

Anhang A

Lastannahmen und Lastkombinationen

Inhaltsverzeichnis

1	Ständige Einwirkungen	3
2	Veränderliche Einwirkungen	4
2.1	Einwirkungen aus Verkehr	4
2.2	Einwirkungen aus Gehwegbelastung	4
2.3	Einwirkungen aus Wind	5
3	Außergewöhnliche Einwirkungen	7
3.1	Anpralllasten auf tragende Bauteile	7
3.2	Einwirkungen aus Fahrzeugen auf der Brücke	7
4	Einwirkungen für Ermüdungsberechnungen	8
5	Lastfalldefinition	9
6	Maßgebende Lastfallkombinationen	11

1 Ständige Einwirkungen

Eigenlasten der Konstruktion

ENV 1991-2-1

Stahlbeton	25,0 kN/m ³
Stahl	78,5 kN/m ³

Ausbaulasten auf Brücken

ENV 1991-2-1

Gussasphalt	24,0 kN/m ³
Distanzschutzplanke	1,0 kN/m
Geländer	1,0 kN/m

2 Veränderliche Einwirkungen

2.1 Einwirkungen aus Verkehr

Unterteilung der Fahrbahn in rechnerische Fahrstreifen

ENV 1991-3
Tab. 4.1

Fahrbahnbreite	$w = 7,00 \text{ m} > 6,00 \text{ m}$
Rechnerische Fahrstreifen	$n_1 = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 2$
Fahrstreifenbreite	$b = 3,00 \text{ m}$
Breite der Restfläche	$b_r = w - 3 \cdot n_1 = 7,00 - 3 \cdot 2$ $b_r = 1,00 \text{ m}$

Hauptlastmodell

ENV 1991-3
Kap. 4.3.2 (1) bis (7)

Fahrstreifen 1:	$Q_{1k} = 300 \text{ kN}, \quad q_{1k} = 9,0 \text{ kN/m}^2$
Fahrstreifen 2:	$Q_{2k} = 200 \text{ kN}, \quad q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
Restfläche:	$q_{rk} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Anpassungsfaktoren: $\alpha_{Qi} = \alpha_{qi} = \alpha_{qr} = 1$

Aufstandsfläche: $d_A = b_A = 40 \text{ cm}$

Lastverteilung unter 45°:
(bis Plattenmitte) $d_L = b_L = 40 + 2 \cdot (8 + 15) = 86 \text{ cm}$

Die Fahrstreifen sind für jedes Bauteil ungünstigst anzusetzen.

Horizontale Lasten aus Anfahren und Bremsen werden in der Lastgruppe 1 nicht berücksichtigt.

2.2 Einwirkungen aus Gehwegbelastung

Einwirkungen aus Fußgänger- und Radverkehr

Gleichmäßig verteilte Last $q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$

ENV 1991-3
Kap. 5.3.2.1 (1)

In Kombination mit den Einwirkungen aus Verkehr ist jedoch ein abgeminderter Wert anzusetzen.

Abgeminderter Wert $q_{fk}^* = 2,5 \text{ kN/m}^2$

ENV 1991-3
Kap. 5.3.2.1 (3)

Einwirkungen aus Dienstfahrzeug

ENV 1991-3
Kap. 5.6.3. (3)

Die Einwirkung besteht aus zwei Achslasten mit 80 kN bzw. 40 kN in einem Abstand von 3,00 m. Der Radabstand beträgt 1,30 m, und die Radaufstandsfläche ist quadratisch mit einer Seitenlänge von 0,20 m in Oberkante Belag.

2.3 Einwirkungen aus Wind

Die resultierende Windkraft F_w ergibt sich zu

$$F_w = q_{\text{ref}} \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{\text{ref}}$$

ENV 1991-2-4
Kap. 6 (2)

Für den erforderlichen Bezugsstaudruck q_{ref} ergibt sich die Bezugswindgeschwindigkeit wie folgt:

$$V_{\text{ref}} = c_{\text{DIR}} \cdot c_{\text{TEM}} \cdot c_{\text{ALT}} \cdot V_{\text{ref},0}$$

ENV 1991-2-4
Kap. 7.2 (2)

Das Brückenbauwerk wird ungünstigst in Windzone III eingeordnet. Für den Grundwert $v_{\text{ref},0}$ wird ein Wert von 32 m/s angesetzt. Die Beiwerte ergeben sich jeweils zu 1,0.

$$v_{\text{ref}} = 32 \text{ m/s}$$

Die Luftdichte wird gemäß Eurocode mit $1,25 \text{ kg/m}^3$ angesetzt. Somit ergibt sich für den Bezugsstaudruck

$$q_{\text{ref}} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{\text{ref}}^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 32^2 = 640 \text{ N/m}^2 = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Des Weiteren soll für den Standort des Bauwerkes offene See bzw. freies, glattes Land angenommen werden. Für die daraus folgende Geländekategorie I und eine Höhe über Gelände von rd. 20 m ist der Standortbeiwert

$$c_e(z_e) = 3,2 \quad (\text{Bild 8.3})$$

Für dieses Bauwerk darf das vereinfachte Berechnungsverfahren angewandt werden.

ENV 1991-2-4
Kap. 9.2 (1)

Dynamischer Beiwert für Böenreaktion

$$c_d = 0,85 \quad (\text{Bild 9.4})$$

Die Ermittlung des Kraftbeiwertes c_f erfolgt analog zu Fachwerken.

ENV 1991-2-4
Kap. 10.10

Völligkeitsgrad φ

$$A = L_U \cdot h_U + L_B \cdot h_b + L_H \cdot d_H$$

$$A = 135 \cdot 0,43 + 142,945 \cdot 0,4122 + 1645,64 \cdot 0,06 = 215,7 \text{ m}^2$$

$$A_c = 0,5 \cdot [r \cdot (b - s) + s \cdot h]$$

$$A_c = 0,5 \cdot [122,625 \cdot (142,945 - 135) + 135 \cdot 20,25] = 1854 \text{ m}^2$$

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{215,7}{1854} = 0,12$$

$$c_{f,0} = 3,5 = c_f \quad (\text{Bild 10.10.3})$$

Damit ergibt sich eine resultierende Windkraft

$$f_{\text{wk}} = \frac{F_w}{A_{\text{ref}}} = 0,64 \cdot 3,2 \cdot 0,85 \cdot 3,5 = 6,1 \text{ kN/m}^2$$

Dieser verhältnismäßig hohe Wert wird jedoch nur für die Bemessung des Windverbandes und des Windportals angesetzt.

Für die Bemessung des Bogens, der Hänger und der Fahrbahn wird in Übereinstimmung zum Eurocode eine geringere Windgeschwindigkeit angesetzt, die in Kombination mit der Verkehrslast einen verträglichen Wert für die Windbelastung liefert.

$$v_{\text{ref},0}^* = 23 \text{ m/s} = v_{\text{ref}}^*$$

ENV 1991-3
Anh. C 2.1.1 (2)

$$q_{\text{ref}}^* = 0,33 \text{ kN/m}$$

Daraus folgt eine Windkraft

$$f_w^* = 0,33 \cdot 3,2 \cdot 0,85 \cdot 3,5 = 3,15 \text{ kN/m}^2$$

3 Außergewöhnliche Einwirkungen

3.1 Anpralllasten auf tragende Bauteile

Last aus Fahrzeuganprall an den Bogen

ENV 1991-3
Kap. 4.7.2.1 (1)

In Fahrtrichtung 1000 kN

Quer zur Fahrtrichtung 500 kN

Die Last wirkt 1,25 m über Fahrbahnoberkante.

3.2 Einwirkungen aus Fahrzeugen auf der Brücke

Fahrzeuge auf Fuß- und Radwegen

ENV 1991-3
Kap. 4.7.3.1 (2)

Aufgrund einer nicht ausreichend steifen Schutzeinrichtung ist die Berücksichtigung einer Achslast auf dem Gehweg erforderlich. Es wird dabei vom ungünstigsten Fall ausgegangen, in dem das Lastmodell 1 m hinter der deformierbaren Schutzeinrichtung steht.

Die Achslast beträgt 400 kN bei einem Radabstand von 2,00 m. Die Radaufstandsfläche ist quadratisch mit einer Seitenlänge von 0,40 m in Oberkante Belag.

Das Lastmodell soll sowohl in Fahrtrichtung als auch quer zur Fahrtrichtung angesetzt werden.

Anpralllasten auf Schrammborde

ENV 1991-3
Kap. 4.7.3.2 (1)

Als Einwirkung aus Fahrzeuganprall an Schrammborde ist eine in Querrichtung wirkende Horizontallast von 100 kN 0,05 m unter der Oberkante des Schrammbordes wirkend anzunehmen.

Auf die Untersuchung wird verzichtet, da diese Einwirkung hauptsächlich auf die Berechnung der erforderliche Bewehrung zur Kappenbefestigung Auswirkungen hat. Kappen kommen aber in diesem Tragwerk nicht zur Ausführung.

4 Einwirkungen für Ermüdungsberechnungen

Für den vereinfachten Ermüdungsnachweis von Straßenbrücken ist das Ermüdungslastmodell 3 anzusetzen.

ENV 1993-2
Kap. 9.9.2 (1)

Ermüdungslastmodell 3 (Einzelfahrzeugmodell)

ENV 1991-3
Kap. 4.6.4 (1)

Das Lastmodell besteht aus vier Achsen mit je zwei identischen Rädern. Der Achsabstand beträgt zwischen erster und zweiter sowie dritter und vierter Achse 1,20 m, zwischen zweiter und dritter Achse 6,00 m. Quer zur Fahrtrichtung ist der Abstand der Räder 2,00 m. Die Achslasten betragen je 120 kN, die Aufstandsfläche jedes Rades ist ein Quadrat mit 0,40 m Seitenlänge.

Diese Modell ist in der Mitte der Hauptspur anzuordnen.

5 Lastfalldefinition

Für das Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten, wie es im Eurocode Anwendung findet, ist es erforderlich, die Einwirkungen hinsichtlich ihrer Art zu trennen. Dadurch können je nach Erfordernissen sehr leicht Sicherheits- und Kombinationsbeiwerte ergänzt werden.

Zur Übersicht und zur genauen Zuordnung sind in nachfolgender Tabelle alle untersuchten Lastfälle aufgeführt und definiert.

Lastfall	Bezeichnung/ Definition
LF 01	Ständige Lasten - Eigengewicht der Konstruktion, Asphalt und Ausbaulasten
LF 02	Verkehr auf Fahrbahn (Laststellung Mitte) - Haupt- und Nebenspur stehen so, dass sich das maximale Feldmoment in Plattenquerrichtung ergibt - Gehwege sind unbelastet
LF 03	Verkehr auf Fahrbahn (Laststellung Rand) - Haupt- und Nebenspur sind an den Rand gerückt, wodurch Maximalbelastung einer Brückenhälfte erreicht wird - Gehwege mit abgemindertem Wert belastet
LF 04	A – Gehweg (Volle Belastung) B – Dienstfahrzeug C – Außerplanmäßige Achse auf Gehweg, quer D – Außerplanmäßige Achse auf Gehweg, längs
LF 05	Wind f_{wk} - Bogen und Fahrbahn mit dem Maximalwert belastet - Liefert die ungünstigsten Schnittgrößen im Windverband, Windportal und temporären Untergurt
LF 06	Wind f_w^* - Bogen und Fahrbahn mit dem abgeminderten Wert belastet - Liefert Schnittgrößen für die Bemessung von Bogen und Fahrbahn
LF 07	Maximale Hängerbelastung - Anhand der Einflusslinien ist die Laststellung gegeben - Die Last steht im positiven Bereich der Einflusslinie
LF 08	Fahrzeuganprall am Bogen




Lastfall	Bezeichnung/ Definition
LF 09	Torsionslast - Verkehrslast auf einer Brückenhälfte 
LF 10	Halblast - Verkehrslast auf 54 % einer Seite in Brückenlängsrichtung 
LF 11	Diagonallast ¹ - Je eine Brückenseite ist zur Hälfte mit Verkehr belastet 
LF 12	Ermüdungslast

Tabelle A-1: Lastfalldefinition

¹ Diese Belastung rührt aus einem Unfall in Brückenmitte und dem damit verbundenen Verkehrsrückstau.

6 Maßgebende Lastfallkombinationen

Nachfolgend sind alle verwendeten Lastfallkombinationen für die Bauteilbemessung und die durchgeführten Sonderuntersuchungen zusammengestellt.

Bei dieser Auflistung wird auf die Angabe der Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte verzichtet.

Bemessung des Bogens

- Kombination 1: LF 01 + LF 03 + LF 06
- Kombination 2: LF 01 + LF 08
- Kombination 3: LF 01 + LF 06 + LF 10

Durch den Ausfall der Hänger bei LF 10 vergrößern sich die Momente im Bogen. Des Weiteren erhöht sich die Knicklänge des gedrückten Bogens. Daher ist trotz geringerer Normalkraft für diese Kombination eine Stabilitätsuntersuchung erforderlich.

Bemessung des Windportals

- Kombination 1: LF 01 + LF 05

Hierbei sind die maximal auftretenden Biegemomente des Bogens senkrecht zur Bogenebene heraus zu erwarten.

Bemessung des Windverbandes

- Kombination 1: LF 01 + LF 05
- Kombination 2: LF 01 + LF 06 + LF 09
- Kombination 3: LF 01 + LF 11

Das Maximum aller Lastfallkombinationen ist maßgebend.

Bemessung der Hänger

- Kombination 1: LF 01 + LF 07

Bemessung des Betonquerschnitts im Bereich der Randträger

- Kombination 1: LF 01 + LF 03

Bemessung des Betonquerschnitts in Plattenmitte

- Kombination 1: LF 01 + LF 02

Diese Lastfallkombination liefert die maximalen Momente der Fahrbahnplatte sowohl in Längs- als auch in Querrichtung.

Bemessung des Betonquerschnitts am Kragarmanschnitt

- Kombination 1: LF 01 + LF 03
- Kombination 2: LF 01 + Maximum aus LF 04

Bei der Bemessung des Kragarmanschnitts ist nur der Extremwert des Kragarmanschnittmomentes aus beiden Kombinationen zu berücksichtigen.

Bemessung der Lager

- Kombination 1: LF 01 + LF 03 + LF 06
- Kombination 2: Temperatur

Kombination 1 ist hierbei für die aufnehmbare Last der Lager zu verwenden. Die Temperatur ist nur für die aufnehmbaren Verschiebungen erforderlich.

Ermüdungsuntersuchung der Hänger

- Kombination 1: LF 01 + LF 12

Bedeutung der mitwirkenden Plattenbreite in zweidimensionalen Berechnungen

- Kombination 1: LF 01 + LF 03

Einfluss des Windverbandes auf den Bogen

- Kombination 1: LF 01 + LF 10
- Kombination 2: LF 01 + LF 11

Vergleich der Momente in der Fahrbahnplatte bei unterschiedlichen Berechnungsmodellen

- Kombination 1: LF 01 + LF 02

Verhalten der Fahrbahnplatte bei unterschiedlichen Brückenbreiten

- Kombination 1: LF 01 + LF 02