



krafton® Brückenbelag 236.40

Kontrolle gemäß Eurocode NL

Auftraggeber : krafton®
Aufsteller : Ing. J.H.A. Zijderveld
Autorisiert : Ing. D.A. Mager
Bericht-Nr. : R_10694-1
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

Version	Kommentare	Datum
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) Feldspannen¹:



Die Empfehlungen für die maximale Spannweite des Regals 236.40 lauten:

	Mehrere Einzelfelder	Ein Einzelfeld	Mehrere Feldspannen
Ohne Fahrzeuge	1050 mm	1050 mm	1240 mm
Nur Dienstfahrzeug	550 mm	[-]	650 mm
Nur gelegentliches Fahrzeug	220 mm	[-]	220 mm
Dienstfz. und gelegentl. Fahrzeug	220 mm	[-]	220 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® 236.40 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 75 mm.

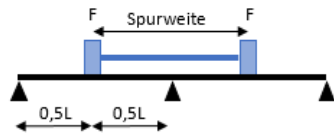
Anmerkung:

- 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.

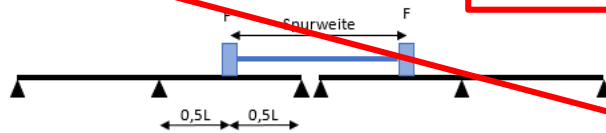
¹ Ein Feldspannen mit mehreren Stützpunkten ist eine Situation, in der die Brückendeckplanke ohne Unterbrechung über mindestens 3 Stützpunkte verläuft. An den Auflagerpunkten wird eine Verbindung verwendet, die die Planke in vertikaler Richtung sowohl nach oben als auch nach unten ausreichend fixiert.

Gebrauchstauglichkeitszustand (BGT)

BGT Situation 1:



BGT Situation 2:

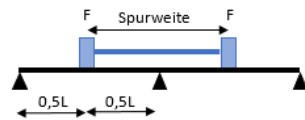


Nicht betrachtet

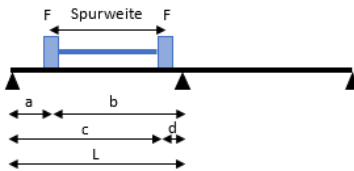
Tragfähigkeitsgrenzzustand (UGT)

UGT Situation 1

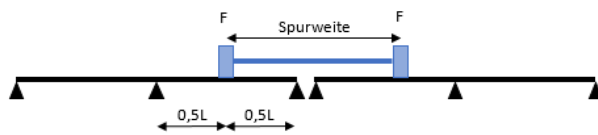
Fahrzeug Position 1:



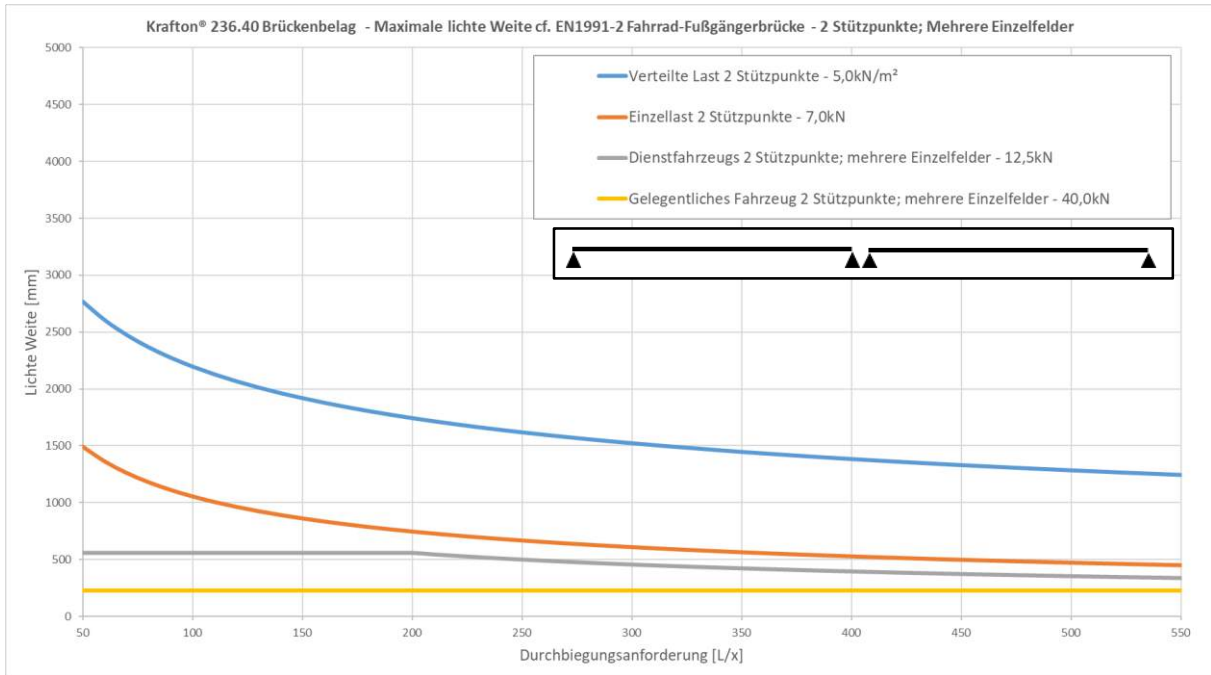
Fahrzeug Position 2:



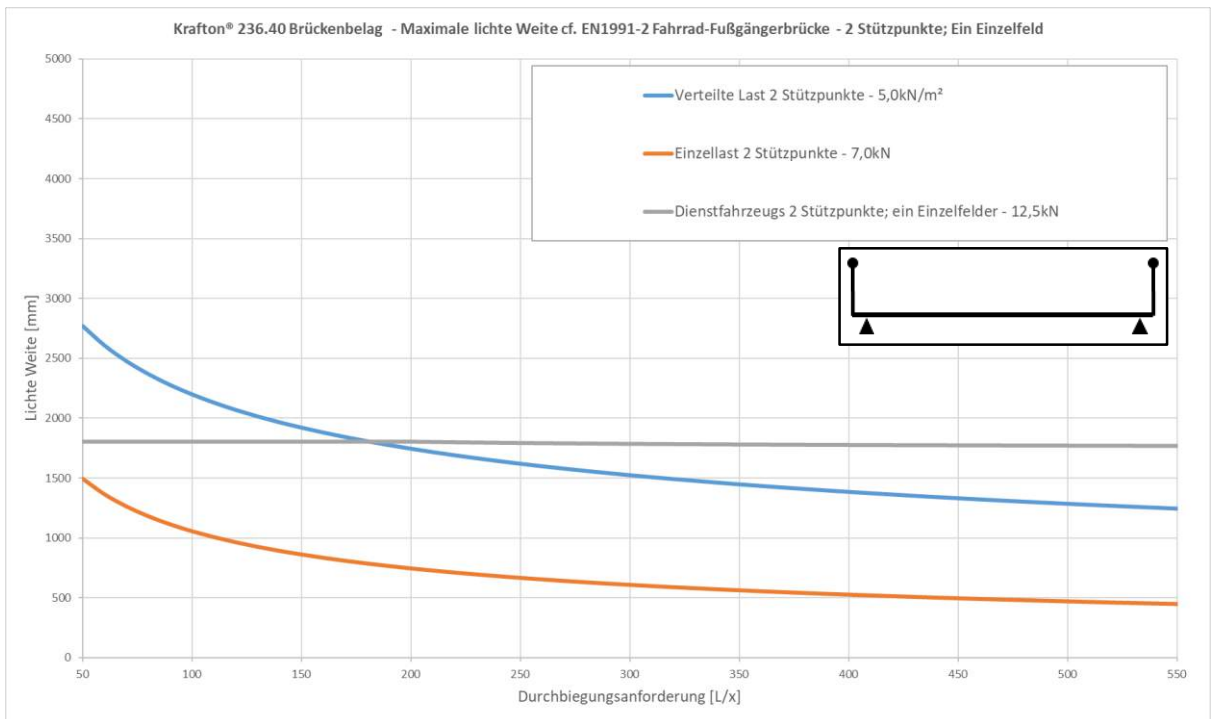
UGT Situation 2:



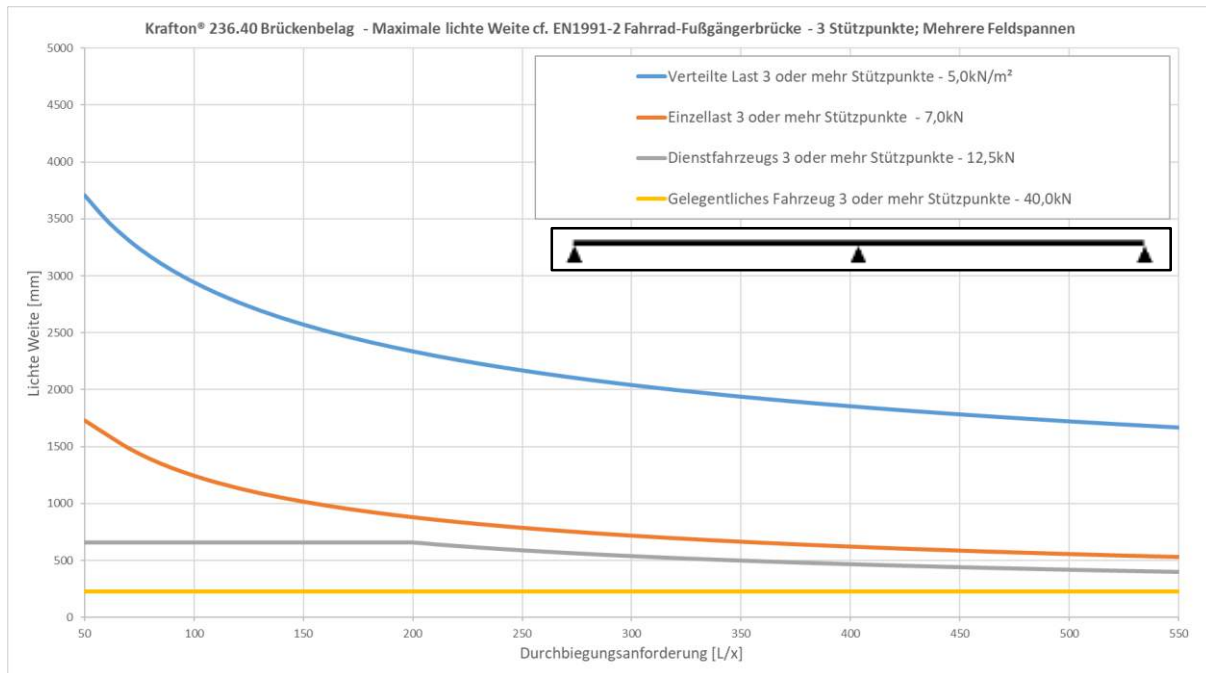
Figur 1: Berücksichtigte Situationen Dienst- und gelegentliches Fahrzeug mehrere Feldspannen in BGT und UGT



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

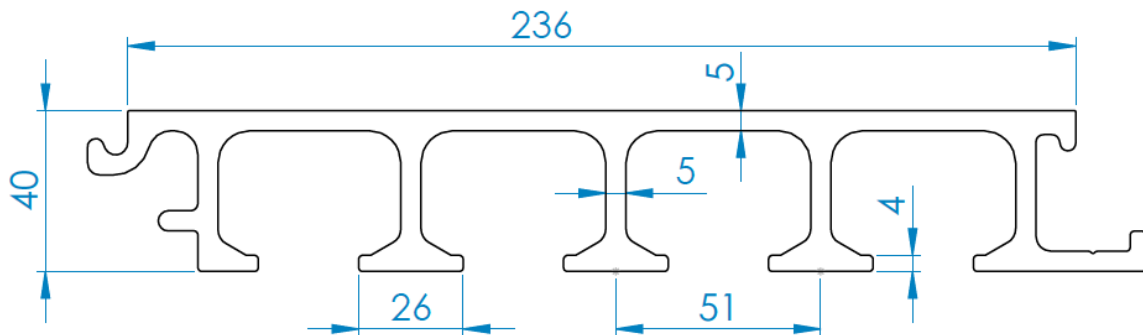
T +31 (0) 168227510

E / info@krafton.de

2 Produktbeschreibung

Glasfaserverstärktes Polyester-Brückenbelag im Pultrusionsverfahren hergestellt.

Im Figur 5 wird der Querschnitt der Planke dargestellt.



Figur 5: Geometrie Planke 236.40

2.1 Geometrische Eigenschaften

Breite	b	236 mm
Höhe	h	40 mm
Anzahl der Stege	n	5 -
Abstand zwischen den Stege	d	51 mm
Oberfläche	A	2986 mm ²
Scherfläche	A _s	1052 mm ²
Trägheitsmoment	I	625197 mm ⁴
Widerstandsmoment	W	26593 mm ³
Plankengewicht	G	22,8 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® 236.40
Elastizitätsmodul	($E_{b, kar}$)	N/mm ²	32130
Biegespannung	($\sigma_{b, kar}$)	N/mm ²	266
Scherspannung	(τ_{char})	N/mm ²	51,2
Querkraft auf 100x100	($D_{kar, 100}$)	N	33658
Querkraft auf 200x200	($D_{kar, 200}$)	N	51886

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	22,8 kg/m ²	
Verschleißschicht	13,0 kg/m ²	
Dauerhafte Last insgesamt	35,8 kg/m ² =	0,358 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		
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	

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 Lamine, 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 Lastfactoren

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

Die Lastfactoren 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	$1/0,54 \times G$
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
	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	$1,30 \times 1/0,54 \times G$
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 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.

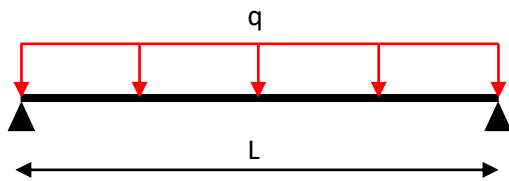
5.2 Verteilte Last

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	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Verteilte Last	5,0 kN/m ²
G	0,084 N/mm
Q _f	1,2 N/mm
Maximale Lichte Weite bei L/200	1740 mm

q _{BGT2}	1,46 N/mm
q _{UGT2}	2,15 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	1,46 N/mm
L	1740 mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
Y _{optr.}	8,66 mm
Y _{toel.}	8,70 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	2,15 N/mm
L	1740 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	31 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,16 OK

Nachweis der Querkraft:

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

q	2,15 N/mm
L	1740 mm
A_s	1052 mm ²
$\tau_{kar.}$	51,2 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\tau_{optr.}$	1,8 N/mm ²
$\tau_{toel.}$	37,1 N/mm ²
u.c.	0,05 OK

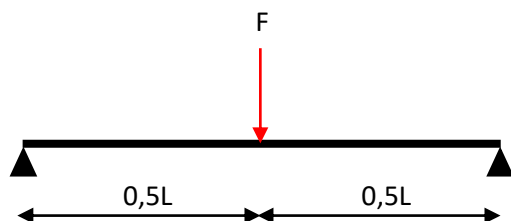
5.3 Einzellast

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

Planke Breite	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,084 N/mm
Maximale Lichte Weite bei L/100	1050 mm

Q _{BGT3}	8642 N
q _{UGT3}	0,188 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	1050 mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
Y _{optr.}	10,38 mm
Y _{toel.}	10,50 mm
u.c.	0,99 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	0,188 N/mm
L	1050 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	116 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,60 OK

Nachweis der Querkraft:

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

F	11667 N
$D_{kar,100}$	33658 N
γ_m	1,38 -
$D_{optr.}$	11111 N
$D_{toel.}$	24390 N
u.c.	0,46 OK

5.4 Dienstfahrzeug

BGT 4 **1/0,81 x Qd**
UGT 4 **1,20 x 1/0,54 x G + 1,35 x 1/0,81 x Qd**

Planke Breite	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,084 N/mm
Spurweite	1750 mm
Maximale Lichte Weite Situation 1 L/200	550 mm
Maximale Lichte Weite Situation 2 L/200	[-] mm

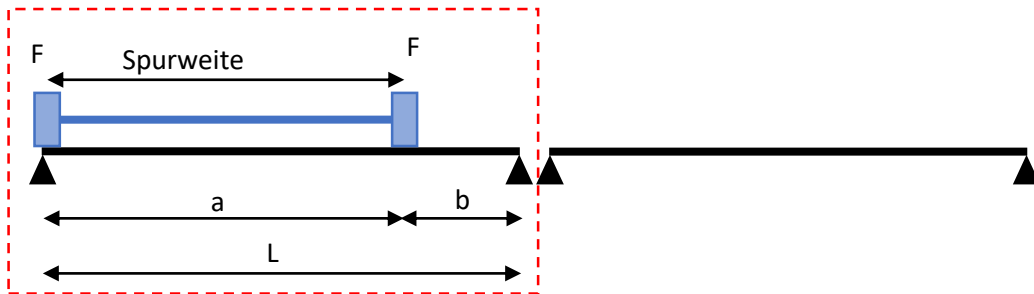
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,188 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

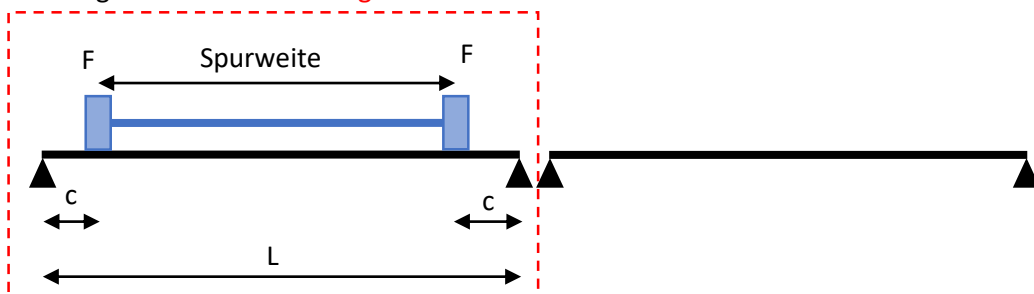
Situation 1: Mehrere Einzelfelder

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.

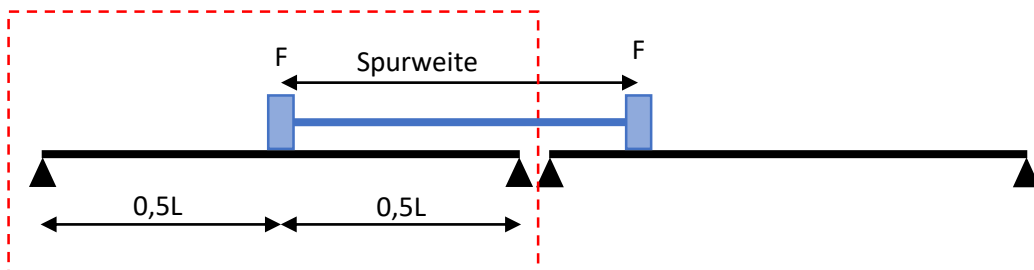
Fahrzeug Position 1: **Nicht möglich** $L < L_s$



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



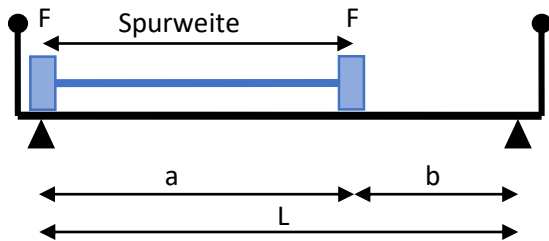
Fahrzeug Position 3:



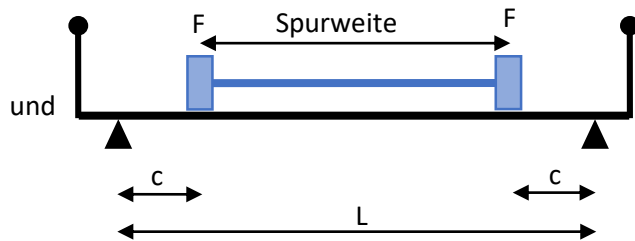
Situation 2: Einen Träger, frei aufgelegt auf zwei Stützpunkten $L > L_s$ Nicht möglich

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:

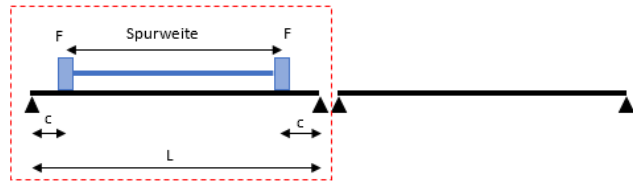


5.4.1 BGT 4 Situation 1

Nachweis der Biegung:

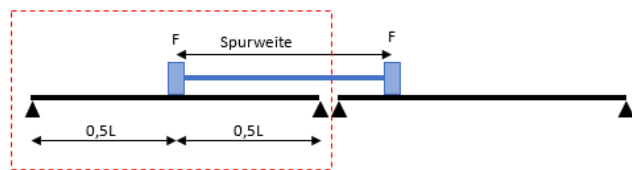
Die maximale Durchbiegung für die Position 2 des Dienstfahrzeugs beträgt: **Nicht möglich $L < L_s$**

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



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:

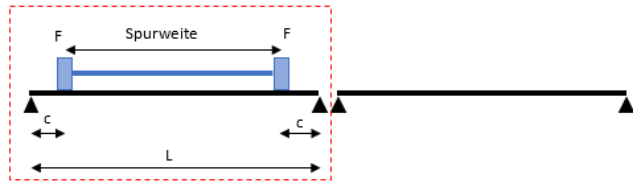
F	15432 N
L	550 mm
c	0 mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
$y_{optr;pos2}$	[-] mm
$y_{optr;pos3}$	2,66 mm
$y_{optr;max}$	2,66 mm
$y_{toel.}$	2,75 mm
u.c.	0,97 OK

5.4.2 UGT 4 Situation 1

Nachweis der Biegespannung:

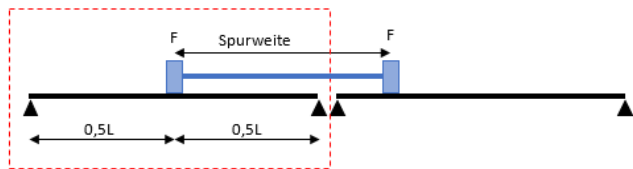
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2 beträgt: **Nicht möglich $L < L_s$**

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



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	0,188 N/mm
L	550 mm
c	0 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	108 N/mm ²
$\sigma_{optr,max}$	108 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,56 OK

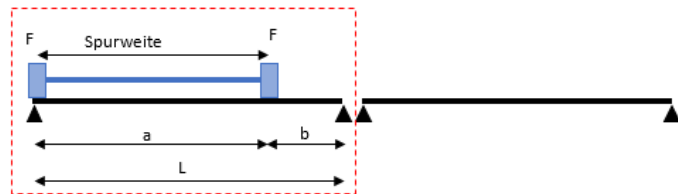
Nachweis der Querkraft:

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

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

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	550 mm
L ₀	250 mm
b	0 mm
D _{kar;250}	51886 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	16098 N
D _{toel.}	37599 N
u.c.	0,43 OK

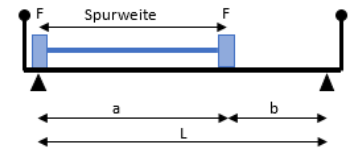


5.4.3 BGT 4 Situation 2 **Nicht möglich**

Nachweis der Biegung:

Die maximale Durchbiegung für die Position 1 des Dienstfahrzeugs beträgt:

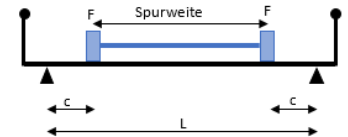
$$y_{pos1} = \frac{F \times a \times b}{27 \times EI \times L} \times (a + 2b) \times \sqrt{3a \times (a + 2b)} \leq \frac{L}{200}$$



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:

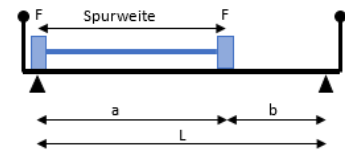
F	15432 N
a	1750 mm
b	0 mm
c	0 mm
L	[-] mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
$y_{optr;pos1}$	[-] mm
$y_{optr;pos2}$	[-] mm
$y_{optr.max}$	[-] mm
$y_{toel.}$	0,05 mm
u.c.	[-]

5.4.4 UGT 4 Situation 2 **Nicht möglich**

Nachweis der Biegespannung:

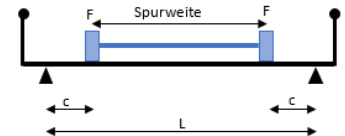
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 1 beträgt:

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



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2 beträgt:

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



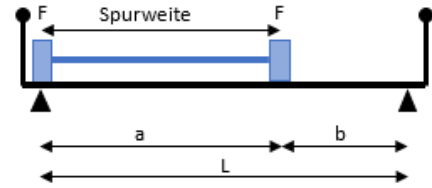
Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 2:

F	20833 N
q	0,188 N/mm
a	1750 mm
b	0 mm
c	0 mm
L	[-] mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr.pos2}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr.max}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	[-]

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	[-] mm
L ₀	250 mm
b	0 mm
D _{kar;250}	51886 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	[-] N
D _{toel.}	37599 N
u.c.	[-]

5.5 Schnee

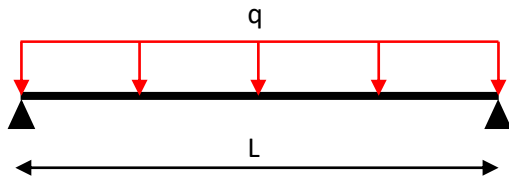
Die maximal zulässige Stützweite ist auf 5000 mm begrenzt.

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

Planke Breite	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Verteilte Last	1,4 kN/m ²
G	0,084 N/mm
Q _f	0,3 N/mm
Maximale Lichte Weite	5000 mm

q_{UGT5} 1,56 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	1,56 N/mm
L	5000 mm
W	26593 mm ³
σ _{kar.}	266 N/mm ²
γ _m	1,38 -
σ _{optr.}	183 N/mm ²
σ _{toel.}	193 N/mm ²
u. c.	0,95 OK

Nachweis der Querkraft:

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

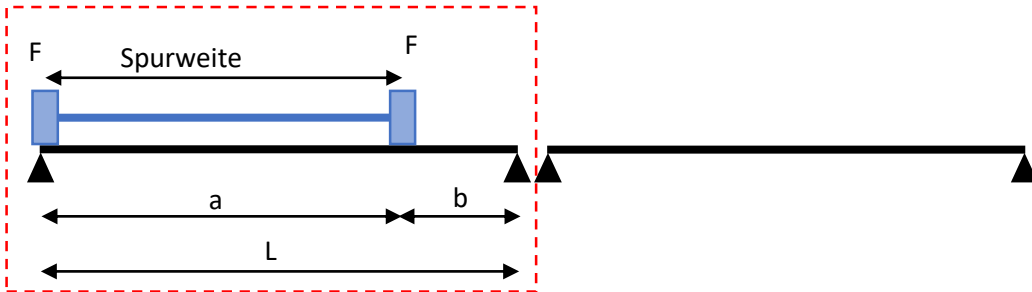
q	1,56 N/mm
L	5000 mm
A _s	1052 mm ²
τ _{kar.}	51,2 N/mm ²
γ _m	1,38 -
τ _{optr.}	1,3 N/mm ²
τ _{toel.}	37,1 N/mm ²
u.c.	0,04 OK

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

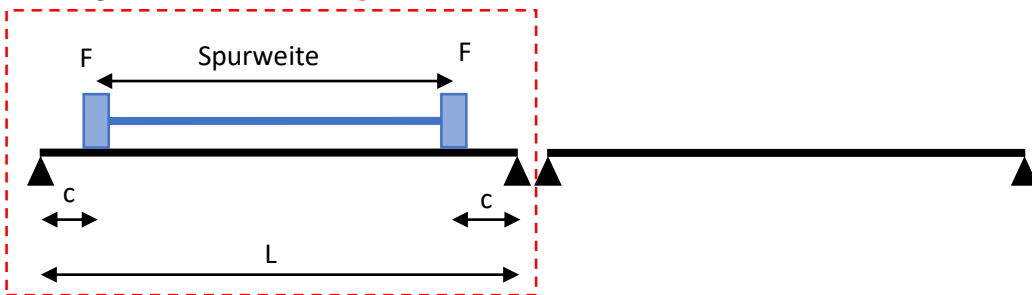
Situation 1: Mehrere Einzelfelder

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.

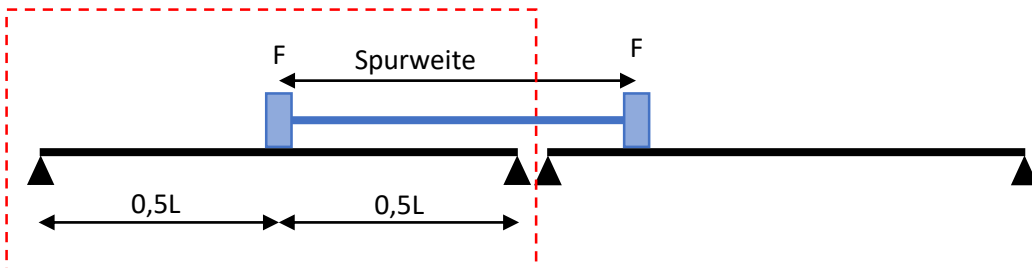
Fahrzeug Position 1: **Nicht möglich** $L < L_s$



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



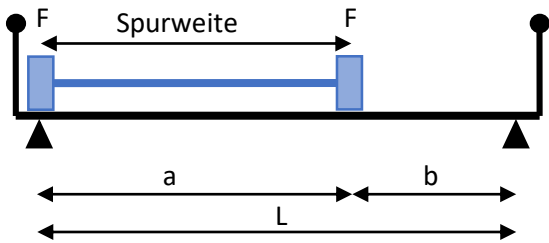
Fahrzeug Position 3:



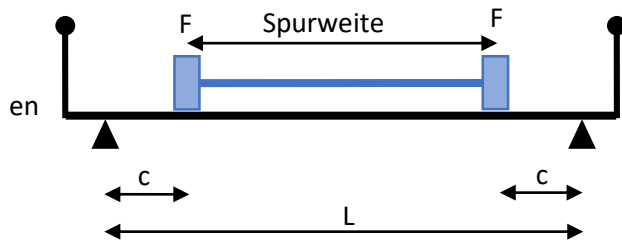
Situation 2: Einen Träger, frei aufgelegt auf zwei Stützpunkten $L > L_s$ Nicht möglich

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:

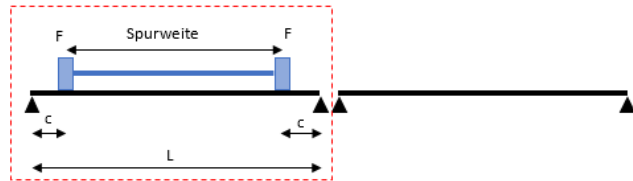


5.6.1 UGT 6 Situation 1

Nachweis der Biegespannung:

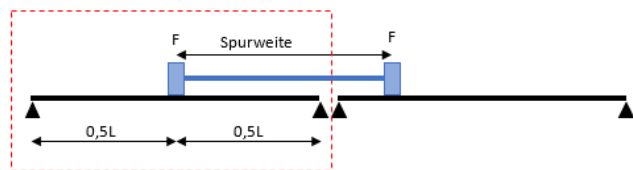
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 2 beträgt: **Nicht möglich** $L < L_s$

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



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 3 beträgt:

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



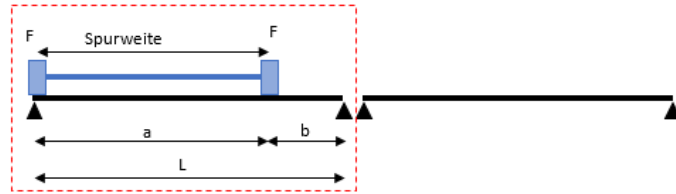
Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 1:

F	66667 N
q	0,188 N/mm
L	220 mm
c	0 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	138 N/mm ²
$\sigma_{optr,max}$	138 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,72 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	220 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	51886 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	36364 N
D _{toel.}	37599 N
u.c.	0,97 OK

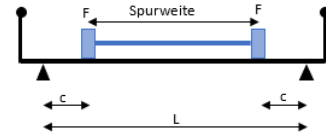


5.6.2 UGT 6 Situation 2 **Nicht möglich**

Nachweis der Biegespannung:

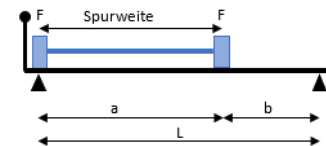
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 1 beträgt:

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



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugposition 2 beträgt:

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

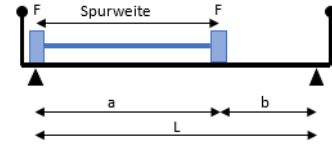


Die maximal auftretende Biegespannung in Situation 2:

F	66667 N
q	0,188 N/mm
a	1300 mm
b	0 mm
c	0 mm
L	[-] mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr.pos2}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr.max}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	[-]

Nachweis der Querkraft:

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

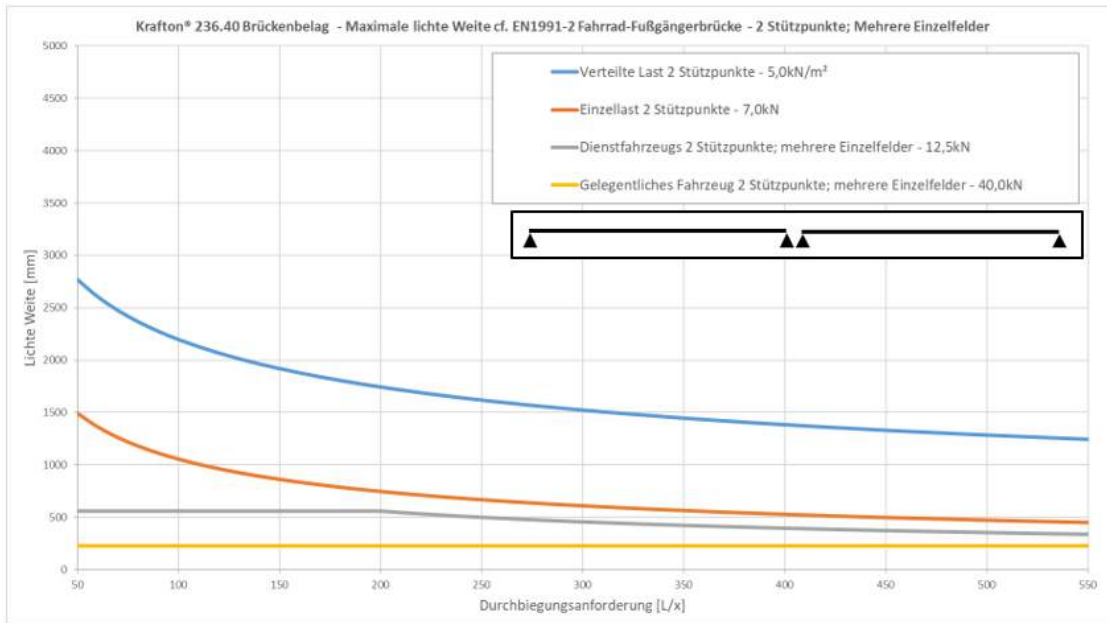


F	66667 N
L	[-] mm
L ₀	200 mm
b	0 mm
D _{kar,200}	51886 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	[-] N
D _{toel.}	37599 N
u.c.	[-]

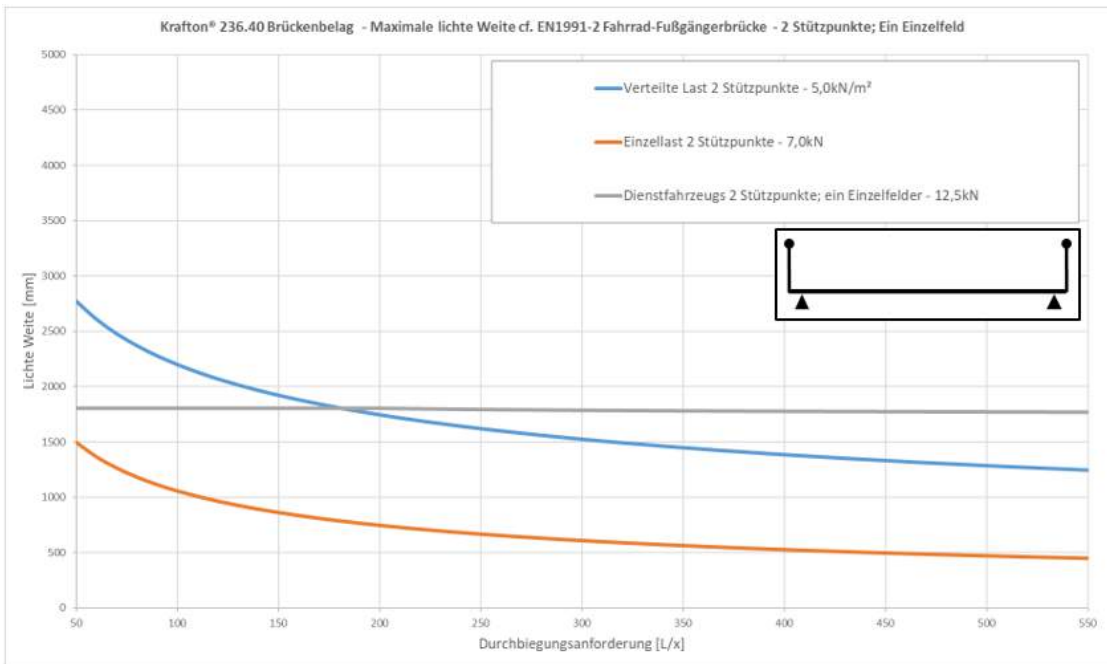
5.7 Zusammenfassung

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
- 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.

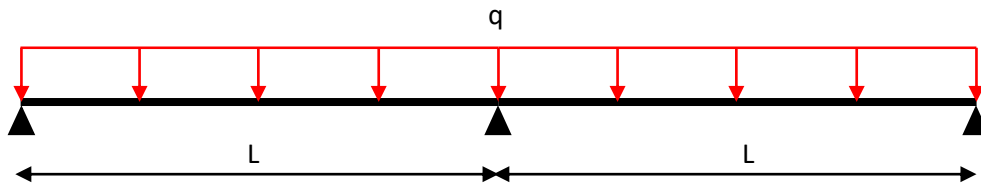
6.2 Verteilte Last

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	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Verteilte Last	5,0 kN/m ²
G	0,084 N/mm
Q _f	1,2 N/mm
Maximale Lichte Weite L/200	2330 mm

q _{BGT2}	1,46 N/mm
q _{UGT2}	2,15 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	1,46 N/mm
L	2330 mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
y _{optr.}	11,55 mm
y _{toel.}	11,65 mm
u.c.	0,99 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	2,15 N/mm
L	2330 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	55 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,29 OK

Nachweis der Querkraft:

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

q	2,15 N/mm
L	2330 mm
A_s	1052 mm ²
$\tau_{kar.}$	51,2 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\tau_{optr.}$	2,4 N/mm ²
$\tau_{toel.}$	37,1 N/mm ²
u.c.	0,06 OK

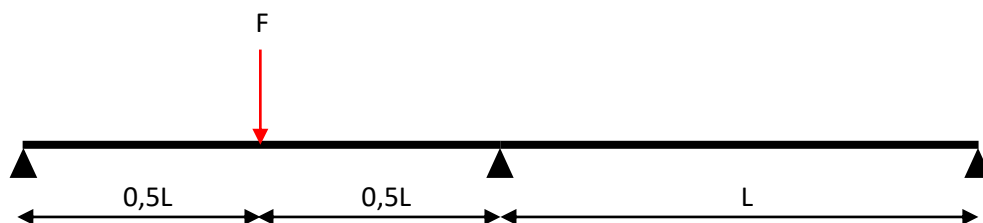
6.3 Einzellast

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	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,084 N/mm
Maximale Lichte Weite L/100	1240 mm

Q_{BGT3}	8642 N
q_{UGT3}	0,188 N/mm
Q_{UGT3}	11667 N

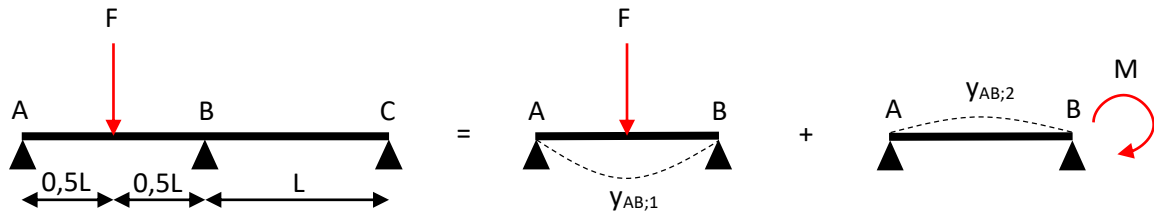
Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:



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	1240 mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
$y_{\text{optr.}}$	12,28 mm
$y_{\text{toel.}}$	12,40 mm
u.c.	0,99 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	0,188 N/mm
L	1240 mm
W	26593 mm ³
σ_{kar}	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	137 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,71 OK

Nachweis der Querkraft:

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

F	11667 N
$D_{kar, 100}$	33658 N
γ_m	1,38 -
$D_{optr.}$	11111 N
$D_{toel.}$	24390 N
u.c.	0,46 OK

6.4 Dienstfahrzeug

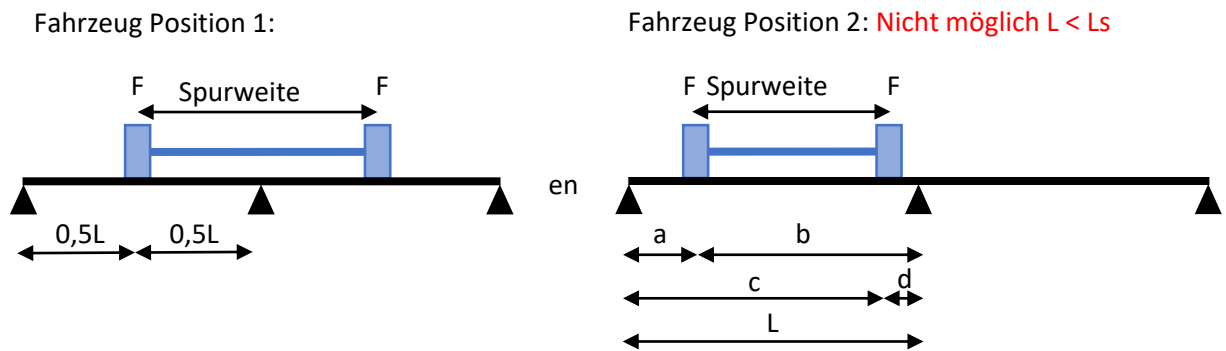
BGT 4 $1/0,81 \times Q_d$
UGT 4 $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_d$

Planke Breite	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,084 N/mm
Spurweite	1750 mm
Maximale Lichte Weite L/200	650 mm

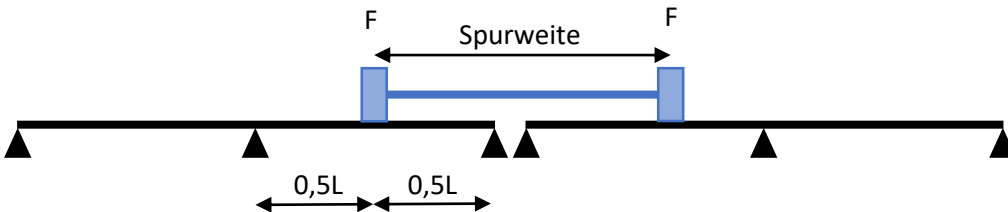
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,188 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

Situation 1:



Situation 2:

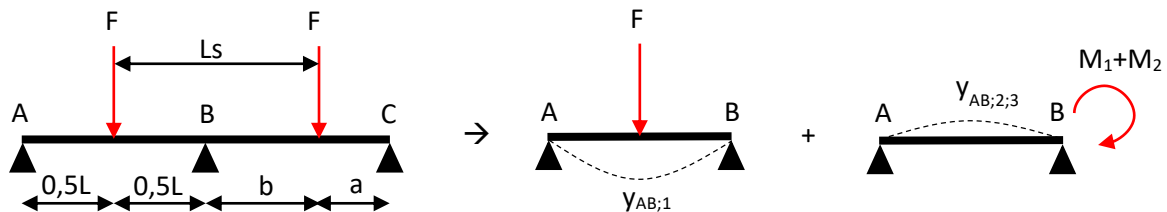


6.4.1 BGT 4

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.



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

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

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

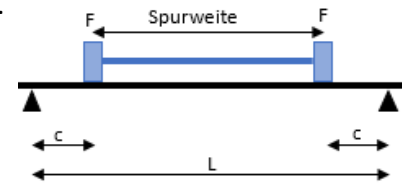
M2 ist nur verfügbar, wenn $a > 0$ oder $L > 2/3L_s$. In der Situation, in der $a < 0$ ist, wird F in M2 als 0kN betrachtet.

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: **Nicht möglich**
 $L < L_s$

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	650 mm
Ls	1750 mm
a	-775 mm
b	1425 mm
c	0 mm
E	32130 N/mm ²
I	625197 mm ⁴
Y _{optr.pos1}	3,16 mm
Y _{optr.pos2}	[-] mm
Y _{optr.max}	3,16 mm
Y _{toel.}	3,25 mm
u.c.	0,97 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.

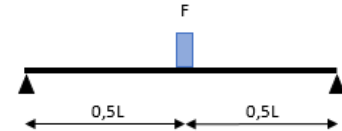
6.4.2 UGT 4

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

Nachweis der Biegespannung:

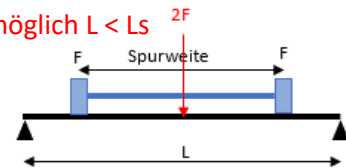
Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 1:

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



Die maximale Biegespannung für die Dienstfahrzeugposition 2: **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

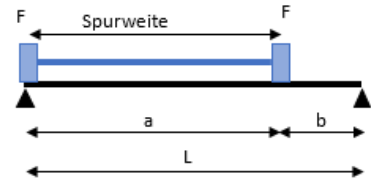
Die maximal auftretende Biegespannung:

F	20833 N
q	0,188 N/mm
L	650 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr. pos1}$	128 N/mm ²
$\sigma_{optr. pos2}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr. max}$	128 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,66 OK

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	650 mm
b	0 mm
L ₀	250 mm
D _{kar;250}	51886 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	16827 N
D _{toel.}	37599 N
u.c.	0,45 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.

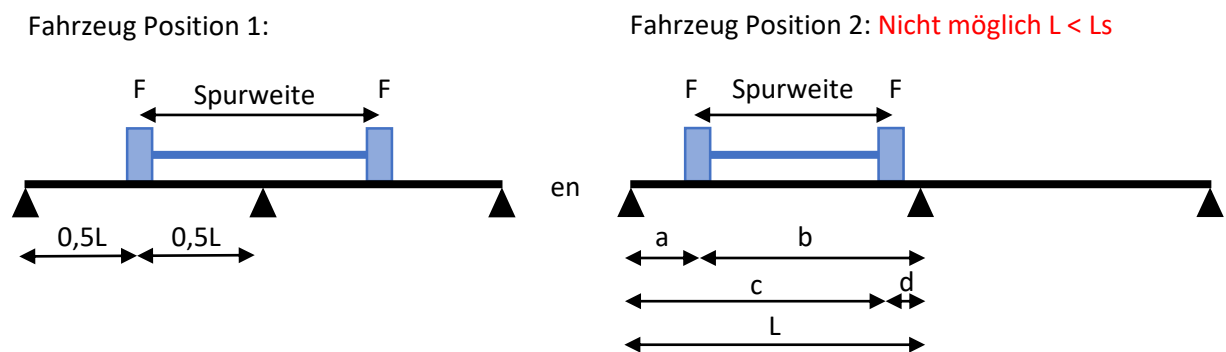
6.6 Gelegentliches Fahrzeug

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

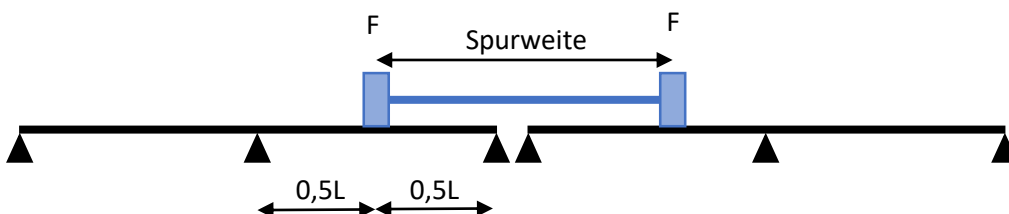
Planke Breite	0,236 m
Eigengewicht	0,358 kN/m ²
Aufstandsfläche auf 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,084 N/mm
Spurweite	1300 mm
Maximale Lichte Weite	220 mm
q_{UGT6}	0,188 N/mm
Q_{UGT6}	66667 N

Bei der Berechnung wird von folgender Situation ausgegangen:

Situation 1:



Situation 2:



6.6.1 UGT 6

Nachweis der Biegespannung:

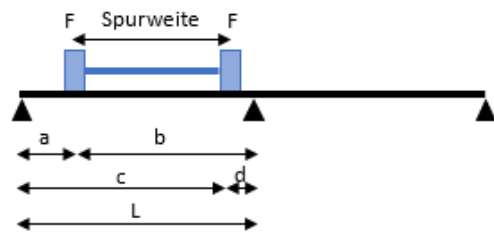
Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeugsituation 1 Position 1 ist günstiger als die Situation 2 und wurde daher nicht berücksichtigt.

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

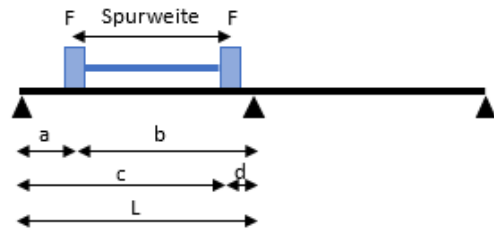
$$\sigma_{b;2} = \frac{F \times c \times d}{4 \times L^2 \times W} \times (4 \times L^2 - c \times (L + c)) \times \frac{c - L_s}{c}$$

Biegespannungsort a aufgrund des Eigengewichts:

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

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

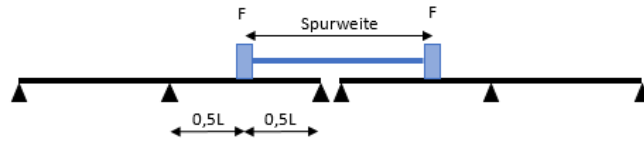
F	66667 N
q	0,188 N/mm
L	220 mm
Ls	1300 mm
a	110 mm
b	110 mm
c	0 mm
d	0 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{b;1}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{b;2}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{b;3}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{optr.}$	[-] N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	[-]



Die maximale Biegespannung für die gelegentliches Fahrzeug Situation 2:

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

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



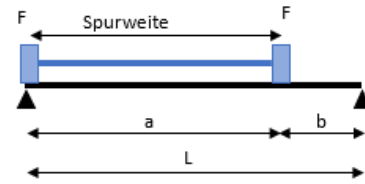
F	66667 N
q	0,188 N/mm
L	220 mm
W	26593 mm ³
$\sigma_{kar.}$	266 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	112 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	193 N/mm ²
u.c.	0,58 OK

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

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

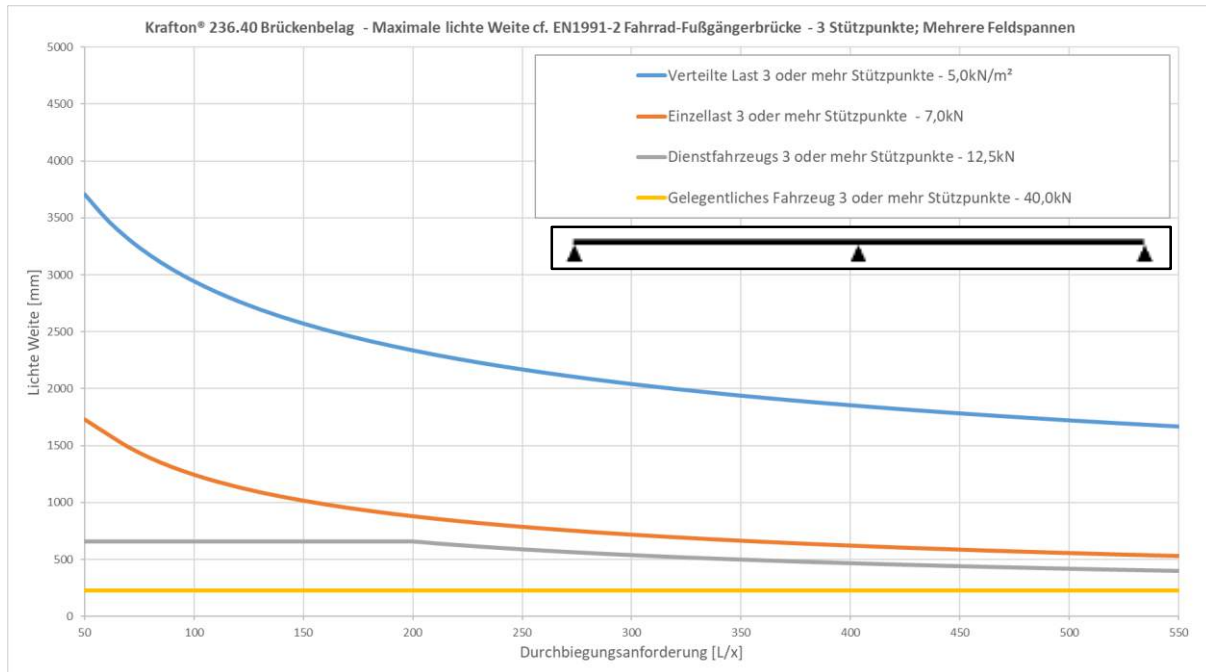


F	66667 N
L	220 mm
b	0 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	51886 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	36364 N
D _{toel.}	37599 N
u.c.	0,97 OK

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:

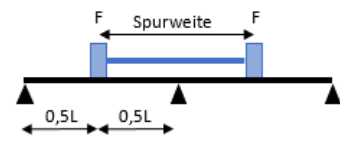
- Verteilte last 5,0 kN/m²
- Einzellast 7,0 kN
- Dienstfahrzeug 5 ton
- Gelegentliches Fahrzeug 12 ton

Anmerkung:

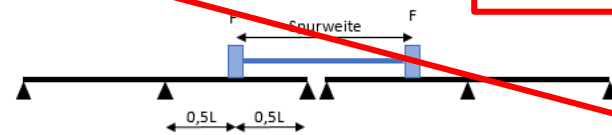
- Für das Dienstfahrzeug wurde eine Mindestverformung von $L/200$ festgelegt.
- Berücksichtigung der Durchbiegung des Dienstfahrzeug gemäß Figur 9.
- Nicht berücksichtigt gemäß Situation 2 - für Situation 2 sollte eine zusätzliche Kontrolle durchgeführt werden.

Gebrauchstauglichkeitszustand (BGT)

BGT Situation 1:



BGT Situation 2:

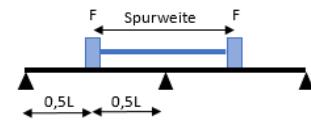


Nicht betrachtet

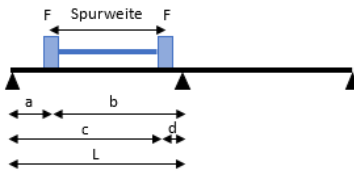
Tragfähigkeitsgrenzzustand (UGT)

UGT Situation 1

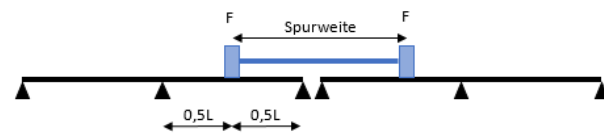
Fahrzeug Position 1:



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	0,236 mm
Eigengewicht	q	0,358 N/mm
Schwerkraftsbeschleunigung	g	9,81 m/s ²
Lichte Weite	L	3600 mm
Biegefestigkeit	EI	2,01E+10 Nmm ²
Konversionsfaktor Komfort	h _c	0,81 -
Factor für die Unterstützung	C	9,87 -
	f _{optr.}	5,27 Hz
	f _{toel.}	5,00 Hz
	u.c.	0,95 OK

Die Spannweite der Planken bei der 5Hz-Grenze beträgt 3600 mm und ist damit höher als die maximalen Spannweiten in den anderen Belastungssituationen.

Die Komfortanforderung ist nicht normativ.

8 Schlussfolgerung

Das Brückenbelag krafton® 236.40 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

Anhang A: Eigenschaften Brückenbelag

A.1 Zusammenfassung

In diesem Anhang werden die mechanische Eigenschaften der glasfaserverstärkten Brückenbelag krafton® 236.40 dokumentiert. Die mechanische Eigenschaften des Brückenbelags wurden mittels Prüfungen bestimmt. Die Eigenschaften wurden in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften

		Einheit	krafton® 236.40
Abmessungen	(b x h)	mm	236 x 40
Oberfläche	(A)	mm ²	2986
Scherfläche	(A _s)	mm ²	1052
Trägheitsmoment	(I)	mm ⁴	625197
Widerstandsmoment	(W)	mm ³	26593
Gewicht	(G)	kg/m ²	22,8
Elastizitätsmodul	(E _{gem})	N/mm ²	32130
Biegespannung	(σ _{b,kar})	N/mm ²	266
Scherspannung		N/mm ²	51,2
Profileigenschaften			
Biegesteifigkeit	(EI)	Nmm ² /mm	8,51E+07
Biegefestigkeit	(M _b)	Nmm/mm	29947
Scherfestigkeit	(D)	N/mm	228
Charakteristische Querkraft t bei Einzellast auf 100x100	(D _{kar,100})	N	33658
Charakteristische Querkraft bei Einzellast auf 200x200	(D _{kar,200})	N	51886

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 22-10-2018 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

Prüfungsnr.	L [mm]	ΔF [N]	Δy [mm]	E_b [N/mm ²]
1	1200	39590	71,72	31786
2	1200	40740	72,61	32308
3	1200	41950	75,02	32199
4	1200	42390	76,22	32024
5	1200	41510	74,15	32235
6	1200	41750	74,60	32226
7				
Mittelwert [$E_{b, \text{gem}}$]				32130

A.3.2 Biegefestigkeit 2 Stützpunkten

Die Biegefestigkeit wurde auf der Grundlage des am 22-10-2018 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 26593 mm³

Tabelle 6: Testergebnisse Biegefestigkeit 2 Stützpunkten

Prüfungsnr.	L [mm]	F _{bruch} [N]	σ _{b,min} [N/mm ²]
1	Fmax1200	39590	447
2	1200	40740	460
3	1200	41950	473
4	1200	42390	478
5	1200	41510	468
6	1200	41750	471
Mittelwert [σ _{b,gem.}]			466
Standardabweichung [s]			11
Charakteristischer Wert [σ _{b,kar.}]			441

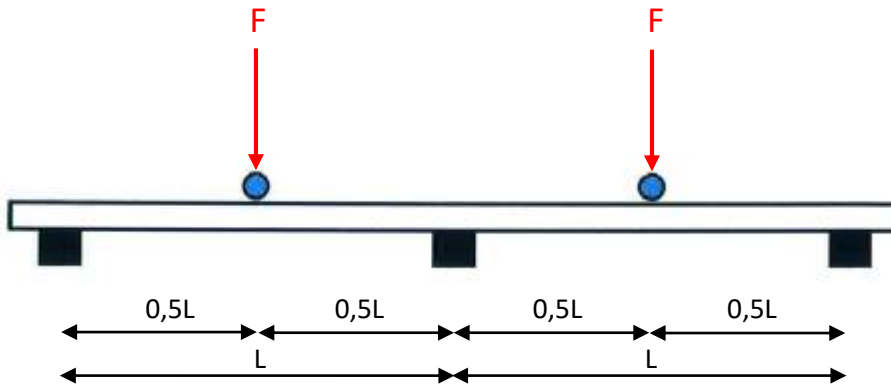
Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 2,18 x der Standardabweichung bestimmt.

A.3.3 Biegefestigkeit 3 Stützpunkten

Die Biegefestigkeit wurde auf der Grundlage des am 22-10-2018 von krafton® 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]	$\sigma_{b,min}$ [N/mm ²]
1	1200	35820	303
2	1200	41400	350
3	1200	38225	323
4	1200	36295	307
5	1200	34210	289
6	1200	41195	349
7			
Mittelwert [$\sigma_{b,gem}$]			320
Standardabweichung [s]			25
Charakteristischer Wert [$\sigma_{b,kar}$]			266

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 14-04-2021 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 hat eine Länge von 300 mm und wurde bei einer Lichte weite von $L=175$ 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 = 100mm.

Tabelle 8: Testergebnisse Scherfestigkeit

Prüfungsnr.	F_{bruch} [N]	τ [N/mm ²]
1	115981	55,1
2	117820	56,0
3	110923	52,7
4	118195	56,2
5	110834	52,7
6	116579	55,4
Mittelwert [τ_{gem}]		54,7
Standardabweichung [s]		1,6
Charakteristischer Wert [τ_{kar}]		51,2

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 22-10-2018 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	400	200	126067	63034
2	400	200	115779	57889
3	400	200	123300	61650
4				
5				
6				
Mittelwert [$D_{gem,200}$]				60858
Standardabweichung [s]				2662
Charakteristischer Wert [$D_{kar,200}$]				51886

Der charakteristische Wert wurde aus dem Mittelwert abzüglich 3,37 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 14-04-2021 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.

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

Prüfungsnr.	L [mm]	L ₀ [mm]	F _{bruch} [N]	D ₁₀₀ [N]
1	1000	55	38314	36207
2	1000	55	37435	35376
3	1000	55	38918	36778
4	1000	55	37990	35901
5	1000	55	38793	36659
6	1000	55	36069	34085
Mittelwert [D _{gem,200}]				35834
Standardabweichung [s]				998
Charakteristischer Wert [D _{kar,200}]				33658

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