

Zur Berechnung von Platten mit schwacher Querbewehrung

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 6

bast

Zur Berechnung von Platten mit schwacher Querbewehrung

von

Rolf Kaschner

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 6

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht Ergebnisse aus ihrer Arbeit, vor allem Forschungsvorhaben, in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A – Allgemeines
- B – Brücken- und Ingenieurbau
- F – Fahrzeugtechnik
- M – Mensch und Sicherheit
- S – Straßenbau
- V – Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Am Alten Hafen 113–115, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 4 60 93-95, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 92726:
Platten mit schwacher Querbewehrung

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43-0
Telefax (0 22 04) 43-8 32

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 4 60 93-95
Telefax (04 71) 4 27 65

ISSN 0943-9293

ISBN 3-89429-581-3

Bergisch Gladbach, Februar 1995

Kurzfassung · Abstract · Résumé

Zur Berechnung von Platten mit schwacher Querbewehrung

Gegenwärtig wird in den neuen Bundesländern der vorhandene Straßenbrückenbestand einer umfassenden Tragfähigkeitsbewertung unter Erfassung und Berücksichtigung des aktuellen Bau- und Erhaltungszustandes unterzogen.

Im Zuge der Nachrechnung kann bei der Einstufung älterer Plattentragwerke in Lastklassen nach DIN 1072 die Nebentragrichtung bei gleichzeitig vorhandenen Tragreserven der Hauptspannrichtung tragfähigkeitsbestimmend werden. Dies trifft vor allem für solche Bauwerke zu, deren Bemessung auf die Betrachtung eines „Meterstreifens“ zurückgeführt wurde, und die aus heutiger Sicht oftmals eine zu geringe Querbewehrung erhielten.

Mit einem veränderten Rechenmodell zur Schnittgrößenbestimmung gelingt es, vorhandene Bauwerksreserven zu erschließen. Dazu werden dem Benutzer Hilfsmittel in Form von Schnittgrößentafeln sowie Erläuterungen und Hinweise zur Anwendung des Berechnungsverfahrens zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel veranschaulicht die durchzuführenden Bearbeitungsschritte.

Die Anwendung der aufgestellten Berechnungshilfsmittel darf auf andere plattenartige Bauweisen, wie nicht randverstärkte Balkenreihen oder Platten mit Stahlträger in Beton, ausgedehnt werden, wenn deren Steifigkeitsverteilungen den getroffenen Festlegungen näherungsweise entsprechen.

Das beschriebene Berechnungsmodell erfaßt die tatsächliche Tragwirkung der zu untersuchenden Bauwerke mit schwacher Querbewehrung realitätsnäher und unterstützt so eine unter Beachtung des Bau- und Erhaltungszustandes zutreffendere Tragfähigkeitsbewertung bei Einhaltung des vorgeschriebenen Sicherheitsniveaus.

The calculation of slabs with low dimensioned transverse reinforcement

A comprehensive survey is currently carried out in the new federal states in order to assess the existing road bridges as to the current condition of the structures.

When older slab bridges are re-calculated in order to classify them in accordance with the German standard DIN 1072, it is often found that the structure's bearing property is determined by its trans-

verse stress, in spite of existing bearing capacity reserves in main span direction. This is especially true for bridges designed on the basis of a "meter strip" (longitudinal section of 1 meter width), presenting an insufficient transverse reinforcement from today's point of view.

With a modified calculation model for the intersection forces, the structure's bearing capacity margins can be ascertained. The user is assisted by means of tables on the intersection forces and by explanations and instructions on the use of the calculation methods. The different steps of processing are illustrated by means of an example.

The calculation procedures developed may also be applied to similar slab-type structures – as for instance precast concrete beam bridges without stiffened edge and slabs with steel girders incased in concrete – under the condition that their stiffness distributions approximately correspond to the used values.

The calculation model described is able to give a more realistic record of the actual bearing capacity of structures with poor transverse reinforcement and thus contributes to a more accurate assessment of the bearing property under observance of the specified safety levels, taking account of the structural condition.

Le calcul des dalles à faible armature transversale

La capacité portante des ponts routiers dans les nouveaux Länder fait actuellement l'objet d'une évaluation approfondie, tenant compte de l'état actuel des ouvrages en ce qui concerne la construction et l'entretien.

Au cours du calcul des anciens ponts-dalle, effectué afin de les ranger par classes de charge selon la norme allemande DIN 1072, il devient souvent manifeste que la capacité portante de l'ouvrage dans son ensemble est déterminée par la force portante transversale, en dépit de réserves de portance de la portée principale. Ceci est surtout le cas quand le dimensionnement de l'ouvrage en question était basé sur le calcul d'une «section mètre» (section longitudinale d'un mètre de largeur), résultant souvent, dans l'optique d'aujourd'hui, dans une armature transversale trop faible.

La modification du modèle de calcul pour la déter-

mination des efforts dans une section permet de faire ressortir les réserves de portance de l'ouvrage. A cet effet, des instruments de travail tels que des tableaux des efforts dans la section ainsi que des explications et instructions relatives à l'usage des procédés de calcul sont mis à la disposition de l'utilisateur. Les étapes de travail sont illustrées à l'aide d'un exemple.

Les moyens de calcul mis au point peuvent aussi être appliqués à d'autres ouvrages à dalles – tels que des séries de poutres non renforcées ou des dalles à poutrelles d'acier encastrées en béton – si leurs distributions de rigidité correspondent approximativement aux conditions établies ici.

Le modèle de calcul présenté est capable de déterminer de façon très précise la vraie capacité portante des ouvrages d'art à faible armature transversale. Il contribue ainsi à une évaluation plus exacte de la capacité portante en observant le niveau de sécurité demandé, tenant compte de l'état de construction et d'entretien de l'ouvrage d'art.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Ermittlung der Schnittgrößen	7
2.1	Rechenmodell	7
2.2	Theoretische Grundlagen	8
2.3	Berechnungsumfang	10
3	Erläuterungen zur Anwendung der Schnittgrößentafel	12
3.1	Allgemeine Hinweise	12
3.2	Nachweisalgorithmus	14
4	Anwendungsbeispiel	15
5	Zusammenfassung	20
6	Literatur	20
	Anhang	21
	Schnittgrößentafeln	1 -21

1. Einleitung und Problemstellung

Gegenwärtig wird in den neuen Bundesländern der vorhandene Straßenbrückenbestand einer umfassenden Tragfähigkeitsbewertung unterzogen, um einerseits die Sicherheit des gestiegenen Straßenverkehrs zu gewährleisten und andererseits durch geeignete Neu- und Ausbaumaßnahmen Schwachstellen auf dem Brückensektor wirksam und rasch zu beseitigen. Grundlage zur Beurteilung ist die Tragfähigkeitseinstufung der bestehenden Straßenbrücken in Lastklassen nach DIN 1072 unter Erfassung und Berücksichtigung des aktuellen Bau- und Erhaltungszustandes der Tragwerke. Zur Unterstützung der Straßenbauverwaltungen hat das Bundesverkehrsministerium eine Richtlinie /1/ mit verschiedenen Hilfsmitteln u.a. auch zu Plattentragwerken erlassen.

Infolge der Vernachlässigung des Verkehrswegebau in der ehemaligen DDR ist hinsichtlich des Straßenbrückenbestandes eine Altersstruktur mit einer überwiegenden Anzahl von älteren Bauwerken, die bereits vor Ende des 2. Weltkrieges errichtet wurden, zu verzeichnen. Seitdem wurden die Vorschriften, nach denen diese Tragwerke geplant und bemessen wurden, mehrfach an den sich entwickelnden Erkenntnisstand angepaßt. So ist beispielsweise mit Inkrafttreten der DIN 1075 "Massive Brücken, Berechnungsgrundlagen", Ausgabe August 1951 erstmals die Plattentheorie als verbindliche Berechnungsgrundlage zur Ermittlung von Plattenschnittgrößen vorgeschrieben und damit das bisherige auf der Betrachtung eines "Meterstreifens" beruhende Näherungsverfahren abgelöst worden. Die Bemessung von zweiseitig gestützten Platten auf der Grundlage der mit dieser Näherungsmethode berechneten Schnittgrößen ergibt aus heutiger Sicht im allgemeinen eine zu geringe erforderliche Querbewehrung. Die erhöhten Verkehrslastannahmen, die infolge der stark gestiegenen und schwerer gewordenen Straßenverkehrsbelastung insbesondere im Überhol- und Begegnungsverkehr in der Lastvorschrift 1072 ergänzt worden sind, wirken verschärfend.

Bei der Nachrechnung älterer Plattentragwerke im Zuge der gegenwärtig durchgeführten Tragfähigkeitsbewertung auf der Grundlage der geltenden Lastvorschrift DIN 1072 mit einer doppelspurigen Anordnung von Regelfahrzeugen kann die Nebentragrichtung für die Einstufung in eine Lastklasse bestimmend werden, obwohl die

Haupttragrichtung oft noch größere Reserven aufweist.

Mit einem veränderten Rechenmodell zur Schnittgrößenbestimmung gelingt es, diese Bauwerksreserven zu erschließen.

Für Straßenverkehrslasten nach TGL 42701/01, die ebenfalls eine zweiseitige Anordnung der Regelfahrzeuge vorsah, wurde bereits im Zuge der Umstellung der Berechnungsverfahren nach Grenzzuständen in der früheren DDR diese Vorgehensweise verwendet, indem Schnittgrößenwerte für Plattentragwerke unter Ansatz abgestufter orthotroper Steifigkeitsverhältnisse ermittelt und in /2/ niedergelegt wurden.

Die vorliegenden Ausführungen setzen diese Arbeit für die Verkehrslastannahmen der DIN 1072 fort. Unter Beachtung des Bau- und Erhaltungszustandes werden Möglichkeiten aufgezeigt, vorhandene Tragreserven zu erschließen und für den Tragfähigkeitsnachweis zu nutzen. Damit wird eine ökonomisch sinnvolle Tragfähigkeitsbewertung älterer Brückenbauwerke unterstützt. Im Hinblick auf den enormen Finanzbedarf zur Erneuerung des Verkehrswegesystems in den neuen Bundesländern gewinnen Lösungen zur Tragwerkserhaltung auch mit kurz- und mittelfristig begrenzter Nutzungsdauer zunehmend an Bedeutung.

2. Ermittlung der Schnittgrößen

2.1. Rechenmodell

Die Schnittgrößenberechnung von Stahlbetonplattentragwerken erfolgt heute auf der Grundlage der Plattentheorie, bei der im allgemeinen ein isotropes linear elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt wird. Die anschließende Bemessung wird im Regelfall im Bruchzustand durchgeführt. Eine ausreichende Tragsicherheit liegt dann vor, wenn der betreffende Querschnitt im Bruchzustand mindestens die mit einem vom Versagensfall abhängigen Sicherheitsbeiwert multiplizierten Schnittgrößen unter Gebrauchslasten aufnehmen kann.

Im Fall der in Querrichtung schwachbewehrten Platten wird beim Nachweis der maßgebenden Querschnitte zuerst die Nebentragrichtung keine ausreichende Sicherheit aufweisen. Verfügt jedoch die Haupttragrichtung über entsprechende

Sicherheitsreserven, so können diese nach folgendem mechanischem Modell in Anspruch genommen werden.

Die offensichtliche Überlastung in Querrichtung bewirkt eine frühe Querschnittsschwächung durch den teilweisen Übergang vom ungerissenen Zustand I zum Zustand II mit partiell gerissener Zugzone, während die Längsrichtung im ungerissenen Zustand verbleibt bzw. die Querschnittsschwächung geringer ausfällt. Damit ändern sich aber die wirksamen Steifigkeitsverhältnisse in den betrachteten Nachweisrichtungen. Die anfänglich vorliegende Isotropie geht in eine stärker werdende Orthotropie über. Dieser Sachverhalt soll bereits bei der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt werden. Die Verringerung der Querbiegesteifigkeit infolge der Querschnittsschwächung bewirkt eine Schnittgrößenumlagerung in die Haupttragrichtung und entlastet die Nebentragrichtung. Die so berechneten Schnittgrößen werden für die zu führenden Nachweise im Bruchzustand für beide Bewehrungsrichtungen benutzt. Werden mit diesen umgelagerten Schnittgrößen in Haupt- und Nebentragrichtung ausreichende Sicherheiten festgestellt, dann besitzt das Bauwerk eine auf einem einheitlichen Sicherheitsniveau basierende ausreichende Tragfähigkeit unter der vorliegenden Belastung. Die Festlegung des zutreffenden Biegesteifigkeitsverhältnisses von Quer- zu Längsrichtung wird - beginnend von einer ersten Schätzung - solange iterativ verändert, bis entweder in beiden Bewehrungsrichtungen die Nachweise und damit die Tragsicherheit erbracht werden können oder die Tragreserven der Hauptrichtung erschöpft sind, bevor der Nachweis in der Querrichtung gelingt. Dann liegt allerdings keine ausreichende Sicherheit für die vorhandene Belastung vor.

Das Modell der Balkenreihe stellt den Grenzfall dieser Betrachtungsweise dar, bei der durch eine Querschnittszerlegung in idealisierte Balkenelemente eine Abtragung von Momenten in Querrichtung ausgeschlossen wird.

Die Zulässigkeit der Berechnung von Plattenbrücken mit geringer Querbewehrung als Balkenreihe fand bereits Eingang in die frühere DDR-Vorschrift TGL 12999 "Nachrechnung bestehender Straßenbrücken". Allerdings bleiben bei dieser Grenzbetrachtung vorhandene Bauwerksreserven der Nebentragrichtung ungenutzt, denn tatsächlich wird sich ein Tragverhal-

ten mit einer verminderten, jedoch in der Regel oberhalb von Null liegenden, wirksamen Querbiegesteifigkeit einstellen.

Auf der Grundlage des Modells der "orthotropen Platte" sollen daher für zweiseitig gestützte Einfeldplatten (Platten als Haupttragwerk) mit abgestuften Querbiegesteifigkeiten Schnittgrößen für Eigen- und Verkehrslasten nach DIN 1072 zur Verfügung gestellt werden, die eine genauere Nachweisführung ermöglichen.

2.2. Theoretische Grundlagen

Die in Querrichtung schwach bewehrten Platten werden als orthotrope Tragwerke mit beliebig veränderlicher Querbiegesteifigkeit modelliert. Für die Schnittgrößenermittlung wird die Theorie der orthotropen Platte benutzt, die durch die partielle Differentialgleichung 4. Ordnung

$$K_x \cdot \frac{\partial^4 w(x,y)}{\partial x^4} + 2C \cdot \frac{\partial^4 w(x,y)}{\partial x^2 \partial y^2} + K_y \cdot \frac{\partial^4 w(x,y)}{\partial y^4} = p(x,y) \quad (1)$$

mit

- K_x - Biegesteifigkeit in x-Richtung
- K_y - Biegesteifigkeit in y-Richtung
- C - Drillsteifigkeit

beschrieben wird. Es gelten ferner die bekannten Voraussetzungen der einfachen KIRCHHOFF'schen Plattentheorie

- Ebenbleiben der Querschnitte ($d \ll L$)
- kleine Verformungen ($w \ll d$)
- linear elastisches Materialverhalten (HOOKE'sches Gesetz).

Zur numerischen Lösung der partiellen Plattendifferentialgleichung wurde das Differenzenverfahren benutzt. Die theoretischen Ableitungen dazu sind in /3/ und eine Beschreibung des eingesetzten Rechenprogrammes in /4/ enthalten.

Die gewählten Steifigkeiten werden idealisierend über den Plattengrundriß als konstant verteilt angenommen. Für den Sonderfall der isotropen Platte sind Quer- und Längsbiegesteifigkeit gleich ($K_y = K_x$), während für die reine Balkenreihe die Querbiegesteifigkeit Null ist ($K_y = 0$). Mit der Einführung der Größe $k = K_y/K_x$ im Bereich von $k = 0; \dots; 1$ werden abgestufte

Biegesteifigkeitsverhältnisse erfaßt. Bei Verringerung der Querbiegesteifigkeit verändert sich auch das Drillverhalten der Plattenkonstruktion.

Eine isotrope Platte besitzt mit

$$C = 0,4 \cdot K$$

und $K = K_x = K_y$ sowie $\mu = 0,2$

eine wesentlich höhere Drillsteifigkeit als z.B. eine reine Balkenreihe. Die Drill- bzw. Torsionssteifigkeiten orthotroper Konstruktionen können allerdings meist nur recht aufwendig ermittelt werden. Oft lassen sich genaue Werte nur experimentell am konkreten Tragwerk bestimmen.

Mit der Gleichung nach HUBER /4/

$$C = \frac{1}{2} (1 - \sqrt{\mu_x \mu_y}) \sqrt{K_x K_y} \quad (2)$$

mit

μ_x - Querdehnung in x-Richtung

μ_y - Querdehnung in y-Richtung

gewinnt man einen Näherungswert für die Drillsteifigkeit, die von den vorhandenen Biegesteifigkeiten abhängt. Allerdings versagt Gleichung (2) für den Grenzfall der Balkenreihe. Aus $K_y = 0$ würde auch $C = 0$ folgen, was jedoch dem mechanischen Modell widerspricht.

Einen anderen Zugang zur Drillsteifigkeit erhält man über die Beziehung

$$C = \frac{E \cdot I_T}{8 \cdot b \cdot (1 + \mu)} \quad (3)$$

mit

E - Elastizitätsmodul

I_T - Torsionsträgheitsmoment

b - Verteilungsbreite

μ - Querdehnzahl.

Für den Sonderfall der isotropen Platte liefern die Gleichungen (2) und (3) das gleiche Ergebnis. Allerdings hat die Beziehung (3) den Nachteil, daß zur Bestimmung von I_T der Plattenquerschnitt in ideale Teilflächen der Breite b und der Höhe h zerlegt werden muß, deren größtmögliche Festlegung für vorgegebene Biegesteifigkeitsverhältnisse k schwierig ist.

Mit der Gleichsetzung der beiden Beziehungen (2) und (3) gelingt es, sowohl diesen Mangel zu überwinden als auch durch geeignete Extrapolation einen vernünftigen Drillsteifigkeitswert für den Fall der Balkenreihe ($K_y = 0$) anzugeben.

Die Bilder 1 und 2 zeigen die funktionalen Zusammenhänge zwischen dem Biegesteifigkeitsverhältnis k und der Drillsteifigkeit C einerseits und dem Seitenverhältnis der idealen Teilflächen andererseits.

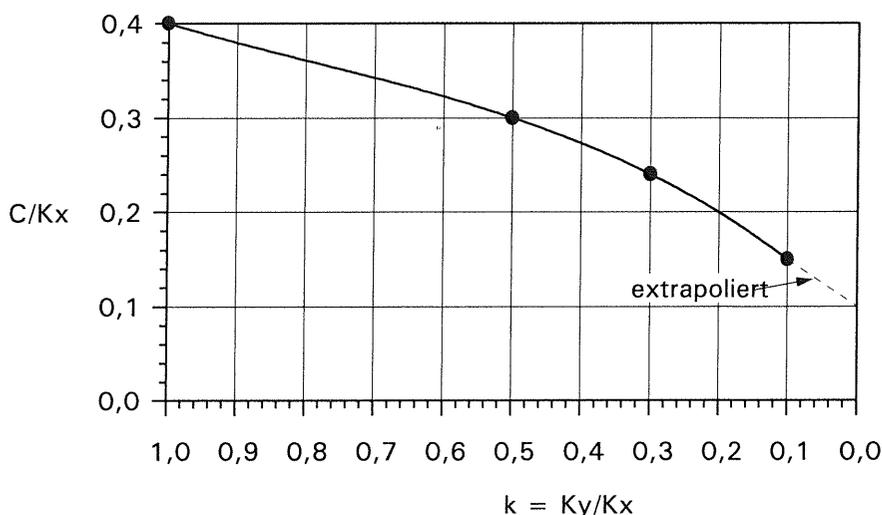


Bild 1: Abhängigkeit zwischen Drillsteifigkeit und Biegesteifigkeitsverhältnis

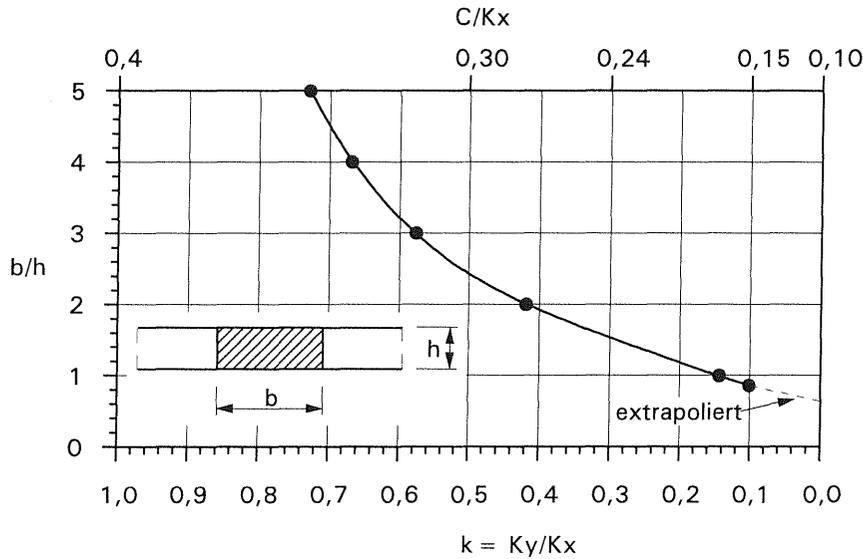


Bild 2: Idealierte Querschnittsteilung in Abhängigkeit der Steifigkeitsverhältnisse

2.3. Berechnungsumfang

Zur Begrenzung des Bearbeitungsumfanges für die Bereitstellung von Berechnungshilfsmitteln werden in Anlehnung an bereits bestehende Unterlagen für zweiseitig gestützte Einfeldplatten nachfolgende Festlegungen und Annahmen getroffen:

- **Geometrie und Steifigkeiten**

- System: zweiseitig frei drehbar, starr gestützte Einfeldplatte
- Seitenverhältnis: $B/L = 0,5 ; \dots ; \infty$
- Stützweite: $L = \dots 20 \text{ m}$
- Schiefe: $\varphi = 90^\circ$
- Biegesteifigkeitsverhältnis: $k = K_y/K_x = 0 ; \dots ; 1$
- Drillsteifigkeit:

$k = K_y/K_x$	C/K_x
1,0	0,40
0,5	0,30
0,3	0,24
0,1	0,15
0,0	0,10

- Querdehnzahl: $\mu_y = k \mu_x$ mit $\mu_x = 0,2$
- Lagerung: starre Linienlagerung.

Die Unterteilung der Parameterbereiche Plattenstützweite, Seiten- und Steifigkeitsverhältnis erfolgte so, daß eine lineare Interpolation von Zwischenwerten im gesamten Tafelbereich gewährleistet ist. Die Beschränkung der Plattenschiefe auf $\varphi = 90^\circ$ ist wegen der überwiegend vorhandenen Anzahl rechtwinkliger Systeme der betrachteten Tragwerkskategorie begründet.

Platten mit einer geringen Schiefwinkligkeit ($\varphi \geq 80^\circ$) können mit einem rechtwinkligen Ersatzsystem unter Beibehaltung der Seitenlängen berechnet werden, während Bauwerke größerer Schiefe ($\varphi < 80^\circ$) insbesondere wegen der Schnittgrößen- bzw. Spannungskonzentration im Bereich der stumpfen Ecke eine gesonderte Betrachtung erfordern.

- **Aufpunkte und Schnittgrößen**

Mit der Begrenzung der Untersuchung auf rechtwinklige Systeme werden hinsichtlich der zu betrachtenden Aufpunkte und Schnittgrößen (Bild 3) einige Vereinfachungen möglich. Entsprechend den Bezeichnungen nach /6/ fällt zunächst für $\varphi = 90^\circ$ der Aufpunkt C mit A in der Mitte des freien Plattenrandes zusammen. In Plattenmitte (Aufpunkt B) werden die negativen Quermomente infolge Verkehrslast durch die Eigenlast überdrückt, so daß die Betrachtung des Lastfalls $\min M_2 = \min M_y$ entfallen kann. Im Bereich der Plattenecke bewirkt eine zunehmende Reduzierung der Querbiege-

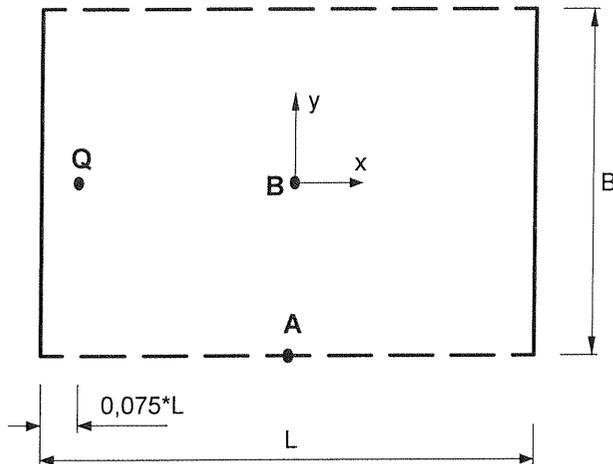


Bild 3: Plattengeometrie und Aufpunkte

und Torsionssteifigkeit eine Abminderung der Hauptmomente sowie eine Verringerung der Abweichungen zwischen Hauptmomenten- und Koordinatenrichtungen. Eine Berücksichtigung der tatsächlich geometrisch möglichen Randstellung der Verkehrslasten verstärkt diesen Effekt, so daß für die vorliegenden Grenzbetrachtungen eine Vernachlässigung des Aufpunktes E gerechtfertigt ist.

Für einen gegebenenfalls erforderlichen Schubnachweis werden im auflagernahen und für eine zweisepurige Verkehrsbelastung maßgebenden Punkt Q Werte bereit gestellt. Der Aufpunkt-Abstand von der Auflagerlinie wurde mit $0,075 \cdot L$ stützweitenabhängig vereinbart. Beim Schubnachweis darf die Querkraft infolge auflagernaher Einzellasten abgemindert werden. Nach Abschnitt 17.5, DIN 1045 ist die Querkraft im Abstand $0,5 \cdot$ Nutzhöhe vom Auflagerrand bei direkter Unterstützung zu ermitteln. Neuere Ansätze [7] definieren einen Abstand von $1,5 \cdot$ Nutzhöhe. Die hier gewählte Aufpunkt-lage liegt im allgemeinen zwischen beiden Werten. Aufgrund der Definition von bezogenen Querkraftgrößen dürfen diese Werte für den gesamten auflagernahen Bereich als zutreffend angenommen werden.

Damit kann die Auswertung auf folgende Aufpunkte und Schnittgrößen beschränkt werden:

- Aufpunkt A und Lastfall $\max M_1 = \max M_x$
- Aufpunkt B und Lastfall $\max M_1 = \max M_x$
- Aufpunkt B und Lastfall $\max M_2 = \max M_y$
- Aufpunkt Q und Lastfall $\max Q_{xm}$.

• Lastfälle

Es werden bezogene Schnittgrößenwerte für folgende Lastfälle bereitgestellt:

- Eigengewicht mit Einheitsbelastung $g = \text{const.}$ auf der gesamten Platte
- Randlinieneinheitslast $g_r = \text{const.}$ an einem freien Plattenrand
- Verkehrsregellast Brückenklasse 60/30 nach DIN 1072
- Verkehrsregellast Brückenklasse 30/30 nach DIN 1072
- Verkehrsregellast Brückenklasse 16/16 nach DIN 1072.

• Belastungsanordnung und Lastverteilung

Als maßgebende Laststellung wurde grundsätzlich eine Fahrzeuganordnung mit einer Radlast im Aufpunkt gewählt. Bezogen auf den am freien Rand liegenden Aufpunkt A wurden daher Randmomente mit einer theoretischen Radlaststellung am Rand der Berechnungsplatten ermittelt. Bei einer nach dem Platteninneren verschobenen Fahrzeugstellung, zum Beispiel durch die Lage des Schrammbordes bedingt, dürfen die Randmomente im Aufpunkt A in bekannter Weise mittels der Verwendung eines parabolischen M_x -Verlaufes zwischen Plattenrand und -mitte abgemindert werden.

Der durchgeführten Schnittgrößenermittlung infolge Verkehrsbelastung liegt eine Radlastverteilung t unter Verwendung einer quadratischen Radersatzaufstandsfläche und einer unter 45° bis zur Mittelebene der tragenden Konstruktion wirkenden Lastverteilung zugrunde. Wegen der zweisepurigen Verkehrsbelastung ist diese durch den Fahrzeugabstand geometrisch auf 1 m begrenzt. Der Einfluß der Lastverteilung ist im vorliegenden Fall jedoch sekundär, da die ermittelten Schnittgrößen nur in bezogener Form weiter verwendet werden.

• Ergebnisse und Darstellung

Die unter Verwendung der oben angegebenen abgestuften Biegesteifigkeitsverhältnisse ermittelten Schnittgrößen werden getrennt nach Aufpunkten, Lastfällen und Schnittgrößen in eine auf isotrope Plattenverhältnisse bezogene Form unter Beachtung eines Spreizungsfaktors für eine interpolierbare Darstellung umgerechnet

und grafisch dargestellt:

$$\delta_k = \sqrt{\frac{1}{B/L}} \cdot \frac{S_k}{S_{k=1}} \quad (4)$$

mit

- δ_k in den Tafeln 1 bis 21 dargestellte Anpassungsfaktoren
- S_k gesuchte Schnittgröße für beliebiges Biegesteifigkeitsverhältnis k
- $S_{k=1}$ vorhandene Schnittgröße bei isotroper Plattensteifigkeit.

Die Benutzung bezogener Schnittgrößenfaktoren δ_k sichert eine relative Unabhängigkeit der Ergebnisse von den im einzelnen Anwendungsfall eingesetzten Verfahren zur Ermittlung der isotropen Ausgangsschnittgrößen $S_{k=1}$.

Die Ergebnistafeln sind so gestaltet, daß die Faktoren δ_k für ein festes Biegesteifigkeitsverhältnis k als Kurvenscharen der gewählten Seitenverhältnisse B/L in Abhängigkeit der Stützweite L dargestellt sind. Wegen der gegebenenfalls erforderlichen Interpolation, die stets linear ausgeführt werden darf, sind auch die trivialen Kurvenwerte für $k=1$ aufgenommen worden.

• Anwendungsgebiete

Die vorliegenden Rechenhilfsmittel sind in ihrem Anwendungsgebiet für die Nachrechnung von Plattentragwerken mit geringer Querbewehrung konzipiert. Jedoch können die Unterlagen auch zur Ermittlung oder größenmäßigen Abschätzung der Schnittgrößen anderer plattenartiger Konstruktionen verwendet werden, vorausgesetzt deren Steifigkeitsverhältnisse korrespondieren mit den hier verwendeten Relationen. Dies sind zum Beispiel Balkenreihensysteme ohne Randverstärkung mit oder ohne Ortbetonplatte. In Betracht kommen ferner auch Platten der Konstruktionsart Stahlträger in Beton unter Beachtung konstruktiver Bedingungen, die als Voraussetzungen für die Anwendung der Plattentheorie zur Schnittgrößenermittlung einzuhalten sind (u.a. Abstandsbeschränkung der Stahlträger und hinreichende konstruktive Querbewehrung zur Verhinderung des Ausweichens der Stahlträger, vgl. auch /8/).

3. Erläuterungen zur Anwendung der Schnittgrößentafeln

3.1. Allgemeine Hinweise

- Die Tafeln 1 bis 21 enthalten auf Momente und Querkräfte für isotrope Steifigkeitsverhältnisse bezogene Anpassungsfaktoren δ_k . Die Schnittgrößen S_k für veränderliche orthotrope Biegesteifigkeitsverhältnisse $k = K_Y/K_X$ bestimmen sich nach folgender Form

$$S_k = d_k \cdot \sqrt{B/L} \cdot S_{k=1} \quad (5)$$

mit

- δ_k Anpassungsfaktoren aus den Tafeln 1 bis 21
- S_k gesuchte Schnittgröße für beliebiges Biegesteifigkeitsverhältnis k
- $S_{k=1}$ vorhandene Schnittgröße bei isotroper Plattensteifigkeit.
- Die Anpassungsfaktoren δ_k werden aufpunkt- und lastfallbezogen für die Parameterbereiche:

Plattenschiefe	$\varphi = 90^\circ$
Seitenverhältnis	$B/L = 0,5; 0,75; 1,0;$ $1,5; 2,00; 4,0 (\infty)$
Stützweite	$L = \dots 20 \text{ m}$

angegeben.

Aus der geometrischen Bedingung einer zweispurigen Verkehrsbelastung und der damit verbundenen theoretischen Mindestplattenbreite von 6 m ergeben sich für die vorliegenden Seitenverhältnisse differenzierte untere Grenzstützweiten, die sich in unterschiedlichen Startpunkten der Kurvenscharen niederschlagen.

- Der Schnittgrößenberechnung liegt eine Querdehnzahl von $\mu=0,2$ zugrunde.
- Zwischenwerte für δ_k dürfen in den definierten Parameterbereichen grundsätzlich durch lineare Interpolation ermittelt werden.
- Für zweiseitig gestützte Platten ist i.a. bei einem Seitenverhältnis $B/L=4$ der Übergang zum Plattenstreifen $B/L=\infty$ erreicht, so daß

die dafür angegebenen Kurvenwerte für alle Seitenverhältnisse oberhalb von 4 gelten. In die obige Beziehung (5) ist jedoch für B/L abweichend zu dem sonstigen Vorgehen bei diesen Geometrieverhältnissen grundsätzlich der Wert 4 einzusetzen. Ausnahmen bilden die Lastfälle Randbelastung, bei denen der Übergang zum Plattenstreifen schon früher erfolgt. Als maßgebender Wert für B/L ist dann in (5) das kleinste angegebene, für den Plattenstreifen zutreffende Seitenverhältnis zu benutzen.

- Als relevante Lastfälle wurden gleichmäßig verteilte Flächenlasten, Randlasten sowie Verkehrslasten für die Brückenklassen 60/30, 30/30 und 16/16 nach DIN 1072 ausgewertet. Unter Randlasten sind Eigen- und Verkehrslastanteile der Kragarme am freien Plattenrand zu verstehen. Für übliche Auskragungen sind die Einflüsse aus Randmomentenbelastung vernachlässigbar klein. In Sonderfällen sind eigene Betrachtungen anzustellen. Die Tafeln erlauben eine getrennte Erfassung der Schnittgrößenanteile aus Randbelastung beider freier Plattenränder.

- Für den Tragfähigkeitsnachweis der Auskragung selbst sind nach DIN 1072 weitere Einwirkungen zu betrachten, die als Einzellasten nur punktwise auftreten, die Plattenmomente nur vernachlässigbar beeinflussen und für das Kragmoment am Kragbalken gesondert ermittelt werden können. Im einzelnen sind dafür neben der Eigenlast noch folgende Einwirkungen und Lastfälle zu berücksichtigen:

- $p = 5 \text{ kN/m} + \text{Seitenstoß einer Radlast des Regelfahrzeuges auf den Schrammbord}$
- Einzelradlast nach DIN 1072, Abschn. 3.3.3.(6) an der Schutzplanke mit Seitenstoß von 25 kN in Höhe Mitte Schutzplanke
- Einzelradlast wie vorstehend in der Geländerebene
- Angaben für andere als die vorgenannten Verkehrslasten können durch folgende Näherungsformeln gewonnen werden:

• **Näherungsformel für Brückenklasse 60; 45 nach DIN 1072 (alt) und TGL 13000:**

$$S_k \left\{ \begin{array}{l} \text{Brkl.60} \\ \text{Brkl.45} \end{array} \right\} \approx \delta_k(\text{SLW}) \cdot \sqrt{B/L} \cdot S_{k=1} \left\{ \begin{array}{l} \varphi \cdot \text{SLW60} \\ \varphi \cdot \text{SLW45} \end{array} \right\} + \delta_k(g = \text{const.}) \cdot \sqrt{B/L} \cdot S_{k=1}(\varphi \cdot p_{\text{HS}} + p_{\text{NS}})$$

$$\text{und } \delta_k(\text{SLW}) = 3 \cdot \delta_k(\text{Brkl.60} / 30) - 2 \cdot \delta_k(\text{Brkl.30} / 30)$$

mit

$S_{k=1}(\dots)$ Schnittgröße infolge der Belastung (...) für isotrope Steifigkeitsverhältnisse

$\delta_k(\dots)$ Anpassungsfaktor für die Belastung (...) bei dem Steifigkeitsverhältnis k

• **Näherungsformel für Brückenklasse 12/12; 9/9 nach DIN 1072:**

$$S_k \left\{ \begin{array}{l} \text{Brkl12/12} \\ \text{Brkl9/9} \end{array} \right\} \leq \left\{ \begin{array}{l} 3/4 \\ 9/16 \end{array} \right\} \cdot S_k(\text{Brkl16/16}) + \left\{ \begin{array}{l} 1/4 \\ 7/16 \end{array} \right\} \cdot S_k(\varphi \cdot p_{\text{HS}} + p_{\text{NS}}) \approx \\ \approx \left\{ \begin{array}{l} 3/4 \\ 9/16 \end{array} \right\} \cdot \delta_k(\text{Brkl16/16}) \cdot \sqrt{B/L} \cdot S_{k=1}(\text{Brkl16/16}) + \left\{ \begin{array}{l} 1/4 \\ 7/16 \end{array} \right\} \cdot \delta_k(g = \text{const.}) \cdot \sqrt{B/L} \cdot S_{k=1}(\varphi \cdot p_{\text{HS}} + p_{\text{NS}})$$

mit den obigen Bezeichnungen.

- Nach DIN 1072 ist im unteren Stützweitenbereich bis 7m auch die Belastung infolge einer definierten Einzelachse zu untersuchen. Bei den hier betrachteten Plattentragwerken wird sie höchstens für sehr kleine Stützweiten bemessungswirksam, so daß auf die Angabe direkter Werte für diesen Lastfall verzichtet wurde. Im Bedarfsfall müssen gesonderte Überlegungen vorgenommen werden.
 - Für die im Zuge der Nachrechnung bestehender Straßenbrücken oftmals geforderte Einstufung in militärische Lastklassen nach STANAG 2021 /9/ dürfen die gültigen Berechnungshilfsmittel (z.B. /10/) in analoger Weise verwendet werden.
 - Die am freien Plattenrand im Aufpunkt A aus einer theoretischen Randstellung der Radlasten gewonnenen Schnittgrößen dürfen auch für orthotrope Steifigkeitsverhältnisse in üblicher Weise unter Ansatz einer parabolisch verlaufenden Hüllkurve zwischen Plattenrand und -mitte für eine im allgemeinen durch die Schrammbordlage davon abweichenden Fahrzeugstellung abgemindert werden.
 - Die Lastverteilung t der Radeinzellasten wurde bei Bestimmung der Anpassungsfaktoren δ_k hinreichend genau erfaßt und kann deshalb für die Ermittlung der Schnittgrößenumlagerung nach (5) außer Betracht bleiben. Sie sollte jedoch bei der Berechnung der Ausgangsschnittgrößen $S_{k=1}$ unbedingt berücksichtigt werden, da sie erheblichen Einfluß auf die Größe der Momenten- und insbesondere der Querkraftanteile besitzt.
 - Die im Aufpunkt Q für die Querkraft ermittelten δ_k - Werte gelten auch für andere auflagernahe Schnitte in Plattenmitte, insbesondere für den durch DIN 1045 bestimmten, von der Nutzhöhe h des tragenden Querschnittes abhängigen maßgebenden Querkraftschnitt für den Nachweis der Schubspannung .
 - Bei der Nachrechnung und Tragfähigkeitseinstufung bestehender Straßenbrücken sind die in /1/ festgelegten Grundsätze zu beachten. Durch Haupt- und Nebenprüfungen ist der Bau- und Erhaltungszustandes zu erfassen und in Form von Bauzustandsnoten zu dokumentieren. Bei den zuführenden Nachweisen sind in Abhängigkeit der vergebenen Bauzustandsnoten die Festlegungen auf der Festigkeitsseite, wie zulässige Spannungen, maßgebende Sicherheiten, vorhandene mitwirkende Querschnitte, zu berücksichtigen.
- ### 3.2. Nachweisalgorithmus
- Für den Nachweis der Tragfähigkeit von Platten mit geringer Querbewehrung unter Verwendung der vorliegenden Berechnungshilfsmittel sind nachfolgende Einzelschritte auszuführen:
- (1.) Ermittlung der Schnittgrößen $S_{k=1}$ (Momente und Querkräfte) für die Normlasten der Lastanteile Eigen- und Randlasten sowie zutreffender Brückenklasse unter der Annahme isotroper Steifigkeitsverhältnisse.
 - (2.) Abminderung der aus einer theoretischen Radlaststellung am Plattenrand gewonnenen Verkehrslastmomente entsprechend der geometrisch möglichen Fahrzeugstellung im Plattenquerschnitt.
 - (3.) Superponierung der Schnittgrößen für zugeordnete Lastanteile.
 - (4.) Nachweis der Tragsicherheit in den Bewehrungsrichtungen unter Verwendung der in Abschnitt 17.1 und 17.2, DIN 1045, Ausgabe 1988 angegebenen allgemeinen Bemessungsgrundlagen.
 - (5.) Vergleich der erforderlichen und der vorhandenen Bewehrungen:

Fallunterscheidung:

 - (A)
 - vorh. $A_{s,y} < \text{erf. } A_{s,y}$ und
vorh. $A_{s,x} > \text{erf. } A_{s,x}$:
 \Rightarrow Schätzung eines zutreffenden Steifigkeitsverhältnisses $k = K_y/K_x$; Verringerung von k .
 - \Rightarrow (6.)
 - (B)
 - vorh. $A_{s,y} < \text{erf. } A_{s,y}$ und
vorh. $A_{s,x} \leq \text{erf. } A_{s,x}$:
 \Rightarrow keine ausreichende Tragfähigkeit für diese Lastkombination vorhanden, gegebenenfalls Wahl einer niedrigeren Brückenklasse.
 - \Rightarrow Nachweisende.

(C)

vorh. $A_{s,y} \geq \text{erf. } A_{s,y}$ und
vorh. $A_{s,x} \geq \text{erf. } A_{s,x}$:

⇒ Biegespannungsnachweis ist für diese Lastkombination erfüllt.

⇒ Nachweis der Schubsicherung nach Abschnitt 17.5, DIN 1045.

⇒ Nachweisende.

(D)

vorh. $A_{s,y} \geq \text{erf. } A_{s,y}$ und
vorh. $A_{s,x} < \text{erf. } A_{s,x}$:

⇒ Schätzung eines zutreffenden Steifigkeitsverhältnisses $k = K_y/K_x$; Erhöhung von k im Zuge bereits erfolgter Iterationsschritte.

⇒ (6.)

- 6.) Ermittlung der durch Umlagerung entstandenen veränderten Schnittgrößen S_k nach Gleichung (5) mit Hilfe der Tafeln 1 bis 21 bei Annahme des orthotropen Steifigkeitsverhältnisses k .

⇒ (2.)

4. Anwendungsbeispiel

Die Anwendung der bereitgestellten Hilfsmittel soll anhand eines Zahlenbeispiels demonstriert werden. Berechnet wird eine Plattenkonstruktion (Bild. 4) mit den nachfolgenden Abmessungen für eine Verkehrsbelastung infolge Brückenklasse 30/30 nach DIN 1072.

- Geometrie:

Schiefe	$\varphi = 90^\circ$
Stützweite	$L = 12,00 \text{ m}$
Breite	$B = 9,00 \text{ m}$
Seitenverhältnis	$B/L = 0,75$
Plattendicke	$d = 0,80 \text{ m}$
Fahrbahnaufbau	$d_F = 0,20 \text{ m}$
Bewehrung	
längs	$A_{s,x} = 89,4 \text{ cm}^2/\text{m}; \quad \varnothing 32 \text{ mm};$ $s = 9,0 \text{ cm}; \quad h = 0,752 \text{ m}$
quer	$A_{s,y} = 6,8 \text{ cm}^2/\text{m}; \quad \varnothing 12 \text{ mm};$ $s = 16,7 \text{ cm}; \quad h = 0,730 \text{ m}$

- Baustoffe und Festigkeitskennwerte nach /1/:

Bauzustandsnote	II und
Bauzustandsfaktor	$K = 1,0$
Beton	B300 $\beta_R = 16,4 \text{ N/mm}^2$
Stahl	St A0 $R_e = 220 \text{ N/mm}^2$

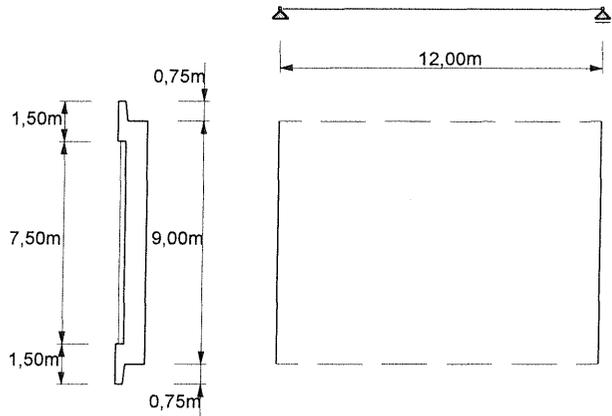


Bild 4: Systemgeometrie

- Belastung:

• Ständige Last:

$$\text{Tragkonstruktion: } g_1 = 0,80 \cdot 25 = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Fahrbahn: } g_2 = 0,20 \cdot 22 = 4,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Randlast: } g_r = 5,70 \text{ kN/m}$$

• Verkehrslast: Brückenklasse 30/30

Lastverteilung für Q:

$$t = t_{\text{Rad}} + 2 \cdot d_F + d$$

$$t_x = 0,40 + 2 \cdot 0,20 + 0,80 = 1,60 \text{ m}$$

$$t_y = 0,20 + 2 \cdot 0,20 + 0,80 = 1,40 \text{ m}$$

$$t_{\text{ers}} = \sqrt{t_x \cdot t_y} = 1,50 > 1,00 = >$$

$$t = 1,00 \text{ m maßgebend}$$

(1.) Schnittgrößen für isotrope Steifigkeitsverhältnisse

1. Momente nach /6/ und /1/:

• infolge Eigenlasten

$$g_1 + g_2 = 24,4 \text{ kN/m}^2$$

Punkt A:

$$g_1 + g_2: \quad M_{x,r} = 0,126 \cdot 24,40 \cdot 12^2 = 443 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r1}: \quad M_{x,r} = 0,270 \cdot 5,70 \cdot 12 = 18 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r2}: \quad M_{x,r} = 0,095 \cdot 5,70 \cdot 12 = 7 \text{ kNm/m}$$

Punkt B:

$$g_1 + g_2: \quad M_{x,m} = 0,124 \cdot 24,40 \cdot 12^2 = 436 \text{ kNm/m}$$

$$M_{y,m} = 0,014 \cdot 24,40 \cdot 12^2 = 49 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r1}, g_{r2}: \quad M_{x,m} = 0,165 \cdot 5,70 \cdot 12 = 11 \text{ kNm/m}$$

$$M_{y,m} = -0,040 \cdot 5,70 \cdot 12 = -3 \text{ kNm/m}$$

- infolge Brückenklasse 30/30

Die Momente werden unter Verwendung der Erhöhungsfaktoren $f_{30,30}$ nach /1/ und den Werten für Brückenklasse 30 nach /6/ ermittelt.

$$\text{Schwingbeiwert } \varphi = 1,4 - 0,008 * l_{\varphi} = 1,304$$

$$M = f_{30,30} * \varphi * P * M_L + \varphi * p * M_P + p' * M_{P'} \\ = 65,2 * f_{30,30} * M_L + 6,52 * M_P + 3 * M_{P'}$$

$$P = 50 \text{ kN SLW-Radlast}$$

$$p = 5 \text{ kN/m}^2 \text{ Hauptspurbelastung}$$

$$p' = 3 \text{ kN/m}^2 \text{ Nebenspurbelastung}$$

$$M_L, M_P, M_{P'} \text{ Einflußfaktoren nach /6/}$$

Punkt A:

Lastfall max $M_1 = \max M_{xr}$:

$$f_{30,30} = 1,48 \text{ nach /1/}$$

$$M'_{xr} = 1,48 * 2,955 * 65,2 + 1,865 * 6,52 \\ + 9,77 * 3$$

$$= 327 \text{ kNm/m für theor. Randstellung}$$

Punkt B:

Lastfall max $M_1 = \max M_{xm}$:

$$f_{30,30} = 1,73 \text{ nach /1/}$$

$$M_{xm} = 1,73 * 1,945 * 65,2 + 1,83 * 6,52 \\ + 12,05 * 3 = 267 \text{ kNm/m}$$

Lastfall max $M_2 = \max M_{ym}$:

$$f_{30,30} = 1,28 \text{ nach /1/}$$

$$M_{ym} = 1,28 * 0,70 * 65,2 + 0,265 * 6,52 \\ + 0,605 * 3 = 62 \text{ kNm/m}$$

2. Querkräfte nach /2/, /3/:

Nach DIN 1045 ist bei direkter Unterstützung zur Berechnung der Schubspannungen und zur Bemessung der Schubbewehrung die Querkraft im Schnitt $0,5 * h \approx 0,40\text{m}$ vom Auflagerrand zugrunde zu legen.

$$g_1 + g_2: \quad Q_x = 127,0 \text{ kN/m}$$

$$g_{r1} + g_{r2}: \quad Q_x = 3,7 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bk.30/30:} \quad Q_x = 81,6 \text{ kN/m}$$

$$(\text{Vergleichswert nach /11/:} \quad Q_x = 81,7 \text{ kN/m})$$

Umfangreiche Hilfsmittel zur Querkraft-ermittlung bei Platten sind ferner in /12/ niedergelegt.

(2.) Abminderung der Randmomente aus Verkehrslast

$$M_{xr} = M_{xm} + (M'_{xr} - M_{xm}) * \left(\frac{e}{B/2} \right)^2 = \\ = 267 + (327 - 267) * \left(\frac{3,25}{4,50} \right)^2 = 298 \text{ kNm/m}$$

für geometrisch mögliche SLW-Randstellung

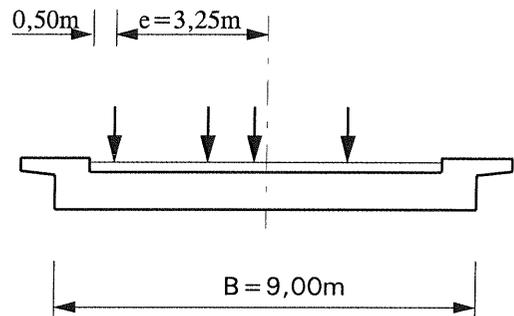


Bild 5: SLW-Randstellung

(3.) Superposition g + p:

Punkt A:

$$M_{xr} = 443 + 18 + 7 + 298 = 766 \text{ kNm/m} \\ (\text{Lastfall max } M_1 = \max M_{xr})$$

Punkt B:

$$M_{xm} = 436 + 2 * 11 + 267 = 725 \text{ kNm/m} \\ (\text{Lastfall max } M_1 = \max M_{xm})$$

$$M_{ym} = 49 + 2 * (-3) + 62 = 105 \text{ kNm/m} \\ (\text{Lastfall max } M_2 = \max M_{ym})$$

Auflager:

$$Q_x = 127 + 3,7 + 81,6 = 212 \text{ kN/m}$$

(4.) Nachweisführung

Nachweis der Bewehrung nach /13/ unter Berücksichtigung der parabel-rechteck-förmigen Spannungsdehnungslinie in der Betondruckzone:

x-Richtung, Punkt A:

$$m_e = \frac{M_s}{b * h^2 * b_R} = \frac{766}{1 * 0,8^2 * 16,4} * 1000 = 0,073$$

$$k_x = 0,24; \quad k_z = 0,92; \quad \epsilon_{b1} = -1,58 \text{ ‰}; \\ \epsilon_s = 5,00 \text{ ‰} \text{ nach Tafel 1.2, /13/}$$

$$\text{Versagen mit Vorankündigung:} \quad v = 1,75$$

$$z = k_z * h = 0,92 * 0,752 = 0,69$$

$$\text{erf. } A_{s,x} = \frac{1,75 * 766}{220 * 0,69} * \frac{10^3}{10^2} = 88,3 \text{ cm}^2 / \text{m} \\ < 89,4 \text{ cm}^2 / \text{m} = \text{vorh. } A_{s,x}$$

y-Richtung, Punkt B:

$$m_e = \frac{M_s}{b \cdot h^2 \cdot b_R} = \frac{105}{1 \cdot 0,8^2 \cdot 16,4} \cdot 1000 = 0,010$$

$$k_x = 0,08; \quad k_z = 0,97; \quad \varepsilon_{b1} = -0,46 \text{‰}; \\ \varepsilon_s = 5,00 \text{‰} \quad \text{nach Tafel 1.2, /13/}$$

$$\text{Versagen mit Vorankündigung:} \quad v = 1,75$$

$$z = k_z \cdot h = 0,97 \cdot 0,730 = 0,71$$

$$\text{erf. } A_{s,y} = \frac{1,75 \cdot 105}{220 \cdot 0,71} \cdot \frac{10^3}{10^2} = 11,8 \text{ cm}^2 / \text{m} \\ > 6,8 \text{ cm}^2 / \text{m} = \text{vorh. } A_{s,y}$$

Fallunterscheidung:

- (A) vorh. $A_{s,y} < \text{erf. } A_{s,y}$ und
 vorh. $A_{s,x} > \text{erf. } A_{s,x}$:
 \Rightarrow Schätzung eines zutreffenden
 Steifigkeitsverhältnisses $k = K_y / K_x$
 (Verringerung von k): Annahme $k = 0,30$
 \Rightarrow (6.)

(6.) Schnittgrößen für $k = 0,30$ nach Gleichung (5) und den Tafeln 1 bis 21:

- Momente infolge Eigenlasten:

Punkt A:

$$g_1 + g_2: \delta_k = 1,12 \text{ nach Tafel 3 und} \\ S_{k=1} = M_{xr} = 443 \text{ kNm/m} \\ S_k = M_{xr} = \sqrt{B/L} \cdot \delta_k \cdot S_{k=1} = \\ = \sqrt{0,75} \cdot 1,12 \cdot 443 = 430 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r1}: \delta_k = 1,40 \text{ nach Tafel 7} \\ M_{xr} = \sqrt{0,75} \cdot 1,40 \cdot 18 = 22 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r2}: \delta_k = 0,73 \text{ nach Tafel 9} \\ M_{xr} = \sqrt{0,75} \cdot 0,73 \cdot 7 = 4 \text{ kNm/m}$$

Punkt B:

$$g_1 + g_2: \delta_{k,x} = 1,16 \text{ nach Tafel 1} \\ M_{xm} = \sqrt{0,75} \cdot 1,16 \cdot 436 \\ = 438 \text{ kNm/m}$$

$$\delta_{k,y} = 0,46 \text{ nach Tafel 2} \\ M_{ym} = \sqrt{0,75} \cdot 0,46 \cdot 49 \\ = 20 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r1}, g_{r2}: \delta_{k,x} = 1,07 \text{ nach Tafel 5} \\ M_{xm} = \sqrt{0,75} \cdot 1,07 \cdot 11 \\ = 10 \text{ kNm/m}$$

$$\delta_{k,y} = 0,91 \text{ nach Tafel 6} \\ M_{ym} = \sqrt{0,75} \cdot 0,91 \cdot (-3) \\ = -2 \text{ kNm/m}$$

- Momente infolge Brückenklasse 30/30

Punkt A:

$$\max M_{xr}: \delta_k = 1,20 \text{ nach Tafel 16} \\ M'_{xr} = \sqrt{0,75} \cdot 1,20 \cdot 327 \\ = 340 \text{ kNm/m} \\ \text{für theor. Randstellung}$$

Punkt B:

$$\max M_{xm}: \delta_{k,x} = 1,19 \text{ nach Tafel 14} \\ M_{xm} = \sqrt{0,75} \cdot 1,19 \cdot 267 \\ = 275 \text{ kNm/m}$$

$$\max M_{ym}: \delta_{k,y} = 0,64 \text{ nach Tafel 15} \\ M_{ym} = \sqrt{0,75} \cdot 0,64 \cdot 62 \\ = 34 \text{ kNm/m}$$

- Querkräfte:

$$g_1 + g_2: \delta_{k,x} = 1,21 \text{ nach Tafel 4} \\ Q_x = \sqrt{0,75} \cdot 1,21 \cdot 127 \\ = 133 \text{ kNm/m}$$

$$g_{r1}, g_{r2}: \delta_{k,x} = 0,93 \text{ nach Tafel 8} \\ Q_x = \sqrt{0,75} \cdot 0,98 \cdot 3,7 \\ = 3,0 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Bk.30/30: } \delta_{k,x} = 1,27 \text{ nach Tafel 17} \\ Q_x = \sqrt{0,75} \cdot 1,27 \cdot 81,6 \\ = 89,7 \text{ kNm/m}$$

(2.) Abminderung der Randmomente aus Verkehrslast

$$\text{Bk.30/30: } M_{xr} = 275 + (340 - 275) \cdot \left(\frac{3,25}{4,50} \right)^2 \\ = 309 \text{ kNm/m}$$

für die geometrisch mögliche Randstellung.

(3.) Superposition $g + p$:**Punkt A:**

$$M_{xr} = 430 + 22 + 4 + 309 = 765 \text{ kNm/m} \\ (\text{Lastfall } \max M_1 = \max M_{xr})$$

Punkt B:

$$M_{xm} = 438 + 2 \cdot 10 + 275 = 733 \text{ kNm/m} \\ (\text{Lastfall } \max M_1 = \max M_{xm}) \\ M_{xm} = 20 + 2 \cdot (-2) + 34 = 50 \text{ kNm/m} \\ (\text{Lastfall } \max M_2 = \max M_{ym})$$

Auflager:

$$Q_x = 133 + 3,0 + 89,7 = 226 \text{ kN/m}$$

(4.) Nachweisführung

1. Nachweis der Bewehrung nach /13/
x-Richtung, Punkt A:

$$m_e = \frac{M_s}{b \cdot h^2 \cdot b_R} = \frac{765}{1 \cdot 0,8^2 \cdot 16,4} \cdot 1000 = 0,073$$

$$k_x = 0,24; \quad k_z = 0,92; \quad \varepsilon_{b1} = -1,58 \text{ ‰};$$

$$\varepsilon_s = 5,00 \text{ ‰} \quad \text{nach Tafel 1.2, /13/}$$

$$\text{Versagen mit Vorankündigung:} \quad v = 1,75$$

$$z = k_z \cdot h = 0,92 \cdot 0,752 = 0,69$$

$$\text{erf. } A_{s,x} = \frac{1,75 \cdot 765}{220 \cdot 0,69} \cdot \frac{10^3}{10^2} = 88,2 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$< 89,4 \text{ cm}^2 / \text{m} = \text{vorh. } A_{s,x}$$

d.h. die erforderliche Bewehrung in A ist nahezu konstant geblieben; siehe auch Bild 6 und die dazugehörigen Erläuterungen.

x-Richtung, Punkt B:

$$\text{Wegen } M_{x_m} = 733 < M_{x_r} = 763 \text{ ist}$$

$$\text{erf. } A_{s,xm} < \text{vorh. } A_{s,x} = 89,4 \text{ cm}^2 / \text{m}.$$

y-Richtung, Punkt B:

$$m_e = \frac{M_s}{b \cdot h^2 \cdot b_R} = \frac{50}{1 \cdot 0,8^2 \cdot 16,4} \cdot 1000 = 0,005$$

$$k_x = 0,07; \quad k_z = 0,98; \quad \varepsilon_{b1} = -0,3 \text{ ‰};$$

$$\varepsilon_s = 5,00 \text{ ‰} \quad \text{nach Tafel 1.1b /13/}$$

$$\text{Versagen mit Vorankündigung:} \quad v = 1,75$$

$$z = k_z \cdot h = 0,98 \cdot 0,730 = 0,715$$

$$\text{erf. } A_{s,y} = \frac{1,75 \cdot 50}{220 \cdot 0,715} \cdot \frac{10^3}{10^2} = 5,6 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$< 6,8 \text{ cm}^2 / \text{m} = \text{vorh. } A_{s,y}$$

Die vorhandenen Bewehrungen reichen in beiden Richtungen aus.

2. Schubspannungsnachweis

Der Grundwert der Schubspannung ergibt sich zu:

$$\tau_0 = \frac{Q_s}{\min b_0 \cdot z} = \frac{226}{1 \cdot 0,69} = 328 \text{ kN} / \text{m}^2 = 0,33 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Für den Schubbereich 1 darf nach 17.5.5.2, DIN 1045 auf eine Schubbewehrung verzichtet werden, wenn

$$\max \tau_0 \leq k_2 \tau_{011}$$

$$k_2 = 0,12/0,80 + 0,60 = 0,75;$$

$$\tau_{011} = 0,50 \text{ für B300} \approx \text{B25 (Tab.13, DIN1045)}$$

Wegen

$$\max \tau_0 = 0,33 \leq k_2 \tau_{011} = 0,75 \cdot 50 = 0,375$$

ist der Nachweis der Schubbewehrung nicht erforderlich, d.h. **Schubsicherung ist erfüllt.**

In Bild 6 sind die Veränderungen der Plattenmomente in Abhängigkeit der Biegesteifigkeitsverhältnisse k dargestellt. Zunächst fällt auf, daß die Kurven der Biegemomente M_{x_m} und M_{y_m} für den Aufpunkt B in Feldmitte monoton verlaufen, während das Moment M_{x_r} am Plattenrand zunächst fällt, dann wieder steigt und bei $k=0$ den Maximalwert erreicht. Dies ist in der Tatsache begründet, daß sich die Schnittgrößenanteile aus gleichmäßig verteilter Eigenlast und Verkehrslast am Plattenrand bei veränderten Steifigkeitsverhältnissen unterschiedlich verhalten. Bei abnehmender Querbiegesteifigkeit sinkt einerseits das Eigenlastmoment und strebt dem Balkengrenzwert $ql^2/8$ zu, während das Verkehrslastmoment andererseits ständig infolge geringer werdender Lastabtragung in Querrichtung ansteigt.

Ferner ist zu erkennen, daß für die vorliegende Längs- und Querbewehrung in den beiden Grenzfällen der zur Schnittgrößenermittlung zugrunde gelegten idealisierten Berechnungsmodelle "isotrope Platte" und "Balkenreihe" keine Tragfähigkeit nachgewiesen werden kann. Während im isotropen Modell die Nebentragrichtung versagt, können im Balkenreihenmodell, wo eine Biegemomentenabtragung quer zur Stützrichtung ausgeschlossen wird, die in Haupttragrichtung umgelagerten Längsmomente nicht aufgenommen werden. Ein Nachweis gelingt erst, wenn die infolge der zu schwachen Querbewehrung begrenzte, jedoch oberhalb von Null liegende Quertragfähigkeit in Anspruch genommen wird.

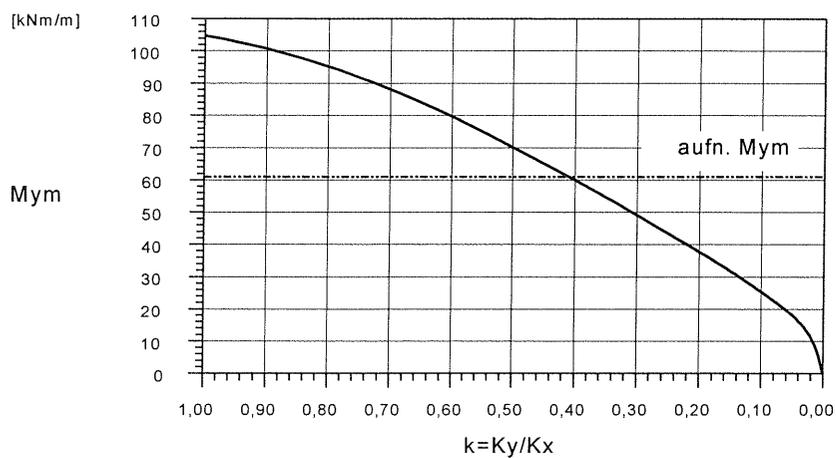
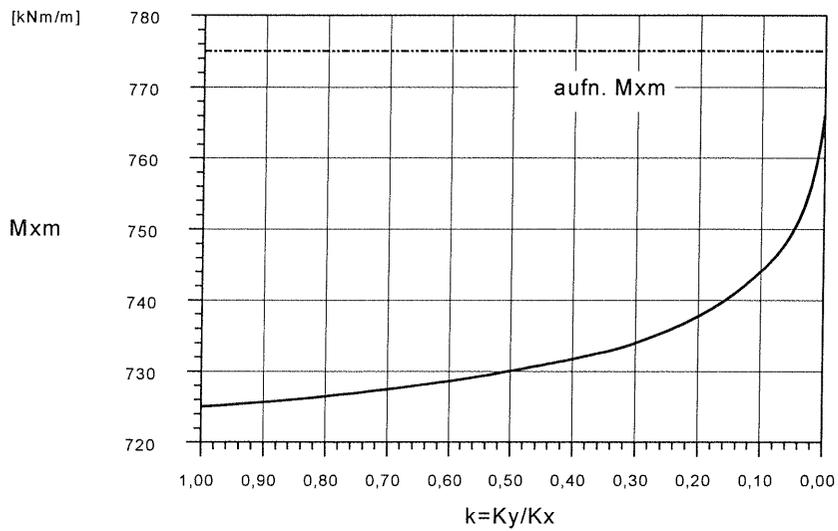
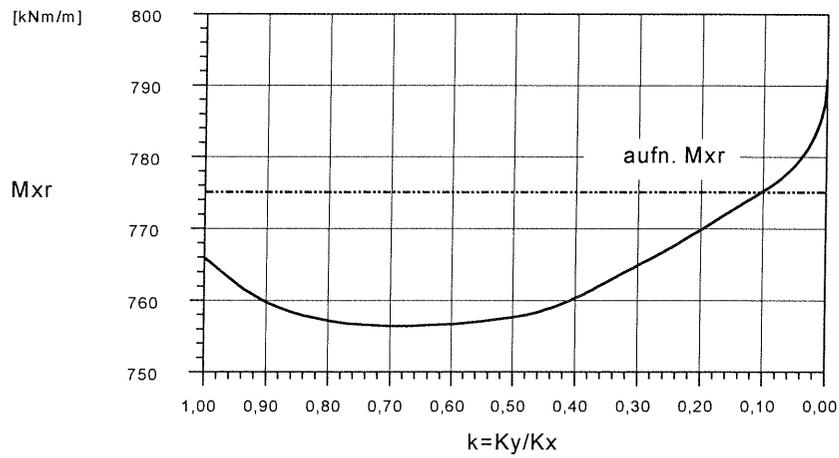


Bild 6: Schnittgrößen in Abhängigkeit der Steifigkeitsverhältnisse

5. Zusammenfassung

Im Zuge der Nachrechnung bestehender Straßenbrücken in den neuen Bundesländern kann bei der Einstufung älterer Plattentragwerke in Lastklassen nach DIN 1072 die Nebentragrichtung bei gleichzeitig vorhandenen Tragreserven der Hauptspannrichtung tragfähigkeitsbestimmend werden. Dies trifft vor allem für solche Bauwerke zu, deren Bemessung auf die Betrachtung eines "Meterstreifens" zurückgeführt wurde, und die aus heutiger Sicht oftmals eine zu geringe Querbewehrung erhielten.

Für die Nachrechnung derartiger Plattentragwerke wird ein Berechnungsverfahren vorgestellt, mit dem vorhandene Tragreserven für die zu führenden Nachweise erschlossen werden können.

Dem Benutzer werden Hilfsmittel in Form von Schnittgrößentafeln sowie Erläuterungen und Hinweise zur Anwendung des Berechnungsverfahrens zur Verfügung gestellt. Ein Anwendungsbeispiel veranschaulicht die durchzuführenden Bearbeitungsschritte.

Die Benutzung der vorliegenden Berechnungshilfsmittel läßt sich auf andere plattenartige Bauweisen, wie unverstärkte Balkenreihen oder Platten mit Stahlträger in Beton, ausdehnen, wenn deren Steifigkeitsverteilungen den hier getroffenen Festlegungen näherungsweise entsprechen.

Das beschriebene Berechnungsmodell erfaßt die tatsächliche Tragwirkung der zu untersuchenden Bauwerke mit schwacher Querbewehrung realitätsnäher und unterstützt so eine unter Beachtung des Bau- und Erhaltungszustandes zutreffendere Tragfähigkeitsbewertung bei Einhaltung des vorgeschriebenen Sicherheitsniveaus.

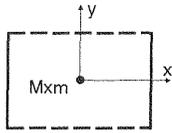
6. Literatur

- /1/ Der Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau:
Richtlinie zur Tragfähigkeitseinstufung bestehender Straßenbrücken der neuen Bundesländer in Lastklassen nach DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985. Ausgabe April 1992
- /2/ Kaschner, R.: Platten mit schwacher Querbewehrung,
Das Straßenwesen, Berlin 31 (1990) 5
- /3/ Schleicher, C.: Zur praktischen Berechnung unregelmäßiger Platten mit beliebiger orthotroper Steifigkeitsverteilung, Bauplanung - Bautechnik, 23. Jg. Heft 5, Mai 1969
- /4/ Kaschner, R.: Überblick über ein Programmpaket zur Berechnung von Platten und plattenartigen Tragwerken, Die Straße, Berlin 21 (1981) 7
- /5/ Girkmann, K.: Flächentragwerke, 6. Auflage, Springer-Verlag Wien, 1963
- /6/ Rüschi, H.: Berechnungstabellen für schiefwinklige Fahrbahnplatten von Straßenbrücken. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 166 Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1967
- /7/ Thürmer, E.: Beitrag über Querkräfte in Platten infolge Einzellasten. Dissertation, TU Dresden, 1982
- /8/ Vorschrift der Staatlichen Bauaufsicht 222/89 des Ministerium für Verkehrswesen der DDR: Brücken im Verkehrsbau, Nachrechnung bestehender Straßenbrücken aus Stahl, 1989
- /9/ Homberg, H.: Berechnung von Brücken unter Militärlasten, Band 1: STANAG 2021, Werner Verlag, Düsseldorf 1970
- /10/ Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr.6/1987; Sachgebiet 5: Brücken- und Ingenieurbau: Bemessung von Brücken der Brückenklasse 60/30 DIN 1072 für militärische Lasten der MLC 50/50-100 STANAG 2021
- /11/ Thürmer, E.: Querkräfte in Plattenstreifen aus den Verkehrslasten nach DIN 1072, Beton- und Stahlbetonbau 88 (1993), H. 7
- /12/ Thürmer, E.: Querkräfte in Platten infolge Einzellasten. Wissenschaft und Technik im Straßenwesen, H.22 (1984). Berlin: Ministerium für Verkehrswesen der DDR.
- /13/ Grasser, E. et al.: Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045, Ausgabe Dezember 1978, 2. überarbeitete Auflage. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 220, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1979

Anhang

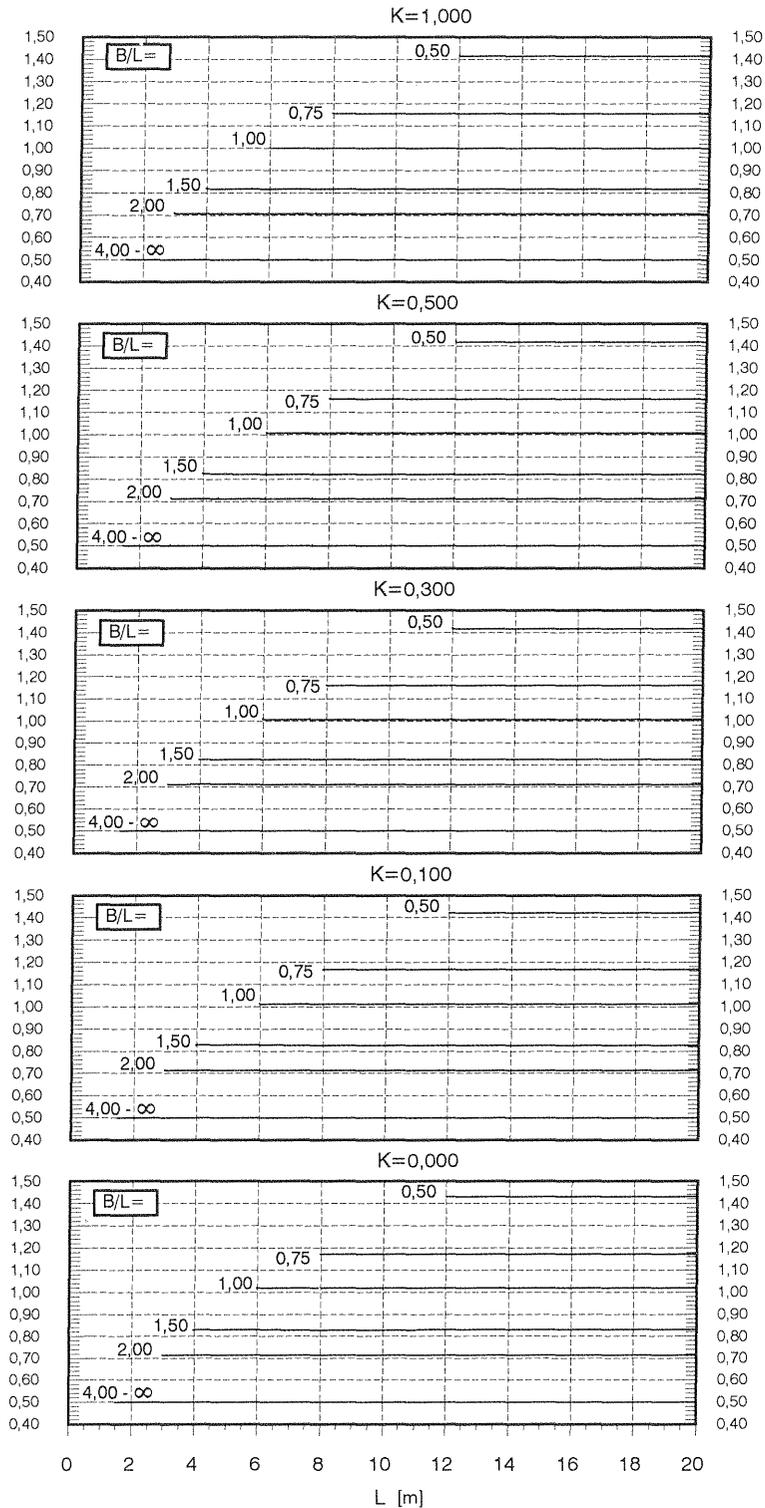
Schnittgrößentafeln 1 - 21

1

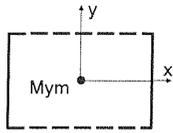


δ_k für M_{xm} infolge Eigenlast $g = \text{const.}$

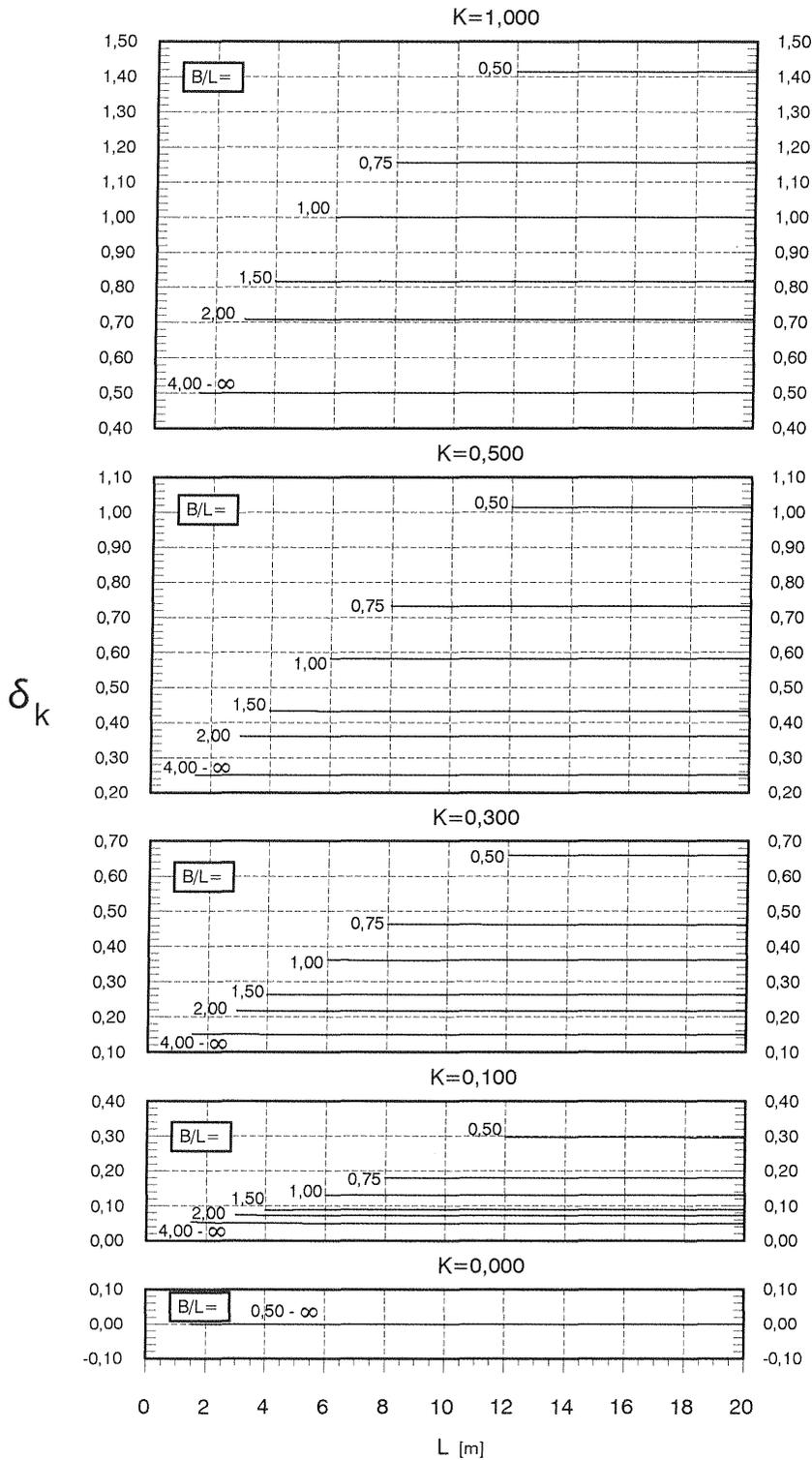
δ_k



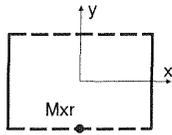
2



δ_k für Mym infolge Eigenlast $g = \text{const.}$

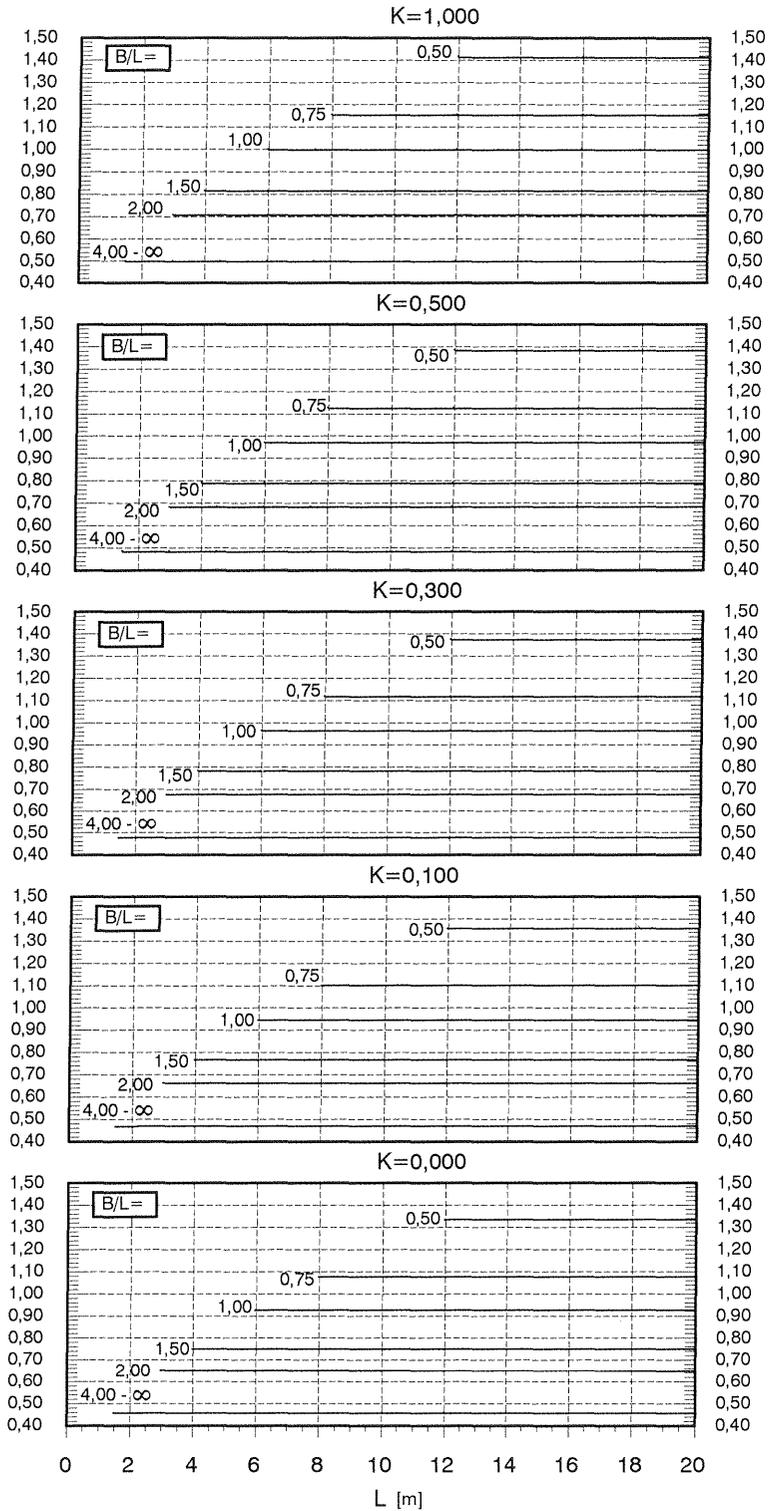


3

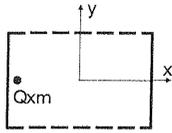


δ_k für M_{xr} infolge Eigenlast $g = \text{const.}$

δ_k

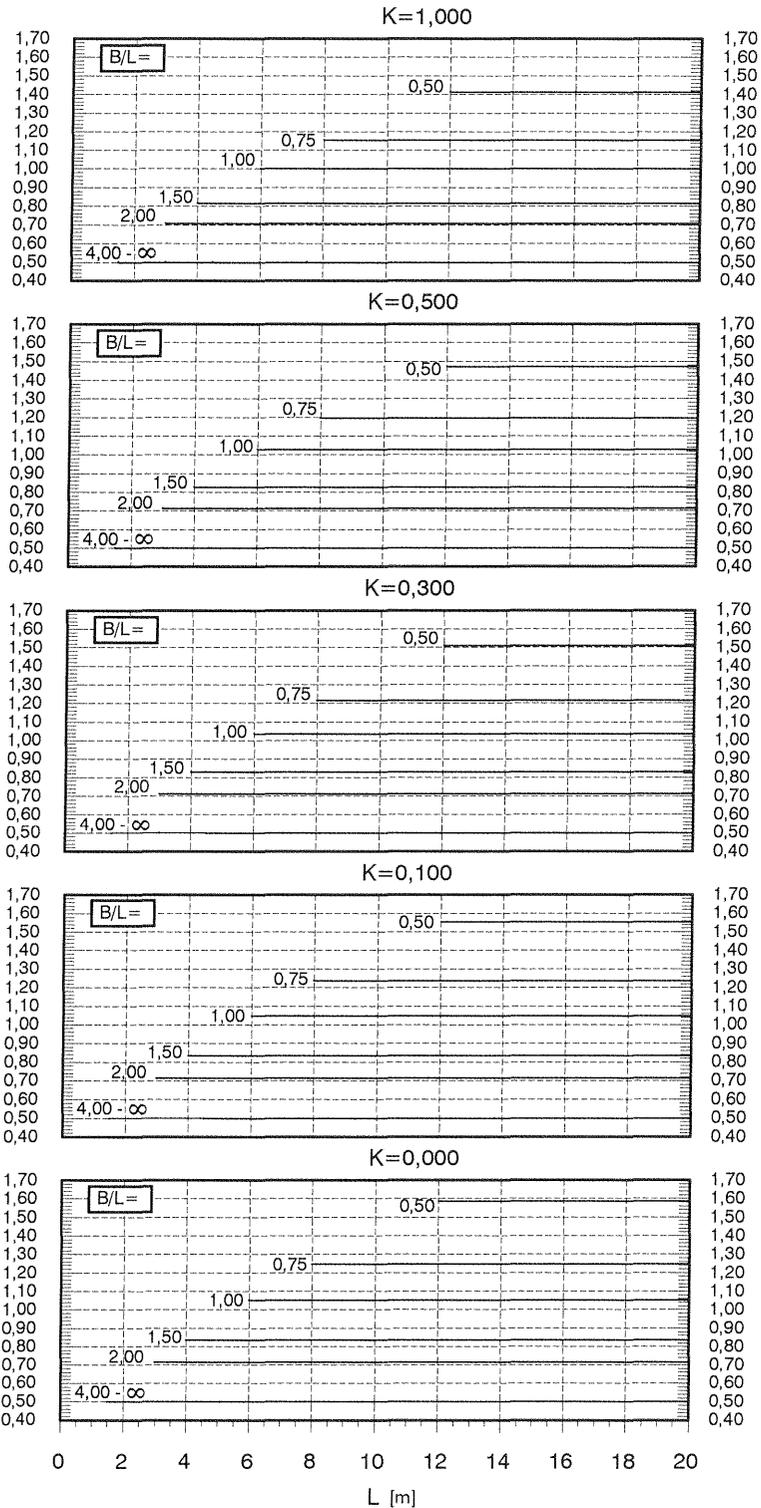


4

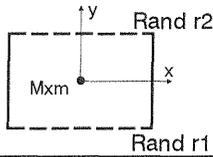


δ_k für Q_{xm} infolge Eigenlast $g = \text{const.}$

δ_k

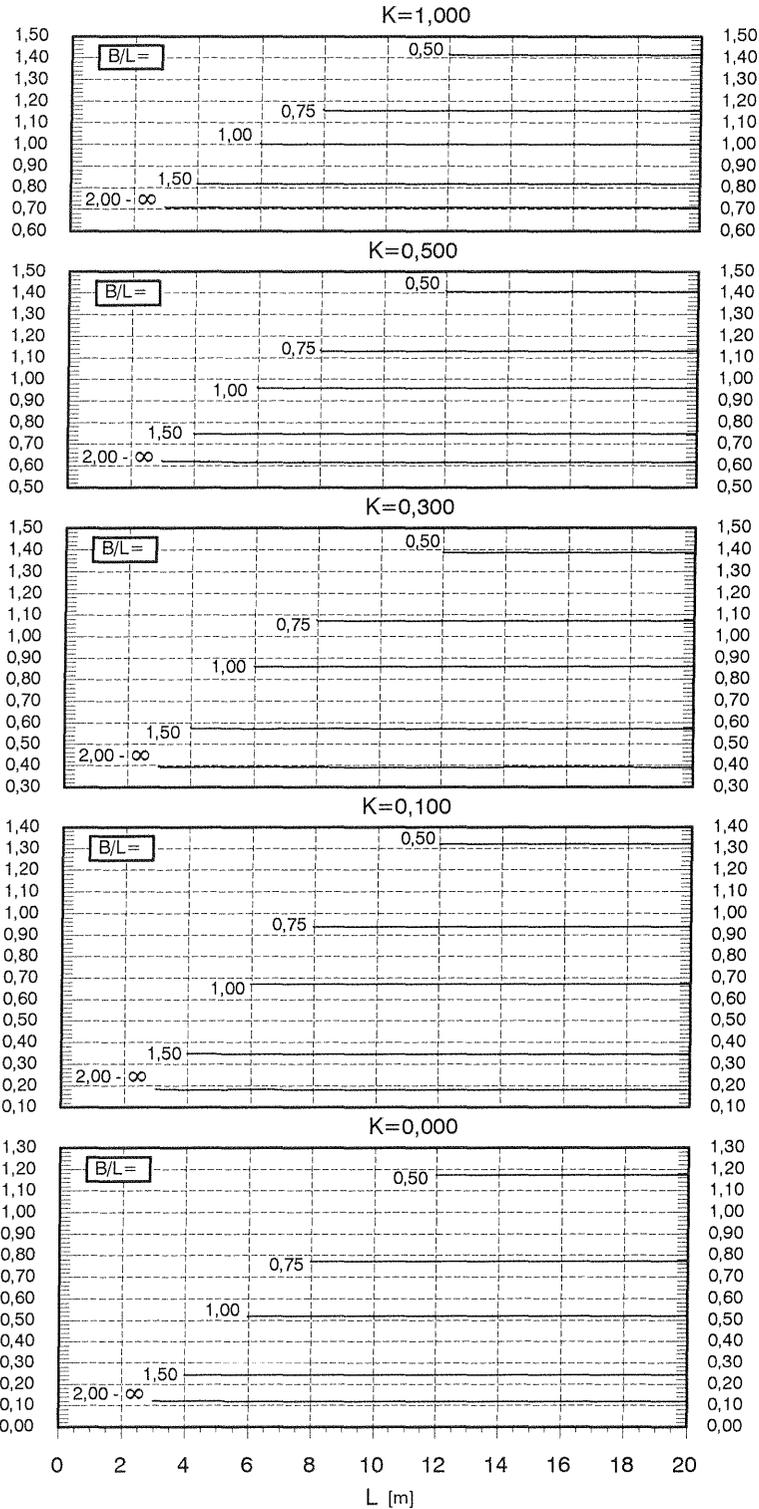


5

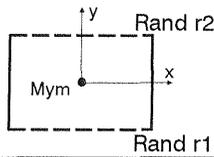


δ_k für Mxm infolge Randlinienlast $g_{r1} = \text{const.}$

δ_k

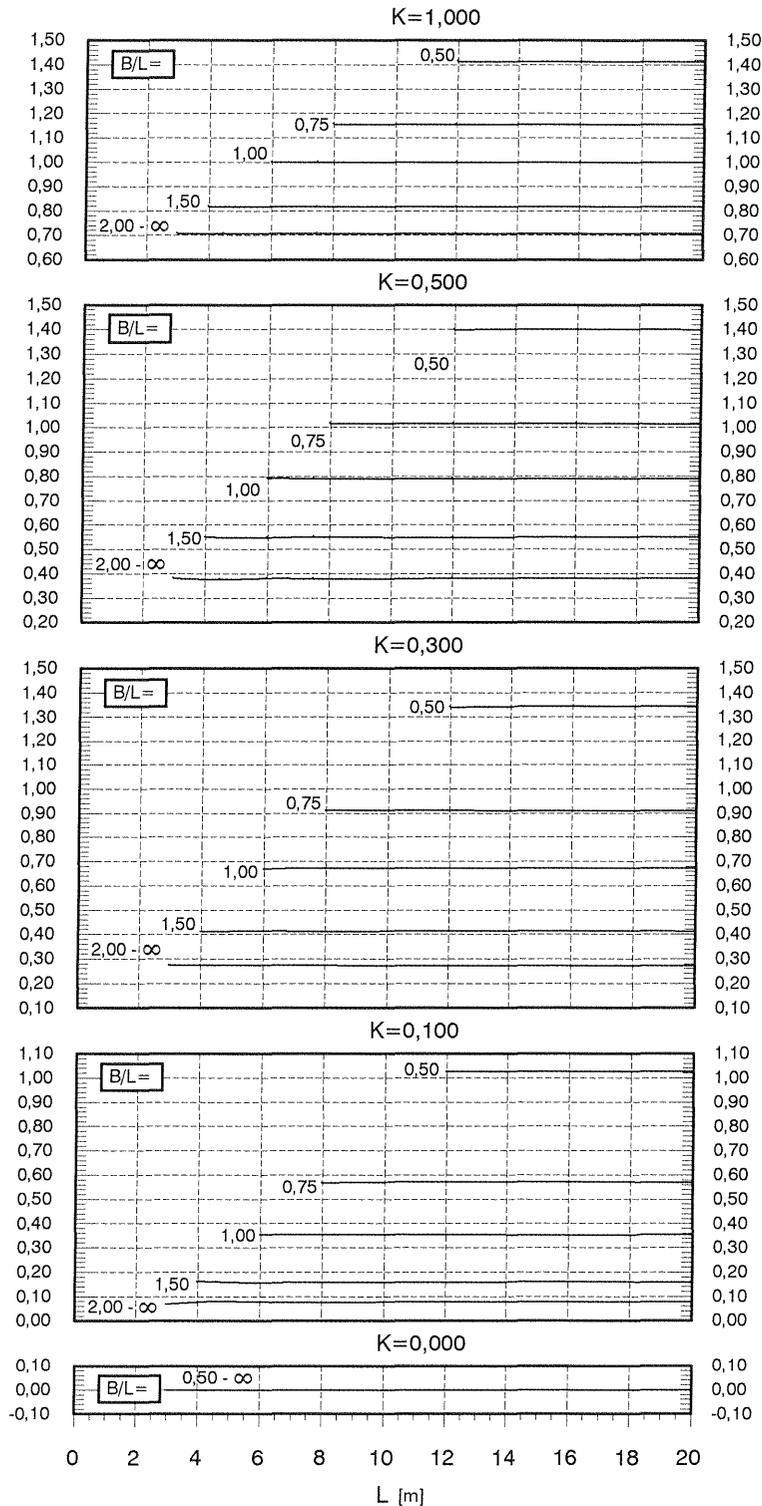


6

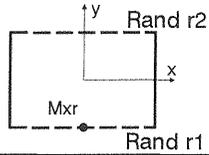


δ_k für $M_{y,m}$ infolge Randlinienlast $g_{r1} = \text{const.}$

δ_k

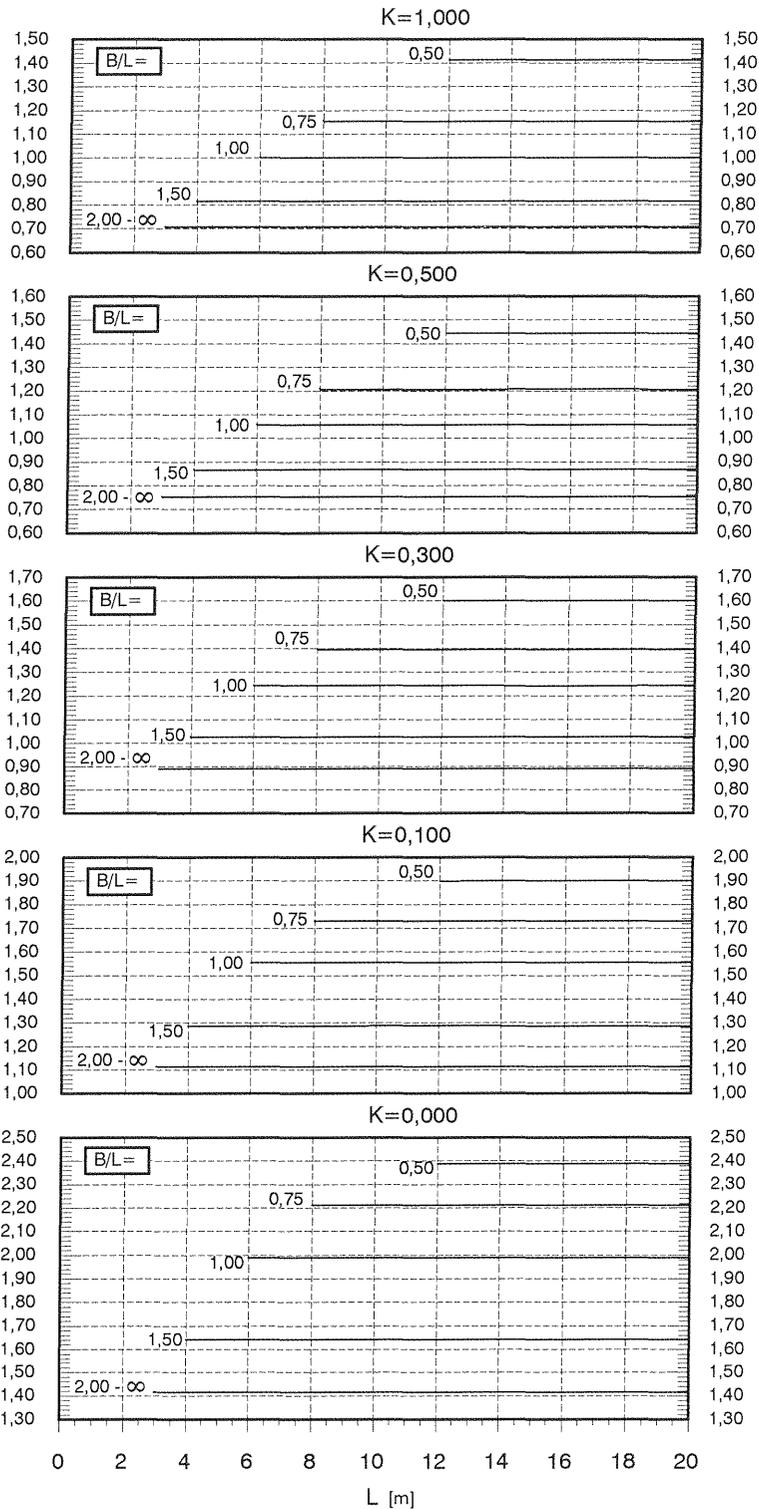


7

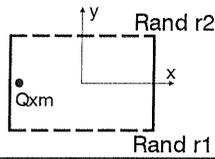


δ_k für M_{xr} infolge Randlinienlast $g_{r1} = \text{const.}$

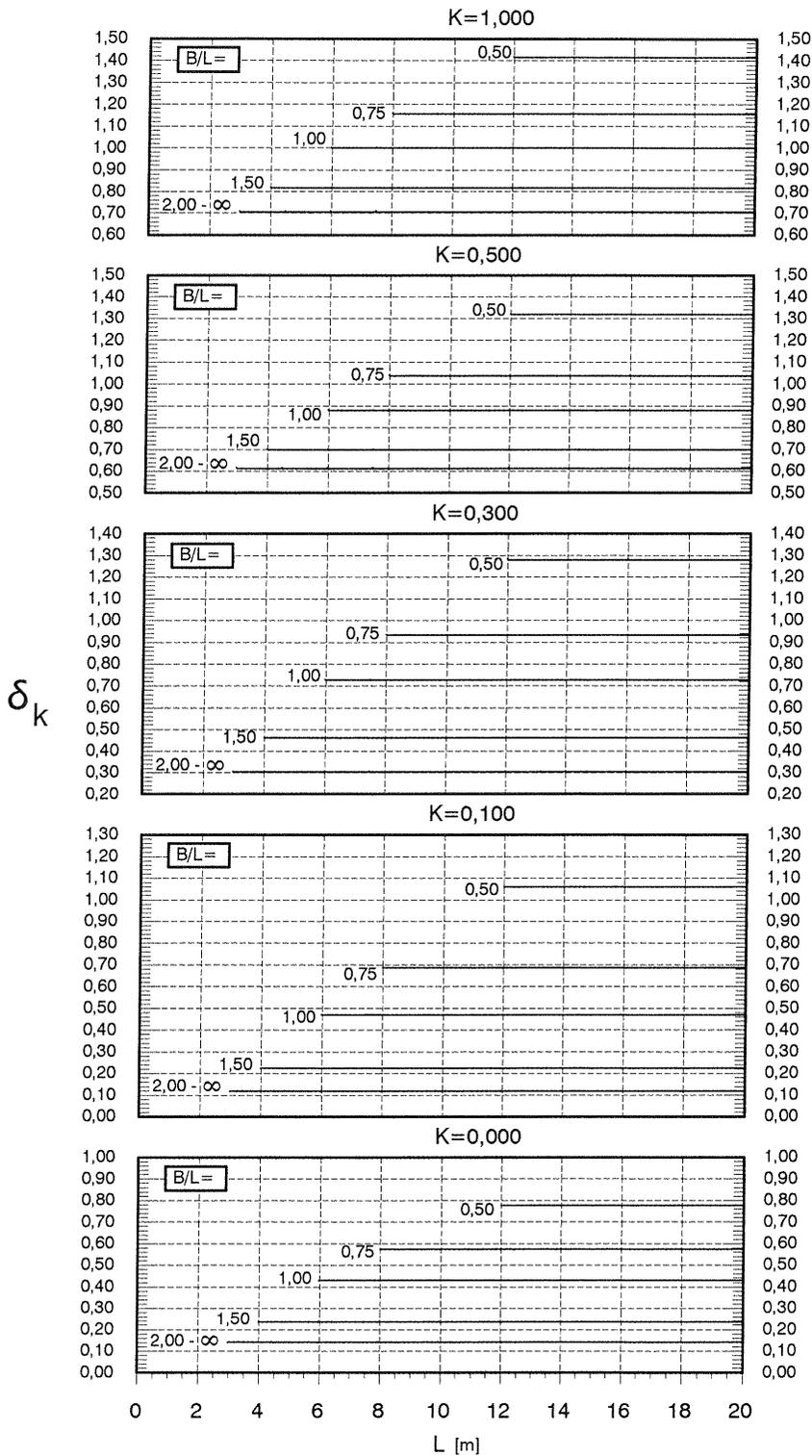
δ_k



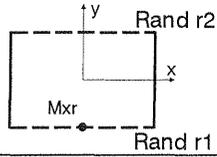
8



δ_k für Q_{xm} infolge Randlinienlast $g_{r1} = \text{const.}$

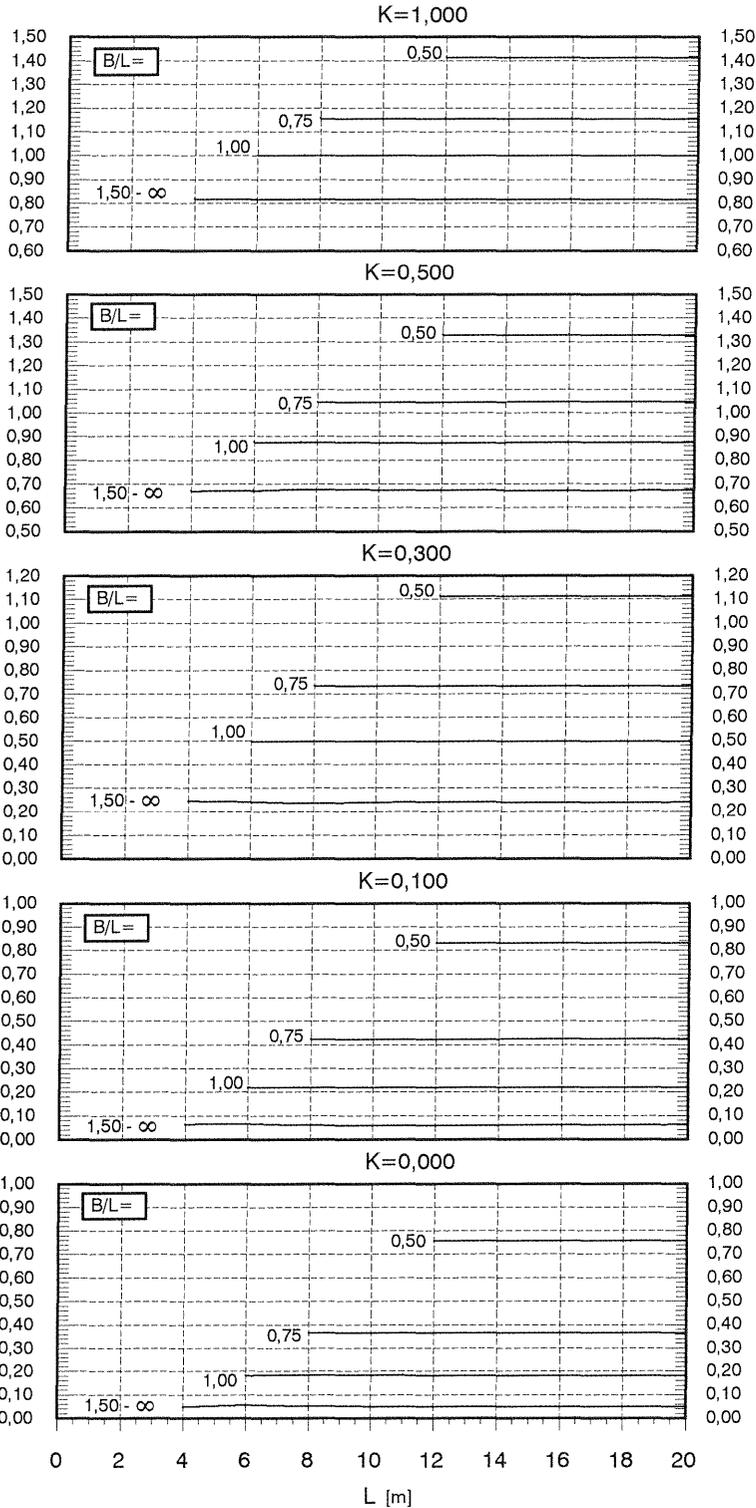


9

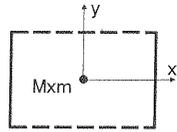


δ_k für M_{xr} infolge Randlinienlast $g_{r2} = \text{const.}$

δ_k

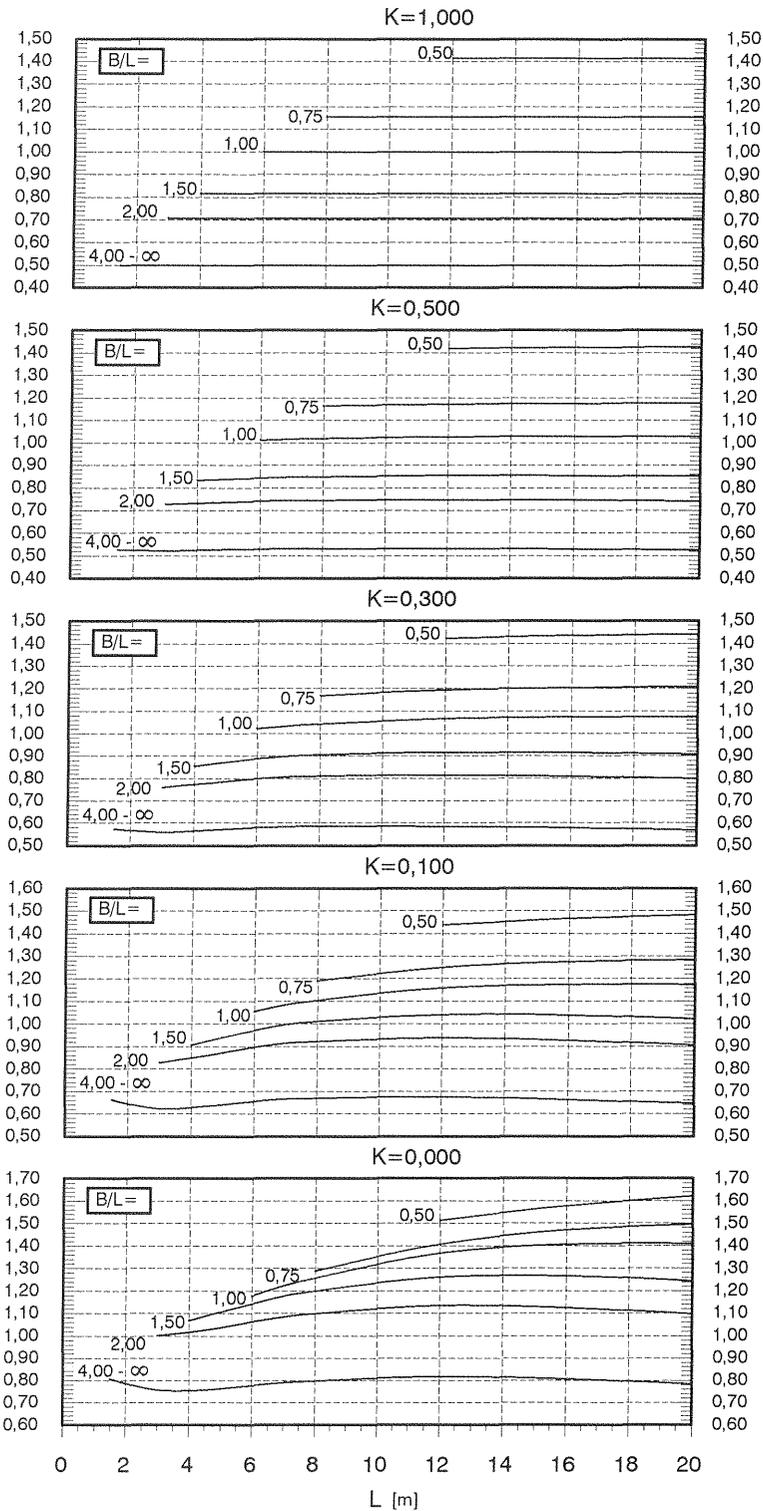


10

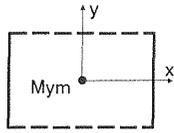


δ_k für Mxm infolge Brückenklasse 60/30

δ_k

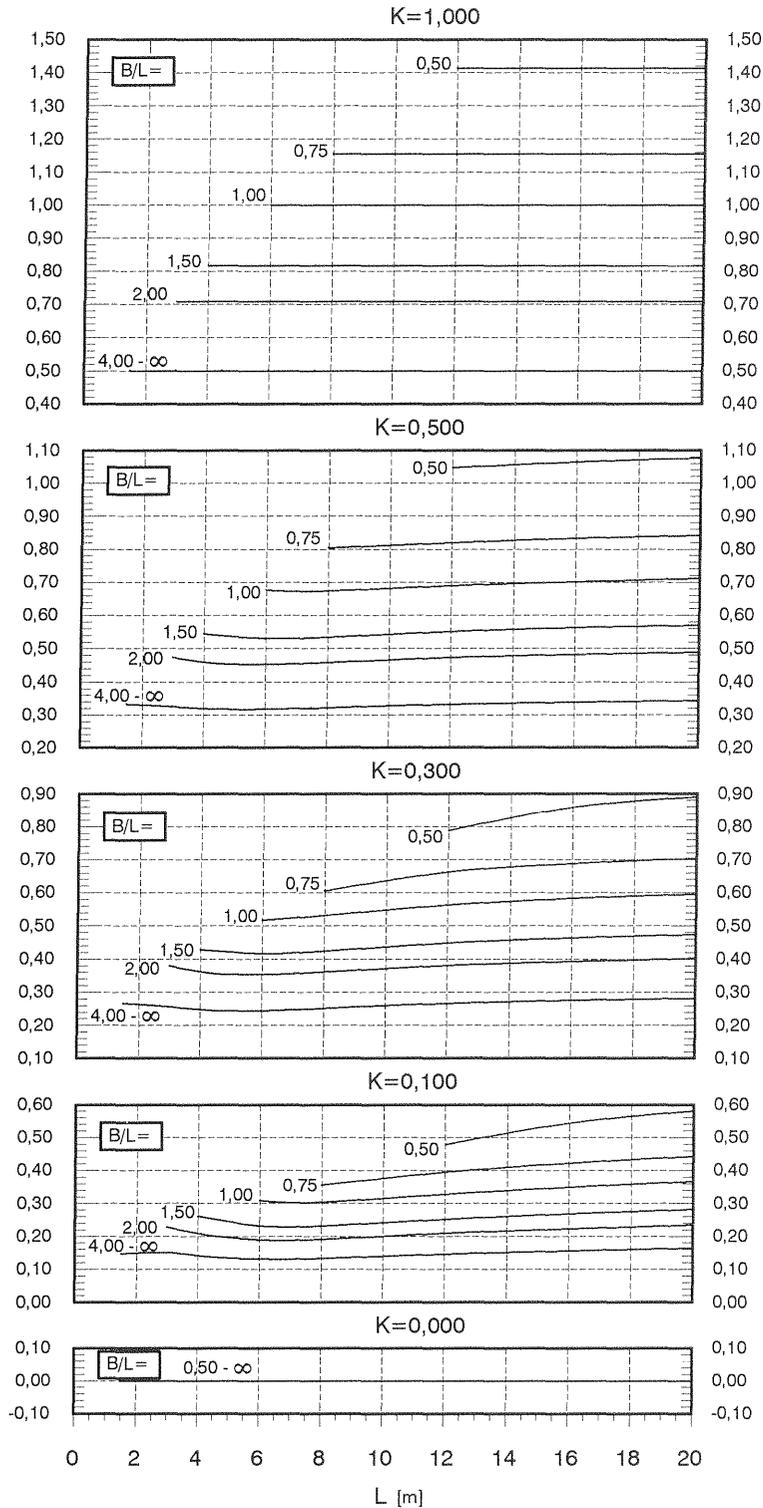


11

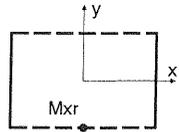


δ_k für Mym infolge Brückenklasse 60/30

δ_k

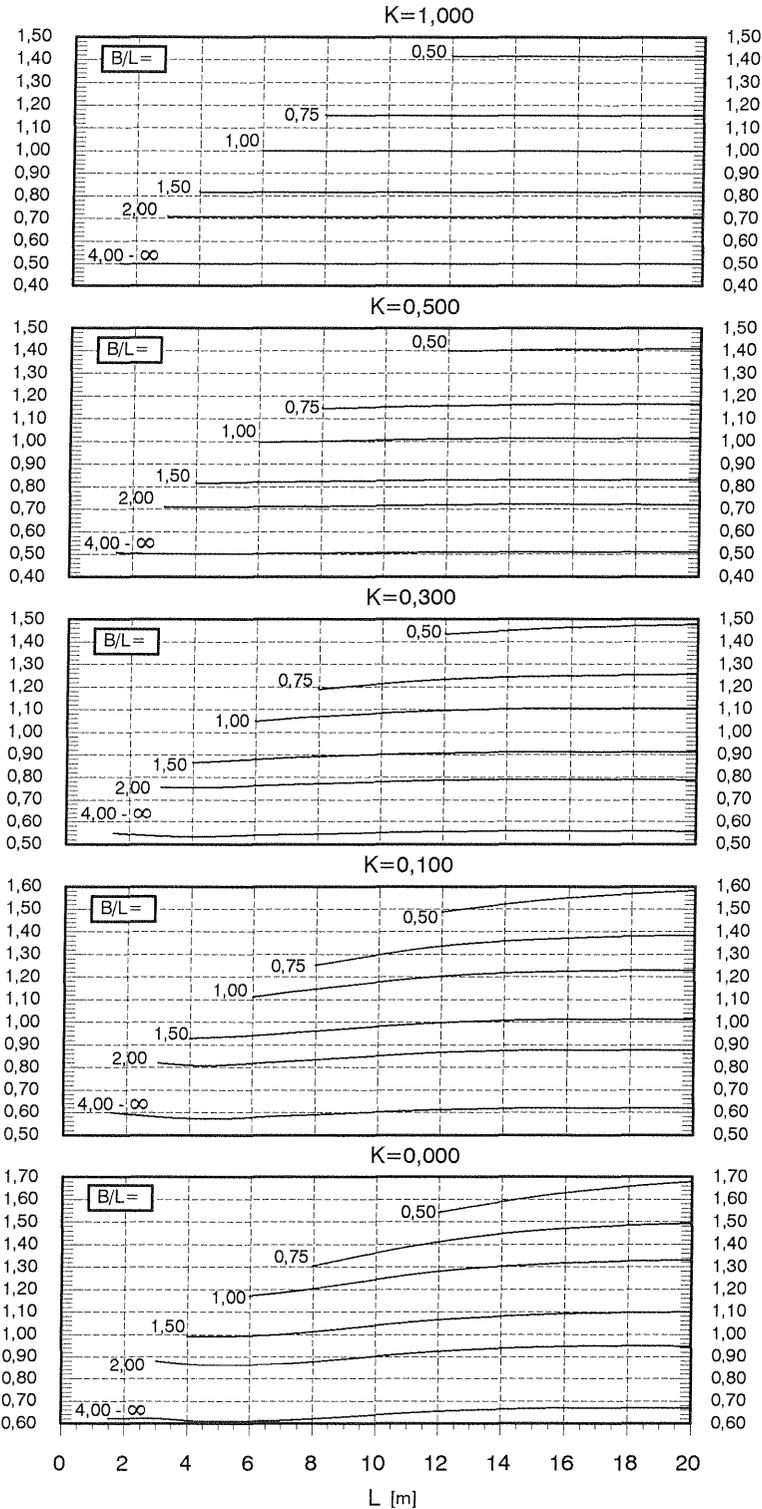


12

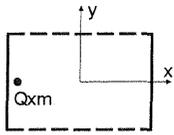


δ_k für M_{xr} infolge Brückenklasse 60/30

δ_k

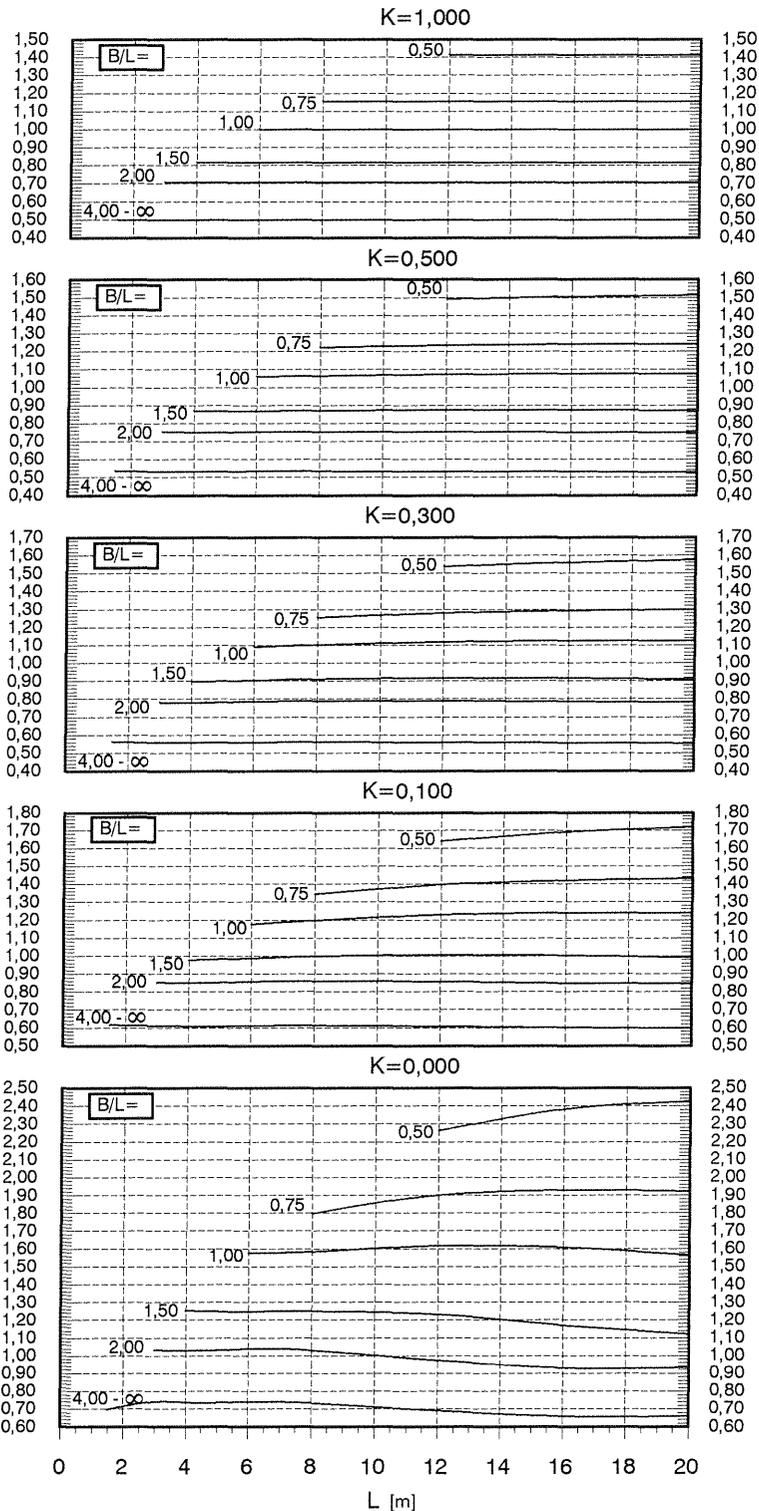


13

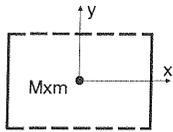


δ_k für Q_{xm} infolge Brückenklasse 60/30

δ_k

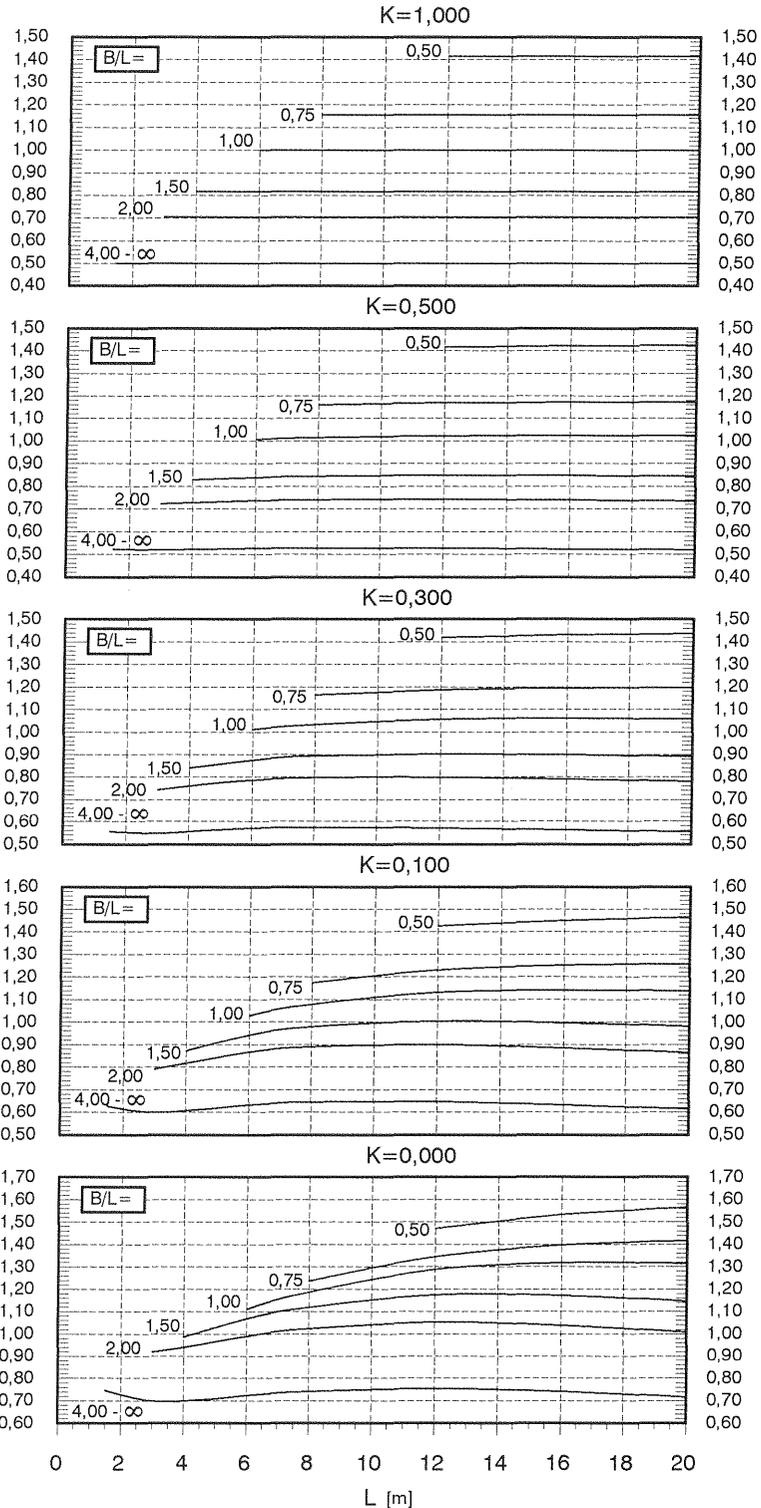


14

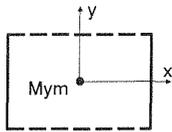


δ_k für Mxm infolge Brückenklasse 30/30

δ_k

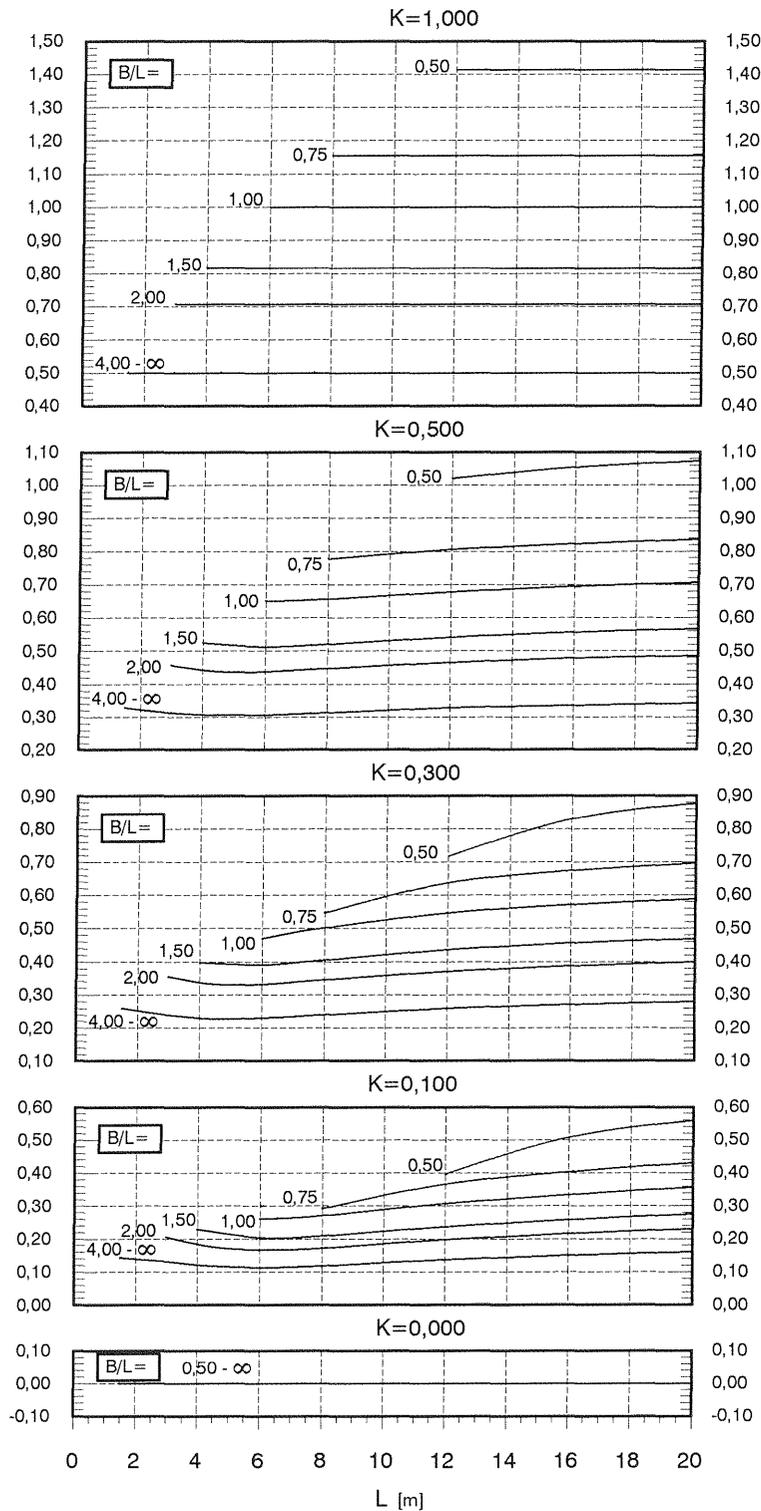


15

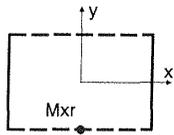


δ_k für Mym infolge Brückenklasse 30/30

δ_k

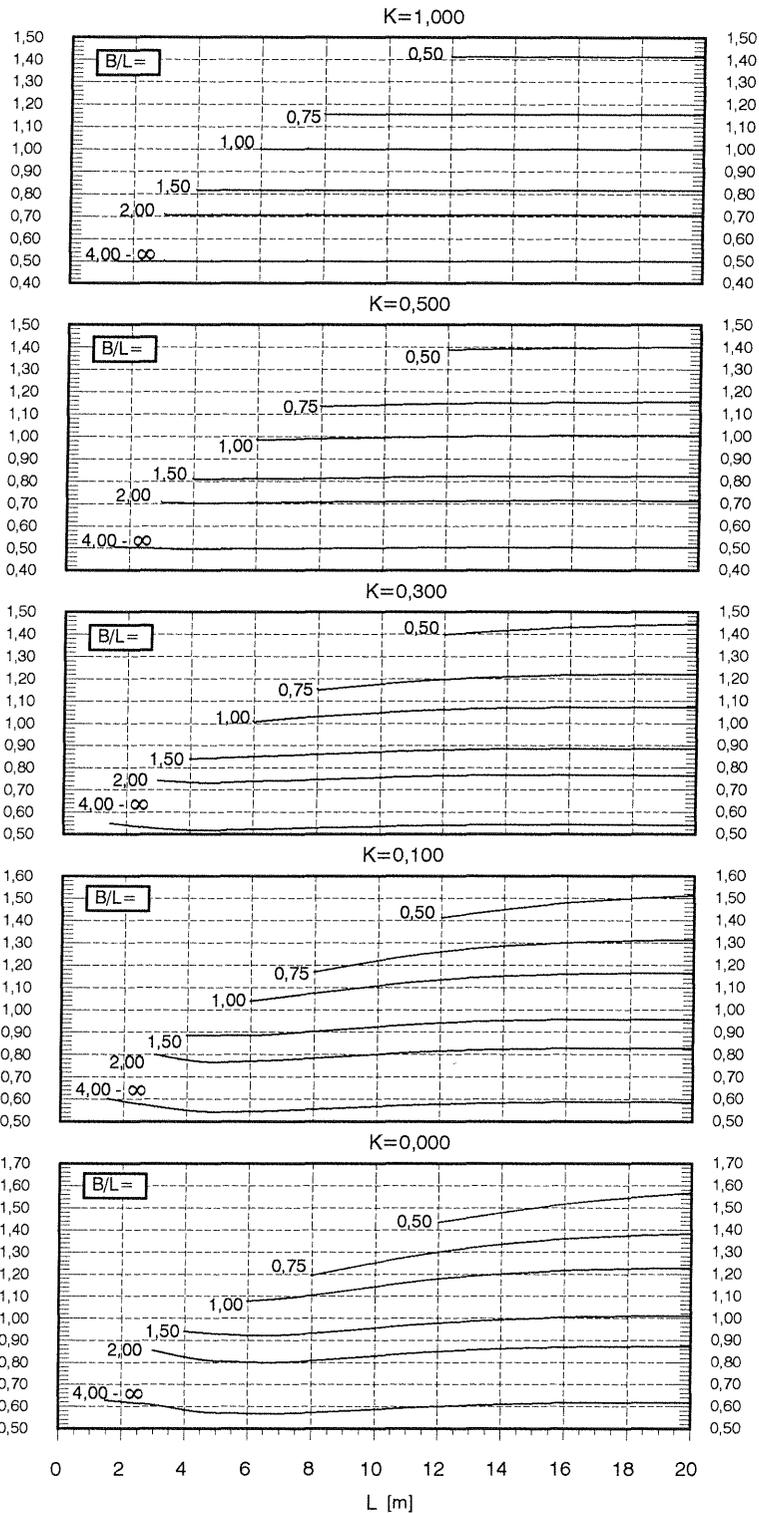


16

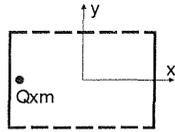


δ_k für M_{xr} infolge Brückenklasse 30/30

δ_k

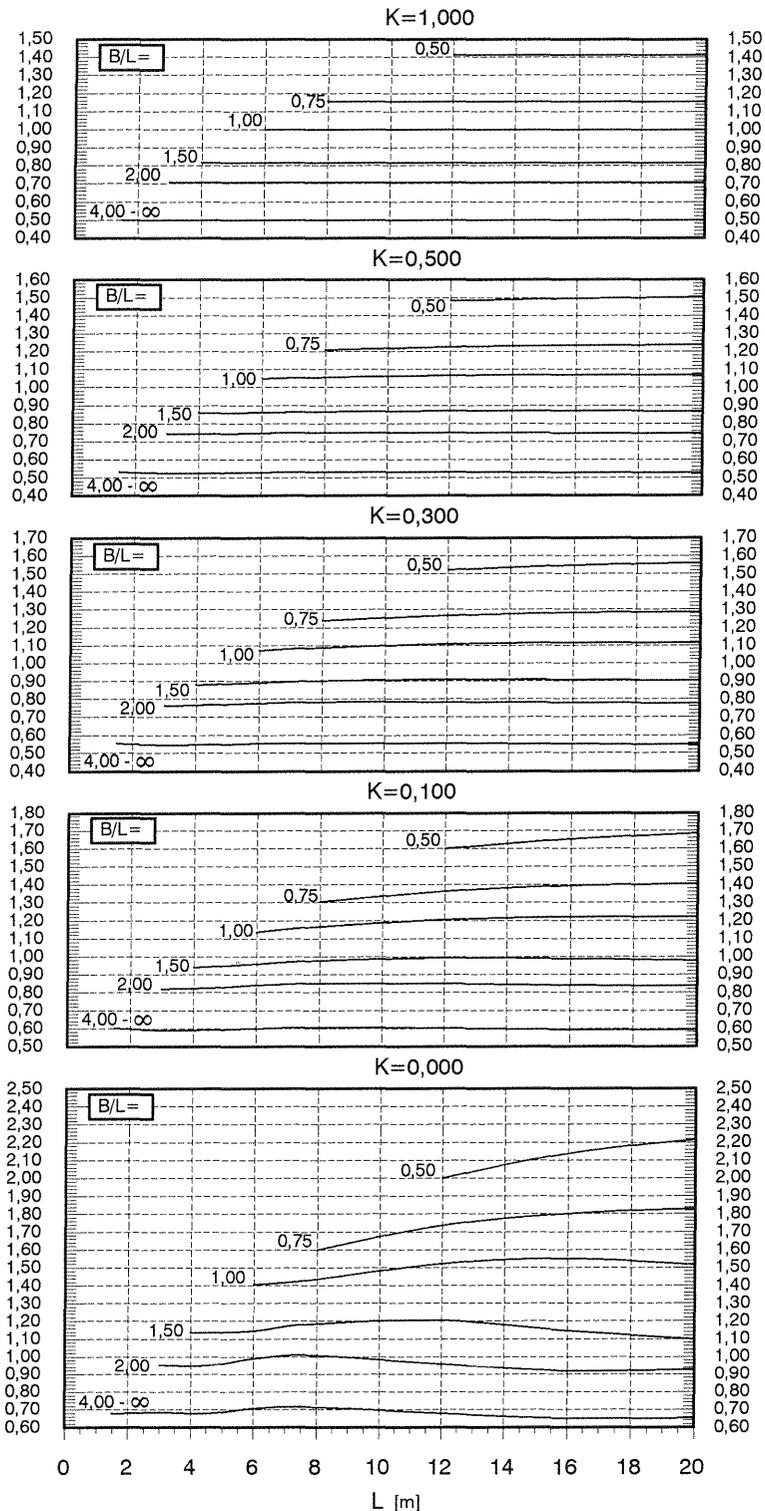


17

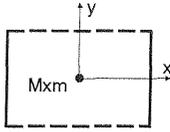


δ_k für Qxm infolge Brückenklasse 30/30

δ_k

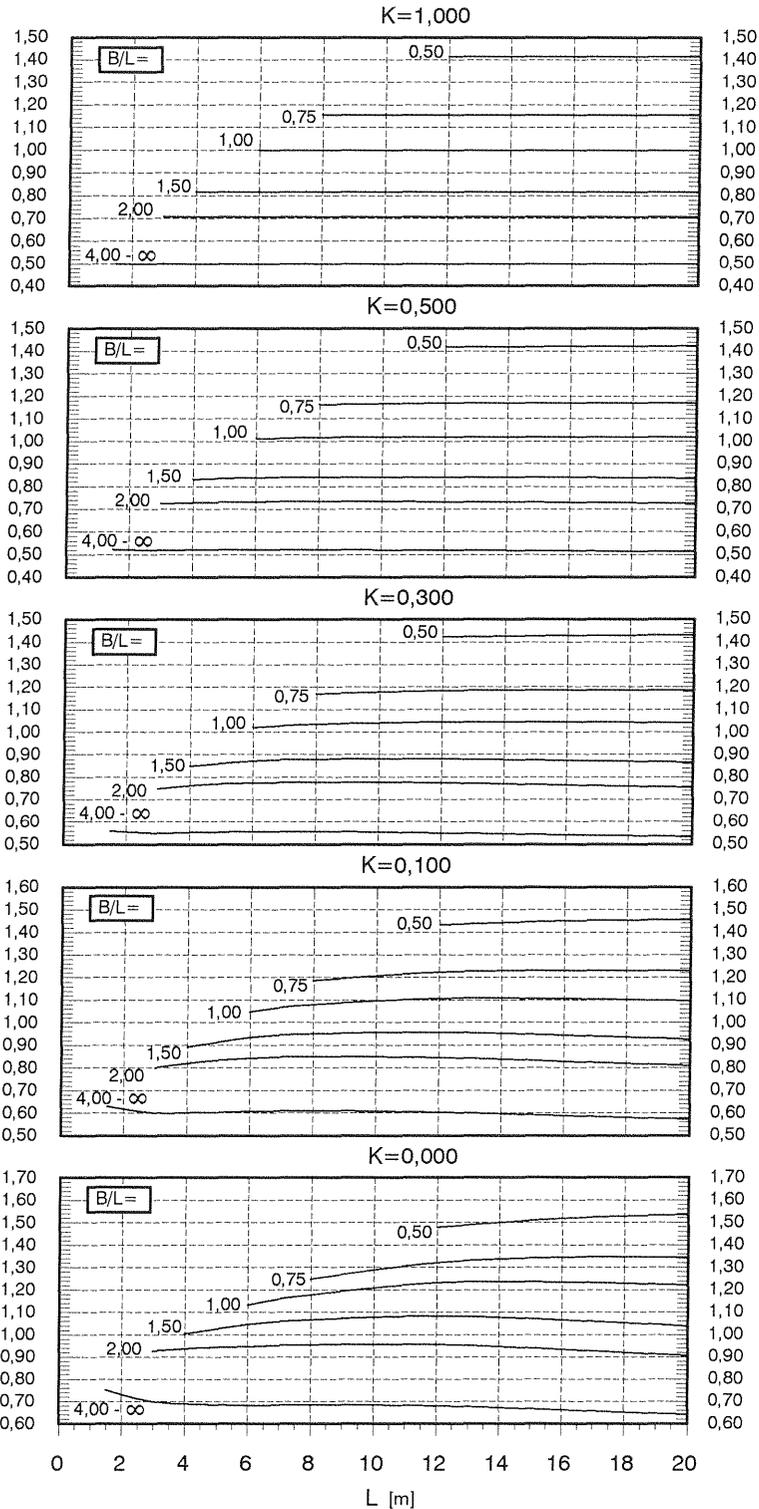


18

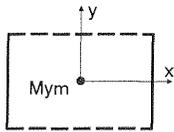


δ_k für Mxm infolge Brückenklasse 16/16

δ_k

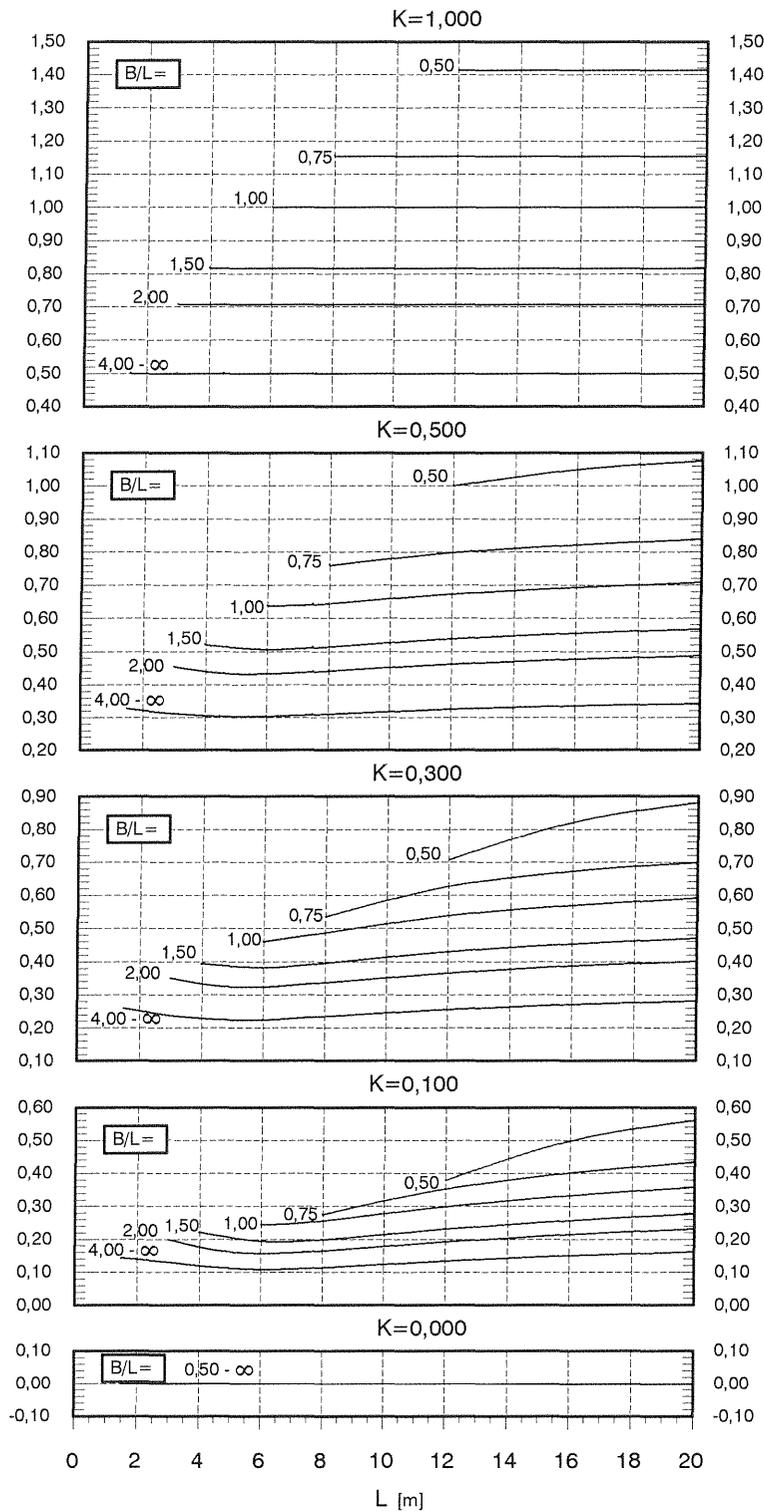


19

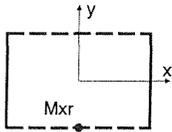


δ_k für Mym infolge Brückenklasse 16/16

δ_k

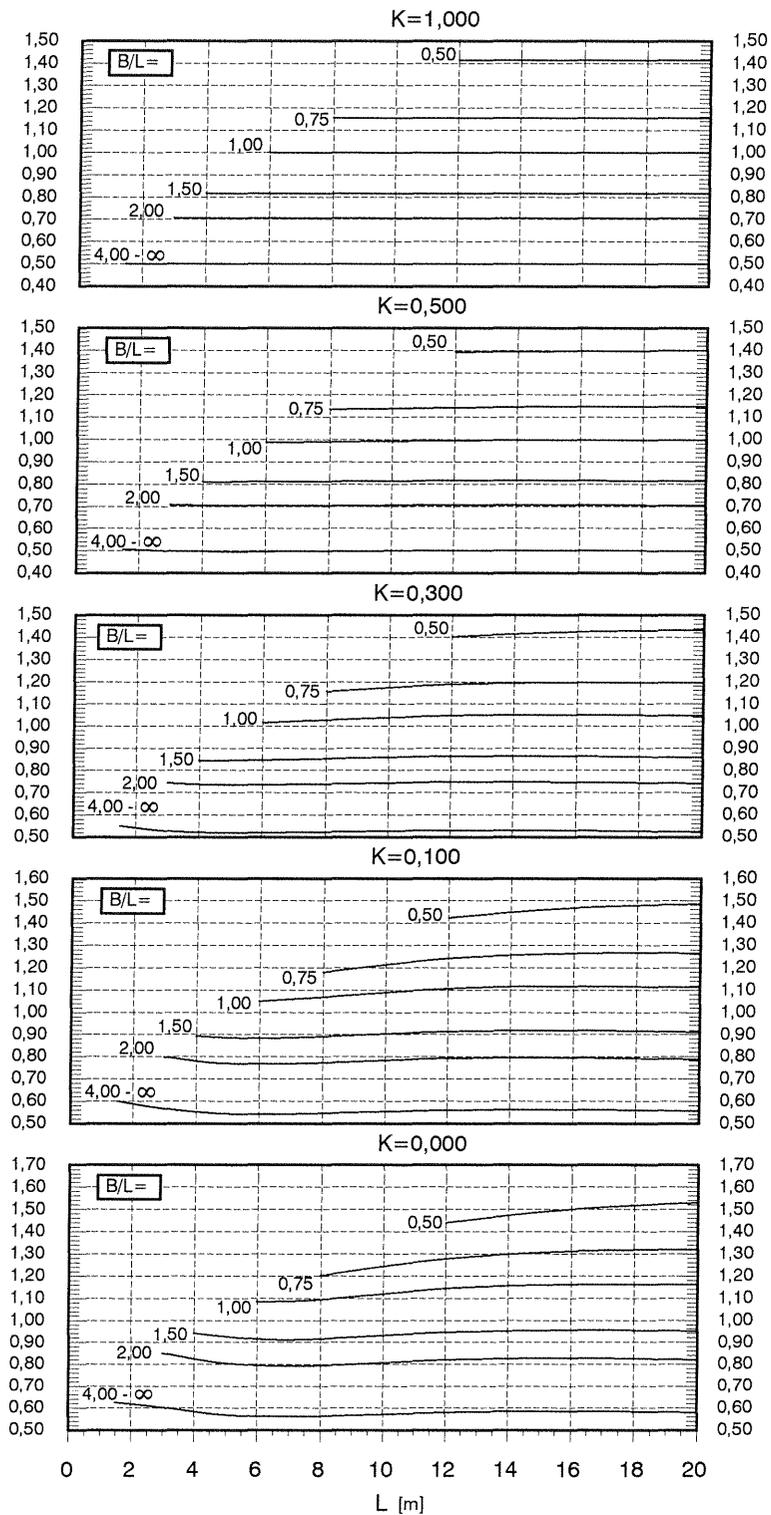


20



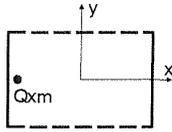
δ_k für M_{xr} infolge Brückenklasse 16/16

δ_k



Anpassungsfaktoren zur Schnittgrößenermittlung bei Platten mit schwacher Querbewehrung

21



δ_k für Q_{xm} infolge Brückenklasse 16/16

δ_k

