

## Beispiel 13: Plattenbalkenbrücke

### Inhalt

		Seite
	Aufgabenstellung.....	13-2
1	System, Bauteilmaße, Betondeckung .....	13-2
1.1	System .....	13-2
1.2	Mindestfestigkeitsklasse, Betondeckung .....	13-3
1.3	Baustoffe.....	13-3
1.4	Querschnittswerte .....	13-4
2	Einwirkungen .....	13-5
2.1	Eigenlast .....	13-5
2.2	Stützensenkung .....	13-5
2.3	Temperatureinwirkung .....	13-6
2.4	Vertikallasten aus Straßenverkehr .....	13-6
2.5	Ermüdungslastmodell .....	13-7
2.6	Windeinwirkungen .....	13-7
3	Schnittgrößen.....	13-8
4	Vorspannung.....	13-9
4.1	Allgemeines .....	13-9
4.2	Spanngliedführung .....	13-10
4.3	Schnittgrößen infolge Vorspannung.....	13-11
4.4	Zeitabhängige Spannkraftverluste .....	13-12
5	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	13-14
5.1	Allgemeines .....	13-14
5.2	Rissbildungszustand .....	13-15
5.3	Grenzzustand der Dekompression.....	13-16
5.4	Begrenzung der Rissbreite.....	13-17
5.5	Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten.....	13-18
5.6	Begrenzung der Betondruckspannungen und der Betonstahlspannungen.....	13-19
5.7	Begrenzung der Spannstahlspannungen .....	13-20
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit .....	13-20
6.1	Allgemeines .....	13-20
6.2	Biegung mit Längskraft .....	13-21
6.3	Nachweis für Versagen mit Vorankündigung .....	13-23
6.4	Nachweise für Querkraft und Torsion .....	13-23
6.4.1	Querkraft.....	13-23
6.4.2	Torsion.....	13-25
6.4.3	Gurtanschluss .....	13-27
6.5	Ermüdung .....	13-29
6.5.1	Einwirkungen .....	13-29
6.5.2	Biegung.....	13-30
6.5.3	Querkraft.....	13-32
7	Darstellung der Bewehrung.....	13-34



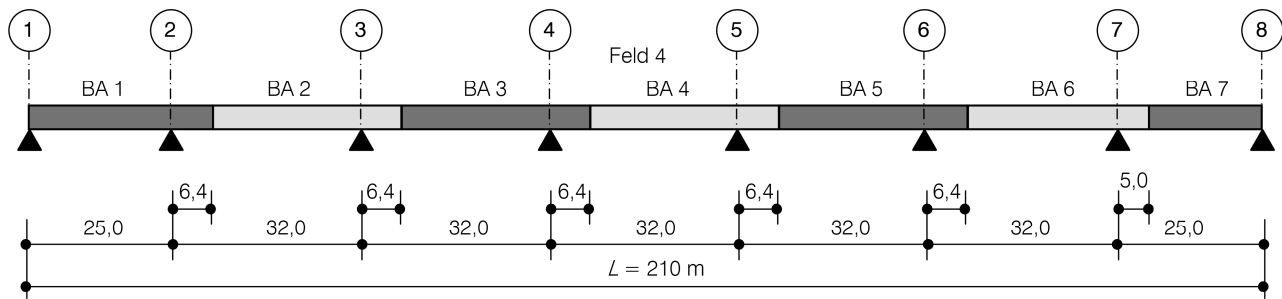


Bild 2: Statisches System, Bauphasen und Bauabschnitte

## 1.2 Mindestfestigkeitsklasse, Betondeckung

Umgebungsbedingungen: Außenbauteil

Expositionsklasse für Bewehrungskorrosion

→ infolge Karbonatisierung: → XC4

→ infolge Chloridangriff: → XD1

Expositionsklasse für Betonangriff

→ Frost mit Taumittel: → XF2

Mindestfestigkeitsklasse Beton ohne Luftporen → C30/37 [2]

→ Feuchtigkeitsklasse → WA [2]

Gewählt: C35/45 XC4, XD1, XF2, WA  $E_{cm} = 34.000 \text{ MN/m}^2$

### Betondeckung

Betonstahl:

→ Mindestbetondeckung

+ Vorhaltemaß

= Nennmaß der Betondeckung

$$c_{\min, \text{dur}} = 40 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 45 \text{ mm}$$

Hüllrohre allgemein:

$$c_{\min, \text{dur}} \geq 50 \text{ mm}$$

$$c_{\min, \text{b}} = \phi_{\text{duct}} \leq 80 \text{ mm}$$

Längsspannglieder unter der Oberfläche der Fahrbahnplatte:

$$c_{\min, \text{b}} \geq 100 \text{ mm}$$

## 1.3 Baustoffe

Beton  
C35/45

$$f_{\text{ck}} = 35 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{\text{cd}} = \alpha_{\text{cc}} \cdot f_{\text{ck}} / \gamma_{\text{C}} = 0,85 \cdot 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{\text{cm}} = 34.000 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{\text{ctm}} = 3,2 \text{ MN/m}^2$$

Betonstab-  
stahl B500B

$$f_{\text{yk}} = 500 \text{ MN/m}^2 \text{ (hohe Duktilität)}$$

$$f_{\text{yd}} = f_{\text{yk}} / \gamma_{\text{S}} = 500 / 1,15 = 435 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{\text{s}} = 200.000 \text{ MN/m}^2$$

Spannstahl  
Litze  
St 1570/1770

$$f_{\text{p0,1,k}} = 1500 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{\text{pk}} = 1770 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{\text{pd}} = f_{\text{p0,1,k}} / \gamma_{\text{S}} = 1500 / 1,15 = 1304 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{\text{p}} = 195.000 \text{ MN/m}^2$$

EC2-2/NA, (NCI) 4.2, Tabelle 4.1DE:

XC4 wechselnd nass und trocken

(Außenbauteile mit direkter Beregnung)

XD1 mäßige Feuchte (Bauteile im

Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen)

XF2 mäßige Wassersättigung, mit Taumittel  
(in DIN 1045-2: min C35/45 ohne LP für XF2)

WA langzeitige Alkalizufuhr

siehe auch [2] ZTV-ING, Teil 3, Abschn. 1

Kap. 3.1 (3) und Kap.4 (13) für Überbauten

→ Alle Bauwerke im Bereich der Bundesfern-  
straßen sind der Feuchtigkeitsklasse WA  
zuzuordnen.

Hier keine Expositionsklasse für chemischen  
Angriff und Verschleißbeanspruchung.

Die Expositionsklassen sind anzugeben

EC2-2/NA, (NDP) 4.4.1.2 (5)

die Betondeckung ist unabhängig von den

Expositionsklassen geregelt

Das gegenüber EC2-1-1 reduzierte

Vorhaltemaß ist auf erhöhte Qualitäts-  
sicherungsmaßnahmen zurückzuführen.

EC2-1-1, 4.4.1.2 (3) bzw.

EC2-2/NA, (NDP) 4.4.1.2 (3)

Hüllrohrdurchmesser  $\phi_{\text{duct}}$  entsprechend

allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)

EC2-2/NA, (NDP) 4.4.1.2 (3)

maßgebend!

EC2-1-1, 3.1.2, Tab. 3.1

EC2-2/NA, (NDP) 2.4.2.4 (1)

EC2-2/NA, (NDP) 3.1.6 (101)P

EC2-2/NA, (NCI) 3.2.2: (3) für Brückenüber-

bauten nur hochduktiler Betonstahl

EC2-1-1, 3.2.7

EC2-2/NA, (NDP) 2.4.2.4 (1)

Werte aus abZ

EC2-1-1, 3.3.6 (6), EC2-2/NA, (NDP) 2.4.2.4 (1)

EC2-1-1, 3.3.6 (3)



Die Bemessung erfolgt aufgrund der annähernd symmetrischen Querschnitte für eine Querschnittshälfte.

Die Querschnittswerte der Tab. 1.4-2 wurden mit Hilfe eines EDV-Programms unter Berücksichtigung der mitwirkenden Breiten ermittelt.  
→ Gesamtquerschnitt – Querschnitt mit der gesamten vorhandenen Plattenbreite

Tab. 1.4-2: Querschnittswerte des idealisierten Betonquerschnitts Hauptträger Nord

Querschnittswert	Einheit	Gesamtquerschnitt	mitwirkender Querschnitt			
			Feld	Koppelfuge	1. Innenstütze	Innenstütze
$A_c$	[m <sup>2</sup> ]	4,842	4,842	4,842	4,223	4,288
$z_s$	[m]	0,543	0,543	0,543	0,602	0,595
$I_z$	[m <sup>4</sup> ]	10,073	10,073	10,073	4,475	4,888
$I_y$	[m <sup>4</sup> ]	0,951	0,951	0,951	0,833	0,846
$I_t$	[m <sup>4</sup> ]	1,097	1,097	1,097	1,097	1,097
$W_o$	[m <sup>3</sup> ]	1,750	1,750	1,750	1,384	1,422
$W_u$	[m <sup>3</sup> ]	0,994	0,994	0,994	0,927	0,935

## 2 Einwirkungen

Nachfolgend werden die charakteristischen Einwirkungen als Grundlage für die Schnittgrößenermittlung und die anschließenden Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zusammengestellt.

Die Einwirkungen werden für den gesamten Überbau ermittelt. Die Aufteilung auf die Haupt- und Querträger erfolgt für ein Trägerrostsystem.

### 2. Eigenlast (gesamter Überbau)

EC1-1-1 mit EC1-1-1/NA

Eigenlast des Tragwerks  $g_{k,1} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 9,688 \text{ m}^2 = 242,2 \text{ kN/m}$

Eigenlast des Fahrbahnbelages  $g_{k,Bel} = (25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,08 \text{ m} + 0,50 \text{ kN/m}^2) \cdot 11,50 \text{ m} = 28,8 \text{ kN/m}$

[1] ARS 22/2012, Anlage 3 ( $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  für den Belag und zusätzliche Flächenlast für Mehreinbau von  $0,50 \text{ kN/m}^2$ )

Eigenlast der Kappen

Süd  $g_{k,KS} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,439 \text{ m}^2 = 11,0 \text{ kN/m}$

Nord  $g_{k,KN} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,253 \text{ m}^2 = 6,3 \text{ kN/m}$

Eigenlast der Leitplanke  $g_{k,SPL} = 0,8 \text{ kN/m}$

Eigenlast des Geländers  $g_{k,Gel} = 0,5 \text{ kN/m}$

Herstellerangaben

Herstellerangaben

### 2.2 Stützensenkung

EC2-1-1, 2.3.1.3 (1)

Von ihrer Art her gehören Baugrundsetzungen grundsätzlich zu den ständigen Einwirkungen, müssen aber wie veränderliche Einwirkungen auch ungünstig angeordnet werden. Generell sind die zu erwartenden Verschiebungen und Verdrehungen von Stützen infolge Baugrundbewegungen zu berücksichtigen.

Nach Angaben im Bodengutachten sind für diese pfahlgegründete Brücke folgende Stützensenkungen in ungünstigster Kombination anzusetzen:

Wahrscheinliche Setzung:  $\Delta s_m = 10 \text{ mm}$

EC2-1-1, 2.3.1.3 (2):

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen

Mögliche Setzung:  $\Delta s_k = 15 \text{ mm}$

EC2-2/NA, (NCI) 2.3.1.3, (NA.103):

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit 0,6-fach wegen Abfall der Steifigkeit im Zustand II zu berücksichtigen

(Im Bodengutachten ist als mögliche Setzung  $\Delta s_k = 15 \text{ mm}$  angegeben. Im Brückenbau wird üblicherweise als wahrscheinliche Stützensenkung mindestens  $10 \text{ mm}$  angesetzt.)

## 2.3 Temperatureinwirkung

Hinsichtlich der Temperatureinwirkung handelt es sich um ein Brückenbauwerk des Typs 3. Für die Bemessung des Überbaus kann der Einfluss des extremalen konstanten Temperaturunterschiedes vernachlässigt werden, da daraus nur geringe Normalspannungen in Brückenlängsrichtung entstehen. Demgegenüber muss der lineare Temperaturunterschied zwischen Ober- und Unterseite des Brückenbauwerkes berücksichtigt werden.

$$\begin{aligned}\Delta T_{M,heat} &= 15\text{ °C} \\ \Delta T_{M,cool} &= -8\text{ °C}\end{aligned}$$

Korrektur in Abhängigkeit von der Belagsdicke (Beton)

Oberseite wärmer  
Unterseite wärmer

$$\begin{aligned}d_{vorh} &= 80\text{ mm} \\ K_{sur} &= 0,82 \\ K_{sur} &= 1,0\end{aligned}$$

Anzusetzende lineare Temperaturunterschiede für den Endzustand

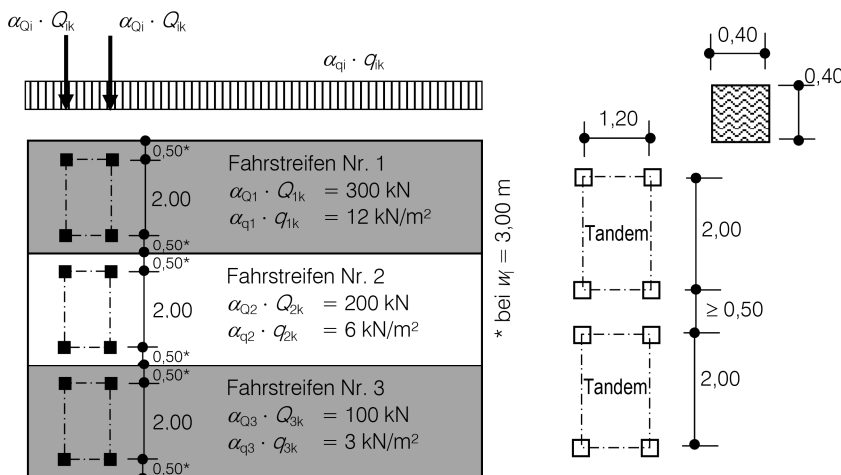
$$\begin{aligned}\Delta T_{M,heat} &= 15\text{ °C} \cdot 0,82 = 12,3\text{ °C} \\ \Delta T_{M,cool} &= -8\text{ °C} \cdot 1,0 = -8\text{ °C}\end{aligned}$$

Zwangsschnittgrößen infolge Temperaturbelastung sind im GZT zu berücksichtigen (mit den 0,6-fachen Werten der Steifigkeiten des Zustandes I)

## 2.4 Vertikallasten aus Straßenverkehr

Im DIN EN 1991-2 sind die Einwirkungen aus Straßenverkehr durch Lastmodelle definiert, die für Brücken mit Einzelstützweiten < 200 m und Fahrbahnbreiten < 42 m angewendet werden können. Für größere Brücken liegen die angegebenen Lastmodelle auf der sicheren Seite, der Bauherr sollte jedoch die Verkehrslasten infolge Straßenverkehrs den jeweiligen Projektverhältnissen entsprechend festlegen. Mit den angegebenen Modellen sind alle normalerweise absehbaren Verkehrssituationen abgedeckt (Einwirkungen aus Straßenverkehr bestehend aus Personenkraftwagen und Lastkraftwagen in jeder Richtung auf jedem Fahrstreifen). Nicht berücksichtigt sind Einwirkungen von Lasten aus Straßenbauarbeiten infolge Schürfraupen, Lastwagen zum Bodentransport usw. Sind solche Nutzungen absehbar oder geplant, so sollten ergänzende Lastmodelle einschließlich der zugehörigen Kombinationsregeln durch den Bauherrn festgelegt werden.

Für die Bemessung des Überbaus (globale Nachweise) ist in Längsrichtung die Lastgruppe 1 (Vertikallasten) anzusetzen. Die Lastgruppe 1 beinhaltet das Lastmodell 1. Der Notgehweg auf den Kappen ist kein öffentlicher Gehweg und wird als Restfläche mit  $\alpha_{qgr} \cdot q_{rk} = 3\text{ kN/m}^2$  angesetzt.



EC1-1-5, 6.1.1

EC1-1-5, 6.1.4.1, Tabelle 6.1

[1] ARS 22/2012, Anlage 3

EC2-2/NA, (NCI) 2.3.1.2(3)

EC1-2, 4.

Lastmodell 1: Einzellasten und gleichmäßig verteilte Lasten, die die meisten der Einwirkungen aus LKW- und PKW-Verkehr abdecken.  
→ nur für globale Nachweise

EC1-2, (NDP) 4.3.1(2) Anmerkung 2:  
Lastmodell 2 ist nicht anzuwenden

EC1-2, (NDP) 4.3.4(1) Sonderlastmodelle sind nicht anzuwenden.

EC1-2, 4.5.1, Tabelle 4.4a  
Lastmodell 4: Menschengedränge  
→ EC1-2, 4.5.1 Tabelle 4.4a, Fußnote b).

Das Lastmodell 1 besteht aus den Einzellasten (Tandem-System TS, als Doppelachse zweimal pro Fahrspur anzusetzen) und gleichmäßig verteilten Lasten (UDL-System). Für die Einzellasten ist eine Radaufstandsfläche entsprechend einem Quadrat mit einer Seitenlänge von 0,40 m anzusetzen. Die Breite der Fahrspuren beträgt in der Regel 3,0 m.

UDL: unit distributed load  
 $\alpha_{Qi}$ ,  $\alpha_{qi}$  – Anpassungsfaktoren

entsprechend EC1-2, Bild 4.2a: Lastmodell 1

Die Achse des Tandem-Systems liegt im Zentrum des Fahrstreifens.

Im vorliegenden Beispiel entspricht die Fahrbahnbreite dem Abstand der Schrammborde (da Schrammbordhöhe  $\geq 75$  mm):

$$w = 11,5 \text{ m}$$

Da  $w \geq 9,0$  m ergibt sich die Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen mit einer Breite von  $b_i = 3,0$  m aus der nächstkleineren ganzen Zahl von  $w / 3$ :

$$n_i = \text{Int}(w / 3) = 3$$

Damit ergibt sich die rechnerisch verbleibende Restfläche zu:

$$R = w - 3 \cdot b_i = 2,5 \text{ m}$$

Die Lage der rechnerischen Fahrstreifen ist für jeden Einzelnachweis getrennt zu wählen, wobei jeweils die ungünstigste Anordnung entscheidend ist. Dies gilt ebenso für die Anordnung der Doppelachsen. In Querrichtung sind die Doppelachsen nebeneinanderstehend anzunehmen.

Fahrstreifen 1: (Gleichlast und 2 Achsen TS)

$$\text{TS: } \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 300 \text{ kN} \quad \text{UDL: } \alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 12 \text{ kN/m}^2$$

Fahrstreifen 2: (Gleichlast und 2 Achsen TS)

$$\text{TS: } \alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 200 \text{ kN} \quad \text{UDL: } \alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 6,0 \text{ kN/m}^2$$

Fahrstreifen 3: (Gleichlast und 2 Achsen TS)

$$\text{TS: } \alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} = 100 \text{ kN} \quad \text{UDL: } \alpha_{q3} \cdot q_{3k} = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Restfläche: (Gleichlast)

$$\text{UDL: } \alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

## 2.5 Ermüdungslastmodell

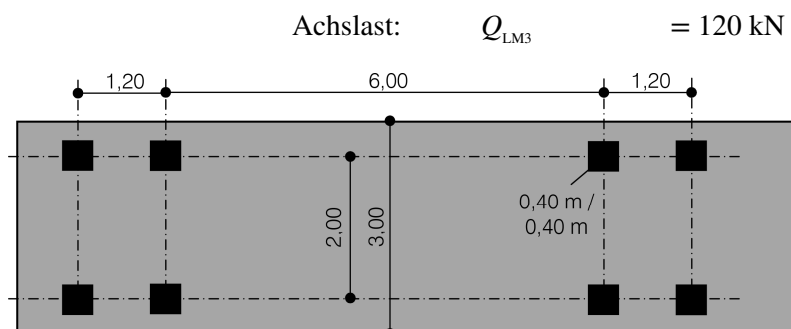
Bei der vorliegenden Brücke handelt es sich um eine Autobahnbrücke mit zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung und hohem LKW-Anteil:

$$\text{Anzahl LKW: } N_{\text{obs}} = 2,0 \cdot 10^6$$

In der Nähe von Fahrbahnübergängen (Abstand von der Dehnfuge  $< 6,0$  m) ist ein zusätzlicher Erhöhungsfaktor zu beachten:

$$\begin{aligned} \text{bei } \geq 6,0 \text{ m: } \Delta\varphi_{\text{fat}} &= 1,0 \\ \text{Endbereich: } \Delta\varphi_{\text{fat}} &= 1,3 \end{aligned}$$

Das anzusetzende Ermüdungslastmodell 3 besteht aus 2 Doppelachsen mit einem Abstand von 7,20 m, die zentral im Fahrstreifen anzuordnen sind:



## 2.6 Windeinwirkungen

Wind wird für die vertikale Tragwirkung vernachlässigt.

EC1-2, (NDP) 4.2.3 (1)

siehe EC1-2, Bild 2

EC1-2, 4.2.3, Tabelle 4.1

EC1-2, 4.2.4 (1) und 4.2.5 (1)

EC1-2, (NDP) 4.3.2 (3) Anmerkungen 1 und 2 und Tabelle 4.2

Anmerkung: Ein dynamischer Erhöhungsfaktor (ähnlich dem Schwingbeiwert in DIN 1072) ist bereits in den Einwirkungen enthalten.

EC1-2, (NDP) 4.6.1 (2):

Es ist Ermüdungslastmodell 3 anzuwenden.

EC1-2, (NDP) 4.6.1 (3):

Es ist Tabelle 4.5 anzuwenden.

EC1-2, 4.6.1 (6), Bild 4.7 mit (NDP) 4.6.1 (6)

EC1-2, 4.6.4 (1)

EC1-2, 4.6.4 (1), Bild 4.8

EC1-1-4 mit EC1-1-4/NA

Anhang NA.N: Windeinwirkungen auf Brücken  
Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der  
Windkraft in x-Richtung (Querrichtung)