

Autobahnknoten bei Schweich-Longuich

mit Moselbrücke Schweich
und Hangbrücke Schweicher Fähre

Zusammenfassende Darstellung über
Planung und Ausführung

Herausgeber
Gregor Maria Kirschbaum

15. Querverrichtete Normalkräfte in Gurten und Stegen von Brückenträgern

Dr.-Ing. A. Krebs
Ingenieurbüro Krebs u. Kiefer, Darmstadt

15.1 Allgemeines

Die Überbauten von Brücken stellen biegesteife *Faltwerke* dar, die vielfach innerlich hochgradig statisch unbestimmt sind. Die praktische Berechnung der Längsbiegespannungen und der Schubkräfte nach der Balkentheorie, d. h. unter der vereinfachenden Annahme ebenbleibender Querschnitte, liefert für die Baupraxis genügend genaue Ergebnisse, wenn bestimmte Einflüsse aus der Tragwerkswirkung als *Faltwerk* berücksichtigt werden. So findet z. B. die nichtlineare Spannungsverteilung in den Gurtplatten ihren Niederschlag im Ansatz mittragender Gurtbreiten; der Einfluß der Profilverformung kann durch nachträgliche Überlagerung von Zusatzspannungen berücksichtigt werden.

Die Einleitung der Eigengewichtslasten und der äußeren Lasten in den Querschnitt ruft Querbiegemomente und querverrichtete Normalkräfte in den Gurten und Stegen hervor. Die Normalkräfte aus Lasteinleitung sind nicht mit den Hauptzugkräften aus der Beanspruchung des Querschnitts durch reine Querkraft zu verwechseln.

Die Größe der Normalkräfte aus Lasteinleitung und damit deren Bedeutung für die Bemessung des Querschnitts hängt sehr von der Querschnittsform und der Art der Belastung ab.

Im folgenden soll daher an prinzipiellen Beispielen der Verlauf und die Größe der Normalkräfte aus Lasteinleitung erläutert werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird dabei volle mitwirkende Plattenbreite über den ganzen Querschnitt angenommen.

Die Ergebnisse können in gleicher Weise für reduzierte mitwirkende Plattenbreiten ermittelt werden.

Die Darstellung beschränkt sich bewußt auf einfache Querschnittsformen mit einfacher Schubflußverteilung (einzellige Hohlkästen, ein- oder zweistegige Plattenbalken). Die Überlegungen gelten im Prinzip in gleicher Weise für Querschnitte, bei denen die Schubkraftverteilung durch eine statisch unbestimmte Rechnung zu ermitteln ist.

15.2 Bekannte Grundlagen

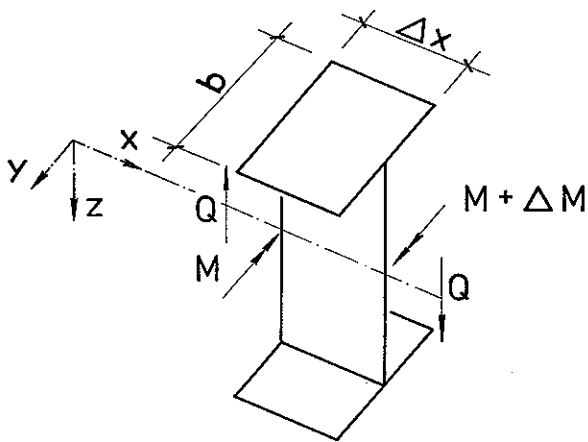
Ein symmetrischer Plattenbalken mit konstanter Steg- und Gurtstärke t sei gemäß Abb. 65 durch ein Biegemoment M und eine konstante Querkraft Q beansprucht. Die Verteilung der Schubspannungen in den Querschnitten x und $x + \Delta x$ ist in den Abb. 66 und 67 dargestellt. Betrachtet man das Kräftespiel an einer Hälfte des Obergurtes (Abb. 68), so sieht man, daß alle dargestellten Kräfte im Gleichgewicht stehen, ohne daß am Anschnitt zum Trägersteg eine Zugspannung wirkt:

$$\text{Der Zuwachs der Biegenormalkraft} \quad \int_0^{b/2} \Delta \sigma \cdot t \cdot dy$$

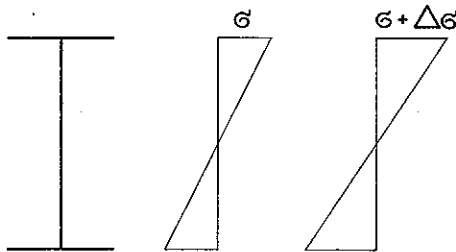
steht mit der eingeleiteten Schubkraft

$$\int_x^{x + \Delta x} \tau_{yx} \cdot t \cdot dx$$

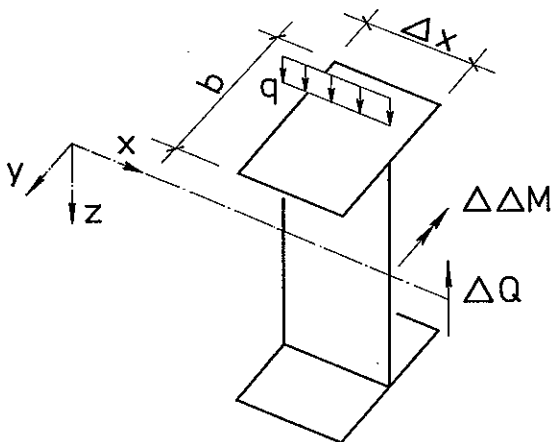
im Gleichgewicht. Das Versatzmoment dieser Kräfte



65 Element eines Biegeträgers unter konstanter Querkraftbeanspruchung



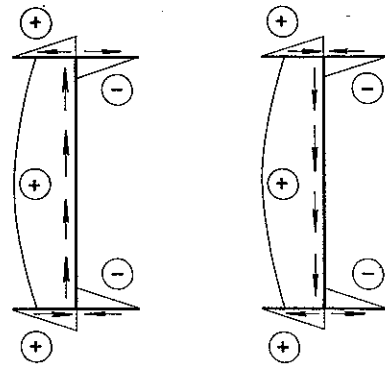
67 Verlauf der Längsspannungen σ_x in den Schnitten x (links) und $x + \Delta x$ (rechts)



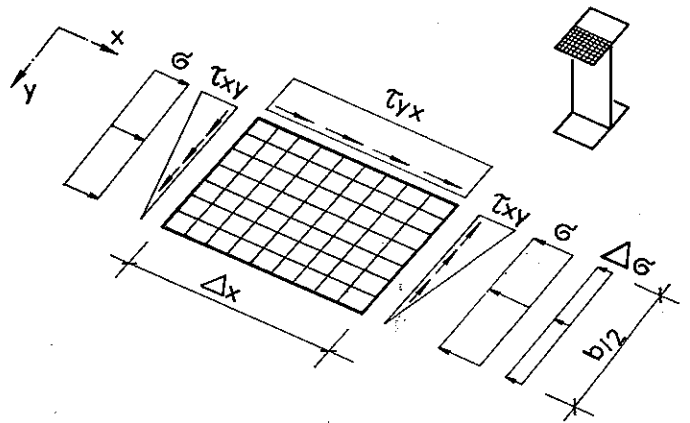
69 Element eines Biegeträgers unter einer Streckenlast

wird durch das gegendrehende Moment aus den Schubkräften $\int_0^{b/2} \tau_{xy} \cdot t \cdot dy$ an den Stellen x und $x + \Delta x$ aufgehoben.

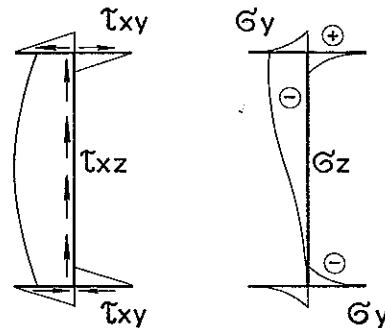
Wird nun der gleiche Plattenbalken durch eine vertikale Linienlast q zusätzlich beansprucht (Abb. 69), so ruft diese Belastung eine Querkraft $\Delta Q = q \cdot \Delta x$ und ein (da



66 Verlauf und Richtung der Schubspannungen τ_{xy} und τ_{xz} in den Schnitten x (links) und $x + \Delta x$ (rechts)



68 Biegeträger unter konstanter Querkraftbeanspruchung: Gleichgewicht an einer Obergurthälfte des Elements



70 Verlauf der durch die Streckenlast geweckten Zusatz-Schubspannungen τ_{xy} und τ_{xz} (links) und Zusatz-Normalspannungen σ_y und σ_z (rechts)

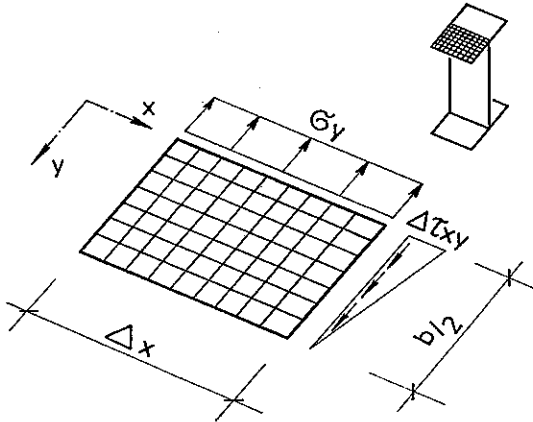
Δx klein ist) vernachlässigbares Moment $\Delta \Delta M$ hervor. Die zu der Querkraft ΔQ gehörenden Schubspannungen sind in Abb. 70 links dargestellt.

Die Spannungsergebnisse der dargestellten Schubspannungen stehen mit der äußeren Last q im Gleichgewicht. Man sieht schon aus der Darstellung, daß die Schubspannungsergebnisse in den Gurten quergerichtete Normalspannungen σ_y hervorrufen. Diese und die Normalspannungen σ_z des Steges sind in Abb. 70 rechts eingetragen.

Das Kräftespiel an der herausgeschnittenen Hälfte des Obergurtes (Abb. 71) zeigt im einzelnen, daß aus Gleichgewichtsgründen eine Zugkraft

$$n_y \cdot \Delta x = \int_x^{x+\Delta x} \sigma_y \cdot t \cdot dx = \int_0^{b/2} \Delta \tau_{xy} \cdot t \cdot dy$$

am Anschnitt der Gurtplattenhälfte wirken muß.



71 Biegeträger unter konstanter Streckenlast: Gleichgewicht an einer Obergurthälfte des Elements

Bei über x konstanter Linienlast q ist n_y über x konstant. Die Größe von σ_y läßt sich unter Anwendung der „Dübelgleichung“ $\tau = \frac{Q \cdot S}{J \cdot t}$ leicht ermitteln:

$$\text{Mit } \Delta \tau_{xy} = q \cdot \Delta x \cdot \frac{S}{J \cdot t}$$

ergibt sich z. B. am Anschnitt der Gurtplatte ($y = 0$)

$$\Delta x \cdot t \cdot \sigma_y = \frac{q \cdot \Delta x}{J} \int_0^{b/2} S \cdot dy$$

$$n_y = t \cdot \sigma_y = \frac{q}{J} \cdot \int_0^{b/2} S \cdot dy$$

Der Verlauf der Normalspannungen σ_z ergibt sich im vorliegenden Beispiel aus dem Kräftespiel zwischen den Schubspannungsergebnissen $\tau_{xz} \cdot t$ und der Streckenlast q . Die dargestellte Verteilung gilt für eine an der Oberseite des Profils angreifende Belastung. Wirkt die Last an der Unterseite des Profils, ergeben sich Zugspannungen im Steg (vgl. hierzu auch Querschnitte 12 und 13 in Abb. 73).

15.3 Beispiele

Einfluß der Querschnittsform und des Lastangriffs

In Abb. 73 sind für verschiedene Querschnittsformen gemäß Abb. 72 die Größtwerte der quergerichteten Normal-

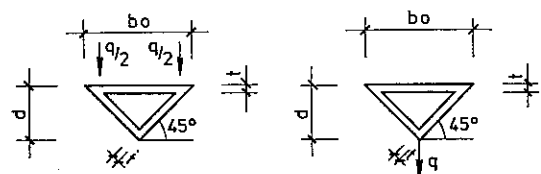
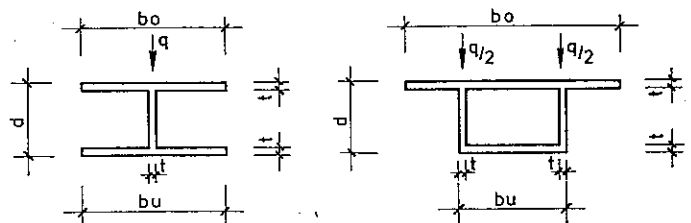
kräfte n_y aus Lasteinleitung unter einer symmetrischen nach unten gerichteten Vertikalbelastung dargestellt. Die Darstellung beschränkt sich der Übersichtlichkeit halber auf die Normalkräfte n_y in den Gurten. Sie erfolgt in der dimensionslosen Form n_y/q . Hierbei bedeutet q die über die Querschnittsbreite integrierte vertikale Gesamtbelastung des Querschnittes in Mp/m.

Der Wert q ist aus der statischen Berechnung bekannt; aus dem Verhältnis n_y/q kann also unmittelbar ersehen werden, ob die Normalkräfte n_y für die Bemessung des Bauwerks von Bedeutung sind.

Aus der Darstellung ist zu ersehen, daß die Normalkräfte n_y bei Trägern mit vertikalen Stegen in Vorzeichen, Größe und Verlauf sehr von der Abmessung und Anordnung der Gurtplatten abhängig sind. Bei einsteigigen Plattenbalken (Querschnitte Nr. 1 bis 6) tritt stets im Obergurt Zug und im Untergurt Druck auf. Bei reinen Hohlkästen (Querschnitte 7 bis 9) sind die Verhältnisse umgekehrt. Bei Hohlkästen mit Kragarmen (Querschnitte 10 und 11) baut sich im Kragarm eine Zugkraft analog zum Plattenbalken auf. Diese Zugkraft wird im Gurtbereich zwischen den Stegen wieder abgebaut.

Wenn die Stege des Querschnittes in der Schräge liegen (Querschnitte Nr. 12 bis 14), ist für die Aufnahme von Vertikalkräften stets eine zusätzliche horizontale Komponente im Steg erforderlich.

Diese Horizontalkomponente muß von den Gurten aufgenommen werden, und zwar immer an den Stellen, an denen die Last q in die Stege eingeleitet wird. So führt eine oben angreifende Belastung zu einer zusätzlichen Zugkraft n_y im Gurtbereich zwischen den Stegen (vgl. Querschnitte 12 und 14). Das zugehörige Kräftespiel im Obergurtknoten des Querschnitts 12 ist in Abb. 74 links dargestellt.



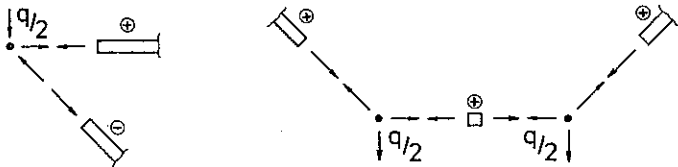
72 Abmessungen der in Bild 73 aufgeführten Querschnitte

Nr.	$\frac{d}{t}$	$\frac{b_o}{t}$	$\frac{b_u}{t}$	max n_y/q	Querschnitte (im gleichen Maßstab) Normalkraftverlauf n_y/q (in verschiedenen Maßstäben)
1	20	5	—	0,02	
2	10	20	—	0,32	
3	5	20	—	0,68	
4	20	5	5	0,01 0,01	
5	10	20	20	0,23 0,23	
6	5	20	20	0,54 0,54	
7	20	5	5	0,01 0,01	

Nr.	$\frac{d}{t}$	$\frac{b_o}{t}$	$\frac{b_u}{t}$	max n_y/q	Querschnitte (im gleichen Maßstab) Normalkraftverlauf n_y/q (in verschiedenen Maßstäben)
8	10	20	20	0,20 0,20	
9	5	20	20	0,48 0,48	
10	10	40	20	0,14 0,19	
11	10	40	8	0,39 0,04	
12	10	20	—	0,50 (Gurt) 0,70 (Steg)	
13	10	20	—	0,26 (Gurt) 0,70 (Steg)	
14	10	40	—	0,67 (Gurt) 0,70 (Steg)	

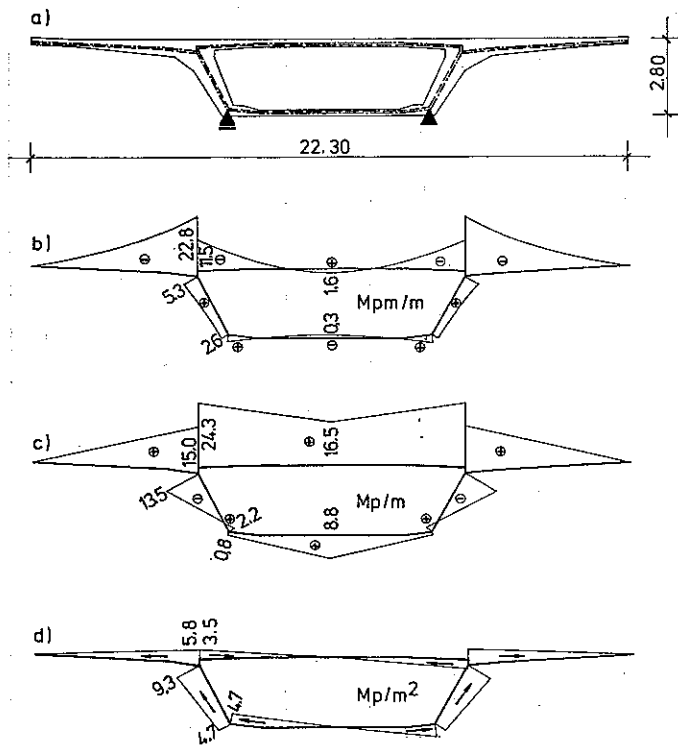
73 Verlauf und Größe der quergerichteten Normalkräfte n_y/q für verschiedene Querschnittsformen

Bei unten angreifender Last q (Querschnitt 13) ergibt sich in gleicher Weise eine horizontale Zugkraft zwischen den beiden Steghälften im Untergurtknoten (vgl. das Kräftespiel in Abb. 74 rechts).

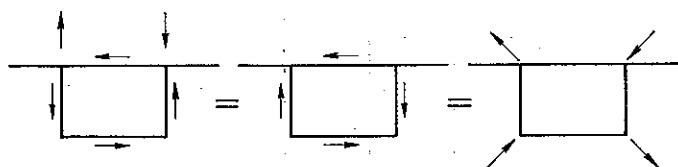


74 Kräftespiel am Obergurtknoten des Querschnittes 12 (links) und am Untergurtknoten des Querschnittes 13 (rechts)

Insgesamt ist aus der Darstellung und den Zahlenwerten n_y/q zu ersehen, daß die quergerichteten Zugkräfte bei Querschnitten mit breiten Gurten Werte erreichen, die von erheblichem Einfluß auf die Bemessung in Querrichtung sein können. Dieser Einfluß verstärkt sich bei schrägliegenden Stegen.



75 Feldquerschnitt der Hangbrücke Schweicher Fähre
a) Statisches System für Prüfrechnung in Brückenquerrichtung Lastfall Eigengewicht und volle Flächenlast $p = 0,30 \text{ Mp/m}^2$
b) Biegemomente, c) Normalkräfte, d) Schubfluß aus Lasteinleitung



76 Einleitung einer Torsionsbelastung in einen Hohlkasten

Hangbrücke Schweicher Fähre

Der Überbau der Hangbrücke Schweicher Fähre besitzt einen einzelligen Hohlkasten-Querschnitt mit stark geneigten Stegen. Abb. 75 zeigt den Feldquerschnitt, das der Prüfrechnung zugrunde liegende statische System in Brückenquerrichtung sowie die Schnittkräfte des Lastfalls „Eigengewicht und volle Flächenlast $p = 0,30 \text{ Mp/m}^2$ “. Die im statischen System (Abb. 75 a) dargestellten Lager haben keine Auflagerkräfte. Sie werden zur Fixierung des Systems bei der elektronischen Berechnung benötigt. Aus der Normalkraftfläche (Abb. 75 c) sind deutlich die Horizontalkomponenten der Steg Schubflüsse aus Lasteinleitung zu erkennen. Sie erzeugen im Obergurt-Steg-Knoten, also an der Stelle, an der der größte Lastanteil eingeleitet wird, einen Zuwachs der Obergurt-Zugkraft von $9,3 \text{ Mp/m}$. Die Untergurt-Zugkraft springt am Anschnitt zum Steg von Null auf $0,8 \text{ Mp/m}$. Dort wird auch nur ein kleiner Anteil der Vertikallast, nämlich die Last aus der Bodenplatte, in das System eingeleitet.

15.4 Auswirkungen von Torsionsschubflüssen

Die bisherigen Ausführungen gelten für symmetrisch belastete Querschnitte. Werden in einem Hohlkastenquerschnitt Torsionsschubflüsse aus Lasteinleitung erzeugt, so wird der Querschnitt durch Druck- und Zugkräfte über seine Diagonalen beansprucht (Abb. 76). Je nach den Steifigkeits- und Lagerungsverhältnissen werden diese Kräfte über die Biegesteifigkeit des Querschnittes oder über die Scheibensteifigkeit der Gurte und Stege im Zusammenwirken mit Querträgern abgetragen. Hierüber berichteten u. a. Kupfer [1] und Steinle [2].

Bei Kenntnis dieses Kräftespieles bereitet die Berechnung der Normalkräfte aus Lasteinleitung keine Schwierigkeiten.

15.5 Zusammenfassung

In den Gurten und Stegen von Brückenträgern wirken quergerichtete Normalkräfte n_y aus Lasteinleitung. Es wird das prinzipielle Kräftespiel erläutert und ein Überblick über die Größenordnung der Kräfte gegeben.

Je nach den Abmessungsverhältnissen, insbesondere aber bei geneigten Stegen können die Normalkräfte n_y aus Lasteinleitung Werte erreichen, die bei der Bemessung von großem Einfluß sind.

Schrifttum

- [1] Kupfer, H.: „Kastenträger mit elastisch ausgesteiftem Querschnitt unter Linien- und Einzellasten“ in Festschrift Rüsck. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München 1969, S. 251 bis 263.
- [2] Steinle, A.: „Torsion und Profilverformung beim einzelligen Kastenträger“. Beton und Stahlbetonbau, Berlin 1970, Nr. 9, S. 215 bis 222. „Praktische Berechnung eines durch Verkehrslasten unsymmetrisch belasteten Kastenträgers am Beispiel der Henschbachtalbrücke“. Beton und Stahlbetonbau, Berlin 1970, Nr. 10, S. 249 bis 253.