

Universitätsbibliothek Karlsruhe

IV E 2347

Engesser, Friedrich

Belastungen des Brückenbaues

Karlsruhe

1911/12

Engesser, Friedr.

IVE
2347

IV E 2347.



Die Belastungen des Brückenüberbaues.

(von Friedrich Engesser) 1912

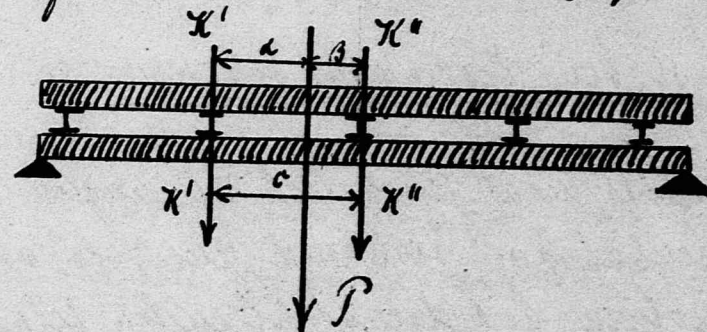


Die Belastungen des Überbaues sind:

- 1.) die Verkehrslast (Nutzlast, bewegliche Last),
- 2.) das Eigengewicht des Überbaues (tote Last),
- 3.) die Auflastkräfte der Verkehrslast,
- 4.) der Winddruck.

Hierzu wirken 1.) & 2.) vertikal, 3.) & 4.) im horizontalen Längsprofil. Lasten werden durch die Hauptträger auf die Auflager übertragen, letztere, soweit sie quer zur Brücke gerichtet sind durch besondere Längsträger (Brückverband).

Die Belastungen wirken entweder nur auf die Oberfläche der Träger (z. B. Verkehrslast) oder auf sämtliche Mantelflächen derselben, wie das Eigengewicht der Träger (Oberflächenbelastungen & Massenbelastungen). Sie wirken entweder an einzelnen Punkten konzentriert (Einzellasten), wie z. B. das Eigengewicht der Träger und der Winddruck. Die stetige Belastung kann entweder gleichförmig oder ungleichförmig über den Träger verteilt sein. Schließlich unterscheidet man noch zwischen mittelbarer und unmittelbarer Belastung, je nachdem die Last durch Vermittlung von Zwischenkonstruktionen an einzelnen bestimmten Knotenpunkten oder unmittelbar am Träger angreift. In der Regel nimmt man der Einfachheit wegen an, daß die Lasten durch die Zwischenkonstruktionen nach dem Hebelgesetz auf die benachbarten Knotenpunkte verteilt werden.



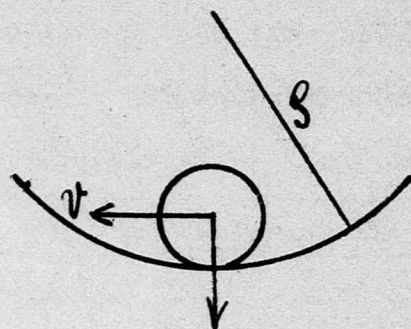
$$\text{linke Knotenlast } K' = \frac{P \cdot b}{c}$$

$$\text{rechte Knotenlast } K'' = \frac{P \cdot a}{c}$$

Bei mittelbarer Belastung wirken die 2 Komponenten K' & K'' an Stelle der Resultierenden P .

4) Die Verkehrslast.

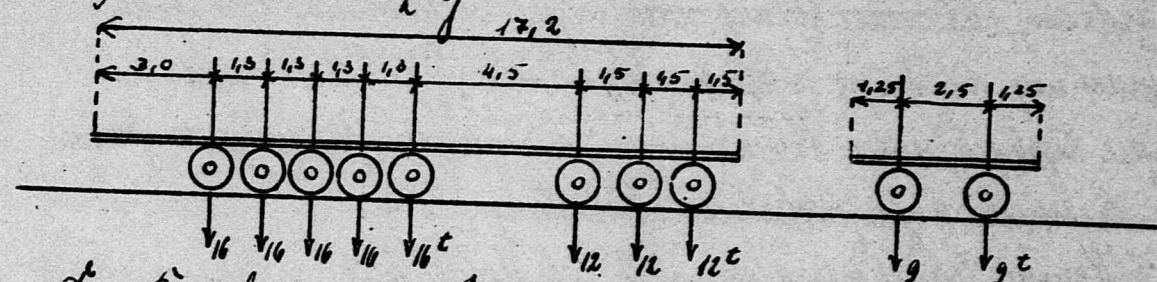
Die Verkehrslast ist in Bewegung, sie kann verschiedene Lagen auf der Brücke annehmen. Aufgabe der Theorie ist es, diejenigen Lagen auf der Brücke zu ermitteln, welche die ungünstigsten Beanspruchungen hervorrufen. Die Verkehrslast wirkt mehr oder minder plötzlich, z. B. stoßweise auf den Träger ein. Hierdurch tritt eine Vergrößerung der Beanspruchung gegenüber einer gleich großen ruhenden Last ein. Eine weitere Vergrößerung entsteht durch die vertikale Zentrifugalkraft R , die mit der Geschwindigkeit v sich bewegenden Verkehrslast, welche durch die vertikale Durchbiegung des Trägers hervorgerufen wird, sowie durch vorübergehende Erhöhung einzelner Achsbelastungen infolge der Fubr Bewegung (namentlich bei kleinen Trägern). Die Verkehrslast wirkt nur zeitweise, hierdurch entsteht ein ständiger Wechsel in den Beanspruchungen des Trägers. Es ist dies ein Umstand, der gleichfalls von ungünstigem Einfluß auf die Brücke sein kann, und zwar umso mehr, je öfter der Wechsel eintritt. Den genannten Umständen wird in max. dedurch Rechnung getragen, daß entweder die Verkehrslast mit einem erhöhten Betrage in Rechnung gezogen wird, oder die rechnungsmäßig zulässige Beanspruchung, der Quotienten coefficient K entsprechend erniedrigt wird. Näheres hierüber erfolgt bei der Querschnittbestimmung, hier handelt es sich um Angabe der wirklichen Größe der Verkehrslast.



Verkehrslast bei Eisenbahnbrücken.

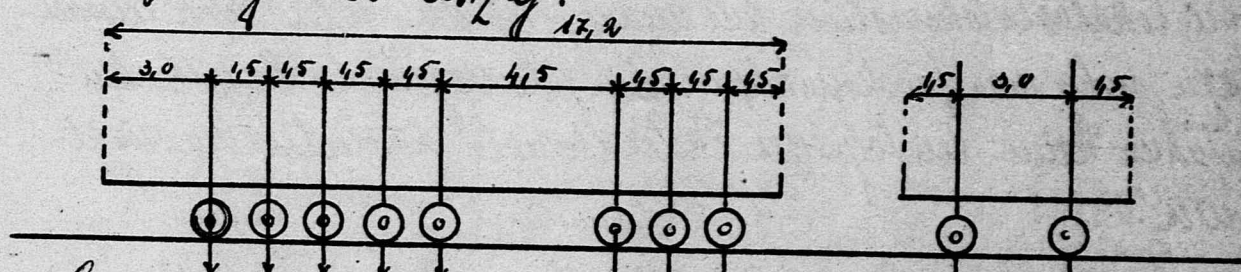
Bei Hauptbahnen wählt man gewöhnlich als ungünstigste Belastung einen Eisenbahnzug bestehend aus zwei oder drei schweren Lokomotiven mit darauf folgenden beladenen Güterwagen. Nachstehend sind die Verhältnisse der Lokomotive und des Lastwagens der von der Radischen o. von der preussischen Eisenbahnverwaltung angenommenen Lastzüge angegeben.

a) Radischer Lastzug



Bei Berechnung der Brücken ist ein Zug aus zwei der vorstehend skizzierten Lokomotiven samt Tender in ungünstigster Stellung und einseitig angeordneten Wagen (-3,6t. Gewicht für den hinteren Wagenteil) zu Grunde zu legen. Sind von 4 je 1,3m voneinander abgehende Achsen von denen die an der ungünstigsten Stellung stehende mit 18t, die übrigen mit 16t Belastung anzunehmen sind, größere Beanspruchungen ergeben, als die oben skizzierte Lokomotive, ist dieser Belastungsfall zu Grunde zu legen.

b) Preussischer Lastzug:



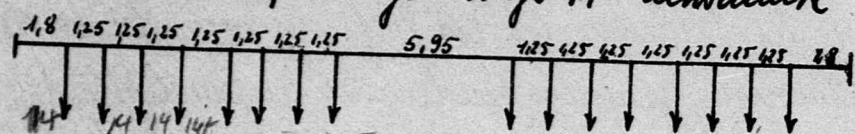
Es ist ein Zug aus zwei Lokomotiven in ungünstigster Stellung mit einer unbeschränkten Anzahl einseitig angehängter Güterwagen anzunehmen. Bei der Berechnung kleinerer Brücken und der Querschnittsträger sind, soweit sich hierdurch größere Beanspruchungen ergeben, als durch die oben gezeichnete Lokomotive, folgende Belastungen anzunehmen:

eine Achse mit 20t Belastung oder
zwei Achsen " je 20t " "
drei " " " 19t " "
vier " " " 18t " "

[Anmerkung 1. Friswiler unterscheidet man zwischen der größten Belastungen des normalen Betriebes und außerordentlichen Belastungen. Als letztere nimmt man zwei Lokomotiven mit Güterwagen, als letztere einen ganzen Lokomotivzug (unter Umständen mit einzeln voneinander gestellter Lokomotive) oder außerordentlich schwere Transportzüge (Panzerplatten, Maschinenschütze). Bei der Berechnung mit der außerordentlichen Belastungen

und sodann, mit Rücksicht auf deren seltenes Vorkommen, eine höhere Beanspruchung der Träger zugelassen, als bei allen gewöhnlichen. Das ungünstigere Ergebnis dieser Berechnungen wird der Ausführung zu Grunde gelegt. Beispiele arbeitsverhältnisslicher Belastung:

Kennzeichnungsarbeiten vom 14. Abschnitt

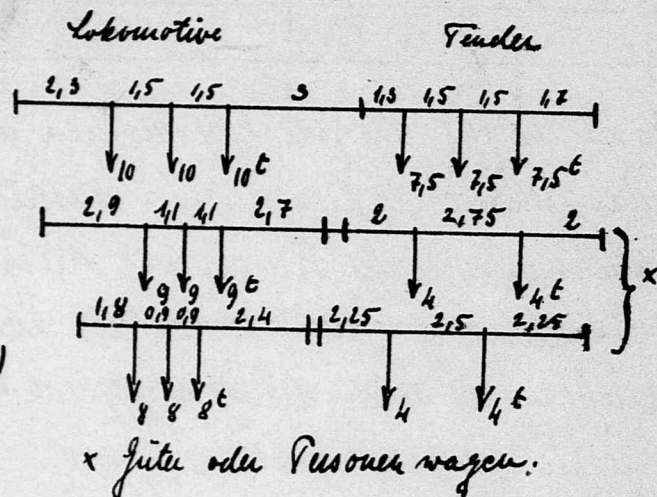


mit Rücksicht auf zu erwartende künftige Erhöhung der Zuggewichte ist
vorwiegend bei Festsetzung des „Belastungsmax.“ geboten.]
Bei Nebenbahnen, welche mit dem Fahrplan der Hauptbahnen be-
fahren werden können wählt man am besten die gleichen Belastungen
wie bei Hauptbahnen. Bei Lokalbahnen, auf welche die Loko-
motiven der Hauptbahn nicht übergehen, wählt man als Belastung
zwei Lokalbahnlokomotiven mit darauf folgender Güter, bezw. Person-
wagen, wobei man für Normalspur die Güterwagen der Hauptbahn
einführen kann. Die folgenden Rasterklemmata entsprechen Maximal-
werten.

Normalspurige Lokalbahn:

Schmalspurige Lokalbahn ($s=1\text{m}$)

Schmalspurige Lokalbahn ($s = 0,75 \text{ m}$)



In der Regel ist der Lokomotivachsdruck bei $s=1$ m nicht größer als 6,5 t und bei $s=0,75$ m nicht größer als 5,5 t.

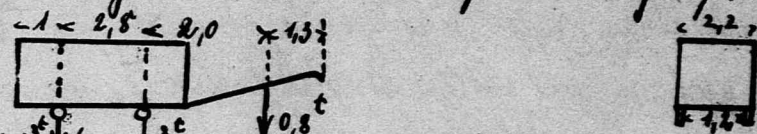
Für Berechnungen werden häufig, häufig statt der wirklichen Lasten gleichzeitige stetige Belastungen (Belastungsgleichwerte) eingeführt. Die Ermittlung derselben erfolgt später: siehe Bestimmungen der äußeren Kräfte und Zusammenstellung auf der zugehörigen Anlage 1.

Verkehrslast bei Straßenbrücken.

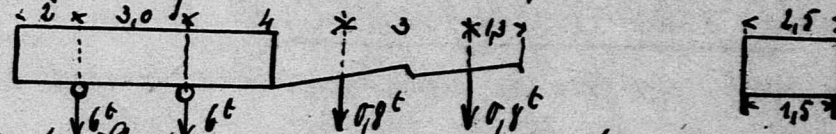
Die Elbe wird entweder durch Menschen jedränge oder durch Fubrwecke

gebildet. Menschengedränge ist als gleichförmig verteilte Last anzusehen. Man rechnet in gewöhnlichen Fällen $\pi = 400 \text{ kg}$, wobei noch langsame Bewegung möglich ist. Bei städtischen Brücken, wo bei besonderen Gelegenheiten vollständige Verkehrsstörungen eintreten können, nimmt man π bis zu 400 kg/m^2 für Berechnung der Hauptträger und π bis zu 500 kg/m^2 für Berechnung der Fußwegträger. Das allerdichteste Menschengedränge kann Belastungen bis zu 700 kg erzeugen, doch braucht eine so hohe Belastung i. d. R. nicht in die Rechnung eingeführt zu werden. Bei Fußwege sind Bellichsheit und Charakter der Straße sehr verschieden. Man kann für gewöhnliche Verhältnisse folgende Abmessungen zu Grunde legen:

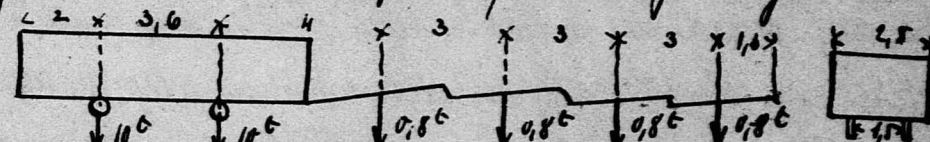
a) Döfsege: wagen 6^{te} schwer mit 2 Pferden von je 0.4^{te} Gewicht



7.) Landstüper: Wagen 12^t schwer mit 4 Pferden



c.) Häutliche Flecken, auf welcher mehrere Maschenanteile befinden werden: 1 Fleck mit 8 Maschen, die übrigen Flecken mit 2 u. 3.



Vorstehende Wapenreihen ergeben für kleine Spannweiten größere Breite als Menschengedänge und zwar bezüglich der Körperlänge bei a) für $l < 30^m$, bei b) für $l < 30^m$, bei c) für $l < 40^m$, der Kopfbedeckung bei a) für $l < 30^m$, bei b) für $l < 35^m$, bei c) für $l < 50^m$. Bei c) sehen dem Wapen verbleibende Rest ist mit Menschen bedeckt anzunehmen. noch ungünstigere Beanspruchung erhält man, wenn man statt einer ganzen Wapenreihe nur einer einzigen Wapen jedoch ohne Respaanung und den übrigen Raum mit Menschen bedeckt voraussetzt. Bezüglich der entsprechenden Belastungs gleichweite siehe „Einfache Träger, Bestimmung der äußeren Kräfte“ Auf. 1.

Stufe bahnwagen & dampfheizungs ergeben meist kleinere Transporthungen als wagen v) Kesselwagen kleiner als wagen c)

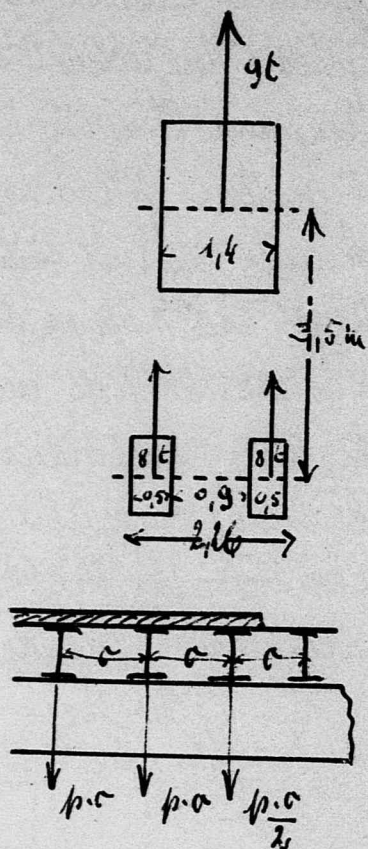
6.

Hauptträgerwölge.

Gewicht der Stützwölge zusammen 16 t

" " Bodenwölge 9 t.

Anmerkung 2. Bei gleichförmiger mittelbarer Verteilung p (Querspannung $= e$) trifft in allgemein auf einen Knotenpunkt eine Last $K = p \cdot e$ (Bsp.: $K = p + \frac{e_1 + e_2}{2}$, wenn die Querspannungen ungleich) überdeckt die Belastung des Trägers nur teilweise, so ist die vordere Knotenlast K_1 kleiner als $p \cdot e$, die hintere $K_2 = \frac{p \cdot e}{2}$. Vielfach setzt man der bequemeren Rechnung wegen auch K_1 gleich einer vollen Knotenlast $p \cdot e$, wodurch man etwas zu ungünstige Ergebnisse erhält (Rechnen mit vollen Knotenlasten).



2. Das Eigengewicht.

Das Eigengewicht der Brücke besteht aus dem Gewicht der Fahrbahn, (Schwellen, Schiene, Schotter etc.) der Fahrbahnträger und des Haupttragwerkes (Hauptträger, Quer- u. Längsverbände.) Letzteres Gewicht kann auf Grund des Projektes leicht bestimmt werden. Das Gewicht der übrigen Teile (Eisenkonstruktion) ist im allgemeinen vorerst unbekannt und wird für die Berechnung auf Grund ausgeführter ähnlicher Brücken oder von Gewichtsforneln angenommen. Falls das ermittelte erhaltene Gewicht von den gemachten Annahmen merklich abweichen sollte, muss eine nochmalige Berechnung auf Grund des ermittelten genaueren Gewichtes aufgestellt werden. Das Eigengewicht wird in der Regel als gleichförmig verteilte Last auf die Längserweit. (= l) eingelegt. Es ist jedoch nicht teils unmittelbar (von auf die ganze Traglinie (v. z. B. das Eigengewicht rollender Hauptträger), teils mittelbar nur in einzelnen Punkten (wie z. B. das Fahrbahngewicht durch Vermittelung d. Fahrbahnträger).

Je nimmt zu mit der Spannweite und der Belastung und nimmt ab mit wachsender Materialbeanspruchung, ferner ist es abhängig von dem System der Träger und der Anordnung der Längsbeine. In den ge-

7.

bräuchlichen Gewichtsforneln wird der Einfachheit wegen nur der Einfluss der Hauptfaktoren insbesondere der Spannweite (zum Ausdruck gebracht; für die übrigen werden mittlere Verhältnisse zu Grunde gelegt.

Man kann setzen: $g = f + e = f + e_1 + e_2$, wo f = Gewicht der Fahrbahn, e = Gewicht der Eisenkonstruktion, wobei e_1 auf die Fahrbahnträger, e_2 auf das Hauptwerk bezieht. $f + e_1$ sind im wesentlichen unabhängig von der Spannweite e .

Eigengewichtsforneln für die Eisenbahnbrücken.
in kg pro qm u. pro m.

Hauptbahnen.

$f = 350 - 450$, im Mittel $= 400$ (gewöhnliche Anordnung ohne Bettung)
 $f = 200 - 250$ (mit Bettung auf den Brücken)

In letztem Gewicht sind 120-200 kg für Schotter enthalten.

$e_1 = 60 \bar{b} + 200$ kg pro m Gleis (gewöhnlich eingleisige Anordnung wo $\bar{b}$ = Hauptträgerabstand in m)

$e_1 = 600$ kg pro Gleis (gewöhnlich zweigleisige Anordnung mit $\bar{b} = 8$ m)

Für Bettung auf den Brücken ist e_1 um 25-30% zu erhöhen.

Für etwaige nützliche Trottoirs ist zu rechnen:

$e_1 = 70 - 150$ kg pro fläch. incl. Gelände.

Für Parallelträger mit Stößen von 0,125 l (l = 10 m) bis 0,1 l

(l = 100 m) kann man $l = 10$ m bis $l = 100$ m annehmen:

$e_2 = 270 + 27l + 0,12 l^2$ (gewöhnliche eingleisige Anordnung)

$e_2 = 33l$ (zweigleisige Anordnung)

Für Bettung auf den Brücken ist e_2 etwa um 7 l zu erhöhen, wo

l = Spannweite in meter, somit $e_2 = 270 + 34l + 0,12 l^2$, Bsp.

$e_2 = 40 l$.

Für Träger mit gekrümmten Justierungen und Stößen in Trägermitte von $\frac{1}{16} l$ (l = 10) bis $\frac{1}{8} l$ (l = 100 m) ist e_2 nur etwa 0,9 des entsprechenden Wertes für Parallelträger.

Im Mittel erhält man als gesammtes Eigengewicht für Parallelträger Brücken von $l = 10$ m bis $l = 100$ m bei gewöhnlicher Anordnung mit $f = 400$: $g = 1140 + 27l + 0,12 l^2$ einflächige Anordnung
angenähert $= 1000 + 38l$ mit $e_1 = 470$.

10.

Fußweg mit Asphaltbelag

$$\epsilon' = 110 + 3,1 \ell$$

$$\gamma' = 290$$

IV. $\gamma' = 400 + 3,1 \ell$ In γ' sind 40 kg für Belageisen enthalten.

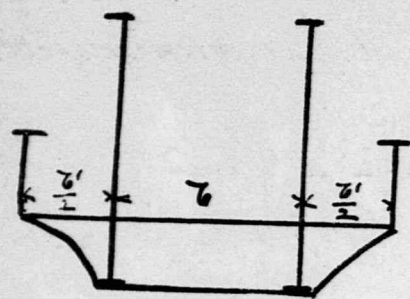
V. Stadtstraßenbrücke mit Steinpflasterung.

$$\epsilon = 200 + 4,1 \ell + 0,032 \ell^2$$

$$\gamma = 470$$

$$\gamma' = 970 + 4,1 \ell + 0,032 \ell^2$$

In γ sind 70 kg für Belageisen enthalten; ϵ' , γ' , γ'' wie unter IV.
Das Gewicht für den laufenden Meter Brücke ist so daan:



$\gamma = b \cdot \gamma' + b' \cdot \gamma''$, wo b = Breite zwischen den Hauptträgerachsen, b' Gesamtbreite der außen angelegten Fußwege. Die Breiten sind von Trägerachse zu Trägerachse zu rechnen. Wird das Fußweggewicht um $\Delta \gamma$ schwerer ausgeführt, als in obiger Formel angenommen, so erhöht sich das Lägergewicht etwa um $\Delta \epsilon =$

$\Delta \gamma \cdot 0,0025 \ell$, somit totale Gewichtszunahme

$$\Delta \gamma' = \Delta \gamma + \Delta \epsilon = \Delta \gamma (1 + 0,0025 \ell)$$

Für kleine Brücken mit Kieschotterung $\ell = 4-10$ m, bei welchen die Belageisen direkt auf die 0,9-1,2 m entfernten Hauptträger (I. Eisen) gelegt werden, kann man annehmen:

I. Stadtkleinstraßen: (Lastwagen 10^t schwer)

$$\text{Lägergewicht } \epsilon = 200 + \ell^2 \text{ kg/qm}$$

$$\text{Schotter } \gamma = 480 \text{ incl. Belageisen}$$

$$\gamma' = 680 + \ell^2 (\ell \text{ in m})$$

II. Landstraßen: (Lastwagen 6^t schwer)

$$\epsilon = 150 + 0,6 \ell^2$$

$$\gamma = 400$$

$$\gamma' = 550 + 0,6 \ell^2$$

III. Feldwege (Lastwagen 3^t schwer)

$$\epsilon = 120 + 0,5 \ell^2$$

$$\gamma = 400$$

$$\gamma' = 520 + 0,5 \ell^2$$

11.

Für Geländer können im Mittel pro laufendem Meter Brücke $2 \cdot 30 = 60$ kg zugerechnet werden.

3. Die Horizontalkräfte der Bremslast.

a.) Seitendruck der Eisenbahnfahrzeuge. Dieselben rechnen mit der Geschwindigkeit; über ihre Größe ist nichts sicheres bekannt. Brückenbrücksichtigt dieselben, indem er an den Achsen der ersten Lokomotive horizontale Querkkräfte von 0,05 des Achsenzugwichts wirksam annimmt. Gewöhnlich werden diese Kräfte in der Rechnung vernachlässigt. Erwiesen wird ihnen durch schätzungsweise Überlegung der zulässigen Beanspruchung Rechnung getragen.

b.) Centrifugalkraft in Eisenbahnkurven. Eine Last, welche sich mit der Geschwindigkeit v in einer Kurve vom Radius r bewegt, besitzt eine Centrifugalkraft:

$$C = \frac{P \cdot v^2}{g \cdot r}, \text{ wo } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Für Schnellzug ist } v = 20-30 \text{ m/s, } C \text{ um } \frac{40 \cdot v^2}{r} - \frac{90 \cdot v^2}{r}$$

$$\text{„ Güterzug „ } v = 10-15 \text{ m/s; } C = \frac{10 \cdot v^2}{r} - \frac{25 \cdot v^2}{r}$$

Wenn es sich um die gleichzeitige Beanspruchung eines Gliedes durch vertikale & horizontale Kräfte handelt, ist in der Regel der zweite Ausdruck maßgebend, weil bei der Einwirkung des größeren Gewichtes der Güterzüge überwiegt. Kommen nun horizontale Kräfte in Betracht, so ist der erste Ausdruck anzuwenden.

c.) Bremskraft bei Eisenbahnfahrzeugen. Während der Fahrt treten mehr oder minder starke Bremskräfte zwischen Rad u. Schienen auf. (Zugkraft der Lokomotive, Widerstand der frei rollenden und gebremsten Räder.) Hierin sind die Bremskräfte die größten. Sie sind ungleichmäßig, im Mittel $\frac{1}{2}$ der Gewicht der gebremsten Wagen. Nicht Rücksicht darauf, daß z. Teil nicht sämtliche Achsen eines Güterwagens gebremst werden, setzt man ^{viel} fast die Bremskraft um $\frac{1}{10}$ der vertikalen Belastung. In Rücksicht auf die in Zukunft zu erwartende Bremsung sämtlicher Achsen erscheint jedoch angepaßt, die Bremskraft gleich $\frac{1}{2}$ der gesamten Zugbelastung einzuführen.

4. Der Winddruck.

Der Winddruck auf eine normale ebene Fläche kann in unseren Gegenden in $\text{maxim} = 150 \text{ kg/m}^2$ genommen werden. Berücksichtigt wird höchstens die

in einem Brückdruck von 150 kg/m² stattfinden. Man kann daher setzen
 zu jedem von vier getragenen qm: $v = 150 \text{ kg}$ bei unbelasteter Brücke,
 $v = 150 \text{ kg}$ bei belasteter Brücke. Der Brückdruck auf eine unter dem
 Winkel α geneigte Ebene ist pro m² zu setzen $= v \cdot \sin \alpha$. Bei
 Brückdruck auf cylindrische Flächen (Räder) ist geringer als
 auf Ebenen; man kann hierfür etwa $\frac{1}{2}$ der obigen Werte
 annehmen. Für vom Brückdruck getroffene Fläche der Brücke
 ist mit Rücksicht darauf zu bestimmen, daß bei etwas schiefen, bspw.
 geneigten Brückrichtung (bis zu 10°) nicht nur der vordere, sondern
 auch Teile der hinteren Träger getroffen werden. Näherungsweise kann
 man setzen: $F = (1 + 0,04 \ell^m)$ qm für den laufenden Meter Brücke.
 Der Brückdruck auf die stehenden Fahrzeuge ist bei Vollstehen-
 bahnen zu 450 kg für den laufenden m. anzunehmen, entsprechend
 einem 3 m hohen Flächenstreifen, der 0,5 m oberhalb der Fahr-
 bahn beginnt. Bei Straßen zu 300 kg, entsprechend einem 2 m
 hohen Flächenstreifen. Reizen die Brückenträger über die Fahr-
 bahn hinweg & verdecken einen Teil der Fahrzeuge, so darf ein
 entsprechender Abzug gemacht werden. In gewissen Fällen kann
 die ungünstigste Beanspruchung eintreten, wenn bei größtem
 Brückdruck gleichzeitig eine möglichst kleine Vertikallast wirkt.
 Dem entspricht ein fahrender, geschlossener Güterwagen mit
 einem Gewicht von etwa $p = 1200 \text{ kg}$ für den laufenden Meter.

W. S. 1911/12.