



## **krafton® Brückenbelag 500.40**

### ***Kontrolle gemäß Eurocode NL***

Auftraggeber	:	krafton®
Aufsteller	:	Ing. J.H.A. Zijderveld
Autorisiert	:	Ing. D.A. Mager
Bericht-Nr.	:	R_10698-1
Version	:	1
Datum	:	17-03-2023

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Produktbeschreibung .....	8
2.1	Geometrische Eigenschaften .....	8
2.2	Mechanische Eigenschaften .....	9
3	Anforderungen .....	10
3.1	Normen und Empfehlungen .....	10
3.2	Nationaler Anhang Niederlande .....	10
3.3	Lasten.....	11
3.4	Vorschriften .....	12
3.5	Lastenkombinationen .....	14
4	Symbole .....	17
5	Nachweis der zulässigen Spannweite an 2 Stützpunkten .....	18
5.1	Eigengewicht.....	18
5.2	Verteilte Last.....	19
5.3	Einzellast .....	21
5.4	Dienstfahrzeug.....	23
5.5	Schnee.....	32
5.6	Gelegentliches Fahrzeug.....	34
5.7	Zusammenfassung .....	41
6	Nachweis der zulässigen Stützweite an 3 oder mehr Stützpunkten .....	43
6.1	Eigengewicht.....	43
6.2	Verteilte Last.....	44
6.3	Einzellast .....	46
6.4	Dienstfahrzeug.....	49
6.5	Schnee.....	54
6.6	Gelegentliches Fahrzeug.....	55
6.7	Zusammenfassung .....	60
7	Komfort.....	62
8	Schlussfolgerung.....	63
	Anhang A: Eigenschaften Brückenbelag.....	64
A.1	Zusammenfassung .....	64
A.2	Versuchen .....	65
A.2.1	Beschreibungen .....	65
A.3	Testergebnisse .....	66
A.3.1	Biegemodul .....	67
A.3.2	Biegefestigkeit 2 Stützpunkten .....	68
A.3.3	Biegefestigkeit 3 Stützpunkten .....	69
A.3.4	Scherfestigkeit .....	70
A.3.5	Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 200x200 mm.....	71
A.3.6	Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 100x100 mm.....	72

## Versionsverwaltung

<b>Version</b>	<b>Kommentare</b>	<b>Datum</b>
1	Erste Fassung	17-03-2023

# 1 Zusammenfassung

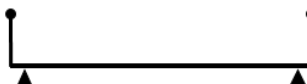
Die mechanische Eigenschaften wurden verwendet, um die maximale Spannweite der Brückenbelag für die Lasten aus EN1991-2 für die Niederlande und für verschiedene Durchbiegungsanforderungen zu bestimmen. Es wurden die folgenden Situationen ermittelt:

Mehrere Einzelfelder:



Ein Einzelfeld:

(Belag = Volle Brückenbreite)



(Mehrere) Feldspannen<sup>1</sup>:



**Die Empfehlungen für die maximale Spannweite des Regals 500.40 lauten:**

	Mehrere Einzelfelder	Ein Einzelfeld	Mehrere Feldspannen
Ohne Fahrzeuge	1460 mm	1460 mm	1720 mm
Nur Dienstfahrzeug	770 mm	[ - ]	910 mm
Nur gelegentliches Fahrzeug	600 mm	[ - ]	720 mm
Dienstfz. und gelegentl. Fahrzeug	600 mm	[ - ]	720 mm

Auf den folgenden Seiten sind die Ergebnisse der maximalen Spannweitenempfehlungen in Form von Grafiken dargestellt. Wird eine Stützweite in Kombination mit einer Durchbiegungsanforderung unterhalb der entsprechenden Linien in der Grafik gewählt, erfüllt die krafton® 500.40 die spezifizierten Anforderungen an eine Brückenbelag gemäß Bauordnung für die Verwendung als Fahrrad-Fußgänger-Brückenfahrbahn in der Folgeklasse CC2.

Der Nachweis für 3 oder mehr Auflagerpunkte setzt Auflagerpunkte in gleichen Abständen zueinander voraus.

Die maximal zulässige Auskragung für jede Situation beträgt 150 mm.

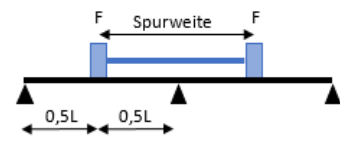
**Anmerkung:**

- Für das Dienstfahrzeug wurde eine Maximalverformung von L/200 festgelegt.
- Berücksichtigung der Durchbiegung "Dienstfahrzeug 3 oder mehr Stützen" gemäß Figur 1. Nicht berücksichtigt gemäß Situation 2 - für Situation 2 sollten zusätzliche Prüfungen durchgeführt werden.

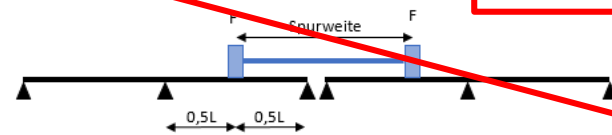
<sup>1</sup> Ein Feldspannen mit mehreren Stützpunkten ist eine Situation, in der die Brückendeckplanke ohne Unterbrechung über mindestens 3 Stützpunkte verläuft. An den Auflagerpunkten wird eine Verbindung verwendet, die die Planke in vertikaler Richtung sowohl nach oben als auch nach unten ausreichend fixiert.

### Gebrauchstauglichkeitszustand (BGT)

BGT Situation 1:



BGT Situation 2:

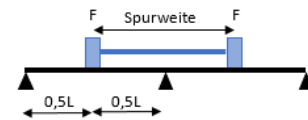


**Nicht betrachtet**

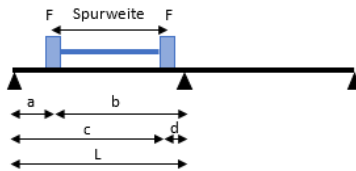
### Tragfähigkeitsgrenzzustand (UGT)

UGT Situation 1

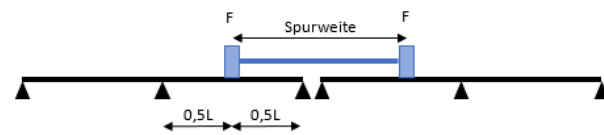
Fahrzeug Position 1:



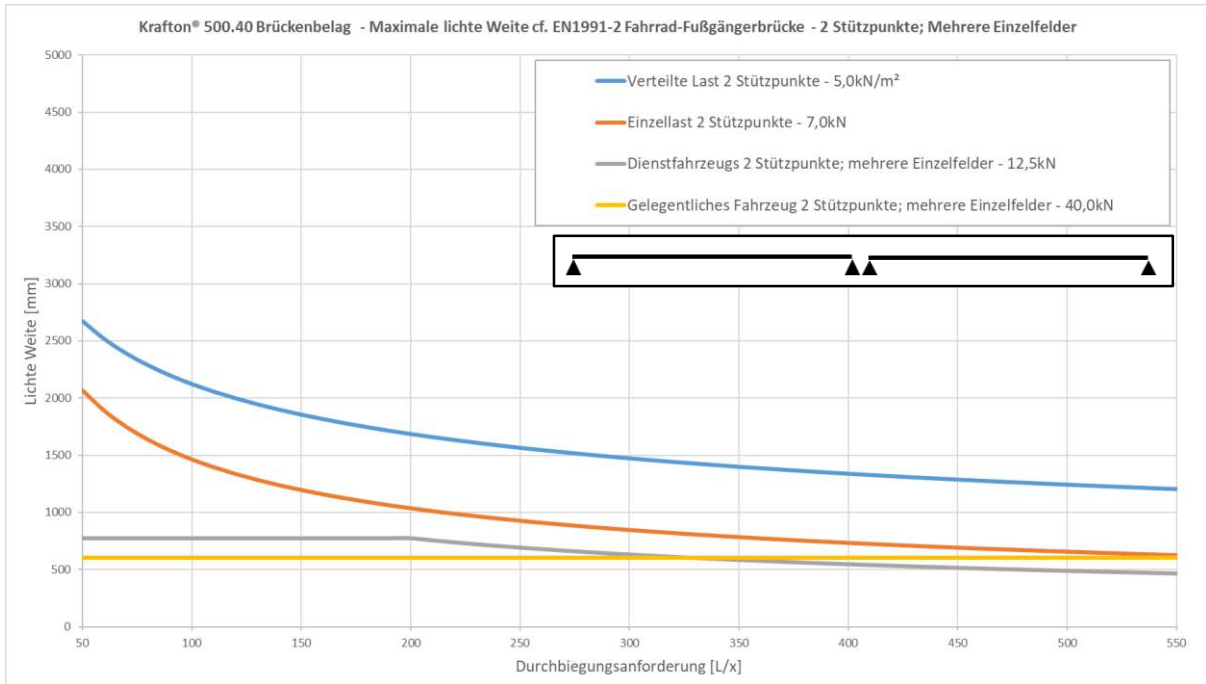
Fahrzeug Position 2:



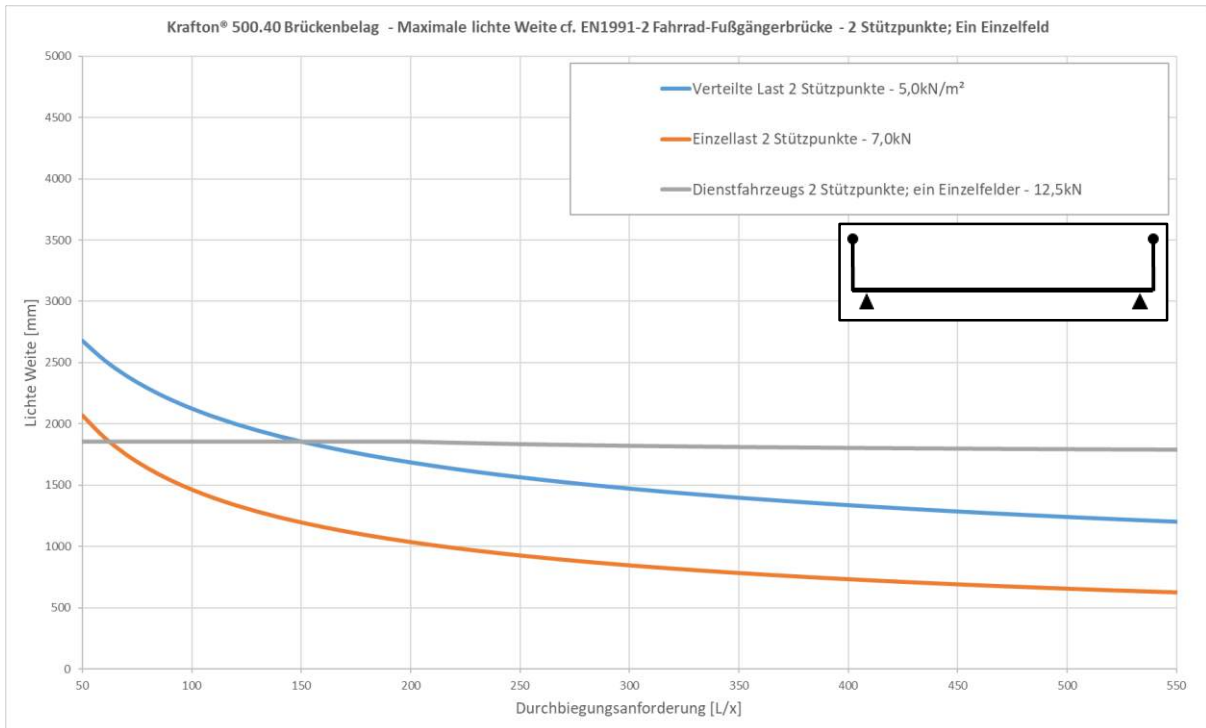
UGT Situation 2:



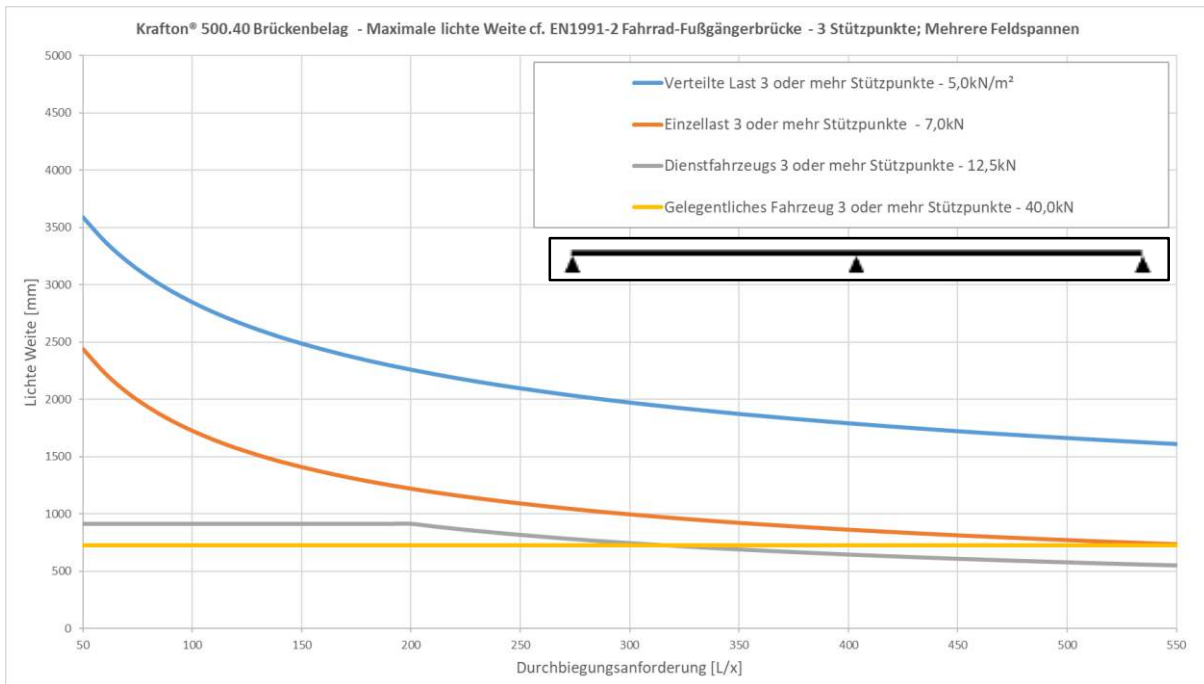
Figur 1: Berücksichtigte Situationen Dienst- und gelegentliches Fahrzeug mehrere Feldspannen in BGT und UGT



Figur 2: Maximale Lichte Weite in Abhängigkeit von der geforderten Durchbiegung; 2 Stützpunkte; mehrere Einzelfelder



Figur 3: Maximale Lichte Weite in Abhängigkeit von der geforderten Durchbiegung; 2 Stützpunkte; ein Einzelfeld



Figur 4: Maximale Lichte Weite in Abhängigkeit von der geforderten Durchbiegung; 3 Stützpunkte

Bei Fragen in Bezug auf spezielle Anwendungen, wenden Sie sich bitte an:

**krafton®**

Markweg Zuid 34

4794 SN Heijningen

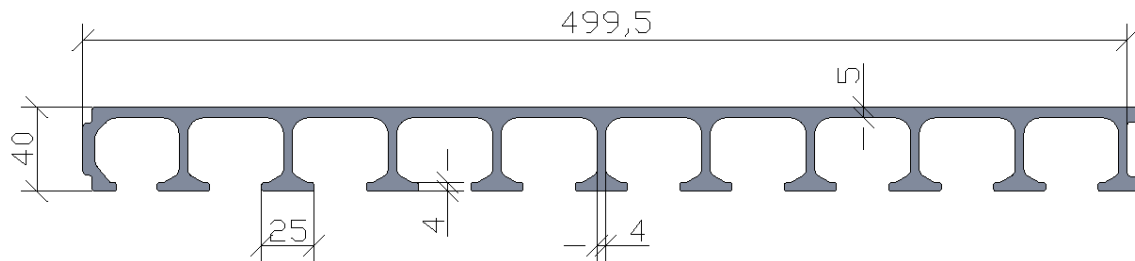
T +31 (0) 168227510

E / [info@krafton.de](mailto:info@krafton.de)

## 2 Produktbeschreibung

Glasfaserverstärktes Polyester-Brückenbelag im Pultrusionsverfahren hergestellt.

Im Figur 5 wird der Querschnitt der Planke dargestellt.



Figur 5: Geometrie Planke 500.40

### 2.1 Geometrische Eigenschaften

Breite	b	500 mm
Höhe	h	40 mm
Anzahl der Stege	n	11 -
Abstand zwischen den Stege	d	50 mm
Oberfläche	A	5571 mm <sup>2</sup>
Scherfläche	A <sub>s</sub>	1836 mm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment	I	1238296 mm <sup>4</sup>
Widerstandsmoment	W	51119 mm <sup>3</sup>
Plankengewicht	G	20 kg/m <sup>2</sup>

## 2.2 Mechanische Eigenschaften

Die charakteristische Eigenschaften werden angegeben in Tabelle 1, die vollständige mechanische Eigenschaften sind zu finden unter Anhang A: Eigenschaften Brücken.

*Tabelle 1: Charakteristische mechanische Eigenschaften*

		Einheit	krafton® 500.40
Elastizitätsmodul	( $E_{b, kar}$ )	N/mm <sup>2</sup>	31092
Biegespannung	( $\sigma_{b, kar}$ )	N/mm <sup>2</sup>	272
Scherspannung	( $\tau_{char}$ )	N/mm <sup>2</sup>	54,3
Querkraft auf 100x100	( $D_{kar, 100}$ )	N	35531
Querkraft auf 200x200	( $D_{kar, 200}$ )	N	90323

### 3 Anforderungen

#### 3.1 Normen und Empfehlungen

Das Brückenbelag wurde gemäß den folgenden Normen und Empfehlungen beurteilt.

Norm	Titel	Version
NEN-EN 1990	Eurocode - Basis of structural design	2011
NEN-EN 1991-2+C1	Traffic loads on bridges	2015
NEN-EN 1991-1-3	Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads	2011
CUR aanbeveling 96 (2019)	Vezelversterkte kunststoffen in civiele draagconstructies	2019
EN 13706-3	Specification for pultruded profiles – Part 3: Specific requirements	2002

#### 3.2 Nationaler Anhang Niederlande

Norm	Titel	Version
NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB	Nationale bijlage bij Eurocode: Grondslagen constructief ontwerp	2011
NEN-EN 1991-2+C1/NB	Nationale bijlage bij Eurocode: Verkeersbelastingen op bruggen	2019
NEN-EN 1991-1-3/NB	Nationale bijlage bij Eurocode: Deel 1-3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting	2011

### 3.3 Lasten

#### 3.3.1 Dauerlasten (G)

Die dauerhafte Last des Brückenbelags ergibt sich aus dem Eigengewicht der Brückenbelagen und der Verschleißschicht. Die folgenden Masse-Werte wurden gehandhabt:

Glasfaserverstärkten Brückenplanke	20,0 kg/m <sup>2</sup>	
Verschleißschicht	8,0 kg/m <sup>2</sup>	
Dauerhafte Last insgesamt	28,0 kg/m <sup>2</sup> =	0,280 kN/m <sup>2</sup> [G]

#### 3.3.2 Veränderliche last (Q)

##### 3.3.2.1 Mobile last

Verteilte Last	5,0 kN/m <sup>2</sup>	[Qf]
Einzellast	7,0 kN	[Qf;w]
Einzellastmaß	100 x 100 mm <sup>2</sup>	
Dienstfahrzeug		
Achse 1	25,0 kN	[Qd]
Aufstandsfläche	250 x 250 mm <sup>2</sup>	
Achse 2	25,0 kN	
Aufstandsfläche	250 x 250 mm <sup>2</sup>	
Spurweite	1750 mm	
Reifenbasis	3000 mm	

##### 3.3.2.2 Schnee

Maximal mögliche Schneelast	0,7 kN/m <sup>2</sup>	
Maximaler Formfaktor (geschloss. Handlauf)	2 -	
Maximale Schneelast	1,4 kN/m <sup>2</sup>	[Qs]

### 3.3.3 Außergewöhnliche Last (A)

Die außergewöhnliche Anwesenheit eines Fahrzeugs mit den folgenden Eigenschaften:

Gelegentliches Fahrzeug von 120 kN

Achse 1	80,0 kN	[Aov]
Aufstandsfläche	200 x 200 mm	
Achse 2	40,0 kN	
Aufstandsfläche	200 x 200 mm	
Spurweite	1300 mm	
Reifenbasis	3000 mm	

## 3.4 Vorschriften

### 3.4.1 Vorschriften für Grenzwerte der Gebrauchstauglichkeit

Die Durchbiegungsanforderungen müssen für jedes Projekt einzeln bestimmt werden.

Die Überprüfungsberechnung wurde für eine Durchbiegungsempfehlung gemeldet.

Die Anforderung ist eine zusätzliche Durchbiegung.

Alle Durchbiegungsanforderungen bis L/550 sind berechnet und gemeldet in Figur 2, Figur 3 und Figur 4.

Es gelten die folgenden Empfehlungen für die Durchbiegung:

- L/200      Verteilte Last
- L/100      Einzellast
- L/200      Dienstfahrzeug
- Keine Durchbiegungsempfehlung für andere Lasten berücksichtigt

### 3.4.2 Komfort

Die verwendete Komfortanforderung wurde in Übereinstimmung mit der JRC document "JRC 53443 human induced vibrations" beibehalten.

Gewünschte Komfortstufe CL1.

Die maximal zulässige Beschleunigung beträgt  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Dies ist gewährleistet, wenn die Eigenfrequenz über 5 Hz liegt. Dies wird als Mindestanforderung beibehalten.

### 3.4.3 Vorschriften bzgl. Tragfähigkeitsgrenzzustand

Festigkeitsanforderung in Übereinstimmung mit CUR 96:

$$E_d \leq \frac{\eta_c \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$E_d$	Rechenlast
$R_k$	Charakteristischer Widerstand
$\eta_c$	Konversionsfaktor
$\gamma_M$	Materialfaktor

Da  $\eta_c$  von der Lastdauer abhängig ist, wird diese in der Lastkombination berücksichtigt.

$$\frac{E_d}{\eta_c} \leq \frac{R_k}{\gamma_m}$$

### 3.4.4 Materialfaktor

Die CUR-“Empfehlung 96” schreibt Materialfaktoren in Bezug auf die Eigenschaften faserverstärkter Kunststoffe vor, die bei der Prüfung des maximalen Grenzwerts berücksichtigt werden müssen. Diese Werte gelten für nachgehärtete Lamine, die durch Pultrusionsverfahren hergestellt worden sind.

$\gamma_{M1}$  ist der partielle Materialfaktor, verknüpft mit geometrischen Toleranzen und Modellunsicherheiten beim Erhalt der richtigen Materialeigenschaften.

$\gamma_{M2}$  ist der partielle Materialfaktor, der die Unsicherheiten bei den Festigkeitseigenschaften des Materials ermäßigt und der von der Verteilung in Materialeigenschaften abhängig ist.

$$\gamma_M = \gamma_{M1} \times \gamma_{M2}$$

$$\gamma_{M1} = 1,15 \quad \text{Auf Festigkeit}$$

$$\gamma_{M2} = 1,20 \quad \text{Vor Pultrusionsverfahren}$$

Ergebnis:

$$\gamma_M = 1,38 \quad \text{Auf Festigkeit} \quad (=1,15 \times 1,20)$$

### 3.5 Lastenkombinationen

#### 3.5.1 Konversionsfaktoren

Die CUR-“Empfehlung 96” 2019 schreibt Konversionsfaktoren in Bezug auf die Eigenschaften faserverstärkte Kunststoffe vor, die bei der Prüfung der maximale Grenzwert berücksichtigt werden müssen.

Der Konversionsfaktor ermäßigt voraussehbare Auswirkungen von Temperatur, Zeit, Umwelteinflüsse (Feuchtigkeit, Sonnenlicht), Zeitraum der Last und zyklische Lasten auf die Materialeigenschaften. Der Konversionsfaktor kann nach Last typ (kurzfristig oder langfristig) variieren. Der Konversionsfaktor  $\eta_c$ , setzt sich wie folgt zusammen:

$$\eta_c = \eta_{ct} \cdot \eta_{cm} \cdot \eta_{cv} \cdot \eta_{cf}$$

$\eta_{ct}$	=	1,0	Temperaturauswirkungen (BGT)
$\eta_{ct}$	=	0,9	Temperaturauswirkungen (UGT)
$\eta_{cm}$	=	0,9	Auswirkung von Wasser(dampf)
$\eta_{cv, kurz}$	=	1,0	Kurzfristiges Belastung (1 Stunde)
$\eta_{cv, mittel}$	=	0,8	Mittelfristiges Belastung (3 Monaten)
$\eta_{cv, lang}$	=	0,67	Langfristiges Belastung (100 Jahre)
$\eta_{cf}$	=	0,9	Ermüdungsauswirkungen

Je nach Lastdauer und Analyseart werden die Konversionsfaktoren in Übereinstimmung mit der CUR-Empfehlung 96 (2019) kombiniert. Die folgenden Konversionsfaktoren werden auf Lasten angerechnet.

Analyse von Verformung (Gebrauchstauglichkeitszustand):

$\eta_{c, kurz}$	=	0,81
$\eta_{c, mittel}$	=	0,65
$\eta_{c, lang}$	=	0,54

Analyse der Festigkeit (Tragfähigkeitsgrenzzustand):

$\eta_{c, kurz}$	=	0,81
$\eta_{c, mittel}$	=	0,65
$\eta_{c, lang}$	=	0,54

### 3.5.2 Lastfaktoren

Die Lastfaktoren im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind gleich 1,0.

Die Lastfaktoren im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden entsprechend der Folgeklasse **CC2** eingehalten

Tabelle 2: Belastungsfaktoren in Übereinstimmung mit EN1991 NB

Gevolklasse	$\beta$	G			Verkeer (met $\psi = 1$ )	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$ )
		$\gamma_{G,sup}$		$\gamma_{G,int}$		
		6.10a	6.10b (incl. $\xi$ )	6.10a en 6.10b		
CC1	3,3	1,20	1,10	0,9	1,20	1,35
CC2	3,8	1,30	1,20	0,9	1,35	1,5
CC3	4,3	1,40	1,25	0,9	1,5	1,65

### 3.5.3 Kombinationen Gebrauchstauglichkeitszustand

$$BC = \frac{1}{\eta_c} \times G \text{ of } \frac{1}{\eta_c} \times Q_i$$

Wobei:	$\eta_c$	Konversionsfaktor Festigkeit gemäß CUR 96; 2019
	G	Dauerhafte Last (Eigengewicht)
	$Q_i$	Veränderliche Last i

BGT 1	$1/0,54 \times G$
BGT 2	$1/0,81 \times Q_f$
BGT 3	$1/0,81 \times Q_{f;w}$
BGT 4	$1/0,81 \times Q_d$

### 3.5.4 Kombinationen Tragfähigkeitsgrenzzustand

$$BC = \gamma_{G;sup} \frac{1}{\eta_c} \times G + \gamma_Q \frac{1}{\eta_c} \times Q_i$$

Wobei:	$\gamma_{G;sup}$	Lastfaktor dauerhafte Last gemäß N1990/NB für CC2
	$\eta_c$	Konversionsfaktor Festigkeit gemäß CUR 96; 2019
	$\gamma_Q$	Lastfaktor variable Last gemäß N1990/NB für CC2
	G	Dauerhafte Last (Eigengewicht)
	$Q_i$	Veränderliche Last i

UGT 1	$1,30 \times 1/0,54 \times G$
UGT 2	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_f$
UGT 3	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_{f;w}$
UGT 4	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_d$
UGT 5	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,50 \times 1/0,65 \times Q_s$
UGT 6	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times A_{ov}$

## 4 Symbole

$y$	= vertikale Durchbiegung [mm]
$y_{\text{optr.}}$	= auftretende Durchbiegung [mm]
$y_{\text{toel.}}$	= zulässige Durchbiegung [mm]
$F$	= Einzellast [N]
$q$	= verteilte Last [N/mm]
$L$	= Lichte Weite [mm]
$E_b$	= Biegemodul [N/mm <sup>2</sup> ]
$I$	= Trägheitsmoment [mm <sup>4</sup> ]
$\sigma_b$	= auftretende Biegespannung [N/mm <sup>2</sup> ]
$W$	= Widerstandsmoment [mm <sup>3</sup> ]
$\sigma_{b,\text{kar}}$	= charakteristische Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{\text{optr.}}$	= auftretende Biegespannung [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{\text{toel.}}$	= zulässige Biegespannung [N/mm <sup>2</sup> ]
$\gamma_m$	= Materialabzugfaktor [-]
$A_s$	= Scherfläche [mm <sup>2</sup> ]
$b_o$	= Breite Einzellast Fläche [mm]
$L_o$	= Länge Einzellast Fläche [mm]
$L_s$	= Spurweite [mm]
$D$	= auftretende Querkraft [N]
$\tau_{\text{kar}}$	= charakteristische Scherfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$\tau_{\text{optr.}}$	= auftretende Scherspannung [N/mm <sup>2</sup> ]
$\tau_{\text{toel.}}$	= zulässige Scherspannung [N/mm <sup>2</sup> ]
$D_{\text{kar},i}$	= charakteristischer Widerstand gegen Querkraft bei einer Einzellast [N]
BGT	= Gebrauchstauglichkeitszustand
UGT	= Tragfähigkeitsgrenzzustand

## **5 Nachweis der zulässigen Spannweite an 2 Stützpunkten**

### **5.1 Eigengewicht**

Diese Lastsituationen sind nicht maßgeblich und wurden nicht weiter berücksichtigt.

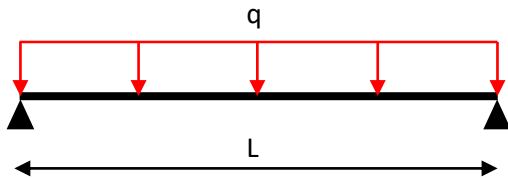
## 5.2 Verteilte Last

BGT 2	$1/0,81 \times Q_f$
UGT 2	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_f$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Verteilte Last	5,0 kN/m <sup>2</sup>
G	0,140 N/mm
Q <sub>f</sub>	2,5 N/mm
Maximale Lichte Weite bei L/200	1680 mm

q <sub>BGT2</sub>	3,09 N/mm
q <sub>UGT2</sub>	4,48 N/mm

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:



### 5.2.1 BGT 2

**Nachweis der Biegung:**

$$y = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times EI} \leq \frac{L}{200}$$

q	3,09 N/mm
L	1680 mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
Y <sub>optr.</sub>	8,32 mm
Y <sub>toel.</sub>	8,40 mm
u.c.	0,99 <b>OK</b>

## 5.2.2 UGT 2

### Nachweis der Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$

q	4,48 N/mm
L	1680 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	31 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.C.	0,16 <b>OK</b>

### Nachweis der Querkraft:

$$\tau = \frac{q \times L}{2 \times A_s} \leq \frac{\tau_{kar}}{\gamma_m}$$

q	4,48 N/mm
L	1680 mm
$A_s$	1836 mm <sup>2</sup>
$\tau_{kar.}$	54,3 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\tau_{optr.}$	2,0 N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{toel.}$	39,3 N/mm <sup>2</sup>
u.C.	0,05 <b>OK</b>

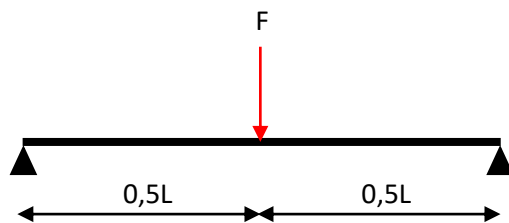
### 5.3 Einzellast

BGT 3	$1/0,81 \times Qf;w$
UGT 3	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Qf;w$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Aufstandsfläche auf 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,140 N/mm
Maximale Lichte Weite bei L/100	1460 mm

$Q_{BGT3}$	8642 N
$q_{UGT3}$	0,311 N/mm
$Q_{UGT3}$	11667 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:



#### 5.3.1 BGT 3

**Nachweis der Biegung:**

$$y = \frac{F \times L^3}{48 \times EI} \leq \frac{L}{100}$$

F	8642 N
L	1460 mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
$y_{optr.}$	14,55 mm
$y_{toel.}$	14,60 mm
u.c.	1,00 <b>OK</b>

### 5.3.2 UGT 3

#### Nachweis der Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$

F	11667 N
q	0,311 N/mm
L	1460 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar}$ .	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr}$ .	85 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel}$ .	197 N/mm <sup>2</sup>
u.C.	0,43 <b>OK</b>

#### Nachweis der Querkraft:

$$D_{optr.} = F \leq \frac{D_{kar,100}}{\gamma_m}$$

F	11667 N
$D_{kar,100}$	35531 N
$\gamma_m$	1,38 -
$D_{optr}$ .	11267 N
$D_{toel}$ .	25747 N
u.C.	0,44 <b>OK</b>

## 5.4 Dienstfahrzeug

**BGT 4**                     $1/0,81 \times Q_d$   
**UGT 4**                     $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_d$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Aufstandsfläche auf 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,140 N/mm
Spurweite	1750 mm
Maximale Lichte Weite Situation 1 L/200	770 mm
Maximale Lichte Weite Situation 2 L/200	<b>[ - ]</b> mm

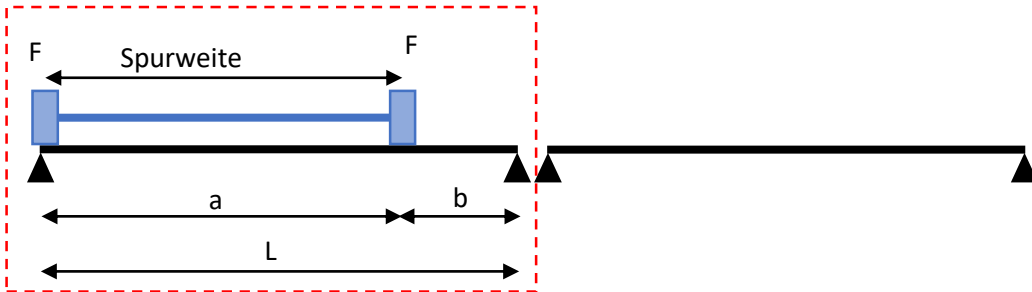
$Q_{BGT4}$	15432 N
$q_{UGT4}$	0,311 N/mm
$Q_{UGT4}$	20833 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

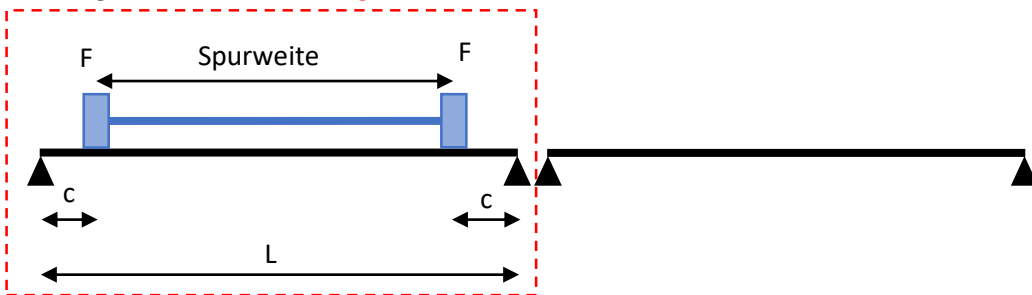
**Situation 1: Mehrere Einzelfelder**

Situation 1 beschreibt die Situation, in der das Fahrzeug auf mehreren Planken stehen kann. Diese Planken stehen auf zwei Stützen. Die einzelnen Flächen innerhalb der roten Rechtecke werden berücksichtigt.

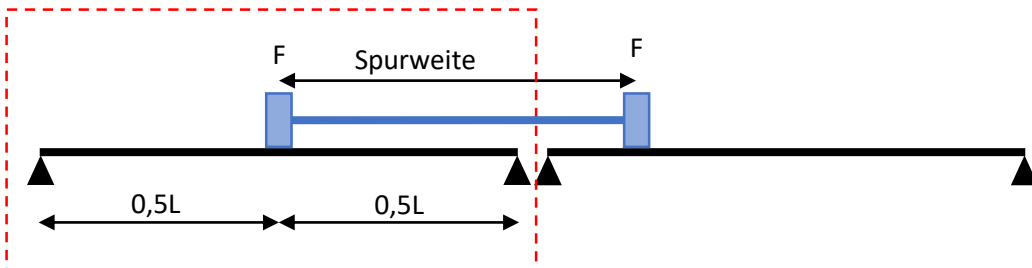
Fahrzeug Position 1: **Nicht möglich**  $L < L_s$



Fahrzeug Position 2: **Nicht möglich**  $L < L_s$



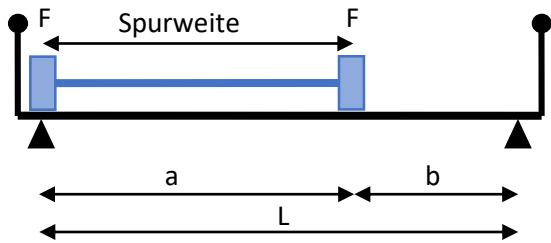
Fahrzeug Position 3:



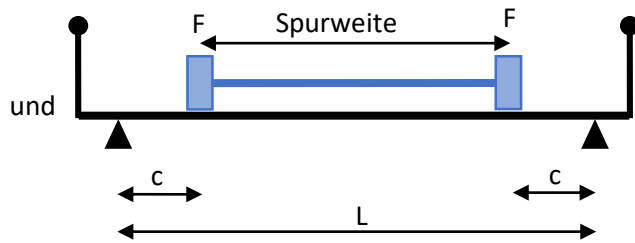
**Situation 2: Einen Träger, frei aufgelegt auf zwei Stützpunkten  $L > L_s$  Nicht möglich**

Situation 2 beschreibt die Situation, in der eine Planke der Gesamtbreite der Brücke entspricht. Hier werden zwei Positionen betrachtet, die unten dargestellt sind. Es wird die kritischste Position angegeben, die von der Gesamtlänge  $L$ , der Spurweite  $L_s$  und der zulässigen Durchbiegung abhängt.

Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2:

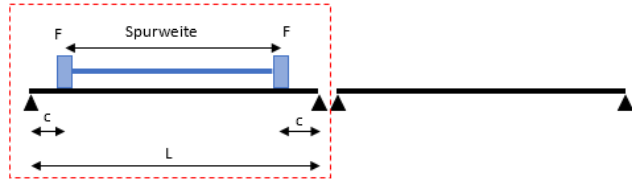


### 5.4.1 BGT 4 Situation 1

#### Nachweis der Biegung:

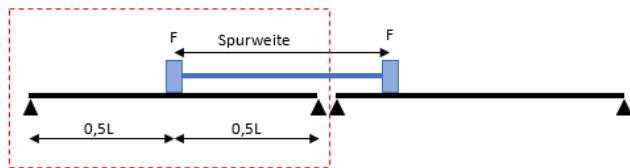
Die maximale Durchbiegung für die Position 2 des Dienstfahrzeugs beträgt: **Nicht möglich  $L < L_s$**

$$y_{pos2} = \frac{F \times c}{24 \times EI} \times (3L^2 - 4c^2) \leq \frac{L}{200}$$



Die maximale Durchbiegung für die Position 3 des Dienstfahrzeugs beträgt:

$$y_{pos3} = \frac{F \times L^3}{48 \times EI} \leq \frac{L}{200}$$



Die maximal auftretende Durchbiegung in Situation 1:

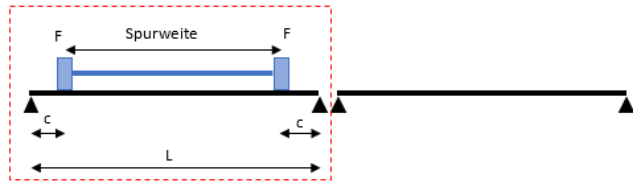
F	15432 N
L	770 mm
c	0 mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
$y_{optr;pos2}$	<b>[-]</b> mm
$y_{optr;pos3}$	3,81 mm
$y_{optr;max}$	3,81 mm
$y_{toel.}$	3,85 mm
u.c.	0,99 <b>OK</b>

### 5.4.2 UGT 4 Situation 1

#### Nachweis der Biegespannung:

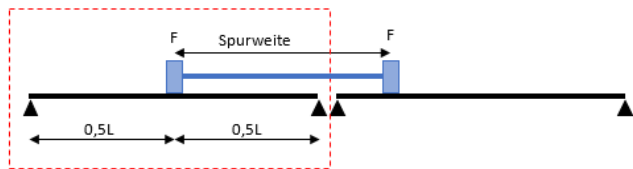
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2 beträgt: **Nicht möglich  $L < L_s$**

$$\sigma_{b;pos2} = \frac{F \times c}{W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 3 beträgt:

$$\sigma_{b;pos3} = \frac{F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 1:

F	20833 N
q	0,311 N/mm
L	770 mm
c	0 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr;pos3}$	79 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr;max}$	79 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.C.	0,40 <b>OK</b>

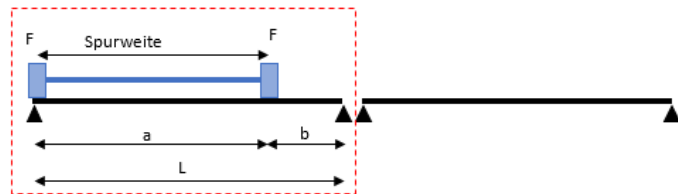
**Nachweis der Querkraft:**

$$D_{kar;250} > D_{kar;200}$$

$$D_{optr.} = \left( F \times \frac{L - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) + \left( F \times \frac{b - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) \leq \frac{D_{kar;250}}{\gamma_m}$$

Der zweite Term in der obigen Formel wird nur verwendet, wenn  $L > L_s + L_0$  (wenn die Spannweite größer ist als die Spurweite + Radbreite). Wenn  $L < L_s + L_0$  ist, ist der zweite Term in der obigen Formel gleich 0.

F	20833 N
L	770 mm
$L_0$	250 mm
b	0 mm
$D_{kar;250}$	90323 N
$\gamma_m$	1,38 -
$D_{optr.}$	17451 N
$D_{toel.}$	65451 N
u.C.	0,27 <b>OK</b>

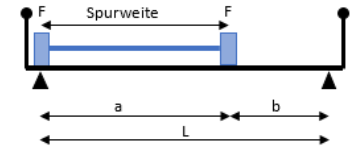


### 5.4.3 BGT 4 Situation 2 **Nicht möglich**

#### Nachweis der Biegung:

Die maximale Durchbiegung für die Position 1 des Dienstfahrzeugs beträgt:

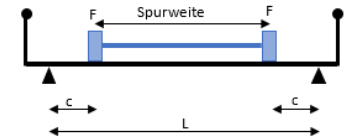
$$y_{pos1} = \frac{F \times a \times b}{27 \times EI \times L} \times (a + 2b) \times \sqrt{3a \times (a + 2b)} \leq \frac{L}{200}$$



Diese maximale Durchbiegung ist an der Stelle:  $x = \sqrt{\frac{a}{3}} \times (a + 2b)$  als  $a > b$

Die maximale Durchbiegung für die Position 2 des Dienstfahrzeugs beträgt:

$$y_{pos2} = \frac{F \times c}{24 \times EI} \times (3L^2 - 4c^2) \leq \frac{L}{200}$$



Die maximal auftretende Durchbiegung in Situation 2:

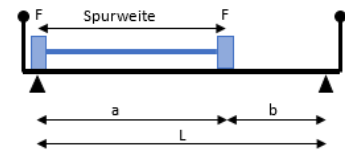
F	15432 N
a	1750 mm
b	0 mm
c	0 mm
L	<b>[ - ]</b> mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
$y_{optr;pos1}$	<b>[ - ]</b> mm
$y_{optr;pos2}$	<b>[ - ]</b> mm
$y_{optr,max}$	<b>[ - ]</b> mm
$y_{toel.}$	0,05 mm
u.c.	<b>[ - ]</b>

#### 5.4.4 UGT 4 Situation 2 **Nicht möglich**

##### Nachweis der Biegespannung:

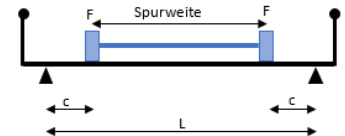
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 1 beträgt:

$$\sigma_{b;pos1} = \frac{F \times a \times b}{L \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2 beträgt:

$$\sigma_{b;pos2} = \frac{F \times c}{W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



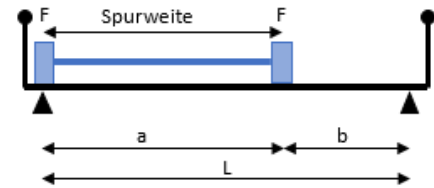
Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 2:

F	20833 N
q	0,311 N/mm
a	1750 mm
b	0 mm
c	0 mm
L	<b>[ - ]</b> mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr.pos2}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr.max}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
U.C.	<b>[ - ]</b>

**Nachweis der Querkraft:**

$$D_{kar;250} > D_{kar;200}$$

$$D_{optr.} = \left( F \times \frac{L - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) + \left( F \times \frac{b - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) \leq \frac{D_{kar,250}}{\gamma_m}$$



F	20833 N
L	<b>[ - ]</b> mm
$L_0$	250 mm
b	0 mm
$D_{kar;250}$	90323 N
$\gamma_m$	1,38 -
$D_{optr.}$	<b>[ - ]</b> N
$D_{toel.}$	65451 N
u.c.	<b>[ - ]</b>

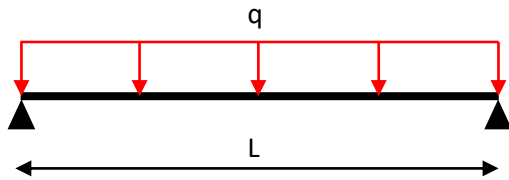
## 5.5 Schnee

Die maximal zulässige Stützweite ist auf 5000 mm begrenzt.

$$\text{UGT 5} \quad 1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,50 \times 1/0,65 \times Q_s$$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Verteilte Last	1,4 kN/m <sup>2</sup>
G	0,140 N/mm
Q <sub>f</sub>	0,7 N/mm
Maximale Lichte Weite	5000 mm
	q <sub>UGT5</sub> 2,24 N/mm

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:



### 5.5.1 UGT 5

Nachweis der Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$

q	2,24 N/mm
L	5000 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
σ <sub>kar.</sub>	272 N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>m</sub>	1,38 -
σ <sub>optr.</sub>	137 N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>toel.</sub>	197 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,69 <b>OK</b>

**Nachweis der Querkraft:**

$$\tau = \frac{q \times L}{2 \times A_s} \leq \frac{\tau_{kar}}{\gamma_m}$$

q	2,24 N/mm
L	5000 mm
A <sub>s</sub>	1836 mm <sup>2</sup>
τ <sub>kar.</sub>	54,3 N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>m</sub>	1,38 -
τ <sub>optr.</sub>	1,0 N/mm <sup>2</sup>
τ <sub>toel.</sub>	39,3 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,03 <b>OK</b>

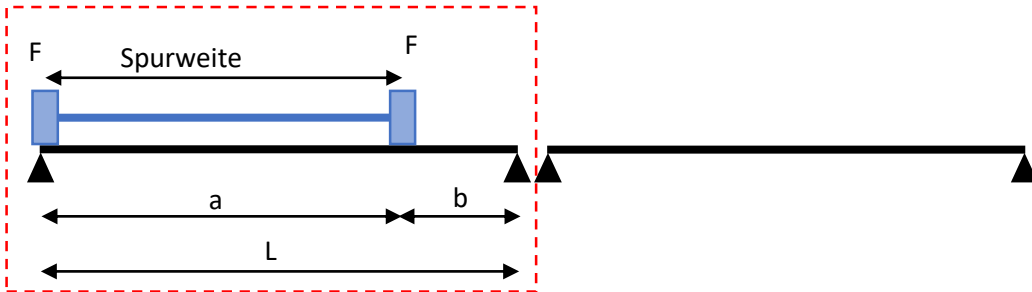


Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

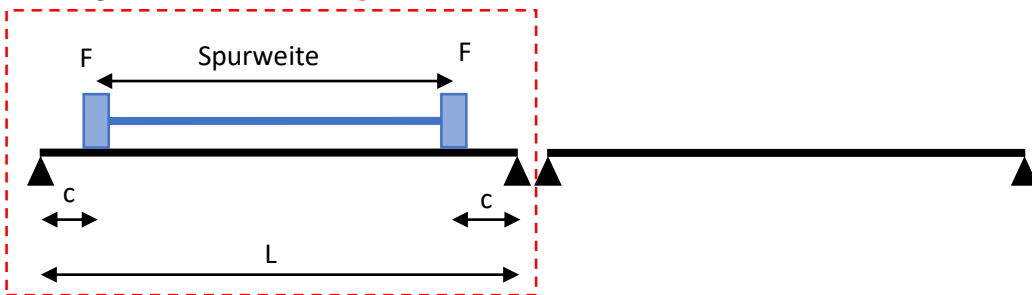
**Situation 1: Mehrere Einzelfelder**

Situation 1 beschreibt die Situation, in der das Fahrzeug auf mehreren Planken stehen kann. Diese Planken stehen auf zwei Stützen. Die einzelnen Flächen innerhalb der roten Rechtecke werden berücksichtigt.

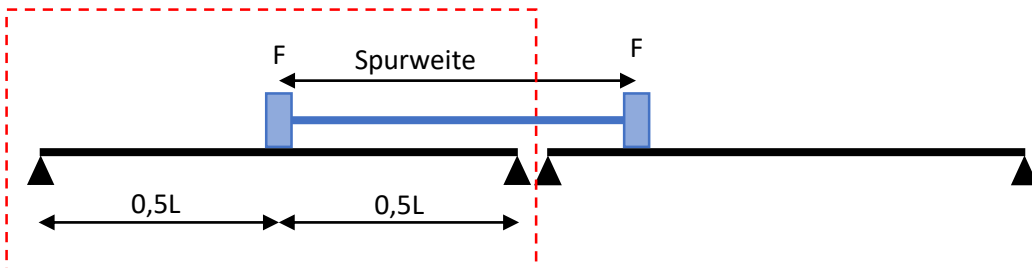
Fahrzeug Position 1: **Nicht möglich**  $L < L_s$



Fahrzeug Position 2: **Nicht möglich**  $L < L_s$



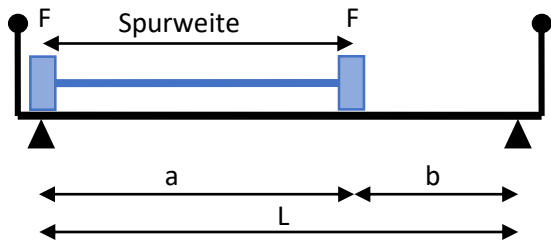
Fahrzeug Position 3:



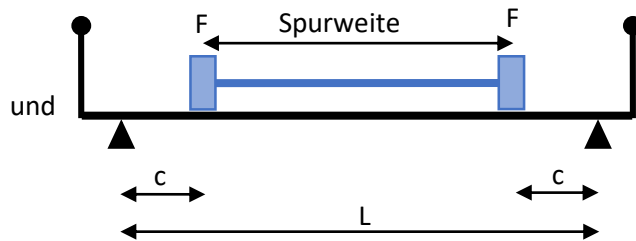
**Situation 2: Einen Träger, frei aufgelegt auf zwei Stützpunkten  $L > L_s$  Nicht möglich**

Situation 2 beschreibt die Situation, in der eine Planke der Gesamtbreite der Brücke entspricht. Hier werden zwei Positionen betrachtet, die unten dargestellt sind. Es wird die kritischste Position angegeben, die von der Gesamtlänge  $L$ , der Spurweite  $L_s$  und der zulässigen Durchbiegung abhängt.

Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2:

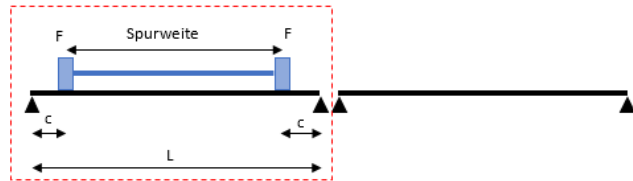


### 5.6.1 UGT 6 Situation 1

#### Nachweis der Biegespannung:

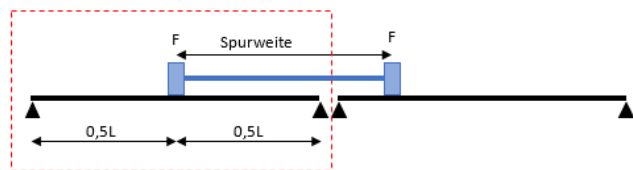
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 2 beträgt: **Nicht möglich**  $L < L_s$

$$\sigma_{b;pos2} = \frac{F \times c}{W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 3 beträgt:

$$\sigma_{b;pos3} = \frac{F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



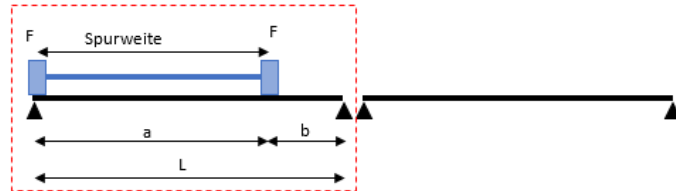
Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 1:

F	66667 N
q	0,311 N/mm
L	600 mm
c	0 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr;pos3}$	196 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr;max}$	196 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.C.	0,99 <b>OK</b>

**Nachweis der Querkraft:**

$$D_{optr.} = \left( F \times \frac{L - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) + \left( F \times \frac{b - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) \leq \frac{D_{kar;200}}{\gamma_m}$$

F	66667 N
L	600 mm
L <sub>0</sub>	200 mm
D <sub>kar;200</sub>	90323 N
γ <sub>m</sub>	1,38 -
D <sub>optr.</sub>	55556 N
D <sub>toel.</sub>	65451 N
u.c.	0,85 <b>OK</b>

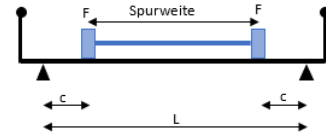


## 5.6.2 UGT 6 Situation 2 **Nicht möglich**

### Nachweis der Biegespannung:

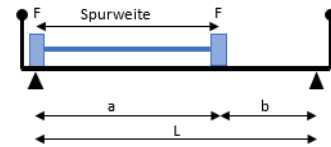
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 1 beträgt:

$$\sigma_{b;pos1} = \frac{F \times a \times b}{L \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 2 beträgt:

$$\sigma_{b;pos2} = \frac{F \times c}{W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$

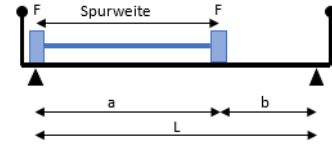


Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 2:

F	66667 N
q	0,311 N/mm
a	1300 mm
b	0 mm
c	0 mm
L	<b>[ - ]</b> mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr.pos2}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr.max}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	<b>[ - ]</b>

**Nachweis der Querkraft:**

$$D_{optr.} = \left( F \times \frac{L - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) + \left( F \times \frac{b - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) \leq \frac{D_{kar,200}}{\gamma_m}$$

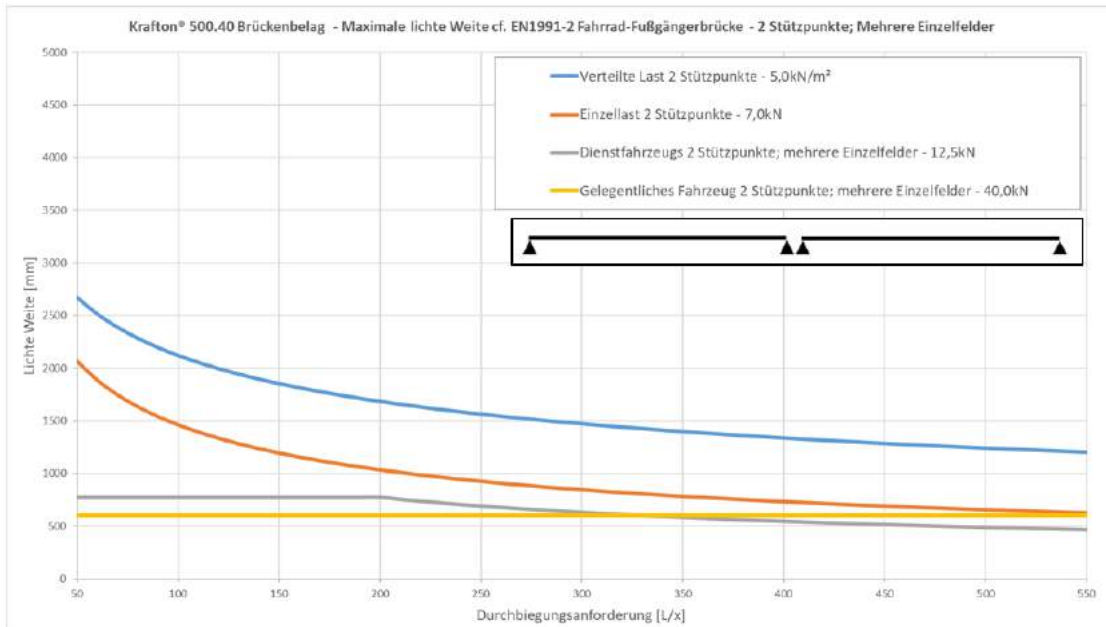


F	66667 N
L	<b>[ - ]</b> mm
L <sub>0</sub>	200 mm
b	0 mm
D <sub>kar;200</sub>	90323 N
γ <sub>m</sub>	1,38 -
D <sub>optr.</sub>	<b>[ - ]</b> N
D <sub>toel.</sub>	65451 N
u.c.	<b>[ - ]</b>

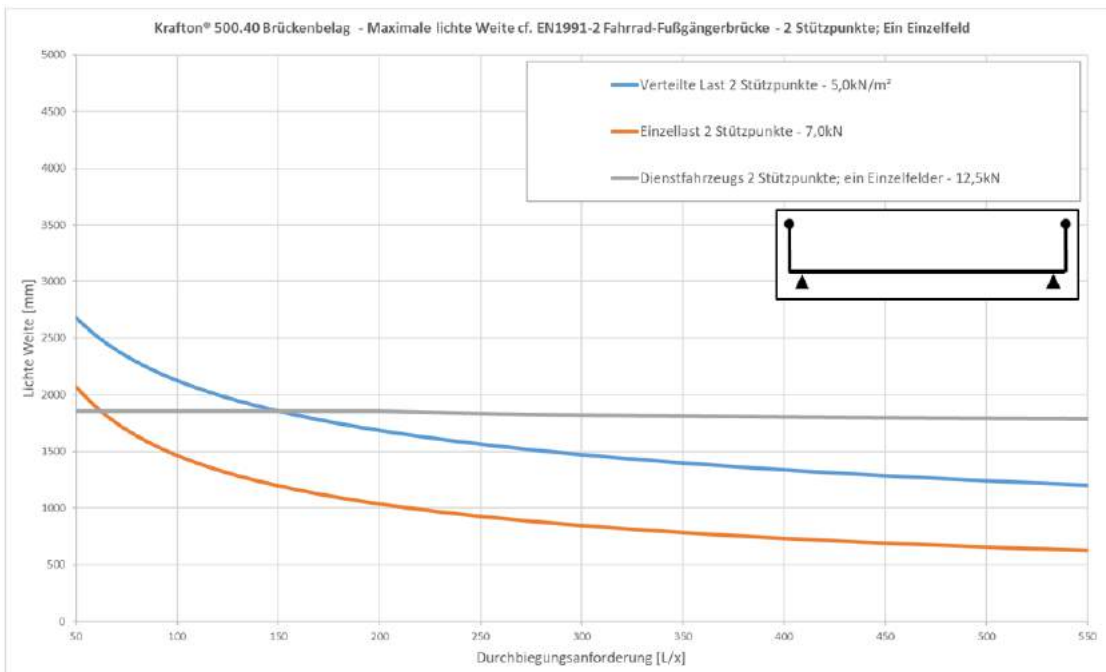
## 5.7 Zusammenfassung

Die Planke wurde für jeden Lastfall verifiziert. Die maximale Stützweite wurde anhand der oben genannten Festigkeitsanforderungen und für die Durchbiegungsanforderungen bis zu  $L/550$  ermittelt. Für jeden Fall ist die maximale Spannweite in Figur 6 und Figur 7 dargestellt.

Sofern nicht anders angegeben, wurde die Berechnung für einen Träger durchgeführt, der frei auf zwei Stützen aufliegt.



Figur 6: Maximale Lichte Weite in Abhängigkeit von der geforderten Durchbiegung; 2 Stützpunkte; mehrere Einzelfelder



Figur 7: Maximale Lichte Weite in Abhängigkeit von der geforderten Durchbiegung; 2 Stützpunkte; ein Einzelfeld

**Die Spannweiten wurden mit den folgenden Lasten berechnet:**

- Verteilte last                      5,0 kN/m<sup>2</sup>
- Einzellast                            7,0 kN
- Dienstfahrzeug                    5 ton
- Gelegentliches Fahrzeug        12 ton

**Anmerkung:**

- Für das Dienstfahrzeug wurde eine Mindestverformung von  $L/200$  festgelegt.

## **6 Nachweis der zulässigen Stützweite an 3 oder mehr Stützpunkten**

### **6.1 Eigengewicht**

Diese Lastsituationen sind nicht maßgeblich und wurden nicht weiter berücksichtigt.

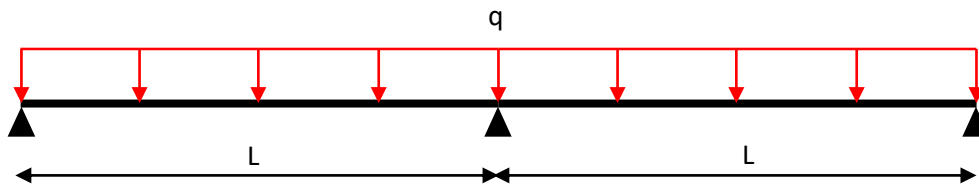
## 6.2 Verteilte Last

BGT 2	$1/0,81 \times Q_f$
UGT 2	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_f$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Verteilte Last	5,0 kN/m <sup>2</sup>
G	0,140 N/mm
Q <sub>f</sub>	2,5 N/mm
Maximale Lichte Weite L/200	2250 mm

q <sub>BGT2</sub>	3,09 N/mm
q <sub>UGT2</sub>	4,48 N/mm

Bei der Berechnung werden die folgenden Situationen zugrunde gelegt:



### 6.2.1 BGT 2

**Nachweis der Biegung:**

$$y = \frac{q \times L^4}{185 \times EI} \leq \frac{L}{200}$$

q	3,09 N/mm
L	2250 mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
y <sub>optr.</sub>	11,11 mm
y <sub>toel.</sub>	11,25 mm
u.c.	0,99 <b>OK</b>

## 6.2.2 UGT 2

Der Festigkeitsnachweis wird konservativ auf ein einziges Feld vereinfacht.

### Nachweis der Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$

q	4,48 N/mm
L	2250 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	55 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,28 <b>OK</b>

### Nachweis der Querkraft:

$$\tau = \frac{q \times L}{2 \times A_s} \leq \frac{\tau_{kar}}{\gamma_m}$$

q	4,48 N/mm
L	2250 mm
$A_s$	1836 mm <sup>2</sup>
$\tau_{kar.}$	54,3 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\tau_{optr.}$	2,7 N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{toel.}$	39,3 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,07 <b>OK</b>

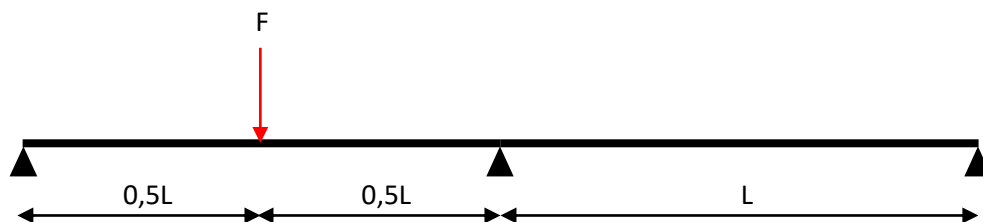
### 6.3 Einzellast

BGT 3             $1/0,81 \times Qf;w$   
 UGT 3             $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Qf;w$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Aufstandsfläche auf 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,140 N/mm
Maximale Lichte Weite L/100	1720 mm

$Q_{BGT3}$	8642 N
$q_{UGT3}$	0,311 N/mm
$Q_{UGT3}$	11667 N

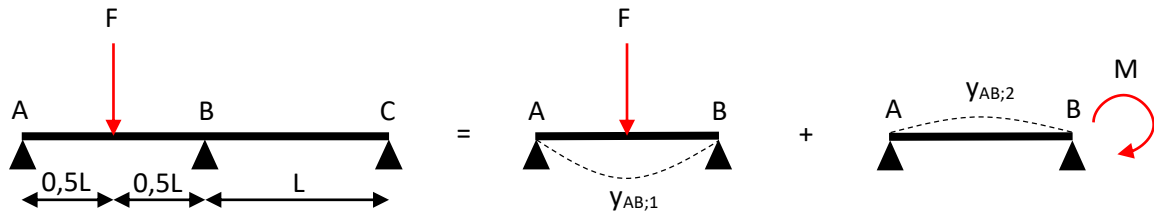
Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:



### 6.3.1 BGT 3

#### Nachweis der Biegung:

Die Durchbiegung bei  $x=0,5L$  ist repräsentativ für die maximale Durchbiegung<sup>2</sup>.



$$y_{AB} = \frac{F \times L^3}{48 \times EI} + \frac{M}{6 \times EI} \left( -\frac{3}{8} L^2 \right)$$

$$M = \frac{3 \times F \times L}{32}$$

$$y = \frac{23 \times F \times L^3}{1536 \times EI} < \frac{L}{100}$$

F	8642 N
L	1720 mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
$y_{\text{optr.}}$	17,10 mm
$y_{\text{toel.}}$	17,20 mm
u.c.	0,99 <b>OK</b>

<sup>2</sup> In der Realität liegt der Ort der maximalen Durchbiegung nicht bei  $x=0,5L$ . Diese Annahme führt zu einem maximalen Fehler von 2 %. In Anbetracht der Tatsache, dass die Durchbiegung keinen Einfluss auf die Sicherheit hat, ist diese Vereinfachung akzeptabel.

### 6.3.2 UGT 3

Der Festigkeitsnachweis wird konservativ auf ein einziges Feld vereinfacht.

#### Nachweis der Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$

F	11667 N
q	0,311 N/mm
L	1720 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr}$	100 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,51 <b>OK</b>

#### Nachweis der Querkraft:

$$D_{optr.} = F \leq \frac{D_{kar,100}}{\gamma_m}$$

F	11667 N
$D_{kar,100}$	35531 N
$\gamma_m$	1,38 -
$D_{optr.}$	11267 N
$D_{toel}$	25747 N
u.c.	0,44 <b>OK</b>

## 6.4 Dienstfahrzeug

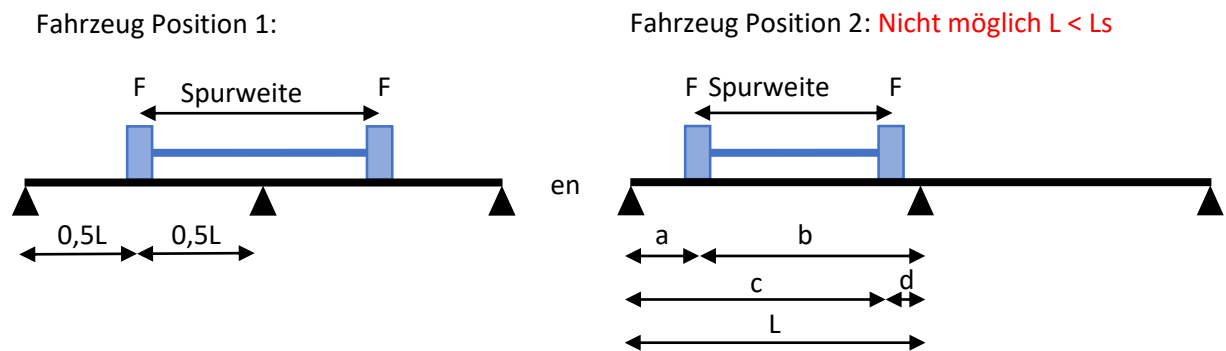
BGT 4	$1/0,81 \times Q_d$
UGT 4	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_d$

Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Aufstandsfläche auf 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,140 N/mm
Spurweite	1750 mm
Maximale Lichte Weite L/200	910 mm

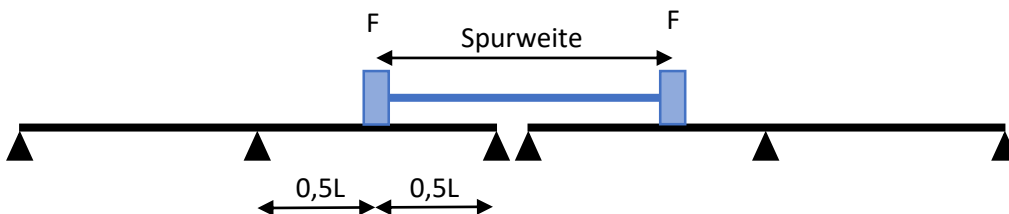
$Q_{BGT4}$	15432 N
$q_{UGT4}$	0,311 N/mm
$Q_{UGT4}$	20833 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

Situation 1:



Situation 2:

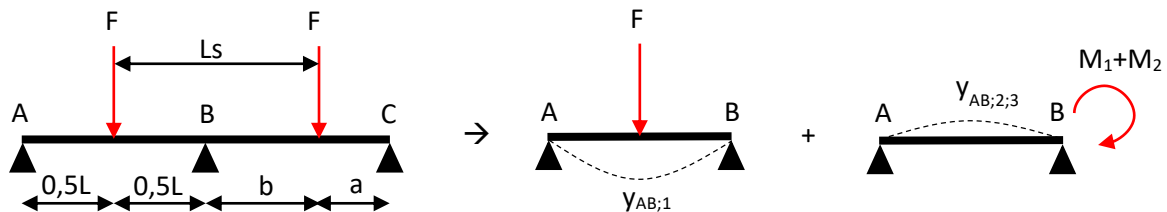


### 6.4.1 BGT 4

#### Nachweis der Biegung:

Die maximal auftretende Biegespannung für das Dienstfahrzeug Situation 1 Position 1:

Die Durchbiegung bei  $x=0,5L$  ist repräsentativ für die maximale Durchbiegung<sup>3</sup>.



$$y_{pos1} = \frac{F \times L^3}{48 \times EI} + \frac{M_1}{6 \times EI} \left( -\frac{3}{8} L^2 \right) + \frac{M_2}{6 \times EI} \left( -\frac{3}{8} L^2 \right) \leq \frac{L}{200}$$

$$M_1 = \frac{3 \times F \times L}{32} \quad M_2 = \frac{F \times a \times b}{4L^2} \times (L + a) \quad a = \frac{3}{2}L - L_s \quad b = L - a$$

$$y_{pos1} = \frac{F \times L^3}{48 \times EI} - \frac{3 \times F \times L^3}{512 \times EI} - \frac{M_2 \times L^2}{16 \times EI} \leq \frac{L}{200}$$

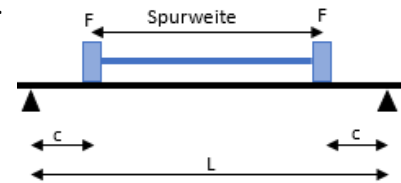
M2 ist nur verfügbar, wenn  $a > 0$  oder  $L > 2/3L_s$ . In der Situation, in der  $a < 0$  ist, wird F in M2 als 0kN betrachtet.

<sup>3</sup> In der Realität liegt der Ort der maximalen Durchbiegung nicht bei  $x=0,5L$ . Diese Annahme führt zu einem maximalen Fehler von 2%. In Anbetracht der Tatsache, dass die Durchbiegung keinen Einfluss auf die Sicherheit hat, ist diese Vereinfachung akzeptabel.

Die maximal auftretende Biegespannung für das Dienstfahrzeug Situation 1 Position 2: **Nicht möglich**  
**L < Ls**

Diese Berechnung wird konservativ auf ein einziges Feld vereinfacht.

$$y_{pos2} = \frac{F \times c}{24 \times EI} \times (3L^2 - 4c^2) \leq \frac{L}{200}$$



Die maximal auftretende Durchbiegung in Situation 1:

F	15432 N
L	910 mm
Ls	1750 mm
a	-385 mm
b	1295 mm
c	0 mm
E	31092 N/mm <sup>2</sup>
I	1238296 mm <sup>4</sup>
Y <sub>optr.pos1</sub>	4,52 mm
Y <sub>optr.pos2</sub>	<b>[ - ]</b> mm
Y <sub>optr.max</sub>	4,52 mm
Y <sub>toel.</sub>	4,55 mm
u.c.	0,99 <b>OK</b>

Für den Kontrolle der Durchbiegung ist die Situation 2 **UNGÜNSTIGER**, sie kommt nur selten vor und wird daher nicht betrachtet. Sollte sie erforderlich sein, sollte eine separate Analyse durchgeführt werden.

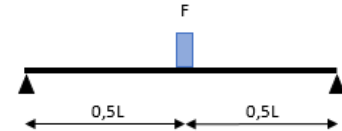
## 6.4.2 UGT 4

Der Festigkeitsnachweis ist konservativ vereinfacht auf ein einziges Feld und gilt für alle betrachteten Situationen.

### Nachweis der Biegespannung:

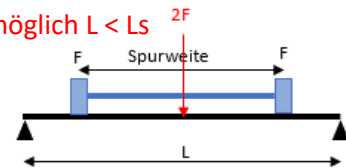
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 1:

$$\sigma_b = \frac{F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2: **Nicht möglich**  $L < L_s$

$$\sigma_b = \frac{2 \times F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$



Beide Punktlasten werden konservativ zu einer Punktlast in der Mitte zusammengefasst. Diese Position tritt nur auf, wenn: Spurweite > L

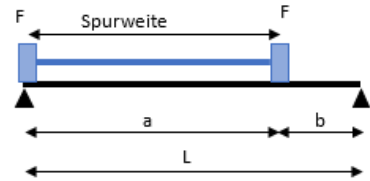
Die maximal auftretende Biegespannung:

F	20833 N
q	0,311 N/mm
L	910 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr. pos1}$	93 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr. pos2}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr. max}$	93 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,47 <b>OK</b>

### Nachweis der Querkraft:

$$D_{250} > D_{200}$$

$$D_{optr.} = \left( F \times \frac{L - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) + \left( F \times \frac{b - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) \leq \frac{D_{kar;250}}{\gamma_m}$$



F	20833 N
L	910 mm
b	0 mm
L <sub>0</sub>	250 mm
D <sub>kar;250</sub>	90323 N
γ <sub>m</sub>	1,38 -
D <sub>optr.</sub>	17972 N
D <sub>toel.</sub>	65451 N
u.c.	0,27 <b>OK</b>

## **6.5 *Schnee***

Der Festigkeitsnachweis wird konservativ auf eine Einfeldspanne vereinfacht. Die Ausarbeitung dieser Vereinfachung wird im Kapitel über die Einfeldspanne beschrieben. Kapitel 5.5.

## 6.6 Gelegentliches Fahrzeug

UGT 6  $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Aov$

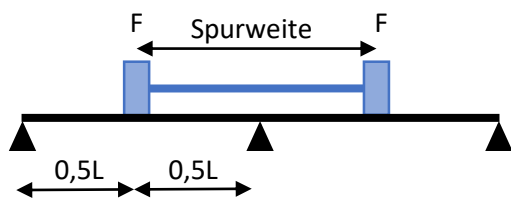
Planke Breite	0,500 m
Eigengewicht	0,280 kN/m <sup>2</sup>
Aufstandsfläche auf 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,140 N/mm
Spurweite	1300 mm
Maximale Lichte Weite	720 mm

$q_{UGT6}$	0,311 N/mm
$Q_{UGT6}$	66667 N

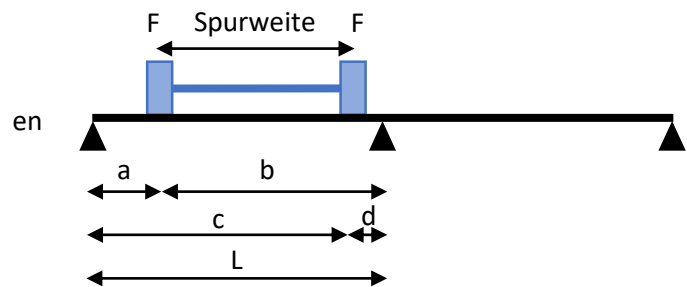
Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

Situation 1:

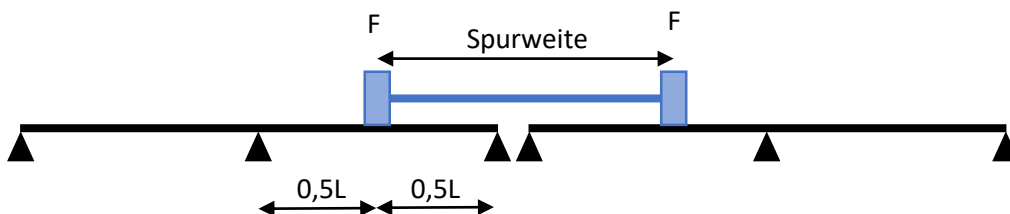
Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2: **Nicht möglich  $L < L_s$**



Situation 2:



### 6.6.1 UGT 6

#### Nachweis der Biegespannung:

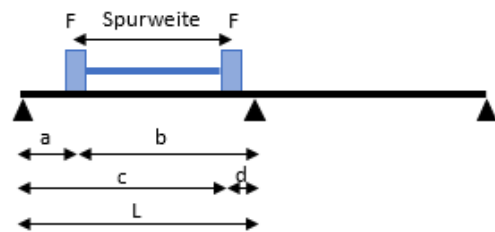
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugsituation 1 Position 1 ist günstiger als die Situation 2 und wurde daher nicht berücksichtigt.

Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeug Situation 1 Position 2: **Nicht möglich  $L < L_s$**

$$\sigma_b = \sigma_{b;1} + \sigma_{b;2} + \sigma_{b;3} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$

Biegespannungsort a aufgrund von Rad 1:

$$\sigma_{b;1} = \frac{F \times a \times b}{4 \times L^2 \times W} \times (4 \times L^2 - a \times (L + a))$$



Biegespannungsort a aufgrund von Rad 2:

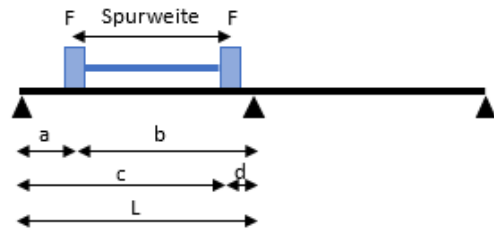
$$\sigma_{b;2} = \frac{F \times c \times d}{4 \times L^2 \times W} \times (4 \times L^2 - c \times (L + c)) \times \frac{c - L_s}{c}$$

Biegespannungsort a aufgrund des Eigengewichts:

$$\sigma_{b;3} = \frac{3 \times q \times L \times a - 4 \times q \times a^2}{8 \times W}$$

$$\sigma_b = \sigma_{b;1} + \sigma_{b;2} + \sigma_{b;3} \leq \frac{\sigma_{b,kar}}{\gamma_m}$$

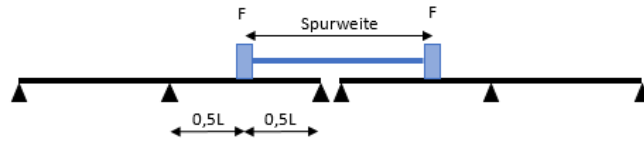
F	66667 N
q	0,311 N/mm
L	720 mm
Ls	1300 mm
a	360 mm
b	360 mm
c	0 mm
d	0 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{b;1}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{b;2}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{b;3}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{optr.}$	<b>[ - ]</b> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
U.C.	<b>[ - ]</b>



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeug Situation 2:

Die Biegespannung bei  $x=0,5L$  ist repräsentativ für die maximale Biegespannung<sup>4</sup>.

$$\sigma_b = \frac{13 \times F \times L}{64 \times W} + \frac{q \times L^2}{16 \times W}$$



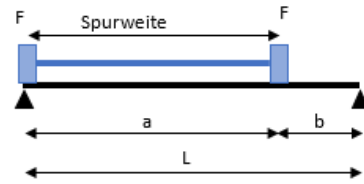
F	66667 N
q	0,311 N/mm
L	720 mm
W	51119 mm <sup>3</sup>
$\sigma_{kar.}$	272 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_m$	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	191 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{toel.}$	197 N/mm <sup>2</sup>
u.c.	0,97 <b>OK</b>

<sup>4</sup> In der Realität liegt der Ort der maximalen Beigespannung nicht bei  $x=0,5L$ . Diese Annahme führt zu einem maximalen Fehler von 2%. Um diese Fehlermarge auszugleichen, wird ein maximaler U.C. von 0,98 verwendet

### Nachweis der Querkraft:

Der Festigkeitsnachweis ist konservativ vereinfacht auf ein einziges Feld

$$D_{optr.} = \left( F \times \frac{L - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) + \left( F \times \frac{b - \frac{1}{2} \times L_0}{L} \right) \leq \frac{D_{kar;200}}{\gamma_m}$$

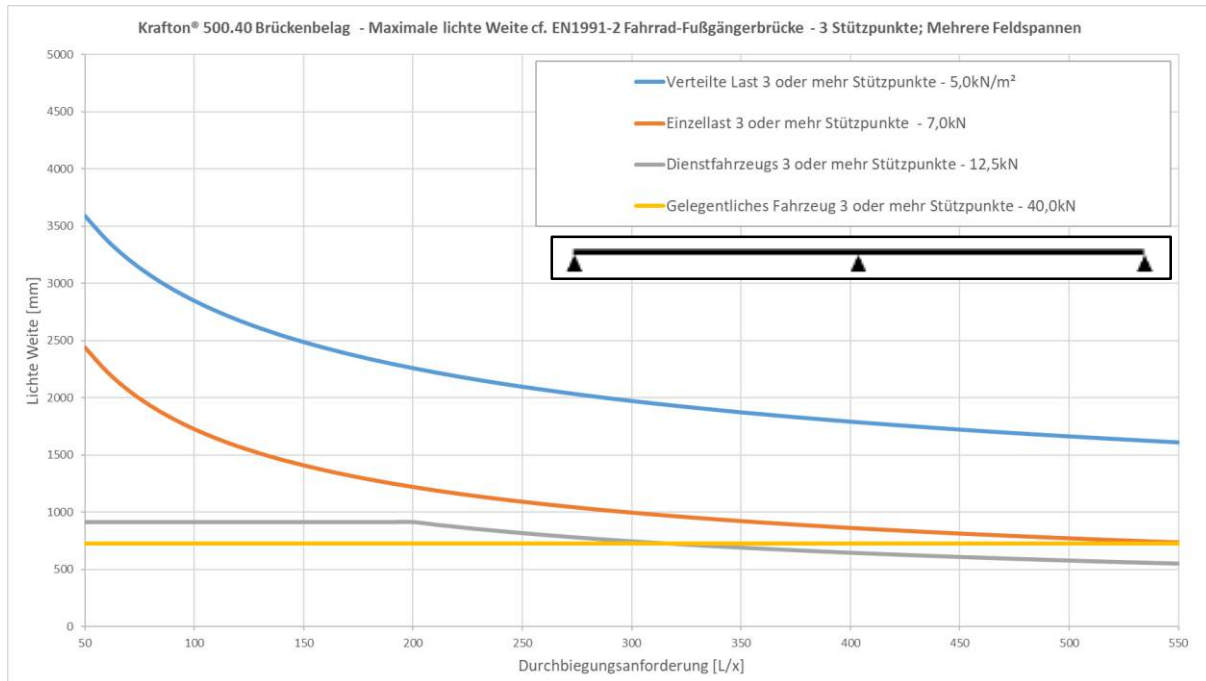


F	66667 N
L	720 mm
b	0 mm
L <sub>0</sub>	200 mm
D <sub>kar;200</sub>	90323 N
γ <sub>m</sub>	1,38 -
D <sub>optr.</sub>	57407 N
D <sub>toel.</sub>	65451 N
u.c.	0,88 <b>OK</b>

## 6.7 Zusammenfassung

Die Planke wurde für jeden Lastfall verifiziert. Die maximale Stützweite wurde anhand der oben genannten Festigkeitsanforderungen und für die Durchbiegungsanforderungen bis zu  $L/550$  ermittelt. Für jeden Fall ist die maximale Spannweite in Figur 8 dargestellt.

Sofern nicht anders angegeben, wurde die Berechnung für einen Träger auf drei Stützen aufliegt.



Figur 8: Maximale Lichte Weite in Abhängigkeit von der geforderten Durchbiegung; 3 Stützpunkte

### Die Spannweiten wurden mit den folgenden Lasten berechnet:

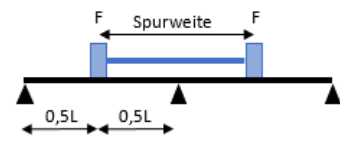
- Verteilte last                      5,0 kN/m<sup>2</sup>
- Einzellast                            7,0 kN
- Dienstfahrzeug                      5 ton
- Gelegentliches Fahrzeug        12 ton

### Anmerkung:

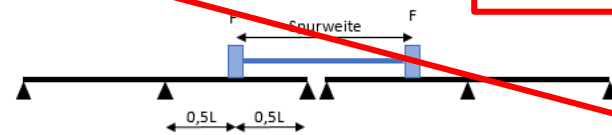
- Für das Dienstfahrzeug wurde eine Mindestverformung von  $L/200$  festgelegt.
- Berücksichtigung der Durchbiegung des Dienstfahrzeug gemäß Figur 9.
- Nicht berücksichtigt gemäß Situation 2 - für Situation 2 sollte eine zusätzliche Kontrolle durchgeführt werden.

### Gebrauchstauglichkeitszustand (BGT)

BGT Situation 1:



BGT Situation 2:

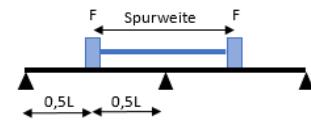


**Nicht betrachtet**

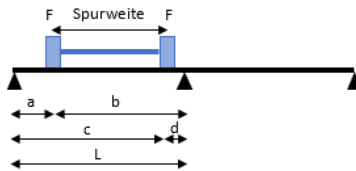
### Tragfähigkeitsgrenzzustand (UGT)

UGT Situation 1

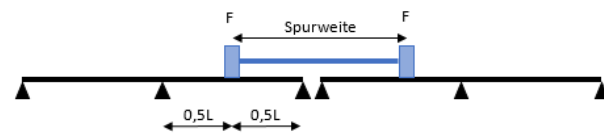
Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2:



UGT Situation 2:



Figur 9: Berücksichtigte Situationen Dienstfahrzeug und gelegentliches Fahrzeug mehrere Feldspannen in BGT und UGT

## 7 Komfort

$$f = \frac{1}{2\pi} * C * \sqrt{\frac{EI * g}{h_c * q * L^4}}$$

$$f \geq 5 \text{ Hz}$$

Planke Breite	w	0,500 mm
Eigengewicht	q	0,28 N/mm
Schwerkraftsbeschleunigung	g	9,81 m/s <sup>2</sup>
Lichte Weite	L	3800 mm
Biegefestigkeit	EI	3,85E+10 Nmm <sup>2</sup>
Konversionsfaktor Komfort	h <sub>c</sub>	0,81 -
Factor für die Unterstützung	C	9,87 -
	f <sub>optr.</sub>	5,09 Hz
	f <sub>toel.</sub>	5,00 Hz
	u.c.	0,98 <b>OK</b>

Die Spannweite der Planken bei der 5Hz-Grenze beträgt 3800 mm und ist damit höher als die maximalen Spannweiten in den anderen Belastungssituationen.

Die Komfortanforderung ist nicht normativ.

## 8 Schlussfolgerung

Das Brückenbelag krafton® 500.40 mm entspricht dem Eurocode NL, wenn eine lichte Weiten und eine Durchbiegungsanforderung gewählt werden, unter die gezeigten Grafiken fallen.

Bei Fragen in Bezug auf spezielle Anwendungen, wenden Sie sich bitte an:

**krafton®**

Markweg Zuid 34  
4794 SN Heijningen

T +31 (0) 168227510

E / [info@krafton.nl](mailto:info@krafton.nl)

## Anhang A: Eigenschaften Brückenbelag

### A.1 Zusammenfassung

In diesem Anhang werden die mechanische Eigenschaften der glasfaserverstärkten Brückenbelag krafton® 500.40 dokumentiert. Die mechanische Eigenschaften des Brückenbelags wurden mittels Prüfungen bestimmt. Die Eigenschaften wurden in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften

		Einheit	krafton® 500.40
Abmessungen	(b x h)	mm	500 x 40
Oberfläche	(A)	mm <sup>2</sup>	5571
Scherfläche	(A <sub>s</sub> )	mm <sup>2</sup>	1836
Trägheitsmoment	(I)	mm <sup>4</sup>	1238296
Widerstandsmoment	(W)	mm <sup>3</sup>	51119
Gewicht	(G)	kg/m <sup>2</sup>	20
Elastizitätsmodul	(E <sub>gem</sub> )	N/mm <sup>2</sup>	31092
Biegespannung	(σ <sub>b,kar</sub> )	N/mm <sup>2</sup>	272
Scherspannung		N/mm <sup>2</sup>	54,3
Profileigenschaften			
Biegesteifigkeit	(EI)	Nmm <sup>2</sup> /mm	7,70E+07
Biegefestigkeit	(M <sub>b</sub> )	Nmm/mm	27844
Scherfestigkeit	(D)	N/mm	199
Charakteristische Querkraft t bei Einzellast auf 100x100	(D <sub>kar,100</sub> )	N	35531
Charakteristische Querkraft bei Einzellast auf 200x200	(D <sub>kar,200</sub> )	N	90323

## **A.2 Versuchen**

### **A.2.1 Beschreibungen**

Die folgenden Versuche wurden durchgeführt:

- Bestimmung der Biegesteifigkeit und der Biegefestigkeit nach EN ISO 14125
- Bestimmung der Querkraftversagen mittels eines 3-Punkte-Biegeprüfungen mit der Streckenlast direkt neben dem Lager
- Bestimmung der Querkraftversagen infolge einer Einzellast auf 100 mm x 100 mm gemäß Aufstandsfläche ein Konzentrierte Last gemäß EN1991-2 NB \_ Verkehrslasten auf Oberfläche Brücken.
- Bestimmung der Querkraftversagen infolge einer Einzellast auf 200 mm x 200 mm gemäß Aufstandsfläche eines gelegentlichen Fahrzeugs gemäß EN1991-2 NB \_ Verkehrslasten auf Oberfläche Brücken.

## A.3 Testergebnisse

Gemäß EN1990:2002 Anlage D gilt, dass sich der charakteristische Festigkeitswert aus dem durchschnittlichen Festigkeitswert minus  $k_n$  mal der Standardabweichung ergibt.

Die Werte für  $k_n$  werden gemäß Tabelle D1 in EN1990:2002 gehandhabt.

Für den charakteristischen Steifigkeitswert gilt, dass dieser dem gemessenen Mittelwert der Steifigkeit entspricht.

Tabelle 4: EN1990:2002 Anhang D Tabelle D1

**Tabel D1 — Waarden van  $k_n$  voor de 5 % karakteristieke waarde**

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ bekend	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_x$ niet bekend	–	–	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

### A.3.1 Biegemodul

Die Mechanische Eigenschaften wurden von SKZ getestet, die Tests wurden am 10-07-2015 zu 10-04-2017 durchgeführt.

Das Biegemodul wird durch die Neigung bestimmt, die durch die Kraft-Verformungskurve festgelegt wird. Die Neigung wird bestimmt, indem zwei Punkte der Grafik mit einer Linie verbunden werden. Die Punkte wurden im linearen Bereich der Kurve ausgewählt. Der E-Modul wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$\Delta y = \frac{\Delta F \times L^3}{48 \times E_b I} \quad \rightarrow \quad E_b = \frac{\Delta F \times L^3}{48 \times I \times \Delta y}$$

Wobei:

$\Delta y$	=	Verformung [mm]
$\Delta F$	=	Kraft [N]
L	=	Länge [mm]
$E_b$	=	Biegemodul [N/mm <sup>2</sup> ]
I	=	Trägheitsmoment [mm <sup>4</sup> ]

Tabelle 5: Testergebnisse Biegemodul

Prüfungsnr.	L [mm]	$\Delta F$ [N]	$\Delta y$ [mm]	$E_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1200	58200	52,8	32046
2	1200	60600	56,0	31460
3	1200	58300	54,6	31042
4	1200	54800	53,7	29668
5	1200	54400	51,5	30709
6	1200	60800	55,9	31621
7				
Mittelwert [ $E_{b, \text{gem}}$ ]				31091

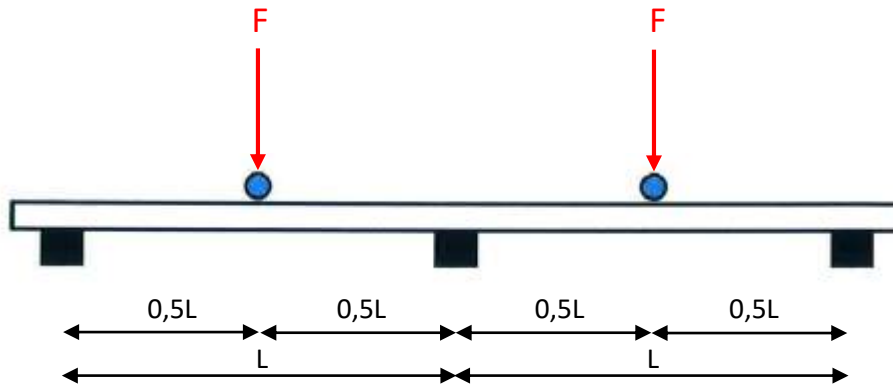


### A.3.3 Biegefestigkeit 3 Stützpunkten

Die Biegefestigkeit wurde auf der Grundlage des am 10-07-2015 zu 10-04-2017 von SKZ durchgeführten Test berechnet.

Die Testwerte ( $F_{Bruch}$ ) werden benutzt, um die Biegefestigkeit ( $\sigma_b$ ) mithilfe der folgenden Formel zu bestimmen:

$$\sigma_{b,mv} = \frac{6 \times F_{bruch} \times L}{32 \times W}$$



Figur 10: Test 3 Stützpunkten

Wobei: L = Länge siehe Tabelle 7  
W = Widerstandsmoment mm<sup>3</sup>

Tabelle 7: Testergebnisse Biegefestigkeit 3 Stützpunkten

Prüfungsnr.	L [mm]	$F_{bruch}$ [N]	$\sigma_{b,min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1400	55525	285
2	1400	63735	327
3	1400	63740	327
4	1400	71370	366
5	1400	67515	347
6	1400	68550	352
7			
Mittelwert [ $\sigma_{b,gem}$ ]			334
Standardabweichung [s]			28
Charakteristischer Wert [ $\sigma_{b,kar}$ ]			272

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,18 x der Standardabweichung bestimmt.

### A.3.4 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit wurde auf der Grundlage des am 10-07-2015 zu 10-04-2017 von SKZ durchgeführten Test berechnet.

Die Testwerte ( $F_{\text{Bruch}}$ ) werden benutzt, um die Scherfestigkeit ( $\tau$ ) mithilfe der folgenden Formel zu bestimmen:

$$\tau = \frac{F_{\text{bruch}} \times (L - a)}{L \times A_s}$$

Das Prüfstück hat eine Länge von 3080 mm und wurde bei einer Lichte weite von  $L=1200\text{mm}$  getestet. Der Druckstempel bildet eine Linienlast auf dem Produkt und hat einen Durchmesser von 100mm. Der Abstand zwischen dem Stempel und dem Stützpunkt betrug  $a = 65\text{mm}$ .

Tabelle 8: Testergebnisse Scherfestigkeit

Prüfungsnr.	$F_{\text{bruch}}$ [N]	$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	108360	55,8
2	108760	56,0
3	107550	55,4
4	112140	57,8
5	112280	57,8
6	109340	56,3
Mittelwert [ $\tau_{\text{gem}}$ ]		56,5
Standardabweichung [s]		1,0
Charakteristischer Wert [ $\tau_{\text{kar}}$ ]		54,3

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,18 x der Standardabweichung bestimmt.

### A.3.5 Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 200x200 mm

Die Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 200x200 mm wurde auf der Grundlage des am 21-12-2018 von krafton® durchgeführten Test berechnet.

Die Testwerte ( $F_{bruch}$ ) werden benutzt, um die Scherfestigkeit ( $D_{200}$ ) mithilfe der folgenden Formel zu bestimmen:

$$D_{200} = \frac{F_{bruch} \times (L - L_0)}{L}$$

Dies gilt nur für eine Last auf 200x200 mm. Der Wert  $L_0$  entspricht der Hälfte der Länge der Einzellastfläche, zuzüglich des Abstands zwischen der Auflage und dem Rand der Einzellast.

Tabella 9: Testergebnisse Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 200x200 mm

Prüfungsnr.	L [mm]	$L_0$ [mm]	$F_{bruch}$ [N]	$D_{200}$ [N]
1	1000	100	102690	92421
2	1000	100	107690	96921
3	1000	100	104070	93663
4	1000	100	107670	96903
5	1000	100	105770	95193
6	1000	100	110280	99252
Mittelwert [ $D_{gem,200}$ ]				95726
Standardabweichung [s]				2478
Charakteristischer Wert [ $D_{kar,200}$ ]				90323

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,18 x der Standardabweichung bestimmt.

### A.3.6 Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 100x100 mm

Die Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 200x200 mm wurde auf der Grundlage des am 11-08-2011 von TÜV durchgeführten Test berechnet.

Die Testwerte ( $F_{bruch}$ ) werden benutzt, um die Scherfestigkeit ( $D_{100}$ ) mithilfe der folgenden Formel zu bestimmen:

$$D_{100} = \frac{F_{bruch} \times (L - L_0)}{L}$$

Dies gilt nur für eine Last auf 100x100 mm. Der Wert  $L_0$  entspricht der Hälfte der Länge der Einzellastfläche, zuzüglich des Abstands zwischen der Auflage und dem Rand der Einzellast.

Tabella 10: Testergebnisse Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 100x100 mm

Prüfungsnr.	L [mm]	L <sub>0</sub> [mm]	F <sub>bruch</sub> [N]	D <sub>100</sub> [N]
1	1300	105	41100	37780
2	1300	105	41900	38516
3	1300	105	40700	37413
4	1300	105	39400	36218
5	1300	105	40700	37413
6				
Mittelwert [D <sub>gem,200</sub> ]				37468
Standardabweichung [s]				831
Charakteristischer Wert [D <sub>kar,200</sub> ]				35531

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,33 x der Standardabweichung bestimmt.