

# **S O N D E R D R U C K**

aus

## **Neue Entwicklungen im Konstruktiven Ingenieurbau**

Festschrift

Prof. O. Steinhardt / Prof. F. Mang

**Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine**

UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)

Karlsruhe 1994

# **Nutzbarer Widerstand von räumlich belasteten I-Trägern unter Einsatzbedingungen des Traggerüstbaus**

**G. Ast, K.C. Fröhlich und H. Werner, Karlsruhe**

## **Summary**

The subject of this report are I-beams loaded under conditions of a formwork construction, examined according to both elastic-design-theory and plastic-design-theory. In both cases a torsional restraint was assumed as supporting condition.

Comparative calculations for common I-beams of HE-B-type show that the ultimate load of the beams is up to 60 % higher when using the plastic-design-theory acc. DIN 18 800 against a proof following the elastic-design-theory.

## **Zusammenfassung**

Es wurden I-Träger unter Einsatzbedingungen des Traggerüstbaus nach der Elastizitätstheorie und nach der Traglasttheorie untersucht. Als Lagerungsbedingung wurde in beiden Fällen eine Gabellagerung vorausgesetzt. Vergleichsrechnungen für gebräuchliche HEB-Profile zeigen, daß der nutzbare Widerstand der Träger bei Anwendung der Traglasttheorie (Verfahren Plastisch/Plastisch nach DIN 18 800) gegenüber einem Nachweis nach der Elastizitätstheorie (Verfahren Elastisch/Elastisch nach DIN 18 800) um bis zu 60% höher liegt.

## 1. Einleitung

In Lehrgerüsten zur Herstellung von Brückenbauten werden häufig Jocheinrüstungen verwendet. Die eigentliche Nutzlast, das sind das Gewicht des Frischbetons und der Schalung, sowie die zusätzlichen Horizontallasten werden über eine Längsträgerlage zu den Jochtürmen oder -scheiben abgetragen.

Für die Überbrückung großer Feldweiten werden fachwerkartige Rüstbindersysteme verwendet. Bis zu mittleren Stützweiten werden jedoch Vollwandträger, hauptsächlich I-Profile der HE-B-Reihe, eingesetzt, die in der Regel auch die Horizontallasten ohne zusätzliche Verbände auf Querbiegung abzuleiten haben. Die Horizontallasten ergeben sich aus

- Windlasten auf die Schalung und die Trägerlage
- ggf. Abtriebskräfte aus einer geneigten Trägerlage
- Ersatzlast für nicht planmäßige horizontale Beanspruchungen nach DIN 4421 /1/

Horizontal- und Vertikallasten greifen am Obergurt des Längsträgers an, häufig sogar wegen einer aufgelegten Überhöhungsleiste zum Ausgleich der Trägerdurchbiegungen oberhalb der Trägeroberkante, siehe Bild 1.

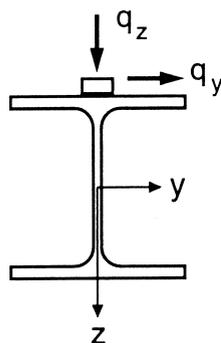


Bild 1: Lastangriff am Längsträger

Die Horizontallasten werden am Trägerende mittels einer „Gabellagerung“ an den Jochträger abgegeben. Die Realisierung der Gabellagerung erfolgt meist über in jedem Träger eingeschweißte Schotte oder über einen Anschlag in Höhe des Trägerobergurtes, an den alle Längsträger angekoppelt werden, siehe Bild 2.

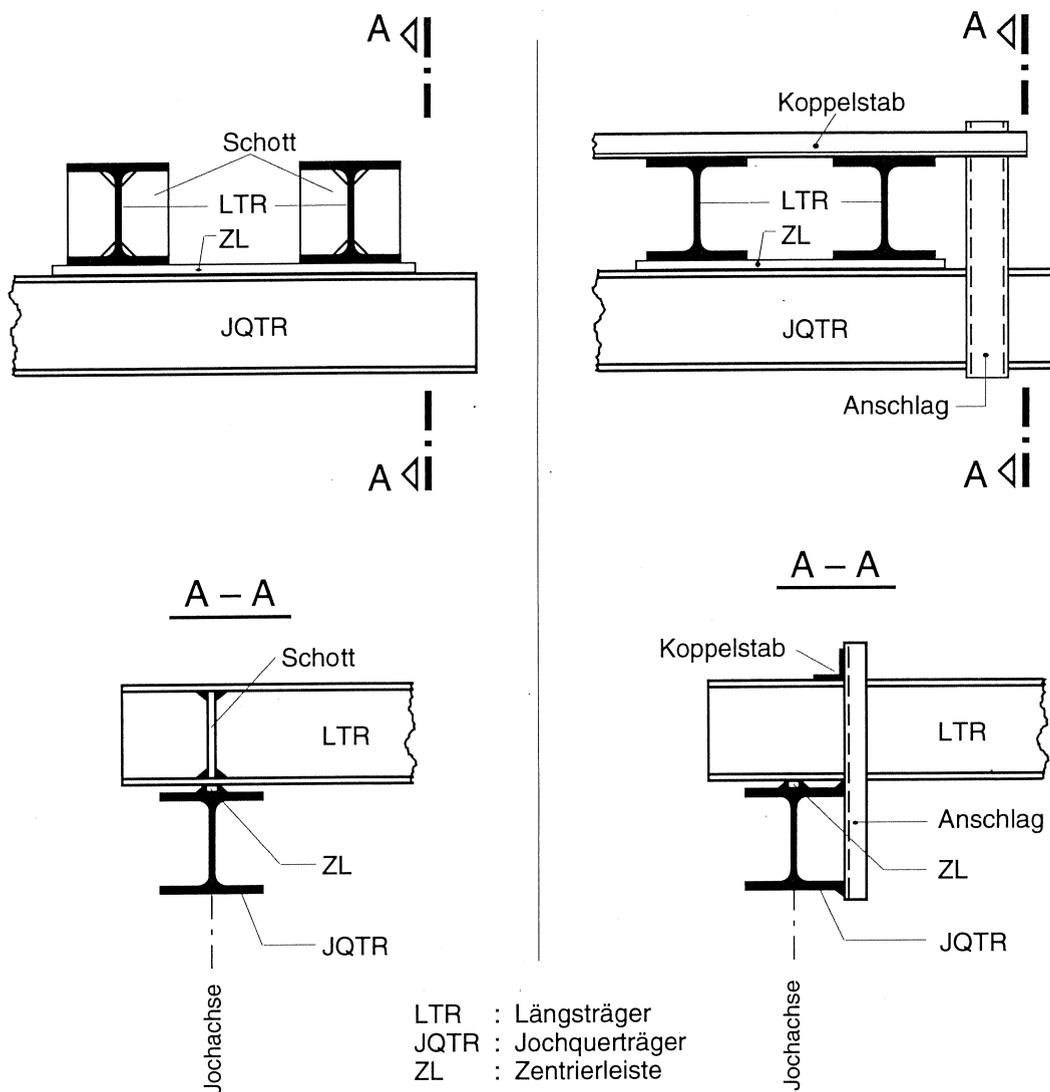


Bild 2: Realisierung der Gabellagerung

Die Längsträger werden durch die Horizontal- und Vertikallasten auf Biegung um beide Hauptachsen sowie auf Torsion beansprucht. Es handelt sich somit um den Fall des räumlich belasteten I-Profils, das biegedrillknickgefährdet ist.

Die Tragsicherheit der Längsträger wird in der Praxis auf sehr unterschiedliche Weise nachgewiesen:

- Häufig wird die Stabilität unter alleiniger Wirkung der Vertikallast nachgewiesen ("Kippsicherheitsnachweis"); das Zusammenwirken von Horizontal- und Vertikallasten wird mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung in Form eines "allgemeinen Spannungsnachweises" behandelt. Diese Vorgehensweise liegt i. d. R. erheblich auf der unsicheren Seite.

- Auf Grundlage von ausreichend genauen Näherungslösungen, z. B. nach /2/, werden Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung ermittelt. Im Spannungsnachweis wird gegen das Erreichen der Streckgrenze in einem Querschnittspunkt abgesichert. Diese Vorgehensweise entspricht dem Verfahren Elastisch/Elastisch der DIN 18 800 /3/. Für die praktische Anwendung liegen Angaben für die im Traggerüstbau gebräuchlichen I-Profile in Form von Tragfähigkeitsdiagrammen oder -tabellen vor /4/, /5/.

Nachweise nach der Traglasttheorie werden im Traggerüstbau bislang nicht geführt, da die baurechtliche Grundlage, die Anbindung von DIN 4421 an DIN 18 800, fehlt. Dies ist auch der Grund dafür, daß systematische Untersuchungen, wie sie z. B. seit kurzem für Träger aus U-Profilen vorliegen /6/, zur Traglast von I-Profilen mit Einsatzbedingungen des Traggerüstbaus bislang nicht durchgeführt wurden. Näherungsverfahren sind nicht bekannt; DIN 18 800 behandelt zwar die beidachsige Biegung mit und ohne Normalkraft, nicht aber den Fall mit zusätzlicher Torsion.

In /7/ wurde jetzt untersucht, welcher Tragfähigkeitsgewinn durch die Anwendung des Nachweisverfahrens Plastisch/Plastisch gegenüber dem bislang gebräuchlichen Verfahren nach der Elastizitätstheorie erzielt werden kann. Nachfolgend werden Berechnungsergebnisse für ausgewählte Profile vorgestellt sowie Berechnungsverfahren und -annahmen erläutert.

## 2. Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungen wurden mit dem bei SIGMA KARLSRUHE installierten Programm KIDU /8/ unter Berücksichtigung der geometrischen und physikalischen Nichtlinearitäten durchgeführt. Folgende Voraussetzungen bestehen seitens des Programms:

- Der Trägerquerschnitt ist dünnwandig, offen und in Stabrichtung nicht veränderlich; Ausrundungen werden vernachlässigt.
- Die Querschnittsform bleibt bei der Verformung des Stabes erhalten (Querschnittstreue).
- Der Querschnitt bleibt eben (Bernoulli-Hypothese); es werden nur die Verzerrungen infolge der St. Venant'schen Torsion berücksichtigt.
- Örtliche Instabilitäten (Beulen) treten nicht auf.

- Das Fließgesetz des Werkstoffs berücksichtigt nur die Längsspannungen. Der Drillwiderstand wird unabhängig vom Umfang der Plastizierung als konstant angenommen.

Bei den Traglastberechnungen /7/ wurden sinusförmige Vorverformungen  $v_0$  mit dem Stich  $L/200$  bzw.  $L/250$  nach der jeweiligen Knickspannungslinie in Rechnung gestellt; bei den Berechnungen nach der Elastizitätstheorie wurden diese Werte auf  $2/3$  reduziert. Eigenspannungen wurden nicht berücksichtigt. Es wurde keine Wölbbehinderung am Auflager angenommen.

Die Berechnungen wurden für St 37 unter Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwerts  $\gamma_M = 1,1$  durchgeführt (Bemessungswert der Streckgrenze  $f_{y,d} = 240/1,1 = 218 \text{ N/mm}^2$ ). Es wurde ein linearelastisches-idealplastisches Werkstoffgesetz zugrunde gelegt. Der nutzbare Widerstand im Sinne von DIN 4421 ergibt sich somit durch Division der Traglast bzw. der elastischen Grenzlast (Bemessungswerte der Einwirkungen) durch den Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen  $\gamma_F$ .

Den besonderen Eigenschaften des Gerüstbaus entsprechend wurde eine Überhöhungsleiste in Rechnung gestellt. Die Höhe wurde vereinfachend für jede untersuchte Trägerlänge so festgelegt, daß die Durchbiegungen für den möglichen Maximalwert infolge  $q_z = M_{Pl,y,d} \cdot 8 / L^2 \cdot \gamma_F$  ( $\gamma_F = 1,5$ ) zuzüglich eines Anfangswertes von 1 cm ausgeglichen werden. Horizontal- und Vertikallasten wurden in Höhe der Oberkante der Überhöhungsleiste wirkend angesetzt, wobei die parabolische Form durch Abschnitte mit konstanter Höhe approximiert wurde.

### 3. Berechnungsergebnisse

Im Bild 3 ist die Verdrehung eines HE 500 B mit 10m Stützweite über der Vertikallast  $q_z$  aufgetragen. Als Horizontallast  $q_y$  wurde hier ein praxisnaher Wert mit 3 % von  $q_z$  angesetzt. Die seitliche Vorauslenkung und die Höhe der Überhöhungsleiste wurde wie zuvor beschrieben in Rechnung gestellt. Die elastische Grenzlast wird bei  $q_{z,d,EI} = 37,0 \text{ kN/m}$  erreicht, die Traglast beträgt  $q_{z,d,Pl} = 44,7 \text{ kN/m}$ . Der Obergurt des Trägers ist dabei zur Hälfte plastiziert. Bei Reduzierung der Vorauslenkung steigt die elastische Grenzlast auf  $q_{z,d,EI} = 39,6 \text{ kN/m}$ . Der Tragfähigkeitsgewinn durch Anwendung des Nachweisverfahrens Plastisch/Plastisch beträgt somit 13%, bei unveränderter Vorauslenkung sogar 21%.

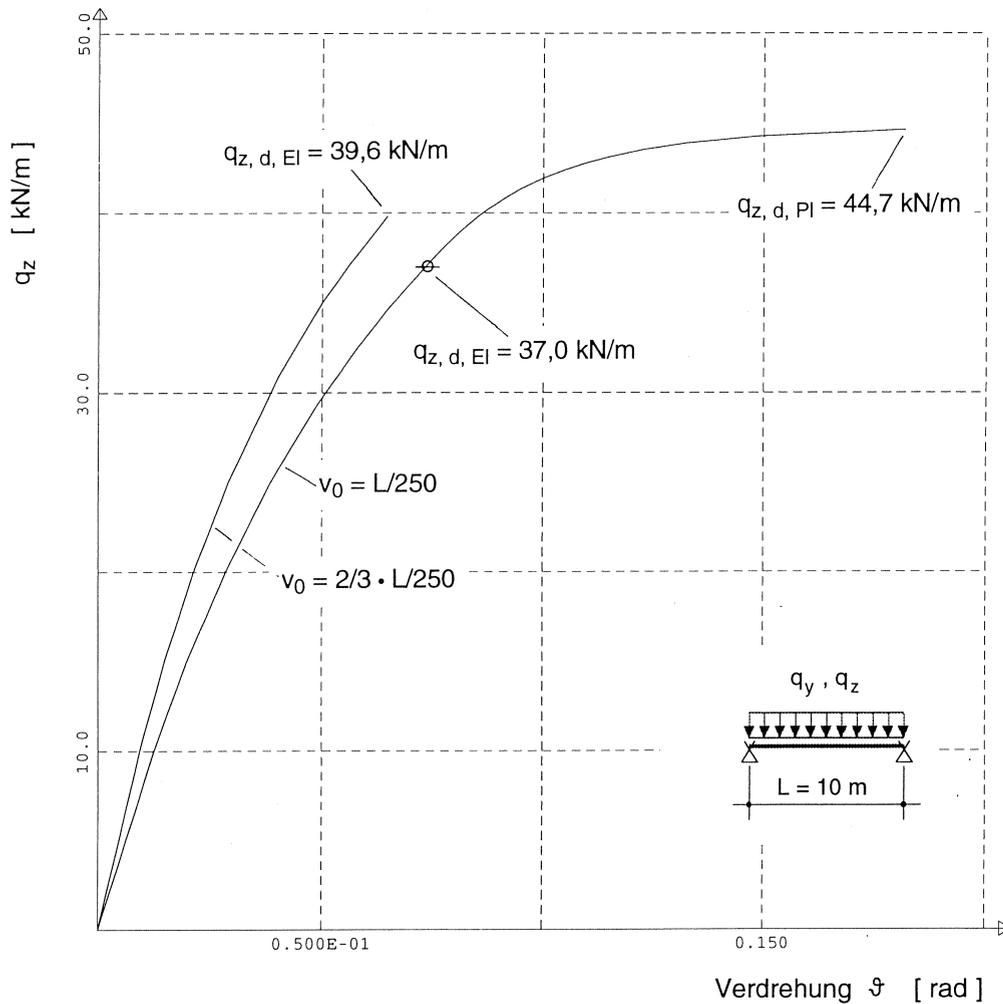
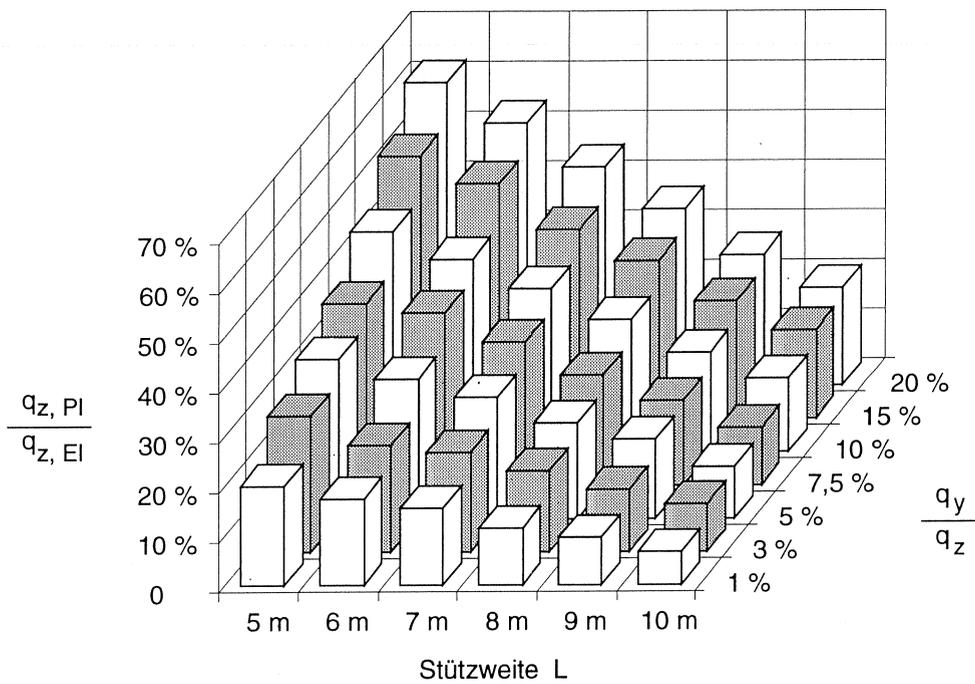
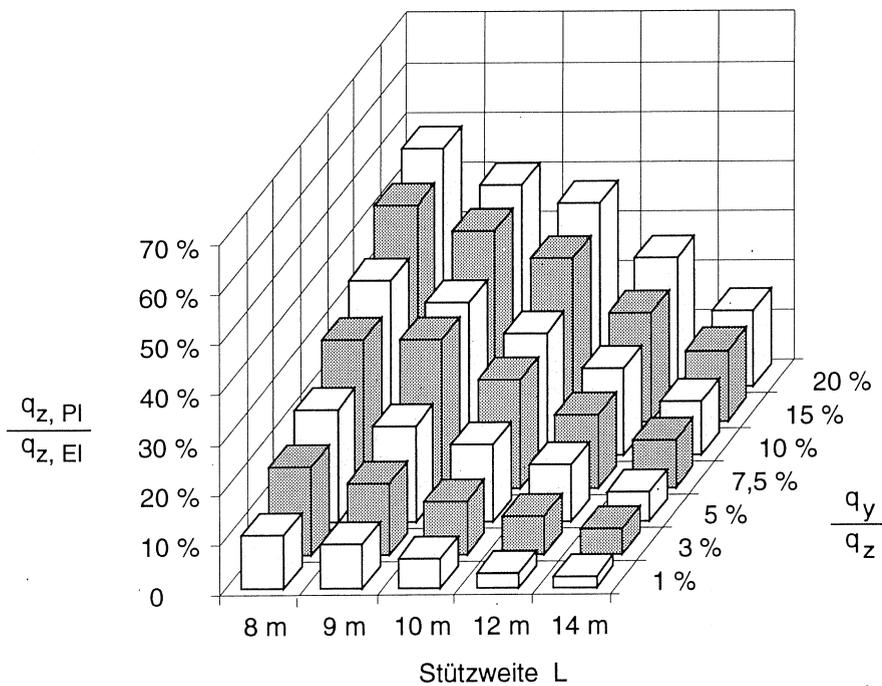


Bild 3: Verdrehung eines HE 500 B in Feldmitte,  $q_y / q_z = 3 \%$

Im Bild 4 sind die Ergebnisse der entsprechenden Berechnungen für die Profile HE 300 B und HE 500 B mit unterschiedlichem Lastverhältnis  $q_y / q_z$  und Stützweite  $L$  dargestellt. Der Tragfähigkeitsgewinn steigt mit zunehmendem Horizontallastanteil und abnehmender Stützweite und erreicht Werte bis zu ca. 60%. Ursache für dieses Verhalten ist das große Plastizierungsvermögen des I-Profiles bei Beanspruchung durch Biegemomente  $M_z$  und der geringe Einfluß des Wölbbimoments  $M_w$  auf die Traglast. Die Längsspannungen infolge  $M_y$ ,  $M_z$  und  $M_w$  überlagern sich bei der Berechnung nach der Elastizitätstheorie dagegen nur an einem Querschnittspunkt ungünstigst, so daß die Fließgrenze dort - im Vergleich zur Traglast des Trägers - bereits bei geringen Lasten erreicht wird. Bei großen Stützweiten und geringen Horizontallastanteilen dominiert das Stabilitätsverhalten, so daß der Tragfähigkeitsgewinn geringer ausfällt.



a) HE 300 B



b) HE 500 B

Bild 4: Verhältnis der Bemessungswerte der Einwirkungen, berechnet nach den Verfahren Plastisch / Plastisch zu Elastisch /Elastisch

Bild 5 zeigt die Traglasten  $q_{z,d,Pl}$  (Bemessungswerte der Einwirkungen) nach dem Verfahren Plastisch/Plastisch für das HE 500 B-Profil in Abhängigkeit von der Stützweite  $L$  und dem Lastverhältnis  $q_y / q_z$ .

Bei den im Traggerüstbau üblichen Verhältnissen mit  $q_y / q_z < 10\%$  liegt der Tragfähigkeitsgewinn durch Anwendung des Berechnungsverfahrens Plastisch/Plastisch gegenüber der Berechnung nach der Elastizitätstheorie bei 10-30% und besitzt somit erhebliche wirtschaftliche Bedeutung.

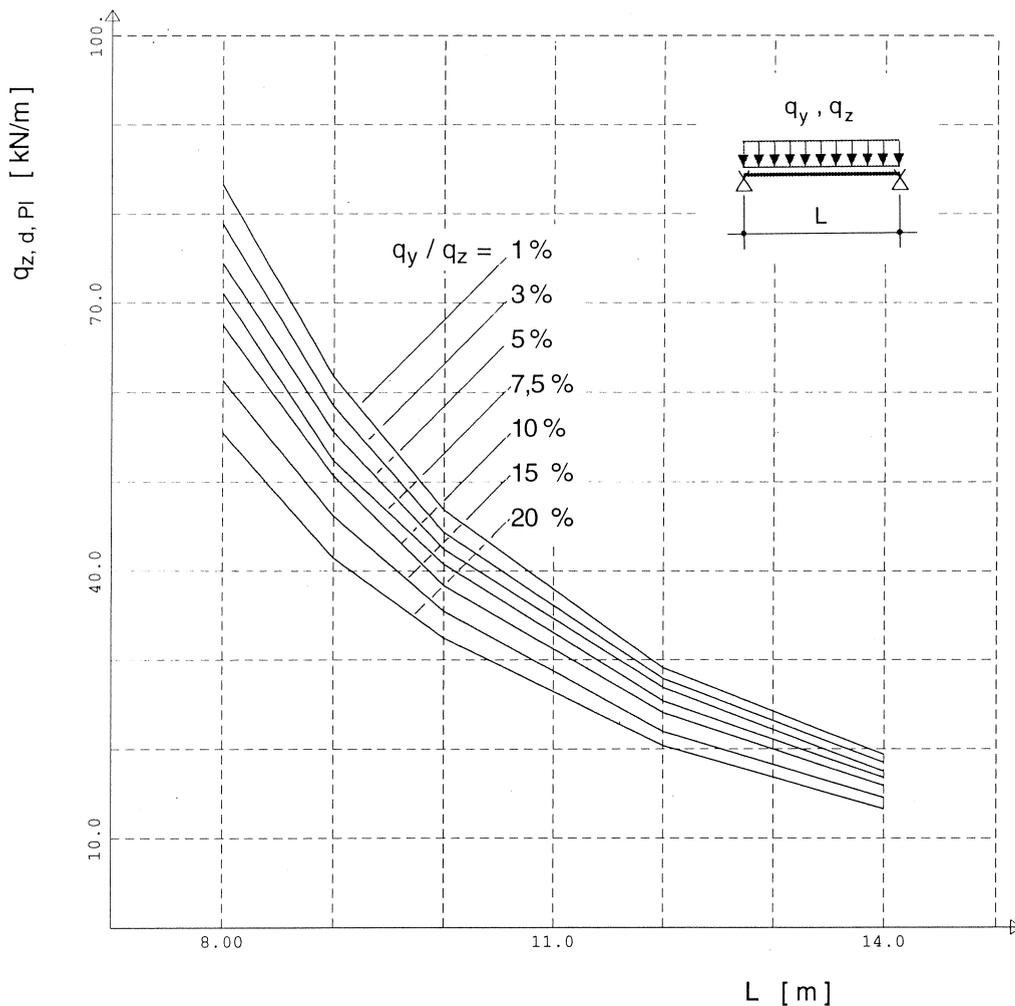


Bild 5: Bemessungswerte der Einwirkungen für Längsträger HE 500 B / St 37

## Literatur

- /1/ DIN 4421, August 1980: Traggerüste; Berechnung, Konstruktion und Ausführung.
- /2/ Roik, K., Carl, J., Lindner, J.: Biegetorsionsprobleme gerader, dünnwandiger Stäbe. Verlag Wilhelm Ernst&Sohn, Berlin, 1972.
- /3/ DIN 18 800, November 1990: Stahlbauten;  
Teil 1: Bemessung und Konstruktion.  
Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken.
- /4/ SIGMA KARLSRUHE: Kipp-Kurven IPB-Reihe. Interne Anwendungsunterlagen, Karlsruhe, 1978.
- /5/ HÜNNEBECK GmbH: Gebrauchslasten für kippgefährdete Walzprofilträger. Anwender-Information, Ratingen, 1985.
- /6/ Höss, P., Heil, W., Vogel, U.: Bemessung von Einfeld- und Durchlaufträgern aus rundkantigem U-Stahl (DIN 1026) nach dem Traglastverfahren. Bericht P 174 der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 1991.
- /7/ Werner, H.: Untersuchungen zum Thema Biegedrillknicken von I-Profilen: Gabelgelagerte Einfeldträger mit planmäßiger Torsion. Diplom-Arbeit an der Universität Karlsruhe, 1993.
- /8/ KIDU: Biegedrillknick- und Kippverhalten von Durchlaufträgern im elastisch-plastischen Bereich unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Lagerungsbedingungen. EDV-Programm entstanden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Durchlaufträger Kipp-Problem“, unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG Ste 10/33, 1982.