

krafton® brugdekplank 400.80

Beoordeling conform bouwbesluit

Opdrachtgever : krafton®
Uitvoering : Ing. M. Snoek
Geautoriseerd : Ing. D.A. Mager
Rapport nr. : R_10696-1
Versie : 3
Datum : 29-08-2023

Inhoudsopgave

1	Samenvatting.....	4
2	Productomschrijving.....	8
2.1	Geometrische eigenschappen	8
2.2	Mechanische eigenschappen.....	9
3	Eisen.....	10
3.1	Normen en aanbevelingen.....	10
3.2	Nationaal bijlage Nederland	10
3.3	Belastingen.....	11
3.4	Vereisten	13
3.5	Belastingcombinaties	15
4	Symbolen	18
5	Verificatie toelaatbare overspanning op 2 steunpunten	19
5.1	Eigengewicht.....	19
5.2	Verdeelde mobiele belasting	20
5.3	Puntlast	22
5.4	Dienstvoertuig 50kN	24
5.5	Sneeuw.....	33
5.6	Onbedoeld voertuig	35
5.7	Samenvatting	42
6	Verificatie toelaatbare overspanning op 3 of meer steunpunten.....	44
6.1	Eigengewicht.....	44
6.2	Verdeelde mobiele belasting	45
6.3	Puntlast	47
6.4	Dienstvoertuig 50kN	50
6.5	Sneeuw.....	55
6.6	Onbedoeld voertuig	56
6.7	Samenvatting	61
7	Comfort.....	63
8	Conclusie.....	64
	Bijlage A : Eigenschappen brugdekplank.....	65
A.1	Samenvatting	65
A.2	Test.....	66
A.2.1	Omschrijving testen	66
A.3	Testresultaten	67
A.3.1	Buigmodulus	68
A.3.2	Buigsterkte 2 steunpunten	69
A.3.3	Buigsterkte meerveld.....	70
A.3.4	Afschuifsterkte.....	71
A.3.5	Afschuifsterkte voor een puntlast op 200x200 mm	72
A.3.6	Afschuifsterkte voor een puntlast op 100x100 mm	73

Versie management

Versie	Opmerkingen	Datum
1	Eerste versie	11-01-2023
2	Afschuifcontrole puntlast en voertuigen aangepast	24-02-2023
3	Toevoeging alternatieve dienstvoertuigen	29-08-2023

1 Samenvatting

Met de mechanische eigenschappen is de maximale overspanning van de brugdekplank bepaald voor de belastingen uit de EN1991-2 en voor verschillende doorbuigingseisen. De volgende situaties zijn gerapporteerd:

Meerdere enkelvelden:



Eén enkelveld:

(Plank = volledige brugbreedte)



(Meerdere) meervelden¹:



De maximale overspanningsadviezen voor plank 400.80 zijn:

	Meerdere enkelvelden	Eén enkelveld	(Meerdere) meervelden
Zonder voertuigen	3420 mm	3420 mm	4470 mm
Alleen dienstvoertuig 50kN	2000 mm	2330 mm	2330 mm
Alleen dienstvoertuig 100kN	1410 mm	2070 mm	1780 mm
Alleen dienstvoertuig 160kN	1120 mm	1960 mm	1670 mm
Alleen dienstvoertuig 200kN	1000 mm	1920 mm	1240 mm
Alleen onbedoeld voertuig	2170 mm	2170 mm	2170 mm
Dienst- (50kN) en onbedoeld voertuig	2000 mm	2170 mm	2170 mm

Op de volgende pagina's staan de resultaten van de maximale overspanningsadviezen in grafiekvorm gepresenteerd. Wanneer een overspanning gekozen wordt in combinatie met een doorbuigingseis die onder de relevante lijnen in de grafiek ligt, voldoet de krafton® 400.80 aan de gestelde eisen aan een brugdekplank cf. bouwbesluit voor toepassing als fiets – voetgangersbrugdek in gevolgklasse CC2.

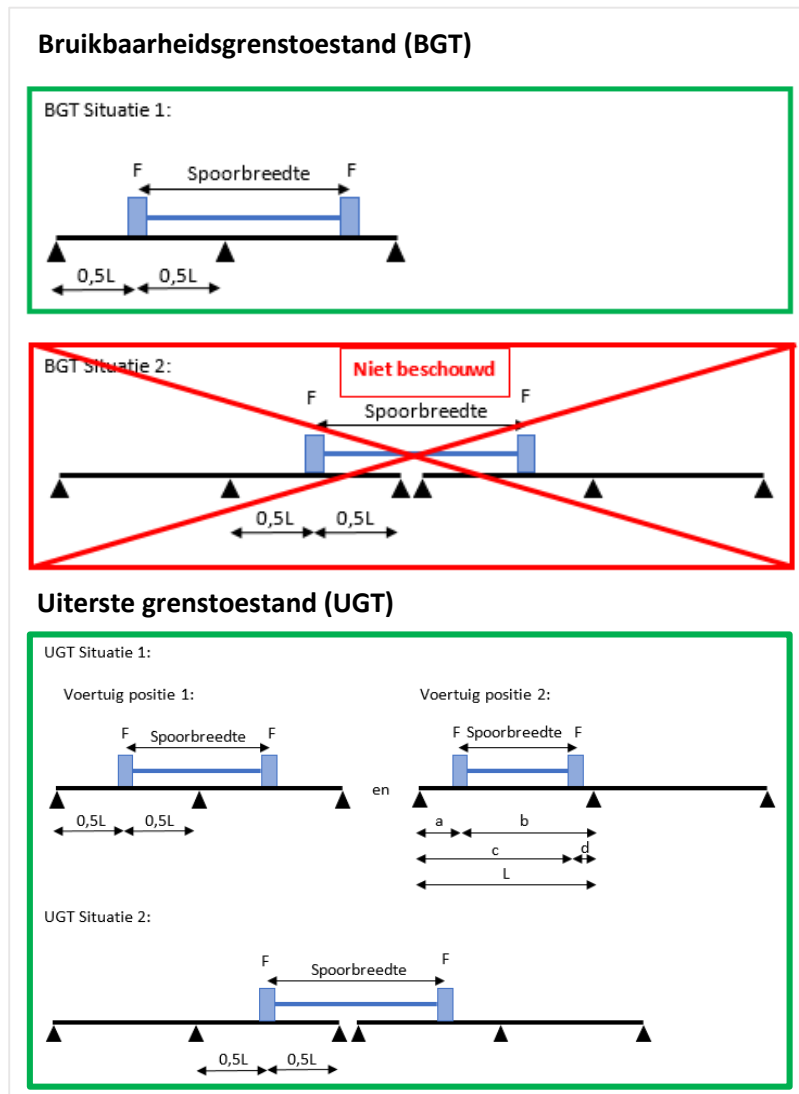
De analyse voor 3 of meer steunpunten gaat uit van steunpunten op gelijke afstanden van elkaar.

De maximaal toelaatbare uitkraging voor elke situatie is 350 mm.

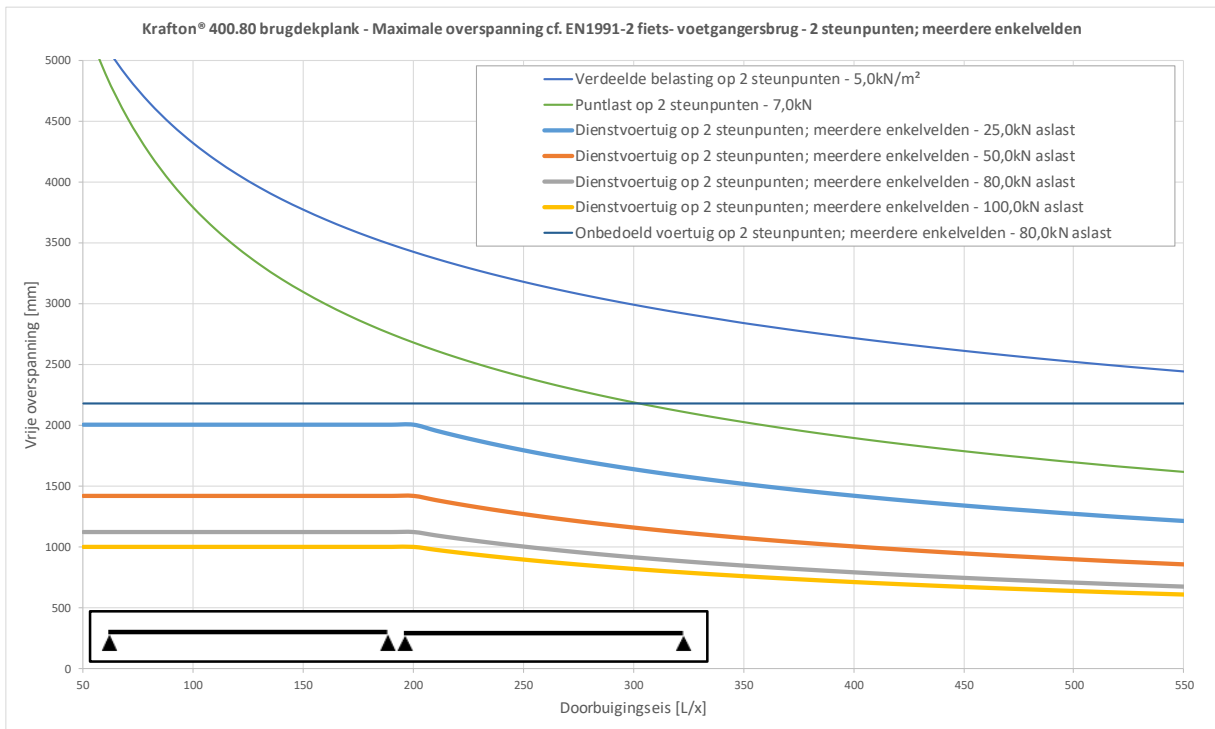
¹ Een meerveld is een situatie waarbij de brugdekplank ononderbroken doorloopt over minimaal 3 steunpunten. Ter plaatse van de steunpunten wordt een verbinding gebruikt die de plank voldoende fixeert in verticale richting, zowel omhoog als omlaag.

Let op:

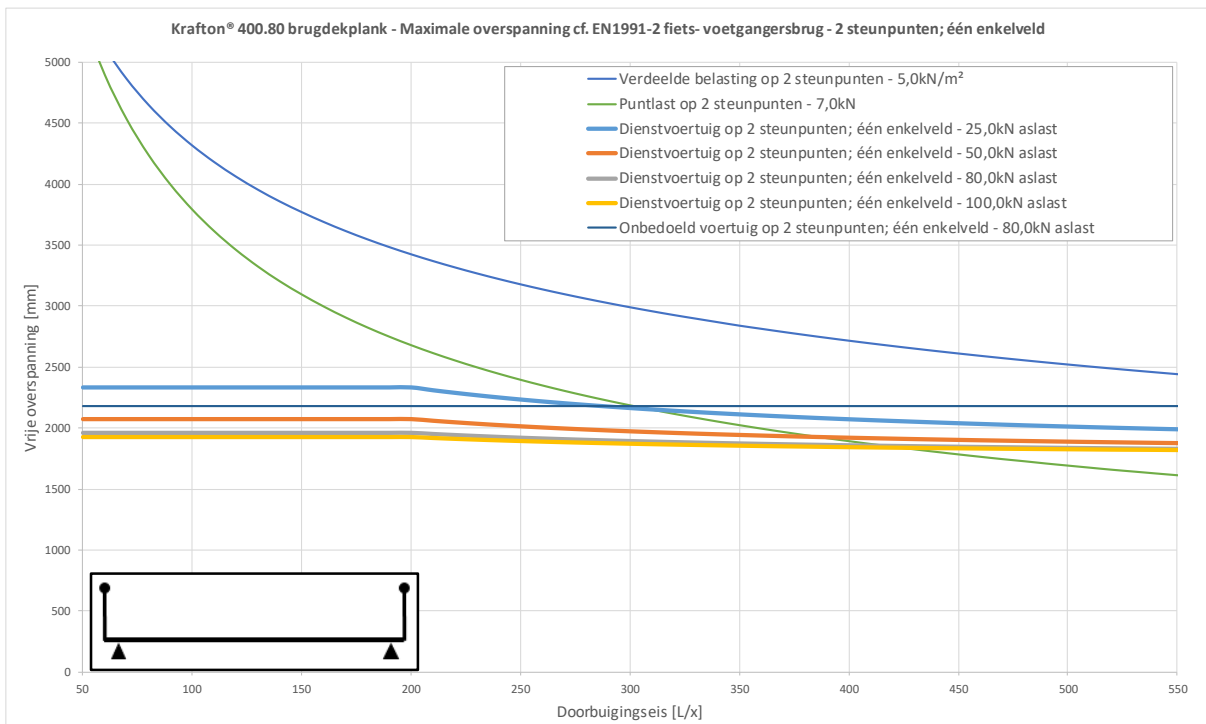
- Voor het dienstvoertuig is een minimale doorbuigingseis van $L/200$ gehanteerd.
- Beschouwing doorbuiging “dienstvoertuig 3 of meer steunpunten” conform figuur 1. Niet beschouwd conform situatie 2 – bij situatie 2 dient een aanvullende toetsing gedaan te worden.



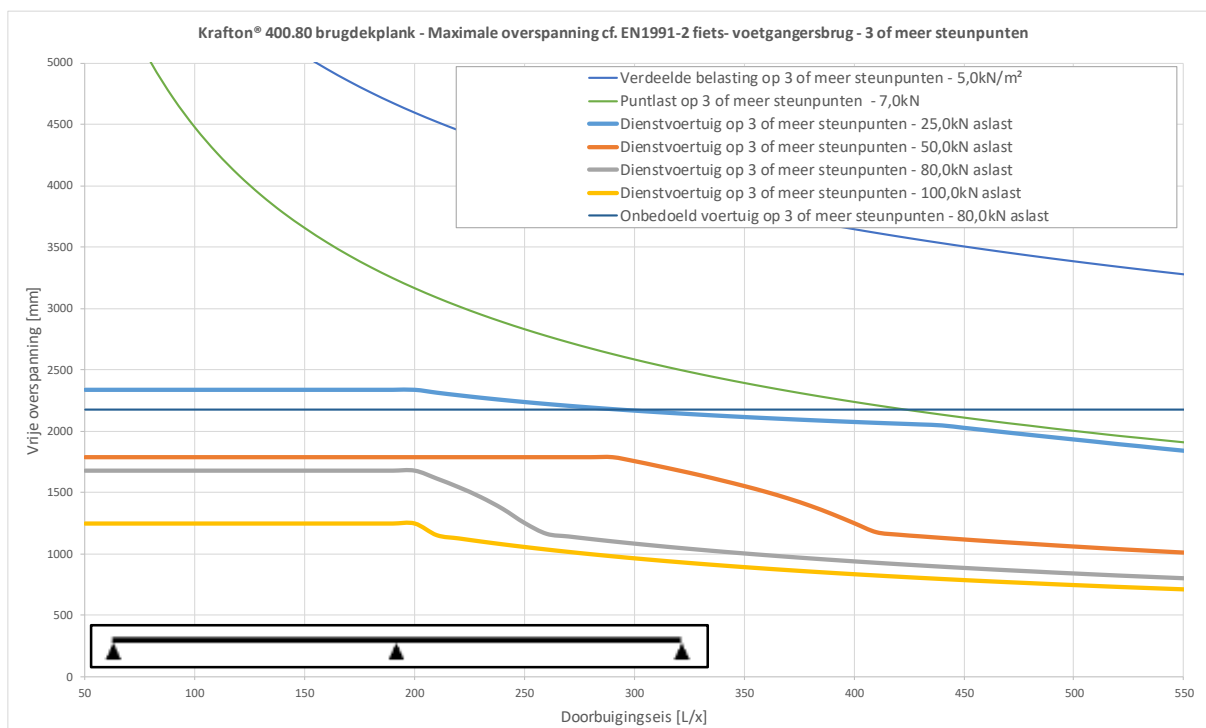
figuur 1: Beschouwde situaties dienst- en onbedoeld voertuig meerveld in BGT en UGT



figuur 2: Maximale overspanning als functie van de doorbuigingseis; 2 steunpunten; meerdere enkelvelden



figuur 3: Maximale overspanning als functie van de doorbuigingseis; 2 steunpunten; één enkelveld



figuur 4: Maximale overspanning als functie van de doorbuigingseis; 3 of meer steunpunten

Neem voor vragen of speciale toepassingen contact op met:

krafton®

Markweg Zuid 34
4794 SN Heijningen

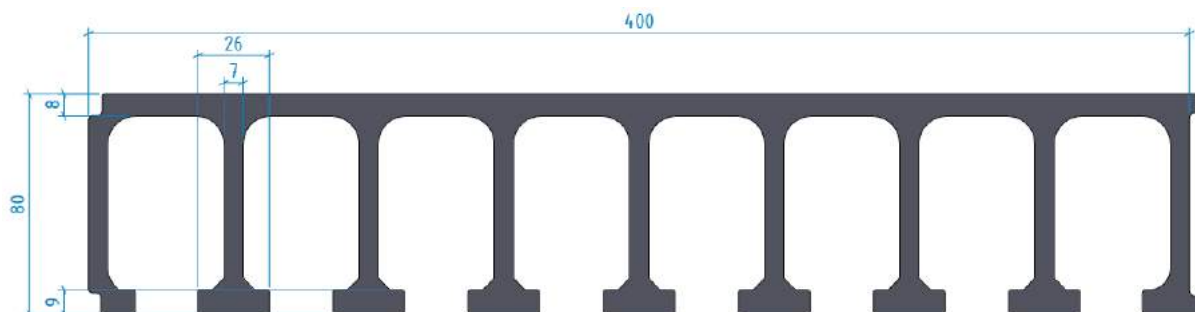
T +31 (0) 168227510

E / info@krafton.nl

2 Productomschrijving

Gepultrudeerde, glasvezelversterkte polyester brugdekplank.

In figuur 5 is de dwarsdoorsnede van de plank weergegeven.



figuur 5: Geometrie plank 400.80

2.1 Geometrische eigenschappen

Breedte	b	400 mm
Hoogte	h	80 mm
Aantal ribben	n	9 -
Afstand tussen de ribben	d	42,125 mm
Oppervlak	A	9586 mm ²
Afschuifoppervlak	A _s	4455 mm ²
Traagheidsmoment	I	8048641 mm ⁴
Weerstandsmoment	W	176245 mm ³
Gewicht plank	G	47,9 kg/m ²

2.2 Mechanische eigenschappen

De karakteristieke mechanische eigenschappen zijn weergegeven in tabel 1, volledige mechanische eigenschappen zijn te vinden in Bijlage A.

tabel 1: Karakteristieke mechanische eigenschappen

		Eenheid	krafton® 400.80
Elasticiteitsmodulus	($E_{b, kar}$)	N/mm ²	32154
Buigspanning ²	($\sigma_{b, kar}$)	N/mm ²	293
Afschuifspanning	(τ_{kar})	N/mm ²	50,5
Dwarskracht op 100x100	($D_{kar, 100}$)	N	81138
Dwarskracht op 200x200	($D_{kar, 200}$)	N	120646

² Laagste waarde van enkelveldstesten en meerveldstesten.

3 Eisen

3.1 Normen en aanbevelingen

De brugdekplank is beoordeeld volgens de volgende normen en aanbevelingen.

Norm	Titel	Versie
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 Nationaal bijlage Nederland

Norm	Titel	Versie
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 Belastingen

3.3.1 Permanente belasting (G)

De permanente belasting op het brugdek komt voort uit het eigen gewicht van de brugdekplanken en de slijtlaag. De volgende massa's zijn aangehouden.

GVK brugdekplanken	47,9 kg/m ²	
Slijtlaag	13,0 kg/m ²	
Totaal permanente belasting	60,9 kg/m ² =	0,609 kN/m ² [G]

3.3.2 Veranderlijke belasting (Q)

3.3.2.1 Mobiele belasting

Verdeelde mobiele belasting	5,0 kN/m ²	[Qf]
Puntlast	7,0 kN	[Qf;w]
Afmeting puntlast	100 x 100 mm ²	
Dienstvoertuig 50kN		
As 1	25,0 kN	[Qd]
Wielprint	250 x 250 mm ²	
As 2	25,0 kN	
Wielprint	250 x 250 mm ²	
Spoorbreedte	1750 mm	
Wielbasis	3000 mm	
Dienstvoertuig 100kN		
As 1	50,0 kN	[Qd]
As 2	50,0 kN	
Dienstvoertuig 160kN		
As 1	80,0 kN	[Qd]
As 2	80,0 kN	
Dienstvoertuig 200kN		
As 1	100,0 kN	[Qd]
As 2	100,0 kN	

Wielprint, spoorbreedte en wielbasis van dienstvoertuig 100kN, 160kN en 200kN is gelijk aan dienstvoertuig 50kN

3.3.2.2 Sneeuw

Maximaal mogelijke sneeuwlast	0,7 kN/m ²	
Maximale vormfactor voor gesloten leuning	2 -	
Maximale sneeuwlast	1,4 kN/m ²	[Qs]

3.3.3 **Bijzondere belasting (A)**

Onbedoeld voertuig met de volgende eigenschappen:

Onbedoeld voertuig van 12 ton

As 1	80,0 kN	[Aov]
Wielprint	200 x 200 mm	
As 2	40,0 kN	
Wielprint	200 x 200 mm	
Spoorbreedte	1300 mm	
Wielbasis	3000 mm	

3.4 Vereisten

3.4.1 Vereisten t.a.v. bruikbaarheid grenstoestand

De doorbuigingseis is per project apart te bepalen.

De verificatie berekening is gerapporteerd voor een doorbuigingsadvies.

De eis wordt gesteld aan de bijkomende doorbuiging.

Alle doorbuigingseisen tot en met een eis van L/550 zijn berekend en gerapporteerd in figuur 2, figuur 3 en figuur 4.

De volgende doorbuigingsadviezen worden gehanteerd:

- L/200 Verdeelde mobiele belasting
- L/100 Puntlast
- L/200 Dienstvoertuig
- Geen doorbuigingsadvies voor overige belastingen beschouwd

3.4.2 Comfort

De gehanteerde comforteis is aangehouden cf. JRC document “JRC 53443 human induced vibrations”.

Gewenst comfort niveau CL1.

Maximaal toelaatbare versnelling is $0,5 \text{ m/s}^2$. Dit is gegarandeerd wanneer de eigenfrequentie boven de 5Hz ligt. Dit wordt aangehouden als minimale eis.

3.4.3 Vereisten t.a.v. uiterste grenstoestand

Sterkte eis conform CUR 96:

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

E_d	Rekenlast
R_k	Karakteristieke weerstand
η_c	Conversie factor
γ_M	Materiaal factor

Gezien η_c afhankelijk is van de belasting duur wordt deze in de belastingcombinatie meegenomen.

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

3.4.4 Materiaalfactor

De CUR “Aanbeveling 96” schrijft materiaalfactoren voor met betrekking tot de eigenschappen van vezelversterkte kunststoffen die bij controle van de uiterste grenstoestand in rekening gebracht moeten worden. Deze waarden zijn geldig voor nageharde laminaten geproduceerd door middel van pultrusie.

γ_{M1} is de partiele materiaalfactor gekoppeld aan geometrische afwijkingen en modelonzekerheden in het verkrijgen van de juiste materiaaleigenschappen.

γ_{M2} is de partiele materiaalfactor die onzekerheden in de sterkte-eigenschappen van het materiaal verdisconteert en die afhankelijk is van de spreiding in materiaaleigenschappen.

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

$$\gamma_{M1} = 1,15 \quad \text{Op sterkte}$$

$$\gamma_{M2} = 1,20 \quad \text{Voor pultrusie}$$

Resultierend:

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

3.5 Belastingcombinaties

3.5.1 Conversiefactoren

De CUR “Aanbeveling 96” 2019 schrijft conversiefactoren voor met betrekking tot de eigenschappen van vezelversterkte kunststoffen die bij controle van de verschillende grenstoestanden in rekening gebracht moeten worden.

De conversiefactor verdisconteert voorziene effecten van temperatuur, tijd, omgevingsinvloeden (vocht, zonlicht), tijdsduur van de belasting en cyclische belastingen op de materiaaleigenschappen. De conversiefactor kan per type belasting (korte- of lange duur) verschillend zijn. De conversiefactor η_c , is opgebouwd uit:

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

η_{ct}	=	1,0	Temperatuur effecten (BGT)
η_{ct}	=	0,9	Temperatuur effecten (UGT)
η_{cm}	=	0,9	Effecten van water(damp)
$\eta_{cv,kort}$	=	1,0	Kruip korte duur (1 uur)
$\eta_{cv,middel}$	=	0,8	Kruip middellange duur (3 maanden)
$\eta_{cv,lang}$	=	0,67	Kruip lange duur (100 jaar)
η_{cf}	=	0,9	Vermoeiingseffecten

Afhankelijk van de belastingduur en soort analyse worden de conversiefactoren, conform CUR “Aanbeveling 96” 2019, gecombineerd. Deze volgende conversiefactoren worden op de belastingen in rekening gebracht.

Analyse van vervormingen (bruikbaarheidsgrenstoestand):

$\eta_{c,kort}$	=	0,81
$\eta_{c,middel}$	=	0,65
$\eta_{c,lang}$	=	0,54

Analyse van sterkte (uiterste grenstoestand):

$\eta_{c,kort}$	=	0,81
$\eta_{c,middel}$	=	0,65
$\eta_{c,lang}$	=	0,54

3.5.2 Belastingfactoren

De belastingfactoren in de bruikbaarheidsgrenstoestand zijn gelijk aan 1.0

De belastingfactoren in de uiterste grenstoestand zijn aangehouden conform gevolgklasse **CC2**

tabel 2: Belastingfactoren conform EN1991 NB

Gevolgklasse	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 Combinaties bruikbaarheidsgrenstoestand

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

Waarin:	η_c	conversiefactor sterkte cf. CUR 96; 2019
	G	permanente belasting (eigen gewicht)
	Q_i	veranderlijke belasting 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 Combinaties uiterste grenstoestand

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

Waarin:	$\gamma_{G;sup}$	belastingsfactor permanente belasting cf. N1990/NB
	η_c	conversiefactor sterkte cf. CUR 96; 2019
	γ_Q	belastingsfactor variabele belasting cf. N1990/NB
	G	permanente belasting (eigen gewicht)
	Q_i	veranderlijke belasting 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 Symbolen

y	=	verticale doorzakking [mm]
F	=	puntlast [N]
q	=	verdeelde belasting lijnlast [N/mm]
L	=	vrije overspanning [mm]
E_b	=	buigmodulus [N/mm ²]
I	=	traagheidsmoment [mm ⁴]
σ_b	=	optredende buigspanning [N/mm ²]
W	=	weerstandsmoment [mm ³]
$\sigma_{b, kar}$	=	karakteristieke buigsterkte [N/mm ²]
γ_m	=	materiaal afminderingsfactor [-]
τ	=	optredende schuifspanning [N/mm ²]
A_s	=	afschuif oppervlak [mm ²]
b_o	=	breedte puntlast oppervlak [mm]
L_o	=	lengte puntlast oppervlak [mm]
L_s	=	spoorbreedte [mm]
D	=	optredende dwarskracht [N]
τ_{kar}	=	karakteristieke schuifsterkte [N/mm ²]
$D_{kar, i}$	=	karakteristieke weerstand tegen afschuiving tgv een puntlast [N]

5 Verificatie toelaatbare overspanning op 2 steunpunten

5.1 Eigengewicht

Dit belastingsgeval is niet maatgevend en is verder niet beschouwd.

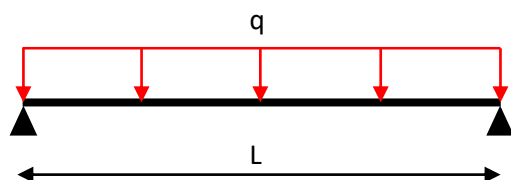
5.2 Verdeelde mobiele belasting

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

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Verdeelde mobiele belasting	5,0 kN/m ²
G	0,244 N/mm
Q _f	2,0 N/mm
Maximale overspanning bij L/200	3420 mm

q _{BGT2}	2,47 N/mm
q _{UGT2}	3,87 N/mm

De berekening hanteert de volgende situatie:



5.2.1 BGT 2

Verificatie op doorbuiging:

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

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

Verificatie op buigspanning:

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

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

Verificatie op afschuiving:

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

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

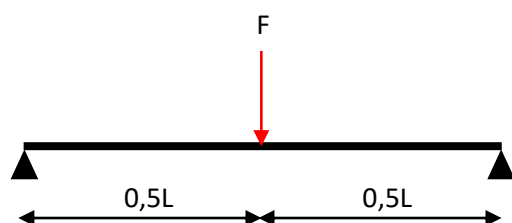
5.3 Puntlast

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

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Puntlast op 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,244 N/mm
Maximale overspanning L/100	3790 mm

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

De berekening hanteert de volgende situatie:



5.3.1 BGT 3

Verificatie op doorbuiging:

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

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

Verificatie op buigspanning:

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

F	11667 N
q	0,541 N/mm
L	3790 mm
W	176245 mm ³
σ_{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

Verificatie op afschuiving:

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

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 Dienstvoertuig 50kN

De berekeningen van dienstvoertuig 100kN, 160kN en 200kN zijn uitgevoerd conform dezelfde berekening. Voor resultaten wordt verwezen naar hoofdstuk 1-Samenvatting.

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

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

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Puntlast op 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,244 N/mm
Spoorbreedte	1750 mm
Maximale overspanning situatie 1 L/200	2000 mm
Maximale overspanning situatie 2 L/200	2330 mm

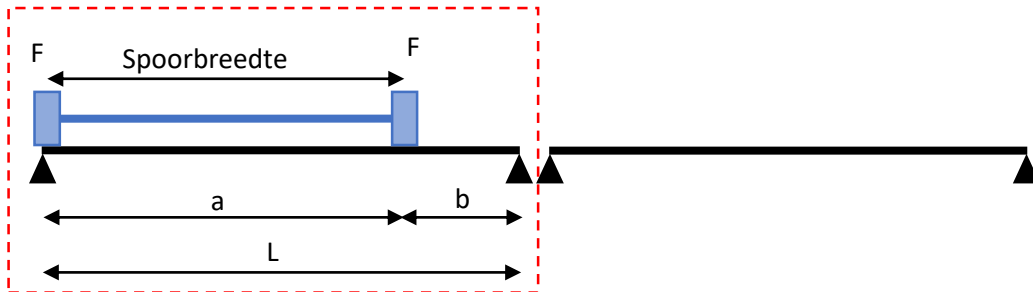
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,541 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

De berekening hanteert de volgende situaties:

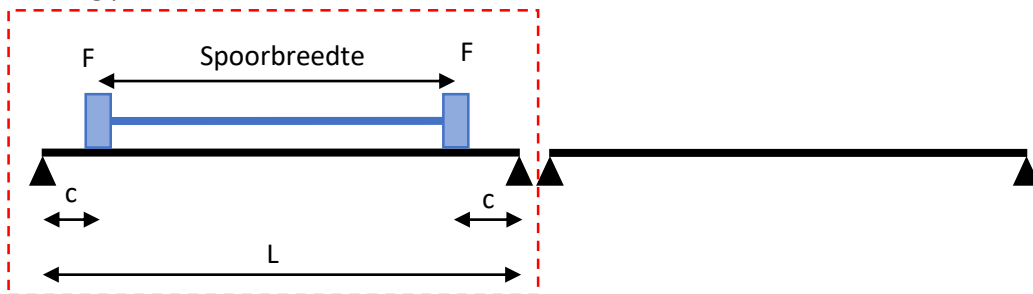
Situatie 1: meerdere enkelvelden

Situatie 1 beschrijft de situatie waarbij het voertuig op meerdere planken kan staan. Deze planken liggen op twee steunpunten. De enkelvelden binnen de rode rechthoeken worden beschouwd.

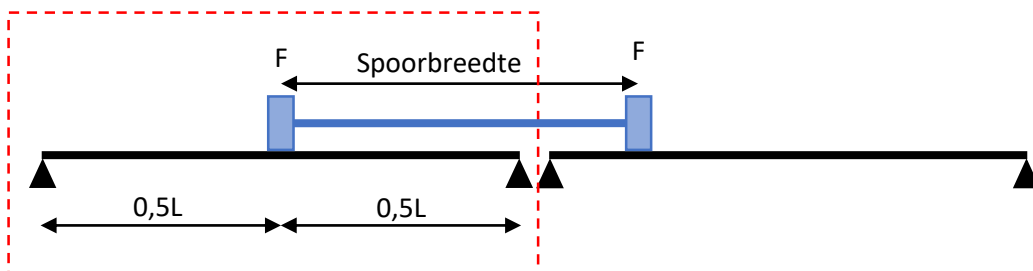
Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



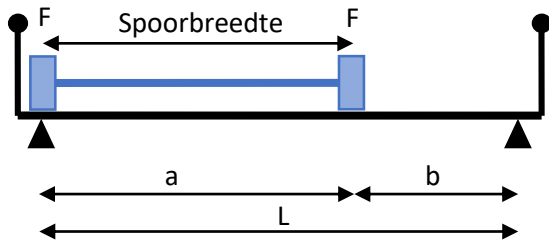
Voertuig positie 3:



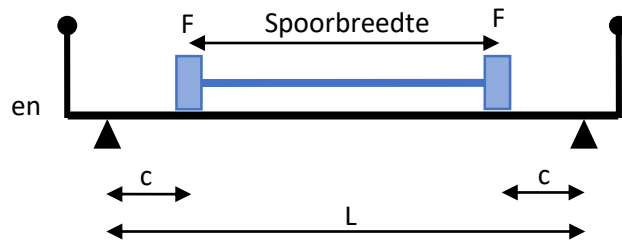
Situatie 2: één enkelveld $L > L_s$

Situatie 2 beschrijft de situatie waarbij geldt dat één plank gelijk is aan de totale breedte van de brug. Hier worden twee posities bekeken, deze zijn hieronder weergegeven. De meest kritische positie wordt gerapporteerd, dit is afhankelijk van de totale lengte L , spoorbreedte L_s en de toelaatbare doorbuiging.

Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



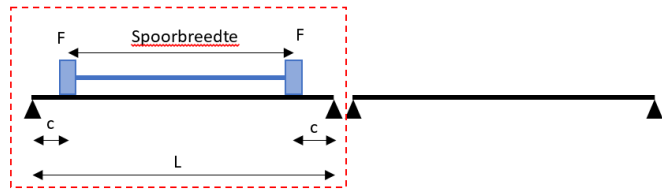
5.4.1 BGT 4 situatie 1

Verificatie op doorbuiging:

De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

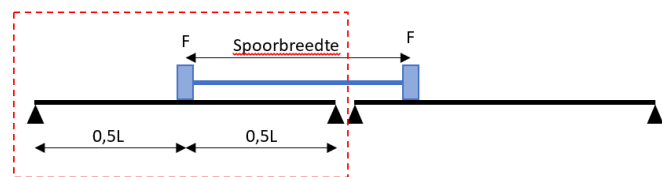
Voertuig positie 2:



De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig positie 3 is:

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

Voertuig positie 3:



De maximaal optredende doorbuiging in situatie 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

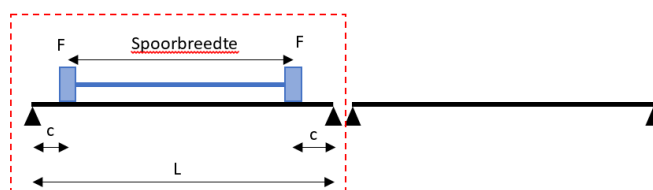
5.4.2 UGT 4 situatie 1

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

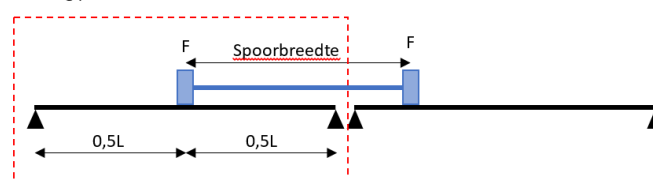
Voertuig positie 2:



De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 3 is:

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

Voertuig positie 3:



De maximaal optredende buigspanning in situatie 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

Verificatie op afschuiving:

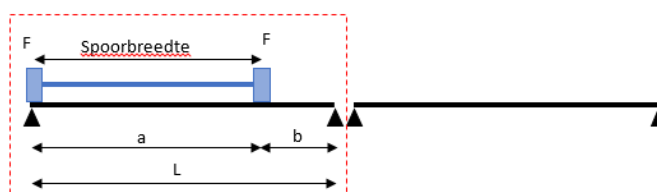
$$D_{kar;250} > D_{kar;200}$$

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

De tweede term in de formule hierboven wordt enkel gebruikt wanneer $L > L_s + L_0$ (wanneer de overspanning groter is dan de spoorbreedte + wielbreedte). Wanneer $L < L_s + L_0$, dan is de tweede term in de formule hierboven gelijk aan 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

Voertuig positie 1:



5.4.3 BGT 4 situatie 2

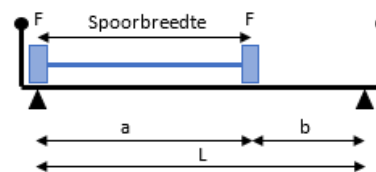
Verificatie op doorbuiging:

De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig positie 1 is:

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

Deze maximale doorbuiging is op locatie: $x = \sqrt{\frac{a}{3} \times (a + 2b)}$ als $a > b$

Voertuig positie 1:



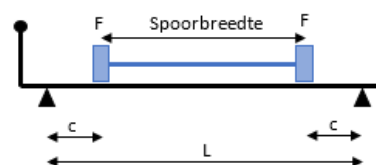
De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

De maximaal optredende doorbuiging in situatie 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

Voertuig positie 2:



5.4.4 UGT 4 situatie 2

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 1 is:

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

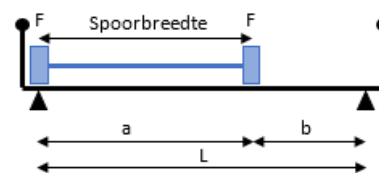
De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

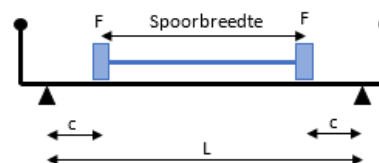
De maximaal optredende buigspanning in situatie 2:

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

Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



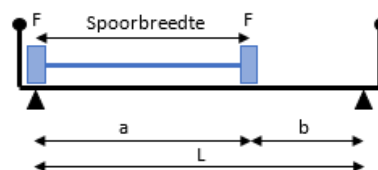
Verificatie op afschuiving:

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

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

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

Voertuig positie 1:



5.5 Sneeuw

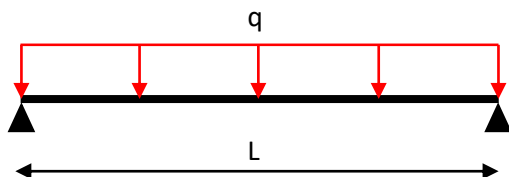
De maximaal toelaatbare overspanning is gelimiteerd op 5000 mm.

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

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Verdeelde belasting	1,4 kN/m ²
G	0,244 N/mm
Q _s	0,6 N/mm
Maximale overspanning	5000 mm

q_{UGT5} 1,83 N/mm

De berekening hanteert de volgende situatie:



5.5.1 UGT 5

Verificatie op buigspanning:

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

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

Verificatie op afschuiving:

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

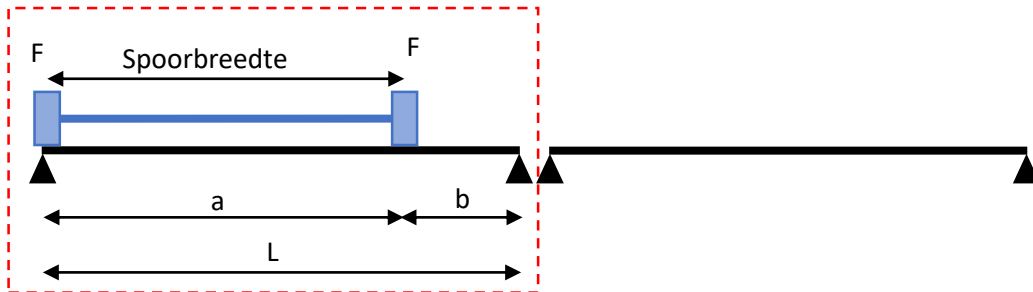
q	1,83 N/mm
L	5000 mm
A _s	4455 mm ²
τ _{kar.}	50,5 N/mm ²
γ _m	1,38 -
τ _{optr.}	0,5 N/mm ²
τ _{toel.}	36,6 N/mm ²
u.c.	0,01 OK

De berekening hanteert de volgende situaties:

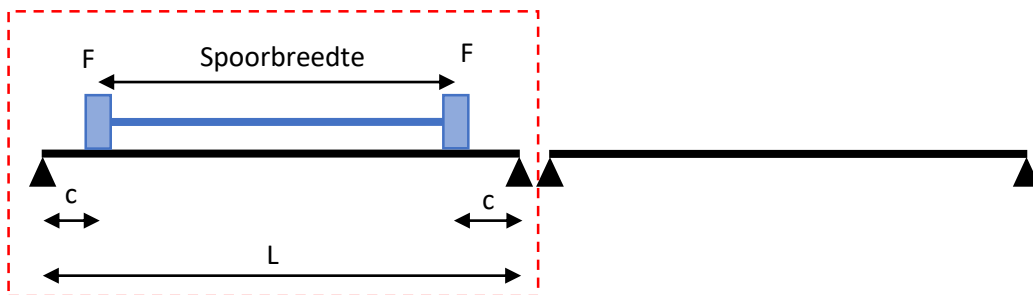
Situatie 1: meerdere enkelvelden

Situatie 1 beschrijft de situatie waarbij het voertuig op meerdere planken staat. Deze planken liggen op twee steunpunten. Het enkelveld binnen het rode vierkant wordt beschouwd.

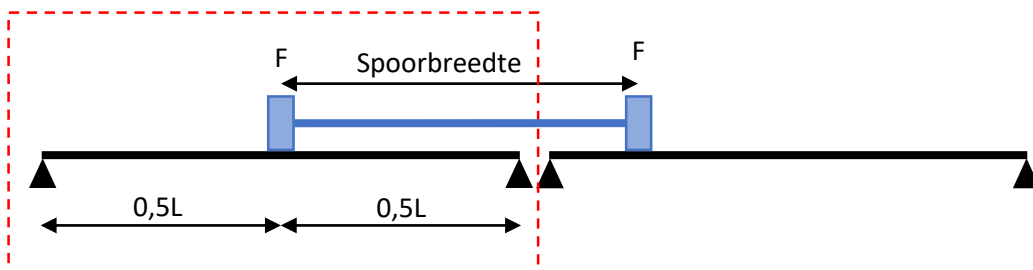
Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



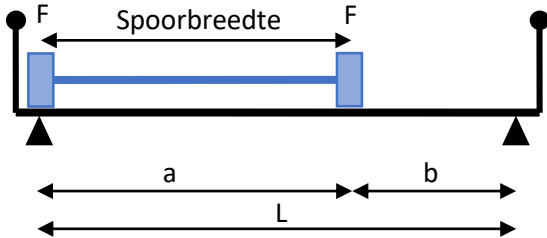
Voertuig positie 3:



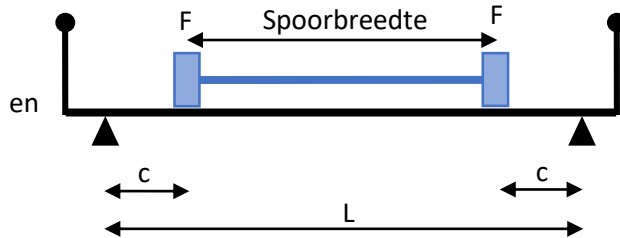
Situatie 2: één enkelveld $L > L_s$

Situatie 2 beschrijft de situatie waarbij geldt dat één plank gelijk is aan de totale breedte van de brug. Hier worden twee posities bekeken, deze zijn hieronder weergegeven. De meest kritische positie wordt gerapporteerd, dit is afhankelijk van de totale lengte L , spoorbreedte L_s en de toelaatbare doorbuiging.

Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



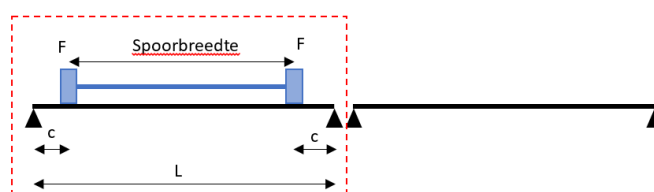
5.6.1 UGT 6 situatie 1

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig positie 2 is:

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

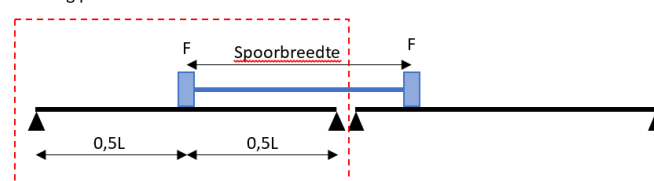
Voertuig positie 2:



De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig positie 3 is:

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

Voertuig positie 3:



De maximaal optredende buigspanning in situatie 1:

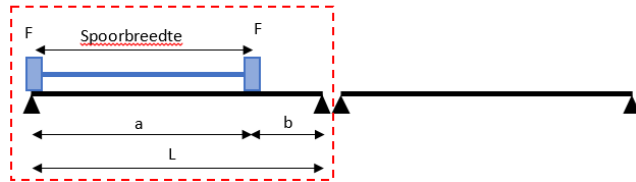
F	66667 N
q	0,541 N/mm
L	2170 mm
c	435 mm
W	176245 mm ³
$\sigma_{kar.}$	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	166 N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	207 N/mm ²
$\sigma_{optr;max}$	207 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	212 N/mm ²
u.c.	0,98 OK

Verificatie op afschuiving:

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

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

Voertuig positie 1:



5.6.2 UGT 6 situatie 2

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig positie 1 is:

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

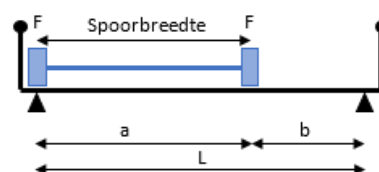
De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig positie 2 is:

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

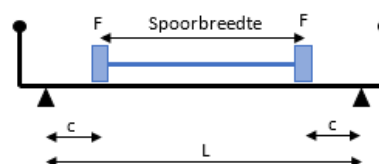
De maximaal optredende buigspanning van situatie 2:

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

Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:

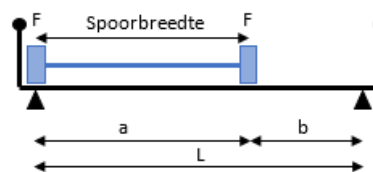


Verificatie op afschuiving:

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

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

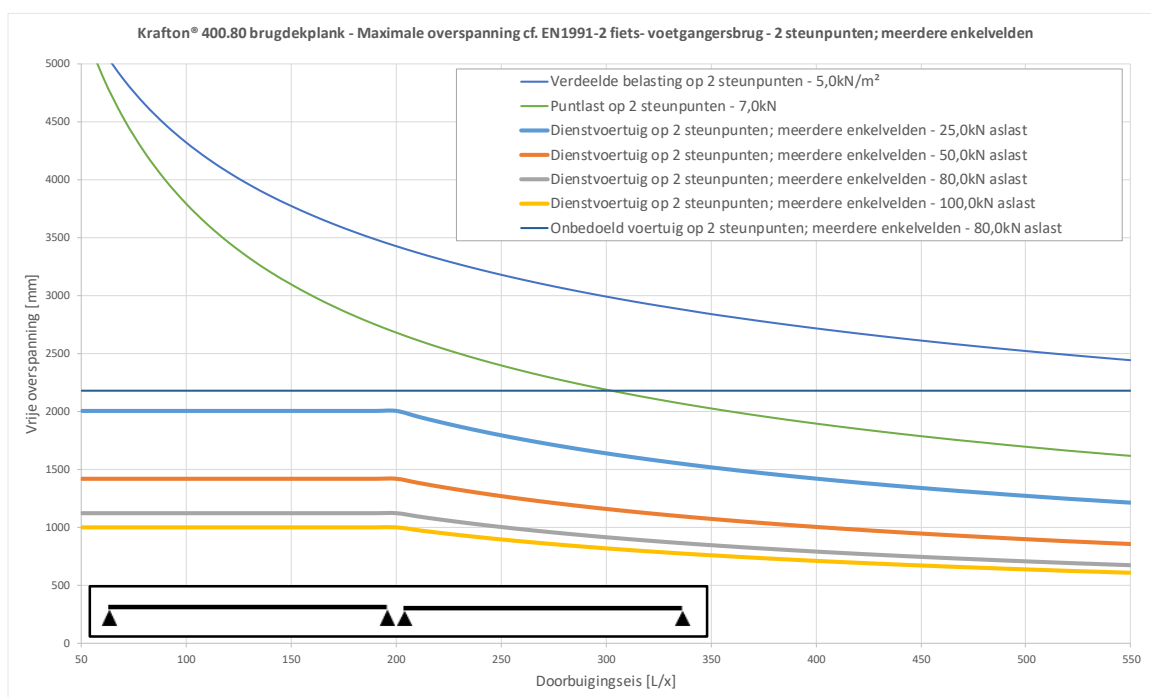
Voertuig positie 1:



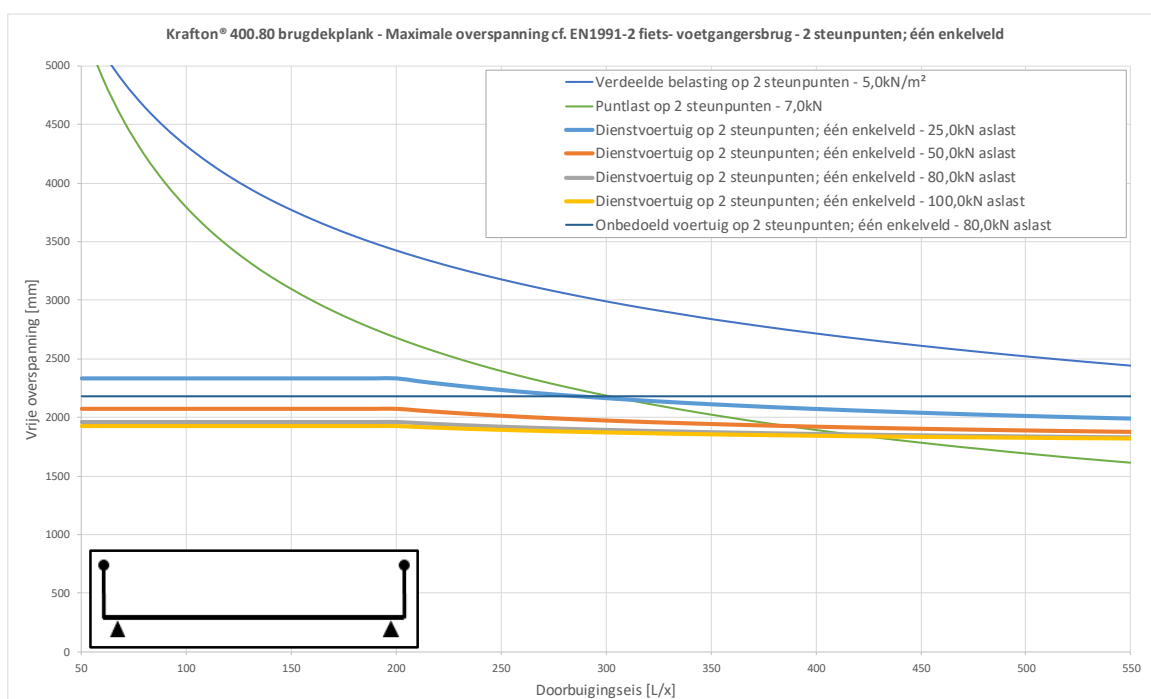
5.7 Samenvatting

De plank is geverifieerd voor elk belastinggeval. De maximale overspanning is bepaald met de eerdergenoemde sterkte-eisen en voor de doorbuigingseisen tot en met $L/550$. Voor elk geval is de maximale overspanning weergegeven in figuur 6 en figuur 7.

Tenzij anders vermeld is de berekening gedaan voor een ligger vrij opgelegd op twee steunpunten.



figuur 6: Maximale overspanning in functie van de doorbuigingseis; 2 steunpunten; meerdere enkelvelden



figuur 7: Maximale overspanning in functie van de doorbuigingseis; 2 steunpunten; één enkelveld

De overspanningen zijn berekend met de volgende belastingen:

- Verdeelde belasting 5,0 kN/m²
- Puntlast 7,0 kN
- Dienstvoertuig 5 ton, 10 ton, 16 ton, 20 ton
- Onbedoeld voertuig 12 ton

Let op:

Voor het dienstvoertuig is een minimale doorbuigingseis van L/200 gehanteerd.

6 Verificatie toelaatbare overspanning op 3 of meer steunpunten

6.1 Eigengewicht

Dit belastingsgeval is niet maatgevend en is verder niet beschouwd.

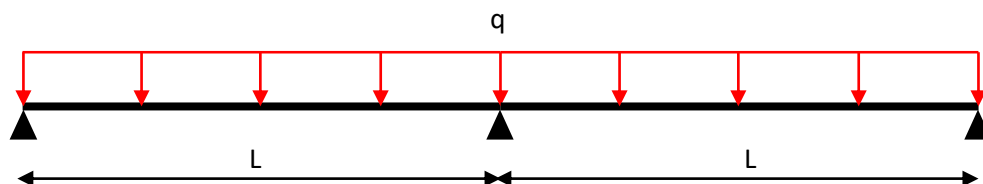
6.2 Verdeelde mobiele belasting

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

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Verdeelde belasting	5,0 kN/m ²
G	0,244 N/mm
Q _f	2,0 N/mm
Maximale overspanning L/200	4590 mm

q _{BGT2}	2,47 N/mm
q _{UGT2}	3,87 N/mm

De berekening hanteert de volgende situatie:



6.2.1 BGT 2

Verificatie op doorbuiging:

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

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

De sterkte verificatie wordt conservatief versimpeld naar een éénvelds-overspanning.

Verificatie op buigspanning:

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

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

Verificatie op afschuiving:

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

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

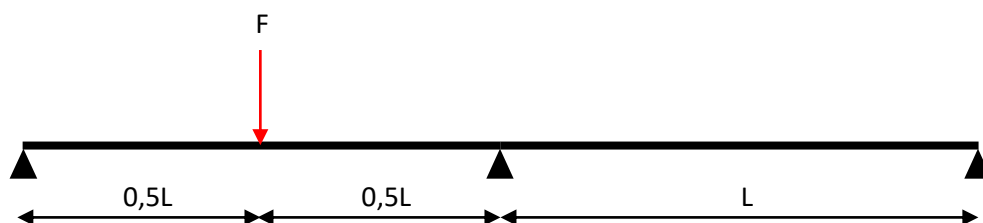
6.3 Puntlast

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

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Puntlast op 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,244 N/mm
Maximale overspanning L/100	4470 mm

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

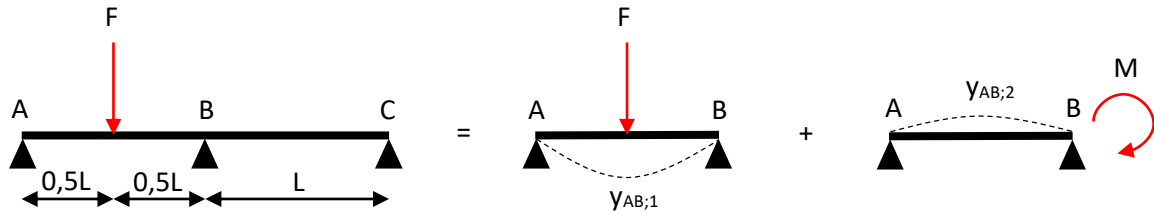
De berekening hanteert de volgende situatie:



6.3.1 BGT 3

Verificatie op doorbuiging:

De doorbuiging bij $x=0,5L$ is representatief voor de maximale doorbuiging³.



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

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

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

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

³ De locatie van de maximale doorbuiging is in werkelijkheid niet $x=0,5L$. Door deze aanname wordt een maximale fout van 2% geïntroduceerd. Gezien doorbuiging geen effect heeft op de veiligheid is deze versimpeling acceptabel.

6.3.2 UGT 3

De sterkte verificatie wordt conservatief versimpeld naar een éénvelds-overspanning.

Verificatie op buigspanning:

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

F	11667 N
q	0,541 N/mm
L	4470 mm
W	176245 mm ³
σ_{kar} .	293 N/mm ²
γ_m	1,38 -
σ_{optr} .	82 N/mm ²
σ_{toel} .	212 N/mm ²
u.c.	0,38 OK

Verificatie op afschuiving:

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

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 Dienstvoertuig 50kN

De berekeningen van dienstvoertuig 100kN, 160kN en 200kN zijn uitgevoerd conform dezelfde berekening. Voor resultaten wordt verwezen naar hoofdstuk 1-Samenvatting.

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

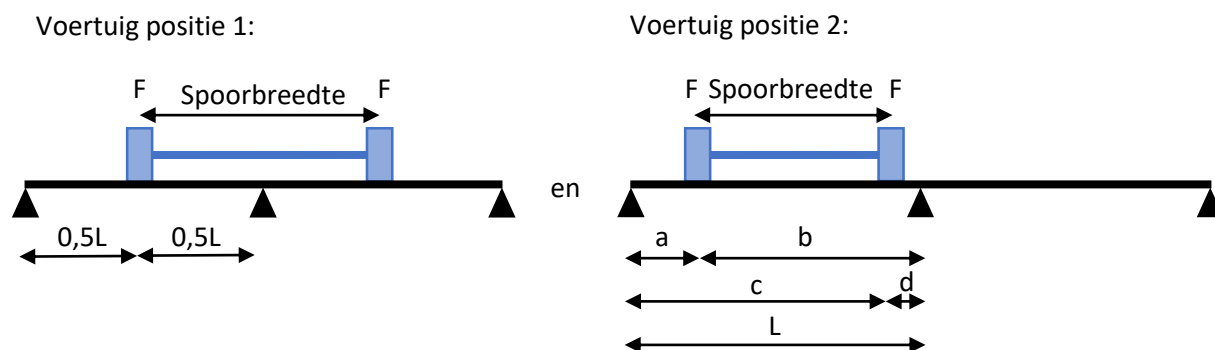
$$\text{UGT 4} \quad 1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Qd$$

Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Puntlast op 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,244 N/mm
Spoorbreedte	1750 mm
Maximale overspanning L/200	2330 mm

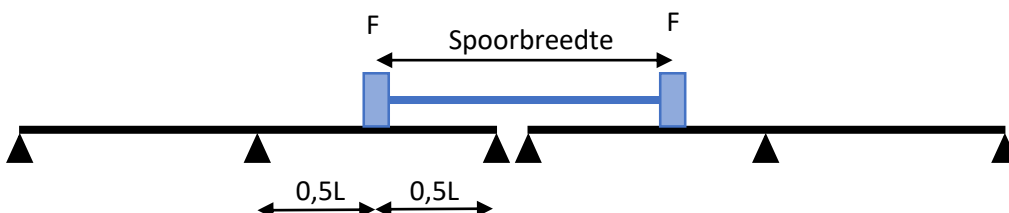
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,541 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

De berekening hanteert de volgende situaties:

Situatie 1:



Situatie 2:

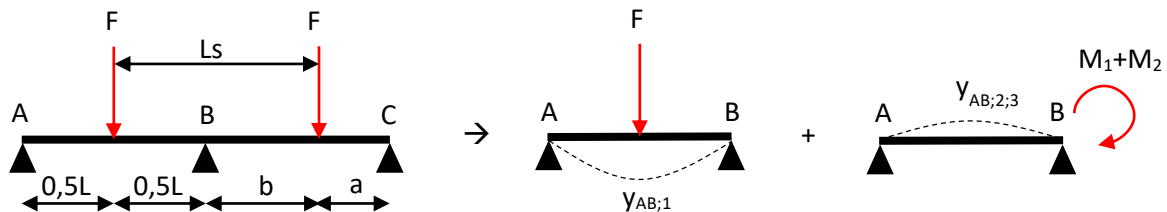


6.4.1 BGT 4

Verificatie op doorbuiging:

De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig situatie 1 positie 1 is:

De doorbuiging bij $x = 0,5L$ is representatief voor de maximale doorbuiging⁴.



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

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

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

M_2 is alleen verkrijgbaar bij $a > 0$, ofwel $L > 2/3L_s$. In de situatie waarin geldt: $a < 0$ wordt F in M_2 als $0kN$ beschouwd.

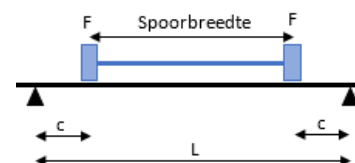
⁴ De locatie van de maximale doorbuiging is in werkelijkheid niet $x=0.5L$. Door deze aanname wordt een maximale fout van 2% geïntroduceerd. Gezien doorbuiging geen effect heeft op de veiligheid is deze versimpeling acceptabel.

De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig situatie 1 positie 2 is:

Deze berekening is conservatief versimpeld naar één enkelveld:

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

Voertuig positie 2:



De maximaal optredende doorbuiging in situatie 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

Voor de verificatie op doorbuiging is situatie 2 **ONGUNSTIGER**, deze is weinig voorkomend en daarom niet beschouwd. Mocht dit wel nodig zijn, dan dient een aparte analyse te worden uitgevoerd.

6.4.2 UGT 4

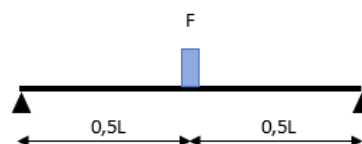
De sterkte verificatie wordt conservatief versimpeld naar een éénvelds-overspanning en geldt voor alle beschouwde situaties.

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 1 is:

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

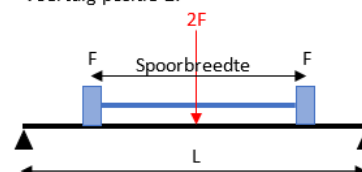
Voertuig positie 1:



De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

Voertuig positie 2:



Beide puntlasten zijn conservatief samengevoegd naar 1 puntlast in het midden. Deze positie treedt enkel als: spoorbreedte > L

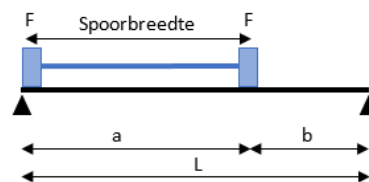
De maximaal optredende buigspanning:

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

Verificatie op afschuiving:

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

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



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

6.5 Sneeuw

De sterkte verificatie wordt conservatief versimpeld naar een éénvelds-overspanning. De uitwerking van deze versimpeling is beschreven in het hoofdstuk van de éénvelds-overspanning. Hoofdstuk 5.5.

6.6 Onbedoeld voertuig

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

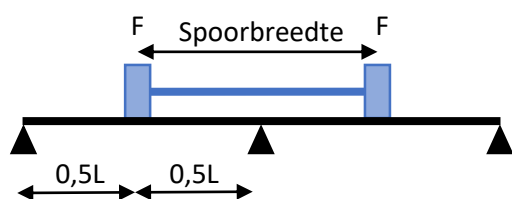
Plank draagvlak breedte	0,400 m
Eigengewicht	0,609 kN/m ²
Puntlast op 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,244 N/mm
Spoorbreedte	1300 mm
Maximale overspanning	2170 mm

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

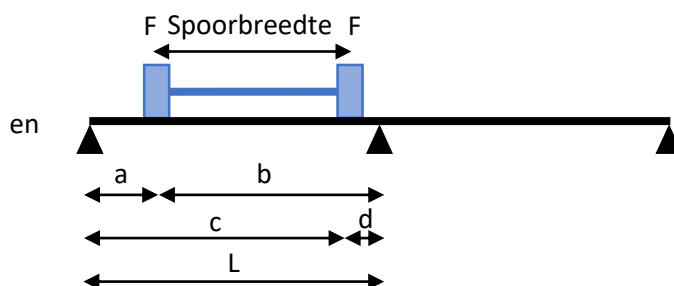
De berekening hanteert de volgende situaties:

Situatie 1:

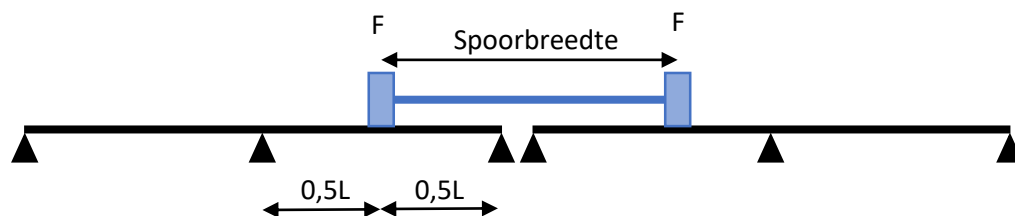
Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



Situatie 2:



6.6.1 UGT 6

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor het onbedoeld voertuig situatie 1 positie 1 is gunstiger dan situatie 2 en is daarom niet beschouwd.

De maximale buigspanning voor het onbedoeld voertuig situatie 1 positie 2 is:

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

Buigspanning locatie a t.g.v. wiel 1:

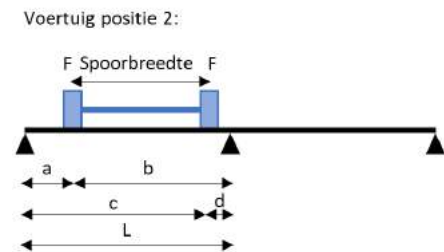
$$\sigma_{b;1} = \frac{F \times a \times b}{4 \times L^2 \times W} \times (4 \times L^2 - a \times (L + a))$$

Buigspanning locatie a t.g.v. wiel 2:

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

Buigspanning locatie a t.g.v. eigengewicht:

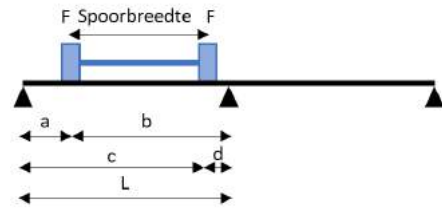
$$\sigma_{b;3} = \frac{3 \times q \times L \times a - 4 \times q \times a^2}{8 \times W}$$



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

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

Voertuig positie 2:



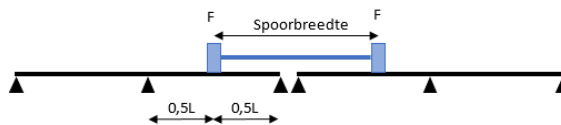
De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig situatie 2 is:

De buigspanning bij $x=0.5L$ is representatief voor de maximale buigspanning⁵.

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

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

Situatie 2:



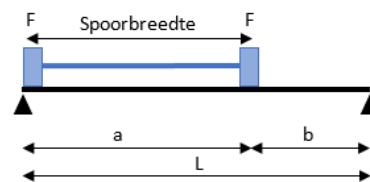
⁵ De locatie van de maximale buigspanning is in werkelijkheid niet $x=0.5L$. Door deze aanname wordt een fout van 2% geïntroduceerd. Om deze foutmarge te compenseren wordt een maximale u.c. van 0,98 gehanteerd.

Verificatie op afschuiving:

De verificatie op afschuiving wordt conservatief versimpeld naar een éénvelds-overspanning.

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

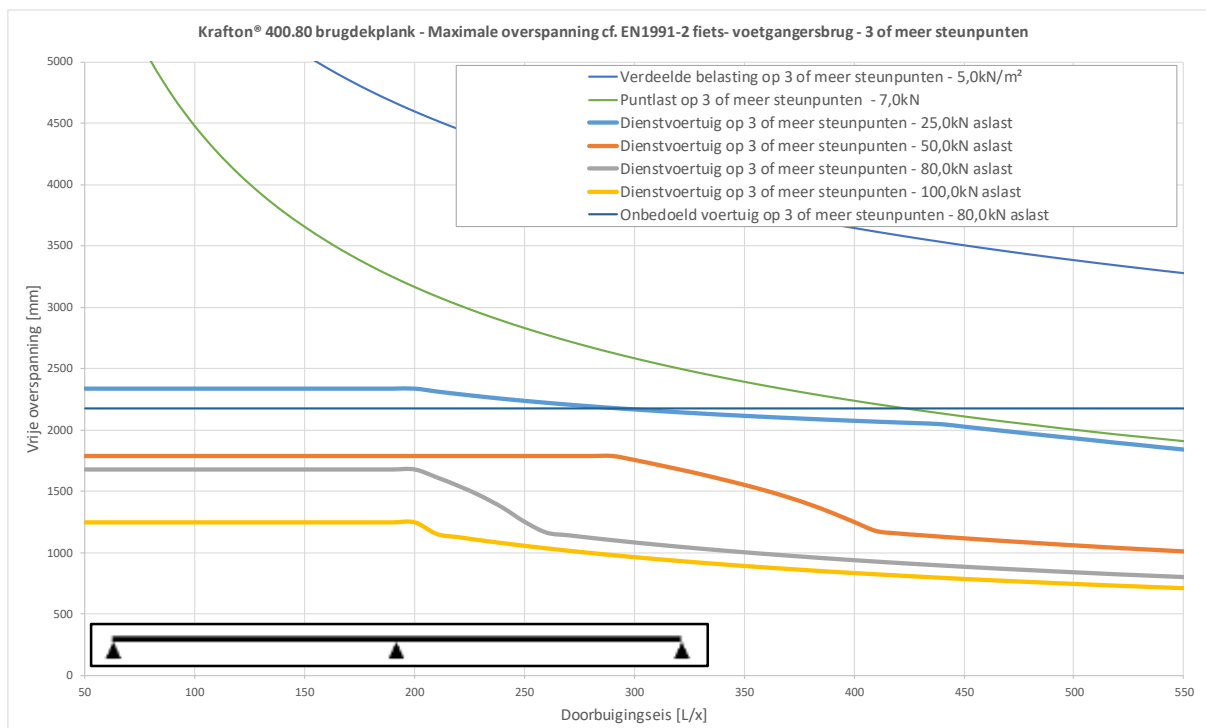
F	66667 N
L	2170 mm
b	870 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	120646 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	87250 N
D _{toel.}	87425 N
u.c.	1,00 OK



6.7 Samenvatting

De plank is geverifieerd voor elk belastinggeval. De maximale overspanning is bepaald met de eerdergenoemde sterkte-eisen en voor de doorbuigingseisen tot en met L/550. Voor elk geval is de maximale overspanning weergegeven in figuur 8.

Tenzij anders vermeld is de berekening gedaan voor een ligger vrij opgelegd op drie steunpunten.



figuur 8: Maximale overspanning in functie van de doorbuigingseis; 3 of meer steunpunten

De overspanningen zijn berekend met de volgende belastingen:

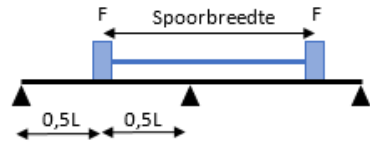
- Verdeelde belasting 5,0 kN/m²
- Puntlast 7,0 kN
- Dienstvoertuig 5 ton, 10 ton, 16 ton, 20 ton
- Onbedoeld voertuig 12 ton

Let op:

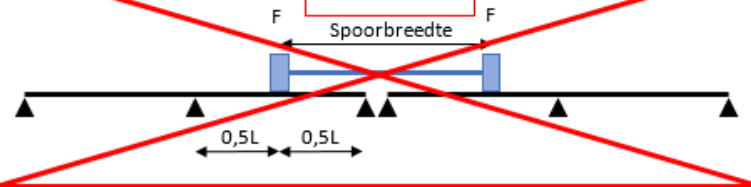
- Voor het dienstvoertuig is een minimale doorbuigingseis van L/200 gehanteerd.
- Beschouwing doorbuiging dienstvoertuig conform figuur 9.
Niet beschouwd conform situatie 2 – bij situatie 2 dient een aanvullende toetsing gedaan te worden.

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

BGT Situatie 1:



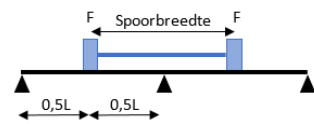
BGT Situatie 2:



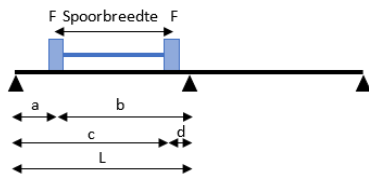
Uiterste grenstoestand (UGT)

UGT Situatie 1:

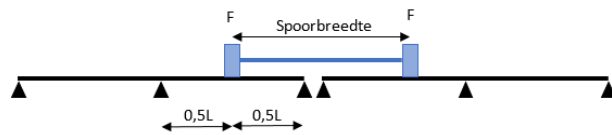
Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



UGT Situatie 2:



figuur 9: Beschouwde situaties dienst- en onbedoeld voertuig meerveld in BGT en UGT

7 Comfort

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

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

Plank draagvlak breedte	w	0,400 mm
Eigengewicht	q	0,609 N/mm
Gravitatieversnelling	g	9,81 m/s ²
Vrije overspanning	L	5300 mm
Buigstijfheid	EI	2,59E+11 Nmm ²
Conversiefactor comfort	η_c	0,81 -
Factor voor oplegging	C	9,87 -
	$f_{\text{optr.}}$	5,14 Hz
	$f_{\text{toel.}}$	5,00 Hz
	u.c.	0,97 OK

De overspanning van de plank bij de 5Hz limiet is 5300 mm, deze is hoger dan de maximale overspanningen in de andere belastingsituaties.

De comforteis is niet maatgevend.

8 Conclusie

De krafton® 400.80 mm brugdekplank voldoet aan het bouwbesluit wanneer een overspanning en een doorbuigingseis gekozen wordt die valt onder de getoonde grafieken.

Neem voor vragen of speciale toepassingen contact op met:

krafton®

Markweg Zuid 34

4794 SN Heijningen

T +31 (0) 168227510

E / info@krafton.nl

Bijlage A : Eigenschappen brugdekplank

A.1 Samenvatting

In deze bijlage zijn de mechanische eigenschappen van de gepultrudeerde glasvezelversterkte krafton® 400.80 brugdekplank van BIJL gerapporteerd. De mechanische eigenschappen van de brugdekplank zijn bepaald door middel van testen. De eigenschappen zijn samengevat in tabel 3.

tabel 3: Mechanische eigenschappen

		Eenheid	Krafton® 400.80
Afmetingen	(b x h)	mm	400 x 80
Oppervlak	(A)	mm ²	9586
Afschuifoppervlak	(A _s)	mm ²	4455
Traagheidsmoment	(I)	mm ⁴	8048641
Weerstandsmoment	(W)	mm ³	176245
Gewicht	(G)	kg/m ²	47,9
Elasticiteitsmodulus	(E _{gem})	N/mm ²	32154
Buigspanning	(σ _{b,kar})	N/mm ²	293
Afschuifspanning	(τ _{kar})	N/mm ²	50,5
Profiel eigenschappen			
Buigstijfheid	(EI)	Nmm ² /mm	6,47E+08
Buigsterkte	(M _b)	Nmm/mm	128983
Afschuifsterkte	(D)	N/mm	563
Karakteristieke dwarskracht t.g.v. puntlast op 100x100	(D _{kar,100})	N	81138
Karakteristieke dwarskracht t.g.v. puntlast op 200x200	(D _{kar,200})	N	120646

A.2 Test

A.2.1 Omschrijving testen

De volgende testen zijn uitgevoerd:

- Bepaling van de buigstijfheid en de buigsterkte volgens EN ISO 14125
- Bepaling van de afschuifsterkte middels een 3 punts buigproef met lijnlast vlak naast de oplegging.
- Bepaling van de toelaatbare dwarskracht ten gevolge van een puntlast op 200mm x 200mm overeenkomstig de wielprint van een onbedoeld voertuig volgens EN1991-2 NB - Verkeersbelastingen op bruggen.
- Bepaling van de toelaatbare dwarskracht ten gevolge van een puntlast op 100mm x 100mm

A.3 Testresultaten

Volgens EN1990:2002 bijlage D geldt dat de karakteristieke sterkte waarde berekend wordt uit de gemiddelde sterkte waarde minus k_n maal de standaarddeviatie.

De waarden voor k_n worden aangehouden volgens tabel D1 in EN1990:2002.

Voor de karakteristieke stijfheid waarde geldt dat deze gelijk is aan de gemiddelde gemeten stijfheid waarde.

tabel 4 EN1990:2002 bijlage D Tabel 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 Buigmodulus

De mechanische eigenschappen zijn door krafton® getest, de testen zijn uitgevoerd op 01-07-2021.

De buigmodulus is bepaald door de helling te bepalen van de kracht-verplaatsings curve. De helling is bepaald door het nemen van twee punten op de grafiek en daar een lijn tussen te trekken. De punten zijn in het lineaire gedeelte van de curve gekozen. De E-modulus wordt berekend met de volgende formule:

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

Waarin:

Δy	=	Verplaatsing [mm]
ΔF	=	Kracht [N]
L	=	Overspanning [mm]
E_b	=	Buigmodulus [N/mm ²]
I	=	Traagheidsmoment [mm ⁴]

tabel 5: Testresultaten buigmodulus

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
Gemiddelde waarde [$E_{b, \text{gem}}$]				31158

A.3.2 Buigsterkte 2 steunpunten

De buigsterkte is berekend op basis van de test uitgevoerd op 01-07-2021 door krafton®.

De test waarden (F_{breuk}) worden gebruikt om de buigsterkte (σ_b) te bepalen middels de volgende formule:

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

Hierin is: L = overspanning zie tabel 6
W = weerstandsmoment 176245 mm³

tabel 6: Testresultaten buigsterkte 2 steunpunten

Sample nr.	L [mm]	F_{breuk} [N]	$\sigma_{b,min}$ [N/mm ²]
1	2000	171200	486
2	2000	162590	461
3	2000	163100	463
4	2000	156710	445
5	2000	171980	488
6	2000	175570	498
Gemiddelde [$\sigma_{b,gem}$]			474
Standaarddeviatie [s]			19
Karakteristieke waarde [$\sigma_{b,kar}$]			435

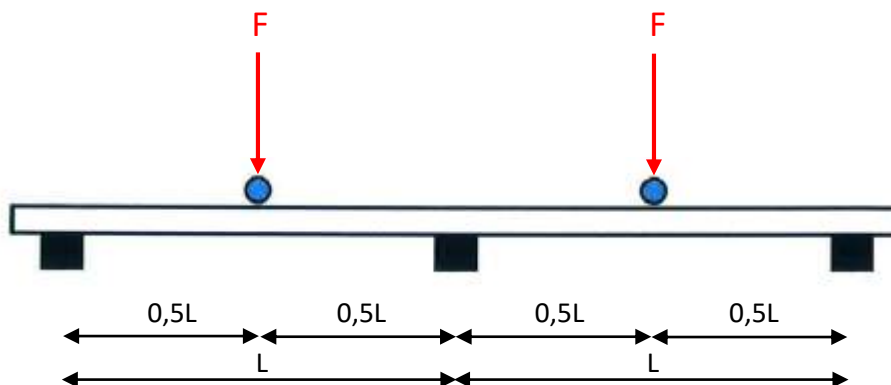
De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,09 x de standaarddeviatie.

A.3.3 Buigsterkte meerveld

De buigsterkte is berekend op basis van de test uitgevoerd op 03-02-2022 door SKZ.

De test waarden (F_{breuk}) worden gebruikt om de buigsterkte (σ_b) te bepalen middels de volgende formule:

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



figuur 10: Overzicht testopstelling meerveld

Hierin is: L = overspanning zie tabel 7
W = weerstandsmoment mm³

tabel 7: Testresultaten buigsterkte meerveld

Sample nr.	L [mm]	F _{breuk} [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
Gemiddelde [σ _{b,gem}]			342
Standaarddeviatie [s]			24
Karakteristieke waarde [σ _{b,kar}]			293

De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,09 x de standaarddeviatie.

A.3.4 Afschuifsterkte

De afschuifsterkte is berekend op basis van de test uitgevoerd op 26-11-2021 door krafton®.

De test waarden (F_{breuk}) worden gebruikt om de afschuifsterkte (τ) te bepalen middels de volgende formule:

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

De test is uitgevoerd bij een overspanning van $L = 1000\text{mm}$. De drukstempel vormt een lijnlast op het product en heeft een diameter van 100mm . De afstand tussen de stempel en de oplegging was $a = 80\text{mm}$.

Tabel 8: Testresultaten afschuifsterkte

Sample nr.	F_{breuk} [N]	τ [N/mm ²]
1	246570	50,9
2	249960	51,6
3	249970	51,6
4	249940	51,6
5		
6		
Gemiddelde waarde [τ_{gem}]		51,4
Standaarddeviatie [s]		0,3
Karakteristieke waarde [τ_{kar}]		50,5

De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus $2,63 \times$ de standaarddeviatie.

A.3.5 Afschuifsterkte voor een puntlast op 200x200 mm

De afschuifsterkte t.g.v. een puntlast op 200 x 200 is berekend op basis van de test uitgevoerd op 13-09-2022 door krafton®.

De test waarden (F_{breuk}) worden gebruikt om de afschuifsterkte (D_{200}) te bepalen middels de volgende formule:

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

Dit geldt enkel voor een belasting op 200x200 mm. De waarde l_0 is gelijk aan de helft van de lengte van het puntlastoppervlak, plus de afstand tussen de oplegging en de rand van de puntlast.

Tabel 9: Testresultaten afschuifsterkte puntlast op 200x200mm

Sample nr.	L [mm]	L ₀ [mm]	F _{breuk} [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				
Gemiddelde waarde [$D_{gem,200}$]				129773
Standaarddeviatie [s]				3917
Karakteristieke waarde [$D_{kar,200}$]				120646

De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,33 x de standaarddeviatie.

A.3.6 Afschuifsterkte voor een puntlast op 100x100 mm

De afschuifsterkte t.g.v. een puntlast op 100 x 100 is berekend op basis van de test uitgevoerd op 12-09-2022 door krafton®.

De test waarden (F_{breuk}) worden gebruikt om de afschuifsterkte (D_{100}) te bepalen middels de volgende formule:

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

Dit geldt enkel voor een belasting op 100x100 mm. De waarde L_0 is gelijk aan de helft van de lengte van het puntlastoppervlak, plus de afstand tussen de oplegging en de rand van de puntlast.

Tabel 10: Testresultaten afschuifsterkte puntlast op 100x100mm

Sample nr.	L [mm]	L_0 [mm]	F_{breuk} [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				
Gemiddelde waarde [$D_{gem,200}$]				84363
Standaarddeviatie [s]				1384
Karakteristieke waarde [$D_{kar,200}$]				81138

De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,33 de standaarddeviatie.