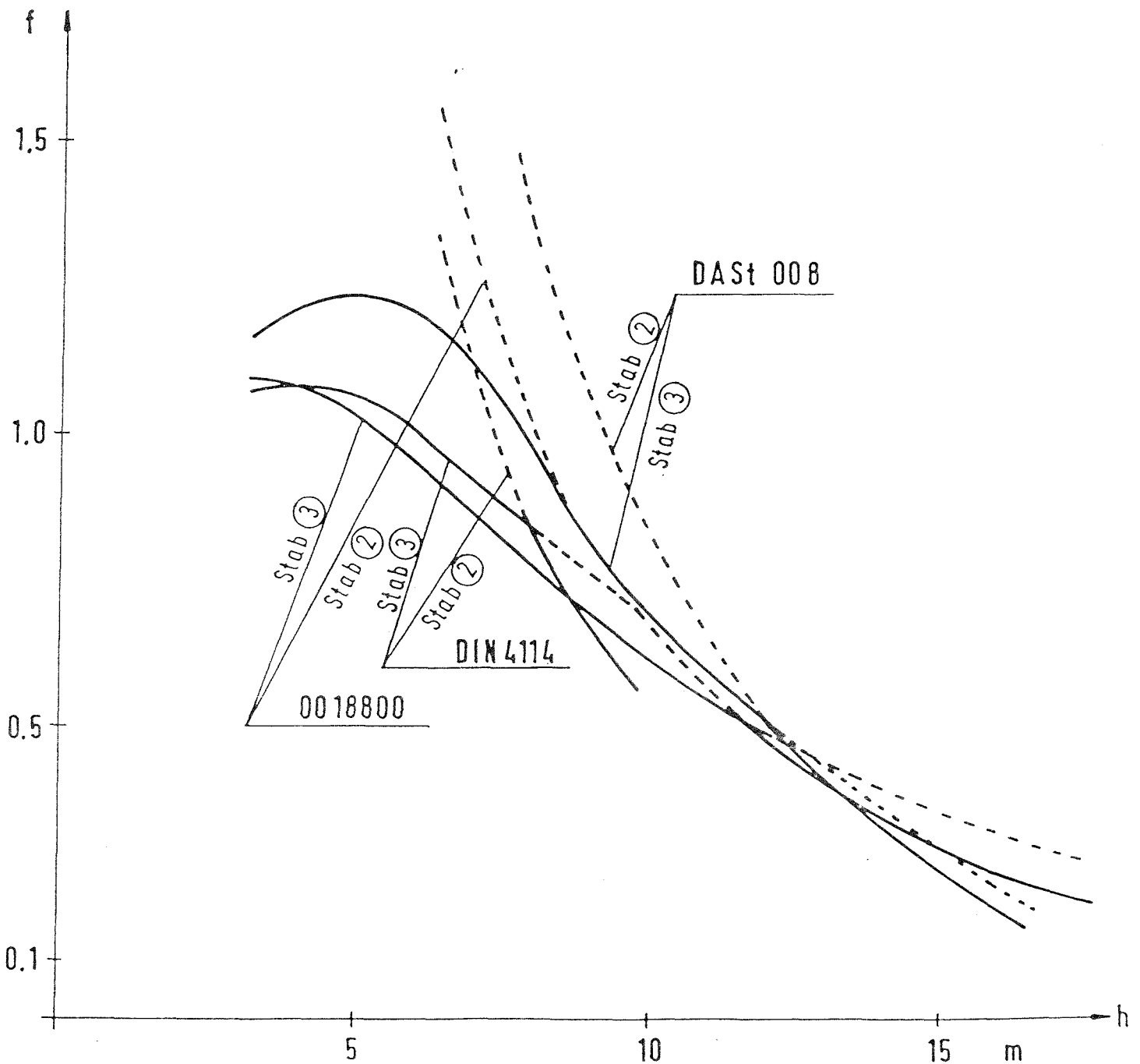
## Anmerkungen zum Beispiel Bild 10 und Bild 11:

- Untersucht wurden die Lastkombination Wind und Schnee. Die RPIT-Verteilung der Schneelast wurde entsprechend Abschnitt 5.2.2.2 5 eingeführt ( $\lambda = 7$ ).
- Bei den Querschnittsmessungen der Profile wurde voll Korrelation unterstellt.
- Die Flanschfließgrenzen wurden mit  $\rho = 0,9$ , Flansch- und Stegfließgrenze mit  $\rho = 0,5$  korreliert eingeführt.
- Korrelation Fließgrenze - Zugfestigkeit  $\rho = 0,75$
- Grenzzustandsbedingung entsprechend Gl. 37 aus [5].

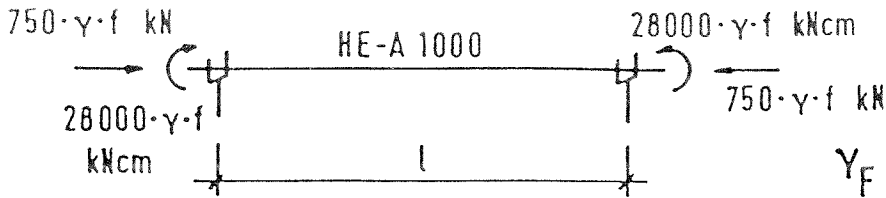
Beispiel 4: Zweigelenkrahmen  
Variable mit Verteilungsparametern



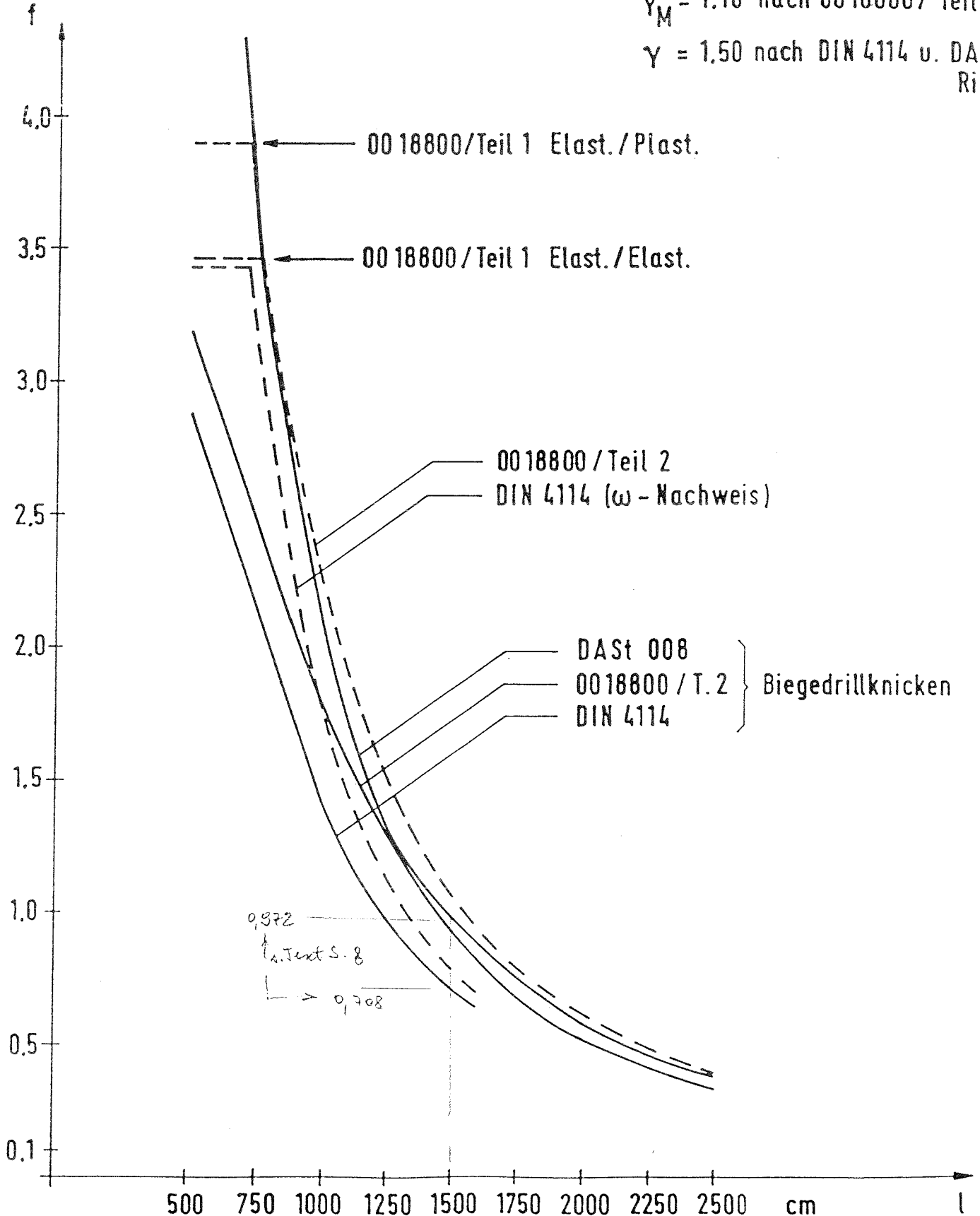
Profil: IPE 400  
 Riegel gegen  
 Biegedrillknicken  
 gehalten



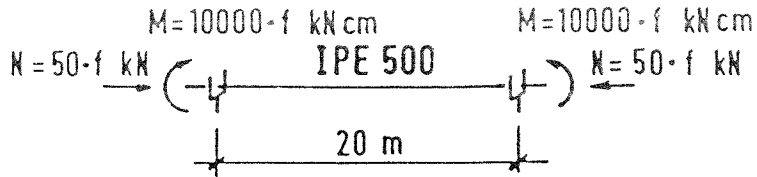
Ergänzungsbeispiel 1: Biegedrillknickuntersuchung der Stiele eines zweifeldigen Rahmens mit gelenkig gelagerten Stielfüßen - Lasterhöhungsfaktoren als Funktion der Rahmenhöhe



$\gamma_F = 1.35$  nach 0018800 / Teil 1 u. 2  
 $\gamma_M = 1.10$  nach 0018800 / Teil 1 u. 2  
 $\gamma = 1.50$  nach DIN 4114 u. DASt-Ri 008

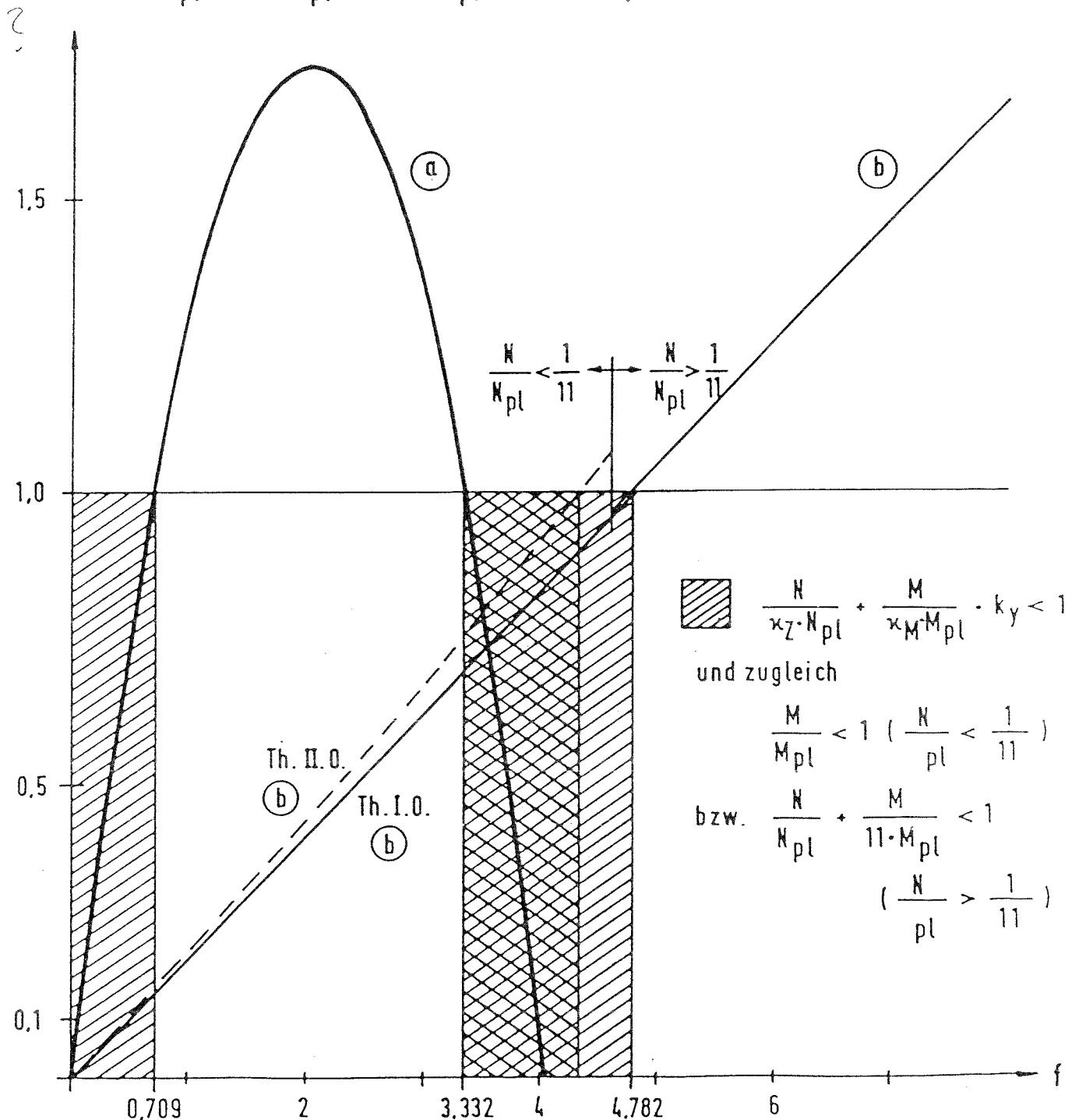


Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten - Versagen durch Biegedrillknicken - Lasterhöhungsfaktoren als Funktion der Stützweite

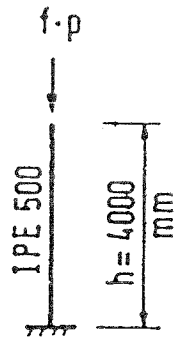


$$L.S. = \frac{N}{\alpha_Z \cdot N_{pl}} + \frac{M}{\alpha_M \cdot M_{pl}} \cdot k_y \quad (a)$$

$$\text{bzw. } L.S. = \left. \begin{aligned} & \frac{M}{M_{pl}} \quad \left( \text{für } \frac{N}{N_{pl}} < \frac{1}{11} \right) \\ & = \frac{N}{N_{pl}} + \frac{M}{11 \cdot M_{pl}} \quad \left( \text{für } \frac{N}{N_{pl}} > \frac{1}{11} \right) \end{aligned} \right\} (b)$$



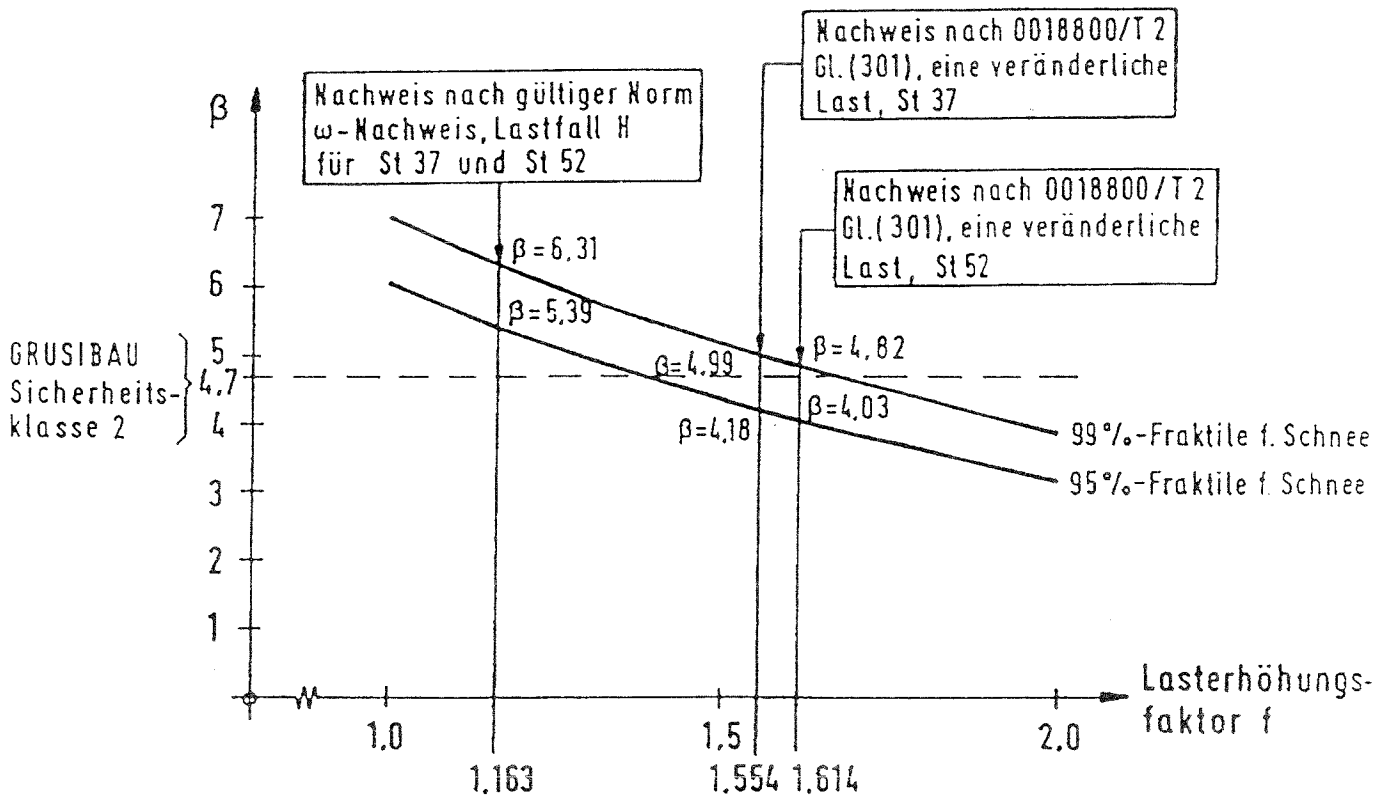
Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten - Interaktionsbedingung in Abhängigkeit vom Lasterhöhungsfaktor



Profil: IPE 500

Lastfall H

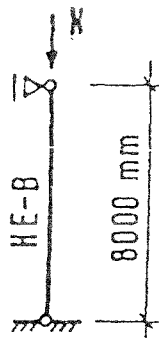
$$P = P_g + P_s = 240 \text{ kN} \text{ mit } P_g : P_s = 1 : 1$$



Eulerstab I mit mittigem Druck

Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse

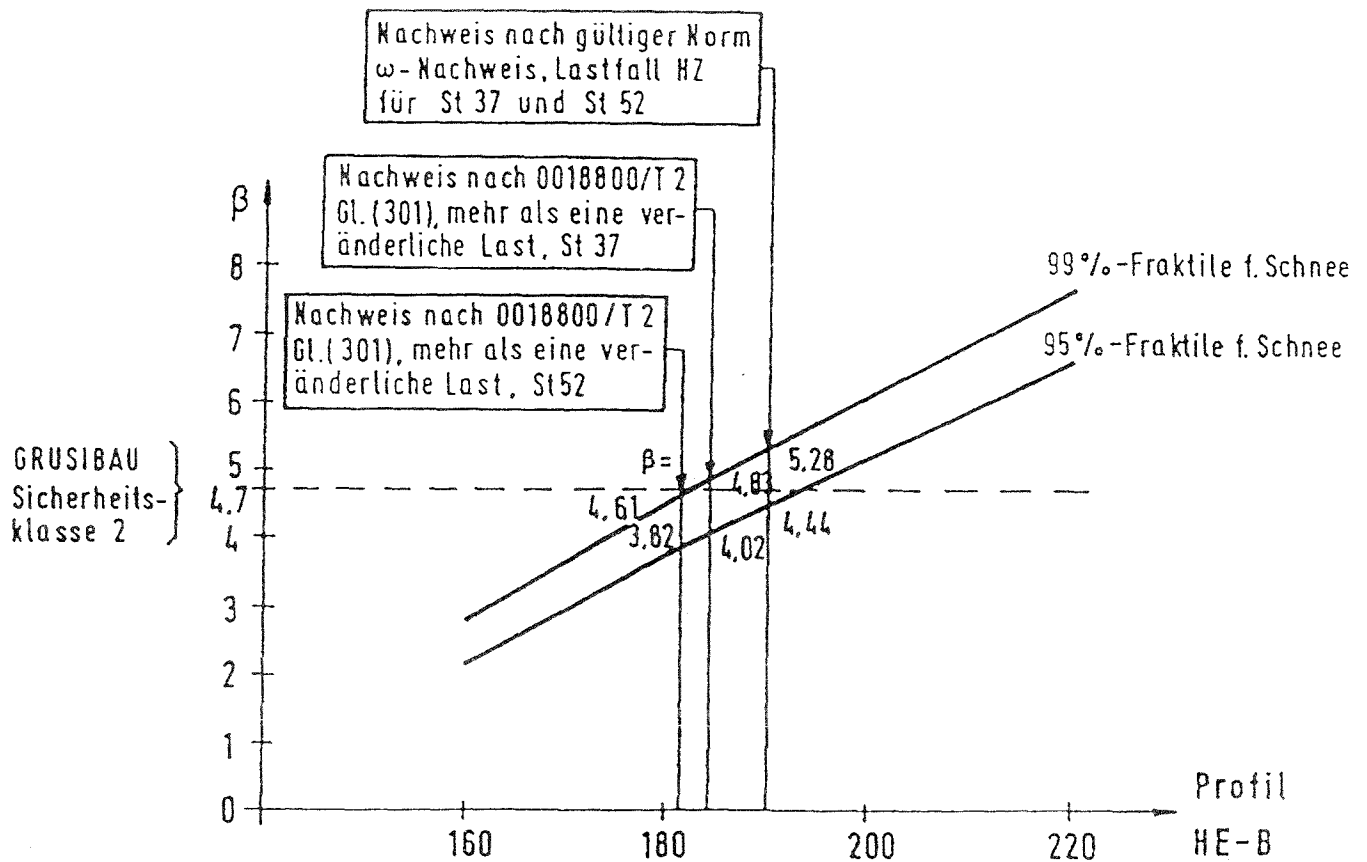
Beispiel 5: Eingespannte Stütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  mit dem Lasterhöhungsfaktor als Variable



Profil: HE-B

Lastfall HZ

$$N = N_g + N_s + N_p \text{ mit } N_g : N_s : N_p = 1 : 3 : 1$$

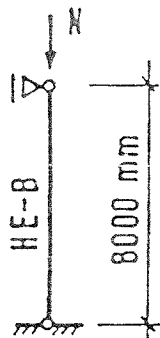


### Eulerstab II mit mittigem Druck

### Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse

Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profiles, Lastfall HZ

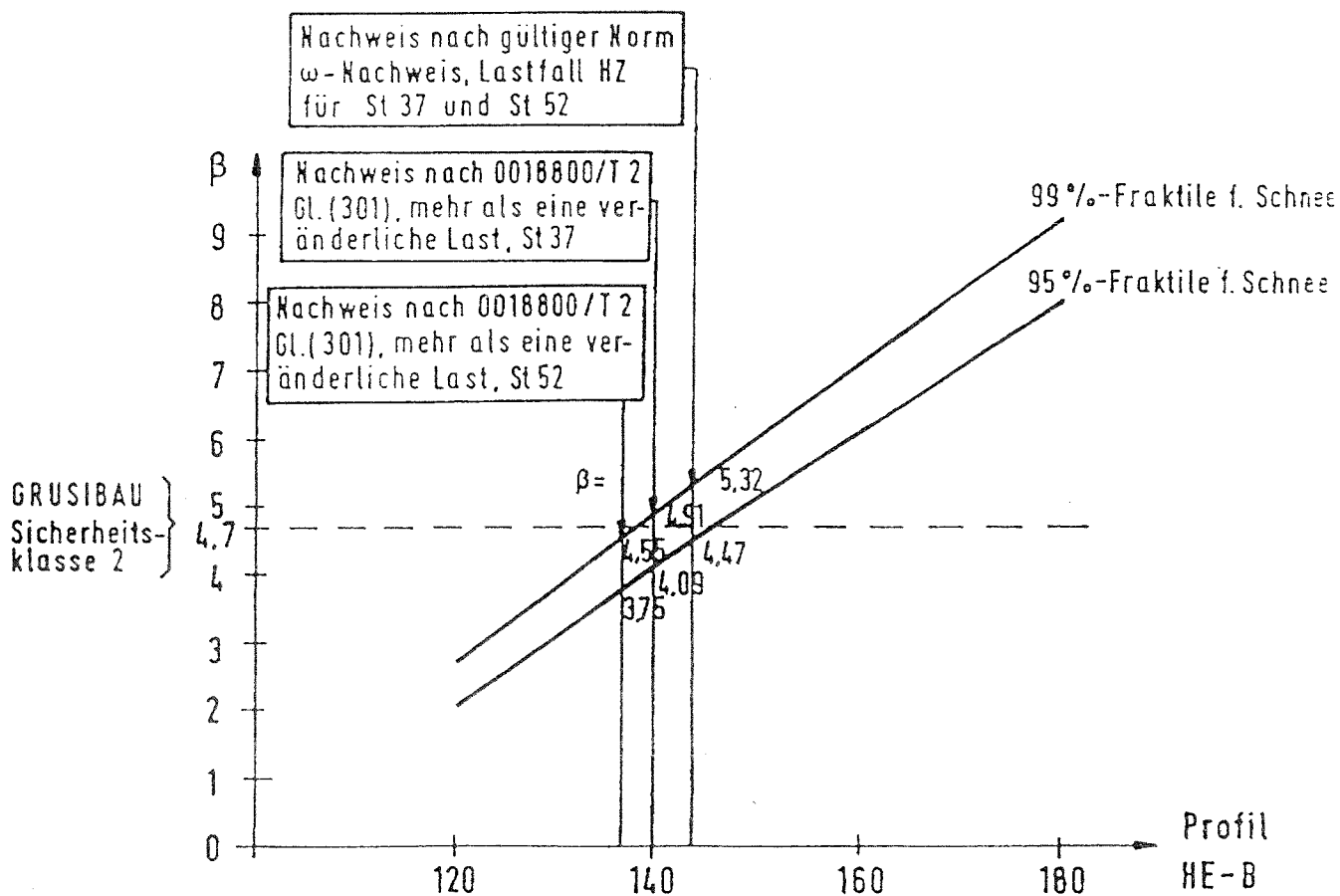




Profil: HE-B

Lastfall HZ

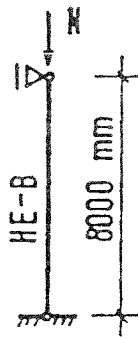
$$N = N_g + N_s + N_p \text{ mit } N_g : N_s : N_p = 1 : 3 : 1$$



Eulerstab II mit mittigem Druck

Versagen durch Biegeknicken um die starke Achse

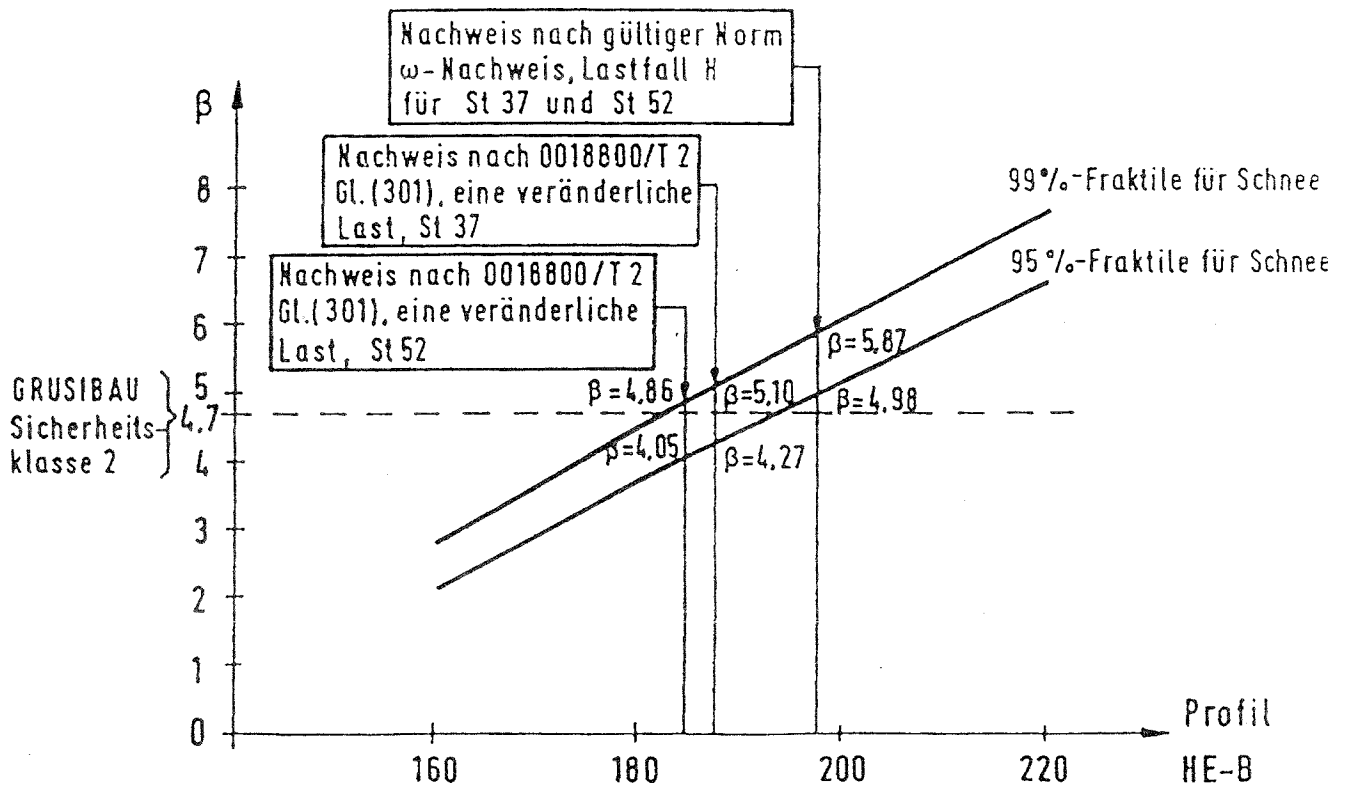
Beispiel I: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die starke Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profiles, Lastfall HZ



Profil: HE-B

Lastfall H

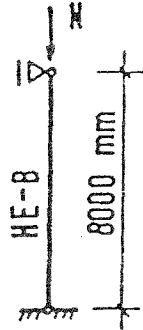
$N = N_g + N_s$  mit  $N_g : N_s = 2 : 3$



Eulerstab II mit mittigem Druck

Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse

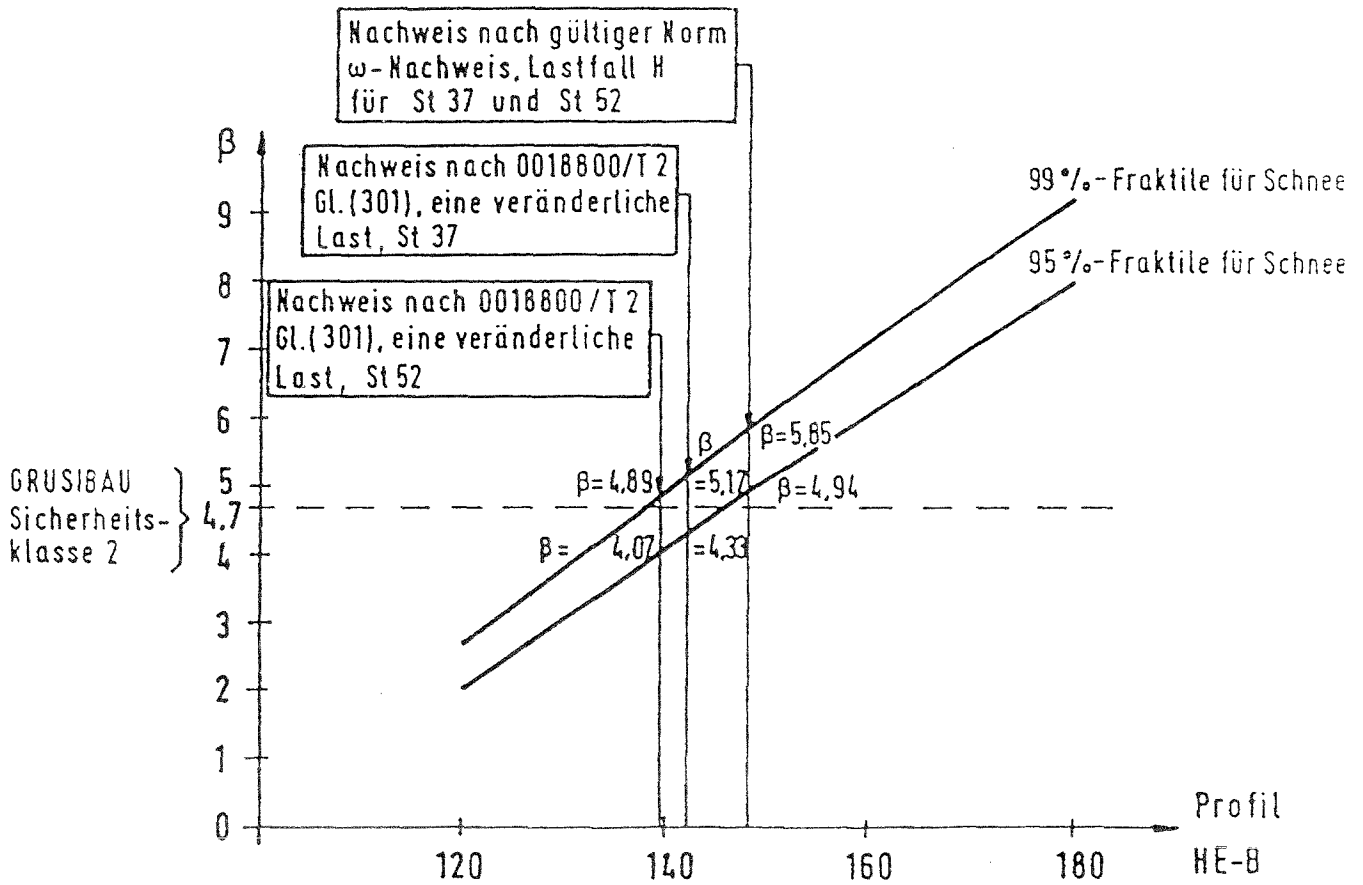
Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die schwache Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profiles, Lastfall H



Profil: HE-B

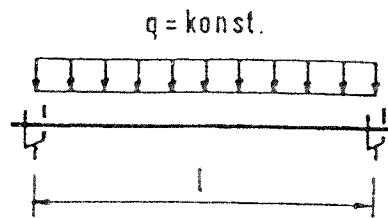
Lastfall H

$$N = N_g + N_s \text{ mit } N_g : N_s = 2 : 3$$



### Eulerstab II mit mittigem Druck Versagen durch Biegeknicken um die starke Achse

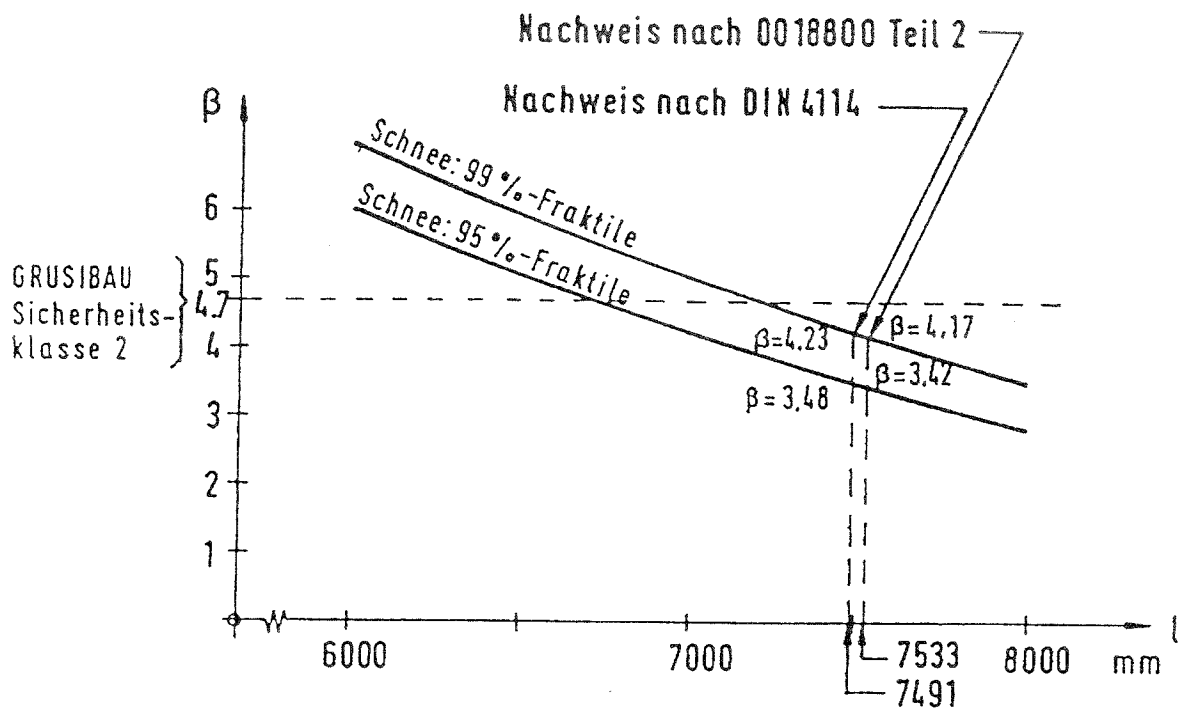
Beispiel 1: Pendelstütze unter mittigem Druck - Versagen durch Biegeknicken um die starke Achse - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des HE-B-Profiles, Lastfall H



Profil: IPE 400, St 37

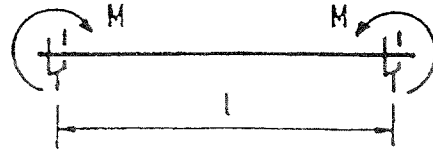
Lastfall H

$q = g + s$  mit  $g : s = 1 : 2$   
(Lastangriff am Obergurt)



## Gabelgelagerter Einfeldträger mit Gleichlast Versagen durch Biegedrillknicken

Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gleichmäßig verteilter Belastung - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Stützweite (Profil IPE 400, Lastfall H)

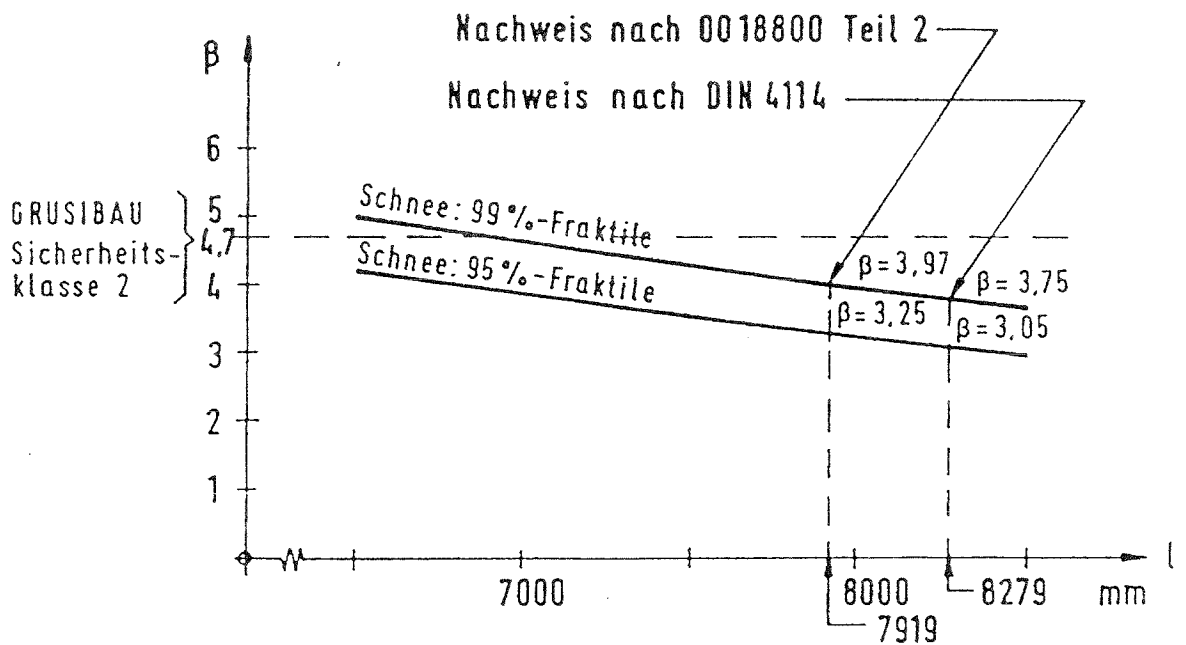


Profil: IPE 400, St 37

Lastfall HZ

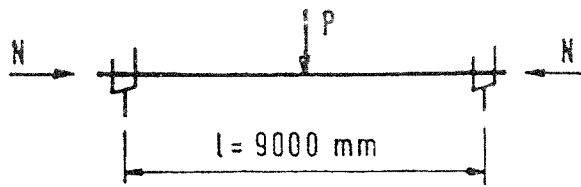
$M = M_g + M_s + M_p$  mit

$M_g : M_s : M_p = 1 : 3 : 1$



### Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten – Versagen durch Biegedrillknicken

Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit gegengleichen Endmomenten - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Stützweite (Profil IPE 400, Lastfall HZ)



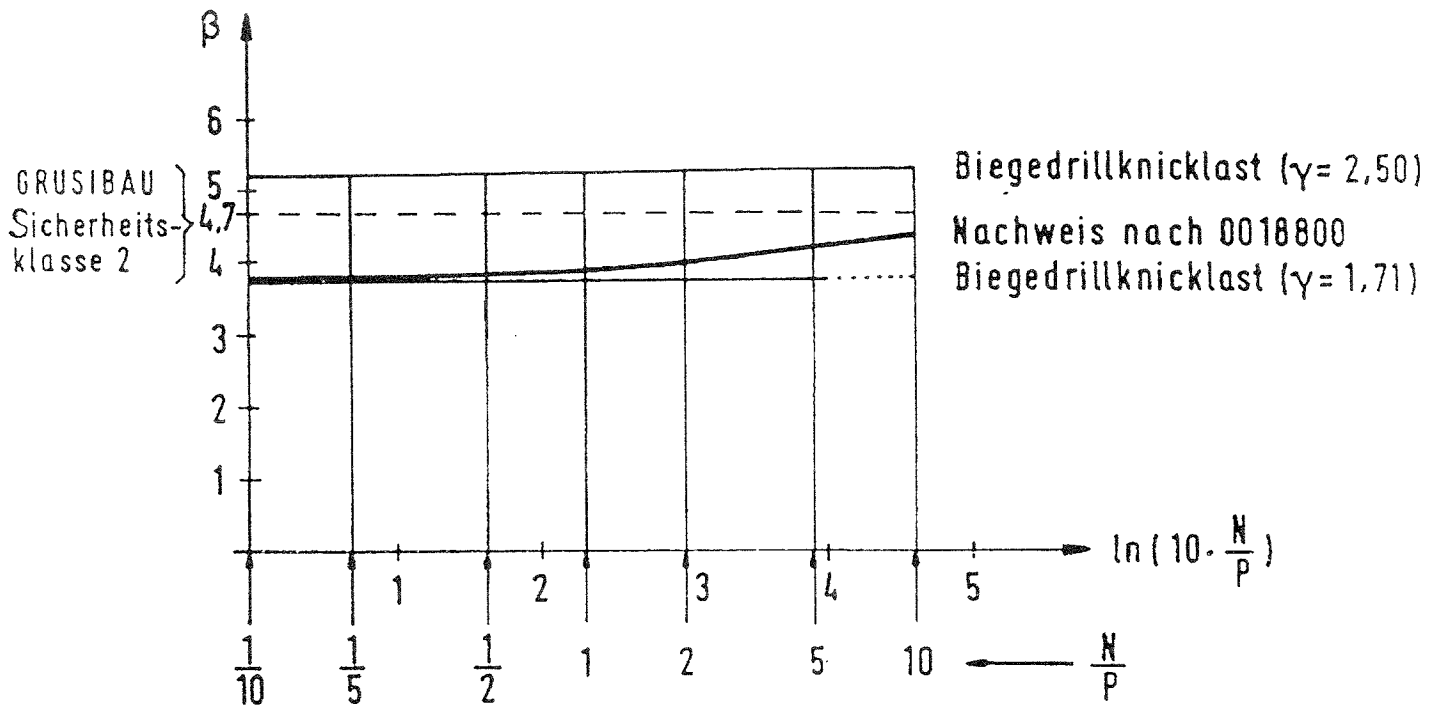
Profil: IPE 400, St37

Lastfall H

$$P = P_g + P_s \text{ mit } P_g : P_s = 1:1$$

$$N = N_g + N_s \text{ mit } N_g : N_s = 1:1$$

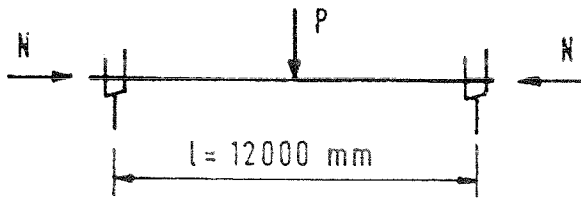
(  $\frac{N}{P}$  variiert )



## Gabelgelagerter Einfeldträger mit mittiger Einzellast und Normalkraft

### Versagen durch Biegedrillknicken

Beispiel 6: Gabelgelagerter Einfeldträger mit mittiger Einzellast  $P$  und Normalkraft  $N$  - Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Verhältnisses  $N/P$  (Profil IPE 400, Lastfall H)



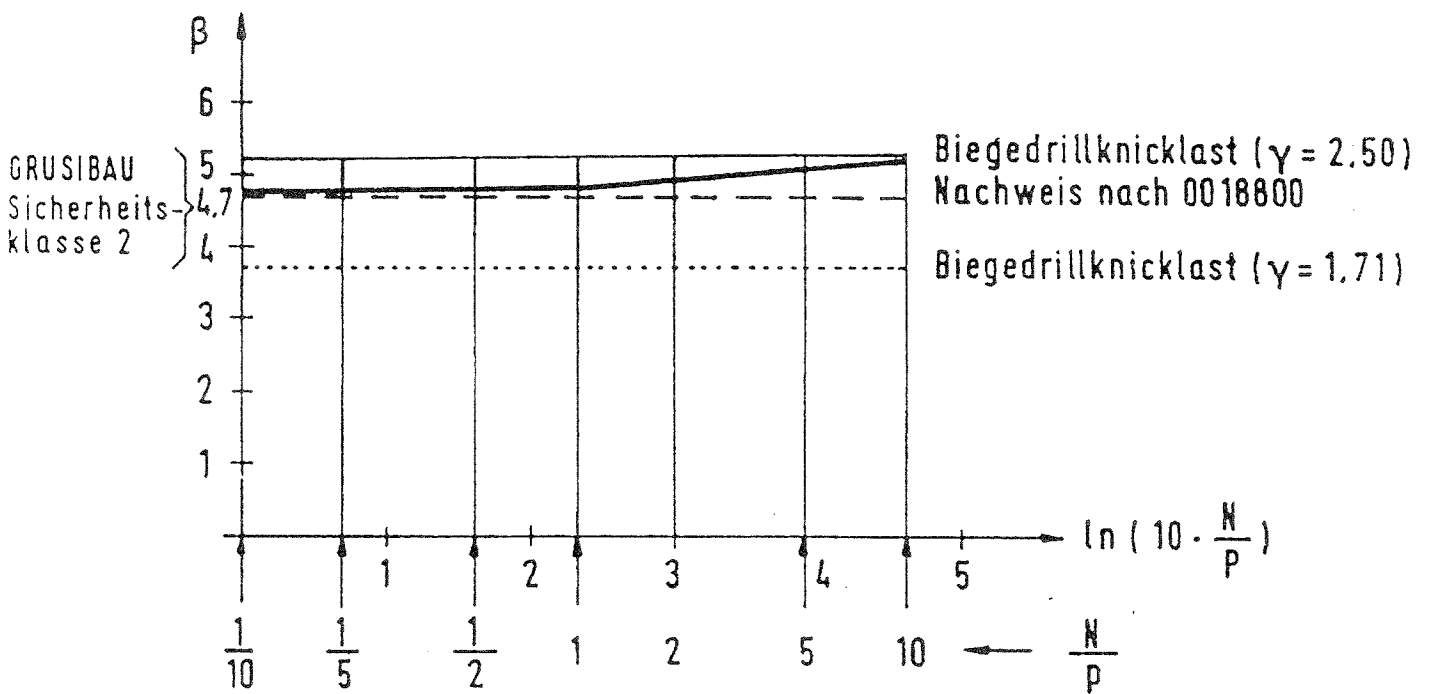
Profil: HE 300 A, St 37

Lastfall H

$$P = P_g + P_s \text{ mit } P_g : P_s = 1 : 1$$

$$N = N_g + N_s \text{ mit } N_g : N_s = 1 : 1$$

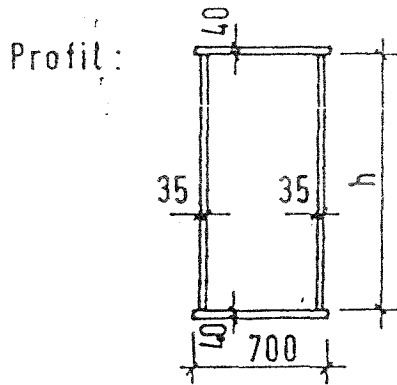
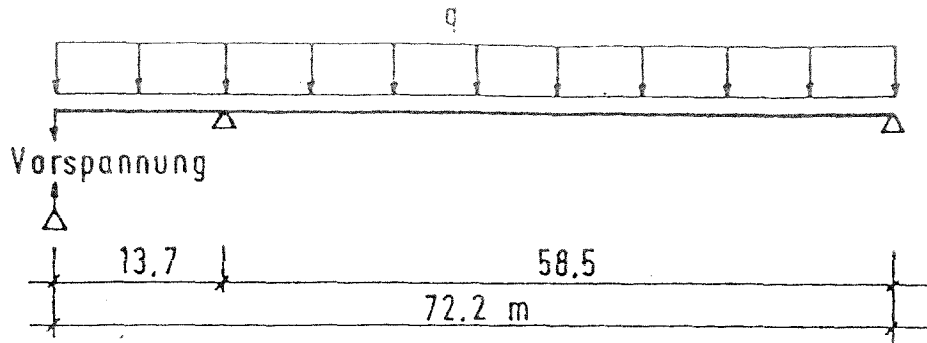
(  $\frac{N}{P}$  variiert )



Gabelgelagerter Einfeldträger mit mittiger Einzellast und Normalkraft

Versagen durch Biegedrillknicken

Beispiel : Gabelgelagerter Einfeldträger mit mittiger Einzellast P und Normalkraft N -  
 Versagen durch Biegedrillknicken - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Verhältnisses N/P (Profil HE 300 A, Lastfall H)

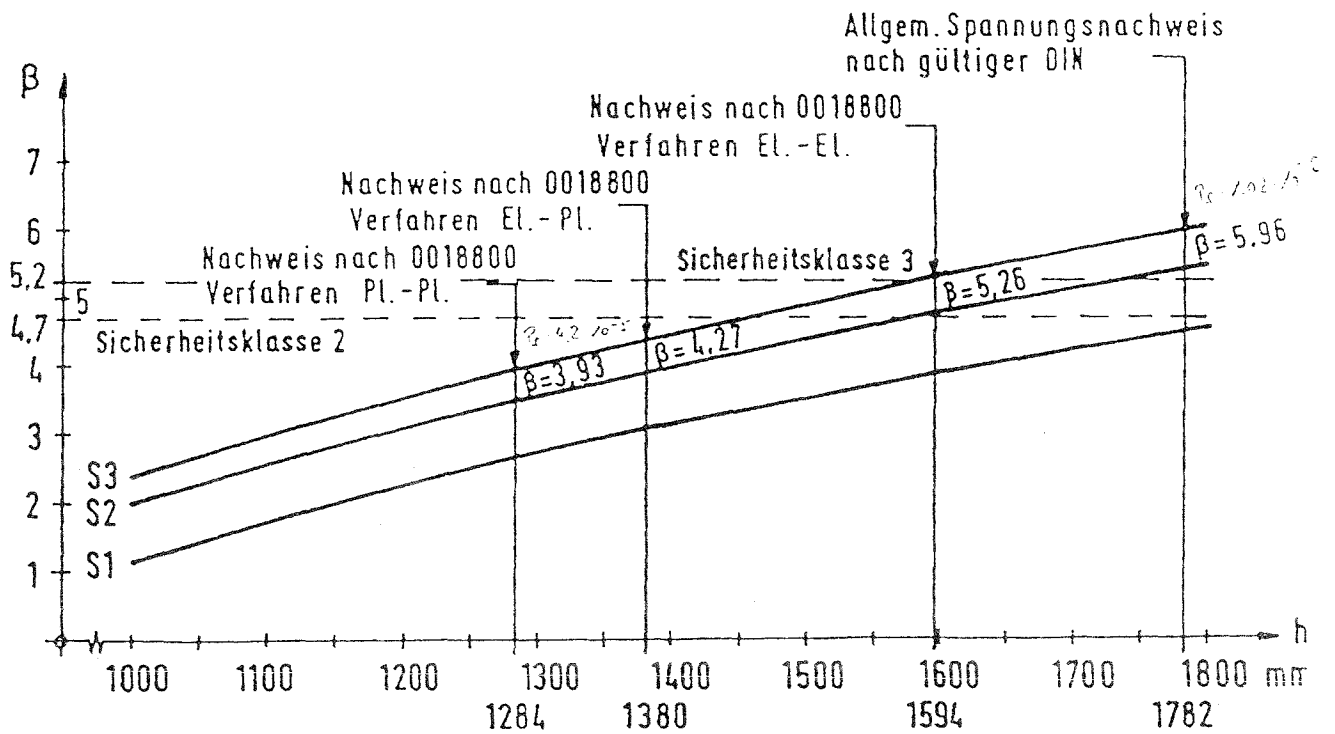


St 52

Lastfall H

$q = g + s$  mit  $g : s = 1 : 2.46$  und  $V = 350 \text{ kN}$

die Bemessungsschneelast entspricht der 98.3 %-Fraktile von lokal gemessenen Jahresmaxima (Meßzeitraum: 30 Jahre) gerechnet mit Systemreserve = 20 % entsprechend tatsächl. Hauptträger



S1: Sicherheit gegen Plastizieren

S2: " gegen Durchplastizieren an 1.Fg

S3: " gegen System-Kollaps (Systemreserve: 20 %)

Vereinfachtes Modell für die Hauptträger der Olympia-Eishalle Garmisch-Partenkirchen:  $\beta$ -Werte für 3 verschiedene Sicherheiten in Abhängigkeit von der Stegblechhöhe  $h$

Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Bauhöhe des Kastenträgers

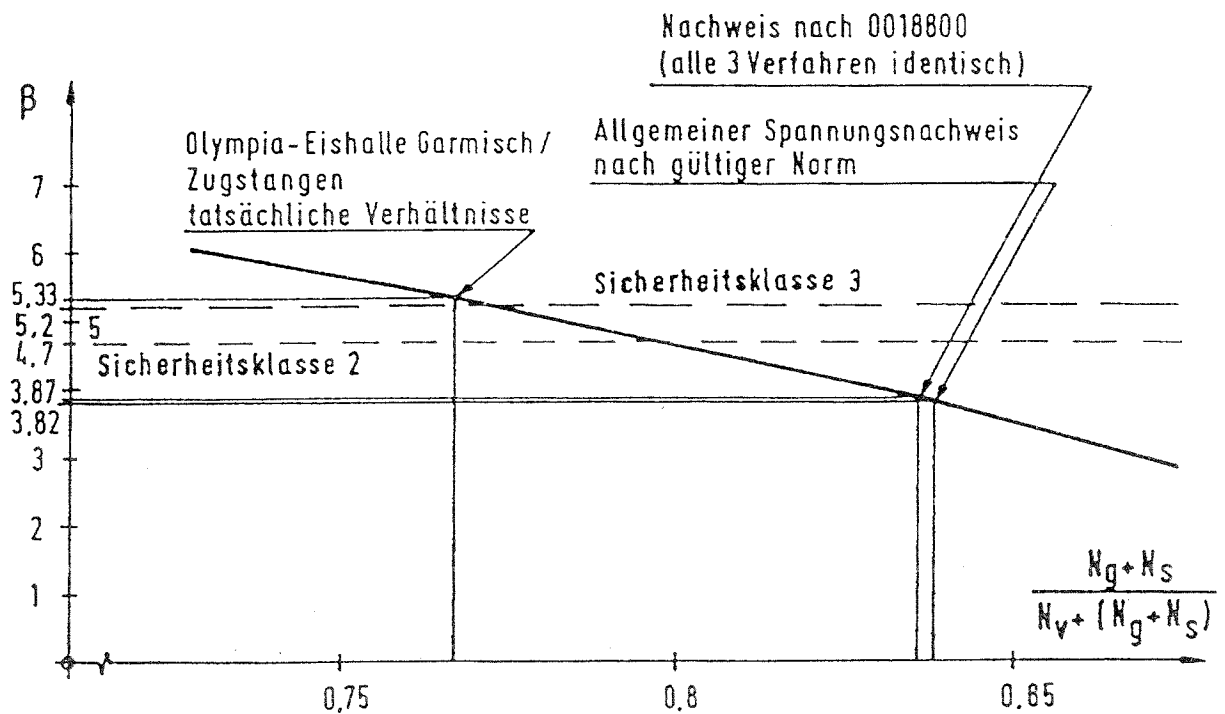




Profil 2 \* 250-18, St 52

Lastfall H

$N = (N_g + N_s) + N_v$  mit  $(N_g + N_s) : N_v =$  variabel  
und  $N_v = 350 \text{ kN} =$  konstant



$\beta$ -Werte in Abhängigkeit des Normalkraft-Anteils aus Eigengewicht und Schnee

Zugstab der Olympia-Eishalle Garmisch-Partenkirchen

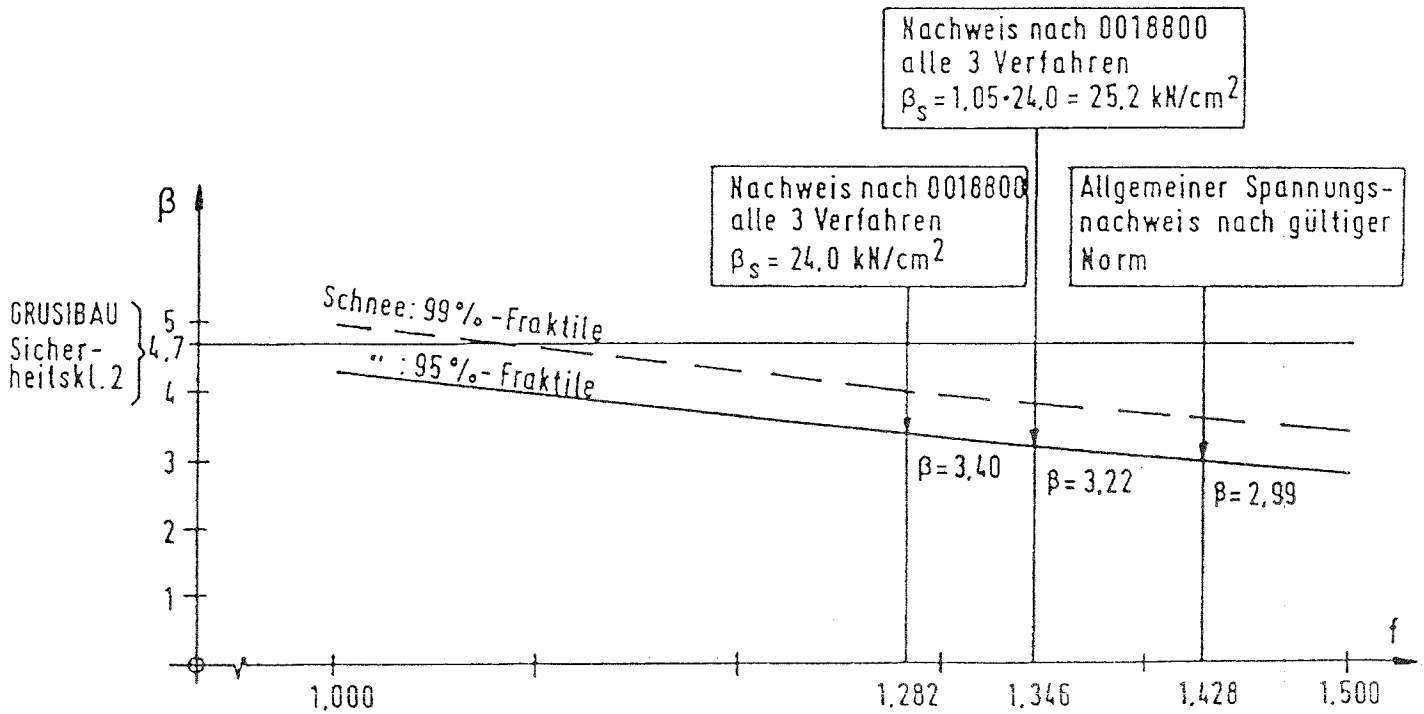
Beispiel 7: Vorgespannter Zugstab der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion der Normalkraftanteile aus Eigengewicht und Schnee



Profil JL 100·75·7, St37

Lastfall HZ

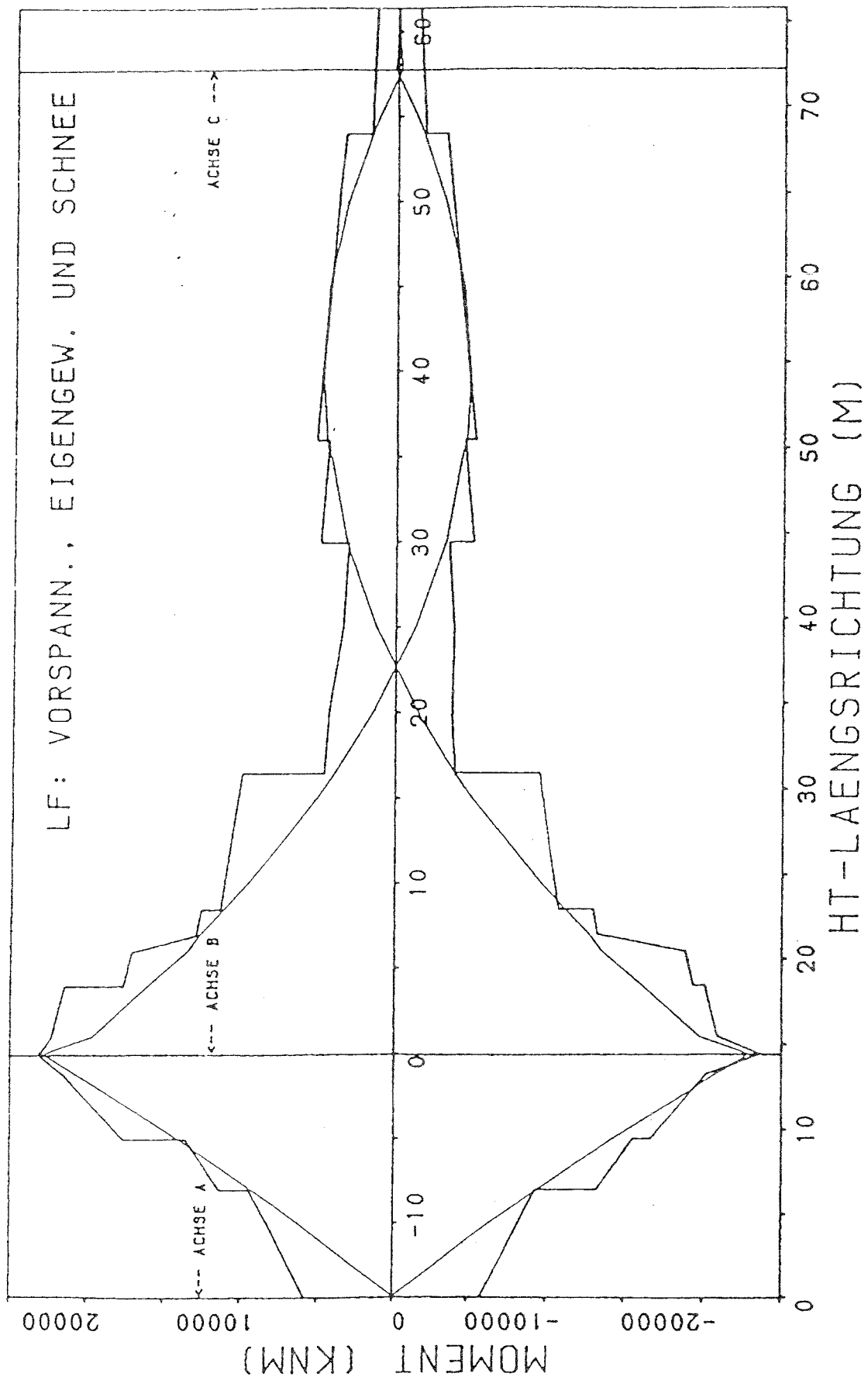
$$N = N_g + N_s + N_p \text{ mit } N_g : N_s : N_p = 2 : 5 : 3$$



Zugstab aus Ergänzungsbeispiel 3 / Lindner

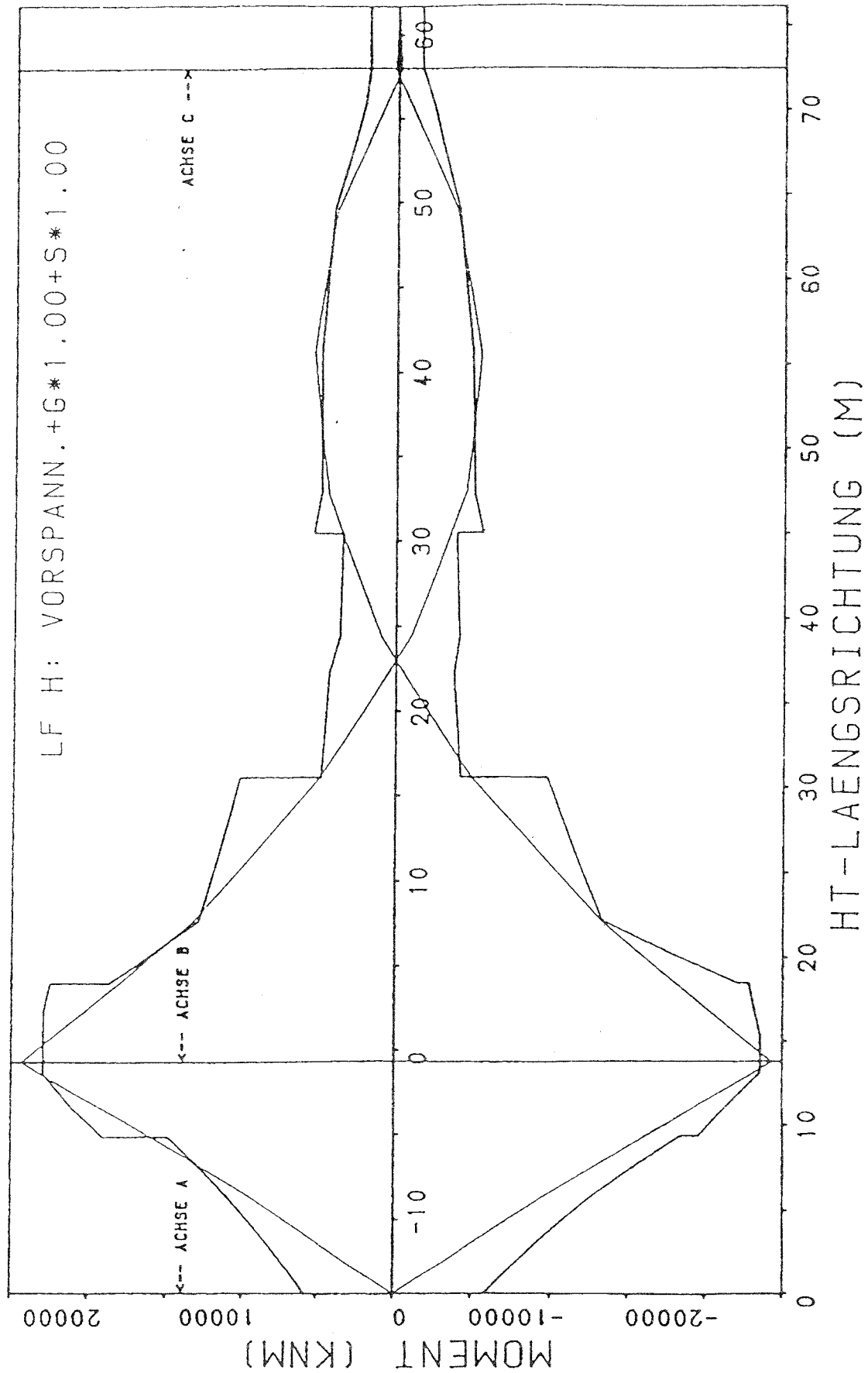
Definierter Grenzzustand: Erreichen von  $\beta_s = 27.0 \text{ kN/cm}^2$

Zugstab aus Ergänzungsbeispiel 3 von Prof. Lindner - Sicherheitsindex  $\beta$  als Funktion des Lasterhöhungsfaktors



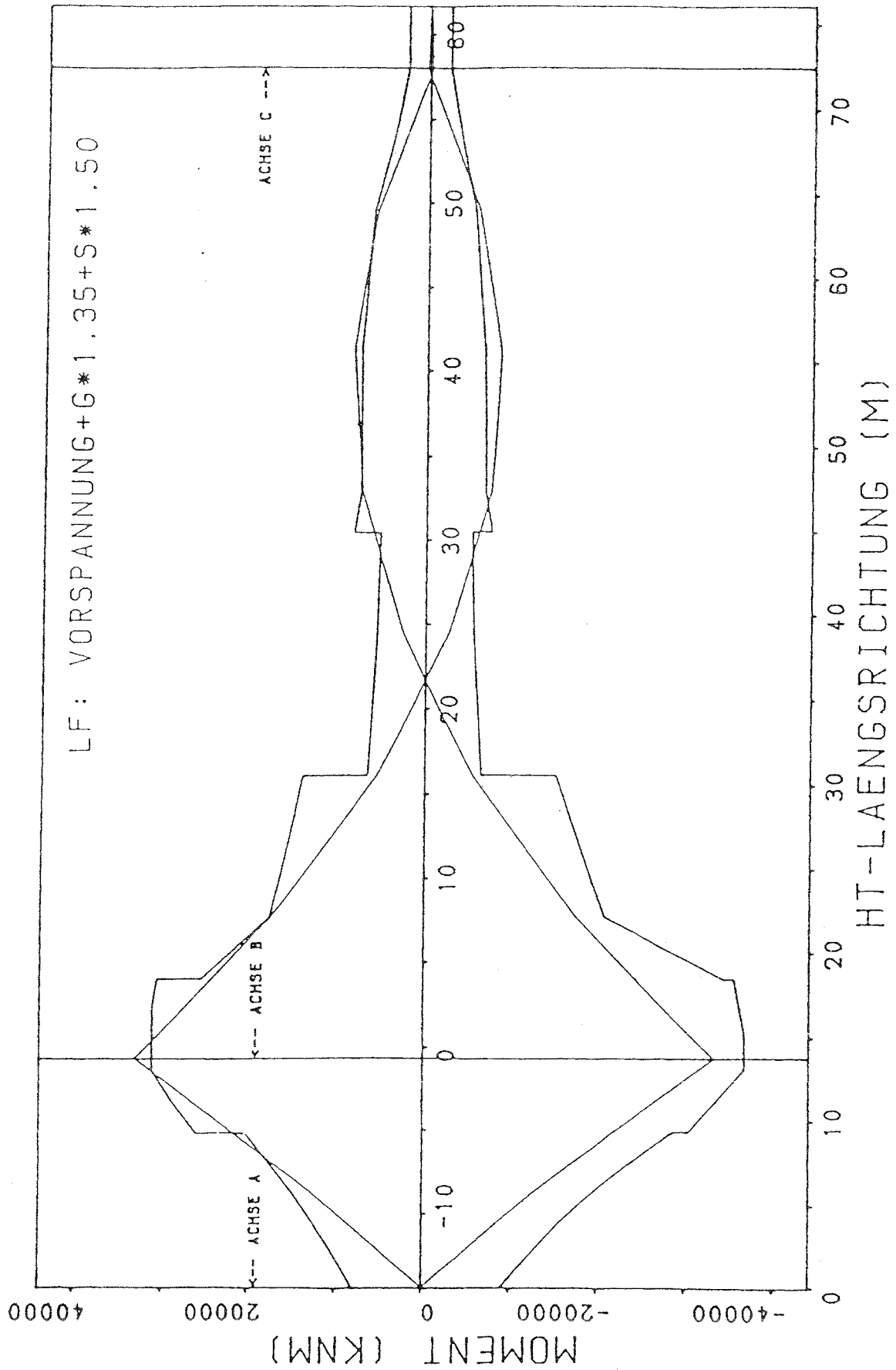
STATISCHE MOMENTENVERTEILUNG UND ZULAESSIGE MOMENTE / STAND 1964

Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen -  
 Momentenverteilung und zulässige Biegemomente, Stand der Bemessung 1964



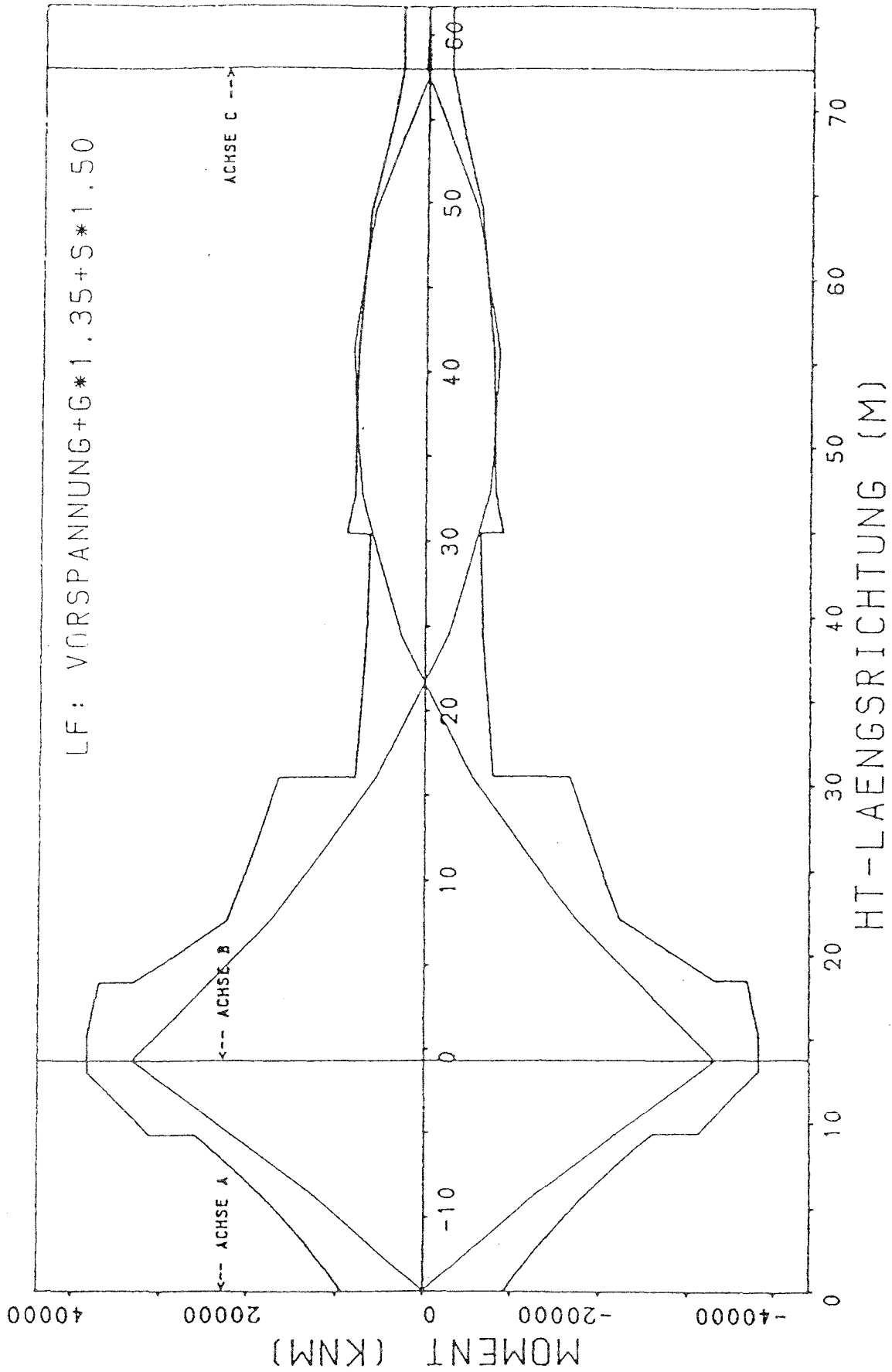
EISSTADION GARMISCH: ALLG. SPANNUNGSNACHWEIS NACH GUELTIGER NORM

Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen -  
 Momentenverteilung und zulässige Biegemomente, Bemessung Normenstand 1988



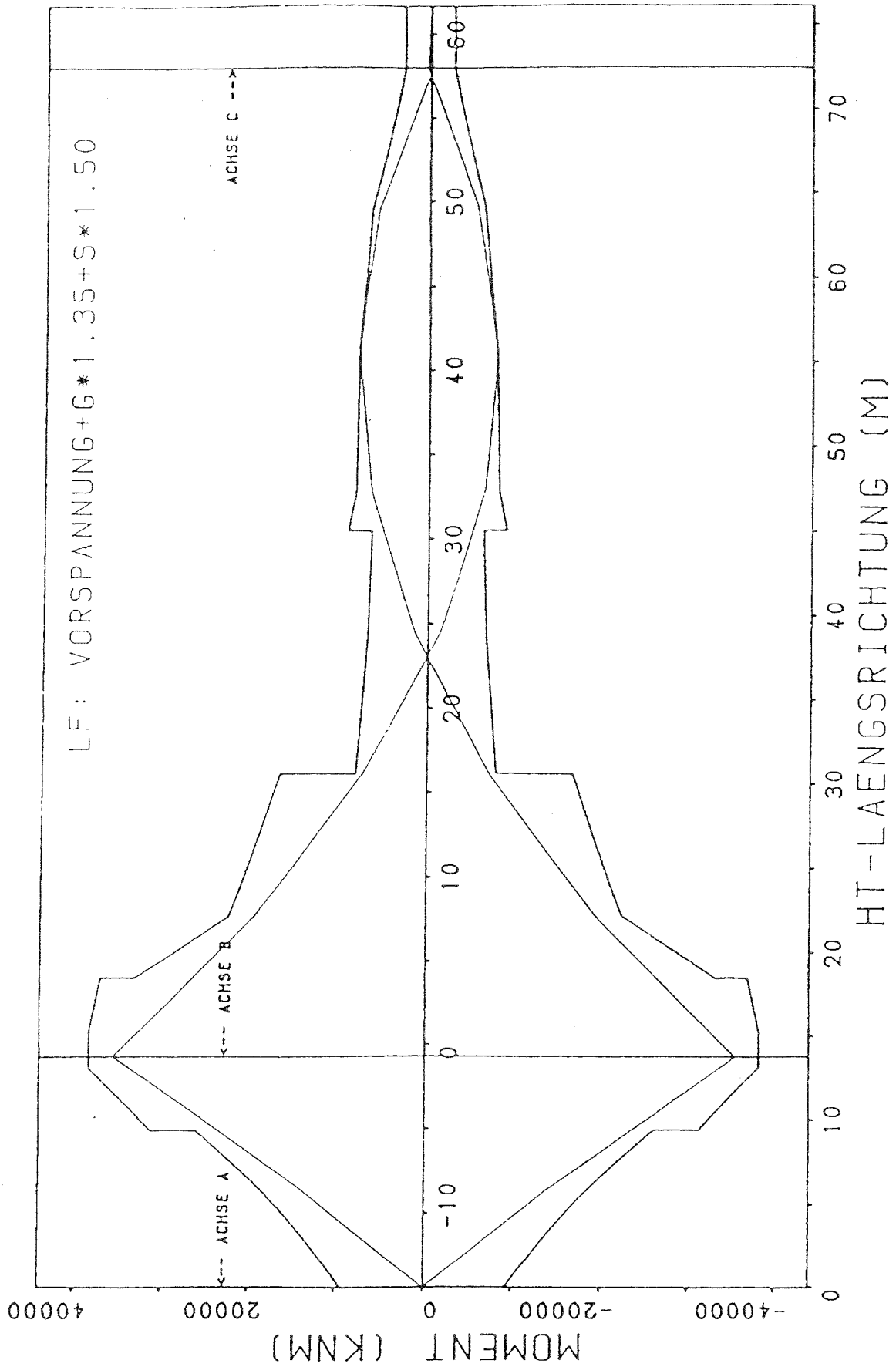
EISSTADION GARMISCH: VERFAHREN ELASTISCH/ELASTISCH NACH 00 18800

Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Grenzmomente nach Verfahren Elastisch-Elastisch



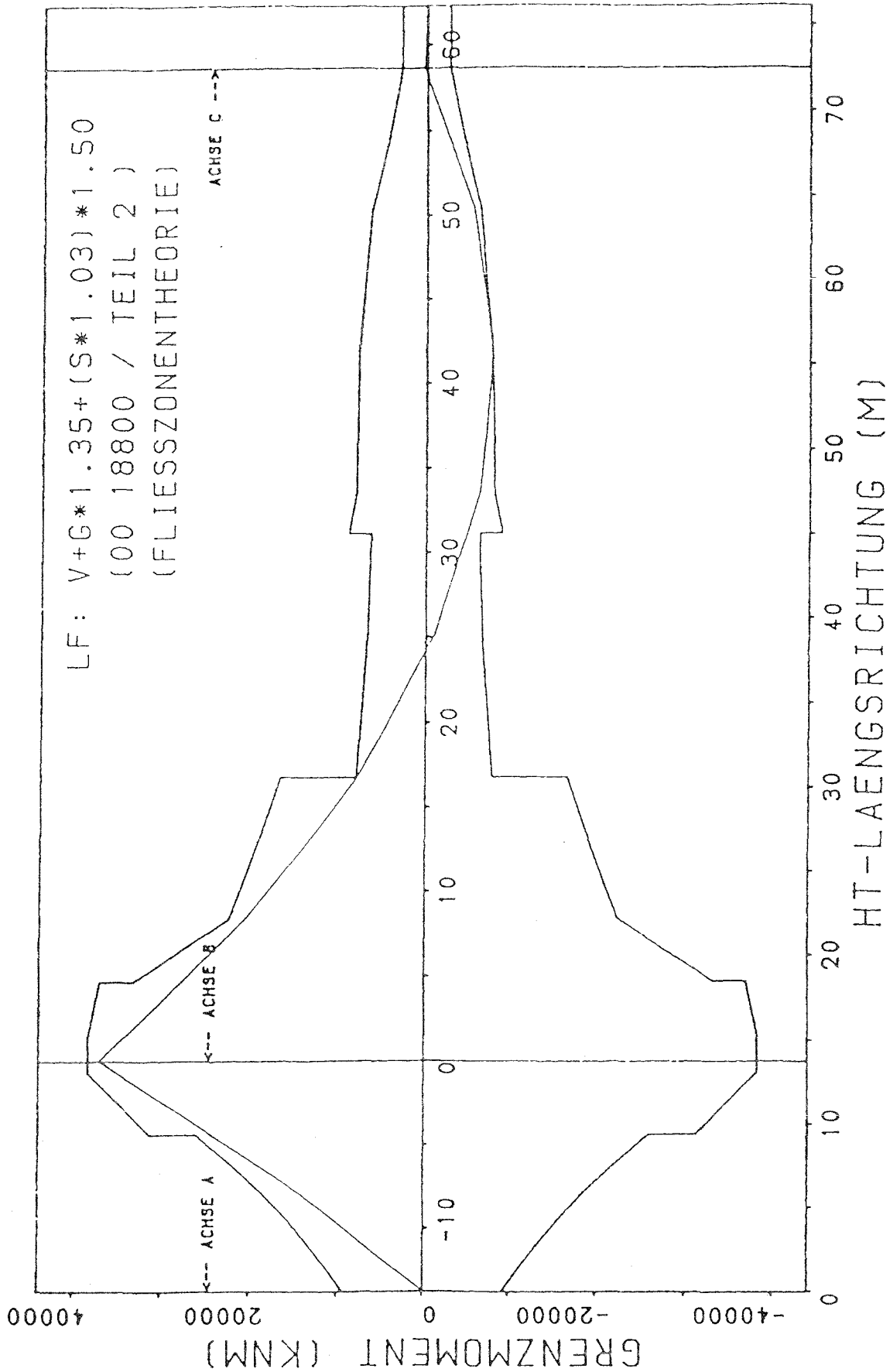
EISSTADION GARMISCH: VERFAHREN ELASTISCH/PLASTISCH NACH 00 18800

Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Grenzmomente nach Verfahren Elastisch-Plastisch



EISSTADION GARMISCH: VERFAHREN PLASTISCH/PLASTISCH NACH 00 18800

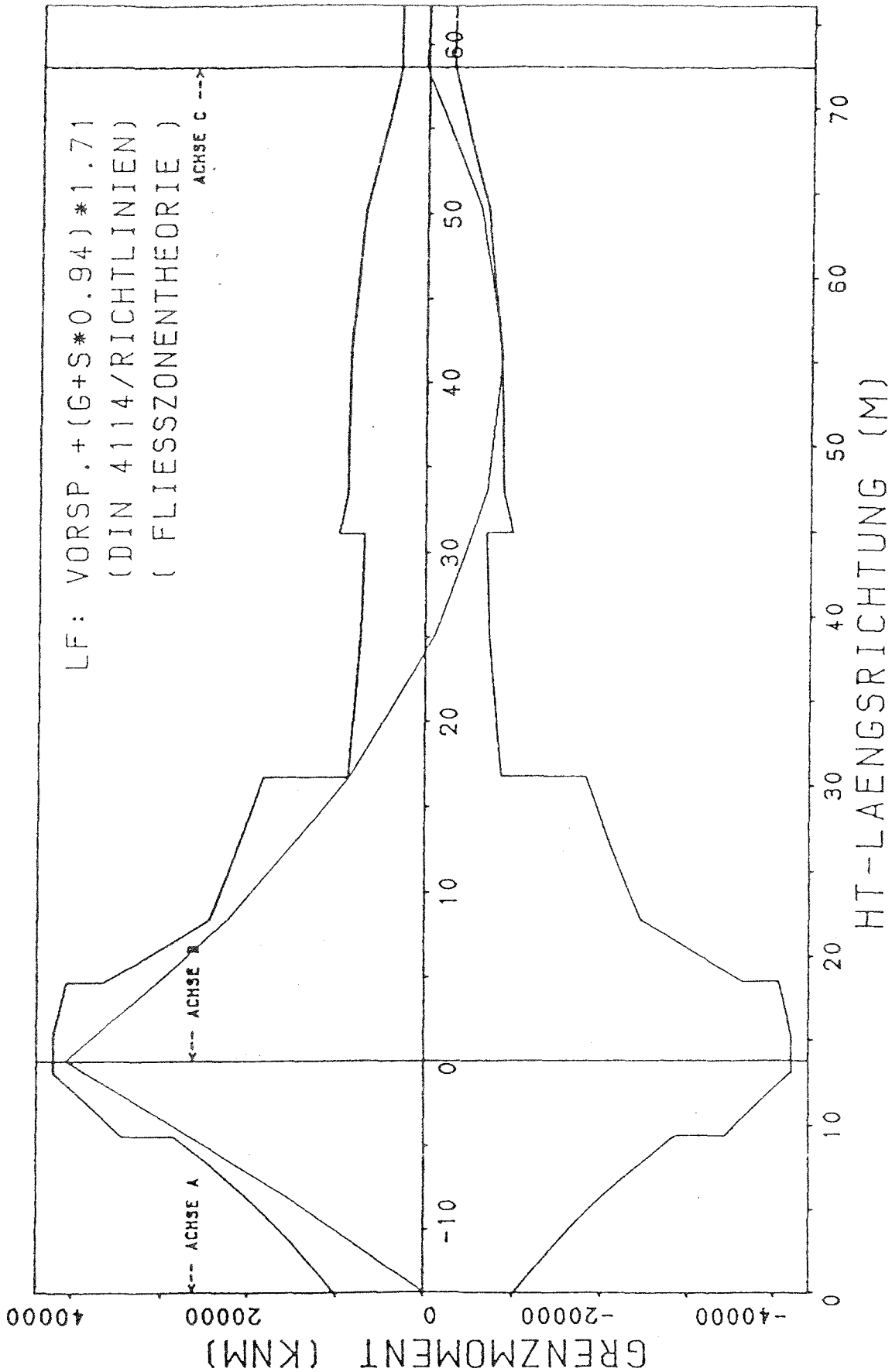
Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen - Momentenverteilung und Grenzmomente nach Verfahren Plastisch-Plastisch



MOMENTENGRENZLINIE (PLASTISCH) DES SET-HT GARMISCH

Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen -  
 Momentenverteilung und Momentengrenzlinie nach Fließzonentheorie mit Variation  
 der Schneelasten (Sicherheitsbeiwerte 1,35/1,50 nach 0018800)

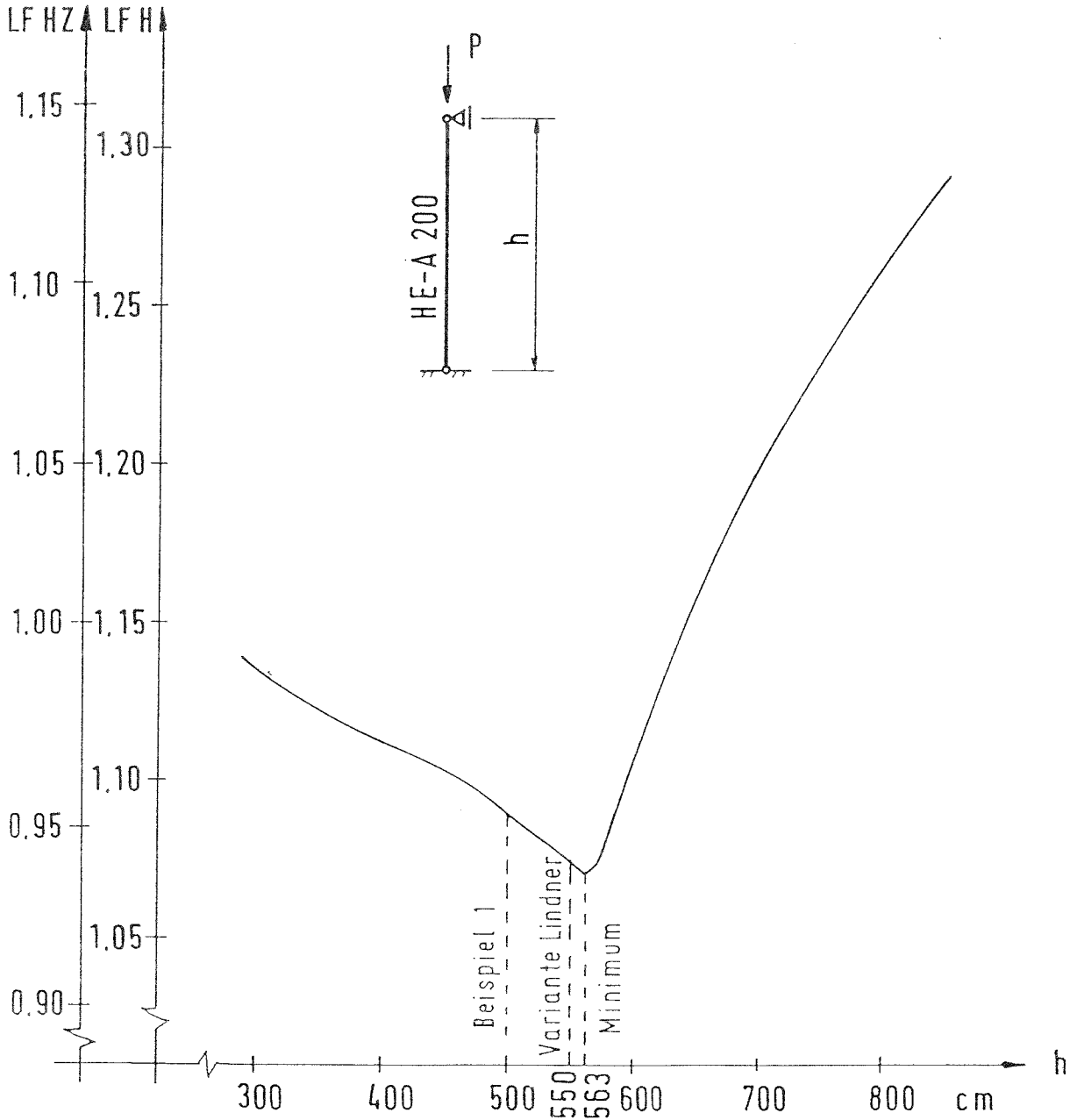




MOMENTENGRENZLINIE (PLASTISCH) DES SET-HT GARMISCH

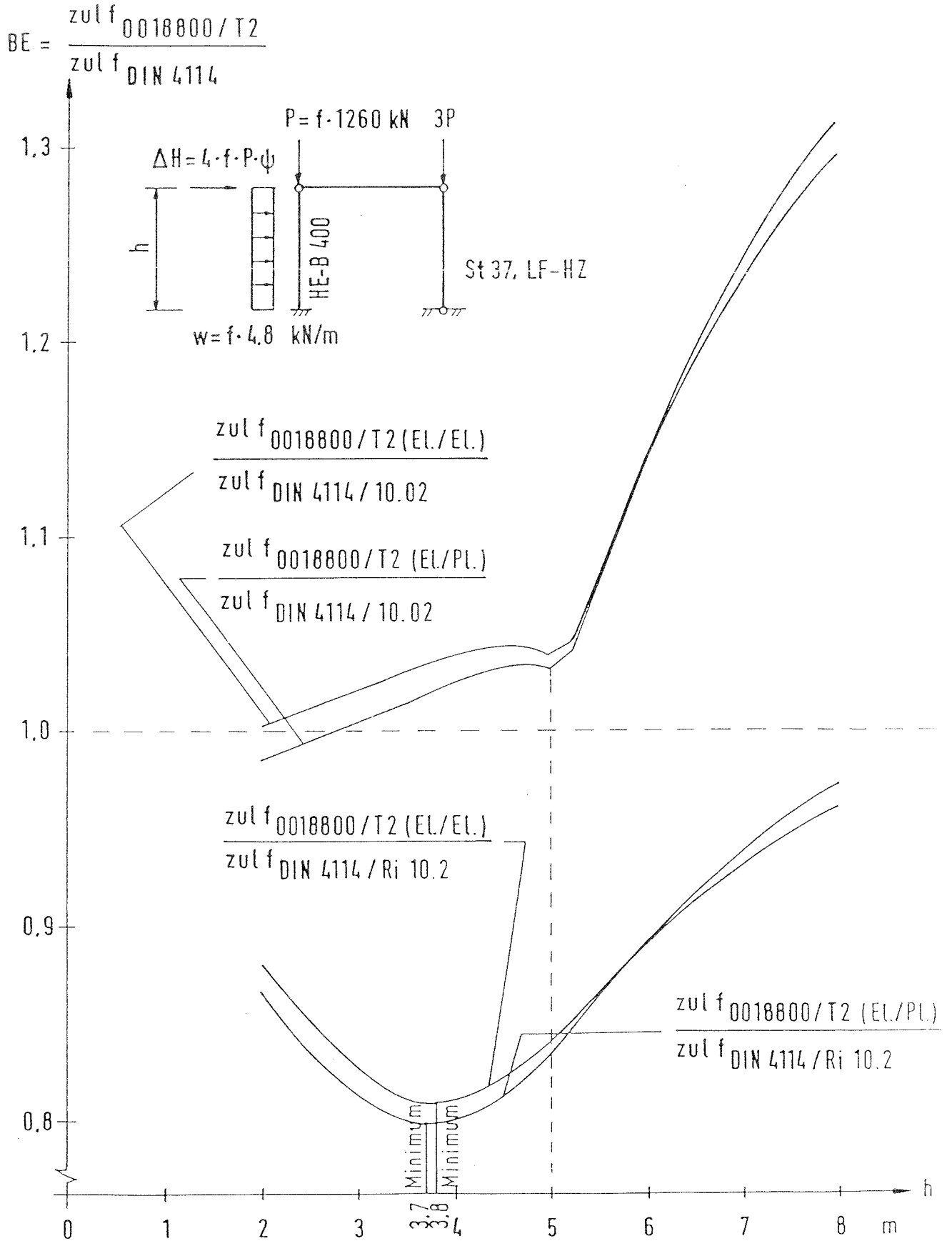
Beispiel 8: Hauptträger der Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen -  
 Momentenverteilung und Momentengrenzlinie nach Fließzonentheorie mit Variation  
 der Schneelasten. (Sicherheitsbeiwert 1.71 nach DIN 4114)

$$BE = \frac{P_{zul}^{0018800/T.2}}{P_{zul}^{DIN\ 4114/7.1}}$$



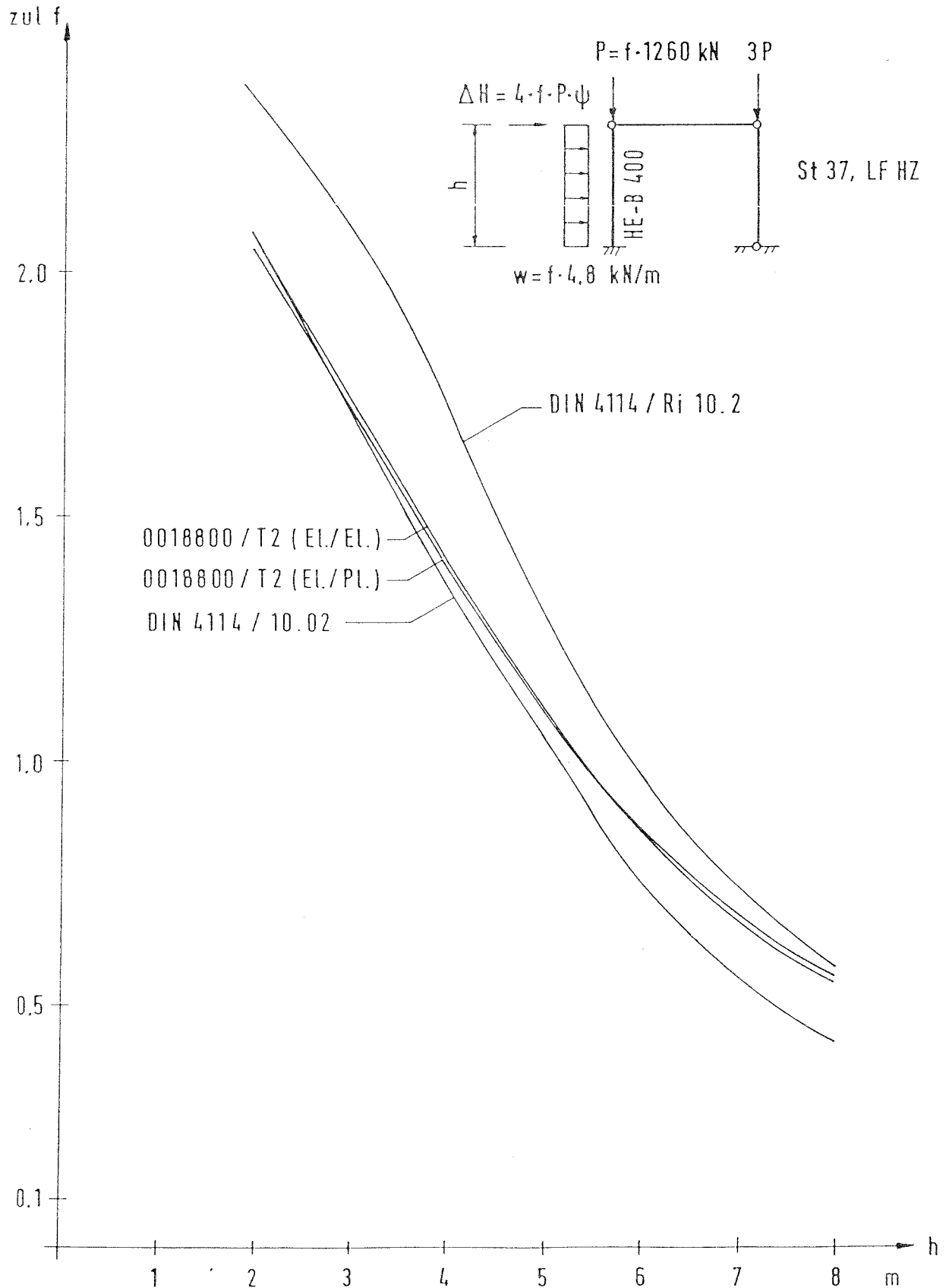
Zum 1. Beispiel der Stellungnahme zur Norm-Vorlage 0018800/Teil 1 und 2.

Beispiel 1: Pendelstütze  
Beanspruchbarkeit der Variante Lindner



Zum Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner): Beanspruchbarkeiten BE aufgetragen über die Stützhöhe  $h$

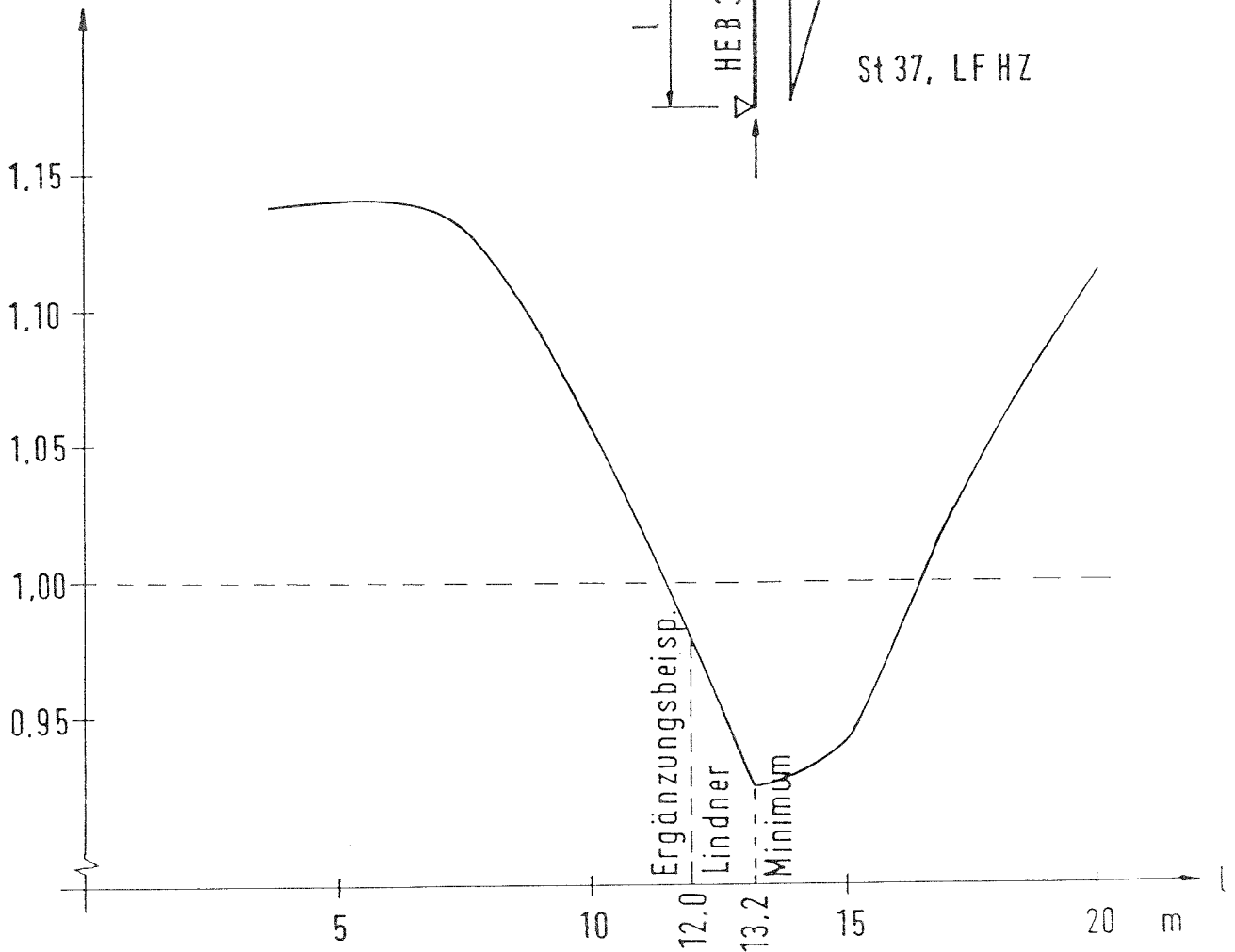
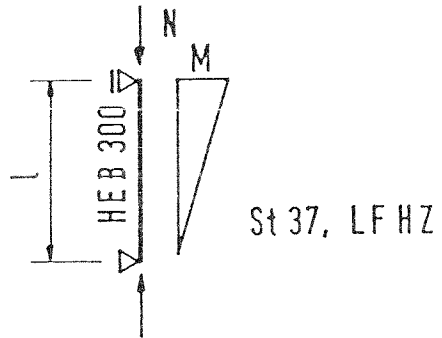
Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner): Eingespannte Stütze mit angehängter Pendelstütze - Beanspruchbarkeiten BE als Funktion der Stützhöhe



Zum Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner): zulässige Lasterhöhungsfaktoren  $zul f$  aufgetragen über die Stützhöhe  $h$

**Ergänzungsbeispiel 3 (Lindner):** Eingespannte Stütze mit angehängter Pendelstütze - Zulässige Lasterhöhungsfaktoren  $f$  als Funktion der Stützhöhe  $h$

$$BE = \frac{\sigma_{zul}^{0018800/T2 (EL./PL.)}}{\sigma_{zul}^{DIN 4114/7.1}}$$



Zum Ergänzungsbeispiel 4 (Lindner): Beanspruchbarkeit BE aufgetragen über die Stablänge l

Ergänzungsbeispiel 4 (Lindner): Mittig beanspruchte Pendelstütze - Beanspruchbarkeit BE als Funktion der Stablänge l

T 2541

### Zusammenfassung:

Ergänzend zu den 1981 abgeschlossenen vergleichenden Untersuchungen des Entwurfs neuer Stahlbau-Bemessungsnormen DIN 18800 werden insbesondere Veränderungen des Zuverlässigkeitsniveaus, ausgedrückt durch den Sicherheitsindex  $\beta$ , berechnet. Allgemein sinkt  $\beta$  bei Pendelstützen und eingespannten Stützen, während bei Zugstäben sich das Sicherheitsniveau geringfügig erhöht. Bei biegedrillknickgefährdeten Stäben kann anhand der wenigen Beispiele keine eindeutige Tendenz angegeben werden. Generell jedoch ist festzustellen, daß das in der GRUSIBAU geforderte Sicherheitsniveau für Sicherheitsklasse 2 nicht erreicht wird, was durch andernorts gemachte Untersuchungen bestätigt wird.

### Summary:

Supplementary to in 1981 finished comparing studies of the draft of design codes for steel constructions DIN 18800 there are calculated changes of the reliability niveau, demonstrated by the safety index  $\beta$ . Generally decreases  $\beta$  with pin-ended and propped-cantilever columns, whereas tension members will get a slightly higher reliability. For torsional-flexural buckling it is not possible to state a definitive tendency. Generally the safety niveau, which is stated in the GRUSIBAU for the safety class 2, will not be reached. This is confirmed by studies of outside researchers.

### Résumé

En plus des études comparatives du projet de norme de calcul DIN 18800 des constructions en acier terminé en 1981, des modifications des niveaux de fiabilité (exprimé à l'aide du facteur de sûreté  $\beta$ ) ont été calculées. En général,  $\beta$  est plus faible pour les poteaux articulés et encastres alors que pour des membres tendus, le facteur de sûreté a été légèrement augmenté. Pour les membres susceptibles de flambement en torsion-flexion, il n'a pas été possible de dégager une tendance significative. D'une manière générale, on constate que le facteur de sûreté indiqué dans le GRUSIBAU pour la classe de sûreté 2 n'est pas atteint, ce qui a été confirmé par des recherches effectuées dans d'autres instituts.