

krafton® Brückenbelag 400.80

Kontrolle gemäß Eurocode NL

Auftraggeber	:	krafton®
Aufsteller	:	Ing. M. Snoek
Autorisiert	:	Ing. D.A. Mager
Bericht-Nr.	:	R_10696-1
Version	:	3
Datum	:	24-11-2023

Dieser Report wurde aus dem Niederländischen übersetzt

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	13
3.5	Lastenkombinationen	15
4	Symbole	18
5	Nachweis der zulässigen Spannweite an 2 Stützpunkten	19
5.1	Eigengewicht	19
5.2	Verteilte Last	20
5.3	Einzellast	22
5.4	Dienstfahrzeug 50kN	24
5.5	Schnee	33
5.6	Gelegentliches Fahrzeug	35
5.7	Zusammenfassung	42
6	Nachweis der zulässigen Stützweite an 3 oder mehr Stützpunkten	44
6.1	Eigengewicht	44
6.2	Verteilte Last	45
6.3	Einzellast	47
6.4	Dienstfahrzeug 50kN	50
6.5	Schnee	55
6.6	Gelegentliches Fahrzeug	56
6.7	Zusammenfassung	61
7	Komfort	63
8	Schlussfolgerung	64
	Anhang A: Eigenschaften Brückenbelag	65
A.1	Zusammenfassung	65
A.2	Versuchen	66
A.2.1	Beschreibungen	66
A.3	Testergebnisse	67
A.3.1	Biegemodul	68
A.3.2	Biegefestigkeit 2 Stützpunkten	69
A.3.3	Biegefestigkeit 3 Stützpunkten	70
A.3.4	Scherfestigkeit	71
A.3.5	Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 200x200 mm	72
A.3.6	Scherfestigkeit für eine Einzellast auf 100x100 mm	73

Versionsverwaltung

Version	Kommentare	Datum
1	Erste Fassung	17-03-2023
2	Hinzufügen von alternativen Dienstfahrzeugen	29-08-2023
3	Korrektur der Tabelle in Kapitel 1	24-11-2023

1 Zusammenfassung

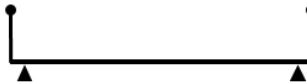
Die mechanische Eigenschaften wurden verwendet, um die maximale Spannweite der Brückenbelag für die Lasten aus EN1991-2 für die Niederlanden und für verschiedene Durchbiegungsanforderungen zu bestimmen. Es wurden die folgenden Situationen ermittelt:

Mehrere Einzelfelder:



Ein Einzelfeld:

(Belag = Volle Brückenbreite)



(Mehrere) Feldspannen¹:



Die Empfehlungen für die maximale Spannweite des Regals 400.80 lauten:

	Mehrere Einzelfelder	Ein Einzelfeld	Mehrere Feldspannen
Ohne Fahrzeuge	3420 mm	3420 mm	4470 mm
Nur Dienstfahrzeug 50kN	2000 mm	2330 mm	2330 mm
Nur Dienstfahrzeug 100kN	1410 mm	2070 mm	1780 mm
Nur Dienstfahrzeug 160kN	1120 mm	1960 mm	1670 mm
Nur Dienstfahrzeug 200kN	1000 mm	1920 mm	1240 mm
Nur gelegentliches Fahrzeug	2170 mm	2170 mm	2170 mm
Dienstfz. (50kN) und gelegentl. Fahrzeug	2000 mm	2170 mm	2170 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® 400.80 die spezifizierten Anforderungen an eine Brückenbelag gemäß Bauordnung für die Verwendung als Fahrrad-Fußgänger-Brückenfahrbahn in der Folgeklasse CC2.

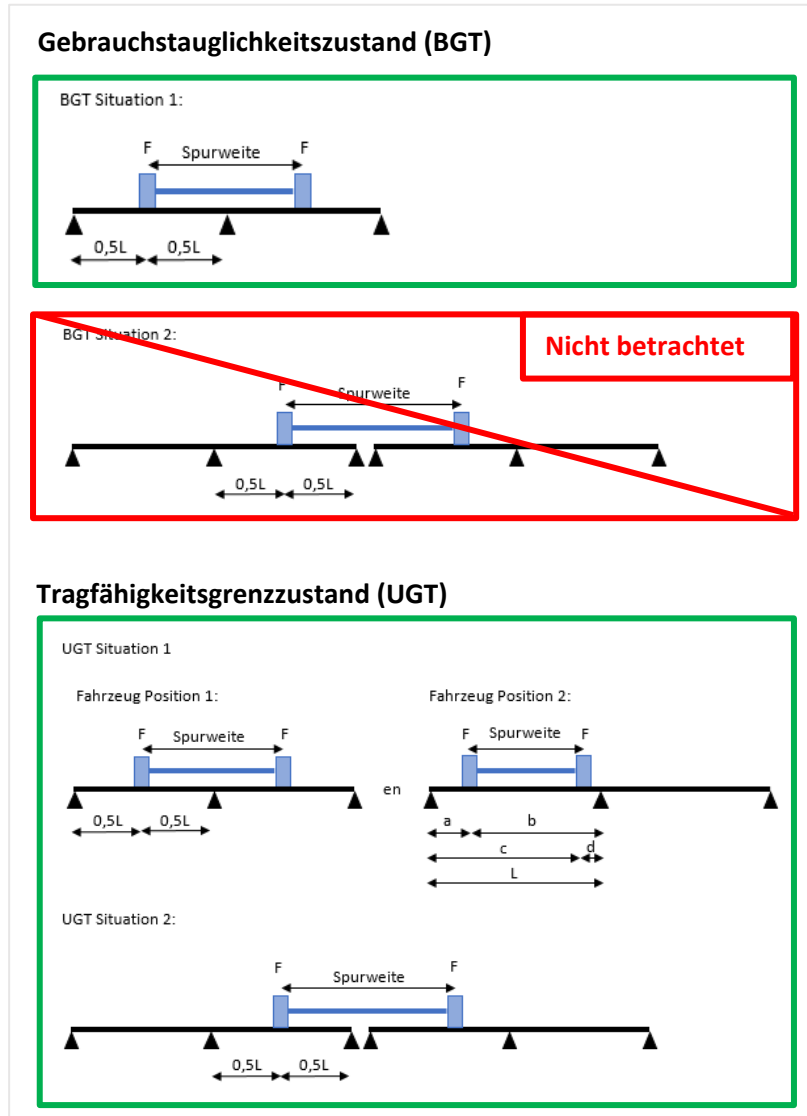
Der Nachweis für 3 oder mehr Auflagerpunkte setzt Auflagerpunkte in gleichen Abständen zueinander voraus.

Die maximal zulässige Auskragung für jede Situation beträgt 350 mm.

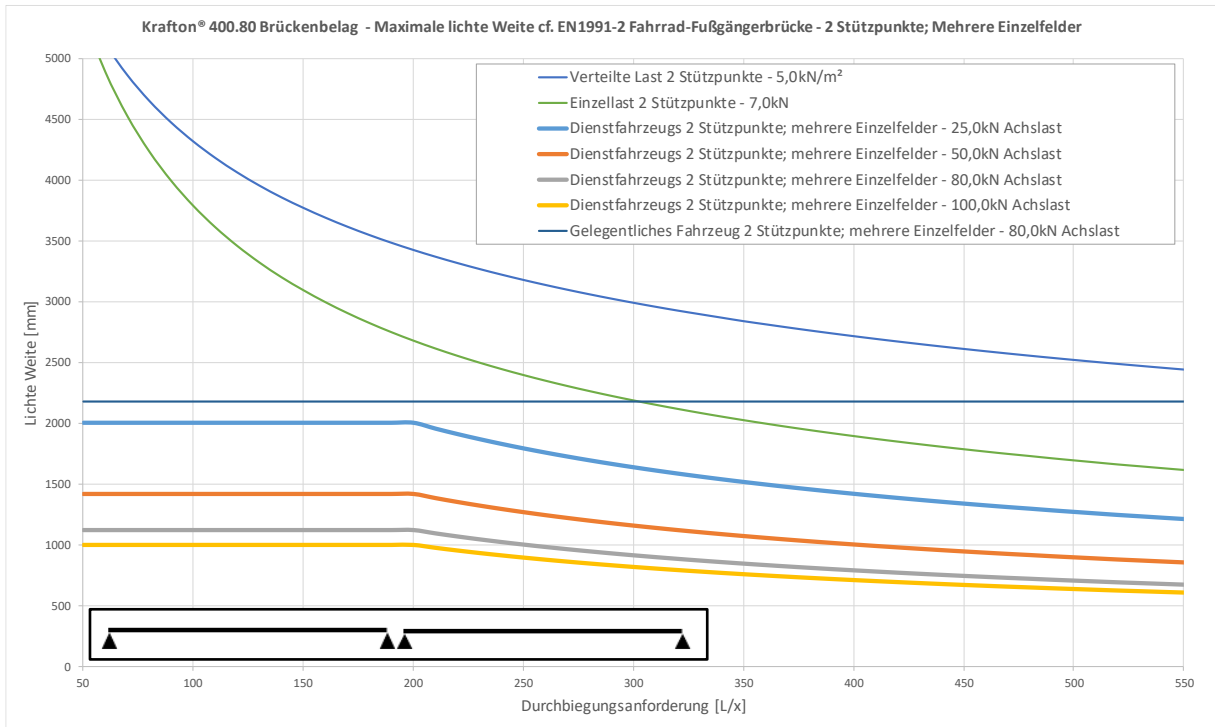
¹ Ein Feldspannen mit mehreren Stützpunkten ist eine Situation, in der die Brückendeckplanke ohne Unterbrechung über mindestens 3 Stützpunkte verläuft. An den Auflagerpunkten wird eine Verbindung verwendet, die die Planke in vertikaler Richtung sowohl nach oben als auch nach unten ausreichend fixiert.

Anmerkung:

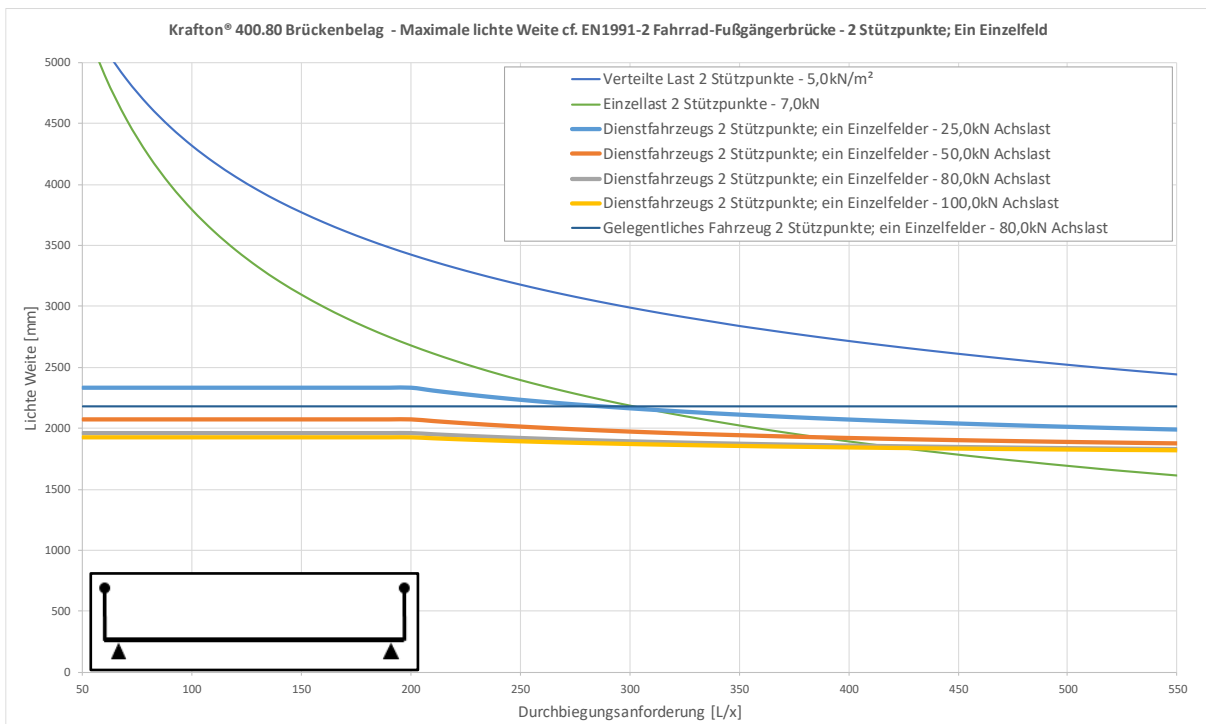
- Für das Dienstfahrzeug wurde eine Maximalverformung von $L/200$ festgelegt.
- Berücksichtigung der Durchbiegung "Dienstfahrzeug 3 oder mehr Stützen" gemäß Figur 1. Nicht berücksichtigt gemäß Situation 2 - für Situation 2 sollten zusätzliche Prüfungen durchgeführt werden.



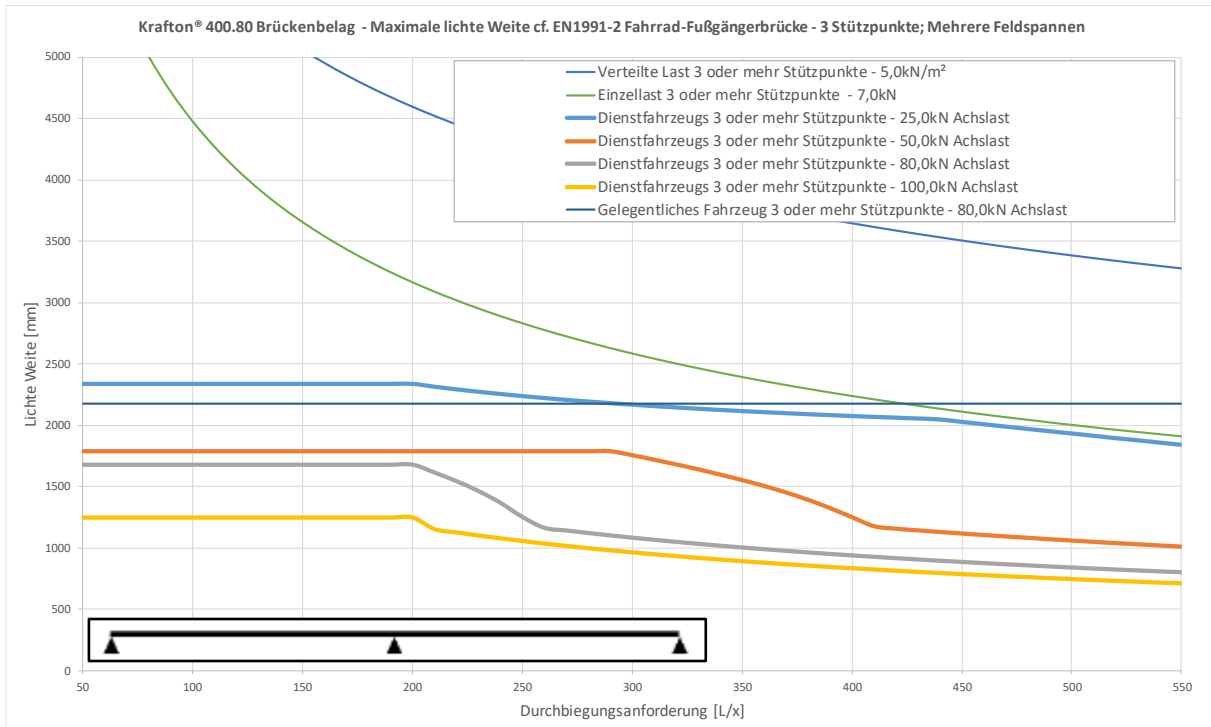
Figur 1: Berücksichtigte Situationen Dienst- und gelegentliches Fahrzeug mehrere Feldspannen in BGT und UGT



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

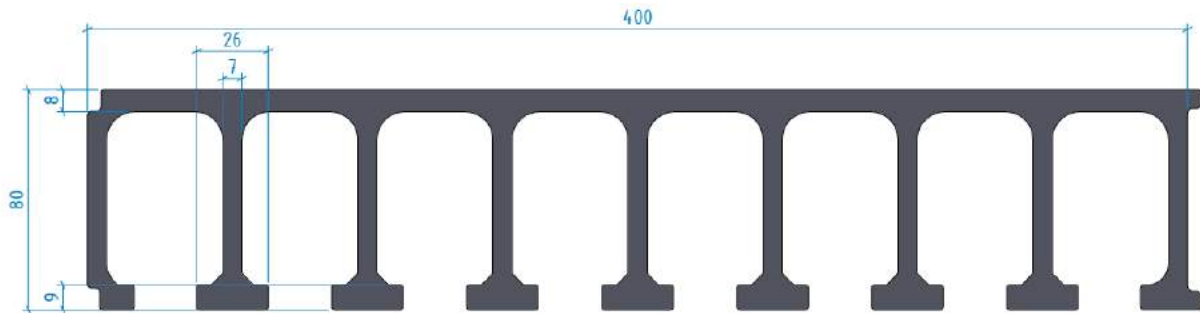
T +31 (0) 168227510

E / info@krafton.de

2 Produktbeschreibung

Glasfaserverstärktes Polyester-Brückenbelag im Pultrusionsverfahren hergestellt.

Im Figur 5 wird der Querschnitt der Planke dargestellt.



Figur 5: Geometrie Planke 400.80

2.1 Geometrische Eigenschaften

Breite	b	400 mm
Höhe	h	80 mm
Anzahl der Stege	n	9 -
Abstand zwischen den Stege	d	42.125 mm
Oberfläche	A	9586 mm ²
Scherfläche	A _s	4455 mm ²
Trägheitsmoment	I	8048641 mm ⁴
Widerstandsmoment	W	176245 mm ³
Plankengewicht	G	47.9 kg/m ²

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® 400.80
Elastizitätsmodul	($E_{b, kar}$)	N/mm ²	32154
Biegespannung	($\sigma_{b, kar}$)	N/mm ²	293
Scherspannung	(τ_{char})	N/mm ²	50,5
Querkraft auf 100x100	($D_{kar, 100}$)	N	81138
Querkraft auf 200x200	($D_{kar, 200}$)	N	120646

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	47,9 kg/m ²	
Verschleißschicht	13,0 kg/m ²	
Dauerhafte Last insgesamt	60,9 kg/m ²	= 0,609 kN/m ² [G]

3.3.2 Veränderliche last (Q)

3.3.2.1 Mobile last

Verteilte Last	5,0 kN/m ²	[Qf]
Einzellast	7,0 kN	[Qf;w]
Einzellastmaß	100 x 100 mm ²	
Dienstfahrzeug 50kN		
Achse 1	25,0 kN	[Qd]
Aufstandsfläche	250 x 250 mm ²	
Achse 2	25,0 kN	
Aufstandsfläche	250 x 250 mm ²	
Spurweite	1750 mm	
Reifenbasis	3000 mm	
Dienstfahrzeug 100kN		
Achse 1	50,0 kN	[Qd]
Achse 2	50,0 kN	
Dienstfahrzeug 160kN		
Achse 1	80,0 kN	[Qd]
Achse 2	80,0 kN	
Dienstfahrzeug 200kN		
Achse 1	100,0 kN	[Qd]
Achse 2	100,0 kN	

Aufstandsfläche, Spurweite und Reifenbasis des Dienstfahrzeugs 100kN, 160kN und 200kN entsprechen dem Dienstfahrzeug 50kN.

3.3.2.2 Schnee

Maximal mögliche Schneelast	0,7 kN/m ²	
Maximaler Formfaktor (geschloss. Handlauf)	2 -	
Maximale Schneelast	1,4 kN/m ²	[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
η_c	Konversionsfaktor
γ_M	Materialfaktor

Da η_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 Laminat, die durch Pultrusionsverfahren hergestellt worden sind.

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

γ_{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 η_c , setzt sich wie folgt zusammen:

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

η_{ct}	=	1,0	Temperaturauswirkungen (BGT)
η_{ct}	=	0,9	Temperaturauswirkungen (UGT)
η_{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)
η_{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	β	G			Verkeer (met $\psi = 1$)	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$)
		$\gamma_{G,sup}$		$\gamma_{G,int}$		
		6.10a	6.10b (incl. ξ)	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:	η_c	Konversionsfaktor Festigkeit gemäß CUR 96; 2019
	G	Dauerhafte Last (Eigengewicht)
	Q_i	Veränderliche Last i

BGT 1	1/0,54 x G
BGT 2	1/0,81 x Qf
BGT 3	1/0,81 x Qf;w
BGT 4	1/0,81 x Qd

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
	η_c	Konversionsfaktor Festigkeit gemäß CUR 96; 2019
	γ_Q	Lastfaktor variable Last gemäß N1990/NB für CC2
	G	Dauerhafte Last (Eigengewicht)
	Q_i	Veränderliche Last i

UGT 1	1,30 x 1/0,54 x G
UGT 2	1,20 x 1/0,54 x G + 1,35 x 1/0,81 x Qf
UGT 3	1,20 x 1/0,54 x G + 1,35 x 1/0,81 x Qf;w
UGT 4	1,20 x 1/0,54 x G + 1,35 x 1/0,81 x Qd
UGT 5	1,20 x 1/0,54 x G + 1,50 x 1/0,65 x Qs
UGT 6	1,20 x 1/0,54 x G + 1,35 x 1/0,81 x Aov

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 ²]
I	= Trägheitsmoment [mm ⁴]
σ_b	= auftretende Biegespannung [N/mm ²]
W	= Widerstandsmoment [mm ³]
$\sigma_{b,\text{kar}}$	= charakteristische Biegefestigkeit [N/mm ²]
$\sigma_{\text{optr.}}$	= auftretende Biegespannung [N/mm ²]
$\sigma_{\text{toel.}}$	= zulässige Biegespannung [N/mm ²]
γ_m	= Materialabzugfaktor [-]
A_s	= Scherfläche [mm ²]
b_o	= Breite Einzellast Fläche [mm]
L_o	= Länge Einzellast Fläche [mm]
L_s	= Spurweite [mm]
D	= auftretende Querkraft [N]
τ_{kar}	= charakteristische Scherfestigkeit [N/mm ²]
$\tau_{\text{optr.}}$	= auftretende Scherspannung [N/mm ²]
$\tau_{\text{toel.}}$	= zulässige Scherspannung [N/mm ²]
$D_{\text{kar},i}$	= 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.

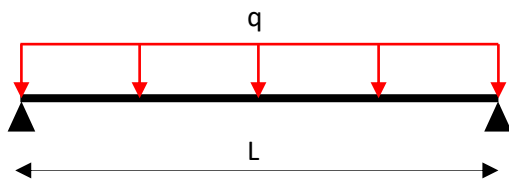
5.2 Verteilte Last

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	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Verteilte Last	5,0 kN/m ²
G	0,244 N/mm
Q _f	2,0 N/mm
Maximale Lichte Weite bei L/200	3420 mm

q _{BGT2}	2,47 N/mm
q _{UGT2}	3,87 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	2,47 N/mm
L	3420 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
y _{optr.}	17,00 mm
y _{toel.}	17,10 mm
u.c.	0,99 OK

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	3,87 N/mm
L	3420 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	32 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,15 OK

Nachweis der Querkraft:

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

q	3,87 N/mm
L	3420 mm
A_s	4455 mm ²
$\tau_{kar.}$	50,5 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\tau_{optr.}$	1,5 N/mm ²
$\tau_{toel.}$	36,6 N/mm ²
u.c.	0,04 OK

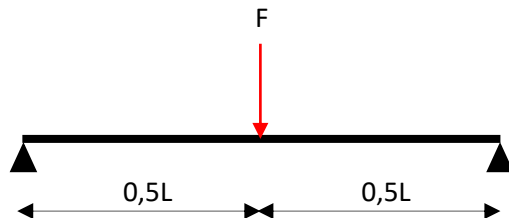
5.3 Einzellast

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	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,244 N/mm
Maximale Lichte Weite bei L/100	3790 mm

Q_{BGT3}	8642 N
q_{UGT3}	0,541 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	3790 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
$y_{optr.}$	37,87 mm
$y_{toel.}$	37,90 mm
u.c.	1,00 OK

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	0,541 N/mm
L	3790 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	68 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,32 OK

Nachweis der Querkraft:

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

F	11667 N
$D_{kar, 100}$	81138 N
γ_m	1,38 -
$D_{optr.}$	11513 N
$D_{toel.}$	58795 N
u.c.	0,20 OK

5.4 Dienstfahrzeug 50kN

Die Berechnungen für die Dienstfahrzeug 100kN, 160kN und 200kN wurden nach der gleichen Berechnungsmethode durchgeführt. Die Ergebnisse finden Sie in Kapitel 1-Zusammenfassung.

$$\text{BGT 4} \quad 1/0,81 \times Q_d$$

$$\text{UGT 4} \quad 1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_d$$

Planke Breite	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,244 N/mm
Spurweite	1750 mm
Maximale Lichte Weite Situation 1 L/200	2000 mm
Maximale Lichte Weite Situation 2 L/200	2330 mm

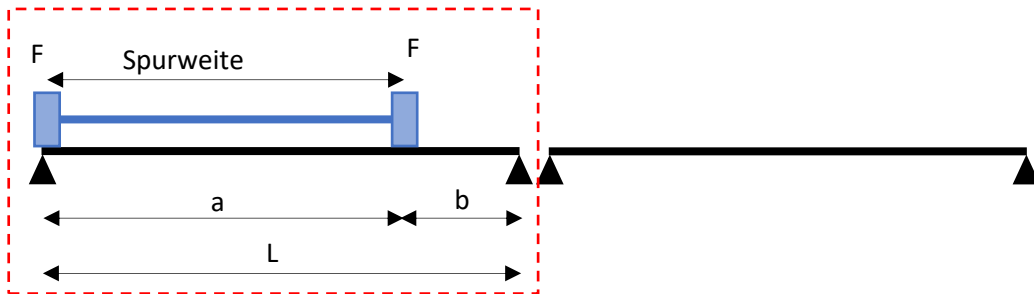
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,541 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

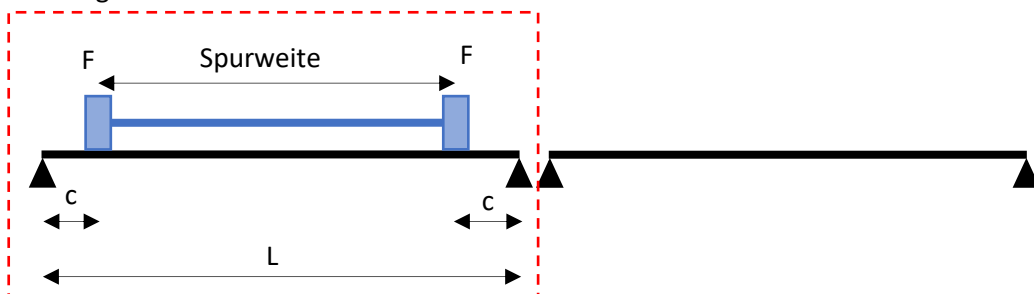
Situation 1: Mehrere Einzelfelder

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.

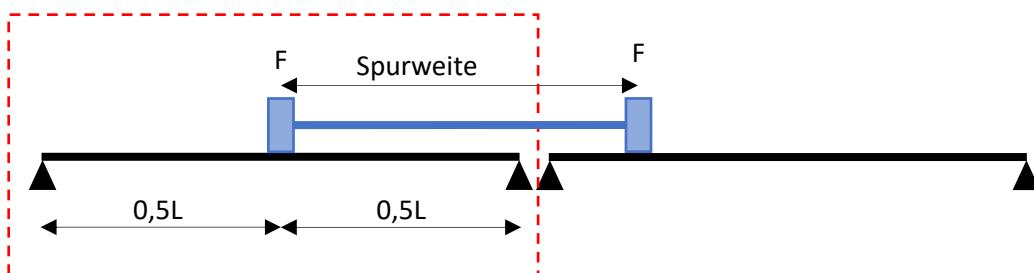
Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2:



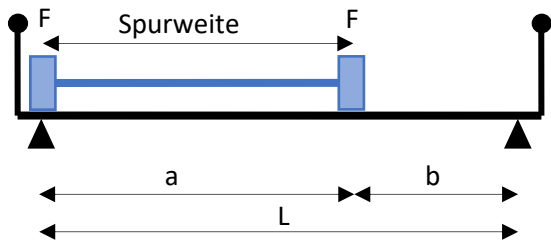
Fahrzeug Position 3:



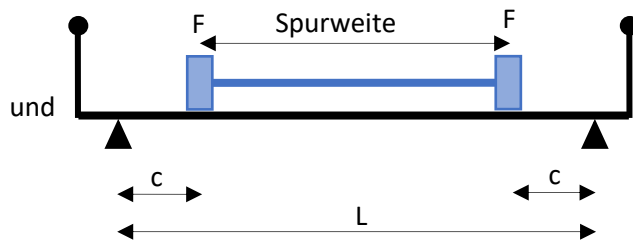
Situation 2: Einen Träger, frei aufgelegt auf zwei Stützpunkten $L > L_s$

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:

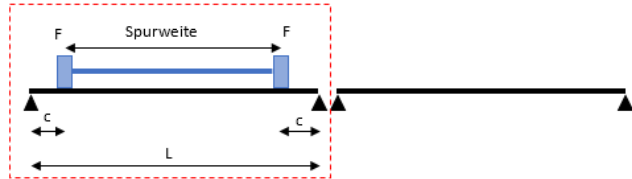


5.4.1 BGT 4 Situation 1

Nachweis der Biegung:

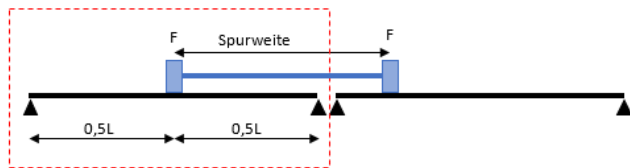
Die maximale Durchbiegung für die Position 2 des Dienstfahrzeugs beträgt:

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



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:

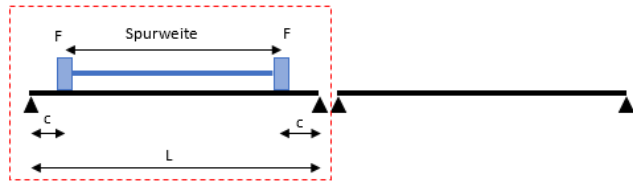
F	15432 N
L	2000 mm
c	125 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
$y_{optr;pos2}$	3,70744942 mm
$y_{optr;pos3}$	9,94 mm
$y_{optr;max}$	9,94 mm
$y_{toel.}$	10,00 mm
u.c.	0,99 OK

5.4.2 UGT 4 Situation 1

Nachweis der Biegespannung:

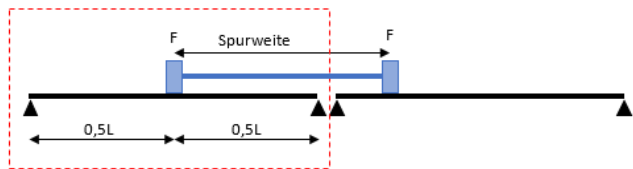
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2 beträgt:

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



Die 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	0,541 N/mm
L	2000 mm
c	125 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	16,3115739 N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	61 N/mm ²
$\sigma_{optr;max}$	61 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,29 OK

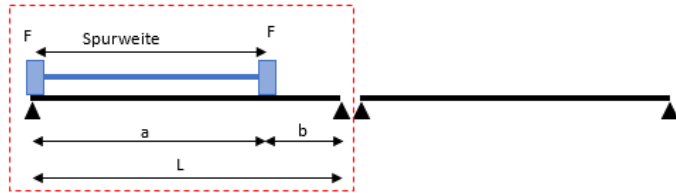
Nachweis der Querkraft:

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

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

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	2000 mm
L ₀	250 mm
b	250 mm
D _{kar;250}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	20833 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	0,24 OK



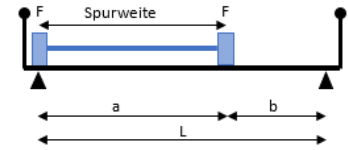
5.4.3 BGT 4 Situation 2

Nachweis der Biegung:

Die maximale Durchbiegung für die Position 1 des Dienstfahrzeugs beträgt:

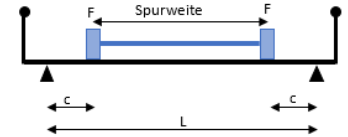
$$y_{pos1} = \frac{F \times a \times b}{27 \times EI \times L} \times (a + 2b) \times \sqrt{3a \times (a + 2b)} \leq \frac{L}{200}$$

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:

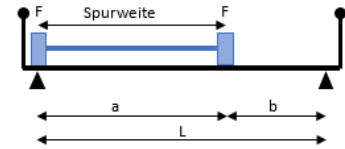
F	15432 N
a	1750 mm
b	580 mm
c	290 mm
L	2330 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
$y_{optr;pos1}$	10,94 mm
$y_{optr;pos2}$	11,49 mm
$y_{optr.max}$	11,49 mm
$y_{toel.}$	11,65 mm
u.c.	0,99 OK

5.4.4 UGT 4 Situation 2

Nachweis der Biegespannung:

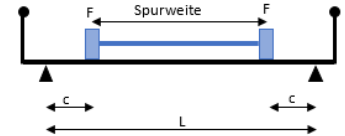
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 1 beträgt:

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



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2 beträgt:

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



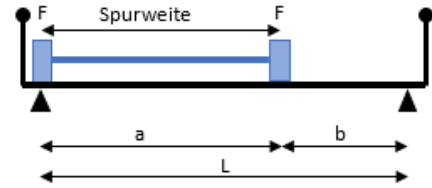
Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 2:

F	20833 N
q	0,541 N/mm
a	1750 mm
b	580 mm
c	290 mm
L	2330 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	54 N/mm ²
$\sigma_{optr.pos2}$	36 N/mm ²
$\sigma_{optr.max}$	54 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,25 OK

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	2330 mm
L ₀	250 mm
b	580 mm
D _{kar,250}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	24011 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	0,27 OK

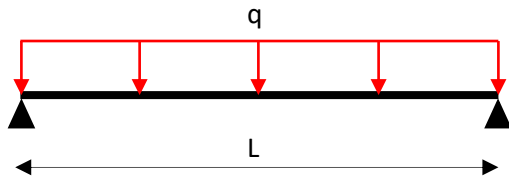
5.5 Schnee

Die maximal zulässige Stützweite ist auf 5000 mm begrenzt.

UGT 5 **1,20 x 1/0,54 x G + 1,50 x 1/0,65 x Q_s**

Planke Breite	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Verteilte Last	1,4 kN/m ²
G	0,244 N/mm
Q _s	0,6 N/mm
Maximale Lichte Weite	5000 mm
	q _{UGT5} 1,83 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	1,83 N/mm
L	5000 mm
W	176245 mm ³
σ _{kar.}	293 N/mm ²
γ _m	1,38 -
σ _{optr.}	33 N/mm ²
σ _{toel.}	212 N/mm ²
u.c.	0,15 OK

Nachweis der Querkraft:

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

q	1,83 N/mm
L	5000 mm
A _s	4455 mm ²
τ _{kar.}	50,5 N/mm ²
γ _m	1,38 -
τ _{optr.}	0,5 N/mm ²
τ _{toel.}	36,6 N/mm ²
u.c.	0,01 OK

5.6 Gelegentliches Fahrzeug

UGT 6 **1,20 x 1/0,54 x G + 1,35 x 1/0,81 x Aov**

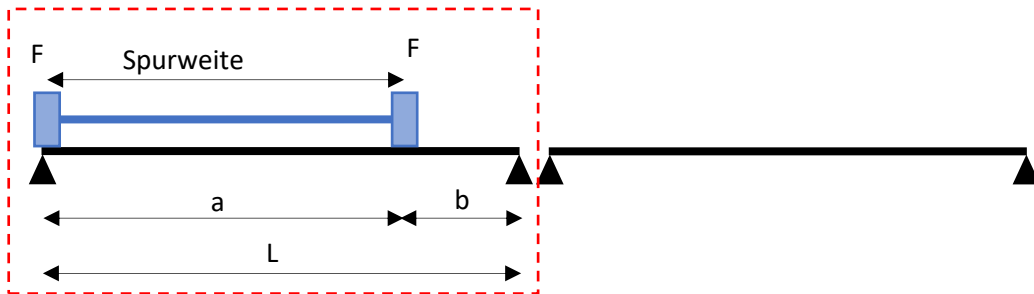
Planke Breite	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,244 N/mm
Spurweite	1300 mm
Maximale Lichte Weite Situation 1	2170 mm
Maximale Lichte Weite Situation 2	2170 mm
	q_{UGT6} 0,541 N/mm
	Q_{UGT6} 66667 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

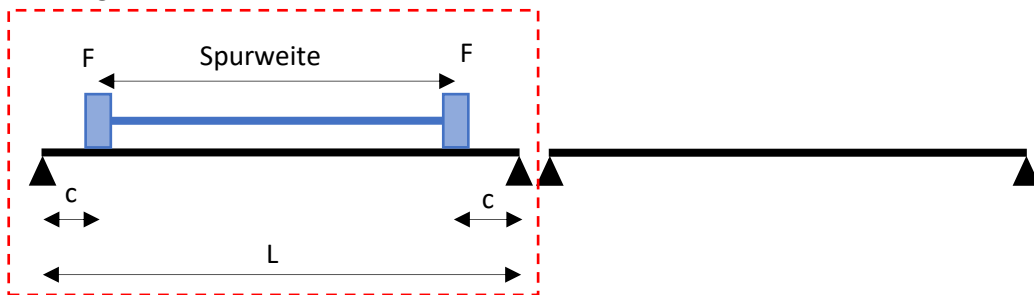
Situation 1: Mehrere Einzelfelder

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.

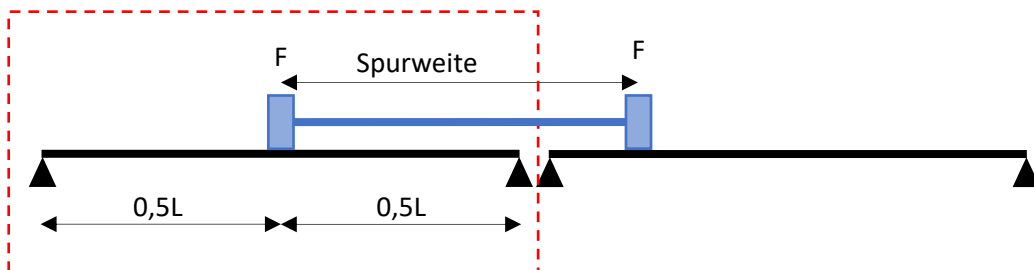
Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2:



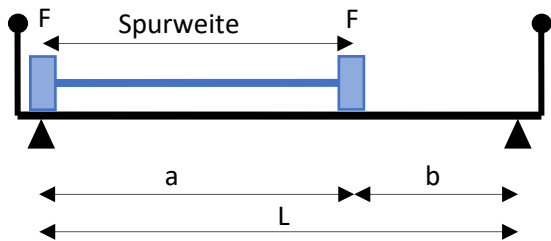
Fahrzeug Position 3:



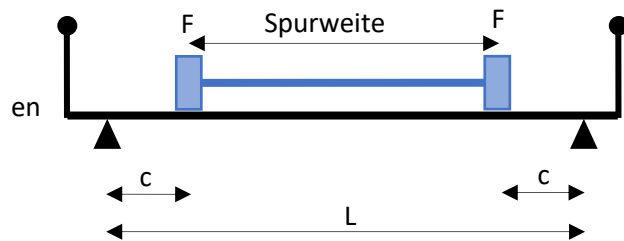
Situation 2: Einen Träger, frei aufgelegt auf zwei Stützpunkten $L > L_s$

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:

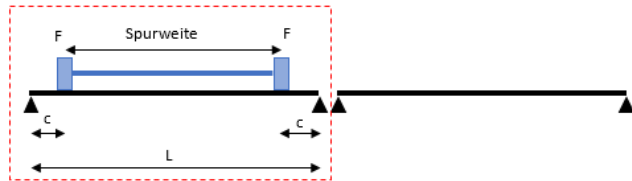


5.6.1 UGT 6 Situation 1

Nachweis der Biegespannung:

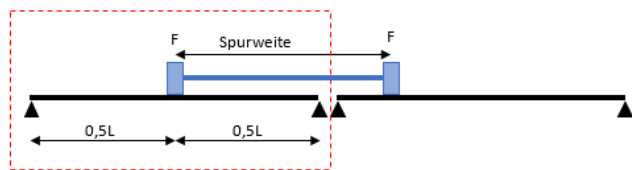
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 2 beträgt:

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



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 3 beträgt:

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



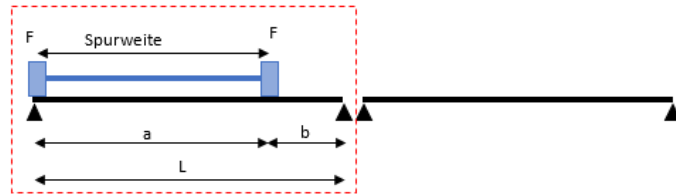
Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 1:

F	66667 N
q	0,541 N/mm
L	2170 mm
c	435 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	166 N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	207 N/mm ²
$\sigma_{optr;max}$	207 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,98 OK

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	2170 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	87250 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	1,00 OK

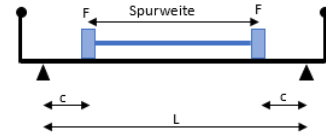


5.6.2 UGT 6 Situation 2

Nachweis der Biegespannung:

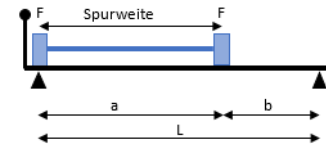
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 1 beträgt:

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



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 2 beträgt:

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

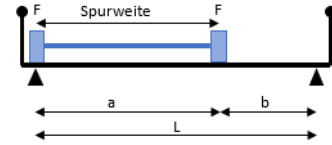


Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 2:

F	66667 N
q	0,541 N/mm
a	1300 mm
b	870 mm
c	435 mm
L	2170 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	199 N/mm ²
$\sigma_{optr.pos2}$	166 N/mm ²
$\sigma_{optr.max}$	199 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,94 OK

Nachweis der Querkraft:

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

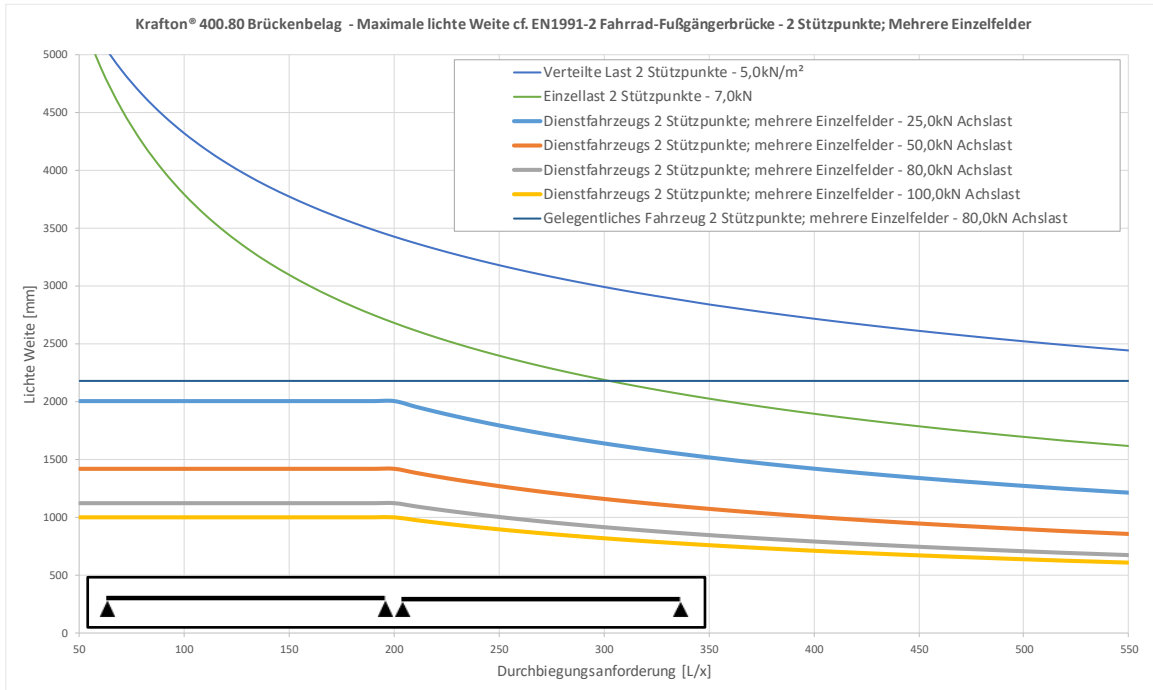


F	66667 N
L	2170 mm
L ₀	200 mm
b	870 mm
D _{kar,200}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	87250 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	1,00 OK

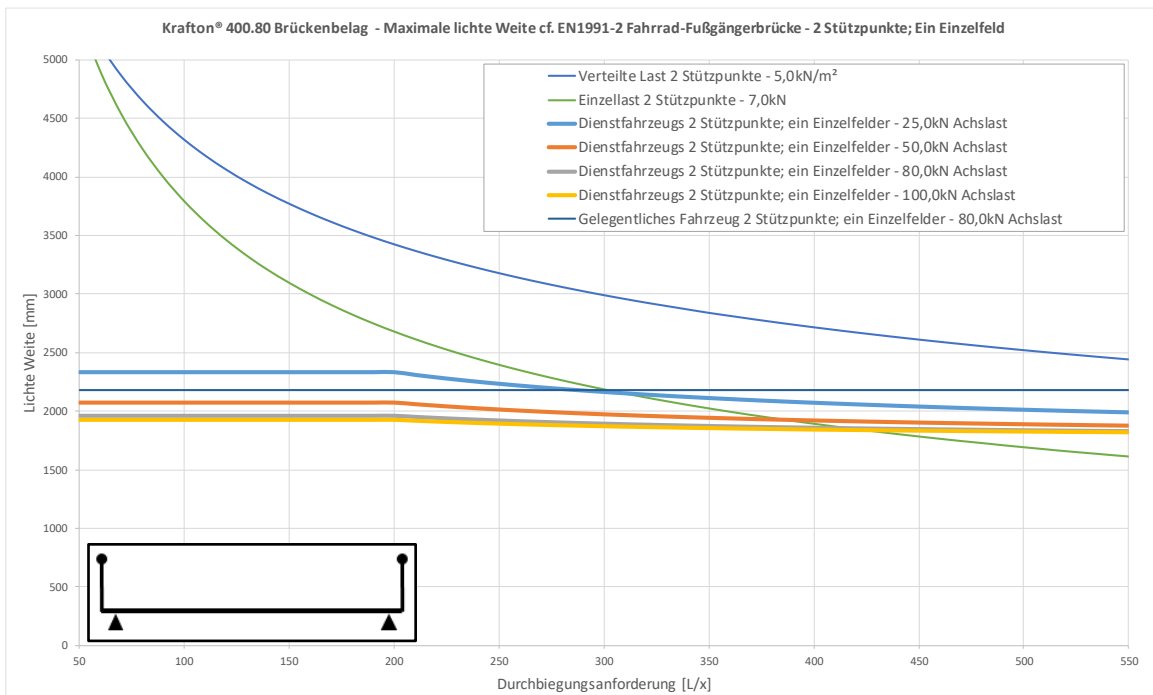
5.7 Zusammenfassung

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/m²
- Einzellast 7,0 kN
- Dienstfahrzeug 5 ton, 10 ton, 16 ton, 20 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.

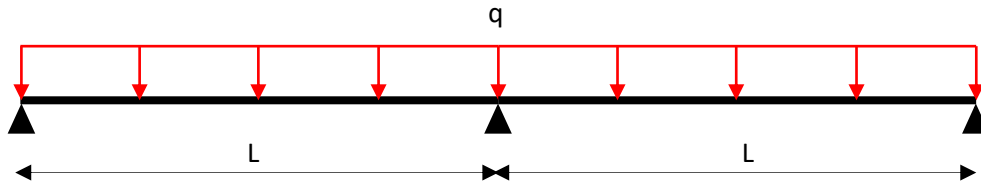
6.2 Verteilte Last

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	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Verteilte Last	5,0 kN/m ²
G	0,244 N/mm
Q _f	2,0 N/mm
Maximale Lichte Weite L/200	4590 mm

q _{BGT2}	2,47 N/mm
q _{UGT2}	3,87 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	2,47 N/mm
L	4590 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
Y _{optr.}	22,89 mm
Y _{toel.}	22,95 mm
u.c.	1,00 OK

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	3,87 N/mm
L	4590 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	58 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,27 OK

Nachweis der Querkraft:

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

q	3,87 N/mm
L	4590 mm
A_s	4455 mm ²
$\tau_{kar.}$	50,5 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\tau_{optr.}$	2,0 N/mm ²
$\tau_{toel.}$	36,6 N/mm ²
u.c.	0,05 OK

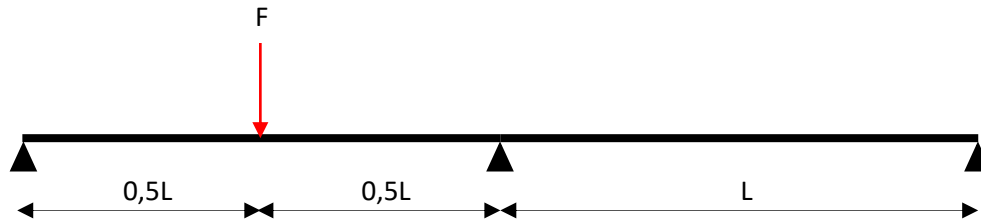
6.3 Einzellast

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

Planke Breite	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,244 N/mm
Maximale Lichte Weite L/100	4470 mm

Q_{BGT3}	8642 N
q_{UGT3}	0,541 N/mm
Q_{UGT3}	11667 N

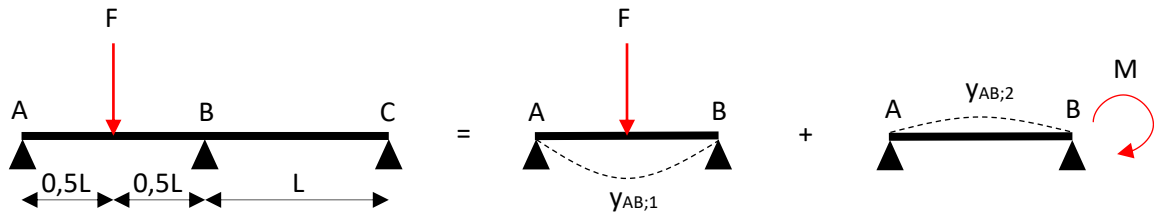
Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:



6.3.1 BGT 3

Nachweis der Biegung:

Die Durchbiegung bei $x=0,5L$ ist repräsentativ für die maximale Durchbiegung².



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

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

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

F	8642 N
L	4470 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
$y_{\text{optr.}}$	44,66 mm
$y_{\text{toel.}}$	44,70 mm
u.c.	1,00 OK

² 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	0,541 N/mm
L	4470 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	82 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,38 OK

Nachweis der Querkraft:

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

F	11667 N
$D_{kar, 100}$	81138 N
γ_m	1,38 -
$D_{optr.}$	11513 N
$D_{toel.}$	58795 N
u.c.	0,20 OK

6.4 Dienstfahrzeug 50kN

Die Berechnungen für die Dienstfahrzeug 100kN, 160kN und 200kN wurden nach der gleichen Berechnungsmethode durchgeführt. Die Ergebnisse finden Sie in Kapitel 1-Zusammenfassung.

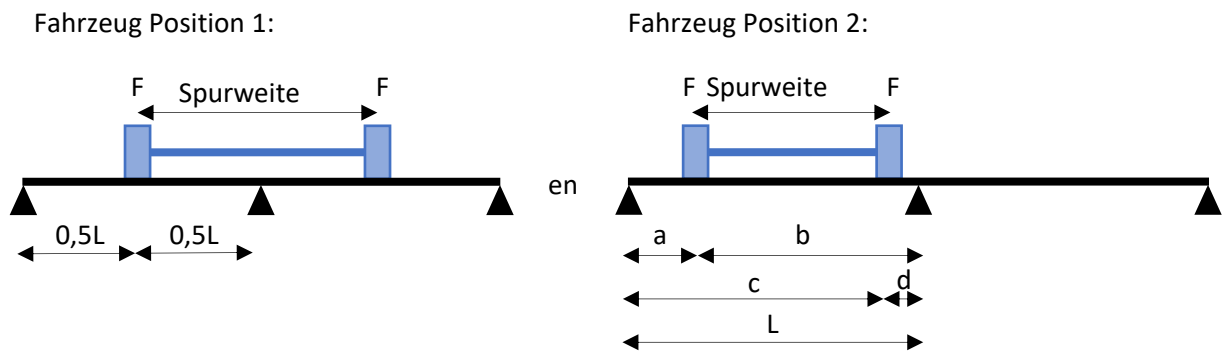
BGT 4 $1/0,81 \times Qd$
UGT 4 $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Qd$

Planke Breite	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,244 N/mm
Spurweite	1750 mm
Maximale Lichte Weite L/200	2330 mm

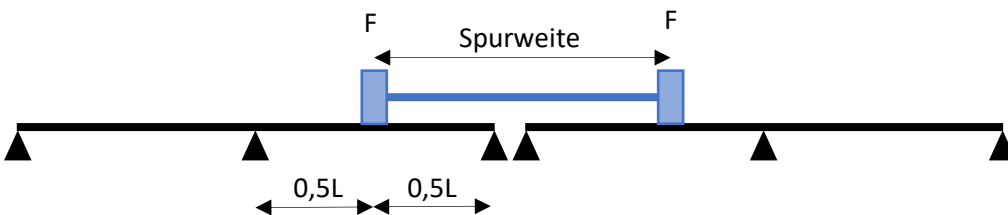
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,541 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

Situation 1:



Situation 2:

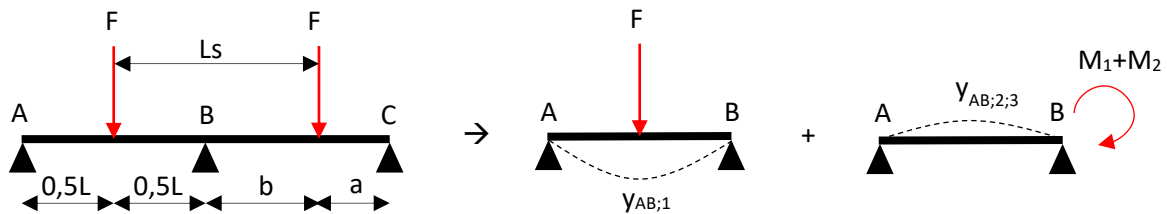


6.4.1 BGT 4

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 Durchbiegung³.



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

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

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

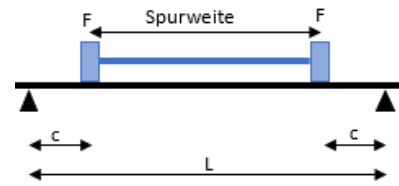
M2 ist nur verfügbar, wenn $a > 0$ oder $L > 2/3L_s$. In der Situation, in der $a < 0$ ist, wird F in M2 als 0kN betrachtet.

³ 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:

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	2330 mm
Ls	1750 mm
a	1745 mm
b	585 mm
c	290 mm
E	32154 N/mm ²
I	8048641 mm ⁴
Y _{optr.pos1}	7,42 mm
Y _{optr.pos2}	11 mm
Y _{optr.max}	11,49 mm
Y _{toel.}	11,65 mm
u.c.	0,99 OK

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.

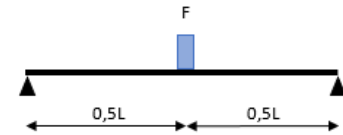
6.4.2 UGT 4

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

Nachweis der Biegespannung:

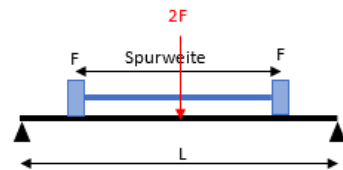
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 1:

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



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2:

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



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

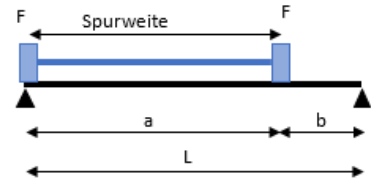
Die maximal auftretende Biegespannung:

F	20833 N
q	0,541 N/mm
L	2330 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr. pos1}$	71 N/mm ²
$\sigma_{optr. pos2}$	140 N/mm ²
$\sigma_{optr. max}$	140 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,66 OK

Nachweis der Querkraft:

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

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



F	20833 N
L	2330 mm
b	580 mm
L ₀	250 mm
D _{kar;250}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{opt.}	23784 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	0,27 OK

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

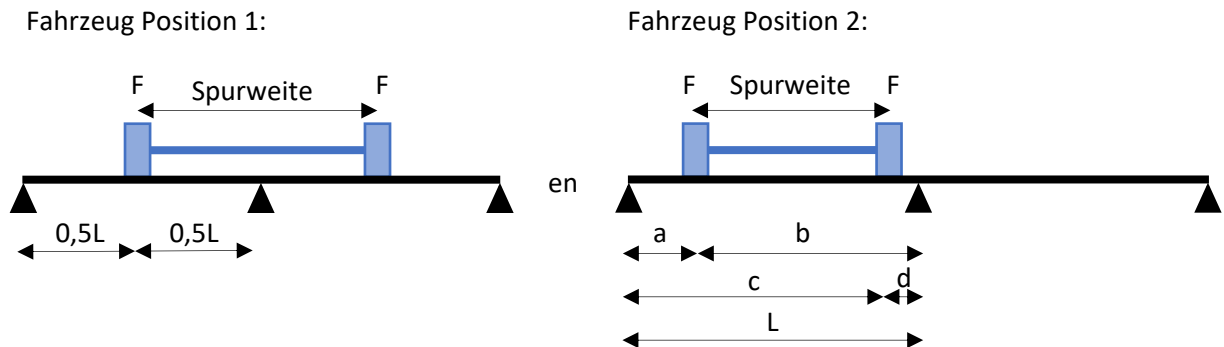
UGT 6 $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times A_{ov}$

Planke Breite	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,244 N/mm
Spurweite	1300 mm
Maximale Lichte Weite	2170 mm

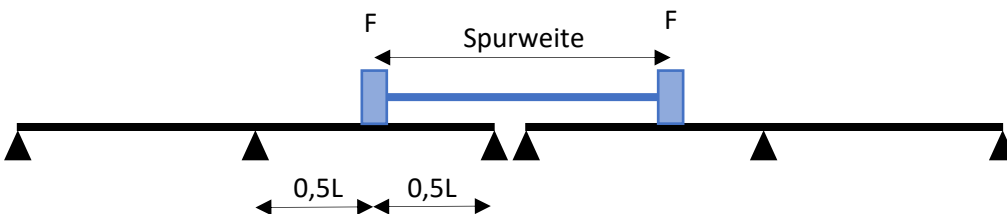
q_{UGT6}	0,541 N/mm
Q_{UGT6}	66667 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

Situation 1:



Situation 2:



6.6.1 UGT 6

Nachweis der Biegespannung:

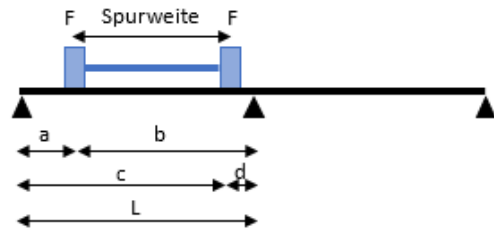
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugsituation 1 Position 1 ist günstiger als die Situation 2 und wurde daher nicht berücksichtigt.

Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeug Situation 1 Position 2:

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

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:

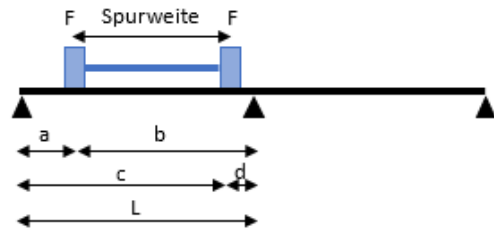
$$\sigma_{b;2} = \frac{F \times c \times d}{4 \times L^2 \times W} \times (4 \times L^2 - c \times (L + c)) \times \frac{c - L_s}{c}$$

Biegespannungsort a aufgrund des Eigengewichts:

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

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

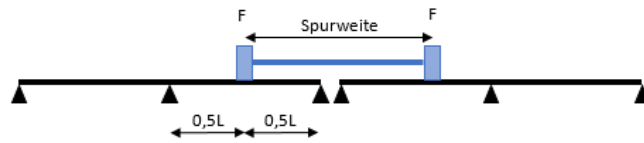
F	66667 N
q	0,541 N/mm
L	2170 mm
Ls	1300 mm
a	760 mm
b	1411 mm
c	2060 mm
d	111 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{b;1}$	165 N/mm ²
$\sigma_{b;2}$	0 N/mm ²
$\sigma_{b;3}$	1 N/mm ²
$\sigma_{optr.}$	165,69 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,78 OK



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeug Situation 2:

Die Biegespannung bei $x=0,5L$ ist repräsentativ für die maximale Biegespannung⁴.

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



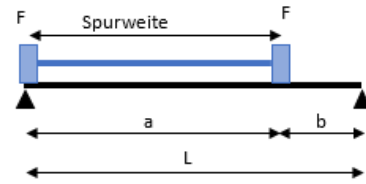
F	66667 N
q	0,541 N/mm
L	2170 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	168 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,79 OK

⁴ 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

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

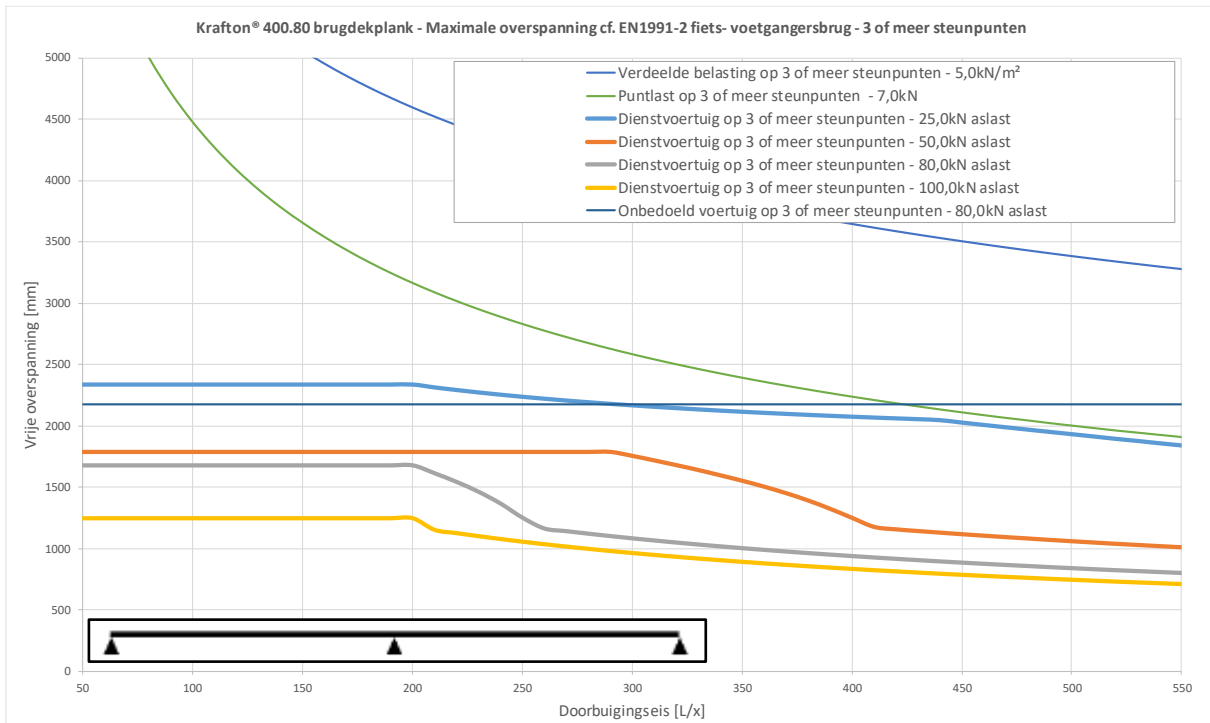


F	66667 N
L	2170 mm
b	870 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{opr.}	87250 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	1,00 OK

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:

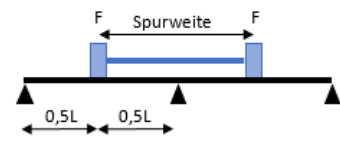
- Verteilte last 5,0 kN/m²
- Einzellast 7,0 kN
- Dienstfahrzeug 5 ton, 10 ton, 16 ton, 20 ton
- Gelegentliches Fahrzeug 12 ton

Anmerkung:

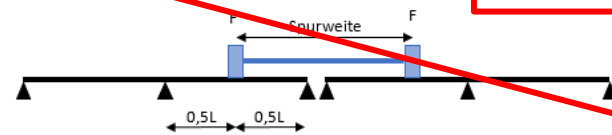
- Für das Dienstfahrzeug wurde eine Mindestverformung von $L/200$ festgelegt.
- Berücksichtigung der Durchbiegung des Dienstfahrzeug gemäß Figur 9.
- Nicht berücksichtigt gemäß Situation 2 - für Situation 2 sollte eine zusätzliche Kontrolle durchgeführt werden.

Gebrauchstauglichkeitszustand (BGT)

BGT Situation 1:



BGT Situation 2:

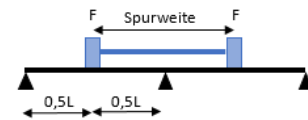


Nicht betrachtet

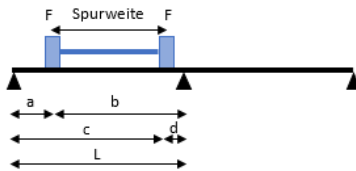
Tragfähigkeitsgrenzzustand (UGT)

UGT Situation 1

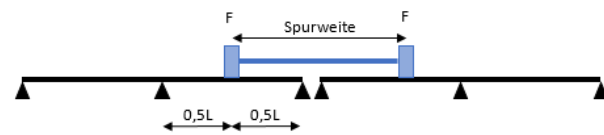
Fahrzeug Position 1:



Fahrzeug Position 2:



UGT Situation 2:



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

7 Komfort

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

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

Planke Breite	w	0,400 mm
Eigengewicht	q	0,609 N/mm
Schwerkraftsbeschleunigung	g	9,81 m/s ²
Lichte Weite	L	5300 mm
Biegefestigkeit	EI	2,59E+11 Nmm ²
Konversionsfaktor Komfort	η_c	0,81 -
Factor für die Unterstützung	C	9,87 -
	$f_{\text{optr.}}$	5,14 Hz
	$f_{\text{toel.}}$	5,00 Hz
	u.c.	0,97 OK

Die Spannweite der Planken bei der 5Hz-Grenze beträgt 5300 mm und ist damit höher als die maximalen Spannweiten in den anderen Belastungssituationen.

Die Komfortanforderung ist nicht normativ.

8 Schlussfolgerung

Das Brückenbelag krafton® 400.80 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

Anhang A: Eigenschaften Brückenbelag

A.1 Zusammenfassung

In diesem Anhang werden die mechanische Eigenschaften der glasfaserverstärkten Brückenbelag krafton® 400.80 dokumentiert. Die mechanische Eigenschaften des Brückenbelags wurden mittels Prüfungen bestimmt. Die Eigenschaften wurden in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften

		Einheit	krafton® 400.80
Abmessungen	(b x h)	mm	400 x 80
Oberfläche	(A)	mm ²	9586
Scherfläche	(A _s)	mm ²	4455
Trägheitsmoment	(I)	mm ⁴	8048641
Widerstandsmoment	(W)	mm ³	176245
Gewicht	(G)	kg/m ²	47,9
Elastizitätsmodul	(E _{gem})	N/mm ²	32154
Biegespannung	(σ _{b,kar})	N/mm ²	293
Scherspannung		N/mm ²	50,5
Profileigenschaften			
Biegesteifigkeit	(EI)	Nmm ² /mm	6,47E+08
Biegefestigkeit	(M _b)	Nmm/mm	128983
Scherfestigkeit	(D)	N/mm	563
Charakteristische Querkraft t bei Einzellast auf 100x100	(D _{kar,100})	N	81138
Charakteristische Querkraft bei Einzellast auf 200x200	(D _{kar,200})	N	120646

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	∞
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 krafton® getestet, die Tests wurden am 01-07-2021 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:

Δy	=	Verformung [mm]
ΔF	=	Kraft [N]
L	=	Länge [mm]
E_b	=	Biegemodul [N/mm ²]
I	=	Trägheitsmoment [mm ⁴]

Tabelle 5: Testergebnisse Biegemodul

Sample nr.	L [mm]	ΔF [N]	Δy [mm]	E_b [N/mm ²]
1	2000	171200	113,66	31190
2	2000	162590	107,50	31319
3	2000	163100	108,09	31246
4	2000	156710	105,09	30879
5	2000	171980	115,57	30815
6	2000	175570	115,96	31352
7	2000	167570	110,85	31303
Mittelwert [$E_{b, \text{gem}}$]				31158

A.3.2 Biegefestigkeit 2 Stützpunkten

Die Biegefestigkeit wurde auf der Grundlage des am 01-07-2021 von krafton® durchgeführten Test berechnet.

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

$$\sigma_b = \frac{F_{bruch} \times L}{4 \times W}$$

Wobei: L = Länge siehe Tabelle 6
W = Widerstandsmoment 176245 mm³

Tabelle 6: Testergebnisse Biegefestigkeit 2 Stützpunkten

Prüfungsnr.	L [mm]	F _{bruch} [N]	σ _{b,min} [N/mm ²]
1	Fmax2000	171200	486
2	2000	162590	461
3	2000	163100	463
4	2000	156710	445
5	2000	171980	488
6	2000	175570	498
Mittelwert [σ _{b,gem}]			474
Standardabweichung [s]			19
Charakteristischer Wert [σ _{b,kar}]			435

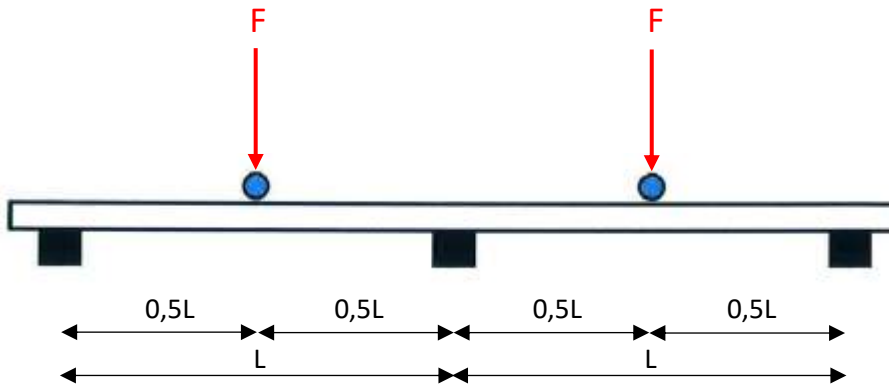
Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,09 x der Standardabweichung bestimmt.

A.3.3 Biegefestigkeit 3 Stützpunkten

Die Biegefestigkeit wurde auf der Grundlage des am 03-02-2022 von SKZ durchgeführten Test berechnet.

Die Testwerte (F_{Bruch}) werden benutzt, um die Biegefestigkeit (σ_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 mm³

Tabelle 7: Testergebnisse Biegefestigkeit 3 Stützpunkten

Prüfungsnr.	L [mm]	F _{bruch} [N]	σ _{b,min} [N/mm ²]
1	2000	177000	377
2	2000	159000	338
3	2000	154500	329
4	2000	168750	359
5	2000	145000	309
6	2000	161000	343
7	2000	160500	341
Mittelwert [σ _{b,gen}]			342
Standardabweichung [s]			24
Charakteristischer Wert [σ _{b,kar}]			293

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,09 x der Standardabweichung bestimmt.

A.3.4 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit wurde auf der Grundlage des am 26-11-2021 von krafton® durchgeführten Test berechnet.

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

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

Das Prüfstück wurde bei einer Lichte weite von $L=1000\text{mm}$ getestet. Der Druckstempel bildet eine Linienlast auf dem Produkt und hat einen Durchmesser von 100mm . Der Abstand zwischen dem Stempel und dem Stützpunkt betrug $a = 80\text{mm}$.

Tabelle 8: Testergebnisse Scherfestigkeit

Prüfungsnr.	F_{bruch} [N]	τ [N/mm ²]
1	246570	50,9
2	249960	51,6
3	249970	51,6
4	249940	51,6
5		
6		
Mittelwert [τ_{gem}]		51,4
Standardabweichung [s]		0,3
Charakteristischer Wert [τ_{kar}]		50,5

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich $2,63 \times$ 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 13-09-2022 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.

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

Prüfungsnr.	L [mm]	L ₀ [mm]	F _{bruch} [N]	D ₂₀₀ [N]
1	2000	185	137100	124418
2	2000	185	144500	131134
3	2000	185	141900	128774
4	2000	185	149000	135218
5	2000	185	142500	129319
6				
Mittelwert [$D_{gem,200}$]				129773
Standardabweichung [s]				3917
Charakteristischer Wert [$D_{kar,200}$]				120646

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,33 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 12-09-2022 von krafton® 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 ₀ [mm]	F _{bruch} [N]	D ₁₀₀ [N]
1	2000	135	89310	83282
2	2000	135	91980	85771
3	2000	135	90150	84065
4	2000	135	88860	82862
5	2000	135	92050	85837
6				
Mittelwert [D _{gem,200}]				84363
Standardabweichung [s]				1384
Charakteristischer Wert [D _{kar,200}]				81138

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