

III. Abschnitt.

Belastung der Brücken.

Die Belastung von Brücken setzt sich immer aus zwei Theilen zusammen, nämlich aus dem Eigengewichte (permanente Last) und der zufälligen Last (variable Last), welch' letztere hauptsächlich durch den Verkehr von Menschen und Fuhrwerken entsteht und deshalb wohl auch kurzweg Verkehrslast genannt wird. Ueber beide sind, weil sie die wichtigsten Unterlagen für die Berechnung jeder Brücke bilden, einige ausführlichere Mittheilungen allgemeiner Art hier erforderlich.

a. Eigengewicht.

Geht man von dem einfachen Falle aus, wo drei auf kurze Entfernung freiliegende horizontale Balken oder Träger aus Stein, Holz und Eisen, von einer und derselben bedeutenden Last angegriffen werden, so zeigt eine einfache Untersuchung, dass das Gewicht des Steinbalkens einen erheblichen Einfluss auf die Berechnung der Dimensionen desselben ausübt, das des hölzernen und eisernen Trägers dagegen bei nicht ganz scharfer Rechnung vernachlässigt werden darf.

Für zusammengesetzte Constructionen, insbesondere für Brücken, wo schon die Anordnung der Fahrbahn unter allen Umständen eine erhebliche, von der Spannweite ganz unabhängige Belastung pro Längeneinheit hervorruft, besteht zwar auch noch ein ähnliches Verhältniss zwischen Stein-, Holz- und Eisenconstructionen, wie bei den oben erwähnten einfachen Trägern, indem das Eigengewicht einer steinernen Brücke unter Umständen 4 bis 5 mal grösser, das einer hölzernen oder eisernen Brücke ebensovielmal kleiner als die gesammte zufällige Last sein kann, — immer aber ist das Eigengewicht, auch bei den hölzernen und eisernen Brücken, so bedeutend, dass es nicht mehr vernachlässigt werden darf.

Zu Gunsten einer einfacheren Rechnung wird nun bei den letztgenannten Brücken die Annahme gemacht, dass das Eigengewicht eine gleichmässig über die ganze

Länge der Brücke vertheilte Belastung bilde, eine Annahme, welche zwar bei Anwendung von Parallelträgern noch einigermaassen richtig ist, bei verschiedenen anderen Trägersystemen aber, namentlich bei Bogenbrücken, um so weniger zutrifft, je leichter die Construction der Fahrbahn gehalten wird. Bei steinernen Brücken dagegen ist die Annahme eines gleichmässig vertheilten Eigengewichtes in keiner Weise zulässig, vielmehr muss in den einzelnen Fällen die meist erhebliche Zunahme des Eigengewichtes vom Scheitel gegen die Widerlager hin berücksichtigt werden. Da diese Zunahme von der Form der Gewölbe abhängt, diese aber eine sehr verschiedenartige sein kann, überdies die specifischen Gewichte der zur Wölbung und Auffüllung verwendeten Materialien stark variiren, so lassen sich allgemeine Regeln für das Eigengewicht steinerner Brücken nicht wohl aufstellen.

Auch bei Holzbrücken ist es schwer, über das Eigengewicht derselben allgemeine Angaben zu machen, weil hier die Verkehrslast und die gesammte Anordnung der Träger ausserordentlich verschieden angenommen werden und somit für jeden solchen Belastungsmodus und für jedes Constructionssystem besondere umständliche Berechnungen angestellt werden müssten, um allgemeine Ausdrücke für das Eigengewicht hölzerner Brücken zu erhalten. In vielen Fällen mag es genügen, das Eigengewicht der hölzernen Brücken gleich jenem der eisernen Brücken für gleiche Verhältnisse anzunehmen.

Bei eisernen Strassenbrücken ist es, ihrer gleichmässigeren Construction wegen, eher möglich, für bestimmte Fahrbahnbreiten und Belastungen, dann für durchweg gleiche Anordnung des Abdeckungsmaterials, beziehungsweise der Beschotterung, das Eigengewicht durch Formeln auszudrücken, und sei hier angeführt, was in „Laisle und Schübler“ als Constructionsgewicht, ohne Hinzurechnung des Gewichtes der Hauptträger, für eiserne Strassenbrücken von 7,5^m Gesamtbreite (5,5^m Fahrbahnbreite und beiderseitige Trottoire von je 1^m Breite) angegeben wird.

Zusammenstellung des Eigengewichtes eiserner Strassenbrücken excl. Hauptträger.

Spannweite in Metern.	A. Beschotterung von 20cm mittlerer Stärke auf Wellen- blech und Belastung durch schwerste Lastwägen.		B. Doppelte Bedielung von 14cm starkem Eichenholz und Belastung durch schwere Landfahrwerke.	
	Eisengewicht.	Totalgewicht.	Eisengewicht.	Totalgewicht.
Kilogramme pro laufenden Meter.				
4—6	430	2980	100	850
5—7	810	3750	450	1170
10—15	1290	3810	680	1400
15—20	1580	4100	750	1470

Als Mittelwerth, namentlich für die am häufigsten vorkommenden kleineren Spannweiten, kann hienach das Gewicht der Constructionstheile excl. Hauptträger ad A zu 3600, ad B zu 1300^k pro laufenden Meter genommen werden und hiezu kommt noch das Gewicht der letzteren selbst, welches proportional zur Spannweite ad A mit 42 l, ad B mit 28 l in Rechnung zu bringen ist, so dass das Gesamt-Eigengewicht sich ergibt:

$$\begin{array}{l} \text{ad A zu } 3600 + 42 \text{ l} \\ \text{ad B zu } 1300 + 28 \text{ l} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{ad A zu } 3600 + 42 \text{ l} \\ \text{ad B zu } 1300 + 28 \text{ l} \end{array}} \right\} \text{ Kilogr. pro laufenden Meter.}$$

In ähnlicher Weise lassen sich Werthe des Eigengewichtes von eisernen Eisenbahnbrücken aufstellen, welche allgemein gültig sein können, da hier gleiche Fahrbahnbreiten (für eines oder für zwei Geleise), so ziemlich gleichartige Anordnungen der Zwischentheile und im Allgemeinen auch gleiche Maximal-Belastungen angenommen werden.

Dass dies noch nicht überall geschehen ist, zeigen die bis zu 30 und mehr Procent betragenden Differenzen in den Eigengewichten ausgeführter Brücken der besprochenen Art von nahezu gleicher Spannweite und Construction, doch ist namentlich durch die „Schlussbetrachtungen“ in Laissle und Schübler II. Theil, 1871, der Weg zu einer Gleichförmigkeit in der Behandlung dieses wichtigen Gegenstandes angebahnt.

Die dortselbst mitgetheilten Werthe für das Eigengewicht eiserner Eisenbahnbrücken, reducirt auf gleiche Inanspruchnahme des Materiales und auf gleiche variable Last, ergeben für die Bestimmung des Gewichtes der Hauptträger (incl. der mit denselben zusammenhängenden, mit den Spannweiten wechselnden Constructionstheile) und des Gewichtes der Fahrbahntafeln folgende Regeln:

- 1) Die Gewichte der Hauptträger eiserner Bahnbrücken, in Kilogrammen pro laufenden Meter und Geleise, (von welchen für die Berechnung eines Trägers selbstverständlich die Hälfte zu nehmen ist) zeigen bis zu den für gewöhnliche Fälle als Maxima zu betrachtenden Spannweiten von 80 bis 100^m eine zur

Spannweite direct proportionale Zunahme, so dass sie durch eine Gleichung von der einfachen Form $\hat{t} = \nu l$ ausgedrückt werden können. Der Factor ν wechselt sehr bedeutend, lässt sich jedoch im Durchschnitt, nach den Angaben an oben genannter Stelle, zu 28,4 annehmen, so dass die Gleichung für \hat{t} folgende wird:

$$\hat{t} = 28,4 l.$$

- 2) Die Gewichte der Eisentheile an den Fahrbahntafeln (Quer- und Längsträger nebst ihren Diagonalverbindungen) lassen sich in ähnlicher Weise bis zur Grenze von etwa 80^m, von wo an sie rascher ansteigend wachsen, durch die Gleichung wiedergeben:

$$\hat{f} = 3 l + 280.$$

- 3) Nimmt man hiezu noch für das Gewicht der Schienen, Quer- oder Langschwellen und Bedielung nebst den nöthigen Befestigungsmitteln den ziemlich constanten Werth 420, so ergibt sich das Gesamt-Eigengewicht aus der Gleichung:

$$\hat{p} = 31,4 l + 700.$$

Die hiedurch bestimmten Werthe von \hat{p} sind auf Blatt A in Fig. 1 als Ordinaten der geraden, mit \hat{p} bezeichneten Linie dargestellt.

Die vorstehenden Ausdrücke für das Eigengewicht sind aus älteren, ausgeführten Brücken abgeleitet. Da hierbei eine Rücksicht auf das Constructionssystem nicht genommen ist, so kann mit den angegebenen Formeln selbstverständlich nur eine sehr approximative Gewichtsbestimmung erzielt werden.

Um aber bei den statischen Berechnungen einer Brücke wiederholte, vergebliche Arbeiten zu vermeiden, ist es nothwendig, die Gewichte derselben mit grösserer Genauigkeit voraus zu kennen.

Mit Rücksicht auf dieses Bedürfniss sind in dem einschlägigen Abschnitte von Winkler's Vorträgen über Brückenbau „theoretische Gewichte“ berechnet, welche durch Multiplication mit einem Construction-Coefficienten empirisch ergänzt werden sollen. In gleichem Sinne ist eine kleine Brochüre von J. Seefehlner „Tabelle zur Berechnung des Eigengewichtes eiserner Brücken-Constructionen für Bahnen“ bearbeitet und mit einer Tabelle der Eigengewichte ausgestattet.

In Bayern sind in den letzten Jahren eine Reihe von eisernen Bahnbrücken zur Ausführung gelangt, bei welchen die Fahrbahn oben liegt und die als symmetrische Fachwerke construirten Hauptträger so nahe zusammengedrückt sind, als es die Stabilität gegen seitliches Umkanten erlaubt. Hiedurch ist das Gewicht der Fahrbahntafel auf ein Minimum gebracht. Die Eigengewichte solcher Brücken sind in nachstehender Tabelle verzeichnet, in welcher l die Stützweite, h die geometrische Höhe der Tragwände (Abstand der Gurtungsschwerpunkte von einander) und e den Abstand der beiden

Tragwände in Metern, \hat{p} aber das Eigengewicht in Kilogrammen pr. laufenden Meter bedeutet.

l	e	h	\hat{p}	l	e	h	\hat{p}
Meter.			Kilogramme.	Meter.			Kilogramme.
16	1,8	2,0	1280	52	2,8	5,2	2600
20	1,8	2,0	1440	56	2,8	5,2	2760
24	1,8	2,4	1600	60	3,6	7,2	2780
28	1,8	2,4	1800	64	3,6	7,2	2940
32	1,8	2,8	1900	68	3,6	8,0	3020
36	2,8	4,4	2080	72	3,6	8,0	3180
40	2,8	4,4	2200	76	4,0	8,8	3320
44	2,8	4,8	2320	80	4,0	8,8	3460
48	2,8	4,8	2500	88	4,0	9,6	3700

b. Zufällige (Verkehrs-) Last.

Die zufällige Last wird bei Brücken durch Menschengedränge, Landfuhrwerke, Locomotiven und Eisenbahnwagen, Wasser, Schnee und Wind gebildet.

Für diese verschiedenen Belastungen, deren Werthe bei hölzernen und eisernen Brücken in der Regel einen erheblich grösseren Einfluss auf die Stärke der Constructionstheile ausüben als die des Eigengewichts, bestehen leider noch, selbst für sonst gleiche Verhältnisse, sehr verschiedene Annahmen. Die Feststellung derselben, oder wenigstens ihrer Grenzen, wäre eine würdige Aufgabe für die vereinigten Techniker Deutschlands.

Einstweilen suchen wir die am häufigsten vorkommenden Annahmen für diese verschiedenen Belastungsweisen in Folgendem zusammenzustellen.

1. Belastung durch Menschengedränge.

Lange Zeit hindurch war, — wenigstens unter den bayerischen Ingenieuren, — als Aequivalent für Menschengedränge eine Belastung von 50 Pfd bayer. pro \square' bayer. betrachtet worden und scheint dieser Werth von Reichenbach herzustammen, der auch für andere Belastungsweisen Normen aufzustellen suchte.

Es entspricht jene Annahme einer Last von 328,7^k pr. \square^m , welcher Werth auch jetzt noch ohngefähr für die Belastung von Brückenfuhrbahnen durch Menschen Geltung besitzt; Laissle und Schübler stellen hiefür den Werth 360^k pr. \square^m auf; Director Gerber nimmt 300^k pr. \square^m für jenen Theil des Fahrweges an, welcher nicht von Wagen und der Bespannung bedeckt ist, und für die Berechnung der Plattformtheile (Wellenblech, Querträger etc.) 560^k pr. \square^m derjenigen Fläche des übrigen Theiles, welche neben dem Lastwagen und dem Gespanne frei bleibt.

Für Fusswege (Trottoire und Stege) ist nach Gerber eine gleichmässige Belastung der ganzen Fläche

von 360^k pr. \square^m , zur Berechnung einzelner Constructionstheile aber eine Belastung von 560^k pr. \square^m , welche bei dicht aneinander gepresst stehenden Menschen eintreten kann, für die Breite des Weges und auf circa 5^m Länge desselben in Ansatz zu bringen.

Nach Angabe Dr. Heinzerlings wird in Amerika als Belastung durch Menschengedränge nur 150^k pr. \square^m angenommen.

2. Belastung durch Landfuhrwerk (Lastwägen).

Wurde früherhin (nach Reichenbach) jede concentrirte Last auf eine gleichmässig vertheilte von demselben Gewicht reducirt und dadurch jede solche Belastung geringer erhalten als die durch Menschengedränge, so ist es gegenwärtig Princip, concentrirte Lasten in der wirklich von ihnen ausgeübten Druckweise, oder mindestens der Art in Rechnung zu bringen, dass man eine gleichmässige Belastung sucht, welche dieselben statischen Effecte hervorbringt, wie jene concentrirten Lasten.

Unter allen Umständen müssen daher letztere hinsichtlich ihrer Grösse und Vertheilung genau bekannt sein oder angenommen werden. Wie schon bemerkt, ist auch hier noch manche Ungleichartigkeit zu beseitigen, im Allgemeinen aber kann man sich damit begnügen, folgende drei Fälle anzunehmen, welche gewisse Maximalbelastungen, wie sie auf Landstrassen vorkommen, festsetzen.

a) Auf gewöhnlichen Landstrassen (Hauptstrassen) verkehren kaum schwerere Lastwägen als solche mit 6000^k Axendruck und der auf Blatt A Fig. 2 dargestellten Anordnung des Gefährtes, dessen Spurweite mit 1,3^m und Minimalbreite in der Höhe der Ladung mit 2,4^m anzusetzen ist. (S. Heinzerling „Die angreifenden und widerstehenden Kräfte der Brücken- und Hochbau-Constructionen“ S. 5 und Gerber „Bestimmung der zulässigen Spannungen in Eisen-Constructionen“ S. 24).

Eine Begegnung solcher Wägen auf einer Brücke von 3,8 bis 6,2^m Fahrwegbreite kann immerhin eintreten. Bei längeren Brücken wird hinter und neben einem derartigen Wagen noch ein den übrigen Theil der Fahrbahn bedeckendes Menschengedränge nach oben stehenden Bemerkungen angenommen.

b) In industriellen Bezirken dagegen, sowie in der Nähe von Etablissements, aus denen sehr schwere Maschinen, Locomotiven, Dampfkessel u. dergl. transportirt werden müssen, ist das in Fig. 3 gezeichnete Schema eines schwersten Wagens zu Grund zu legen, wobei die gleichzeitige Anwesenheit zweier Fuhrwerke der Art nicht angenommen zu werden braucht. Die Spurweite eines solchen Wagens beträgt 1,5^m; derselbe fährt in der Mitte des Fahrweges oder höchstens um $\frac{1}{3}$ der halben Fahrwegbreite seitlich und ist für die Berechnung der Plattform maassgebend. Die vom Wagen und dem Gespanne