

Berekening Nieuwbouw Wubbo Ockels brug

Revisie/datum : 2.0/ 2026-08-26
Status : DO
Auteur : Marc Huisman
Filename :

De hoofdligger van de Wubbo Ockels brug word berekend met behulp van de volgende normen:

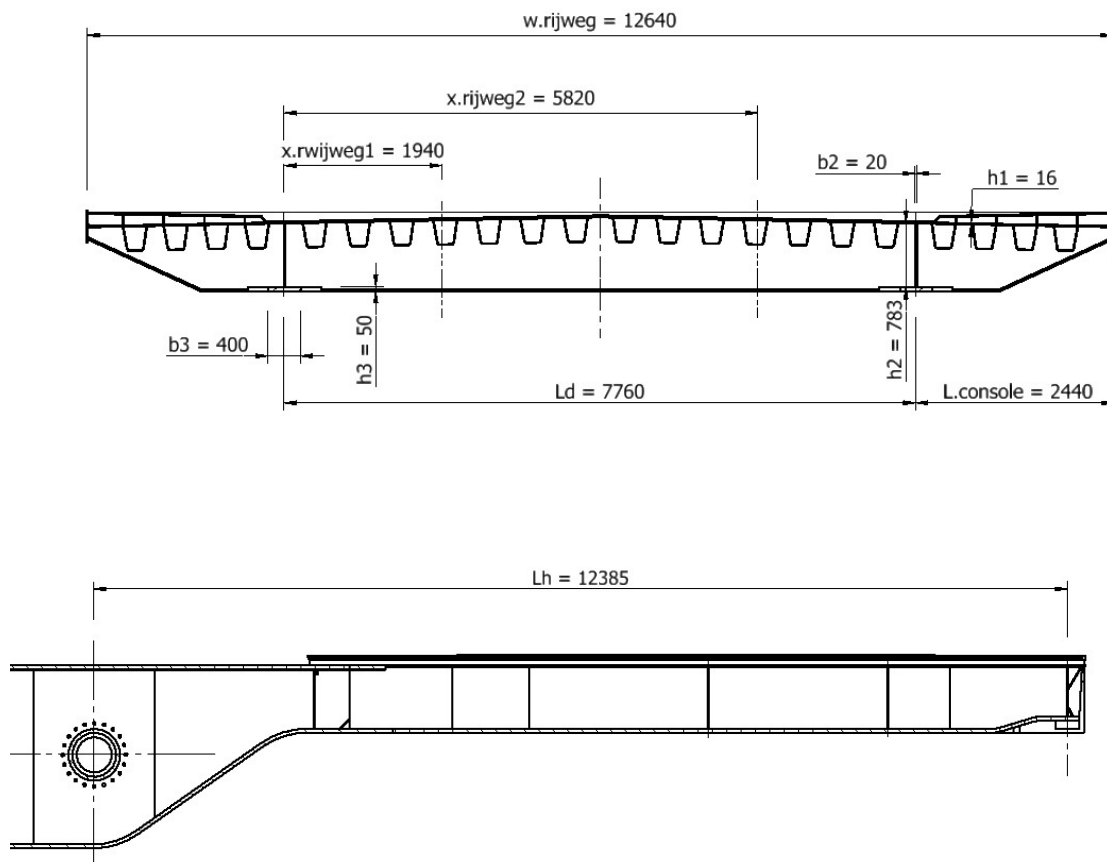
- | | |
|---|---|
| - NEN-EN 1990+A1+A1-C2-2019-NB-2019 NL, | Eurocode: Grondslagen van constructief ontwerp. |
| - NEN-EN 1991-1-7-2015-NB-2019 NL,
Deel 1-7: | Eurocode 1: Belastingen op constructies -
Algemene belastingen - Buitengewone
belastingen. |
| - NEN-EN 1991-2+C1-2015-NB-2019 NL: | Eurocode 1: Belastingen op constructies
Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen. |
| - NEN-EN 1993-1-9-2006 EN: | Eurocode 3: Ontwerp en berekening van
staalconstructies - Deel 1-9 Vermoeiing. |
| - NEN-EN 1993-2+C1-2011-NB-2011-NL: | Eurocode 3: Ontwerp en berekening van
staalconstructies - Deel 2: Stalen bruggen. |
| - NEN 6786-1-2017+C1-2021: | Voorschrift voor het ontwerp van beweegbare
delen van kunstwerken - Deel 1: beweegbare
bruggen (VOBB) |

1.2 hoofdligger

Gebruikte gegevens

$L_h := 12385 \text{ mm}$	lengte hoofdligger, overspanning.
$L_c := \frac{L_h}{2} = 6192.5 \text{ mm}$	controlepositie vermoeiingslas, positie waar de momenten en dwarskrachten in de hoofdligger worden uitgerekend.
$L_d := 7760 \cdot \text{mm}$	lengte dwarsdrager, afstand tussen beide hoofdliggers.
$L_{console} := 2440 \cdot \text{mm}$	lengte van de langste console (afstand hoofdligger tot zijkant rijweg).
$h_1 := 16 \cdot \text{mm}$	dikte bovenflens (dekplaat)
$b_2 := 20 \cdot \text{mm}$	dikte lijfplaat
$h_2 := 783 \cdot \text{mm}$	hoogte lijfplaat
$b_3 := 900 \cdot \text{mm}$	breedte onderflens
$h_3 := 50 \cdot \text{mm}$	dikte onderflens
$r_d := 150 \cdot \text{mm}$	afrondingsstraal flens dwarsdrager - flens hoofdligger Als flens dwarsdrager op lijf hoofdligger aansluit 0 invullen
$m_{val} := 88 \cdot \text{ton}$	massa val
$w_{rijweg} := 12640 \cdot \text{mm}$	breedte rijweg (statisch) kies de ruimte tussen het leuningwerk of bij tussen de schampstroken indien die hoger zijn dan 200mm
$x_{rijweg1} := 1940 \cdot \text{mm}$	positie hart hoofdligger tot hart rijbaan 1 (kleinste afstand, 100% vd wagens)
$x_{rijweg2} := 5820 \cdot \text{mm}$	positie hart hoofdligger tot hart rijbaan 2 (20% vd wagens in combinatie met die van rijbaan 1)
$R_k := 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	rekgrens $t \leq 40$ Rk=355, $40 < t \leq 80$ Rk=335 S355
$E := 210000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	E-modulus S355

Gegevens in schets



Belastingsfactoren

$CC := 2$

Gevolgklasse vlgs. 1990+A1+A1-C2 2019 -
NB.23 - B1

$\gamma_G = 1.3$

partiele veiligheidsfactor voor eigen gewicht als gevolg van de
gevolgklasse vlgs. 1990+A1+A1-C2-2019-NB-2019 tabel NB.17

$\gamma_Q = 1.35$

partiele veiligheidsfactor voor de belasting als gevolg van de
gevolgklasse vlgs. 1990+A1+A1-C2-2019-NB-2019 tabel NB.17

$\zeta := 1$

reductie op het eigen gewicht **Norm?**

$\psi_0 := 1$

Reductie op de overheersende belasting vlgs.
6776-1-2017+C1-2021 NL 2.3.10.3 (1)

$\gamma_M := 1$

partiele veiligheidsfactor voor de weerstand
vlgs. 1993-2+C1-2011-NB- 2011 NB.2 - 6.1

$R_d := \frac{R_k}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$

rekenwaarde weerstand

**tabel NB.5 -4.5(n) 1991-2+C1 2015
NB 2019**

Verkeerscategorie		$N_{\text{obs},a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer	verkeerstype
1	Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en intensief vrachtverkeer	$2,0 \times 10^6$	1. lang
2	(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	$0,5 \times 10^6$	2. middellang
3	Wegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$	2. middellang
4	Wegen met weinig vrachtverkeer en bovendien uitsluitend bestemmingsverkeer	$0,05 \times 10^6$	3. lokaal
OPMERKING: De aantallen zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer $N_{\text{obs},a,ai}$ zijn inclusief trend.			

$\text{verkeerscategorie} := 3$

$\text{verkeerstype} = 2$

NEN-EN 1991-2 NB par 4.6.5.1

$N_{\text{obs}_a_{sl}} = 125000$

aantal vrachtauto's per jaar op
de slow lane

Verkeerstype gebaseerd op: 8 bussen per uur (4 voor beide rijwegen) komt neer op 70.000
per jaar. Dit is een aanname dus is 125.000 veilig.

$\text{levenduur} := 100$

CC2 is normaal 50 jaar. Echter de
hoofdliggerconstructie wordt met 100
jaar uitgerekend.

$\Delta\phi_{fat} := 1.15 - \frac{0.15}{6 \cdot m} \cdot L_c = 1$

aanvullende dynamische vergrotingsfactor, vlgs
1991-2 NB par. 4.6.1 (6), goed wegdek

$$\alpha_{fat} := 1$$

reductiefactor volgens 1991-2 NB tabel NB.7 par. 4.6.1.5 (3) mag die $0.9/\Delta\phi_{fat}$ zijn in bijv. 50km/h zone, CC2 niet industriegebied, geen doorgaande route etc.

$$\gamma_{Ff} := 1$$

partiële factor voor de vermoeiingsbelasting
 vlg. 1993-2 par 9.3 (1)

$$\gamma_{Mf} := 1.15$$

partiële factor voor de vermoeiingsweerstand
 vlg. 1993-2+C1-2011-NB-2011 9.3 (2)

meewerkende breedte

De meewerkende breedte word berekend om het traagheidsmoment te kunnen berekenen van de samengestelde ligger (de hoofdligger).

$$x := 1 \dots 2$$

$$L_h = 12385 \text{ mm}$$

lengte ligger

$$B_1 := \frac{L_d}{2} = (3.9 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

beschouwde dekplaat breedtes

$$\bar{B}_2 := L_{console} = (2.4 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

$$\lambda_{f_x} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \frac{L_h}{B_x} < 2 \\ \left\| 0.18 \cdot \frac{L_h}{B_x} \right\| \\ \text{also if } \frac{L_h}{B_x} > 10 \\ \left\| 1 \right\| \\ \text{else} \\ \left\| 0.1 + 0.9 \cdot \log\left(\frac{L_h}{B_x}\right) \right\| \end{array} \right\|$$

$$\lambda_{f_1} = 0.55$$

Norm?

$$\lambda_{f_2} = 0.73$$

$$Bm_x := B_x \cdot \lambda_{f_x}$$

$$Bm_1 = 2148 \text{ mm}$$

$$Bm_2 = 1793 \text{ mm}$$

$$\bar{b}_1 := Bm_1 + Bm_2 = 3941 \text{ mm}$$

breedte bovenflens

traagheidsmoment en weerstandsmomenten

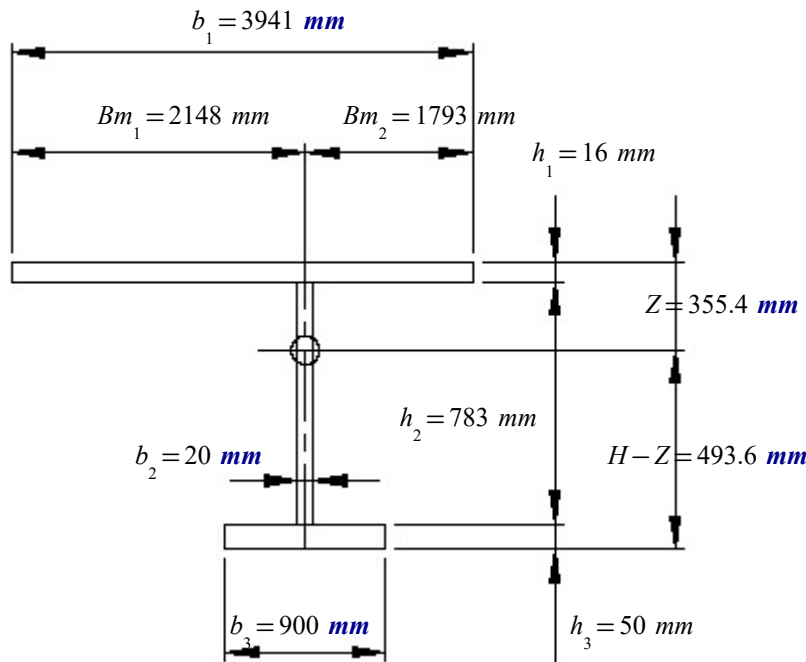
$$x := 1, 2 \dots 3$$

$$z_{o_1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$z_{o_2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 407.5 \text{ mm}$$

$$z_{o_3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 824 \text{ mm}$$



$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{o_x})}{\sum_x A_x}$$

$$H := \sum_x h_x = 849 \text{ mm}$$

$$z_x := Z - z_{o_x}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot (h_x)^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 18345636188 \text{ mm}^4$$

Traagheidsmoment hoofdlijger

$$W_b := \frac{I}{Z} = 51626095 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 37163688 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b_las} := \frac{Z - h_1}{Z} = 1$$

spanningsverhouding las
bovenzijde t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o_las} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 0.9$$

spanningsverhouding las
onderzijde t.o.v. uiterste vezel

$$A_{lijf} := A_2 = 15660 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 21905562 \text{ mm}^3$$

statisch moment bovenzijde

$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 21088986 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 123724 \text{ mm}^2$$

oppervlakte profiel

Uiterste grenstoestand

indeling theoretische rijstroken

$$w_{rijweg} = 12640 \text{ mm}$$

NEN-EN 1991-2-2025 par
 6.2.3 tabel 6.1

$$n_{th,l} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{rijweg} < 5.4 \cdot m \\ \quad \left\| 1 \right\| \\ \text{if } 5.4 \cdot m \leq w_{rijweg} < 6 \cdot m \\ \quad \left\| 2 \right\| \\ \text{if } w_{rijweg} \geq 6 \cdot m \\ \quad \left\| \text{floor} \left(\frac{1}{3 \cdot m} \cdot w_{rijweg} \right) \right\| \end{array} \right\| = 4$$

aantal theoretische rijstroken

$$w_{th,l} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{rijweg} < 5.4 \cdot m \vee w_{rijweg} \geq 6 \cdot m \\ \quad \left\| 3 \cdot m \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \frac{w_{rijweg}}{2} \right\| \end{array} \right\| = 3 \text{ m}$$

theoretische rijstrookbreedte

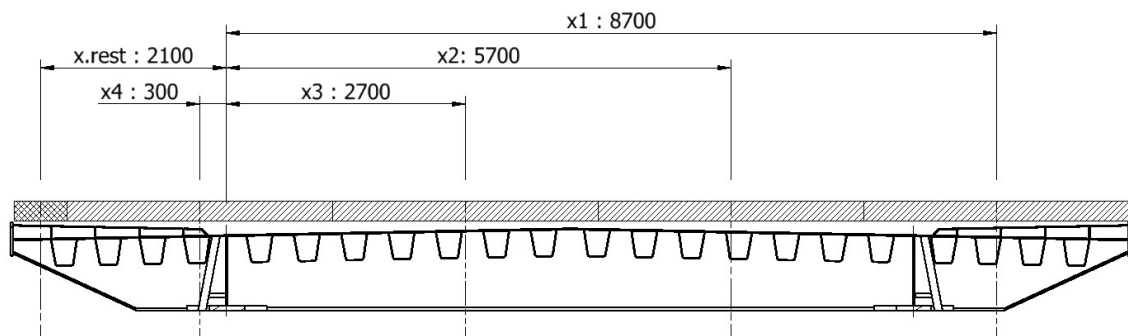
$$w_{rest} := w_{rijweg} - n_{th,l} \cdot w_{th,l} = 0.6 \text{ m}$$

breedte van de reststrook

positionering van de rijstroken

volgens 6.2.4 NEN-EN
 1991-2-2025

$$i := 1 \dots n_{th,l}$$



$$x_i := L_d + L_{console} - \frac{w_{th,l}}{2} - (i-1) \cdot w_{th,l} = \begin{bmatrix} 8700 \\ 5700 \\ 2700 \\ -300 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

afstand hoofdligger tot hart last

$$x_{rest} := x_{n_{th,l}} - \frac{w_{th,l}}{2} - \frac{w_{rest}}{2} = -2.1 \cdot 10^3 \text{ mm}$$

afstand hoofdligger tot hart reststrook

belastingen

belastingsmodel 1 NEN-EN 1991-2-2025
par 6.3.2. table 6.2

$$Q_{k_i} = \begin{bmatrix} 600 \\ 400 \\ 200 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

aslasten per rijstrook (4) vlgs 1991-2+C1-2015-NL 4.3.2 (6). De overspanning is groter dan 10 meter dus worden de as lasten beschouwd als 1 geconcentreerde last.

$$\alpha_{Q_i} := 1$$

correctiefactor op de aslasten 1991-2+C1-2015-NB-2019 4.3.2 table NB.1

$$q_{k_i} = \begin{bmatrix} 9 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

gelijkmatig verdeelde belasting vlgs 1991-2-2025 par 6.3.2. table 6.2

$$\alpha_{q_i} := 1$$

correctiefactor op de gelijkmatig verdeelde belasting 1991-2+C1-2015-NB-2019 4.3.2 table NB.1

$$q_{rk} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

gelijkmatig verdeelde belasting op de reststrook vlgs. 1991-2-2025 Table 6.2

$$\alpha_{qr} := 1$$

correctiefactor op de reststrook vlgs. 1991-2+C1-2015-NB-2019 4.3.2 table NB.1

Aantal vrachtwagens per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer N_{obs}^a	α_{Q1} en α_{q1}				α_{qr}
	Lengte van de overspanning of invloedslengte (L)				
	20 m	50 m	100 m	≥ 200 m	
$\geq 2\,000\,000$	1,0	1,0	1,0	1,0	
200 000	0,97	0,97	0,95	0,95	0,90
20 000	0,95	0,94	0,89	0,88	0,80
2 000	0,91	0,91	0,82	0,81	0,70
200	0,88	0,87	0,75	0,74	0,60

^a Tussengelegen waarden mogen worden geïnterpoleerd.

karacteristiek belastingen herleid naar de hoofdligger:

$$F_{Q_{hl}} := \sum_{i=0}^{n_{hl}} \left(\frac{\alpha_{Q_i} \cdot Q_{k_i} \cdot x_i}{L_d} \right) = 1036.1 \text{ kN}$$

aslasten herleid naar de
puntlast op de hoofdligger

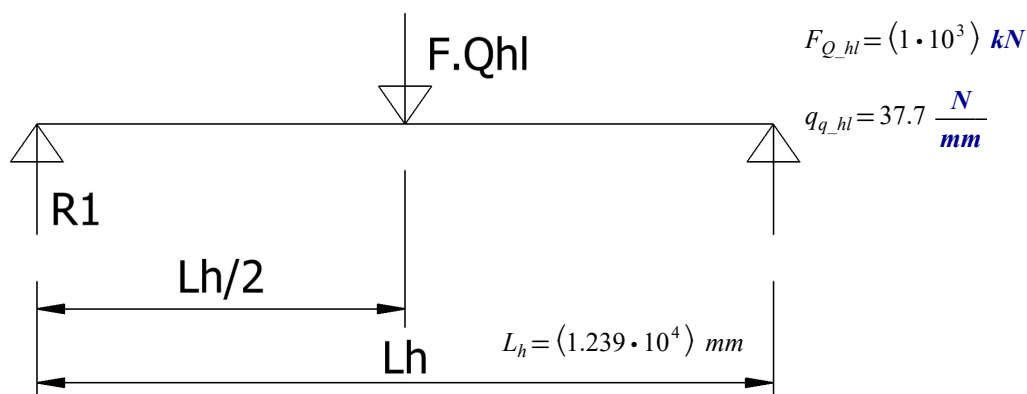
$$q_{q_{hl}} := \sum_{i=0}^{n_{hl}} \left(\frac{\alpha_{q_i} \cdot q_{k_i} \cdot w_{th,l} \cdot x_i}{L_d} \right) + \frac{\alpha_{qr} \cdot q_{rk} \cdot w_{rest} \cdot x_{rest}}{L_d} = 37.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

gelijkmatig belastingen
herleid naar de hoofdligger

$$q_G := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{m_{val} \cdot g}{L_h} \right) = 34.8 \frac{N}{mm}$$

gelijkmatigverdeelde belasting tgv massa val aangenomen is dat elke hoofdlijger de helft voor zijn rekening krijgt.

karakteristieke momenten en dwarskrachten



$$R_l := \frac{F_{Q_hl} \cdot \left(\frac{L_h}{2} - 300 \cdot mm \right)}{L_h} = 492.9 \text{ kN}$$

reactiekracht

$$M_{Qk} := R_l \cdot \left(\frac{L_h}{2} - 300 \cdot mm \right) = (2.9 \cdot 10^3) \text{ kNm}$$

veldmoment tgv aslast

$$M_{qk} := \frac{1}{8} \cdot q_{q_hl} \cdot L_h^2 = 722.1 \text{ kNm}$$

veldmoment tgv q last

$$M_{Gk} := \frac{1}{8} \cdot q_G \cdot L_h^2 = 668 \text{ kNm}$$

veldmoment tgv eigen gewicht

$$D_{Qk} := R_l = 492.9 \text{ kN}$$

dwarskracht tgv aslast

$$D_{qk} := \frac{q_{q_hl} \cdot L_h}{2} = 233.2 \text{ kN}$$

dwarskracht tgv q last

$$D_{Gk} := \frac{q_G \cdot L_h}{2} = 215.7 \text{ kN}$$

dwarskracht tgv eigen gewicht

rekenenwaarden van de momenten

$$M_d := \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot (M_{Qk} + M_{qk}) = (5.8 \cdot 10^3) \text{ kNm}$$

rekenwaarde van het veldmoment

$$F_d := \gamma_G \cdot D_{Gk} + \gamma_Q \cdot (D_{Qk} + D_{qk}) = (1.3 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

rekenwaarde van de dwarskracht

$$\sigma_b := \frac{M_d}{W_b} = 111.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand
boven

$$\sigma_o := \frac{M_d}{W_o} = 155.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand
onder

$$\tau_b := \frac{F_d \cdot S_b}{b_2 \cdot I} = 75.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning
boven

$$\tau_o := \frac{F_d \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = 72.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning
onder

$$\sigma_{i_b} := \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2} = 171.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

von Mises spanningen
boven en onder

$$\sigma_{i_o} := \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_o^2} = 199.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

toetsing uiterste grenstoestand - overbelasten

$$\frac{\sigma_{i_b}}{R_d} = 0.48$$

$$\frac{\sigma_{i_o}}{R_d} = 0.56$$

Beide toetsing waardes blijven onder 1 en voldoen.

VERMOEIING

Belastingsmodel 4a

NEN EN 1991-2+C1-2015-NB-2019 NL tabel NB.6 -4.7

Type voertuig			Verkeerstype			Wiel- type
Afbeelding van de vrachtwagen	Afstand tussen de assen m	Gelijkwaardige aslast kN	Lange afstand % ^a	Middellange afstand % ^a	Lokaal verkeer % ^a	
	4,5	70 130	20,0	50,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	5,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	40,0	20,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	25,0	15,0	5,0	A B C C
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	10,0	5,0	A B C C C

^a Percentage vrachtwagens.

verdeling diverse typen standaard vrachtwagens

$verkeerstype = 2$

- 1 lange afstand (meer dan 100 km)
- 2 middellange afstand (50 tot 100 km)
- 3 lokaal verkeer (minder dan 50km)

$$P_{wagen_1} = 0.5$$

$$P_{wagen_2} = 0.05$$

$$P_{wagen_3} = 0.2$$

$$P_{wagen_4} = 0.15$$

$$P_{wagen_5} = 0.1$$

positionering vrachtwagens

de vrachtwagen wordt voor vermoeiing in hart rijbaan gepositioneerd. De verdeling in dwarsrichting wordt voor hoofdliggers, gezien de marginale verspreiding, niet meegenomen.

Volgens de NEN-EN1991-2+C1-2015-NB-2019 par 4.6.1 (3)

2 rijstroken met tegengesteld verkeer: 80% van de gevallen ($0.8 \cdot N_{obs}$) wordt 1 last meegenomen. voor 20% van de gevallen wordt er gerekend met 2 lasten gelijktijdig op dezelfde positie op de rijbaan.

2 rijstroken met dezelfde rijrichting: geldt dat 1 op 10 passages de lasten gelijktijdig voorkomen. Met op de zwaar verkeerslast strook N_{obs} en gelijktijdig 0.1 N_{obs} op de andere strook.

uitgangspunt is dat de plaatdoorsnede van de las verbinding maatgevend is en niet de keeldoorsnede van de las. dit betekent:

$$b_2 = 20 \text{ mm}$$

dikte lijfplaat

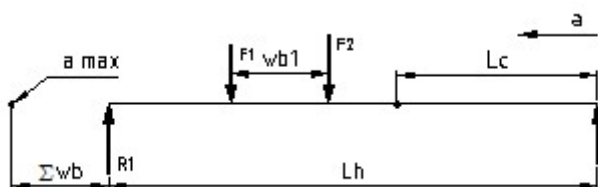
$$a_{min} := 0.6 \cdot b_2 = 12 \text{ mm}$$

minimale keelhoogte van de las

per vrachtwagen combinatie wordt het aantal aslasten berekent welke het maximale moment met bij passende dwarskracht op de hoofdligger uitoefent.

door de regenstroom methode worden de wisselingen van de momenten en dwarskrachten uitgerekend. Voor elke vrachtwagen zijn deze hieronder weergegeven.

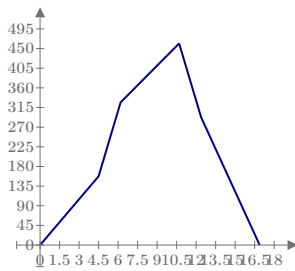
moment en dwarskracht op controlepunt $L_c = 6193 \text{ mm}$ tgv wagen op positie a



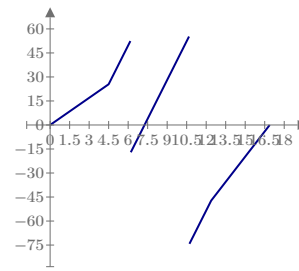
$$M(a) = R_1(a) \cdot (L_h - L_c) - c_1(a) \cdot F_1 \cdot (a - L_c) - c_2(a) \cdot F_2 \cdot (a - L_c - wb_1)$$

$$D(a) = R_1(a) - c_1(a) \cdot F_1 - c_2(a) \cdot F_2$$

Vrachtwagen type 1



$M(a \cdot m) \text{ (kNm)}$

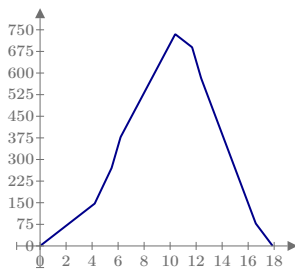


$D(a \cdot m) \text{ (kN)}$

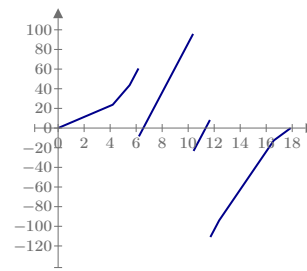
$$M_{\text{wagen1}_{n1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 461.7 \end{bmatrix} \text{ kNm}$$

$$D_{\text{wagen1}_{n1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 55.4 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vrachtwagen type 2



$M(a \cdot m) \text{ (kNm)}$

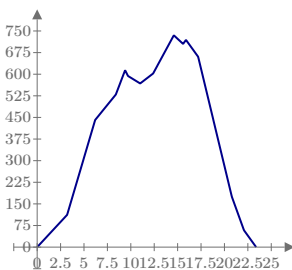


$D(a \cdot m) \text{ (kN)}$

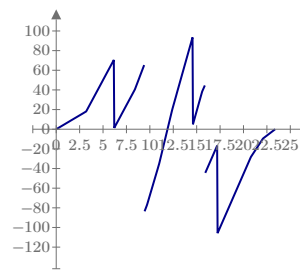
$$M_{\text{wagen2}_{n2}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 734.8 \end{bmatrix} \text{ kNm}$$

$$D_{\text{wagen2}_{n2}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 23.8 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vrachtwagen type 3



$M(a \cdot m) \text{ (kNm)}$

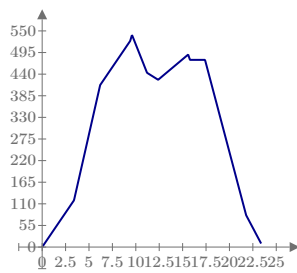


$D(a \cdot m) \text{ (kN)}$

$$M_{\text{wagen3}_{n3}} = \begin{bmatrix} 734.9 \\ 46 \end{bmatrix} \text{ kNm}$$

$$D_{\text{wagen3}_{n3}} = \begin{bmatrix} 4.7 \\ 49.7 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

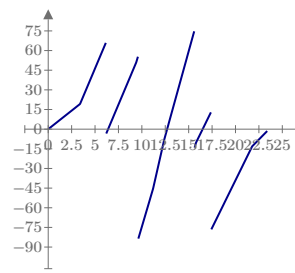
Vrachtwagen type 4



$M(a \cdot m) \text{ (kNm)}$

a

$$M_{wagen4_{n4}} = \begin{bmatrix} 539.8 \\ 64.1 \end{bmatrix} \text{ kNm}$$

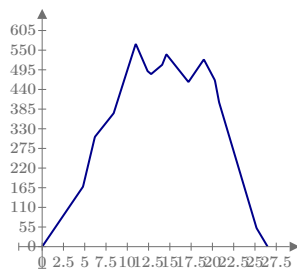


$D(a \cdot m) \text{ (kN)}$

a

$$D_{wagen4_{n4}} = \begin{bmatrix} 84.4 \\ 82.9 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

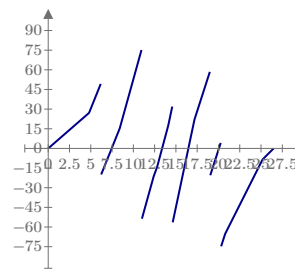
Vrachtwagen type 5



$M(a \cdot m) \text{ (kNm)}$

a

$$M_{wagen5_{n5}} = \begin{bmatrix} 538.6 \\ 84.9 \\ 63.2 \end{bmatrix} \text{ kNm}$$



$D(a \cdot m) \text{ (kN)}$

a

$$D_{wagen5_{n5}} = \begin{bmatrix} 57.4 \\ 40 \\ 36.5 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

aandeel van de vrachtwagen herleid naar de hoofdligger

$$p_{wagen80} := \frac{L_d - x_{rijweg1}}{L_d}$$

$$p_{wagen80} = 0.75$$

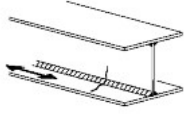
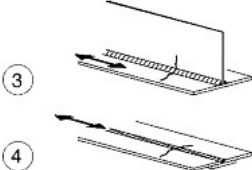
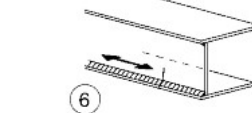
aandeel wagens per h.l. bij 1
last op de rijbaan

$$p_{wagen20} := \frac{2 \cdot L_d - (x_{rijweg1} + x_{rijweg2})}{L_d}$$

$$p_{wagen20} = 1$$

aandeels wagen per h.l.
bij 2 lasten op de rijbaan

Lasdetail

112			3) Automatic fillet or butt weld carried out from both sides but containing stop/start positions. 4) Automatic butt welds made from one side only, with a continuous backing bar, but without stop/start positions.	4) When this detail contains stop/start positions category 100 to be used.
100			5) Manual fillet or butt weld. 6) Manual or automatic butt welds carried out from one side only, particularly for box girders	5), 6) A very good fit between the flange and web plates is essential. The web edge to be prepared such that the root face is adequate for the achievement of regular root penetration without break-out.

$$b_3 = 900 \text{ mm}$$

breedte onderflens

$$r_d = 150 \text{ mm}$$

straal flens dd-hl

$$\Delta\sigma_c := 75 \text{ MPa}$$

vlgs 1993-1-9-2006 tabel 8.2
Lasdetail bij controlepunt in een
samengestelde ligger conform met detail 5

$$\Delta\sigma_c := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 65.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 48.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 26.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

$$\Delta\tau_c := 36 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

norm?

$$\Delta\tau_c := \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} = 31.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

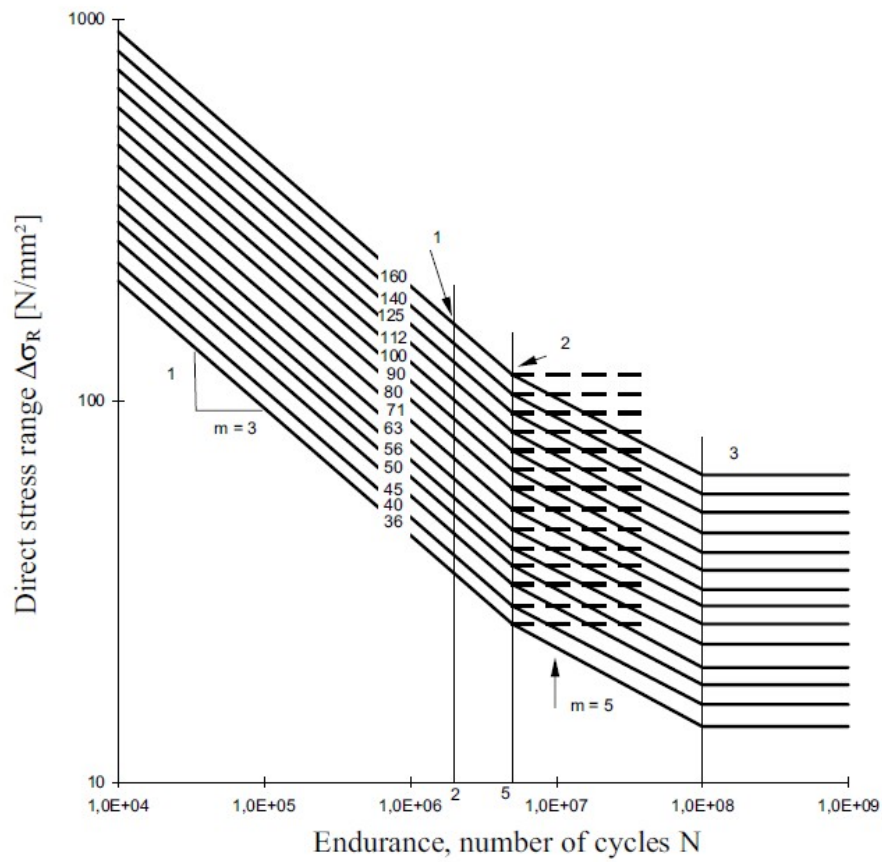
rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\tau_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\tau_c = 23.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\tau_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\tau_D = 12.7 \frac{N}{mm^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen



- 1 Detail category $\Delta\sigma_C$
- 2 Constant amplitude fatigue limit $\Delta\sigma_D$
- 3 Cut-off limit $\Delta\sigma_L$

Vermoeiingsschade vrachtwagen type 1

$$j := n1$$

$$\Delta\sigma_{R80_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot p_{wagen80} \cdot M_{wagen1_j}}{W_o} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 8.3 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
80% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R80_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot p_{wagen80} \cdot D_{wagen1_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 2.4 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_{R20_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot p_{wagen20} \cdot M_{wagen1_j}}{W_o} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 11.1 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
20% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R20_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot p_{wagen20} \cdot D_{wagen1_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 3.2 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{R\sigma80_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right] \quad N_{R\tau80_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right] \quad N_{R\sigma20_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right] \quad N_{R\tau20_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right]$$

$$n80_{i_j} := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen1} = \left[\begin{array}{c} 5 \cdot 10^6 \\ 5 \cdot 10^6 \end{array} \right]$$

$$n20_{i_j} := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen1} = \left[\begin{array}{c} 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \end{array} \right]$$

$$D_{\sigma80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\sigma80_j}} = \left[\begin{array}{c} 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-301} \end{array} \right]$$

$$D_{\tau80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\tau80_j}} = \left[\begin{array}{c} 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-301} \end{array} \right]$$

$$D_{\sigma20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\sigma20_j}} = \left[\begin{array}{c} 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \end{array} \right]$$

$$D_{\tau20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\tau20_j}} = \left[\begin{array}{c} 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \end{array} \right]$$

$$D_I := \sum_{j=1}^2 (D_{\sigma80_j} + D_{\tau80_j} + D_{\sigma20_j} + D_{\tau20_j}) = 0$$

vermoeiingsschade vrachtwagen type 2

$$j := n2$$

$$\Delta\sigma_{R80_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot M_{wagen2_j}}{W_o} = \begin{bmatrix} 0 \\ 13.3 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
80% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R80_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot D_{wagen2_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_{R20_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot M_{wagen2_j}}{W_o} = \begin{bmatrix} 0 \\ 17.7 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
20% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R20_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot D_{wagen2_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.4 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{R\sigma80_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\tau80_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\sigma20_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\tau20_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$$

$$n80_j := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen2} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$n20_j := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen2} = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^5 \\ 1.3 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\sigma80_j}} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\tau80_j}} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\sigma20_j}} = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^{-302} \\ 1.3 \cdot 10^{-302} \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\tau20_j}} = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^{-302} \\ 1.3 \cdot 10^{-302} \end{bmatrix}$$

$$D_2 := \sum_{j=1}^2 (D_{\sigma80_j} + D_{\tau80_j} + D_{\sigma20_j} + D_{\tau20_j}) = 2.5 \cdot 10^{-301}$$

vermoeyingsschade vrachtwagen type 3

$$j := n3$$

$$\Delta\sigma_{R80_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot M_{wagen3_j}}{W_o} = \left[\begin{array}{c} 13.3 \\ 0.8 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
 80% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R80_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot D_{wagen3_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \left[\begin{array}{c} 0.2 \\ 2.1 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_{R20_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot M_{wagen3_j}}{W_o} = \left[\begin{array}{c} 17.7 \\ 1.1 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
 20% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R20_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot D_{wagen3_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \left[\begin{array}{c} 0.3 \\ 2.8 \end{array} \right] \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{R\sigma80_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right]$$

$$N_{R\tau80_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right]$$

$$N_{R\sigma20_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right]$$

$$N_{R\tau20_j} = \left[\begin{array}{c} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{array} \right]$$

$$n80_j := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot leventuur \cdot P_{wagen3} = \left[\begin{array}{c} 2 \cdot 10^6 \\ 2 \cdot 10^6 \end{array} \right]$$

$$n20_j := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot leventuur \cdot P_{wagen3} = \left[\begin{array}{c} 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \end{array} \right]$$

$$D_{\sigma80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\sigma80_j}} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right]$$

$$D_{\tau80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\tau80_j}} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right]$$

$$D_{\sigma20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\sigma20_j}} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right]$$

$$D_{\tau20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\tau20_j}} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right]$$

$$D_3 := \sum_{j=1}^2 (D_{\sigma80_j} + D_{\tau80_j} + D_{\sigma20_j} + D_{\tau20_j}) = 0$$

vermoeiingsschade vrachtwagen type 4

$$j := n4$$

$$\Delta\sigma_{R80_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot M_{wagen4_j}}{W_o} = \left[\begin{matrix} 9.7 \\ 1.2 \end{matrix} \right] \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
80% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R80_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot D_{wagen4_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \left[\begin{matrix} 3.6 \\ 3.6 \end{matrix} \right] \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_{R20_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot M_{wagen4_j}}{W_o} = \left[\begin{matrix} 13 \\ 1.5 \end{matrix} \right] \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
20% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R20_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot D_{wagen4_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \left[\begin{matrix} 4.8 \\ 4.7 \end{matrix} \right] \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{R\sigma80_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\tau80_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\sigma20_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\tau20_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$$

$$n80_j := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen4} = \begin{bmatrix} 1.5 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

$$n20_j := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen4} = \begin{bmatrix} 3.8 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\sigma80_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\tau80_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\sigma20_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\tau20_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_4 := \sum_{j=1}^2 (D_{\sigma80_j} + D_{\tau80_j} + D_{\sigma20_j} + D_{\tau20_j}) = 0$$

$$j := n5$$

vermoeiingsschade vrachtwagen type 5

$$\Delta\sigma_{R80_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot M_{wagen5_j}}{W_o} = \begin{bmatrix} 9.7 \\ 1.5 \\ 1.1 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
80% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R80_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen80} \cdot D_{wagen5_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 1.7 \\ 1.6 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_{R20_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot M_{wagen5_j}}{W_o} = \begin{bmatrix} 13 \\ 2 \\ 1.5 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

spanningen voor
20% van de gevallen

$$\Delta\tau_{R20_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot P_{wagen20} \cdot D_{wagen5_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = \begin{bmatrix} 3.3 \\ 2.3 \\ 2.1 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{R\sigma80_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\tau80_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\sigma20_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix} \quad N_{R\tau20_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$$

$$n80_j := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot leventuur \cdot P_{wagen5} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

$$n20_j := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot leventuur \cdot P_{wagen5} = \begin{bmatrix} 2.5 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\sigma80_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau80_j} := \frac{n80_{i_j}}{N_{R\tau80_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\sigma20_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau20_j} := \frac{n20_{i_j}}{N_{R\tau20_j}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_5 := \sum_{j=1}^2 (D_{\sigma80_j} + D_{\tau80_j} + D_{\sigma20_j} + D_{\tau20_j}) = 0$$

$$\bar{D} := D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 5 \cdot 10^{-300}$$

totale vermoeiingsschade

1.3 dwarsdrager tussen

gegevens

$$L_d := 7760 \cdot \text{mm}$$

lengte dwarsdrager, overspanning

$$L_l := 2284 \cdot \text{mm}$$

lengte langsliggers, afstand tussen beide dwarsdragers

$$w_{rijweg} := 12640 \cdot \text{mm}$$

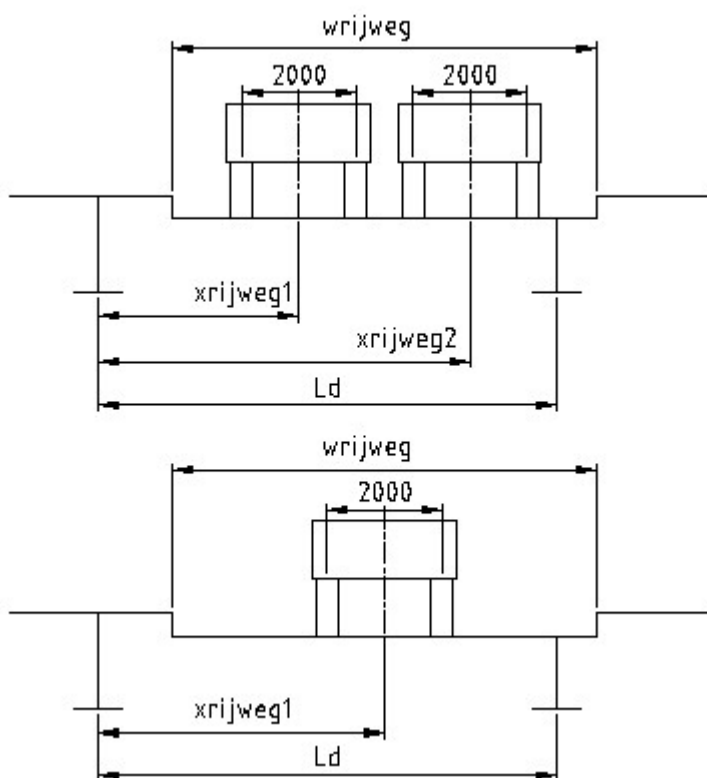
breedte rijweg (statisch) kies de ruimte tussen het leuningwerk of bij tussen de schampstroken indien die hoger zijn dan 200mm

$$x_{rijweg1} := 1830 \cdot \text{mm}$$

positie hart hoofdligger tot hart rijbaan 1 (meest in het midden van de dwarsdrager liggende rijbaan)

$$x_{rijweg2} := 5930 \cdot \text{mm}$$

positie hart hoofdligger tot hart rijbaan 2 (bij enkele rijbaan, $x_{rijweg2} = 0$ invullen)



Materiaalgegevens S355

$$R_k := 355 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

rekgrens $t \leq 40$ Rk=355, $40 < t \leq 80$ Rk=335

$$E := 210000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

E-modulus

$$\rho_{staal} := 7850 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

soortelijk gewicht staal

Toegepaste normen

NEN-EN-1991-1-9+C1+C2+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Vermoeiing

NEN-EN-1991-2+C1+NB(nl)

Belastingen op constructies - Verkeersbelasting op bruggen

NEN-EN-1993-2+C1-2011+NB(nl)-2011
 bruggen

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Stalen

Belastingsfactoren

$CC := 2$

Gevolgklasse vgl. 1990+A1+A1-C2 2019 - NB.23 - B1

$\gamma_G = 1.3$

Partiele veiligheidsfactor voor eigen gewicht als gevolg van de gevolgklasse vgl. 1990+A1+A1-C2-2019-NB-2019 tabel NB.17

$\gamma_Q = 1.35$

Partiele veiligheidsfactor voor de belasting als gevolg van de gevolgklasse vgl. 1990+A1+A1-C2-2019-NB-2019 tabel NB.17

$\alpha := 1$

Correctiefactor op de aslasten 1991-2+C1-2015-NB-2019 4.3.2 tabel NB.1

$\zeta := 1$

reductie op het eigen gewicht

$\psi_0 := 1$

reductie op de overheersende belasting

$\gamma_M := 1$

partiele veiligheidsfactor voor de weerstand vgl. 1993-2 +C1-2011-NB-2011 NB.2 - 6.1

$R_d := \frac{R_k}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$

rekenwaarde weerstand

tabel NB.5 -4.5(n) 1991-2 NB

Verkeerscategorie		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer	verkeerstype
1	Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en intensief vrachtverkeer	$2,0 \times 10^6$	1. lang
2	(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	$0,5 \times 10^6$	2. middellang
3	Wegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$	2. middellang
4	Wegen met weinig vrachtverkeer en bovendien uitsluitend bestemmingsverkeer	$0,05 \times 10^6$	3. lokaal

OPMERKING: De aantallen zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer $N_{obs,a,ai}$ zijn inclusief trend.

$verkeerscategorie := 3$

$verkeerstype = 2$

NEN-EN 1991-2 NB par 4.6.5.1

$N_{obs_a_sl} = 125000$

aantal vrachtauto's per jaar op de slow lane

Verkeerstype gebaseerd op: 8 bussen per uur (4 voor beide rijwegen) komt neer op 70.000 per jaar. Dit is een aanname dus is 125.000 veilig.

$levenduur := 100$

CC2 is normaal 50 jaar. echter de hoofdlijgerconstructie wordt met 100 jaar uitgerekend.

$\alpha_{fat} := 1$

reductiefactor volgens 1991-2 NB tabel NB.7 (16) mag die 0.9/1,15 zijn in bijv. 50km/h zone, CC2 niet industriegebied, geen doorgaande route etc.

$\Delta\phi_{fat} := 1.15 - \frac{0.15}{6 \cdot m} \cdot L_l = 1.09$

aanvullende dynamische vergrotingsfactor, vgl. 1991-2 NB (14), goed wegdek

$\gamma_{Ff} := 1$

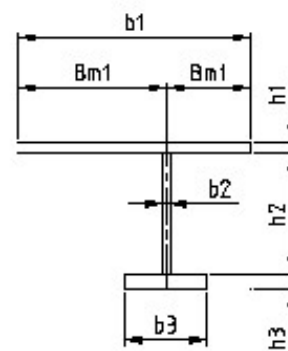
partiële factor voor de vermoeiingsbelasting vgl. 1993-2 par 9.3 (41)

$\gamma_{Mf} := 1.15$

partiële factor voor de vermoeiingsweerstand vgl. 1993-2 NB par 9.3 (15)

Profielgegevens

$h_1 := 16 \cdot \text{mm}$	dikte bovenflens
$b_2 := 12 \cdot \text{mm}$	dikte lijfplaat
$h_2 := 879 \cdot \text{mm}$	hoogte lijfplaat
$b_3 := 300 \cdot \text{mm}$	breedte onderflens
$h_3 := 30 \cdot \text{mm}$	dikte onderflens
$L_l = 2284 \text{ mm}$	hoh dwarsdragers
$L_d = 7760 \text{ mm}$	lengte dwarsdrager



meewerkende breedte (shear lag)

$$x := 1 \dots 2$$

$$b_{0_1} := \frac{L_l}{2} \quad b_{0_1} = 1142 \text{ mm}$$

halve overspanning troggen

$$b_{0_2} := \frac{L_l}{2} \quad b_{0_2} = 1142 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{0_x}}{\frac{L_d}{50}} = \begin{bmatrix} 7.4 \\ 7.4 \end{bmatrix}$$

indien groter dan 1 effecten van shear lag in rekening brengen NEN EN 1993-1-5-2025 en par. 5.1

$$A_{sl} := 0 \cdot \text{mm}^2$$

oppervlakte van alle langsverstijvingen binnen b_0 vlg. 1993-1-5-2025 Table 5.1

$$\alpha_{0_x} := \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_{0_x} \cdot h_1}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

tabel 5.1 NEN EN 1993-1-5-2025

$$\kappa_x := \frac{\alpha_{0_x} \cdot b_{0_x}}{L_d} = \begin{bmatrix} 0.15 \\ 0.15 \end{bmatrix}$$

$$\beta_{l_x} := \begin{cases} \text{if } \kappa_x \leq 0.02 \\ \parallel 1 \\ \text{also if } 0.02 < \kappa_x \leq 0.7 \\ \parallel \frac{1}{1 + 6.4 \cdot (\kappa_x)^2} \\ \text{else} \\ \parallel \frac{1}{5.9 \cdot \kappa_x} \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.88 \\ 0.88 \end{bmatrix}$$

reductiefactor voor het veldmoment

$$b_{eff_x} := \beta_{l_x} \cdot b_{0_x} = \begin{bmatrix} 1003 \\ 1003 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

effectieve breedte veldmoment

$$b_1 := b_{eff_1} + b_{eff_2} = 2006 \text{ mm}$$

breedte bovenflens

traagheidsmoment en weerstandsmomenten

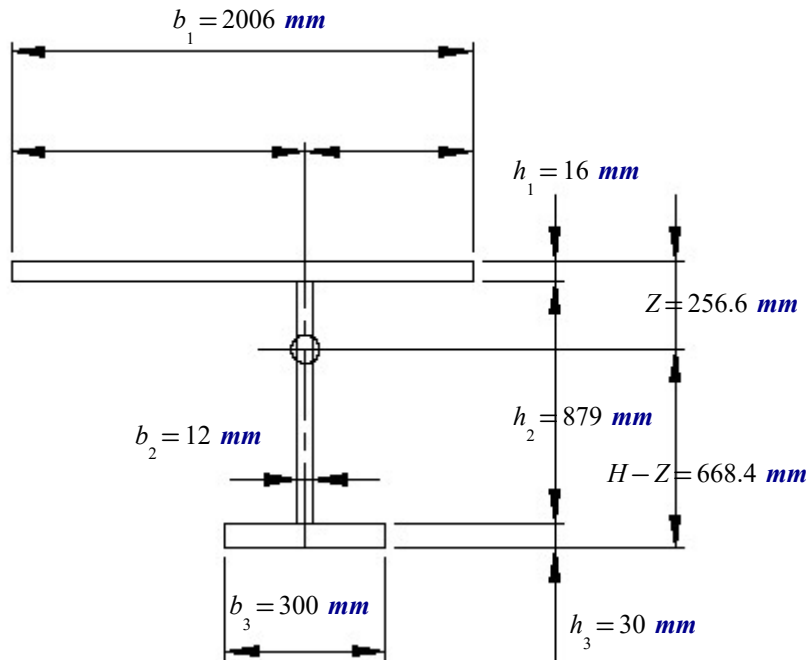
$$x := 1, 2 \dots 3$$

$$z_{o_1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$z_{o_2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 455.5 \text{ mm}$$

$$z_{o_3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 910 \text{ mm}$$



$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{o_x})}{\sum_x A_x} = 256.6 \text{ mm}$$

$$H := \sum_x h_x = 925 \text{ mm}$$

$$z_x := Z - z_{o_x}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot (h_x)^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 6923740903 \text{ mm}^4$$

$$W_b := \frac{I}{Z} = 26983235 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 10358588 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b_las} := \frac{Z - h_1}{Z} = 0.9$$

spanningsverhouding las
 t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o_las} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 1$$

$$A_{lijf} := A_2 = 10548 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 7978711 \text{ mm}^3$$

statisch moment bovenzijde

$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 5880652 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 51643 \text{ mm}^2$$

oppervlak profiel

Uiterste grenstoestand

indeling theoretische rijstroken

NEN-EN 1991-2-2025 par
6.2.3 tabel 6.1

$$n_{th,l} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{rijweg} < 5.4 \cdot m \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 1 \end{array} \right\| \\ \text{if } 5.4 \cdot m \leq w_{rijweg} < 6 \cdot m \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 2 \end{array} \right\| \\ \text{if } w_{rijweg} \geq 6 \cdot m \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{floor} \left(\frac{1}{3 \cdot m} \cdot w_{rijweg} \right) \end{array} \right\| \end{array} \right\| = 4$$

aantal theoretische rijstroken

$$w_{th,l} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{rijweg} < 5.4 \cdot m \vee w_{rijweg} \geq 6 \cdot m \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 3 \cdot m \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \frac{w_{rijweg}}{2} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = 3 \cdot m$$

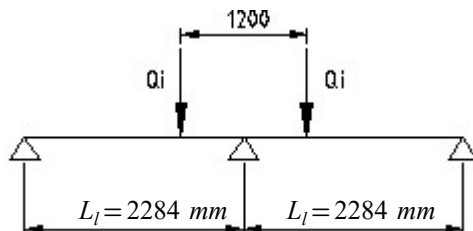
theoretische rijstrookbreedte

$$w_{rest} := w_{rijweg} - n_{th,l} \cdot w_{th,l} = 0.6 \cdot m$$

breedte van de reststrook

$$i := 1 \dots n_{th,l}$$

aandeel van de aslasten herleidt naar de dwarsdrager



aandeel van de assen in lengterichting verdeeld naar
de dwarsdrager. (formule via Claperon, zie evt
achtergrond document)

$$L_{as} := 1200 \cdot mm$$

$$x_{assen} := \frac{(16 \cdot L_l^3 - 6 \cdot L_l \cdot L_{as}^2 + L_{as}^3)}{8 \cdot L_l^3} = 1.81$$

belastingen

belastingsmodel 1 NEN-EN 1991-2-2025
 par 6.3.2. tabel 6.2

$$Q_{k_i} = \begin{bmatrix} 300 \\ 200 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

aslasten vlgs 1991-2-2025 par 6.3.2.
 tabel 6.2

$$\alpha_{Q_i} := \alpha$$

correctiefactor op de aslasten

$$q_{k_i} = \begin{bmatrix} 9 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

gelijkmatig verdeelde belasting

$$\alpha_{q_i} := \alpha$$

correctiefactor op de gelijkmatig verdeelde belasting

$$q_{rk} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

gelijkmatig verdeelde belasting op de reststrook

$$\alpha_{qr} := \alpha$$

correctiefactor op de reststrook

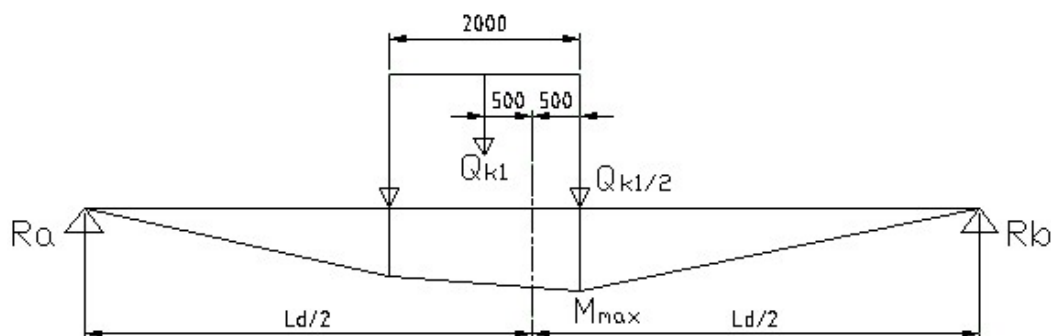
$$q_G := A_s \cdot \rho_{staal} \cdot g = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

gelijkmatig verdeelde belasting eigen gewicht

Voor het bepalen van de ongunstigste momenten en dwarskrachten op de dwarsdrager worden 2 belastingssituaties bekeken:

- 1) zwaarst belaste aslast van 300kN in het midden op ongunstigste positie
- 2) aslast van 300kN en 200kN op ongunstigste positie

Situatie bij 1 aslast



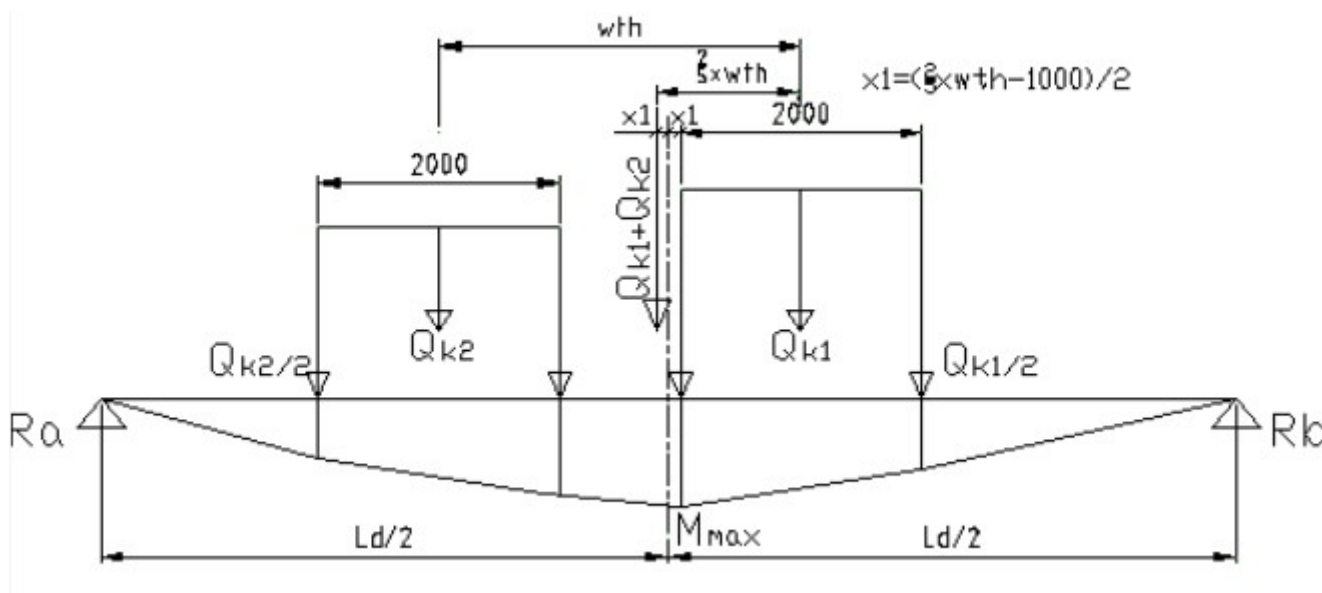
$$M_{Q1k} := \max \left(\frac{Q_{k_1}}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - 500 \cdot \text{mm} \right)^2, \frac{Q_{k_1}}{4} \cdot L_d \right) = 441.7 \text{ kNm}$$

maximaal moment bij 1 aslast

$$D_{Q1k} := \max \left(\frac{Q_{k_1}}{2}, \frac{Q_{k_1}}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - 500 \cdot \text{mm} \right) \right) = 150 \text{ kN}$$

maximale dwarskracht

Situatie bij 2 aslasten



$$M_{Q2k} := \frac{(Q_{k1} + Q_{k2})}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - \frac{w_{th,l}}{5} + 500 \cdot \text{mm} \right)^2 - Q_{k1} \cdot 1000 \cdot \text{mm} = 620.6 \text{ kNm} \quad \text{max. buigend moment}$$

$$D_{Q2k} := \max \left(\frac{Q_{k1}}{2}, \left(\frac{(Q_{k1} + Q_{k2})}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - \frac{w_{th,l}}{5} + 500 \cdot \text{mm} \right) - \frac{Q_{k1}}{2} \right) \right) = 150 \text{ kN} \quad \text{max dwarskracht}$$

$$M_{Qk} := \begin{cases} \text{if } n_{th,l} = 1 \\ \alpha_{Q1} \cdot M_{Q1k} \cdot x_{assen} \\ \text{else} \\ \alpha_{Q2} \cdot M_{Q2k} \cdot x_{assen} \end{cases} = 1124 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{moment tgv aslasten op dwarsdrager}$$

$$D_{Qk} := \begin{cases} \text{if } n_{th,l} = 1 \\ \alpha_{Q1} \cdot D_{Q1k} \cdot x_{assen} \\ \text{else} \\ \alpha_{Q2} \cdot D_{Q2k} \cdot x_{assen} \end{cases} = 271.7 \text{ kN} \quad \text{dwarskracht tgv aslasten op dwarsdrager}$$

gelijkmatig verdeelde belasting

Om de gelijkmatigverdeelde belasting eenvoudig te berekenen wordt over de hele dwarsdrager een gelijkmatige verdeelde belasting van $q_{k_2} = 2.5 \frac{kN}{m^2}$ gezet en in het midden van de dwarsdrager ipv een

gelijkmatige verdeelde belasting een puntlast ter grootte van $F_q := \left(9 \cdot \frac{kN}{m^2} - 2.5 \cdot \frac{kN}{m^2} \right) \cdot \frac{5}{4} \cdot L_l \cdot w_{th,l} = 55.7 \text{ kN}$

$$M_{qk} := \alpha_{q_1} \cdot \left(\frac{1}{8} \cdot q_{k_2} \cdot \frac{5}{4} \cdot L_l \cdot L_d^2 + \frac{1}{4} \cdot F_q \cdot L_d \right) = 161.7 \text{ kNm}$$

moment tgv lijnlasten

$$D_{qk} := \alpha_{q_1} \cdot \left(q_{k_2} \cdot \frac{5}{4} \cdot L_l \cdot \frac{L_d}{2} + \frac{1}{2} \cdot F_q \right) = 55.5 \text{ kN}$$

dwarskracht tgv lijnlast

eigen gewicht

$$q_G = 4 \frac{kN}{m}$$

gelijkmatig verdeelde belasting
 eigen gewicht

$$M_{Gk} := \frac{q_G \cdot L_d^2}{8} = 29.9 \text{ kN} \cdot m$$

moment en dwarskracht
 tgv eigengewicht

$$D_{Gk} := \frac{q_G \cdot L_d}{2} = 15.4 \text{ kN}$$

rekenwaarden van de momenten

$$M_d := \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot (M_{Qk} + M_{qk}) = 1774.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

rekenwaarde van het veldmoment

$$F_d := \gamma_G \cdot D_{Gk} + \gamma_Q \cdot (D_{Qk} + D_{qk}) = 461.8 \text{ kN}$$

rekenwaarde van de dwarskracht

$$\sigma_b := \frac{M_d}{W_b} = 65.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand

$$\sigma_o := \frac{M_d}{W_o} = 171.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand

$$\tau_b := \frac{F_d \cdot S_b}{b_2 \cdot I} = 44.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning

$$\tau_o := \frac{F_d \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = 32.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning

$$R_d = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{i_b} := \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2} = 101.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{i_b}}{R_d} = 0.28$$

$$\sigma_{i_o} := \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_o^2} = 180.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{i_o}}{R_d} = 0.51$$

$$E_d := \max(\sigma_{i_b}, \sigma_{i_o}) = 180.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Toets := \begin{cases} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \text{“Voldoet”} \\ \text{else} \\ \quad \text{“Voldoet niet”} \end{cases}$$

1990 par 6.4.2 (45)

Toets = “Voldoet”

inschatting doorbuiging

$$f_{ca} := \frac{4 \cdot (M_{Qk} + M_{qk}) \cdot L_d^2}{48 \cdot E \cdot I} = 4.4 \text{ mm} \quad \text{Doorbuiging}$$

$$f_{max} := \frac{L_d}{600} = 12.9 \text{ mm} \quad \text{Maximaal toelaatbare doorbuiging}$$

$$UC := \frac{f_{ca}}{f_{max}} = 0.3 \quad \text{Toetsing doorbuiging } UC < 1 = \text{voldoet}$$

vermoeding

Belastingsmodel 4a

NEN EN 1991-2 tabel NB.6 -4.7

Type voertuig			Verkeerstype			Wiel- type
Afbeelding van de vrachtwagen	Afstand tussen de assen m	Gelijkwaardige aslast kN	Lange afstand % ^a	Middellange afstand % ^a	Lokaal verkeer % ^a	
	4,5	70 130	20,0	50,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	5,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	40,0	20,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	25,0	15,0	5,0	A B C C
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	10,0	5,0	A B C C C

^a Percentage vrachtwagens.

De assen met een afstand kleiner dan 2m worden gecombineerd tot 1 as afdracht op de dwarsdrager.
De hieruit onstane aslasten worden dan als een volledige wisseling beschoud mbt vermoeiing.

vrachtwagen type 1

$$F_{as_1} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_2} := 130 \cdot kN$$

1 aslast 130 kN

vrachtwagen type 2

$$F_{as_3} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_4} = 213.6 \text{ kN}$$

2 aslasten 120 , 120 kN

vrachtwagen type 3

$$F_{as_5} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_6} := 150 \cdot kN$$

1 aslast 150 kN

$$F_{as_7} = 199.1 \text{ kN}$$

3 aslasten 90, 90, 90 kN

vrachtwagen type 4

$$F_{as_8} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_9} := 140 \cdot kN$$

1 aslast 140 kN

$$F_{as_{10}} = 143.6 \text{ kN}$$

2 aslasten 90, 90 kN

vrachtwagen type 5

$$F_{as_{11}} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_{12}} := 130 \cdot kN$$

1 aslast 130 kN

$$F_{as_{13}} := 90 \cdot kN$$

1 aslast 90 kN

$$F_{as_{14}} = 142 \text{ kN}$$

2 aslasten 80 , 80 kN

$$j := 1 \dots 14$$

aslast index

positionering vrachtwagens

de vrachtwagenwagen worden voor vermoeiing in hart rijbaan gepositioneerd. De spreiding in dwarsrichting wordt voor dwarsdragers gezien de marginale verspreiding niet meegenomen.

2 rijstroken met tegengesteld verkeer: 80% van de gevallen ($0.8 \cdot \text{Nobs}$) wordt aslast op de maatgevende rijstrook gezet. 80% van de gevallen wordt de aslast op de niet maatgevende rijstrook gezet. voor 20% van de gevallen wordt er gerekend met 2 lasten gelijktijdig op dezelfde positie op de rijbaan.

2 rijstroken met dezelfde rijrichting: geldt dat 1 op 10 passages de lasten gelijktijdig voorkomen. Met op de zwaar verkeerslast strook Nobs en gelijktijdig 0.1 Nobs op de andere strook.

per vrachtwagen combinatie wordt het aantal aslasten berekent welke het maximale moment met bij passende dwarskracht op de dwarsdrager uitoefent.

conservatief wordt de totale aslast als puntlast in het hart van de rijbaan aangebracht.

$\text{verkeerstype} = 2$

1 lange afstand (meer dan 100 km)
2 middellange afstand (50 tot 100 km)
3 lokaal verkeer (minder dan 50km)

$$P_{\text{wagen}_j} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

percentage van elke op de dwarsdrager afgedragen
aslasten uit NEN EN1991-2 tabel NB.6 -4.7

Momenten en dwarskrachten

Het maximale moment ligt altijd onder de wiellast van vrachtwagen op rijbaan 1, de meest in het midden van de dwarsdrager staande aslast.

De rijstroken kunnen zo zijn ingedeeld dat een wiellast niet op de dwarsdrager staat. Deze wordt dan ook niet meegerekend.

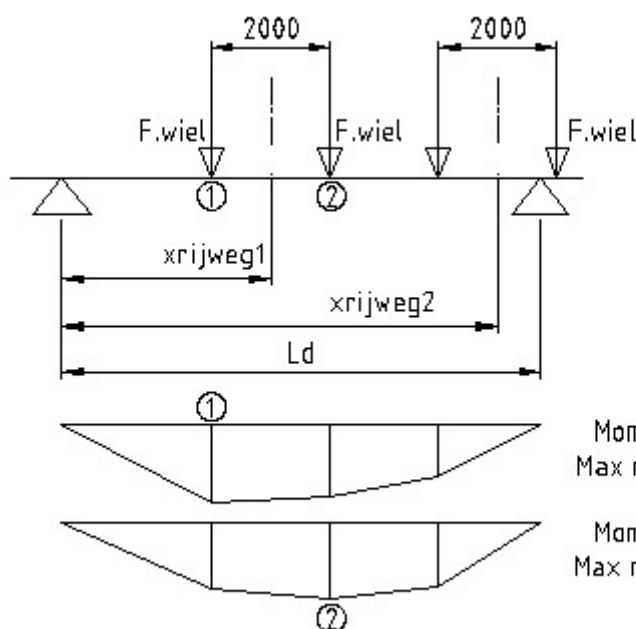
bepalen of de het wiel op de dwarsdrager staat of niet ($c=1$, wel $c=0$ niet)

$$c_1 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg1} - 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$

$$c_2 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg1} + 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$

$$c_3 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg2} - 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{also if } x_{rijweg2} = 0 \\ \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$

$$c_4 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg2} + 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{also if } x_{rijweg2} = 0 \\ \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$



$$F_{wiel_j} := \frac{F_{as_j}}{2} = \begin{bmatrix} 35 \\ 65 \\ 35 \\ 106.8 \\ 35 \\ 75 \\ 99.6 \\ 35 \\ 70 \\ 71.8 \\ 35 \\ 65 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Het moment in positie 1 en 2 worden voor elke wiellast afzonderlijk berekend. Van positie 1 en 2 worden vervolgens de momenten tgv de wiellasten bepaald ten gevolge van aslast 1, tgv aslast 2 en tgv aslast 1 en 2 gelijktijdig voorkomen. Hieruit worden de spanning en de schade uitgerekend.

Momenten per wiellast in positie 1 en 2

$$M_{wiel1p1_j} := c_1 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) \right)$$

moment pos 1
tgv F.wiel1

$$M_{wiel2p1_j} := c_2 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot 2 \cdot m \right)$$

moment pos 1
tgv F.wiel2

$$M_{wiel3p1_j} := c_3 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1}) \right)$$

moment pos 1
tgv F.wiel3

$$M_{wiel4p1_j} := c_4 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1} + 2 \cdot m) \right)$$

moment pos 1
tgv F.wiel4

$$M_{wiel1p2_j} := c_1 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) \right)$$

moment pos 2
tgv F.wiel1

$$M_{wiel2p2_j} := c_2 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) \right)$$

moment pos 2
tgv F.wiel2

$$M_{wiel3p2_j} := c_3 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1} - 2 \cdot m) \right)$$

moment pos 2
tgv F.wiel3

$$M_{wiel4p2_j} := c_4 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1}) \right)$$

moment pos 2
tgv F.wiel4

De dwarskracht is maximaal de wiellast en wordt onafhankelijke van de positie van het maximaal optredende moment volledig meegenomen.

$$D_{wagen_j} := \frac{F_{as_j}}{2}$$

Maximale momentwisseling tgv wagen 1 en wagen 2 en wagen 1 en 2 gecombineerd

In theorie zou positie 1 voor wagen 1 maatgevend kunnen zijn en positie 2 voor wagen 2 of beide wagens gecombineerd maatgevend kunnen zijn. Om geen 2 schade berekeningen te doen voor positie 1 en 2 wordt het maximum van de beide posities uitgerekend.

$$M_{wagen1_j} := \max \left(M_{wiel1p1_j} + M_{wiel2p1_j}, M_{wiel1p2_j} + M_{wiel2p2_j} \right)$$

max moment tgv 1 aslast op
 rijstrook 1

$$M_{wagen2_j} := \max \left(M_{wiel3p1_j} + M_{wiel4p1_j}, M_{wiel3p2_j} + M_{wiel4p2_j} \right)$$

max moment tgv 1 aslast op
 rijstrook 2

$$M_{wagen1_2_j} := M_{wagen1_j} + M_{wagen2_j}$$

max moment tgv 2 aslast op
 rijstrook 1 en 2 gelijktijdig

Momenten per wiellast in positie 1 en 2

$$M_{wagen1_j} = \begin{bmatrix} 81.4 \\ 151.1 \\ 81.4 \\ 248.3 \\ 81.4 \\ 174.4 \\ 231.5 \\ 81.4 \\ 162.8 \\ 166.9 \\ 81.4 \\ 151.1 \\ 104.6 \\ 165.6 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{wagen2_j} = \begin{bmatrix} 46.7 \\ 86.8 \\ 46.7 \\ 142.6 \\ 46.7 \\ 100.1 \\ 132.9 \\ 46.7 \\ 93.4 \\ 95.8 \\ 46.7 \\ 86.8 \\ 60.1 \\ 95 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{wagen1_2_j} = \begin{bmatrix} 128.1 \\ 237.9 \\ 128.1 \\ 390.9 \\ 128.1 \\ 274.5 \\ 364.4 \\ 128.1 \\ 256.2 \\ 262.8 \\ 128.1 \\ 237.9 \\ 164.7 \\ 260.6 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Vermoeiingsspanning

$$\Delta\sigma_{R1_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot M_{wagen1_j}}{W_o}$$

spanningen van wagen op rijstrook 1

$$\Delta\sigma_{R2_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot M_{wagen2_j}}{W_o}$$

spanningen van wagen op rijstrook 2

$$\Delta\sigma_{R1_2_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot M_{wagen1_2_j}}{W_o}$$

spanningen van wagen op rijstrook 2

$$\Delta\tau_{R_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot D_{wagen_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I}$$

afschuifspanningen

$$\Delta\sigma_{R1_j} = \begin{bmatrix} 8.2 \\ 15.2 \\ 8.2 \\ 25 \\ 8.2 \\ 17.6 \\ 23.3 \\ 8.2 \\ 16.4 \\ 16.8 \\ 8.2 \\ 15.2 \\ 10.5 \\ 16.7 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

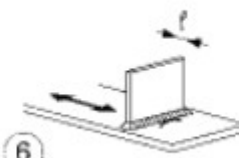
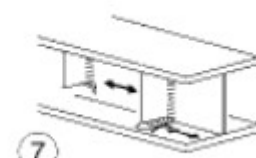
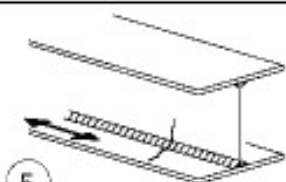
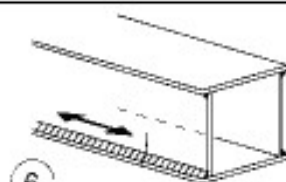
$$\Delta\sigma_{R2_j} = \begin{bmatrix} 4.7 \\ 8.7 \\ 4.7 \\ 14.4 \\ 4.7 \\ 10.1 \\ 13.4 \\ 4.7 \\ 9.4 \\ 9.7 \\ 4.7 \\ 8.7 \\ 6.1 \\ 9.6 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_{R1_2_j} = \begin{bmatrix} 12.9 \\ 24 \\ 12.9 \\ 39.4 \\ 12.9 \\ 27.7 \\ 36.7 \\ 12.9 \\ 25.8 \\ 26.5 \\ 12.9 \\ 24 \\ 16.6 \\ 26.3 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\tau_{R_j} = \begin{bmatrix} 2.7 \\ 5 \\ 2.7 \\ 8.3 \\ 2.7 \\ 5.8 \\ 7.7 \\ 2.7 \\ 5.4 \\ 5.6 \\ 2.7 \\ 5 \\ 3.5 \\ 5.5 \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

lasdetail

lasdetail uit de NEN-EN 1993 1-19

80	$\ell \leq 50 \text{ mm}$	 
100		 

$$\Delta\sigma_c := 100 \cdot \text{MPa}$$

$$\gamma_{Mf} = 1.15$$

$$\boxed{\Delta\sigma_c} := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 87 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 64.1 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 35.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

$$\Delta\tau_c := 36 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\boxed{\Delta\tau_c} := \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} = 31.3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\tau_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\tau_c = 23.1 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\tau_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\tau_D = 12.7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

Toelaatbare wisselingen bij de optredende wisselspanningen

$$N_{R\sigma l_j} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{Rl_j} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{Rl_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{Rl_j} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{Rl_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

toelaatbare wisselingen bij 1 aslast op rijstrook 1

$$N_{R\sigma 2_j} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R2_j} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R2_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R2_j} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R2_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

toelaatbare wisselingen bij 1 aslast op rijstrook 2

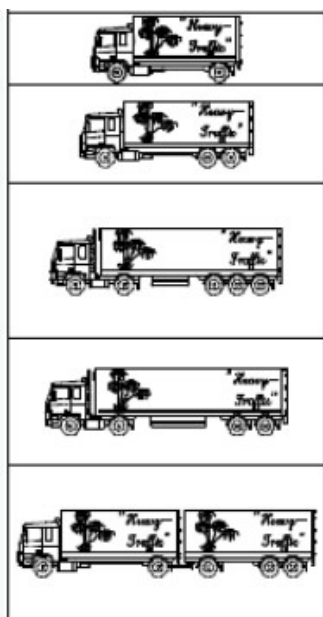
$$N_{R\sigma l_{-2_j}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{Rl_{-2_j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{Rl_{-2_j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{Rl_{-2_j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{Rl_{-2_j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

toelaatbare wisselingen bij 2 aslast op rijstrook 1 en 2

$$N_{R\tau_j} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\tau_{R_j} > \Delta\tau_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\tau_c}{\Delta\tau_{R_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\tau_L \leq \Delta\tau_{R_j} \leq \Delta\tau_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\tau_D}{\Delta\tau_{R_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

toetlaatbare wisselingen tgv dwarskrachten

aslasten	toel wisselingen 1 aslast, rijbaan 1	toel wisselingen 1 aslast, rijbaan 2	toel wisselingen 2 aslast, rijbaan 1 en 2	dwarswisseling
$\begin{bmatrix} \text{"1 x 70kN"} \\ \text{"1 x 130kN"} \\ \text{"1 x 70kN"} \\ \text{"2 x 120kN"} \\ \text{"1 x 70kN"} \\ \text{"1 x 150kN"} \\ \text{"3 x 90kN"} \\ \text{"1 x 70kN"} \\ \text{"1 x 140kN"} \\ \text{"2 x 90kN"} \\ \text{"1 x 70kN"} \\ \text{"1 x 130kN"} \\ \text{"1 x 90kN"} \\ \text{"2 x 80kN"} \end{bmatrix}$	$N_{R\sigma l_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$	$N_{R\sigma 2_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$	$N_{R\sigma l_{-2_j}} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 5.7 \cdot 10^7 \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 8.1 \cdot 10^7 \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$	$N_{R\tau_j} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$



$$F_{as_j} = \begin{bmatrix} 70 \\ 130 \\ 70 \\ 213.6 \\ 70 \\ 150 \\ 199.1 \\ 70 \\ 140 \\ 143.6 \\ 70 \\ 130 \\ 90 \\ 142.4 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$n80_j := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen_j}$$

aantal wisselingen tijdens de levensduur voor elke aslast indien er 1 rijstrook belast wordt (80% van de gevallen)

$$n20_j := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen_j}$$

aantal wisselingen tijdens de levensduur voor elke aslast indien er 2 rijstroken belast worden (20% van de gevallen)

$$n100_j := N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen_j}$$

Voor de dwars krachten worden de totaal aantallen meegenomen, omdat de dwarskrachten tgv de naast gelegen rijbaan verwaarloosbaar zullen zijn op de maatgevende rijstrook

$$n80_j = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^6 \\ 5 \cdot 10^6 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 2 \cdot 10^6 \\ 2 \cdot 10^6 \\ 2 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \end{bmatrix} \quad n20_j = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^5 \\ 1.3 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad n100_j = \begin{bmatrix} 6.3 \cdot 10^6 \\ 6.3 \cdot 10^6 \\ 6.3 \cdot 10^5 \\ 6.3 \cdot 10^5 \\ 6.3 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^6 \\ 2.5 \cdot 10^6 \\ 2.5 \cdot 10^6 \\ 1.9 \cdot 10^6 \\ 1.9 \cdot 10^6 \\ 1.9 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

vermoeiingschade berekening

$$D_{\sigma l_j} := \frac{n80_j}{N_{R\sigma l_j}}$$

vermoeiingschade van aslasten op rijbaan 1

$$D_{\sigma 2_j} := \frac{n80_j}{N_{R\sigma 2_j}}$$

vermoeiingschade van aslasten op rijbaan 2

$$D_{\sigma l_2_j} := \frac{n20_j}{N_{R\sigma l_2_j}}$$

vermoeiingschade van aslasten op
rijbaan 1 en 2 gelijktijdig voorkomen

$$D_{\tau_j} := \frac{n100_j}{N_{R\tau_j}}$$

vermoeiingsschade van de dwarskrachten

$$D_{\sigma l_j} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad D_{\sigma 2_j} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad D_{\sigma l_2_j} = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-302} \\ 2.2 \cdot 10^{-3} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 6.2 \cdot 10^{-3} \\ 3.8 \cdot 10^{-302} \\ 3.8 \cdot 10^{-302} \\ 3.8 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-302} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad D_{\tau_j} = \begin{bmatrix} 6.3 \cdot 10^{-301} \\ 6.3 \cdot 10^{-301} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-301} \\ 2.5 \cdot 10^{-301} \\ 2.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.9 \cdot 10^{-301} \\ 1.9 \cdot 10^{-301} \\ 1.9 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$D := \sum_{j=1}^{14} (D_{\sigma l_j} + D_{\sigma 2_j} + D_{\sigma l_2_j} + D_{\tau_j})$$

$$D = 8.38 \cdot 10^{-3}$$

totale vermoeiingsschade

1.4 dwarsdrager eind

gegevens

$$L_d := 5415 \cdot \text{mm}$$

lengte dwarsdrager, overspanning

$$L_l := 2284 \cdot \text{mm}$$

lengte langsliggers, afstand tussen beide dwarsdragers

$$L_o := 225 \cdot \text{mm}$$

lengte overkraging (hart dwarsdrager - einde dekplaat)

$$w_{rijweg} := 12640 \cdot \text{mm}$$

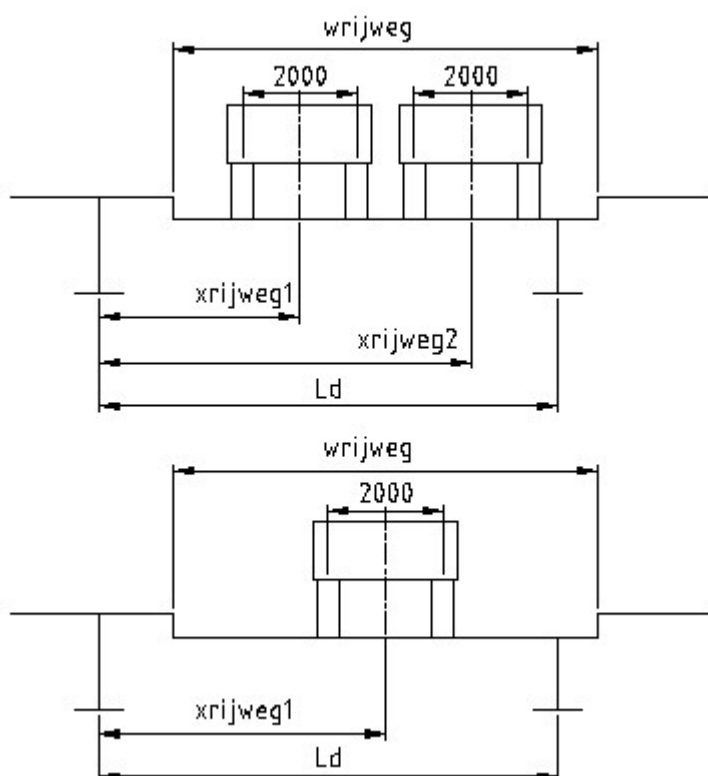
breedte rijweg (statisch) kies de ruimte tussen het leuningwerk of bij tussen de schampstroken indien die hoger zijn dan 200mm

$$x_{rijweg1} := 1940 \cdot \text{mm}$$

positie hart hoofdligger tot hart rijbaan 1 (meest in het midden van de dwarsdrager liggende rijbaan)

$$x_{rijweg2} := 5820 \cdot \text{mm}$$

positie hart hoofdligger tot hart rijbaan 2 (bij enkele rijbaan, $x_{rijweg2} = 0$ invullen)



Materiaalgegevens

$$R_k := 355 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

rekgrens $t \leq 40$ Rk=355, $40 < t \leq 80$ Rk=335

$$E := 210000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

E-modulus

$$\rho_{staal} := 7850 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

soortelijk gewicht staal

Toegepaste normen

NEN-EN-1991-1-9+C1+C2+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Vermoeiing

NEN-EN-1991-2+C1+NB(nl)

Belastingen op constructies - Verkeersbelasting op bruggen

NEN-EN-1993-2+C1+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Stalen bruggen

Belastingsfactoren

$CC := 2$

consequence klasse

$\gamma_G = 1.3$

partiele veiligheidsfactor voor eigen gewicht

$\gamma_Q = 1.35$

partiele veiligheidsfactor voor de belasting

$\alpha := 1$

reductie op de aslasten

$\zeta := 1$

reductie op het eigen gewicht

$\psi_0 := 1$

reductie op de overheersende belasting

$\gamma_M := 1$

partiele veiligheidsfactor voor de weerstand

$R_d := \frac{R_k}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$

rekenwaarde weerstand

tabel NB.5 -4.5(n) 1991-2 NB

Verkeerscategorie		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer	verkeerstype
1	Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en intensief vrachtverkeer	$2,0 \times 10^6$	1. lang
2	(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	$0,5 \times 10^6$	2. middellang
3	Wegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$	2. middellang
4	Wegen met weinig vrachtverkeer en bovendien uitsluitend bestemmingsverkeer	$0,05 \times 10^6$	3. lokaal

OPMERKING: De aantallen zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer $N_{obs,a,ai}$ zijn inclusief trend.

$verkeerscategorie := 3$

$verkeerstype = 2$

NEN-EN 1991-2 NB par 4.6.5.1

$N_{obs_a_sl} = 125000$

aantal vrachtauto's per jaar op de slow lane

$levenduur := 100$

CC2 is normaal 50 jaar. echter de hoofdliggerconstructie wordt met 100 jaar uitgerekend.

$\alpha_{fat} := 1$

reductiefactor volgens 1991-2 NB tabel NB.7 (16) mag die 0.9/1,15 zijn in bijv. 50km/h zone, CC2 niet industriegebied, geen doorgaande route etc.

$\Delta\phi_{fat} := 1.15 - \frac{0.15}{6 \cdot m} \cdot L_o = 1.14$

aanvullende dynamische vergrotingsfactor, vlgs 1991-2 NB (14), goed wegdek

$\gamma_{Ff} := 1$

partiële factor voor de vermoeiingsbelasting vlgs 1993-2 par 9.3 (41)

$\gamma_{Mf} := 1.15$

partiële factor voor de vermoeiingsweerstand vlgs 1993-2 NB par 9.3 (15)

Profielgegevens

$$h_1 := 16 \cdot \text{mm}$$

dikte bovenflens

$$b_2 := 12 \cdot \text{mm}$$

dikte lijfplaat

$$h_2 := 828 \cdot \text{mm}$$

hoogte lijfplaat

$$b_3 := 300 \cdot \text{mm}$$

breedte onderflens

$$h_3 := 30 \cdot \text{mm}$$

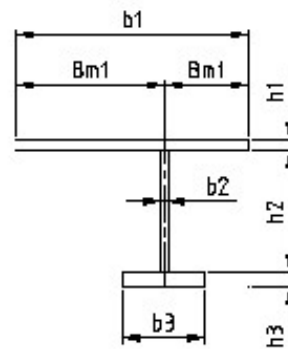
dikte onderflens

$$L_l = 2284 \text{ mm}$$

hoh dwarsdragers

$$L_d = 5415 \text{ mm}$$

lengte dwarsdrager



meewerkende breedte

$$x := 1 \dots 2$$

$$b_{0_1} := \frac{L_l}{2}$$

$$b_{0_1} = 1142 \text{ mm}$$

halve overspanning troggen

$$b_{0_2} := L_o$$

$$b_{0_2} = 225 \text{ mm}$$

overkraging dekplaat

$$\frac{b_{0_x}}{\frac{L_d}{50}} = \begin{bmatrix} 10.5 \\ 2.1 \end{bmatrix}$$

indien groter dan 1 effecten van shear lag in
 rekening brengen NEN EN 1993-1-5 par. 3.1

$$A_{sl} := 0 \cdot \text{mm}^2$$

oppervlakte van alle langsverstijvingen
 binnen b0

$$\alpha_{0_x} := \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_{0_x} \cdot h_1}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

tabel 3.1 NEN EN 1993-1-5 (12)

$$\kappa_x := \frac{\alpha_{0_x} \cdot b_{0_x}}{L_d} = \begin{bmatrix} 0.21 \\ 0.04 \end{bmatrix}$$

$$\beta_{l_x} := \begin{cases} \text{if } \kappa_x \leq 0.02 \\ \parallel 1 \\ \text{also if } 0.02 < \kappa_x \leq 0.7 \\ \parallel \frac{1}{1 + 6.4 \cdot (\kappa_x)^2} \\ \text{else} \\ \parallel \frac{1}{5.9 \cdot \kappa_x} \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.78 \\ 0.99 \end{bmatrix}$$

reductiefactor voor het
 veldmoment

$$b_{eff_x} := \beta_{l_x} \cdot b_{0_x} = \begin{bmatrix} 889 \\ 222.5 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

effectieve breedte veldmoment

$$b_1 := b_{eff_1} + b_{eff_2} = 1111.5 \text{ mm}$$

breedte bovenflens

traagheidsmoment en weerstandsmomenten

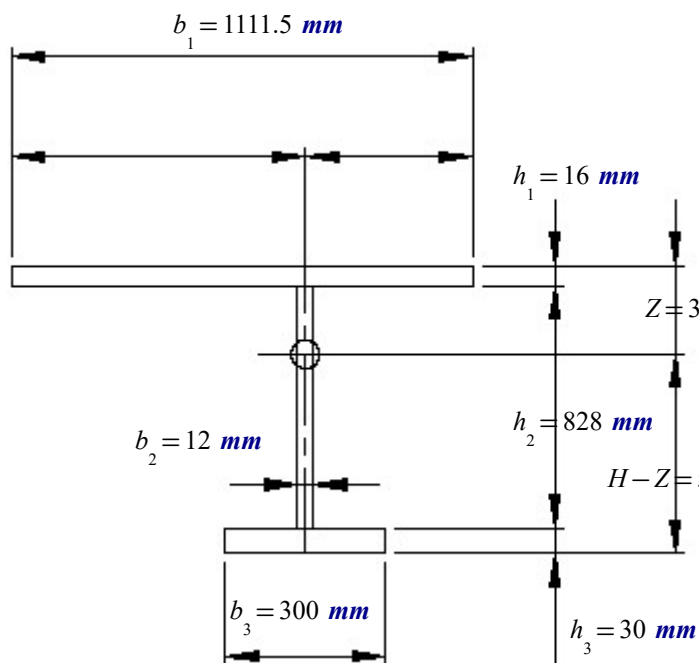
$$x := 1, 2 \dots 3$$

$$z_{o_1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$z_{o_2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 430 \text{ mm}$$

$$z_{o_3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 859 \text{ mm}$$



$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{o_x})}{\sum_x A_x} = 330.8 \text{ mm}$$

$$H := \sum_x h_x = 874 \text{ mm}$$

$$z_x := Z - z_{o_x}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot h_x^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 5030537011 \text{ mm}^4$$

$$W_b := \frac{I}{Z} = 15208700 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 9260368 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b_las} := \frac{Z - h_1}{Z} = 1$$

spanningsverhouding las
 t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o_las} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 0.9$$

$$A_{lijf} := A_2 = 9936 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 5740075 \text{ mm}^3$$

statisch moment bovenzijde

$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 4754097 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 36720 \text{ mm}^2$$

oppervlak profiel

Uiterste grenstoestand

indeling theoretische rijstroken

$$w_{rijweg} = 12640 \text{ mm}$$

NEN-EN 1991-2 par 4.2.3 (34)
tabel 4.1

$$n_{th,l} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{rijweg} < 5.4 \cdot m \\ \quad \left\| 1 \right\| \\ \text{if } 5.4 \cdot m \leq w_{rijweg} < 6 \cdot m \\ \quad \left\| 2 \right\| \\ \text{if } w_{rijweg} \geq 6 \cdot m \\ \quad \left\| \text{floor} \left(\frac{1}{3 \cdot m} \cdot w_{rijweg} \right) \right\| \end{array} \right\| = 4$$

aantal theoretische rijstroken

$$w_{th,l} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{rijweg} < 5.4 \cdot m \vee w_{rijweg} \geq 6 \cdot m \\ \quad \left\| 3 \cdot m \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \frac{w_{rijweg}}{2} \right\| \end{array} \right\| = 3 \text{ m}$$

theoretische rijstrookbreedte

$$w_{rest} := w_{rijweg} - n_{th,l} \cdot w_{th,l} = 0.6 \text{ m}$$

breedte van de reststrook

$$i := 1 \dots n_{th,l}$$

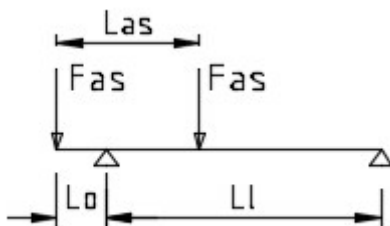
aandeel van de aslasten herleidt naar de dwarsdrager

1 aslast op de overkraging de andere verdeeld naar de dwarsdrager

$$L_l = 2284 \text{ mm}$$

$$L_{as} := 1200 \cdot m$$

$$L_o = 225 \text{ mm}$$



$$x_{assen} := 2 \cdot \frac{L_l + L_o - \frac{L_{as}}{2}}{L_l} = 1.67$$

aandeel assen

belastingen

belastingsmodel 1 NEN-
EN 1991-2 par 4.3.2.

$$Q_{k_i} = \begin{bmatrix} 300 \\ 200 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

aslasten

$$\alpha_{Q_i} := \alpha$$

correctiefactor op de aslasten

$$q_{k_i} = \begin{bmatrix} 9 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

gelijkmatig verdeelde belasting

$$\alpha_{q_i} := \alpha$$

correctiefactor op de gelijkmatig verdeelde belasting

$$q_{rk} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

gelijkmatig verdeelde belasting op de reststrook

$$\alpha_{qr} := \alpha$$

correctiefactor op de reststrook

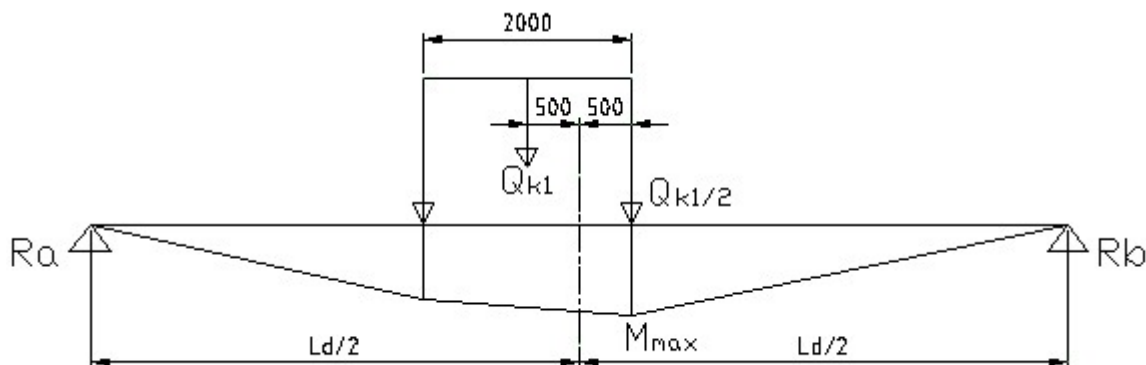
$$q_G := A_s \cdot \rho_{\text{staal}} \cdot g = 2.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

gelijkmatig verdeelde belasting eigen gewicht

Voor het bepalen van de ongunstigste momenten en dwarskrachten op de dwarsdrager worden 2 belastingssituaties bekeken:

- 1) zwaarst belaste aslast van 300kN in het midden op ongunstigste positie
- 2) aslast van 300kN en 200kN op ongunstigste positie

Situatie bij 1 aslast



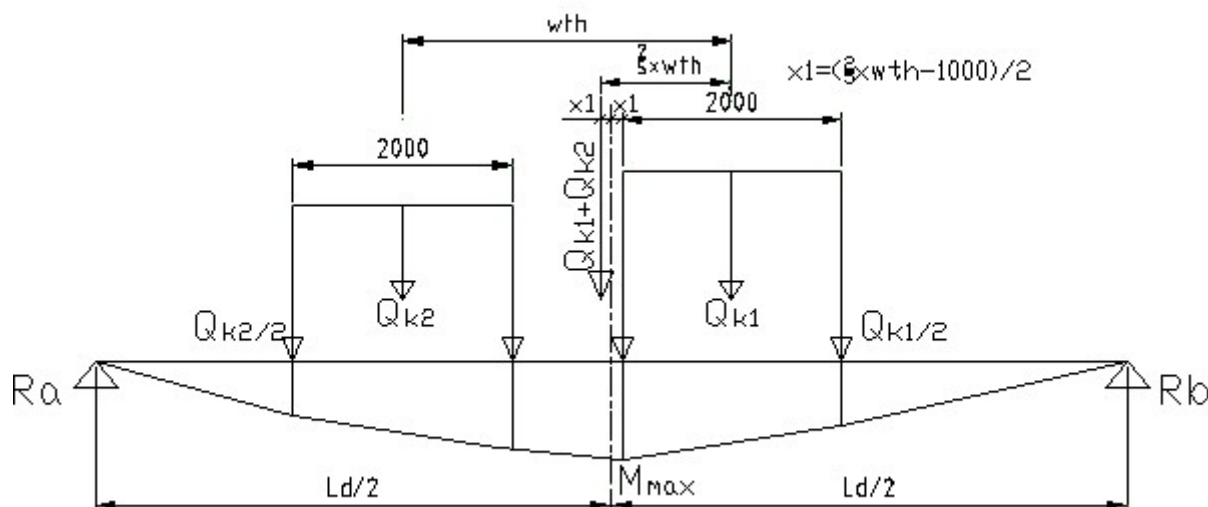
$$M_{Q1k} := \max \left(\frac{Q_{k_1}}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - 500 \cdot \text{mm} \right)^2, \frac{Q_{k_1}}{4} \cdot L_d \right) = 270 \text{ kNm}$$

max buigend moment

$$D_{Q1k} := \max \left(\frac{Q_{k_1}}{2}, \frac{Q_{k_1}}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - 500 \cdot \text{mm} \right) \right) = 150 \text{ kN}$$

max dwarskracht

Situatie bij 2 aslasten



$$M_{Q2k} := \frac{(Q_{k1} + Q_{k2})}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - \frac{w_{th,l}}{5} + 500 \cdot \text{mm} \right)^2 - Q_{k1} \cdot 1000 \cdot \text{mm} = 327.8 \text{ kNm} \quad \text{max. buigend moment}$$

$$D_{Q2k} := \max \left(\frac{Q_{k1}}{2}, \left(\frac{(Q_{k1} + Q_{k2})}{L_d} \cdot \left(\frac{L_d}{2} - \frac{w_{th,l}}{5} + 500 \cdot \text{mm} \right) - \frac{Q_{k1}}{2} \right) \right) = 150 \text{ kN} \quad \text{max dwarskracht}$$

$$M_{Qk} := \begin{cases} \text{if } n_{th,l} = 1 \\ \quad \left| \alpha_{Q1} \cdot M_{Q1k} \cdot x_{assen} \right| \\ \text{else} \\ \quad \left| \alpha_{Q2} \cdot M_{Q2k} \cdot x_{assen} \right| \end{cases} = 548 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{moment tgv aslasten op dwarsdrager}$$

$$D_{Qk} := \begin{cases} \text{if } n_{th,l} = 1 \\ \quad \left| \alpha_{Q1} \cdot D_{Q1k} \cdot x_{assen} \right| \\ \text{else} \\ \quad \left| \alpha_{Q2} \cdot D_{Q2k} \cdot x_{assen} \right| \end{cases} = 250.7 \text{ kN} \quad \text{dwarskracht tgv aslasten op dwarsdrager}$$

gelijkmatig verdeelde belasting

Om de gelijkmatigverdeelde belasting eenvoudig te berekenen wordt over de hele dwarsdrager een gelijkmatige verdeelde belasting van $q_{k_2} = 2.5 \frac{kN}{m^2}$ gezet en in het midden van de dwarsdrager ipv een

gelijkmatige verdeelde belasting een puntlast ter grootte van $F_q := \left(9 \cdot \frac{kN}{m^2} - 2.5 \cdot \frac{kN}{m^2} \right) \cdot \left(L_o + \frac{L_l}{2} \right) \cdot w_{th,l} = 26.7 \text{ kN}$

$$M_{qk} := \alpha_{q_1} \cdot \left(\frac{1}{8} \cdot q_{k_2} \cdot \left(L_o + \frac{L_l}{2} \right) \cdot L_d^2 + \frac{1}{4} \cdot F_q \cdot L_d \right) = 48.6 \text{ kNm}$$

moment tgv lijnlasten

$$D_{qk} := \alpha_{q_1} \cdot \left(q_{k_2} \cdot \left(L_o + \frac{L_l}{2} \right) \cdot \frac{L_d}{2} + \frac{1}{2} \cdot F_q \right) = 22.6 \text{ kN}$$

dwarskracht tgv lijnlast

eigen gewicht

$$q_G = 2.8 \frac{kN}{m}$$

gelijkmatig verdeelde belasting
eigen gewicht

$$M_{Gk} := \frac{q_G \cdot L_d^2}{8} = 10.4 \text{ kN} \cdot m$$

moment en dwarskracht
tgv eigengewicht

$$D_{Gk} := \frac{q_G \cdot L_d}{2} = 7.7 \text{ kN}$$

rekenenwaarden van de momenten

$$M_d := \gamma_G \cdot M_{Gk} + \gamma_Q \cdot (M_{Qk} + M_{qk}) = 818.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

rekenwaarde van het veldmoment

$$F_d := \gamma_G \cdot D_{Gk} + \gamma_Q \cdot (D_{Qk} + D_{qk}) = 378.9 \text{ kN}$$

rekenwaarde van de dwarskracht

$$\sigma_b := \frac{M_d}{W_b} = 53.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand

$$\sigma_o := \frac{M_d}{W_o} = 88.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand

$$\tau_b := \frac{F_d \cdot S_b}{b \cdot I} = 36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning

$$\tau_o := \frac{F_d \cdot S_o}{b \cdot I} = 29.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning

$$R_d = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{i_b} := \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2} = 82.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{i_b}}{R_d} = 0.23$$

$$\sigma_{i_o} := \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_o^2} = 102.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{i_o}}{R_d} = 0.29$$

$$E_d := \max(\sigma_{i_b}, \sigma_{i_o}) = 102.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Toets := \left\| \begin{array}{l} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Voldoet"} \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Voldoet niet"} \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

1990 par 6.4.2 (45)

Toets = "Voldoet"

inschatting doorbuiging

$$f_{ca} := \frac{4 \cdot (M_{Qk} + M_{qk}) \cdot L_d^2}{48 \cdot E \cdot I} = 1.4 \text{ mm}$$

$$f_{max} := \frac{L_d}{600} = 9 \text{ mm}$$

$$UC := \frac{f_{ca}}{f_{max}} = 0.2$$

vermoeding

Belastingsmodel 4a

NEN EN 1991-2 tabel NB.6 -4.7

Type voertuig			Verkeerstype			Wiel- type
Afbeelding van de vrachtwagen	Afstand tussen de assen m	Gelijkwaardige aslast kN	Lange afstand % ^a	Middellange afstand % ^a	Lokaal verkeer % ^a	
	4,5	70 130	20,0	50,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	5,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	40,0	20,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	25,0	15,0	5,0	A B C C
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	10,0	5,0	A B C C C
^a Percentage vrachtwagens.						

De assen met een afstand kleiner dan 2m worden gecombineerd tot 1 as afdracht op de dwarsdrager.
De hieruit onstane aslasten worden dan als een volledige wisseling beschoud mbt vermoeding.

vrachtwagen type 1

$$F_{as_1} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_2} := 130 \cdot kN$$

1 aslast 130 kN

vrachtwagen type 2

$$F_{as_3} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_4} = 195 \text{ kN}$$

2 aslasten 120 , 120 kN

vrachtwagen type 3

$$F_{as_5} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_6} := 150 \cdot kN$$

1 aslast 150 kN

$$F_{as_7} = 143 \text{ kN}$$

3 aslasten 90, 90, 90 kN

vrachtwagen type 4

$$F_{as_8} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_9} := 140 \cdot kN$$

1 aslast 140 kN

$$F_{as_{10}} = 127 \text{ kN}$$

2 aslasten 90, 90 kN

vrachtwagen type 5

$$F_{as_{11}} := 70 \cdot kN$$

1 aslast 70 kN

$$F_{as_{12}} := 130 \cdot kN$$

1 aslast 130 kN

$$F_{as_{13}} := 90 \cdot kN$$

1 aslast 90 kN

$$F_{as_{14}} = 130 \text{ kN}$$

2 aslasten 80 , 80 kN

$$j := 1 \dots 14$$

aslast index

positionering vrachtwagens

de vrachtwagenwagen worden voor vermoeiing in hart rijbaan gepositioneerd. De spreiding in dwarsrichting wordt voor dwarsdragers gezien de marginale verspreiding niet meegenomen.

2 rijstroken met tegengesteld verkeer: 80% van de gevallen ($0.8 \cdot \text{Nobs}$) wordt aslast op de maatgevende rijstrook gezet. 80% van de gevallen wordt de aslast op de niet maatgevende rijstrook gezet. voor 20% van de gevallen wordt er gerekend met 2 lasten gelijktijdig op dezelfde positie op de rijbaan.

2 rijstroken met dezelfde rijrichting: geldt dat 1 op 10 passages de lasten gelijktijdig voorkomen. Met op de zwaar verkeerslast strook Nobs en gelijktijdig 0.1 Nobs op de andere strook.

per vrachtwagen combinatie wordt het aantal aslasten berekent welke het maximale moment met bij passende dwarskracht op de dwarsdrager uitoefent.

conservatief wordt de totale aslast als puntlast in het hart van de rijbaan aangebracht.

$\text{verkeerstype} = 2$

1 lange afstand (meer dan 100 km)
2 middellange afstand (50 tot 100 km)
3 lokaal verkeer (minder dan 50km)

$$P_{\text{wagen}_j} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

percentage van elke op de dwarsdrager afgedragen
aslasten uit NEN EN1991-2 tabel NB.6 -4.7

Momenten en dwarskrachten

Het maximale moment ligt altijd onder de wiellast van vrachtwagen op rijbaan 1, de meest in het midden van de dwarsdrager staande aslast.

De rijstroken kunnen zo zijn ingedeeld dat een wiellast niet op de dwarsdrager staat. Deze wordt dan ook niet meegerekend.

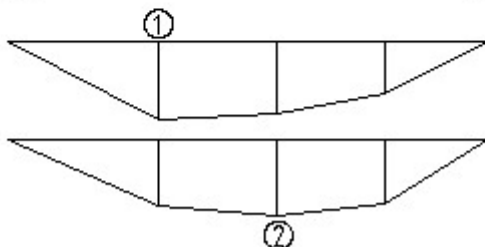
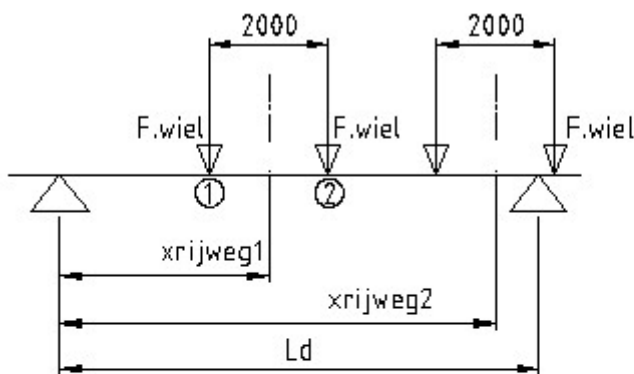
bepalen of de het wiel op de dwarsdrager staat of niet ($c=1$, wel $c=0$ niet)

$$c_1 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg1} - 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$

$$c_2 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg1} + 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$

$$c_3 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg2} - 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{also if } x_{rijweg2} = 0 \\ \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 1$$

$$c_4 := \begin{cases} \text{if } x_{rijweg2} + 1 \cdot m < L_d \\ \parallel \\ 1 \\ \text{also if } x_{rijweg2} = 0 \\ \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ 0 \end{cases} = 0$$



Momentenlijn
Max moment in 1

Momentenlijn
Max moment in 2

$$F_{wiel_j} := \frac{F_{as_j}}{2} = \begin{bmatrix} 35 \\ 65 \\ 35 \\ 97.7 \\ 35 \\ 75 \\ 71.5 \\ 35 \\ 70 \\ 63.4 \\ 35 \\ 65 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Het moment in positie 1 en 2 worden voor elke wiellast afzonderlijk berekend. Van positie 1 en 2 worden vervolgens de momenten tgv de wiellasten bepaald ten gevolge van aslast 1, tgv aslast 2 en tgv aslast 1 en 2 gelijktijdig voorkomen. Hieruit worden de spanning en de schade uitgerekend.

Momenten per wiellast in positie 1 en 2

$$M_{wiel1p1_j} := c_1 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) \right)$$

moment pos 1
 tgv F.wiel1

$$M_{wiel2p1_j} := c_2 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot 2 \cdot m \right)$$

moment pos 1
 tgv F.wiel2

$$M_{wiel3p1_j} := c_3 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1}) \right)$$

moment pos 1
 tgv F.wiel3

$$M_{wiel4p1_j} := c_4 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} + 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1} + 2 \cdot m) \right)$$

moment pos 1
 tgv F.wiel4

$$M_{wiel1p2_j} := c_1 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) \right)$$

moment pos 2
 tgv F.wiel1

$$M_{wiel2p2_j} := c_2 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg1} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) \right)$$

moment pos 2
 tgv F.wiel2

$$M_{wiel3p2_j} := c_3 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} - 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1} - 2 \cdot m) \right)$$

moment pos 2
 tgv F.wiel3

$$M_{wiel4p2_j} := c_4 \cdot \left(F_{wiel_j} \cdot \frac{x_{rijweg2} + 1 \cdot m}{L_d} \cdot (L_d - x_{rijweg1} - 1 \cdot m) - F_{wiel_j} \cdot (x_{rijweg2} - x_{rijweg1}) \right)$$

moment pos 2
 tgv F.wiel4

De dwarskracht is maximaal de wiellast en wordt onafhankelijke van de positie van het maximaal optredende moment volledig meegenomen.

$$D_{wagen_j} := \frac{F_{as_j}}{2}$$

Maximale momentwisseling tgv wagen 1 en wagen 2 en wagen 1 en 2 gecombineerd

In theorie zou positie 1 voor wagen 1 maatgevend kunnen zijn en positie 2 voor wagen 2 of beide wagens gecombineerd maatgevend kunnen zijn. Om geen 2 schade berekeningen te doen voor positie 1 en 2 wordt het maximum van de beide posities uitgerekend.

$$M_{wagen1_j} := \max \left(M_{wiel1p1_j} + M_{wiel2p1_j}, M_{wiel1p2_j} + M_{wiel2p2_j} \right)$$

max moment tgv 1 aslast op
rijstrook 1

$$M_{wagen2_j} := \max \left(M_{wiel3p1_j} + M_{wiel4p1_j}, M_{wiel3p2_j} + M_{wiel4p2_j} \right)$$

max moment tgv 1 aslast op
rijstrook 2

$$M_{wagen1_2_j} := M_{wagen1_j} + M_{wagen2_j}$$

max moment tgv 2 aslast op
rijstrook 1 en 2 gelijktijdig

Momenten per wielast in positie 1 en 2

$$M_{wagen1_j} = \begin{bmatrix} 62.1 \\ 115.3 \\ 62.1 \\ 173.2 \\ 62.1 \\ 133 \\ 126.7 \\ 62.1 \\ 124.1 \\ 112.4 \\ 62.1 \\ 115.3 \\ 79.8 \\ 115.5 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{wagen2_j} = \begin{bmatrix} 11.3 \\ 21 \\ 11.3 \\ 31.6 \\ 11.3 \\ 24.2 \\ 23.1 \\ 11.3 \\ 22.6 \\ 20.5 \\ 11.3 \\ 21 \\ 14.5 \\ 21 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{wagen1_2_j} = \begin{bmatrix} 73.4 \\ 136.3 \\ 73.4 \\ 204.8 \\ 73.4 \\ 157.2 \\ 149.8 \\ 73.4 \\ 146.8 \\ 132.9 \\ 73.4 \\ 136.3 \\ 94.3 \\ 136.5 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Vermoeiingsspanning

$$\Delta\sigma_{R1_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot M_{wagen1_j}}{W_o}$$

spanningen van wagen op rijstrook 1

$$\Delta\sigma_{R2_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot M_{wagen2_j}}{W_o}$$

spanningen van wagen op rijstrook 2

$$\Delta\sigma_{R1_2_j} := \frac{v_{o_las} \cdot \alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot M_{wagen1_2_j}}{W_o}$$

spanningen van wagen op rijstrook 2

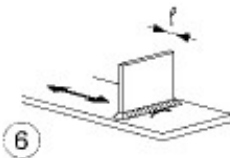
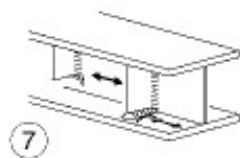
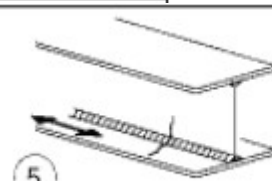
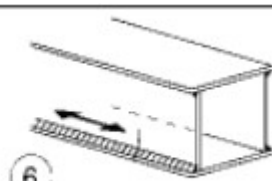
$$\Delta\tau_{R_j} := \frac{\alpha_{fat} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot D_{wagen_j} \cdot S_o}{b_2 \cdot I}$$

afschuifspanningen

$$\Delta\sigma_{R1_j} = \begin{bmatrix} 7.2 \\ 13.5 \\ 7.2 \\ 20.2 \\ 7.2 \\ 15.5 \\ 14.8 \\ 7.2 \\ 14.5 \\ 13.1 \\ 7.2 \\ 13.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2} \quad \Delta\sigma_{R2_j} = \begin{bmatrix} 1.3 \\ 2.5 \\ 1.3 \\ 3.7 \\ 1.3 \\ 2.8 \\ 2.7 \\ 1.3 \\ 2.6 \\ 2.4 \\ 1.3 \\ 2.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2} \quad \Delta\sigma_{R1_2_j} = \begin{bmatrix} 8.6 \\ 15.9 \\ 8.6 \\ 23.9 \\ 8.6 \\ 18.4 \\ 17.5 \\ 8.6 \\ 17.1 \\ 15.5 \\ 8.6 \\ 15.9 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2} \quad \Delta\tau_{R_j} = \begin{bmatrix} 3.2 \\ 5.9 \\ 3.2 \\ 8.8 \\ 3.2 \\ 6.8 \\ 6.4 \\ 3.2 \\ 6.3 \\ 5.7 \\ 3.2 \\ 5.9 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

lasdetail

lasdetail uit de NEN-EN 1993 1-19

80	$\ell \leq 50 \text{ mm}$	 
100		 

$$\Delta\sigma_c := 80 \cdot \text{MPa}$$

$$\gamma_{Mf} = 1.15$$

$$\Delta\sigma_c := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 69.6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 51.3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 28.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

$$\Delta\tau_c := 36 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta\tau_c := \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} = 31.3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\tau_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\tau_c = 23.1 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\tau_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\tau_D = 12.7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

Toelaatbare wisselingen bij de optredende wisselspanningen

$$N_{R\sigma 1_j} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R1_j} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R1_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R1_j} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R1_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \left\| \infty \right. \end{cases}$$

toelaatbare wisselingen bij 1 aslast op rijstrook 1

$$N_{R\sigma 2_j} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R2_j} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R2_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R2_j} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R2_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \left\| \infty \right. \end{cases}$$

toelaatbare wisselingen bij 1 aslast op rijstrook 2

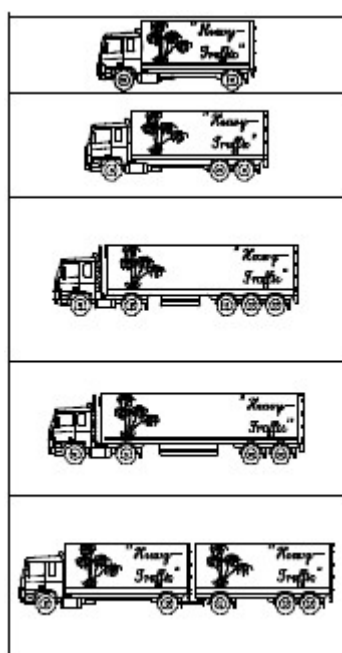
$$N_{R\sigma 1-2_j} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R1-2_j} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R1-2_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R1-2_j} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R1-2_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \left\| \infty \right. \end{cases}$$

toelaatbare wisselingen bij 2 aslast op rijstrook 1 en 2

$$N_{R\tau_j} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta\tau_{R_j} > \Delta\tau_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\tau_c}{\Delta\tau_{R_j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\tau_L \leq \Delta\tau_{R_j} \leq \Delta\tau_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\tau_D}{\Delta\tau_{R_j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right.$$

toetlaatbare wisselingen tgv dwarskrachten

aslasten	toel wisselingen 1 aslast, rijbaan 1	toel wisselingen 1 aslast, rijbaan 2	toel wisselingen 2 aslast, rijbaan 1 en 2	dwarswisseling
“1 x 70kN” “1 x 130kN” “1 x 70kN” “2 x 120kN” “1 x 70kN” “1 x 150kN” “3 x 90kN” “1 x 70kN” “1 x 140kN” “2 x 90kN” “1 x 70kN” “1 x 130kN” “1 x 90kN” “2 x 80kN”	$1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$	$1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$	$1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$	$1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$ $1 \cdot 10^{307}$



$$F_{as_j} = \begin{bmatrix} 70 \\ 130 \\ 70 \\ 195.3 \\ 70 \\ 150 \\ 142.9 \\ 70 \\ 140 \\ 126.8 \\ 70 \\ 130 \\ 90 \\ 130.2 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$n80_j := 0.8 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen_j}$$

aantal wisselingen tijdens de levensduur voor elke aslast indien er 1 rijstrook belast wordt (80% van de gevallen)

$$n20_j := 0.2 \cdot N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen_j}$$

aantal wisselingen tijdens de levensduur voor elke aslast indien er 2 rijstroken belast worden (20% van de gevallen)

$$n100_j := N_{obs_a_sl} \cdot lewenduur \cdot P_{wagen_j}$$

Voor de dwars krachten worden de totaal aantallen meegenomen, omdat de dwarskrachten tgv de naast gelegen rijbaan verwaarloosbaar zullen zijn op de maatgevende rijstrook

$$n80_j = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^6 \\ 5 \cdot 10^6 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 2 \cdot 10^6 \\ 2 \cdot 10^6 \\ 2 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \\ 1.5 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \\ 1 \cdot 10^6 \end{bmatrix} \quad n20_j = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^5 \\ 1.3 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 5 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \\ 3.8 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^5 \end{bmatrix} \quad n100_j = \begin{bmatrix} 6.3 \cdot 10^6 \\ 6.3 \cdot 10^6 \\ 6.3 \cdot 10^5 \\ 6.3 \cdot 10^5 \\ 2.5 \cdot 10^6 \\ 2.5 \cdot 10^6 \\ 2.5 \cdot 10^6 \\ 1.9 \cdot 10^6 \\ 1.9 \cdot 10^6 \\ 1.9 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \\ 1.3 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

vermoeiingschade berekening

$$D_{\sigma l_j} := \frac{n80_j}{N_{R\sigma l_j}}$$

vermoeiingschade van aslasten op rijbaan 1

$$D_{\sigma 2_j} := \frac{n80_j}{N_{R\sigma 2_j}}$$

vermoeiingschade van aslasten op rijbaan 2

$$D_{\sigma l_{-2}_j} := \frac{n20_j}{N_{R\sigma l_{-2}_j}}$$

vermoeiingschade van aslasten op
rijbaan 1 en 2 gelijktijdig voorkomen

$$D_{\tau_j} := \frac{n100_j}{N_{R\tau_j}}$$

vermoeiingsschade van de dwarskrachten

$$D_{\sigma l_j} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma 2_j} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-301} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 2 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.5 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \\ 1 \cdot 10^{-301} \end{bmatrix}$$

$$D_{\sigma l_{-2}_j} = \begin{bmatrix} 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-302} \\ 1.3 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 5 \cdot 10^{-302} \\ 3.8 \cdot 10^{-302} \\ 3.8 \cdot 10^{-302} \\ 3.8 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-302} \end{bmatrix}$$

$$D_{\tau_j} = \begin{bmatrix} 6.3 \cdot 10^{-301} \\ 6.3 \cdot 10^{-301} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 2.5 \cdot 10^{-301} \\ 2.5 \cdot 10^{-301} \\ 2.5 \cdot 10^{-301} \\ 1.9 \cdot 10^{-301} \\ 1.9 \cdot 10^{-301} \\ 1.9 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \end{bmatrix}$$

$$D := \sum_{j=1}^{14} (D_{\sigma l_j} + D_{\sigma 2_j} + D_{\sigma l_{-2}_j} + D_{\tau_j})$$

$$D = 8.93 \cdot 10^{-300}$$

totale vermoeiingsschade

1.5 Langsligger (trog) veld - en overgangsmomenten

afmetingen

$$L_l := 2272 \cdot \text{mm}$$

lengte langsligger, overspanning

$$L_o := 280 \cdot \text{mm}$$

maximale overspanning van de overkraging bij voor -of achterhar (hart dwarsdrager - einde dekplaat)

$$t_{dek} := 16 \cdot \text{mm}$$

dikte dekplaat

$$b_{tr} := 300 \cdot \text{mm}$$

breedte trog
bij dekplaat

$$h_{trog} := 300 \cdot \text{mm}$$

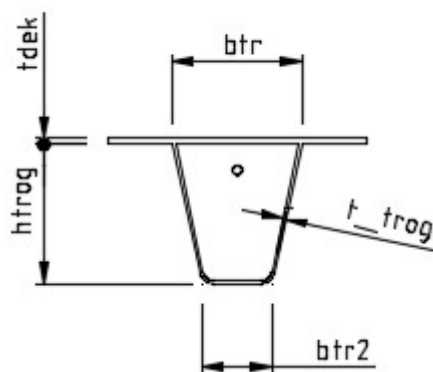
hoogte trog

$$b_{tr2} := 200 \cdot \text{mm}$$

breedte onderkant trog

$$t_{trog} := 8 \cdot \text{mm}$$

dikte trog



materiaalgegevens

$$R_k := 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

rekgrens $t \leq 40$ $R_k=355$, $40 < t \leq 80$ $R_k=335$

$$E := 210000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

E-modulus

$$\rho_{staal} := 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

soortelijk gewicht staal

toegepaste normen

NEN-EN-1991-1-9+C1+C2+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Vermoeiing

NEN-EN-1991-2+C1+NB(nl)

Belastingen op constructies - Verkeersbelasting op bruggen

NEN-EN-1993-2+C1+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Stalen bruggen

NEN-EN-1993-1-5+C1+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Constructieve plaatvelden

uitgangspunten belasting

uiterste grenstoestand

$$Q_k := 300 \cdot kN$$

Belastingsmodel 1 1991-2
 aslast en gelijkmatig verdeelde belasting

$$q_k := 9 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$Q_{ak} := 400 \cdot kN$$

Belastingsmodel 2 1991-2 par 4.3.3.
 lokale belasting, aslast

$$CC := 2$$

Gevolgklasse vlgs. 1990+A1+A1-C2
 2019 - NB.23 - B1

vermoeding

tabel NB.5 -4.5(n) 1991-2 NB

Verkeerscategorie		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer	verkeerstype
1	Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en intensief vrachtverkeer	$2,0 \times 10^6$	1. lang
2	(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	$0,5 \times 10^6$	2. middellang
3	Wegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$	2. middellang
4	Wegen met weinig vrachtverkeer en bovendien uitsluitend bestemmingsverkeer	$0,05 \times 10^6$	3. lokaal
OPMERKING: De aantallen zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer $N_{obs,a,ai}$ zijn inclusief trend.			

$$verkeerscategorie := 3$$

$$verkeerstype = 2$$

NEN-EN 1991-2 NB par 4.6.5.1

$$N_{obs_a_sl} = 125000$$

aantal vrachtauto's per jaar op
 de slow lane

$$levensduur := 50$$

CC2 is normaal 50 jaar. echter de
 hoofdlijgerconstructie wordt met 100
 jaar uitgerekend.

Verkeerstype gebaseerd op: 8 bussen per uur (4 voor beide rijwegen)
 komt neer op 70.000 per jaar. Dit is een aanname dus is 125.000 veilig.

Profielgegevens

$$L_1 = 2272 \text{ mm}$$

hoh dwarsdragers

$$H := t_{dek} + h_{trog} = 316 \text{ mm}$$

hoogte trog incl dekplaat

$$verh := \frac{1}{\sin \left(\arctan \left(\frac{H}{\frac{b_{tr} - b_{tr2}}{2}} \right) \right)} = 1.01$$

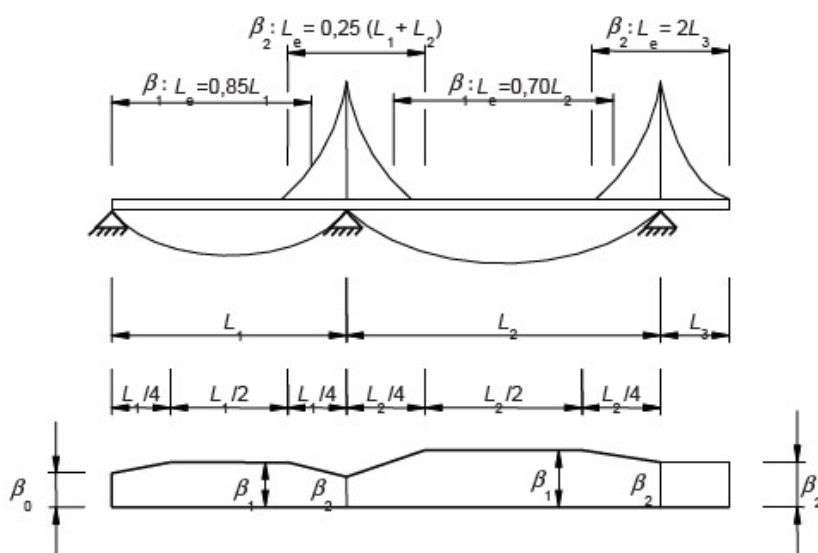
correctie op
scheeflopen
lijfplaat langsligger

$$b_2 := 2 \cdot t_{trog} \cdot verh = 16.2 \text{ mm}$$

gecorrigeerde dikte lijfplaat ivm
scheve trogbenen

meewerkende breedte (shear lag)

meewerkende plaatbreedte volgens
NEN EN 1993-1-5 par. 3.2.1.



lengte langsliggers
(L1 en L2 in het plaatje.
deze zijn gelijk)

$$L_1 = 2272 \text{ mm}$$

lengte overkraging
(L3 in het plaatje)

$$L_o = 280 \text{ mm}$$

$$b_0 := \frac{b_{tr}}{2} = 150 \text{ mm}$$

halve overspanning dekplaat

de overkraging

$$L_{o1\beta} := 2 \cdot L_o = 560 \text{ mm}$$

$$\frac{b_0}{\frac{L_{o1\beta}}{50}} = 13.4$$

$$\kappa_{o1\beta} := \frac{b_0}{L_{o1\beta}} = 0.27$$

veldmoment

$$L_{l\beta} := 0.7 \cdot L_l = 1590.4 \text{ mm}$$

$$\frac{b_0}{\frac{L_{l\beta}}{50}} = 4.7$$

$$\kappa_{v\beta} := \frac{b_0}{L_{l\beta}} = 0.09$$

overgangsmoment

$$L_{o2\beta} := 0.25 \cdot (L_l + L_i) = 1136 \text{ mm} \quad \text{effectieve lengtes}$$

$$\frac{b_0}{\frac{L_{o2\beta}}{50}} = 6.6$$

$$\kappa_{o2\beta} := \frac{b_0}{L_{o2\beta}} = 0.13$$

indien >1
 breedte
 reduceren

$$\beta_v := \begin{cases} \text{if } \kappa_{v\beta} \leq 0.02 \\ \parallel 1 \\ \text{also if } 0.02 < \kappa_{v\beta} \leq 0.7 \\ \parallel \frac{1}{1 + 6.4 \cdot (\kappa_{v\beta})^2} \\ \text{else} \\ \parallel \frac{1}{5.9 \cdot \kappa_{v\beta}} \end{cases}$$

$$\beta_{o1} := \begin{cases} \text{if } \kappa_{o1\beta} \leq 0.02 \\ \parallel 1 \\ \text{also if } 0.02 < \kappa_{o1\beta} \leq 0.7 \\ \parallel \frac{1}{1 + 6.0 \cdot \left(\kappa_{o1\beta} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{o1\beta}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{o1\beta}^2} \\ \text{else} \\ \parallel \frac{1}{8.6 \cdot \kappa_{o1\beta}} \end{cases}$$

$$\beta_{o1} = 0.37$$

$$\beta_v = 0.95$$

$$\beta_{o2} := \begin{cases} \text{if } \kappa_{o2\beta} \leq 0.02 \\ \parallel 1 \\ \text{also if } 0.02 < \kappa_{o2\beta} \leq 0.7 \\ \parallel \frac{1}{1 + 6.0 \cdot \left(\kappa_{o2\beta} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{o2\beta}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{o2\beta}^2} \\ \text{else} \\ \parallel \frac{1}{8.6 \cdot \kappa_{o2\beta}} \end{cases}$$

$$\beta_{o2} = 0.55$$

reductiefactor en
 plaatbreedtes
 NEN-EN 1993-1-5
 tabel 3.1

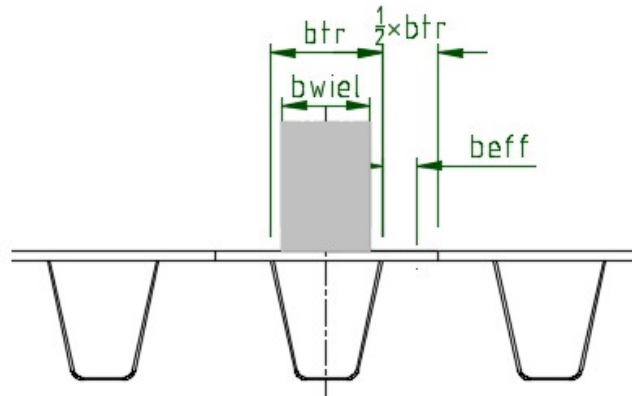
$$b_{eff_o1} := \beta_{o1} \cdot b_0 = 55.3 \text{ mm}$$

$$b_{eff_v} := \beta_v \cdot b_0 = 141.9 \text{ mm}$$

$$b_{eff_o2} := \beta_{o2} \cdot b_0 = 83.2 \text{ mm}$$

effectieve
 breedte

Vanwege de wielbreedte wordt de wiellast gespreid over de plaatbreedte. Hierom wordt het inwendig gedeelte bij de trog van de dekplaat niet gereduceerd. Zie plaatje hieronder



meewerkende breedte bovenflens:

$$b_{01} := 2 \cdot b_0 + 2 \cdot b_{eff_01} = 410.6 \text{ mm} \quad b_v := 2 \cdot b_0 + 2 \cdot b_{eff_v} = 583.8 \text{ mm} \quad b_{02} := 2 \cdot b_0 + 2 \cdot b_{eff_02} = 466.5 \text{ mm}$$

de onderkant van de trog wordt om dezelfde reden van de wiellastspreiding volledig meegenomen

traagheidsmoment en weerstandsmomenten veldmoment

$$b_1 := b_v = 583.8 \text{ mm}$$

meewerkende dekplaat gedeelte bij de beschouwde doorsnede

$$h_1 := t_{dek} = 16 \text{ mm}$$

$$b_2 = 16.2 \text{ mm}$$

$$h_2 := h_{trog} - t_{trog} = 292 \text{ mm}$$

$$b_3 := b_{tr2} = 200 \text{ mm}$$

$$h_3 := t_{trog} = 8 \text{ mm}$$

$$x := 1, 2 \dots 3$$

$$z_{o1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

$$z_{o2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 162 \text{ mm}$$

$$z_{o3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 312 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{o_x})}{\sum_x A_x} = 85.5 \text{ mm}$$

$$H := \sum_x h_x = 316 \text{ mm}$$

$$z_x := Z - z_{o_x}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot (h_x)^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 199689456 \text{ mm}^4$$

$$W_b := \frac{I}{Z} = 2335040 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 866402 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b_las} := \frac{Z - h_1}{Z} = 0.8$$

spanningsverhouding las
 t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o_las} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 1$$

$$A_{lijf} := A_2 = 4730 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 724136 \text{ mm}^3$$

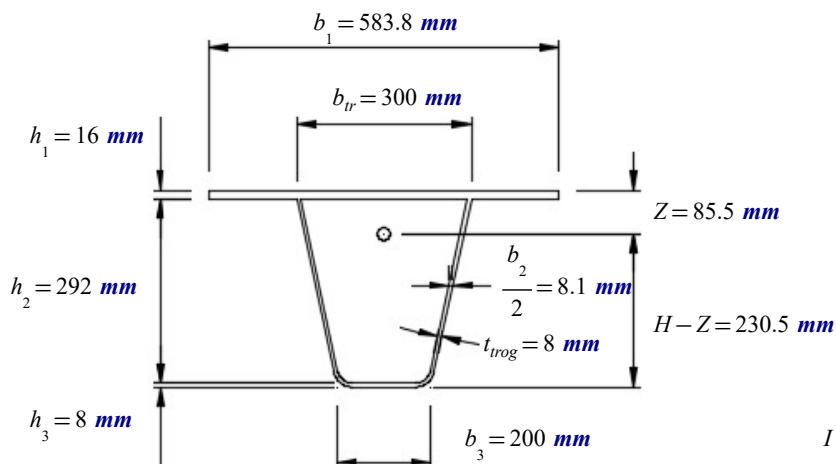
statisch moment bovenzijde

$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 362370 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 15672 \text{ mm}^2$$

oppervlak profiel



Verkeersbelasting

$$Q_k = 300 \text{ kN}$$

Belastingsmodel 1 1991-2
 aslast en gelijkmatig verdeelde belasting

$$q_k = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{ak} = 400 \text{ kN}$$

Belastingsmodel 2 1991-2 par 4.3.3.
 lokale belasting, aslast

belastingsfactoren

CC = 2	concequence klasse
$\gamma_G = 1.3$	partiele veiligheidsfactor voor eigen gewicht
$\gamma_Q = 1.35$	partiële factor voor de belasting vlgs 1990 tabel NB.13 A2.4 CC2:1.35, CC3: 1.5
$\alpha := 1$	reductiefactor volgens 1991-2 NB 4.3.2
$\zeta := 1$	reductie op het eigen gewicht
$\psi_0 := 1$	reductie op de overheersende belasting
$\gamma_M := 1$	partiële factor voor de weerstand vlgs 1993-2 NB tabel NB2-6.1 (9)
$R_d := \frac{R_k}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$	rekenwaarde weerstand

Uiterste grenstoestand (STR) LM1

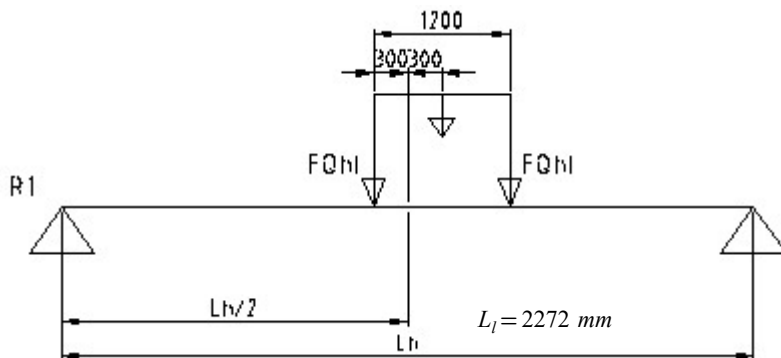
Conservatief wordt gemodelleerd met een ligger scharnierend opgelegd op 2 steunpunten. Overgangsstijfheden en scharnierenden opleggingpunten worden conservatief achterwege gelaten.

$$F_{Q_{II}} := \alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot Q_k = 150 \text{ kN}$$

wiellasten herleid naar de
puntlast op de langsligger

$$q_{q_{II}} := \alpha \cdot q_k \cdot 2 \cdot b_{tr} = 5.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

gelijkmatig belastingen
herleid naar de langsligger



$$R_I := \frac{2 \cdot F_{Q_{II}} \cdot \left(\frac{L_l}{2} - 300 \cdot \text{mm} \right)}{L_l} = 110.4 \text{ kN}$$

reactiekracht

$$M_{Q_k} := R_I \cdot \left(\frac{L_l}{2} - 300 \cdot \text{mm} \right) = 92.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

velmoment tgv aslast

$$M_{q_k} := \frac{1}{8} \cdot q_{q_{II}} \cdot L_l^2 = 3.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

veldmoment tgv q last

$$M_d := \alpha \cdot \gamma_Q \cdot (M_{Q_k} + M_{q_k})$$

rekenwaarde van het veldmoment

$$W_{el} := \min(W_b, W_o) = 866402 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment dekplaat

$$E_d := \frac{M_d}{W_{el}} = 149.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde belastingseffect

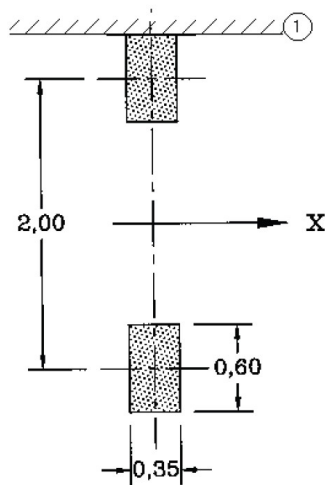
$$UC := \frac{E_d}{R_d} = 0.42$$

$$Toets := \begin{cases} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \text{"Voldoet"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Voldoet niet"} \end{cases}$$

1990 par 6.4.2 (45)

Toets = "Voldoet"

Uiterste grenstoestand (STR) LM2



Belastingsmodel 2 (LM2) 1991-2 par 4.3.3
 voor lokale belasting

$$Q_{ak} = 400 \text{ kN}$$

aslast

$$Q_{str} := \alpha \cdot \gamma_Q \cdot \frac{1}{2} \cdot Q_{ak} = 270 \text{ kN}$$

rekenwaarde wiellast

$$M_{str} := \frac{1}{4} \cdot Q_{str} \cdot L_l = 153.4 \text{ kNm}$$

veldmoment bij opgelegde ligger
 (conservatief)

$$W_{el} := \min(W_b, W_o)$$

weerstandsmoment dekplaat

$$E_d := \frac{M_{str}}{W_{el}} = 177 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde belastingeffect

$$UC := \frac{E_d}{R_d} = 0.5$$

$$Toets := \begin{cases} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \text{"Voldoet"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Voldoet niet"} \end{cases}$$

1990 par 6.4.2 (45)

Toets = "Voldoet"

vermoeiing

Belastingsmodel 4a voor vermoeiing

NEN EN 1991-2 tabel NB.6 -4.7

Type voertuig			Verkeerstype			Wiel- type
Afbeelding van de vrachtwagen	Afstand tussen de assen m	Gelijkwaardige aslast kN	Lange afstand % ^a	Middellange afstand % ^a	Lokaal verkeer % ^a	
	4,5	70 130	20,0	50,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	5,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	40,0	20,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	25,0	15,0	5,0	A B C C
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	10,0	5,0	A B C C C
^a Percentage vrachtwagens.						

verkeerscategorie = 3

verkeerstype = 2

$N_{obs_a_sl} = 125000$

aantal vrachtauto's per jaar op
de slow lane

belastingfactoren

$$\alpha_{fat} := \frac{0.9}{1.15}$$

$$\Delta\phi_{fat} := 1.15$$

$$\alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} = 0.9$$

$$\gamma_{Ff} := 1$$

$$\gamma_{Mf} := 1.15$$

$$\beta_Q := \alpha$$

reductiefactor volgens 1991-2 NB tabel NB.7 (16)
in bijv. 50km/h zone, CC2 niet industriegebied,
geen doorgaande route etc.: 0.9 anders 1
geldt alleen voor verkeerscategorie 2,3,4

dynamische vergrotingsfactor vlgs 1991-2 NB
(14), goed wegdek

partiële factor voor de vermoeiingsbelasting vlgs
1993-1 Bijlage D.2

partiële factor voor de vermoeiingsweerstand vlgs
1993-2 NB par 9.3 (15)

aslastfactor 1991-2 par 4.3.3.

wiellasten

Vrachtwagen configuraties

percentage vrachtwagen voor $verkeerstype = 2$
volgens tabel 7

$w := 1 \dots 18$

$$F_{wiel} := \begin{bmatrix} 35 \\ 65 \\ 35 \\ 60 \\ 60 \\ 35 \\ 75 \\ 45 \\ 45 \\ 45 \\ 35 \\ 70 \\ 45 \\ 45 \\ 35 \\ 65 \\ 45 \\ 40 \\ 40 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

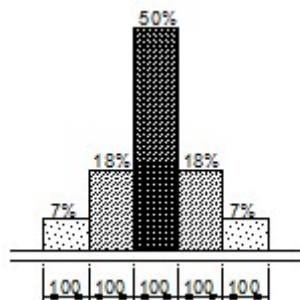
$$P_{wiel} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

$$P_{wagen} = \begin{bmatrix} 50 \\ 0.5 \\ 0.05 \\ 0.2 \\ 0.15 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

spreiding wiellasten in dwarsrichting

Conservatief staat 1 wiel in het midden op 1 trogligger, waarbij de naastgelegen troggen niet meedragen in de belasting. Ten gevolge van dwarsspreiding wordt een deel van de belasting afgedragen naar naastgelegen trogliggers

$j := 1 \dots 3$



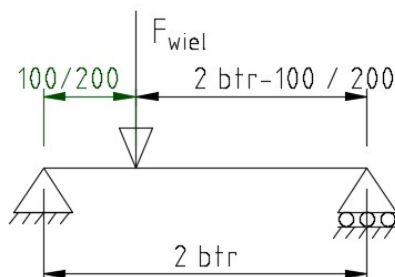
frequentieverdeling van de wielpositie in dwarsrichting volgens NEN-EN 1991-2+C1 figuur 4.6 (51)

$$k_1 := 0.5$$

percentage van de aantallen
per positie

$$k_2 := 0.36$$

$$k_3 := 0.14$$



modellering dwarsspreiding
wielprent gemodelleerd als puntlast waarbij percentage op de van de wiellast wordt uitgerekend op de ligger.
(rest van de belasting wordt afgedragen op naastgelegen liggers ivm de dwarsspreiding)
conservatief wordt 1 hoh ligger overspanning beschouwd.

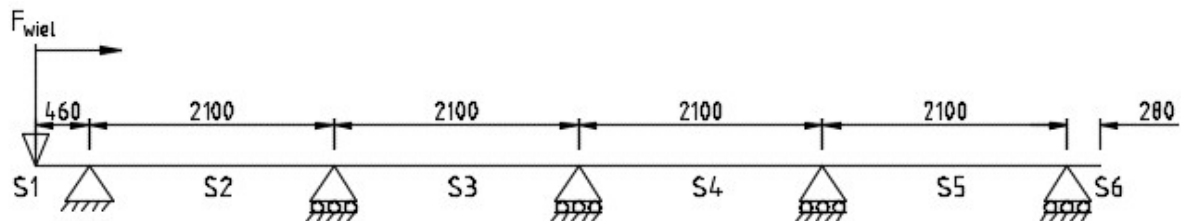
$$p_1 := 1 \quad \vartheta_2 := \frac{2 \cdot b_{tr} - 100 \cdot \text{mm}}{2 \cdot b_{tr}} = 0.83$$

$$\vartheta_3 := \frac{2 \cdot b_{tr} - 200 \cdot \text{mm}}{2 \cdot b_{tr}} = 0.67$$

percentage van belasting
op de langsligger

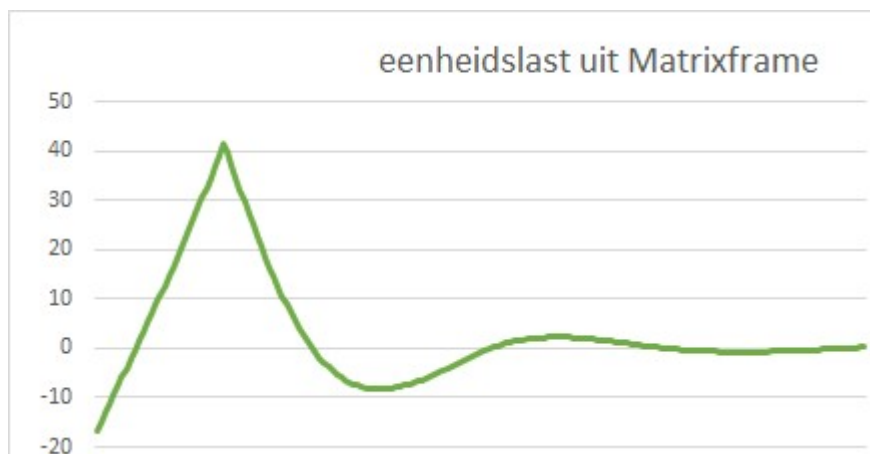
vermoeiingsschade in het veld

Momenten zijn mbv raamwerkprogramma bepaald waarbij een eenheidslast als trainload over een meervoudig opgelegde ligger is aangebracht



Het veldmoment bij de eerste overspanning is het grootst vanwege de minste invloed van naastgelegen overspanningsvelden.

De eenheidslast van 100kN over de ligger geeft het volgende momentenlijn voor het maximale veldmoment van de 1e overspanning bij S2 welke nagenoeg in het midden van S2 ligt.



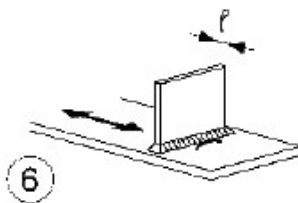
plaatje geeft het momenten verloop in het midden van S2 weer waarbij de eenheidslast over alle liggers loopt. (horizontale as is de afstand, begin S1 tot eind S6, verticale as is het veldmoment in kNm)

Bovenstaande eenheidslast wordt in een excel bestand ingevoerd, herberekend met met de werkelijke aslasten en waarbij de opvolgende aslasten, verschoven over de asafstand worden gesuperponeerd. Dit geeft een moment verloop op de te controleren doornede. Hieruit worden de spanningswisselingen gehaald volgens de Rain-flow methode waarna de vermoeiingsschade wordt uitgerekend.

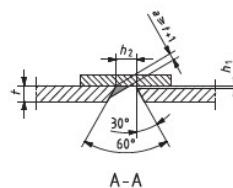
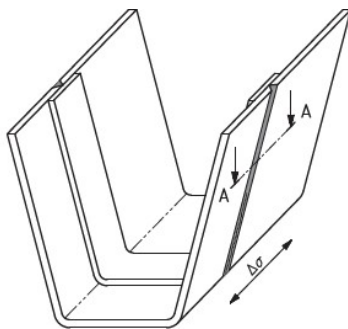
Lasdetails onderkant trog voor het veldmoment



moeder materiaal, gesneden of gezet
 NEN-EN 1993-1-9
 tabel 8.1, detail 5
 CAT = 125



strip onder aan trog gelast
 NEN-EN 1993-1-9
 tabel 8.4, detail 6
 CAT = 80



Verbinding stuiklas in troggen
 NEN-EN 1993-2+C1 NB
 tabel NB.7, detail 6
 CAT = 100

$$\Delta\sigma_c := 125 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

lascategorie onderkant trog, geen
 las in het veld
 -> keuze bovenste detail categorie

$$\Delta\sigma_c := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 108.7 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 80.1 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

constante amplitude
 vermoeiingsgrens
 bij 5×10^6 wisselingen
 NEN-EN 1993-1-9- par 7.1

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 44 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen
 NEN-EN 1993-1-9- par 7.1

Wagen 1

$i := 1 \dots 5$

aantal wisselingen



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{wagen1_y_1} := 38.881 \cdot kNm$$

$$M_{wagen1_y_2} := 25.856 \cdot kNm$$

$$M_{wagen1_y_3} := 7.099 \cdot kNm$$

$$M_{wagen1_y_4} := 2.380 \cdot kNm$$

$$M_{wagen1_y_5} := 0 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Fj} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen1_y_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$W_o = 866402 \text{ mm}^3$$

$$\gamma_{Fj} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} = 0.9$$

$$M_{wagen1_y_i} = \begin{bmatrix} 38881 \\ 25856 \\ 7099 \\ 2380 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N} \cdot \text{m} \quad P_j = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.83 \\ 0.67 \end{bmatrix}$$

$$N_{i,\sigma_{i,j}} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\}$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,1}} = \begin{bmatrix} 40.4 \\ 26.9 \\ 7.4 \\ 2.5 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,2}} = \begin{bmatrix} 33.7 \\ 22.4 \\ 6.1 \\ 2.1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,3}} = \begin{bmatrix} 26.9 \\ 17.9 \\ 4.9 \\ 1.6 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$N_{i,\sigma_{i,1}} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$$

$$N_{i,\sigma_{i,2}} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$$

$$N_{i,\sigma_{i,3}} = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \end{bmatrix}$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{wagen_1}$$

$$n_{i_1} = 3.13 \cdot 10^6$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_i}{N_{i,\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{oml} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

Wagen 2



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{wagen2_v1} := 33.413 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v2} := 25.879 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v3} := 8.826 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v4} := 7.417 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v5} := 1.505 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_i,j} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen2_v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i\sigma_{i,j}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_i,j} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_i,j}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_i,j} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_i,j}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen2}$$

$$n_{i1} = 312500$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k \cdot n_{i1}}{N_{i\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om2} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

vermoeiingsschade van dit type

Wagen 3



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{\text{wagen3}_v_1} := 46.642 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen3}_v_2} := 20.825 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen3}_v_3} := 20.416 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen3}_v_4} := 8.346 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen3}_v_5} := 7.421 \cdot \text{kNm}$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{\text{wagen3}_v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i_{\sigma_{i,j}}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

$$n_i := N_{\text{obs}_a_{sl}} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{\text{wagen3}}$$

$$n_{i_1} = 1250000$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k \cdot n_{i_j}}{N_{i_{\sigma_{i,j}}}}$$

$$D_{om3} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0.01$$

vermoeiingsschade van dit type

Wagen 4



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{wagen4_v_1} := 35.893 \cdot kNm$$

$$M_{wagen4_v_2} := 29.208 \cdot kNm$$

$$M_{wagen4_v_3} := 21.081 \cdot kNm$$

$$M_{wagen4_v_4} := 11.525 \cdot kNm$$

$$M_{wagen4_v_5} := 7.413 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen4_v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i\sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen4}$$

$$n_{i_1} = 937500$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k \cdot n_{i_j}}{N_{i\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om4} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

vermoegingsschade van dit type

Wagen 5



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{wagen5_v_1} := 40.087 \cdot kNm$$

$$M_{wagen5_v_2} := 32.645 \cdot kNm$$

$$M_{wagen5_v_3} := 25.195 \cdot kNm$$

$$M_{wagen5_v_4} := 22.543 \cdot kNm$$

$$M_{wagen5_v_5} := 5.907 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen5_v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i,\sigma} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{wagen5}$$

$$n_{i_1} = 625000$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k \cdot n_i}{N_{i-\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om5} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 3.13 \cdot 10^{-301} \quad \text{vermoeiingsschade van dit type}$$

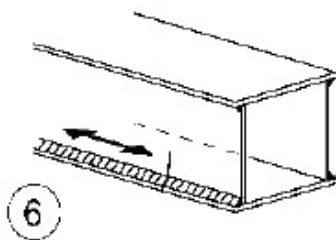
$$D_{om} := D_{om1} + D_{om2} + D_{om3} + D_{om4} + D_{om5} = 0.01$$

totale vermoeiingsschade
 van alle aslasten

$$Toets := \begin{cases} \text{if } D_{om} \leq 1 \\ \quad \text{"Voldoet"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Voldoet niet"} \end{cases}$$

Toets = "Voldoet"

Lasdetail bovenkant trog voor het veldmoment



las trog aan dekplaat
NEN-EN 1993-1-9
tabel 8.2, detail 6
CAT =100

$$\Delta\sigma_c := 100 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

lascategorie bovenkant trog

$$\Delta\sigma_c := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 87 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 64.1 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 35.2 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

Wagen 1

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen1_y_i} \cdot P_j}{W_b}$$

$$N_{i,\sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

$$n_{i_1} := N_{obs_a_sl} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{wagen1}$$

$$n_{i_1} = 3125000$$

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_1}}{N_{i,\sigma_{i,j}}} \quad D_{oml} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

Wagen 2

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen2_y_i} \cdot P_j}{W_b}$$

$$N_{i,\sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

$$n_{i_1} := N_{obs_a_sl} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{wagen2}$$

$$n_{i_1} = 312500$$

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_1}}{N_{i,\sigma_{i,j}}} \quad D_{om2} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

Wagen 3

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen3_v_i} \cdot p_j}{W_b}$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen3}$$

$$n_{i_1} = 1250000$$

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_1}}{N_{i_ \sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om3} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

$$N_{i_ \sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

Wagen 4

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen4_v_i} \cdot p_j}{W_b}$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen4}$$

$$n_{i_1} = 937500$$

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_1}}{N_{i_ \sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om4} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

$$N_{i_ \sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

Wagen 5

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen5_v_i} \cdot p_j}{W_b}$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen5}$$

$$n_{i_1} = 625000$$

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_1}}{N_{i_ \sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om5} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

$$N_{i_ \sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

$$D_{om} := D_{om1} + D_{om2} + D_{om3} + D_{om4} + D_{om5} = 0$$

$$Toets := \begin{cases} \text{if } D_{om} \leq 1 \\ \left\| \text{"Voldoet"} \right. \\ \text{else} \\ \left\| \text{"Voldoet niet"} \right. \end{cases}$$

Toets = "Voldoet"

traagheidsmoment en weerstandsmomenten overgangsmoment

$$b_1 := b_{02} = 466.5 \text{ mm}$$

meewerkende dekplaat gedeelte bij de beschouwde doorsnede

$$h_1 := t_{dek} = 16 \text{ mm}$$

$$b_2 = 16.2 \text{ mm}$$

$$h_2 := h_{trog} - t_{trog} = 292 \text{ mm}$$

$$b_3 := b_{tr2} = 200 \text{ mm}$$

$$h_3 := t_{trog} = 8 \text{ mm}$$

$$i := 1, 2 \dots 3$$

$$z_{o1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

$$z_{o2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 162 \text{ mm}$$

$$z_{o3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 312 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{ox})}{\sum_x A_x} = 96.1 \text{ mm}$$

$$H := \sum_x h_x = 316 \text{ mm}$$

$$Z = 96.1 \text{ mm}$$

$$H - Z = 219.9 \text{ mm}$$

$$z_x := Z - z_{ox}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot h_x^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 186830050 \text{ mm}^4$$

$$W_b := \frac{I}{Z} = 1944709 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 849501 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b \text{ las}} := \frac{Z - h_1}{Z} = 0.8$$

spanningsverhouding las
 t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o \text{ las}} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 1$$

$$A_{lijf} := A_2 = 4730 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 657339 \text{ mm}^3$$

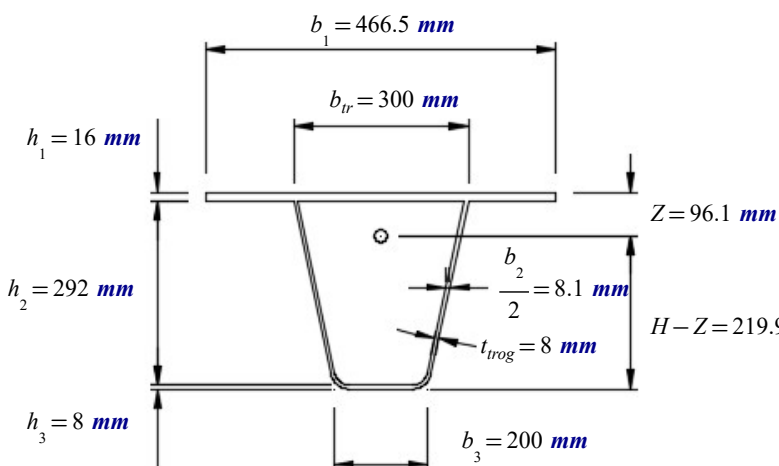
statisch moment bovenzijde

$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 345487 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 13794 \text{ mm}^2$$

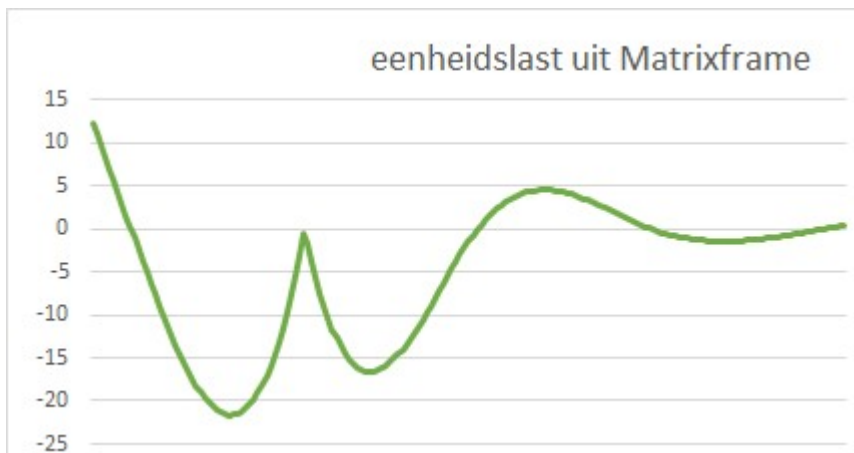
oppervlak profiel



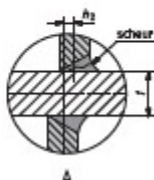
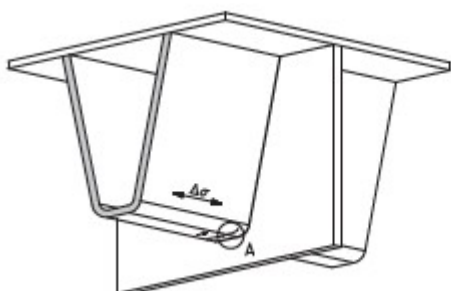
Momentenverloop

Het overgangsmoment tussen het eerste en tweede veld wordt bekeken, welke na de overkraging het grootst is vanwege de minste invloed van naastgelegen overspanningsvelden. De vermoeiing bij de overkraging (tpv 1e dwarsdrager) wordt later in dit document uitgerekend.

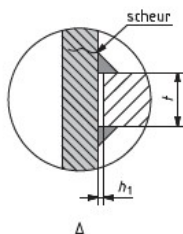
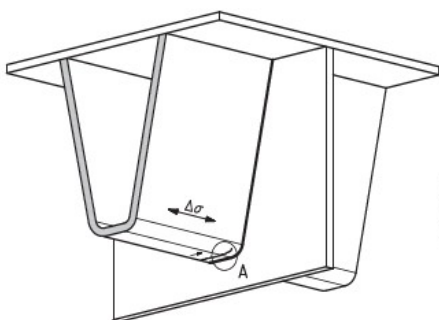
De eenheidslast van 100kN over de ligger geeft het volgende momentenlijn voor het overgangsmoment bij de 2e dwarsdrager



Lasdetail bovenkant trog voor het overgangsmoment



Detail Cat. 56
Verbinding tussen verstijver en dwarsdrager
bij tussengelaste verstijvers,
constructiedetail 6, NEN-EN 1993-2+C1
NB, tabel NB.7



Detail Cat. 80
Verbinding tussen verstijver en dwarsdrager
bij doorgestoken verstijvers,
constructiedetail 7, NEN-EN 1993-2+C1 NB,
tabel NB.7

gekozen categorie:

$$\Delta\sigma_c := 56 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

tussengelaste
trokken

rekenwaarde laskwalificatie

contacte amplitude vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

$$\Delta\sigma_c := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 48.7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 35.9 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta\sigma_I := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 19.7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Wagen 1

aantal wisselingen



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{\text{wagen1}_o_1} := 20.433 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen1}_o_2} := 14.802 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen1}_o_3} := 10.635 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen1}_o_4} := 5.621 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen1}_o_5} := 3.861 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{\text{wagen1}_o_i} \cdot p_j}{W_o}$$

$$N_{i_{\sigma_{i,j}}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

$$n_i := N_{\text{obs}_a_{sl}} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{\text{wagen1}}$$

$$n_{i_1} = 3.13 \cdot 10^6$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_j}}{N_{i_{\sigma_{i,j}}}}$$

$$D_{oml} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0.02$$

Wagen 2



hele spanningswisselingen uit
de Rain-flow methode:

$$M_{wagen2_v1} := 27.283 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v2} := 12.460 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v3} := 6.954 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v4} := 5.621 \cdot kNm$$

$$M_{wagen2_v5} := 4.170 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen2_v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i\sigma_{i,j}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

$$n_i := N_{obs_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen2}$$

$$n_{i1} = 312500$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k \cdot n_i}{N_{i\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om2} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0$$

vermoeiingsschade van dit type

Wagen 3



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{wagen3 \ v_1} := 27.840 \cdot kNm$$

$$M_{wagen3 \ v_2} := 23.972 \cdot kNm$$

$$M_{wagen3 \ v_3} := 13.244 \cdot kNm$$

$$M_{wagen3 \ v_4} := 11.886 \cdot kNm$$

$$M_{wagen3 \ v_5} := 7.865 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{wagen3 \ v_i} \cdot p_j}{W_o}$$

$$N_{i \ \sigma_{i,j}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \left\| \infty \right. \end{array} \right\|$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wagen_3}$$

$$n_{i_1} = 1250000$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k \cdot n_{i_1}}{N_{i \ \sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om3} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0.09$$

vermoeiingsschade van dit type

Wagen 4



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{\text{wagen4}_v1} := 24.999 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen4}_v2} := 21.830 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen4}_v3} := 12.492 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen4}_v4} := 11.886 \cdot kNm$$

$$M_{\text{wagen4}_v5} := 6.701 \cdot kNm$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{\text{wagen4}_v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i,\sigma_{i,j}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right. \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right. \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{\text{wagen}_4}$$

$$n_{i_1} = 937500$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma_{i,j}} := \frac{k_j \cdot n_{i_j}}{N_{i,\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om4} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 0.04$$

vermoeyingsschade van dit type

Wagen 5



hele spanningswisselingen uit
 de Rain-flow methode:

$$M_{\text{wagen5 } v_1} := 22.242 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen5 } v_2} := 17.658 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen5 } v_3} := 16.128 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen5 } v_4} := 12.673 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{wagen5 } v_5} := 10.324 \cdot \text{kNm}$$

$$\Delta\sigma_{R_{i,j}} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{\text{wagen5 } v_i} \cdot P_j}{W_o}$$

$$N_{i\sigma_{i,j}} := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{R_{i,j}} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_{i,j}} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_{i,j}}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{cases}$$

$$n_i := N_{\text{obs_a_sl}} \cdot \text{levensduur} \cdot P_{\text{wagen5}}$$

$$n_{i_1} = 625000$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{i,j} := \frac{k \cdot n_i}{N_{i\sigma_{i,j}}}$$

$$D_{om3} := \sum_i \sum_j D_{\sigma_{i,j}} = 7.64 \cdot 10^{-3}$$

vermoeiingsschade van dit type

$$D_{om} := D_{om1} + D_{om2} + D_{om3} + D_{om4} + D_{om5} = 0.16$$

totale vermoeiingsschade
 van alle aslasten

$$Toets := \begin{cases} \text{if } D_{om} \leq 1 \\ \text{“Voldoet”} \\ \text{else} \\ \text{“Voldoet niet”} \end{cases}$$

Toets = “Voldoet”

Vermoeiingsschade bij het 1e overgangsmoment (tpv voor of achter har)

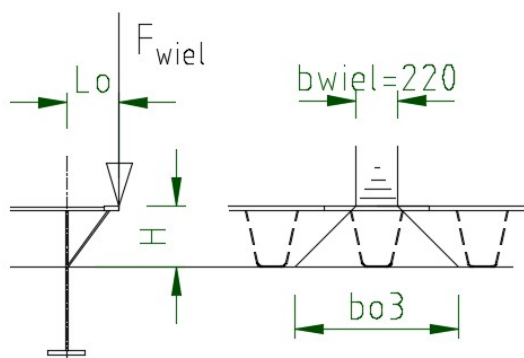
$$L_o = 280 \text{ mm}$$

overkravingslengte

$$M_{oI} := F_{\text{wiel}} \cdot L_o = \begin{bmatrix} 9.8 \\ 18.2 \\ 9.8 \\ 16.8 \\ 16.8 \\ 9.8 \\ 21 \\ 12.6 \\ 12.6 \\ 12.6 \\ 9.8 \\ 19.6 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

buigende momenten

spreiding van de wiellast bij de overkraging



$$b_{\text{wiel}} := 220 \text{ mm}$$

conservatief
het smalste wiel
genomen

$$H = 316 \text{ mm}$$

$$b_{03} := b_{\text{wiel}} + 2 H = 852 \text{ mm}$$

$$b_1 := \min(2 b_{tr}, b_{\text{wiel}} + 2 L_o) = 600 \text{ mm}$$

meewerkend gedeelte van de dekplaat

$$b_3 := \min(2 b_{tr}, b_{03}) = 600 \text{ mm}$$

meewerkend gedeelte van de onderflens

traagheidsmoment en weerstandsmomenten overkraging

$$b_1 = 600 \text{ mm}$$

$$h_1 := t_{dek} = 16 \text{ mm}$$

$$h_2 := 0 \text{ mm}$$

$$h_2 := h_{trog} - t_{trog} = 292 \text{ mm}$$

$$b_3 = 600 \text{ mm}$$

$$h_3 := t_{trog} = 8 \text{ mm}$$

$$x := 1, 2, \dots, 3$$

$$z_{o1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

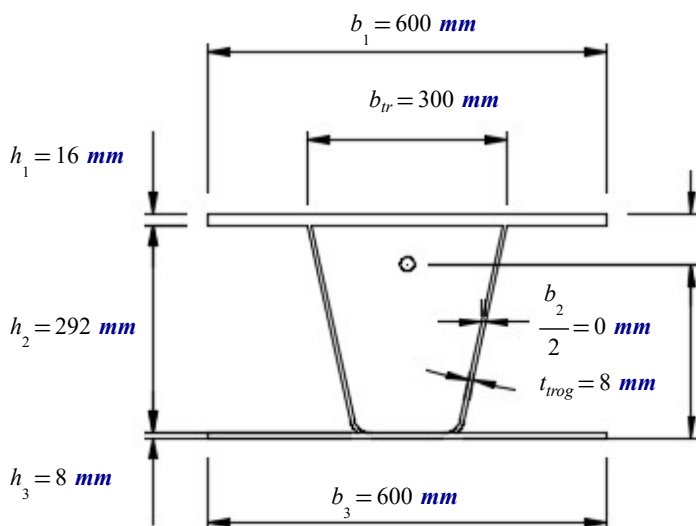
$$z_{o2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 162 \text{ mm}$$

$$z_{o3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 312 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{o_x})}{\sum_x A_x} = 109.3 \text{ mm}$$



$$H := \sum_x h_x = 316 \text{ mm}$$

$$H - Z = 206.7 \text{ mm}$$

$$e_x := Z - z_{o_x}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot (h_x)^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 295961600 \text{ mm}^4$$

$$W_b := \frac{I}{Z} = 2706966 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 1432072 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b \text{ las}} := \frac{Z - h_1}{Z} = 0.9$$

spanningsverhouding las
 t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o \text{ las}} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 1$$

$$A_{lij} := A_2 = 0 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 972800 \text{ mm}^3$$

statisch moment bovenzijde

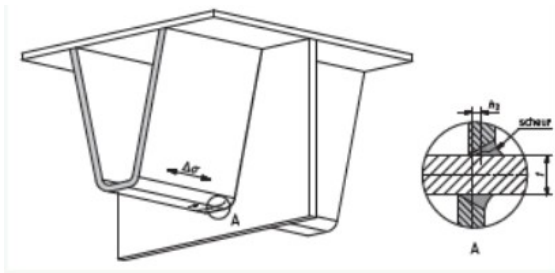
$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 972800 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 14400 \text{ mm}^2$$

oppervlak profiel

Lasdetail



Detail Cat. 56

Verbinding tussen verstijver en
 dwarsdrager bij
 tussengelaste verstijvers,
 constructiedetail 6, NEN-EN 1993-2
 +C1 NB, tabel NB.7

$$\Delta\sigma_g := 56 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_g := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 48.7 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c = 35.9 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

contacte amplitude vermoeiingsgrens
 bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D = 19.7 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

$$\Delta\sigma_R := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \frac{M_{o1}}{W_o} = \begin{bmatrix} 6.2 \\ 11.4 \\ 6.2 \\ 10.6 \\ 10.6 \\ 6.2 \\ 13.2 \\ 7.9 \\ 7.9 \\ 7.9 \\ 6.2 \\ 12.3 \\ \vdots \end{bmatrix} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

spanningen

$$N_{i_w} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_w} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_w}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_w} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_w}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \right\| \\ \text{else} \\ \infty \end{array} \right\|$$

$$N_{i_w} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ 1 \cdot 10^{307} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

toegestaan aantallen
 per wiellast

$$P_{wiel} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$N_{obs_a_sl} = 125000$

$levensduur = 50$

$$n_w := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot P_{wiel_w}$$

$$n_i = \begin{bmatrix} 3125000 \\ 312500 \\ 312500 \\ 312500 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 937500 \\ 937500 \\ 937500 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

aantal vrachtwagen van dit type

$$D_{\sigma l_w} := \frac{n_w}{N_{i_w}}$$

$$D_{\sigma l_w} = \begin{bmatrix} 3.1 \cdot 10^{-301} \\ 3.1 \cdot 10^{-302} \\ 3.1 \cdot 10^{-302} \\ 3.1 \cdot 10^{-302} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 1.3 \cdot 10^{-301} \\ 9.4 \cdot 10^{-302} \\ 9.4 \cdot 10^{-302} \\ 9.4 \cdot 10^{-302} \\ 9.4 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \\ 6.3 \cdot 10^{-302} \end{bmatrix}$$

$$D_{oml} := \sum_w D_{\sigma l_w} = 0$$

vermoeiingsschade

$$Toets := \begin{cases} \text{if } D_{oml} \leq 1 \\ \quad \parallel \text{“Voldoet”} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{“Voldoet niet”} \end{cases}$$

$Toets = \text{“Voldoet”}$

1.6 langsligger trogbeen -dekplaat overgang

afmetingen

$$t_{dek} := 16 \cdot \text{mm}$$

dikte dekplaat

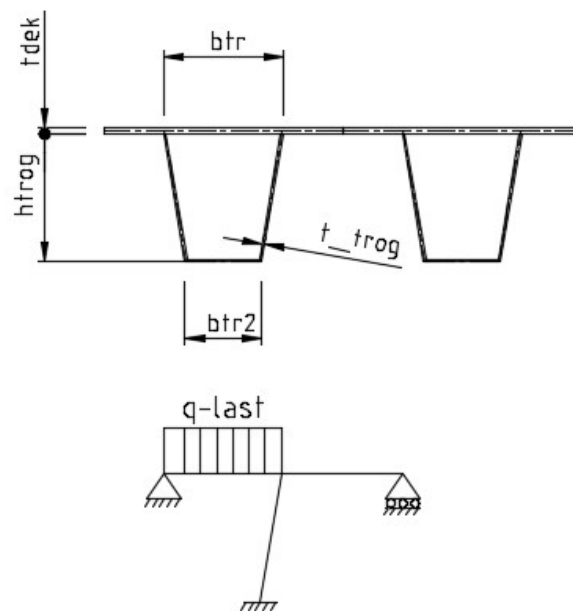
$$t_{slijt} := 8 \cdot \text{mm}$$

dikte slijtlaag

$$t_{trog} := 8 \cdot \text{mm}$$

dikte trog

modellering



materiaalgegevens

$$R_k := 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

rekgrens materiaal

uitgangspunten belasting

uiterste grenstoestand

$$Q_{ak} := 400 \cdot kN$$

Belastingsmodel 2 1991-2 par 4.3.3.
 lokale belasting, aslast

$$CC := 2$$

concequence klasse

vermoeding

tabel NB.5 -4.5(n) 1991-2 NB

Verkeerscategorie		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer	verkeerstype
1	Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en intensief vrachtverkeer	$2,0 \times 10^6$	1. lang
2	(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	$0,5 \times 10^6$	2. middellang
3	Wegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$	2. middellang
4	Wegen met weinig vrachtverkeer en bovendien uitsluitend bestemmingsverkeer	$0,05 \times 10^6$	3. lokaal
OPMERKING: De aantallen zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer $N_{obs,a,ai}$ zijn inclusief trend.			

$$verkeerscategorie := 3$$

$$verkeerstype = 2$$

NEN-EN 1991-2 NB par 4.6.5.1

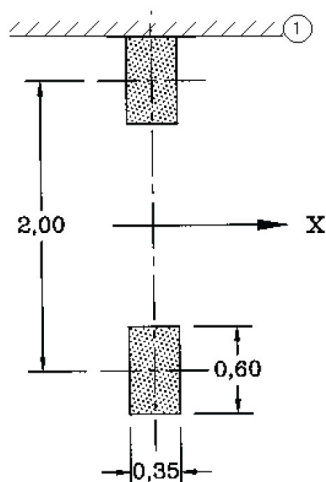
$$N_{obs,a,sl} = 125000$$

aantal vrachtauto's per jaar op
 de slow lane

$$levensduur := 50$$

CC2 is normaal 50 jaar. echter de
 hoofdlijgerconstructie wordt met 100
 jaar uitgerekend.

Verkeersbelasting



Belastingsmodel 2 (LM2) 1991-2 par 4.3.3
voor lokale belasting

$Q_{ak} = 400 \text{ kN}$ aslast
 $l_{wielQ} := 350 \text{ mm}$ lengte band
 $b_{wielQ} := 600 \text{ mm}$ breedte band

$$q_{lk} := \frac{Q_{ak} \cdot 1 \cdot \text{mm}}{2 \cdot l_{wielQ} \cdot b_{wielQ}} = 952.4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

karakteristieke lijnlast op de trog over
1mm dekplaat

belastingsfactoren

CC=2

consequence klasse

$$\gamma_G = 1.3$$

partiele veiligheidsfactor voor eigen gewicht

$$\gamma_Q = 1.35$$

partiële factor voor de belasting vlgs 1990
tabel NB.13 A2.4 CC2:1.35, CC3: 1.5

$$\alpha := 1$$

reductiefactor volgens 1991-2 NB 4.3.2

$$\zeta := 1$$

reductie op het eigen gewicht

$$\psi_0 := 1$$

reductie op de overheersende belasting

$$\gamma_M := 1$$

partiële factor voor de weerstand vlgs
1993-2 NB tabel NB2-6.1 (9)

$$R_d := \frac{R_k}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$$

rekenwaarde weerstand

Uiterste grenstoestand (STR) LM1

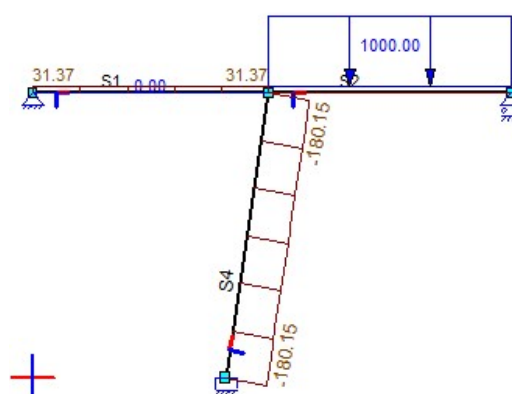
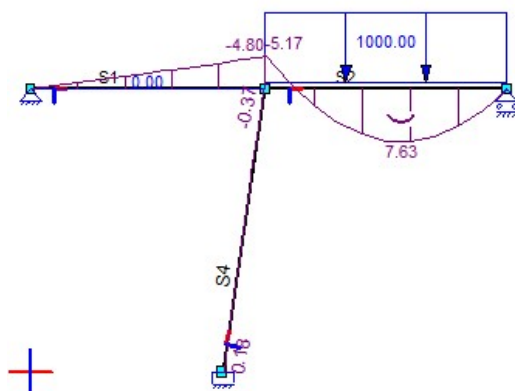
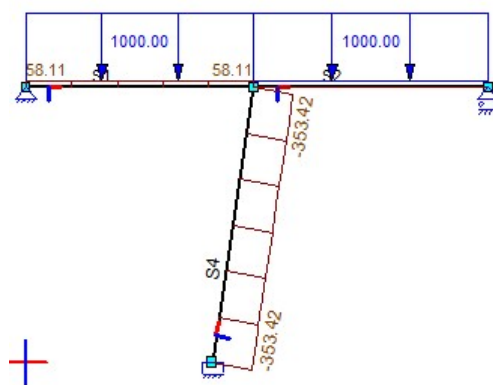
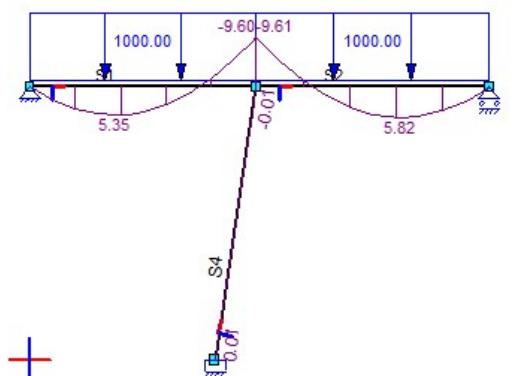
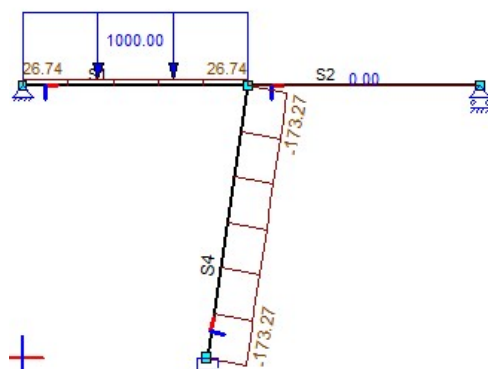
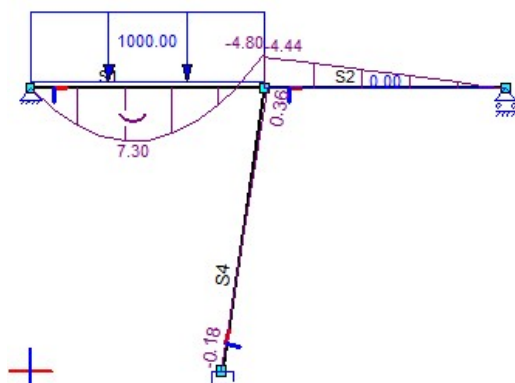
$$q_{ld} := \alpha \cdot \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot q_{lk} = 1285.7 \frac{N}{m}$$

rekenwaarde lijnlast op de trog

Door een eenheidslast van $q = 1000 \text{ N/m}$ aan te brengen op verschillende posities wordt de maximale momenten en normaalkrachten bepaald.

buigende momenten

normaalkrachten



$$M_{EENH_{pl}} := 9.61 \text{ Nm}$$

$$M_{EENH_{tr}} := 0.37 \cdot Nm$$

$$N_{EENH_{tr}} := 181.15 \cdot N$$

Moment in de dekplaat

$$M_{str_pl} := M_{EENH_pl} \cdot \frac{q_{ld}}{1000 \frac{N}{m}} = 12.36 \text{ N} \cdot m$$

buigend moment

$$W_{pl} := \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot mm \cdot t_{dek}^2 = 42.7 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment

$$E_d := \frac{M_{str_pl}}{W_{pl}} = 289.6 \frac{N}{mm^2}$$

rekenwaarde belastingseffect

$$Toets := \left\| \begin{array}{l} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Voldoet"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Voldoet niet"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

1990 par 6.4.2 (45)

$Toets = \text{"Voldoet"}$

Moment en normaalkracht in het trogbeen

$$M_{str_tr} := M_{EENH_tr} \cdot \frac{q_{ld}}{1000 \frac{N}{m}} = 0.48 \text{ N} \cdot m$$

buigend moment

$$N_{str} := N_{EENH_tr} \cdot \frac{q_{ld}}{1000 \frac{N}{m}} = 232.9 \text{ N}$$

normaalkracht

$$W_{tr} := \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot mm \cdot t_{trog}^2 = 10.7 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment

$$A_{tr} := 1 \cdot mm \cdot t_{trog} = 8 \text{ mm}^2$$

oppervlak

$$\frac{M_{str_tr}}{W_{tr}} = 44.6 \frac{N}{mm^2} \quad \frac{N_{str}}{A_{tr}} = 29.1 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_d := \frac{M_{str_tr}}{W_{tr}} + \frac{N_{str}}{A_{tr}} = 73.7 \frac{N}{mm^2}$$

rekenwaarde belastingseffect

$$Toets := \left\| \begin{array}{l} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Voldoet"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Voldoet niet"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

1990 par 6.4.2 (45)

$Toets = \text{"Voldoet"}$

vermoeiing

Belastingsmodel 4a voor vermoeiing

$verkeerscategorie = 3$

$verkeerstype = 2$

$N_{obs_a_sl} = 125000$

$levensduur = 50$

verkeerscategorie

type verkeer

aantal vrachtauto's per jaar op
de slow lane

levensduur

belastingfactoren

$$\alpha_{fat} := \frac{0.9}{1.15}$$

$$\Delta\phi_{fat} := 1.15$$

$$\alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} = 0.9$$

$$\gamma_{Ff} := 1$$

$$\gamma_{Mf} := 1.15$$

$$\beta_Q := \alpha$$

reductiefactor volgens 1991-2 NB tabel NB.7 (16)
in bijv. 50km/h zone, CC2 niet industriegebied,
geen doorgaande route etc.: 0.9 anders 1
geldt alleen voor verkeerscategorie 2,3,4

dynamische vergrotingsfactor vlgs 1991-2 NB
(14), goed wegdek

partiële factor voor de vermoeiingsbelasting vlgs
1993-2 par 9.3 (41)

partiële factor voor de vermoeiingsweerstand vlgs
1993-2 NB par 9.3 (15)

aslastfactor 1991-2 par 4.3.3.

$i := 0 \dots 18$

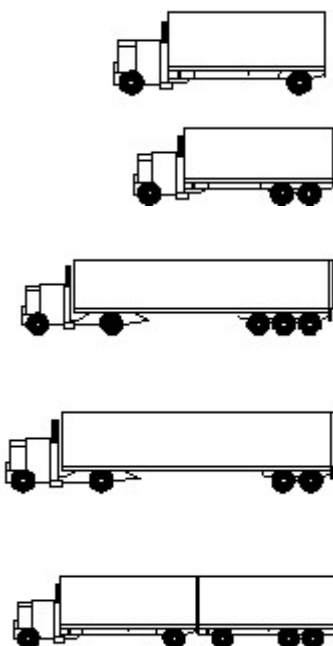
index aantal assen (19 wiellasten)

Vrachtwagen combinaties

aslasten

wieltype per as

percentages



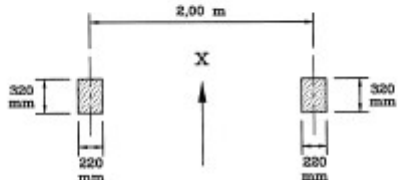
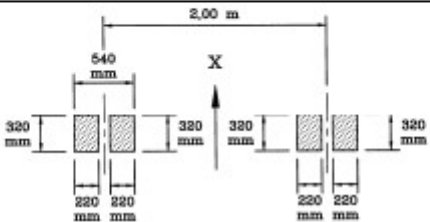
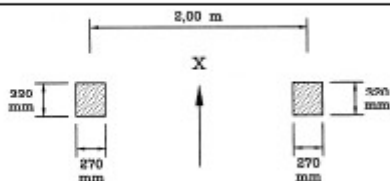
$$F_{as} := \begin{bmatrix} 70 \\ 130 \\ 70 \\ 120 \\ 120 \\ 70 \\ 150 \\ 90 \\ 90 \\ 90 \\ 70 \\ 140 \\ 90 \\ 90 \\ 70 \\ 130 \\ 90 \\ 80 \\ 80 \end{bmatrix} \cdot kN$$

$$wieltype := \begin{bmatrix} A \\ B \\ A \\ B \\ B \\ A \\ B \\ C \\ C \\ C \\ A \\ B \\ C \\ C \\ A \\ B \\ C \\ C \\ C \end{bmatrix}$$

$$percentage = \begin{bmatrix} 50 \\ 50 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \\ 15 \\ 15 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Wielconfiguratie

NEN-EN 1991-2 tabel 4.8

WIEL-/ ASTYPE	OMSCHRIJVING VAN DE GEOMETRIE
A	
B	
C	

$$l_{wiel} := 320 \cdot mm$$

aantal wielen en wielbreedte voor alle assen:

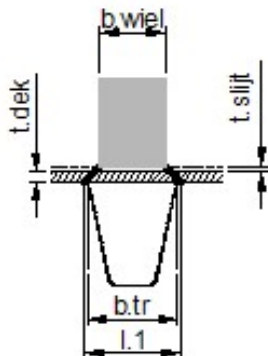
$$\begin{aligned}
 n_{wiel_i} &:= \begin{cases} \text{if } wieltype_i = \text{"A"} \\ \parallel 2 \\ \text{also if } wieltype_i = \text{"B"} \\ \parallel 4 \\ \text{also if } wieltype_i = \text{"C"} \\ \parallel 2 \\ \text{else} \\ \parallel 0 \end{cases} & n_{wiel} = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 4 \\ \vdots \end{bmatrix} & b_{wiel_i} &:= \begin{cases} \text{if } wieltype_i = \text{"A"} \\ \parallel 220 \cdot mm \\ \text{also if } wieltype_i = \text{"B"} \\ \parallel 220 \cdot mm \\ \text{also if } wieltype_i = \text{"C"} \\ \parallel 270 \cdot mm \\ \text{else} \\ \parallel 0 \end{cases} & b_{wiel} &= \begin{bmatrix} 220 \\ 220 \\ 220 \\ 220 \\ 220 \\ 220 \\ 220 \\ 220 \\ 270 \\ 270 \\ 270 \\ 220 \\ \vdots \end{bmatrix} mm
 \end{aligned}$$

$$b_{wieldub} := 540 \cdot mm$$

wiel breedte type B

Wielprent op de dekplaat

spreiding van 45° door de slijtlaag
en dekplaat.



$$t_{dek} = 16 \text{ mm}$$

$$t_{slijt} = 8 \text{ mm}$$

$$b_{wspr} := b_{wiel} + 2 \cdot (t_{dek} + t_{slijt}) \quad b_{wspr_0} = 268 \text{ mm}$$

wieltype A en B

$$b_{wspr_8} = 318 \text{ mm}$$

wieltype C

$$b_{wdubspr} := b_{wieldub} + 2 \cdot (t_{dek} + t_{slijt}) \quad b_{wdubspr} = 588 \text{ mm}$$

dubbel wiel

$$l_{wspr} := l_{wiel} + 2 \cdot (t_{dek} + t_{slijt}) \quad l_{wspr} = 368 \text{ mm}$$

spreidingslengte
in rijrichting

$$q_{wiel_i} := \frac{F_{as_i} \cdot 1 \cdot \text{mm}}{n_{wiel_i} \cdot b_{wspr_i} \cdot l_{wspr}} =$$

$$\begin{bmatrix} 354.9 \\ 329.5 \\ 354.9 \\ 304.2 \\ 304.2 \\ 354.9 \\ 380.2 \\ 384.5 \\ 384.5 \\ 384.5 \\ 354.9 \\ 354.9 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

lijnlast van de wielprent ten gevolge van
een wielbelasting op een strook van
1mm breedte

Conserveratief wordt aangenomen dat alle wielprenten in de meest ongunstige posite worden geplaatst waarbij de dwarsspreiding niet wordt meegenomen. Ook conservatie wordt onafhankelijk van de wielbreedte het gehele ongunstige deel van de dekplaat belaste. De eenheidslast zoals hiervoor worden gebruikt om de momenten en normaalkracht te bepalen per as.

$$M_{tr} := M_{EENH_{tr}} \cdot \frac{q_{wiel}}{1000} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.13 \\ 0.12 \\ 0.13 \\ 0.11 \\ 0.11 \\ 0.13 \\ 0.14 \\ 0.14 \\ 0.14 \\ 0.14 \\ 0.13 \\ 0.13 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{N} \cdot \text{m}$$

$$N_{tr} := N_{EENH_{tr}} \cdot \frac{q_{wiel}}{1000} =$$

$$\begin{bmatrix} 64.3 \\ 59.7 \\ 64.3 \\ 55.1 \\ 55.1 \\ 64.3 \\ 68.9 \\ 69.7 \\ 69.7 \\ 69.7 \\ 64.3 \\ 64.3 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{N}$$

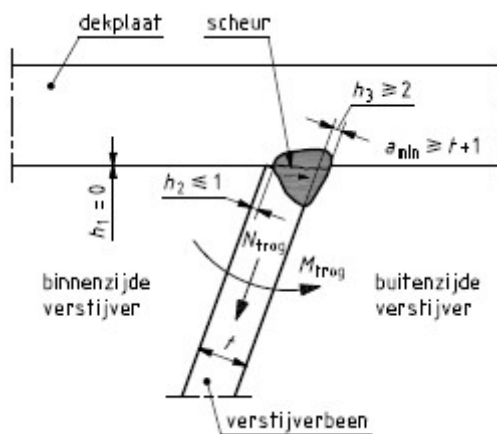
buigende momenten
en
normaalkrachten
voor alle
assen

$$\Delta\sigma_{R_i} := \gamma_{Ff} \cdot \alpha_{fat} \cdot \Delta\phi_{fat} \cdot \left(\frac{M_{tr_i}}{W_{tr}} + \frac{N_{tr_i}}{A_{tr}} \right) =$$

18.3
17
18.3
15.7
15.7
18.3
19.6
19.8
19.8
19.8
18.3
18.3
⋮

$$\frac{N}{mm^2}$$

spanningswisselingen



Las trog aan dekplaat
NEN-EN 1993-2+C1 NB,
tabel NB.7, detail 3
90 handlassen 100 aut. lassen

$$\Delta\sigma_c := 90 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta\sigma_g := \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}$$

$$\Delta\sigma_c = 78.3 \frac{N}{mm^2}$$

rekenwaarde laskwalificatie

$$\Delta\sigma_D := \left(\frac{2}{5} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c$$

$$\Delta\sigma_D = 57.7 \frac{N}{mm^2}$$

contacte amplitude
vermoeiingsgrens
bij 5×10^6 wisselingen

$$\Delta\sigma_L := \left(\frac{5}{100} \right)^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_D$$

$$\Delta\sigma_L = 31.7 \frac{N}{mm^2}$$

cut off limit bij 1×10^8 wisselingen

vermoeiingstoets

$$N_{R_i} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \Delta\sigma_{R_i} > \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_{R_i}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \\ \text{also if } \Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_{R_i} \leq \Delta\sigma_D \\ \left\| \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_{R_i}} \right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \\ \text{else} \\ \left\| 10^{10} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ 1 \cdot 10^{10} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

max aantal wisseling bij de
voorkomende spanningen

$$n_i := N_{obs_a_sl} \cdot levensduur \cdot \frac{percentage_i}{100} = \begin{bmatrix} 3125000 \\ 3125000 \\ 312500 \\ 312500 \\ 312500 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 1250000 \\ 937500 \\ 937500 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

voorkomen aantal aslasten over
de levensduur per aslast

$$D_i := \frac{n_i}{N_{R_i}} = \begin{bmatrix} 3.1 \cdot 10^{-4} \\ 3.1 \cdot 10^{-4} \\ 3.1 \cdot 10^{-5} \\ 3.1 \cdot 10^{-5} \\ 3.1 \cdot 10^{-5} \\ 1.3 \cdot 10^{-4} \\ 1.3 \cdot 10^{-4} \\ 1.3 \cdot 10^{-4} \\ 1.3 \cdot 10^{-4} \\ 1.3 \cdot 10^{-4} \\ 1.3 \cdot 10^{-4} \\ 9.4 \cdot 10^{-5} \\ 9.4 \cdot 10^{-5} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad D_{tot} := \sum_i (D_i)$$

vermoeiingsschade

$$\boxed{Toets} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } D_{tot} \leq 1 \\ \left\| \text{"Voldoet"} \\ \text{else} \\ \left\| \text{"Voldoet niet"} \end{array} \right\|$$

Toets = "Voldoet"

$$Levensduur := \frac{levensduur}{D_{tot}}$$

Levensduur = 24615 jaar

1.8 console

gegevens

$$L_{con} := 2440 \cdot mm$$

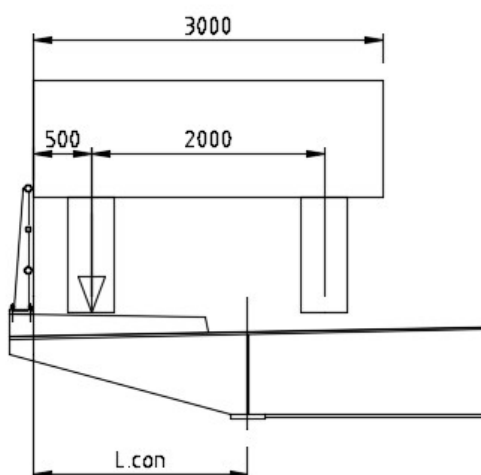
lengte console, overspanning

$$L_l := 2284 \cdot mm$$

lengte langsliggers, afstand tussen beide dwarsdragers

$$L_o := 205 \cdot mm$$

lengte overkraging (hart dwarsdrager - einde dekplaat)



Materiaalgegevens

$$R_k := 355 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

rekgrens $t \leq 40$ $R_k=355$, $40 < t \leq 80$ $R_k=335$

$$E := 210000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

E-modulus

$$\rho_{staal} := 7850 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

soortelijk gewicht staal

Toegepaste normen

NEN-EN-1991-1-9+C1+C2+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Vermoeiing

NEN-EN-1991-2+C1+NB(nl)

Belastingen op constructies - Verkeersbelasting op bruggen

NEN-EN-1993-2+C1+NB(nl)

Ontwerp en berekening van staalconstructies - Stalen bruggen

Belastingsfactoren

$CC := 2$	concequence klasse
$\gamma_G = 1.3$	partiele veiligheidsfactor voor eigen gewicht
$\gamma_Q = 1.35$	partiele veiligheidsfactor voor de belasting
$\alpha := 1$	reductie op de aslasten
$\zeta := 1$	reductie op het eigen gewicht
$\psi_0 := 1$	reductie op de overheersende belasting
$\gamma_M := 1$	partiele veiligheidsfactor voor de weerstand
$R_d := \frac{R_k}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$	rekenwaarde weerstand

Profielgegevens

$$h_1 := 16 \cdot \text{mm}$$

dikte bovenflens

$$b_2 := 12 \cdot \text{mm}$$

dikte lijfplaat

$$h_2 := 790 \cdot \text{mm}$$

hoogte lijfplaat

$$b_3 := 300 \cdot \text{mm}$$

breedte onderflens

$$h_3 := 20 \cdot \text{mm}$$

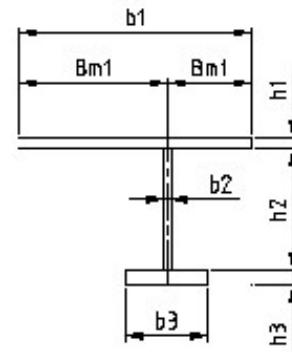
dikte onderflens

$$L_l = 2284 \text{ mm}$$

hoh dwarsdragers

$$L_{con} = 2440 \text{ mm}$$

lengte console



meewerkende breedte

$$x := 1 \dots 2$$

$$b_{0_1} := \frac{L_l}{2}$$

$$b_{0_1} = 1142 \text{ mm}$$

halve overspanning troggen

$$b_{0_2} := L_o$$

$$b_{0_2} = 205 \text{ mm}$$

overkraging dekplaat

$$\frac{b_{0_x}}{\frac{L_{con}}{50}} = \begin{bmatrix} 23.4 \\ 4.2 \end{bmatrix}$$

indien groter dan 1 effecten van shear lag in
rekening brengen NEN EN 1993-1-5:2025
par. 5.1

$$A_{sl} := 0 \cdot \text{mm}^2$$

oppervlakte van alle langsverstijvingen
binnen b0

$$\alpha_{0_x} := \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_{0_x} \cdot h_1}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

tabel 3.1 NEN EN 1993-1-5 (12)

$$\kappa_x := \frac{\alpha_{0_x} \cdot b_{0_x}}{L_{con}} = \begin{bmatrix} 0.47 \\ 0.08 \end{bmatrix}$$

$$\beta_{l_x} := \begin{cases} \text{if } \kappa_x \leq 0.02 \\ \parallel 1 \\ \text{also if } 0.02 < \kappa_x \leq 0.7 \\ \parallel \frac{1}{1 + 6.4 \cdot (\kappa_x)^2} \\ \text{else} \\ \parallel \frac{1}{5.9 \cdot \kappa_x} \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.42 \\ 0.96 \end{bmatrix}$$

reductiefactor voor het
veldmoment

$$b_{eff_x} := \beta_{l_x} \cdot b_{0_x} = \begin{bmatrix} 475.4 \\ 196.1 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

effectieve breedte veldmoment

$$b_1 := b_{eff_1} + b_{eff_2} = 671.6 \text{ mm}$$

breedte bovenflens

traagheidsmoment en weerstandsmomenten

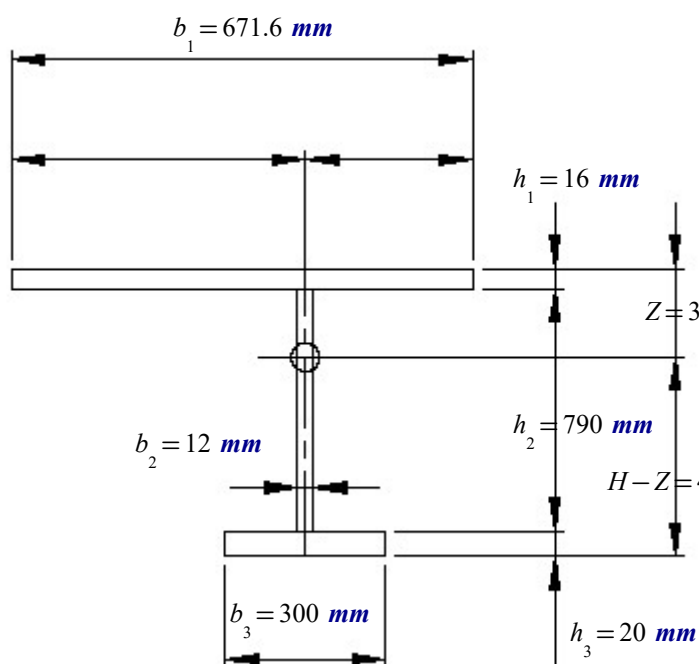
$$x := 1, 2 \dots 3$$

$$z_{o_1} := 0.5 \cdot h_1 = 8 \text{ mm}$$

positie zwaartepunten

$$z_{o_2} := h_1 + 0.5 \cdot h_2 = 411 \text{ mm}$$

$$z_{o_3} := h_1 + h_2 + 0.5 \cdot h_3 = 816 \text{ mm}$$



$$A_x := b_x \cdot h_x$$

$$Z := \frac{\sum_x (A_x \cdot z_{o_x})}{\sum_x A_x} = 338.5 \text{ mm}$$

$$H := \sum_x h_x = 826 \text{ mm}$$

$$z_x := Z - z_{o_x}$$

$$I := \sum_x \left(\frac{1}{12} \cdot b_x \cdot h_x^3 + A_x \cdot (z_x)^2 \right)$$

$$I = 3085055476 \text{ mm}^4$$

$$W_b := \frac{I}{Z} = 9112924 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment bovenzijde

$$W_o := \frac{I}{H - Z} = 6328790 \text{ mm}^3$$

weerstandsmoment onderzijde

$$v_{b_las} := \frac{Z - h_1}{Z} = 1$$

spanningsverhouding las
 t.o.v. uiterste vezel

$$v_{o_las} := \frac{H - Z - h_3}{H - Z} = 1$$

$$A_{lijf} := A_2 = 9480 \text{ mm}^2$$

oppervlak lijf

$$S_b := A_1 \cdot z_1 = 3551738 \text{ mm}^3$$

statisch moment bovenzijde

$$S_o := -A_3 \cdot z_3 = 2864782 \text{ mm}^3$$

statisch moment onderzijde

$$A_s := \sum_x A_x = 26225 \text{ mm}^2$$

oppervlak profiel

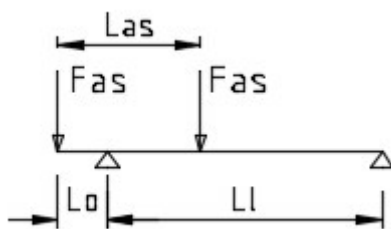
Uiterste grenstoestand

belastingen

$Q_{k_1} := 300 \text{ kN}$	aslasten	Load Model1 1991-2+C1-2015-NV-2019 par 4.6
$q_{k_1} := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	gelijkmatig verdeelde belasting	
$Q_{ak} := 400 \text{ kN}$	aslasten	Load Model 2 1991-2+C1-2015-NV-2019 par 4.6
$\alpha_Q := \alpha$	correctiefactor op de aslasten	
$q_G := A_s \cdot \rho_{staal} \cdot g = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$	gelijkmatig verdeelde belasting eigen gewicht	

aandeel van de aslasten herleidt naar de console

1 aslast op de overkraging de andere verdeeld naar de dwarsdrager



$$L_l = 2284 \text{ mm}$$

$$L_{as} := 1200 \cdot \text{mm}$$

$$L_o = 205 \text{ mm}$$

$$x_{assen} := 2 \cdot \frac{L_l + L_o - \frac{L_{as}}{2}}{L_l} = 1.65$$

aandeel assen LM1

$$M_{ak1} := x_{assen} \frac{Q_{k_1}}{2} \cdot (L_{con} - 500 \text{ mm}) + \frac{1}{2} \cdot q_{k_1} \cdot \left(\frac{L_l}{2} + L_o \right) \cdot L_{con}^2 = 517.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

max inklemmoment LM1

$$M_{ak2} := \frac{Q_{ak}}{2} \cdot (L_{con} - 500 \text{ mm}) = 388 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

max inklemmoment LM2

$$M_G := \frac{1}{2} \cdot q_G \cdot L_{con}^2 = 6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

inklemmoment
eigen gewicht

$$D_{ak1} := x_{assen} \frac{Q_{k_1}}{2} + q_{k_1} \cdot \left(\frac{L_l}{2} + L_o \right) \cdot L_{con} = 277.7 \text{ kN}$$

max dwarskracht LM1

$$D_{ak2} := \frac{Q_{ak}}{2} = 200 \text{ kN}$$

max dwarskracht LM2

$$D_G := q_G \cdot L_{con} = 4.9 \text{ kN}$$

max dwarskracht
eigen gewicht

rekenenwaarden van de momenten

$$\gamma_Q = 1.35$$

$$M_d := \alpha_Q \cdot \gamma_Q \cdot \max(M_{ak1}, M_{ak2}) + \gamma_G \cdot M_G = 706.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

rekenwaarde van het veldmoment

$$F_d := \alpha_Q \cdot \gamma_Q \cdot \max(D_{ak1}, D_{ak2}) + \gamma_G \cdot D_G = 381.3 \text{ kN}$$

rekenwaarde van de dwarskracht

$$\sigma_b := \frac{M_d}{W_b} = 77.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand

$$\sigma_o := \frac{M_d}{W_o} = 111.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

buigweerstand

$$\tau_b := \frac{F_d \cdot S_b}{b_2 \cdot I} = 36.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning

$$\tau_o := \frac{F_d \cdot S_o}{b_2 \cdot I} = 29.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

afschuifspanning

$$\sigma_{i_b} := \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2} = 100.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{i_b}}{R_d} = 0.28$$

$$\sigma_{i_o} := \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_o^2} = 122.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{i_o}}{R_d} = 0.35$$

$$E_d := \max(\sigma_{i_b}, \sigma_{i_o}) = 122.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Toets := \left\| \begin{array}{l} \text{if } E_d \leq R_d \\ \quad \| \text{“Voldoet”} \\ \text{else} \\ \quad \| \text{“Voldoet niet”} \end{array} \right\|$$

1990 par 6.4.2 (45)

Toets = “Voldoet”

doorbuiging

$$f_{ca} := \frac{x_{assen} \frac{Q_{k1}}{2} \cdot L_{con}^3}{3 \cdot E \cdot I} = 1.9 \text{ mm}$$

$$f_{max} := \frac{L_{con}}{600} = 4.1 \text{ mm}$$

$$UC := \frac{f_{ca}}{f_{max}} = 0.5$$