



krafton® brugdekplank 500.55

Beoordeling conform bouwbesluit

Opdrachtgever : krafton®
Uitvoering : Ing. J.H.A. Zijderveld
Geautoriseerd : Ing. D.A. Mager
Rapport nr. : R_10699-1
Versie : 2
Datum : 24-02-2023

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	12
3.5	Belastingcombinaties	14
4	Symbolen	17
5	Verificatie toelaatbare overspanning op 2 steunpunten	18
5.1	Eigengewicht.....	18
5.2	Verdeelde mobiele belasting	19
5.3	Puntlast	21
5.4	Dienstvoertuig.....	23
5.5	Sneeuw.....	32
5.6	Onbedoeld voertuig	34
5.7	Samenvatting	41
6	Verificatie toelaatbare overspanning op 3 of meer steunpunten.....	43
6.1	Eigengewicht.....	43
6.2	Verdeelde mobiele belasting	44
6.3	Puntlast	46
6.4	Dienstvoertuig.....	49
6.5	Sneeuw.....	54
6.6	Onbedoeld voertuig	55
6.7	Samenvatting	60
7	Comfort.....	62
8	Conclusie.....	63
	Bijlage A : Eigenschappen brugdekplank.....	64
A.1	Samenvatting	64
A.2	Test.....	65
A.2.1	Omschrijving testen	65
A.3	Testresultaten	66
A.3.1	Buigmodulus	67
A.3.2	Buigsterkte 2 steunpunten	68
A.3.3	Buigsterkte meerveld.....	69
A.3.4	Afschuifsterkte.....	70
A.3.5	Afschuifsterkte voor een puntlast op 200x200 mm	71
A.3.6	Afschuifsterkte voor een puntlast op 100x100 mm	72

Versie management

Versie	Opmerkingen	Datum
1	Eerste versie	13-10-2022
2	Extra situaties toegevoegd aan dienst- en onbedoeld voertuig	06-02-2023
3	Afschuifcontrole puntlast en voertuigen aangepast	24-02-2023

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 500.55 zijn:

	Meerdere enkelvelden	Eén enkelveld	(Meerdere) meervelden
Zonder voertuigen	2170 mm	2170 mm	2560 mm
Alleen dienstvoertuig	1140 mm	1970 mm	1730 mm
Alleen onbedoeld voertuig	1110 mm	1650 mm	1340 mm
Dienst- en onbedoeld voertuig	1110 mm	1650 mm	1340 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® 500.55 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 275 mm.

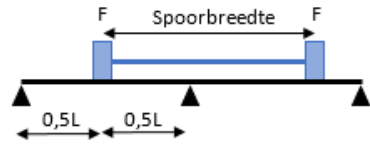
Let op:

- 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.

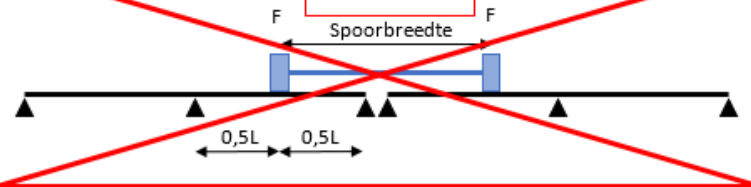
¹ Een meerveld is een situatie waarbij de brugdekplank ononderbroken doorloopt over minimaal 3 steunpunten. Ter plaatse van de steunpunten wordt een verbinding gebruikt die de plank voldoende fixeert in verticale richting, zowel omhoog als omlaag.

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

BGT Situatie 1:



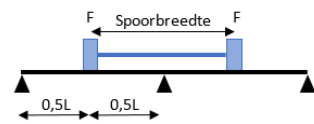
BGT Situatie 2:



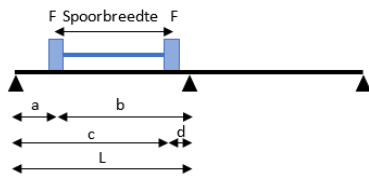
Uiterste grenstoestand (UGT)

UGT Situatie 1:

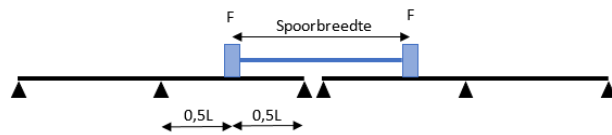
Voertuig positie 1:



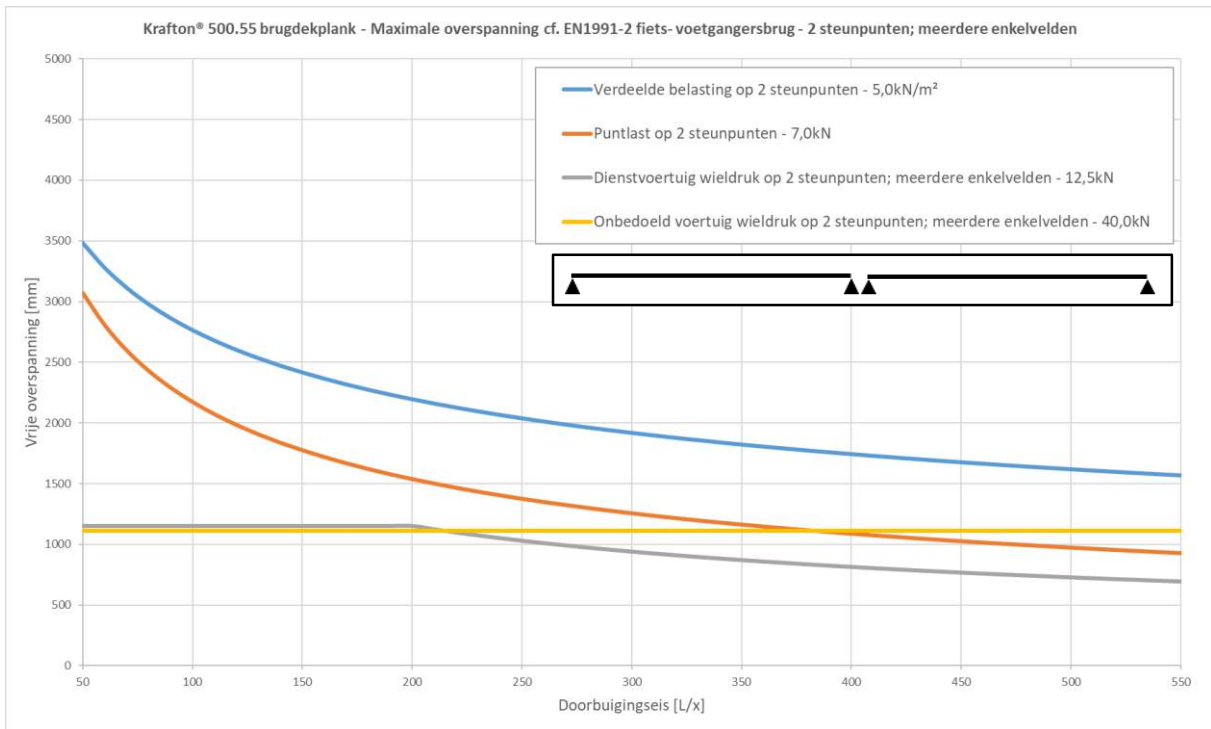
Voertuig positie 2:



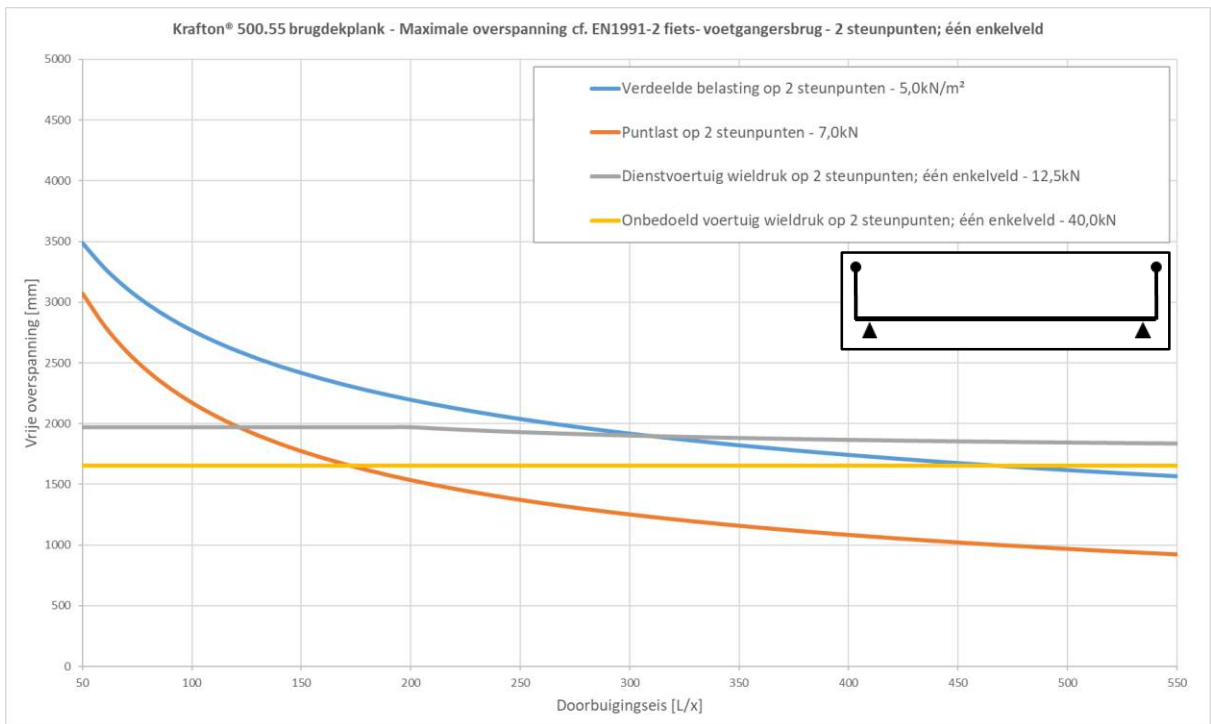
UGT Situatie 2:



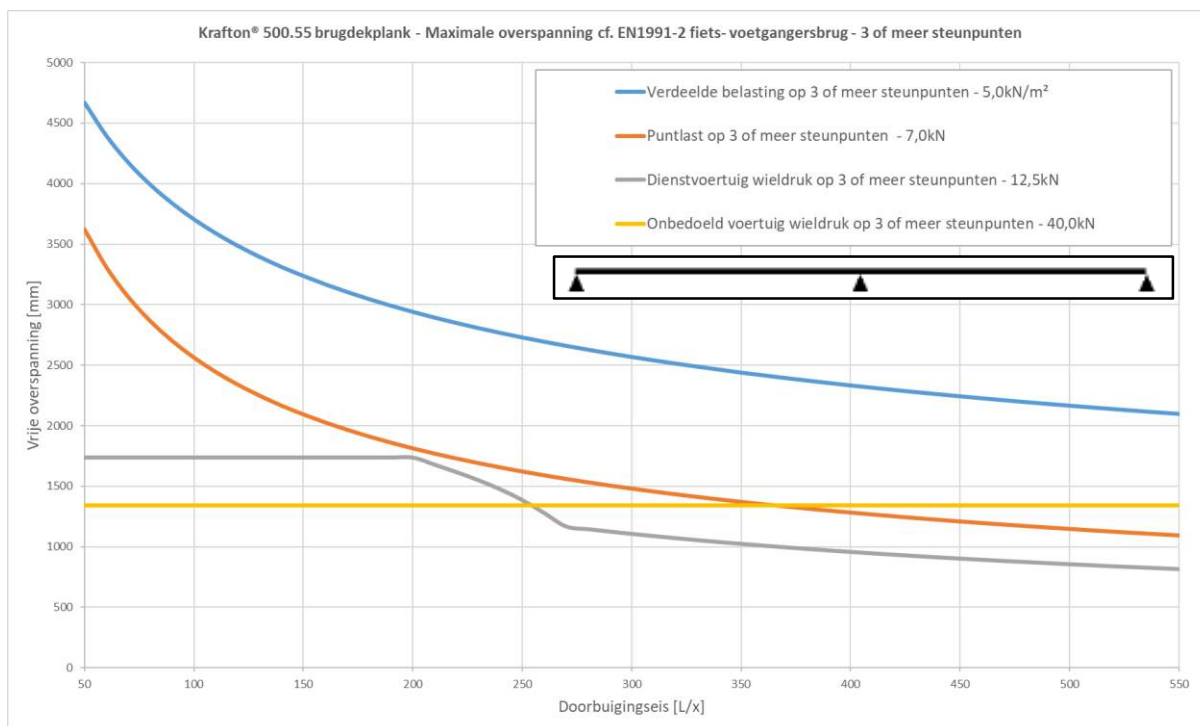
figuur 1: Beschouwde situaties dienst- en onbedoeld voertuig meerveld in BGT en UGT



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

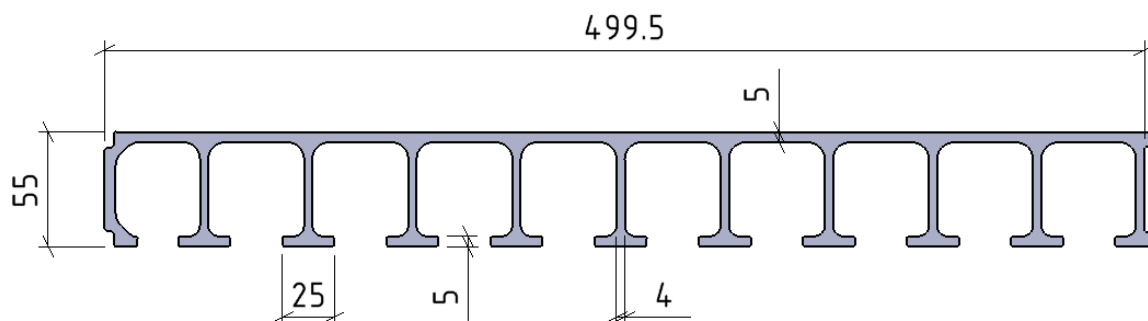
T +31 (0) 168227510

E / info@krafton.nl

2 Productomschrijving

Gepultrudeerde, glasvezelversterkte polyester brugdekplank.

In figuur 5 is de dwarsdoorsnede van de plank weergegeven.



figuur 5: Geometrie plank 500.55

2.1 Geometrische eigenschappen

Breedte	b	500 mm
Hoogte	h	55 mm
Aantal ribben	n	11 -
Afstand tussen de ribben	d	50 mm
Oppervlak	A	6238 mm ²
Afschuifoppervlak	A _s	2503 mm ²
Traagheidsmoment	I	2705284 mm ⁴
Weerstandsmoment	W	82078 mm ³
Gewicht plank	G	22,4 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® 500.55
Elasticiteitsmodulus	($E_{b, kar}$)	N/mm ²	31410
Buigspanning ²	($\sigma_{b, kar}$)	N/mm ²	313
Afschuifspanning	(τ_{kar})	N/mm ²	53,0
Dwarskracht op 100x100	($D_{kar, 100}$)	N	38067
Dwarskracht op 200x200	($D_{kar, 200}$)	N	122731

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	22,4 kg/m ²	
Slijtlaag	13,0 kg/m ²	
Totaal permanente belasting	35,4 kg/m ² =	0,354 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 (5 ton)		
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	

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 voertuiggewicht 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 korte 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

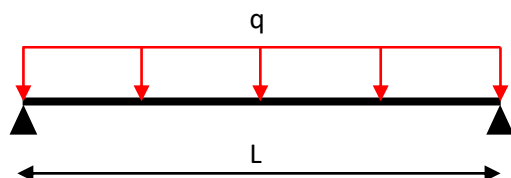
BGT 2	$1/0,81 \times Q_f$
UGT 2	$1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Q_f$

Plank draagvlak breedte	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Verdeelde belasting	5,0 kN/m ²
G	0,177 N/mm
Q _f	2,5 N/mm
Maximale overspanning L/200	2190 mm

$$q_{BGT2} = 3,09 \text{ N/mm}$$

$$q_{UGT2} = 4,56 \text{ N/mm}$$

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	3,09 N/mm
L	2190 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
Y _{optr.}	10,88 mm
Y _{toel.}	10,95 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	4,56 N/mm
L	2190 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	33 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 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	4,56 N/mm
L	2190 mm
A_s	2503 mm ²
$\tau_{kar.}$	53,0 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\tau_{optr.}$	2,0 N/mm ²
$\tau_{toel.}$	38,4 N/mm ²
u.c.	0,05 OK

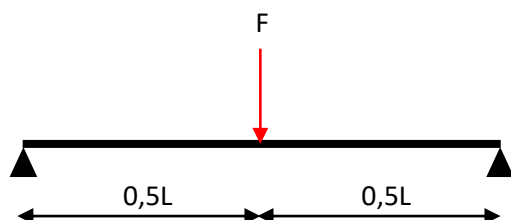
5.3 Puntlast

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	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Puntlast op 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,177 N/mm
Maximale overspanning L/100	2170 mm

Q_{BGT3}	8642 N
q_{UGT3}	0,393 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	2170 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
$y_{optr.}$	21,65 mm
$y_{toel.}$	21,70 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	0,393 N/mm
L	2170 mm
W	82078 mm ³
σ_{kar}	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	80 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,35 OK

Verificatie op afschuiving:

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

F	11667 N
$D_{kar,100}$	38067 N
γ_m	1,38 -
$D_{optr.}$	11398 N
$D_{toel.}$	27585 N
u.c.	0,41 OK

5.4 Dienstvoertuig

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

Plank draagvlak breedte	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Puntlast op 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,177 N/mm
Spoorbreedte	1750 mm
Maximale overspanning situatie 1 L/200	1140 mm
Maximale overspanning situatie 2 L/200	1970 mm

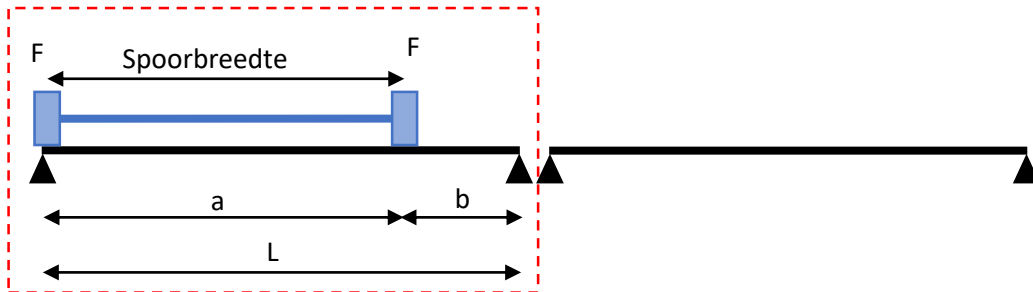
Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,393 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

De berekening hanteert de volgende situaties:

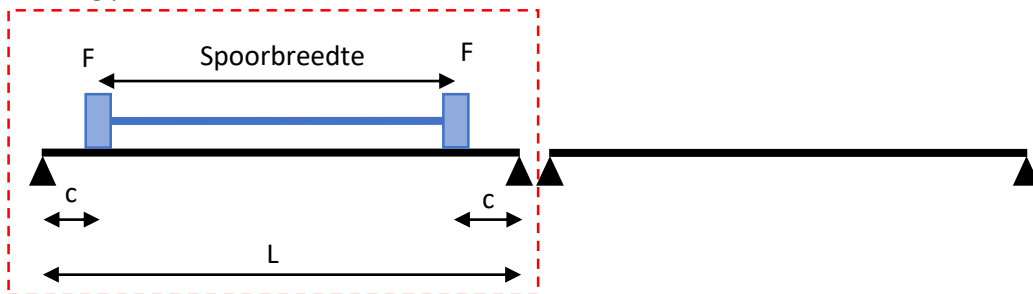
Situatie 1: meerdere enkelvelden

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.

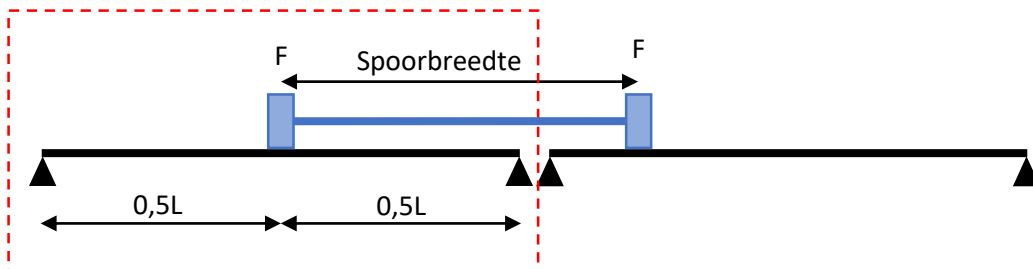
Voertuig positie 1: $NVT L < L_s$



Voertuig positie 2: $NVT L < L_s$



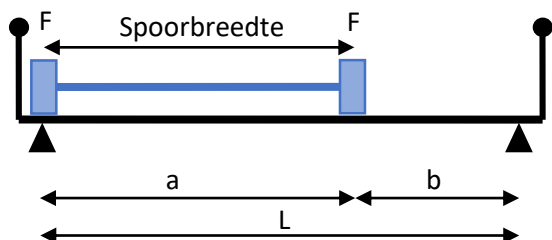
Voertuig positie 3:



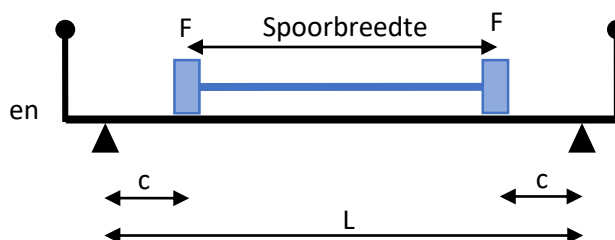
Situatie 2: één enkelveld $L > L_s$

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:



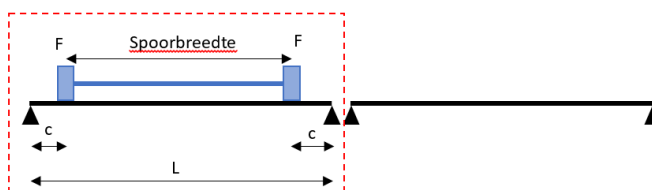
5.4.1 BGT 4 situatie 1

Verificatie op doorbuiging:

De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig positie 2 is: **NVT** $L < L_s$

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

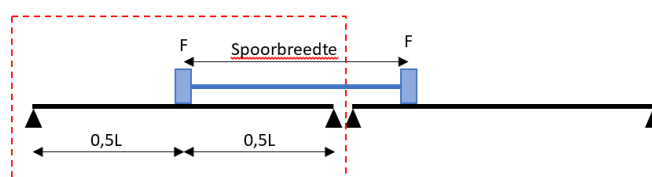
Voertuig positie 2:



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	1140 mm
c	0 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
$y_{optr;pos2}$	NVT mm
$y_{optr;pos3}$	5,61 mm
$y_{optr;max}$	5,61 mm
$y_{toel.}$	5,70 mm
u.c.	0,98 OK

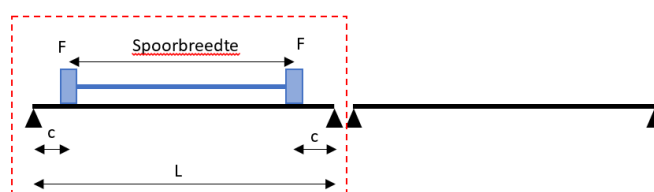
5.4.2 UGT 4 situatie 1

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is: **NVT** $L < L_s$

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

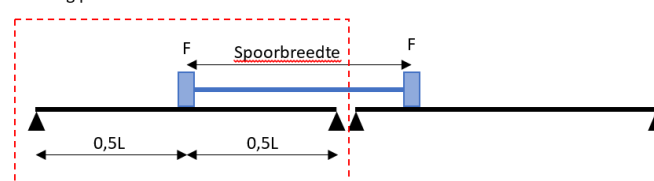
Voertuig positie 2:



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	0,393 N/mm
L	1140 mm
c	0 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	73 N/mm ²
$\sigma_{optr;max}$	73 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,32 OK

Verificatie op afschuiving:

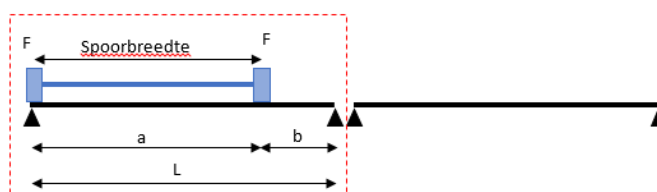
$$D_{kar;250} > D_{kar;200}$$

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

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	1140 mm
L ₀	250 mm
b	0 mm
D _{kar;250}	122731 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	18549 N
D _{toel.}	88935 N
u.c.	0,21 OK

Voertuig positie 1:



5.4.3 BGT 4 situatie 2

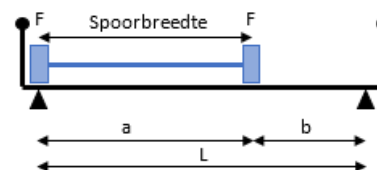
Verificatie op doorbuiging:

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:



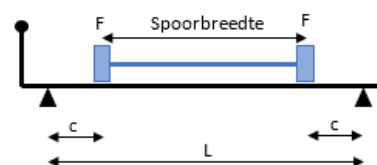
De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

De maximaal optredende doorbuiging in situatie 2:

F	15432 N
a	1750 mm
b	220 mm
c	110 mm
L	1970 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
$y_{optr;pos1}$	9,76 mm
$y_{optr;pos2}$	9,65 mm
$y_{optr.max}$	9,76 mm
$y_{toel.}$	9,85 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:

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

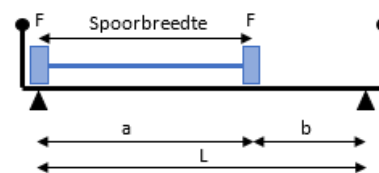
De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is:

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

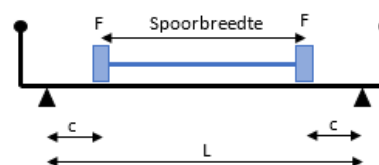
De maximaal optredende buigspanning in situatie 2:

F	20833 N
q	0,393 N/mm
a	1750 mm
b	220 mm
c	110 mm
L	1970 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	52 N/mm ²
$\sigma_{optr.pos2}$	30 N/mm ²
$\sigma_{optr.max}$	52 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,23 OK

Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



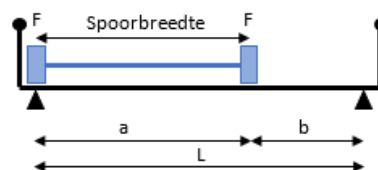
Verificatie op afschuiving:

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

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

F	20833 N
L	1970 mm
L ₀	250 mm
b	220 mm
D _{kar;250}	122731 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	20516 N
D _{toel.}	88935 N
u.c.	0,23 OK

Voertuig positie 1:



5.5 Sneeuw

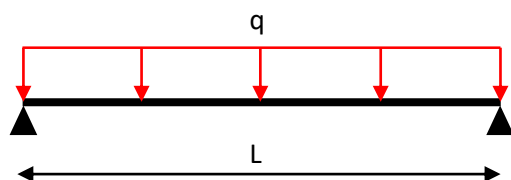
De maximaal toelaatbare overspanning is gelimiteerd op 5000 mm.

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

Plank draagvlak breedte	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Verdeelde belasting	1,4 kN/m ²
G	0,177 N/mm
Q _f	0,7 N/mm
Maximale overspanning	5000 mm

$$q_{\text{UGT5}} \quad 2,40 \text{ N/mm}$$

De berekening hanteert de volgende situatie:



5.5.1 UGT 5

Verificatie op buigspanning:

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

q	2,40 N/mm
L	5000 mm
W	82078 mm ³
σ _{kar.}	313 N/mm ²
γ _m	1,38 -
σ _{optr.}	92 N/mm ²
σ _{toel.}	227 N/mm ²
u.c.	0,40 OK

Verificatie op afschuiving:

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

q	2,40 N/mm
L	5000 mm
A _s	2503 mm ²
τ _{kar.}	53,0 N/mm ²
γ _m	1,38 -
τ _{optr.}	1,0 N/mm ²
τ _{toel.}	38,4 N/mm ²
u.c.	0,03 OK

5.6 Onbedoeld voertuig

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

Plank draagvlak breedte	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Puntlast op 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,177 N/mm
Spoorbreedte	1300 mm
Maximale overspanning situatie 1	1110 mm
Maximale overspanning situatie 2	1650 mm

q_{UGT6} 0,393 N/mm

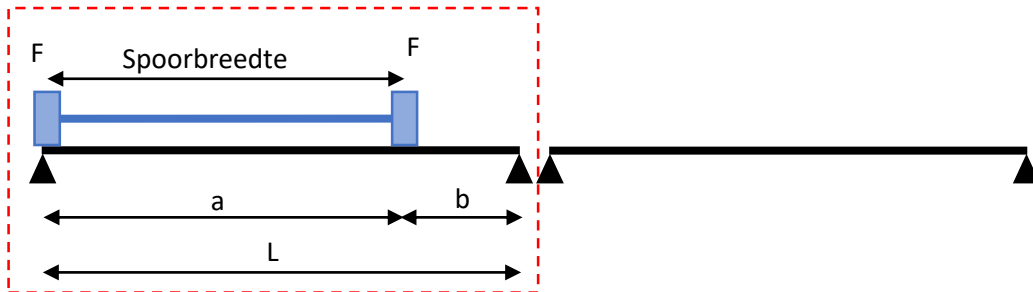
Q_{UGT6} 66667 N

De berekening hanteert de volgende situaties:

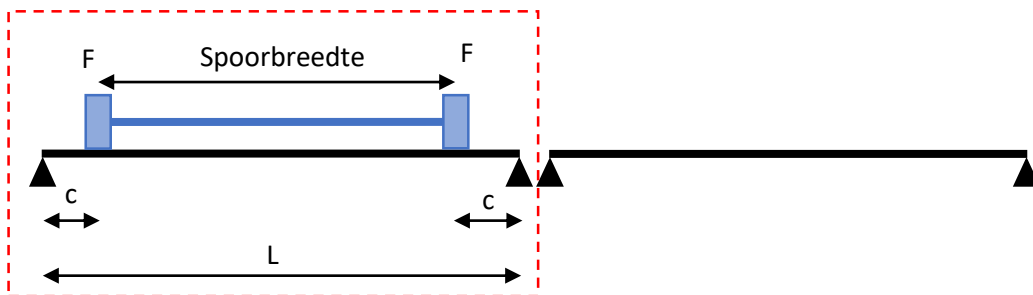
Situatie 1: meerdere enkelvelden

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.

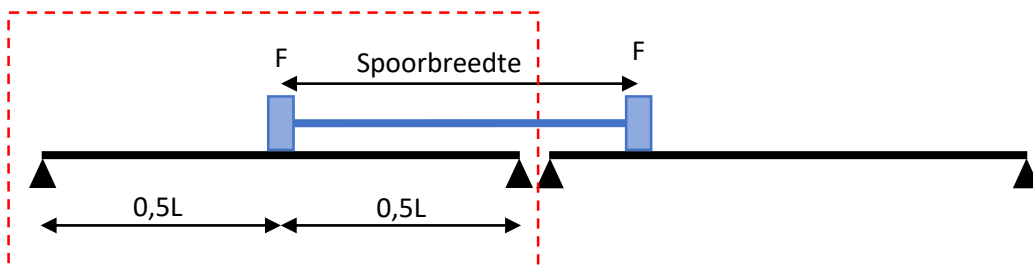
Voertuig positie 1: $NVT L < L_s$



Voertuig positie 2: $NVT L < L_s$



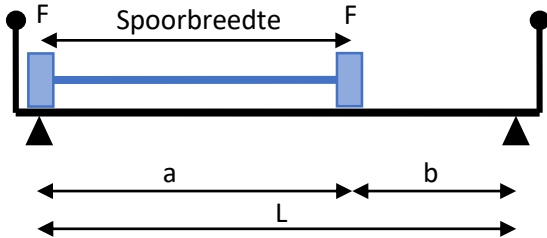
Voertuig positie 3:



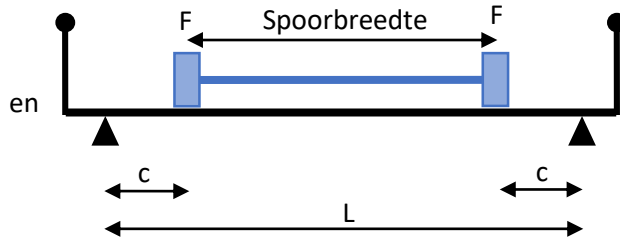
Situatie 2: één enkelveld $L > L_s$

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:



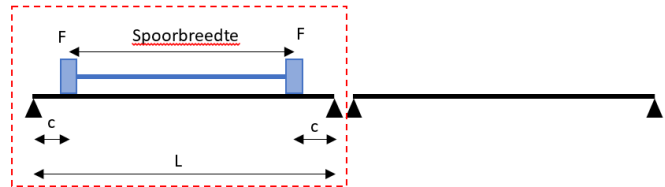
5.6.1 UGT 6 situatie 1

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is: **NVT** $L < L_s$

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

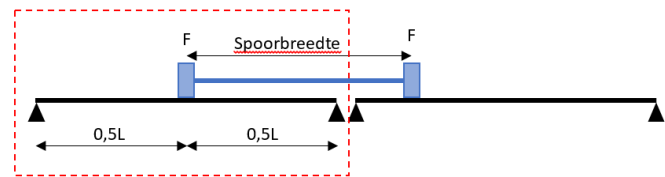
Voertuig positie 2:



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:

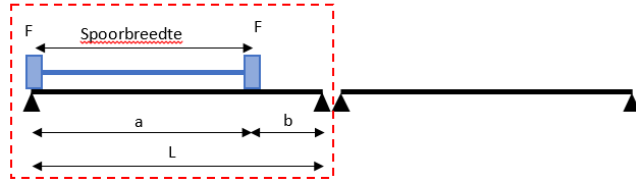
F	66667 N
q	0,393 N/mm
L	1110 mm
c	0 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr;pos2}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{optr;pos3}$	226 N/mm ²
$\sigma_{optr;max}$	226 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	1,00 OK

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	1110 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	122731 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	60661 N
D _{toel.}	88935 N
u.c.	0,68 OK

Voertuig positie 1:



5.6.2 UGT 6 situatie 2

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig positie 1 is:

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

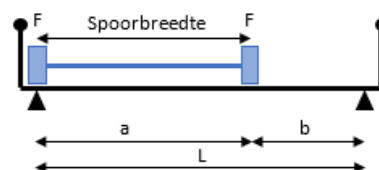
De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig positie 2 is:

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

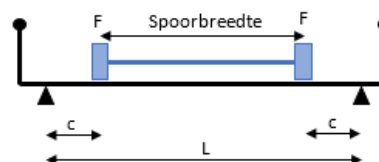
De maximaal optredende buigspanning van situatie 2:

F	66667 N
q	0,393 N/mm
a	1300 mm
b	350 mm
c	175 mm
L	1650 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.pos1}$	226 N/mm ²
$\sigma_{optr.pos2}$	144 N/mm ²
$\sigma_{optr.max}$	226 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,99 OK

Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:

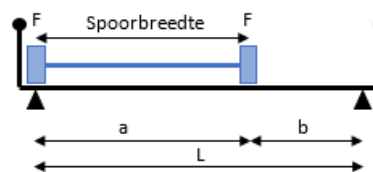


Verificatie op afschuiving:

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

F	66667 N
L	1650 mm
L ₀	200 mm
b	350 mm
D _{kar,200}	122731 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	72727 N
D _{toel.}	88935 N
u.c.	0,82 OK

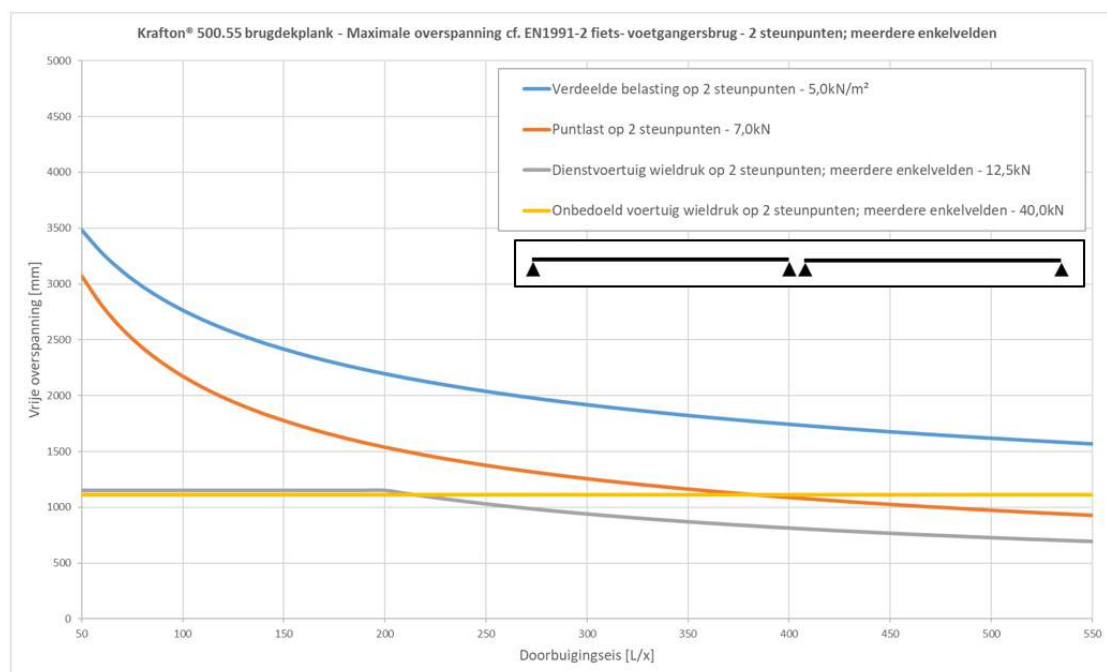
Voertuig positie 1:



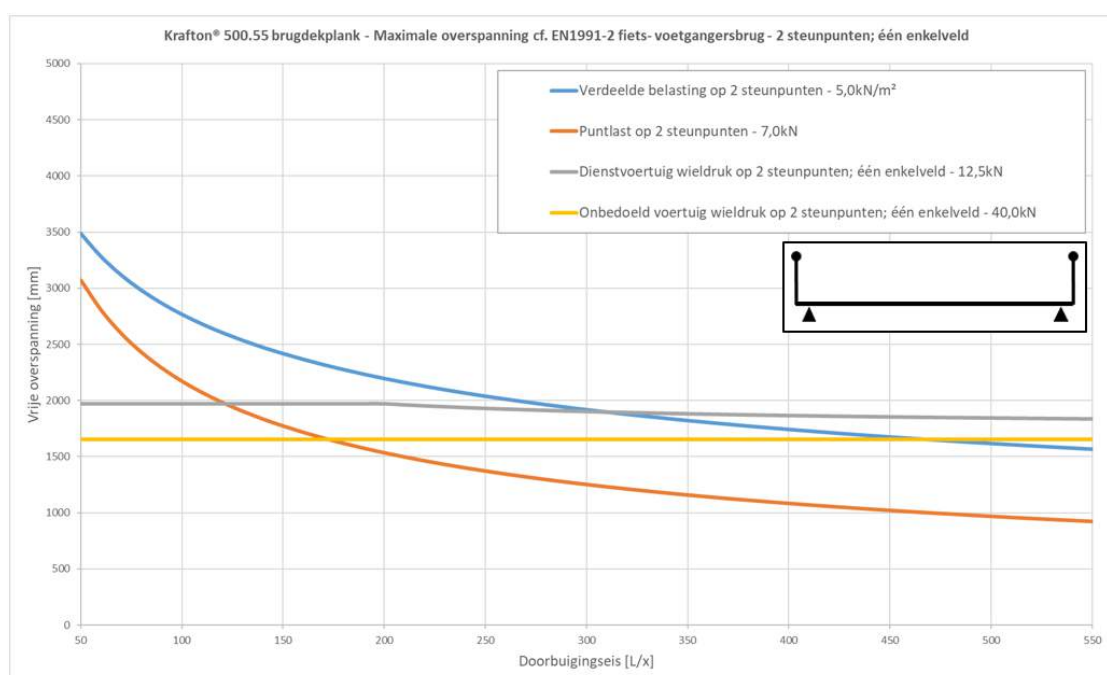
5.7 Samenvatting

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
- 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.

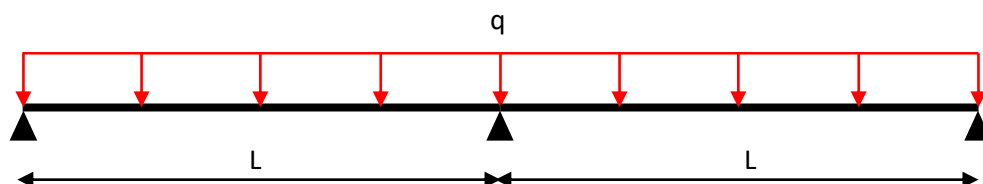
6.2 Verdeelde mobiele belasting

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	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Verdeelde belasting	5,0 kN/m ²
G	0,177 N/mm
Q _f	2,5 N/mm
Maximale overspanning L/200	2940 mm

q _{BGT2}	3,09 N/mm
q _{UGT2}	4,56 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	3,09 N/mm
L	2940 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
Y _{optr.}	14,67 mm
Y _{toel.}	14,70 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	4,56 N/mm
L	2940 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	60 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,26 OK

Verificatie op afschuiving:

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

q	4,56 N/mm
L	2940 mm
A_s	2503 mm ²
$\tau_{kar.}$	53,0 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\tau_{optr.}$	2,7 N/mm ²
$\tau_{toel.}$	38,4 N/mm ²
u.c.	0,07 OK

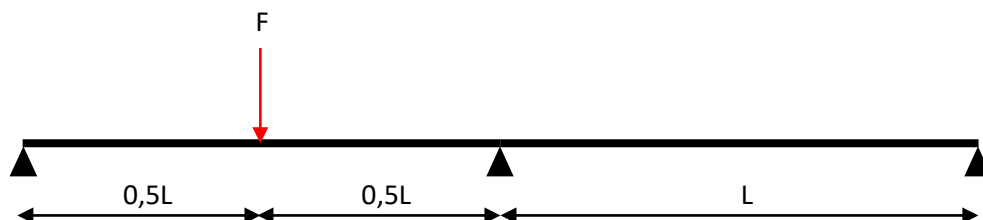
6.3 Puntlast

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	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Puntlast op 100 x 100 mm	7,0 kN
G	0,177 N/mm
Maximale overspanning L/100	2560 mm

Q_{BGT3}	8642 N
q_{UGT3}	0,393 N/mm
Q_{UGT3}	11667 N

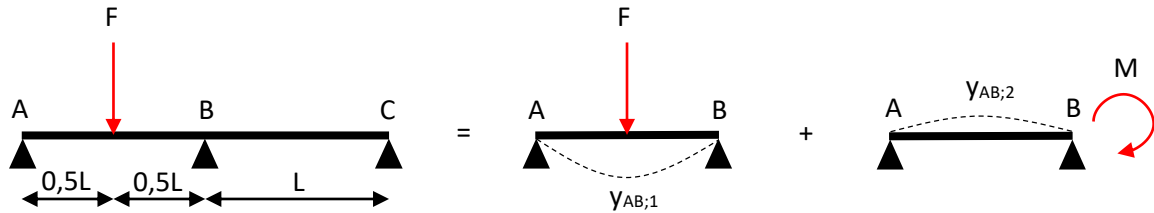
De berekening hanteert de volgende situatie:



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	2560 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
$y_{optr.}$	25,55 mm
$y_{toel.}$	25,60 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	0,393 N/mm
L	2560 mm
W	82078 mm ³
σ_{kar}	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	95 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,42 OK

Verificatie op afschuiving:

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

F	11667 N
$D_{kar, 100}$	38067 N
γ_m	1,38 -
$D_{optr.}$	11398 N
$D_{toel.}$	27585 N
u.c.	0,41 OK

6.4 Dienstvoertuig

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

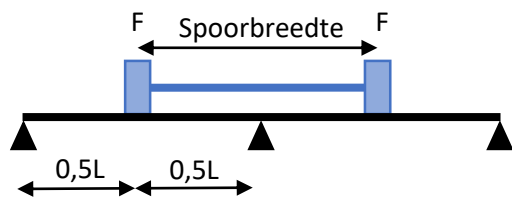
Plank draagvlak breedte	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Puntlast op 250 x 250 mm	12,5 kN
G	0,177 N/mm
Spoorbreedte	1750 mm
Maximale overspanning L/200	1730 mm

Q_{BGT4}	15432 N
q_{UGT4}	0,393 N/mm
Q_{UGT4}	20833 N

De berekening hanteert de volgende situaties:

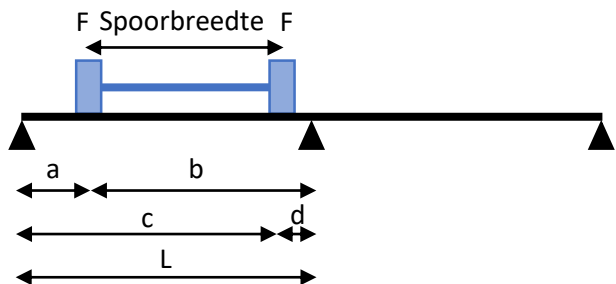
Situatie 1:

Voertuig positie 1:

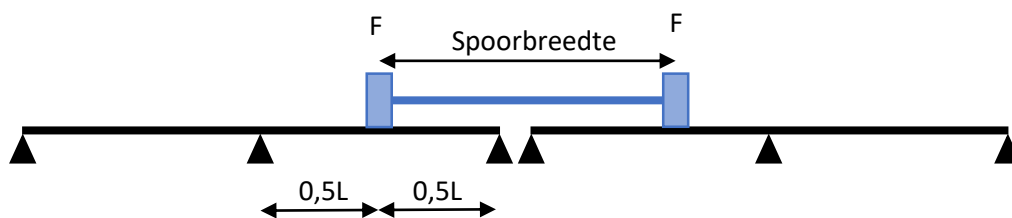


en

Voertuig positie 2: $NVT L < L_s$



Situatie 2:

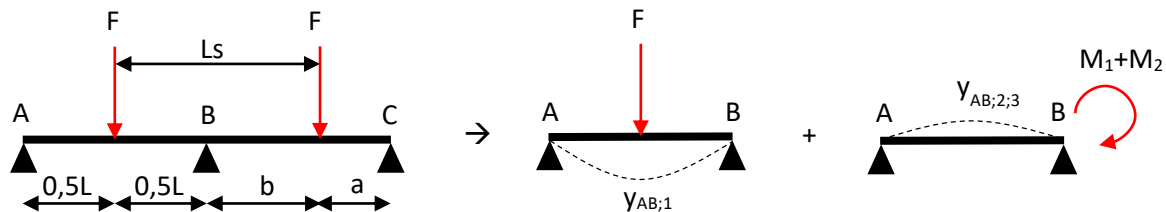


6.4.1 BGT 4

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.

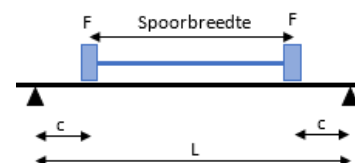
⁴ De locatie van de maximale doorbuiging is in werkelijkheid niet $x=0.5L$. Door deze aanname wordt een maximale fout van 2% geïntroduceerd. Gezien doorbuiging geen effect heeft op de veiligheid is deze versimpeling acceptabel.

De maximale doorbuiging voor dienstvoertuig situatie 1 positie 2 is: **NVT** $L < L_s$

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	1730 mm
L _s	1750 mm
a	845 mm
b	885 mm
c	0 mm
E	31410 N/mm ²
I	2705284 mm ⁴
Y _{optr.pos1}	8,62 mm
Y _{optr.pos2}	NVT mm
Y _{optr.max}	8,62 mm
Y _{toel.}	8,65 mm
u.c.	1,00 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.

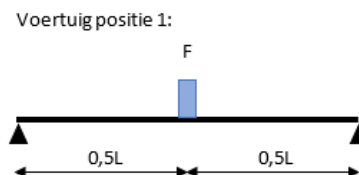
6.4.2 UGT 4

De sterkte verificatie wordt conservatief versimpeld naar een éénveldsoverspanning en geldt voor alle beschouwde situaties.

Verificatie op buigspanning:

De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 1 is:

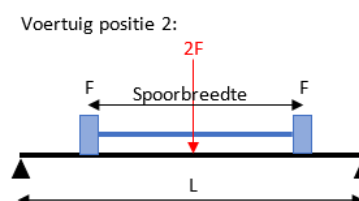
$$\sigma_b = \frac{F \times L}{4 \times W} + \frac{q \times L^2}{8 \times W} \leq \frac{\sigma_{b, kar}}{\gamma_m}$$



De maximale buigspanning voor dienstvoertuig positie 2 is: **NVT** $L < L_s$

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

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



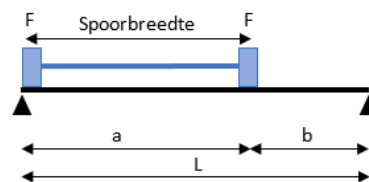
De maximaal optredende buigspanning:

F	20833 N
q	0,393 N/mm
L	1730 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr. pos1}$	112 N/mm ²
$\sigma_{optr. pos2}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{optr. max}$	112 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,49 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	1730 mm
b	0 mm
L ₀	250 mm
D _{kar;250}	122731 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	19328 N
D _{toel.}	88935 N
u.c.	0,22 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 $1,20 \times 1/0,54 \times G + 1,35 \times 1/0,81 \times Aov$

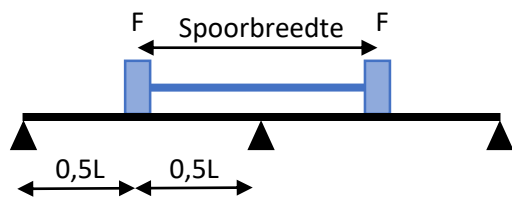
Plank draagvlak breedte	0,500 m
Eigengewicht	0,354 kN/m ²
Puntlast op 200 x 200 mm	40,0 kN
G	0,177 N/mm
Spoorbreedte	1300 mm
Maximale overspanning	1340 mm

q_{UGT6}	0,393 N/mm
Q_{UGT6}	66667 N

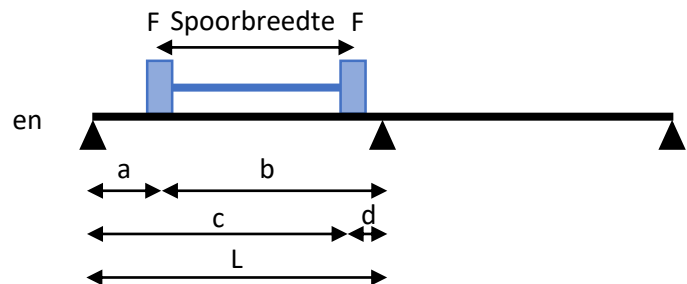
De berekening hanteert de volgende situaties:

Situatie 1:

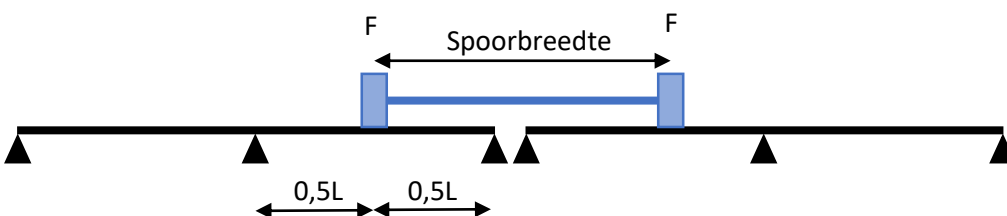
Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2: $NVT L < L_s$



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: **NVT $L < L_s$**

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

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

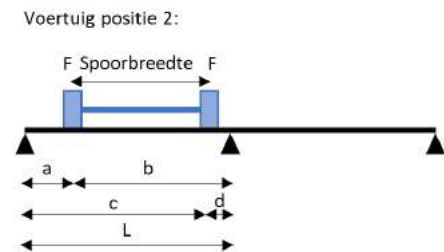
$$\sigma_{b;1} = \frac{F \times a \times b}{4 \times L^2 \times W} \times (4 \times L^2 - a \times (L + a))$$

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:

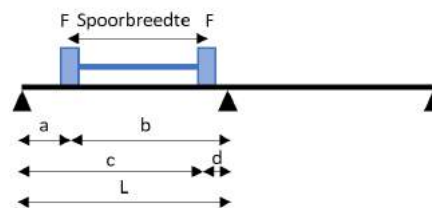
$$\sigma_{b;3} = \frac{3 \times q \times L \times a - 4 \times q \times a^2}{8 \times W}$$



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

F	66667 N
q	0,393 N/mm
L	1340 mm
Ls	1300 mm
a	670 mm
b	670 mm
c	0 mm
d	0 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{b;1}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{b;2}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{b;3}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{optr.}$	NVT N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
U.C.	NVT

Voertuig positie 2:



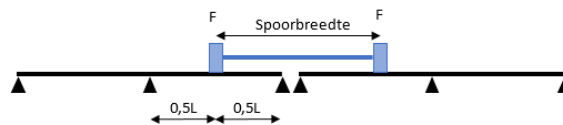
De maximale buigspanning voor onbedoeld voertuig situatie 2 is:

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	0,393 N/mm
L	1340 mm
W	82078 mm ³
$\sigma_{kar.}$	313 N/mm ²
γ_m	1,38 -
$\sigma_{optr.}$	222 N/mm ²
$\sigma_{toel.}$	227 N/mm ²
u.c.	0,98 OK

Situatie 2:



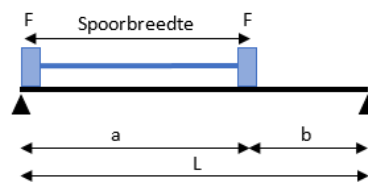
⁵ De locatie van de maximale buigspanning is in werkelijkheid niet $x=0.5L$. Door deze aanname wordt een fout van 2% geïntroduceerd. Om deze foutmarge te compenseren wordt een maximale u.c. van 0,98 gehanteerd.

Verificatie op afschuiving:

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

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

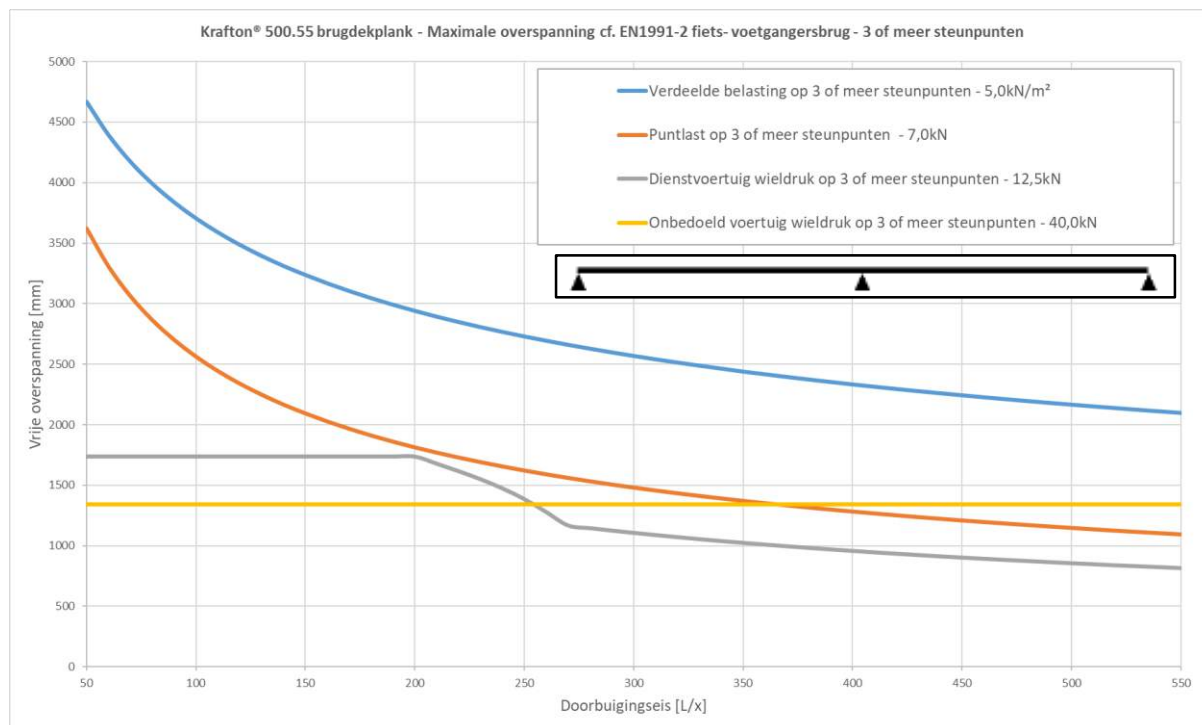
F	66667 N
L	1340 mm
b	40 mm
L ₀	200 mm
D _{kar;200}	122731 N
γ _m	1,38 -
D _{optr.}	61692 N
D _{toel.}	88935 N
u.c.	0,69 OK



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:

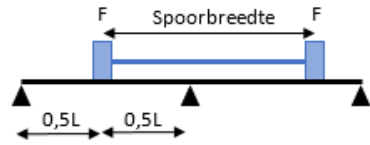
- Verdeelde belasting 5,0 kN/m²
- Puntlast 7,0 kN
- Dienstvoertuig 5 ton
- Onbedoeld voertuig 12 ton

Let op:

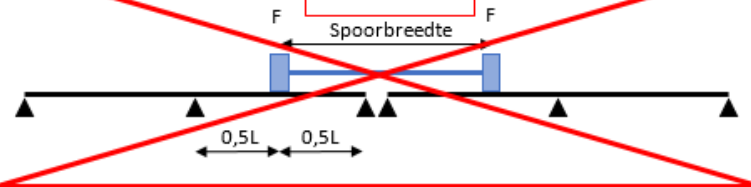
- Voor het dienstvoertuig is een minimale doorbuigingseis van $L/200$ gehanteerd.
- Beschouwing doorbuiging dienstvoertuig conform figuur 9.
Niet beschouwd conform situatie 2 – bij situatie 2 dient een aanvullende toetsing gedaan te worden.

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

BGT Situatie 1:



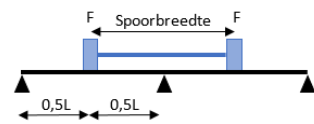
BGT Situatie 2:



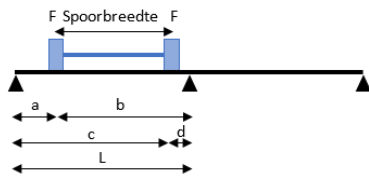
Uiterste grenstoestand (UGT)

UGT Situatie 1:

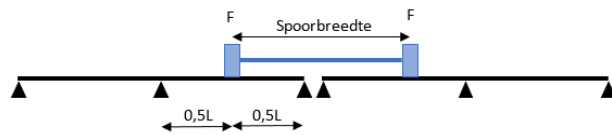
Voertuig positie 1:



Voertuig positie 2:



UGT Situatie 2:



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

7 Comfort

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

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

Plank draagvlak breedte	w	0,500 mm
Eigengewicht	q	0,354 N/mm
Gravitatieversnelling	g	9,81 m/s ²
Vrije overspanning	L	4400 mm
Buigstijfheid	EI	8,50E+10 Nmm ²
Conversiefactor comfort	h _c	0,81 -
Factor voor oplegging	C	9,87 -
	f _{optr.}	5,01 Hz
	f _{toel.}	5,00 Hz
	u.c.	1,00 OK

De overspanning van de plank bij de 5Hz limiet is 4400 mm, deze is hoger dan de maximale overspanningen in de andere belastingsituaties.

De comforteis is niet maatgevend.

8 Conclusie

De krafton® 500.55 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® 500.55 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® 500.55
Afmetingen	(b x h)	mm	500 x 55
Oppervlak	(A)	mm ²	6238
Afschuifoppervlak	(A _s)	mm ²	2503
Traagheidsmoment	(I)	mm ⁴	2705284
Weerstandsmoment	(W)	mm ³	82078
Gewicht	(G)	kg/m ²	22,4
Elasticiteitsmodulus	(E _{gem})	N/mm ²	31410
Buigspanning	(σ _{b,kar})	N/mm ²	313
Afschuifspanning	(τ _{kar})	N/mm ²	53,0
Profiel eigenschappen			
Buigstijfheid	(EI)	Nmm ² /mm	1,70E+08
Buigsterkte	(M _b)	Nmm/mm	51373
Afschuifsterkte	(D)	N/mm	265
Karakteristieke dwarskracht t.g.v. puntlast op 100x100	(D _{kar,100})	N	38067
Karakteristieke dwarskracht t.g.v. puntlast op 200x200	(D _{kar,200})	N	122731

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 berekend op basis van de test uitgevoerd door TÜV op 01-09-2011.

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	880	80000	13,5	31099
2	880	80000	13,5	31099
3	1100	80000	23,4	35043
4	1200	79820	36,8	28864
5	1200	80000	33,7	31590
6	1200	80000	34,6	30768
7				
Gemiddelde waarde [$E_{b, \text{gem}}$]				31411

A.3.2 Buigsterkte 2 steunpunten

De buigsterkte is berekend op basis van de test uitgevoerd op 24-06-2015 door SKZ.

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 82078 mm³

tabel 6: Testresultaten buigsterkte 2 steunpunten

Sample nr.	L [mm]	F_{breuk} [N]	$\sigma_{b,min}$ [N/mm ²]
1	1400	91810	391
2	1400	92880	396
3	1400	101390	432
4	1400	91030	388
5	1400	92080	393
6	1400	99380	424
Gemiddelde [$\sigma_{b,gem}$]			404
Standaarddeviatie [s]			19
Karakteristieke waarde [$\sigma_{b,kar}$]			363

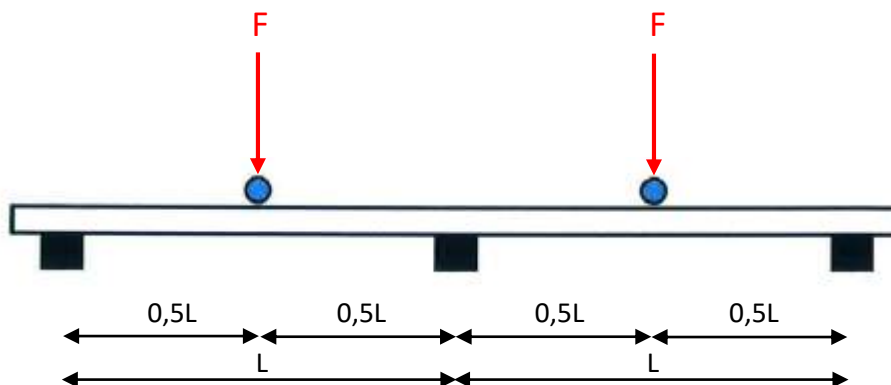
De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,18 x de standaarddeviatie.

A.3.3 Buigsterkte meerveld

De buigsterkte is berekend op basis van de test uitgevoerd op 24-02-2016 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]	$\sigma_{b,min}$ [N/mm ²]
1	1400	102660	328
2	1400	107390	343
3	1400	103810	332
4	1400	104005	333
5	1400	100510	321
6			
7			
Gemiddelde [$\sigma_{b,gem}$]			332
Standaarddeviatie [s]			8
Karakteristieke waarde [$\sigma_{b,kar}$]			313

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

A.3.4 Afschuifsterkte

De afschuifsterkte is berekend op basis van de test uitgevoerd 26-02-2016 door SKZ.

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 op een testbank met een meetbereik van 250 kN. Het proefstuk heeft een lengte van 3080 mm en is getest bij een overspanning van $L = 1400$ mm. De drukstempel vormt een lijnlast op het product en heeft een diameter van 30mm. De afstand tussen de stempel en de oplegging was $a = 65$ mm.

Tabel 8: Testresultaten afschuifsterkte

Sample nr.	F_{breuk} [N]	τ [N/mm ²]
1	144100	54,9
2	143550	54,7
3	148190	56,5
4	141510	53,9
5	148670	56,6
6	144870	55,2
Gemiddelde waarde [τ_{gem}]		55,3
Standaarddeviatie [s]		1,1
Karakteristieke waarde [τ_{kar}]		53,0

De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,18 x 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 21-12-2018 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	1000	100	137580	123822
2	1000	100	144500	130050
3	1000	100	146550	131895
4	1000	100	145760	131184
5	1000	100	146320	131688
6	1000	100	142390	128151
Gemiddelde waarde [$D_{gem,200}$]				129465
Standaarddeviatie [s]				3089
Karakteristieke waarde [$D_{kar,200}$]				122731

De karakteristieke waarde is bepaald uit de gemiddelde waarde minus 2,18 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 14-04-2021 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	110	45810	43290
2	2000	110	42840	40484
3	2000	110	43560	41164
4	2000	110	43190	40815
5	2000	110	46910	44330
6				
Gemiddelde waarde [$D_{gem,200}$]				42017
Standaarddeviatie [s]				1695
Karakteristieke waarde [$D_{kar,200}$]				38067

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