ADONIN
advies, ontwerp & inspecties

Industrieweg 14a
8861 VH Harlingen
0517 533011
info@adonin.nl

Herberekening Brouwersbrug Franeker

Projectnummer: 20237.00386
Onderdeel: Berekening brugdek
Status: Definitief

Opdrachtgever:
Gemeente Waadhoeke
T.a.v. dhr. T. Engelsma
Postbus 58
8800 AB FRANEKER

Adonin B.V.
Industrieweg 14a
8861 VH HARLINGEN
Tel: 0517-533011
Email: info@adonin.nl

Datum	Revisie nummer	Rapportage	Controle
23-10-2024	1.0	ing. M. Hettinga	ing. S. Hoekstra

Documenthistorie

Revisie	Datum	Wijziging
0.1	14-10-2024	Concept rapportage voor interne controle
1.0	23-10-2024	Status intern definitief tbv externe controle

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4

1.1. Basisinformatie 4
1.2. Normen en software 4
1.2.1. Normen 4
1.2.2. Software 4

2. Constructieve opbouw 5

2.1. Algemeen 5
2.2. Materiaalgegevens 6
2.2.1. Beton 6
2.2.2. Wapening 6

3. Belastingen 7

3.1. Partiële factoren 7
3.2. Permanente belastingen 7
3.2.1. Soortelijke gewichten 7
3.2.2. Belasting 7
3.3. Verkeersbelastingen wegverkeersbruggen 8
3.3.1. Rijstrook indeling 8
3.3.2. Verticale verkeersbelasting 8

4. Berekening brugdek 9

4.1. Schematisatie 9
4.2. Belastinggevallen 10
4.3. Momenten 11

5. Resultaten spanningen uit Scia 12

6. Wapeningsberekening momenten 14

6.1. Moment 1: Alleen de boog 14
6.2. Moment 2: De boog + een deel van het trottoir (ΣN = 0 kN) 15
6.3. Moment 3: Alleen rand bij scheiding voetpad en rijbaan 16
6.4. Moment 4: Rand + deel trottoir + deel dek rijbaan (ΣN = 0 kN) 17
6.5. Moment 5: Dek rijbaan snede met een breedte van 1000 mm 18
6.6. Moment 6: steunpuntswapening 19
6.7. Moment A: Dek rijbaan snede met een breedte van 1000 mm 20
6.8. Moment B: Dek trottoir snede met een breedte van 1000 mm 21

7. Momentensom over de hele brug 22

8. Verticaal draagvermogen 23

9. Conclusie 25

9.1. Huidige situatie 25
9.2. Lange termijn 25
9.3. INDICATIEF ADDENDUM 26
9.3.1. Toelichting op korte termijn: 26
9.3.2. Toelichting op lange termijn: 26

Bijlagen 27

bijlage A Wapeningstoetsen brugdek 27
bijlage B Uitvoer TS-construct 44
bijlage C Uitvoer TS-Paalfunderingen 54
bijlage D Uitvoer Scia engineer 70

1. Inleiding

De Brouwersbrug in Franeker heeft de leeftijd van 60 jaar gepasseerd. Om de constructieve veiligheid van de brug te onderzoeken verzorgt Adonin in opdracht van de gemeente Waadhoeke in onderhavig rapport een herberekening van de brug.



figuur 1 Foto van de brug

1.1. Basisinformatie

Tekeningen:

- Plan voor het maken van een nieuwe Brouwersbrug te Franeker; Bestektekening situatie (28-8-1963). *Gemeentewerken Franeker*

Buigstaat:

- Plan voor het maken van een nieuwe Brouwersbrug te Franeker; Buigstaat (18-2-1963). *Gemeentewerken Franeker*

Inspectie:

- Inspectierapport Brouwersbrug Franeker (31-07-2024). *ADONIN*

1.2. Normen en software

1.2.1. Normen

- NEN-EN 8700 Grondslagen bestaande bouw;
- NEN-EN 1990 Grondslagen;
- NEN-EN 1991 Belastingen;
- NEN-EN 1992 Beton;
- NEN-EN 1997 Geotechniek;
- RBK 1.1 Rijkswaterstaat .

Adonin werkt met normen via BRISwarenhuis. De gehanteerde norm is de meest recente ten tijde van uitgave 1e versie van onderhavige rapportage.

1.2.2. Software

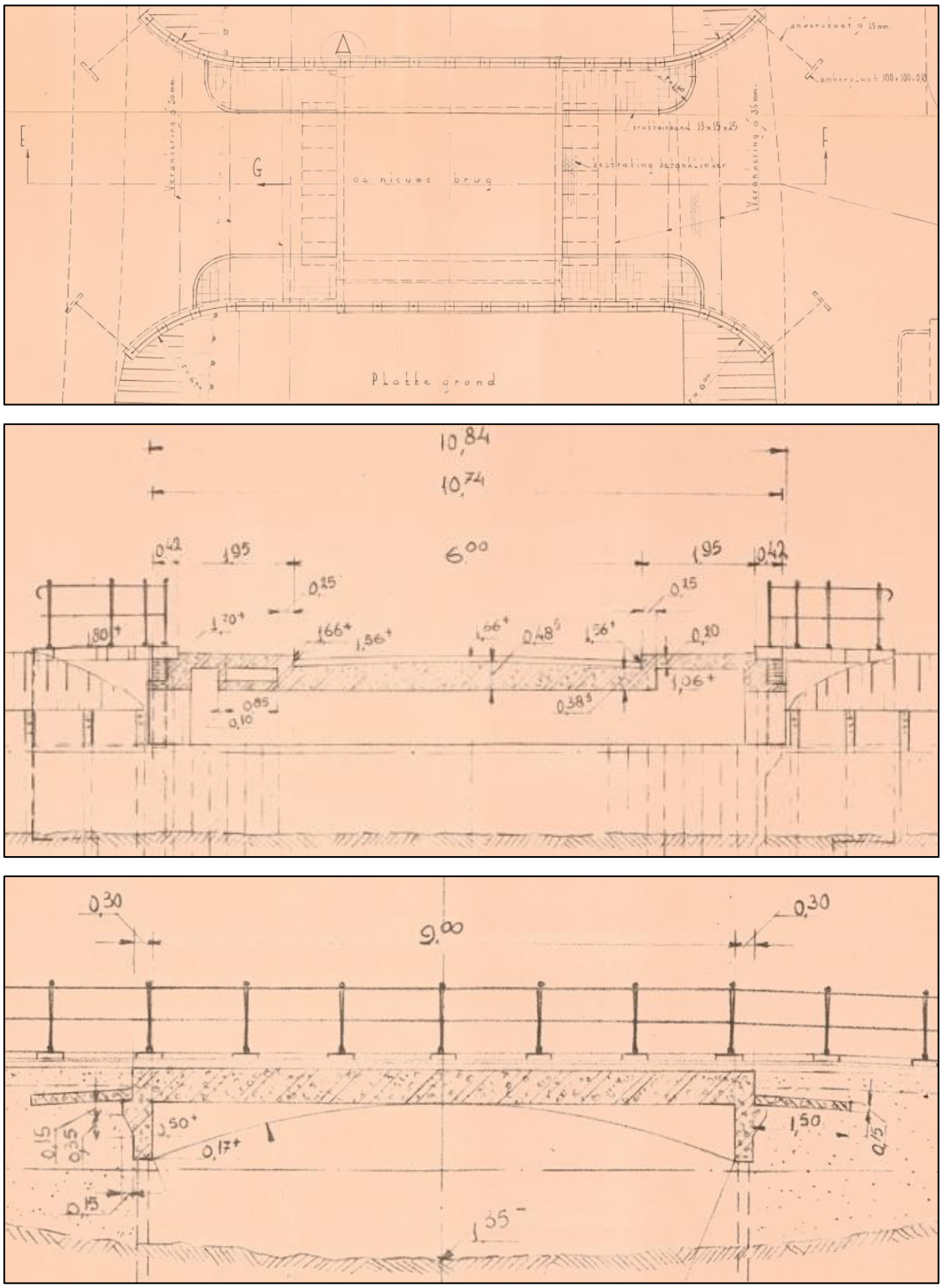
- Microsoft Word;
- Microsoft Excel;
- TS-Raamwerken*;
- TS-Construct*;
- TS-Paalfunderingen*;
- Scia engineer*.

*Zie de berekeningsbijlagen voor de gehanteerde versies.

2. Constructieve opbouw

2.1. Algemeen

De brug bestaat een betonnen brugdek met een overspanning van 9,0 meter. De breedte is 10,84 meter waarvan 2× 1,95 meter voetpad en 6,0 meter rijbaan. In onderstaande afbeeldingen zijn het bovenaanzicht, dwarsdoorsnede en langsdoorsnede weergegeven. Het brugdek t.p.v. de rijbaan heeft een dikte van 385 mm (zijkanten) en 485 mm (as weg). Bij de voetpaden is het dek 200 mm dik.



figuur 2 Bestekstekening Brouwersbrug met bovenaanzicht, dwarsdoorsnede en langsdoorsnede

2.2. Materiaalgegevens

2.2.1. Beton

De materiaaleigenschappen van de diverse sterkteklassen voor beton worden toegepast volgens NEN-EN 1992-1-1.
Er is geen betononderzoek uitgevoerd. Praktisch wordt C25/30 aangenomen.

Betonkwaliteit	f_{ck}	f_{cd}	f_{ctd}	f_{ctm}	E_{cm}
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
C25/30	25	16,7	1,20	2,56	31.000

tabel 1 Betonsterkte klasse

Milieuklasse XC4, XD3
Gemeten gemiddelde betondekking:
- Brugdek d=385-485: 34 mm
- Brugdek d=200: 20 mm
- Boog: 40 mm

2.2.2. Wapening

De materiaaleigenschappen van de diverse staalsoorten voor betonstaal en voorspanstaal worden toegepast volgens NEN-EN 1992-1-1.
Veiligheidshalve wordt, conform RBK, uitgegaan van QR22.

Betonstaal	f_{yk} [N/mm²]	f_{yd} [N/mm²]	E_s [N/mm²]
QR22 B	220	191	200.000

tabel 2 Betonstaal kwaliteit

3. Belastingen

3.1. Partiële factoren

Conform NEN-EN1990

	Bruggen
CC3	Bruggen in en over hoofdwegen, hoofdvaarwegen en landelijke spoorwegen. Dit betreft bruggen: • in en over de hoofdinfrastructuur of over hoofdvaarwegen met intensieve industriële (zee)vaart of • waarbij het instorten maatschappij ontwrichtende gevolgen heeft; • met extreem risico op grote maatschappelijke of letselschade.
CC2	Bruggen die niet zijn ingedeeld in CC 1 of CC 3
CC1	**Bruggen waarvoor gedurende de gehele ontwerplevensduur geldt:** **• de brug ligt niet in een economisch belangrijke route,** **• het aantal vrachtwagens is minder dan 2 000 per jaar per rijstrook en** **• er is een beperkt risico op grote maatschappelijke of letselschade.** **Bruggen in landwegen, woonwijken enz.**

tabel 3 Gevolgklasse voor bruggen

Gevolgklasse CC1/RC1

ULS

6.10a $G_k \times \gamma_{G,a} + Q_{k,1} \times \gamma_Q \times \psi_0$

6.10b $G_k \times \gamma_{G,b} + Q_{k,1} \times \gamma_Q + Q_{k,2} \times \gamma_Q \times \psi_0$

Belastingfactoren bij afkeuren conform NEN8700 (Tabel A2.2(C))

CC1	Afkeur	Verbouw	
$\gamma_{G,a}$	1,00	1,10	*EG-6.10a*
$\gamma_{G,b}$	1,00	1,10	*EG-6.10b*
γ_G	0,90	0,90	*EG – gunstig*
γ_Q	1,00	1,10	*Verkeer*
γ_Q	1,10	1,20	*Wind*
γ_Q	1,05	1,10	*overig*

3.2. Permanente belastingen

3.2.1. Soortelijke gewichten

Beton	γ_{beton}	$25\ kN/m^3$
Klinkers	γ_{asfalt}	$25\ kN/m^3$
Staal	γ_{staal}	$78{,}5\ kN/m^3$

Op het brugdek liggen klinkers, hiervoor wordt 2,5 kN/m² aangehouden.

3.2.2. Belasting

Leuning $1{,}50\ kN/m$

3.3. Verkeersbelastingen wegverkeersbruggen

Verkeersbelasting conform NEN-EN 1991-2 §4.

3.3.1. Rijstrook indeling

5,4 ≤ w < 9 m → 2 theoretische rijstroken
w = Breedte van de rijweg = 6,0 meter.

3.3.2. Verticale verkeersbelasting

3.3.2.1. Belastingmodel BM1

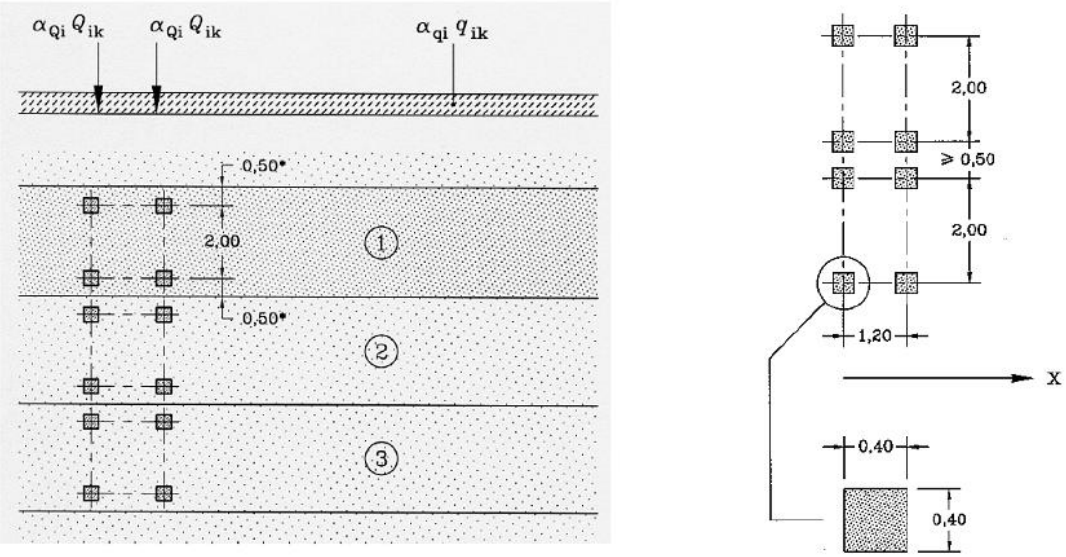
Conform NEN-EN 8701-Bijlage C 'Verkeersbelasting voor wegverkeersbruggen in het onderliggend wegennet' wordt gerekend op:

Bij N_{obs} < 5.000 per jaar

- $\alpha_{Q;i}$ = 0,8 × 0,93 = 0,74
- $\alpha_{q;1}$ = 1,35 × 0,93 = 1,26
- $\alpha_{q;i}$ i>1 = 1,0 × 0,93 = 0,93
- $ß_{Q;1}$ = 0,8 × 0,93 = 0,74

BM1 NEN-EN 1991-2; §4.3.2:

- Belasting rijstrook 1: $Q_k = 300 \times \alpha_{Q1} = 222$ kN
  $q_k = 9 \times \alpha_{q1} = 11{,}3$ kN/m²
- Belasting rijstrook 2: $Q_k = 200 \times \alpha_{Q2} = 148$ kN
  $q_k = 2{,}5 \times \alpha_{q2} = 2{,}3$ kN/m²
- Resterende oppervlakte: $q_k = 2{,}5 \times \alpha_{qr} = 2{,}3$ kN/m²

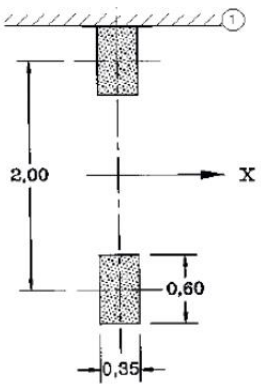


figuur 3 Rijstroken BM1 en tandemstelsels voor lokale toetsingen

3.3.2.2. Belastingmodel BM2

BM2 NEN-EN 1991-2; §4.3.3:

- Belasting rijstrook 1: $Q_k = 400 \times ß_{Q1} = 296$ kN

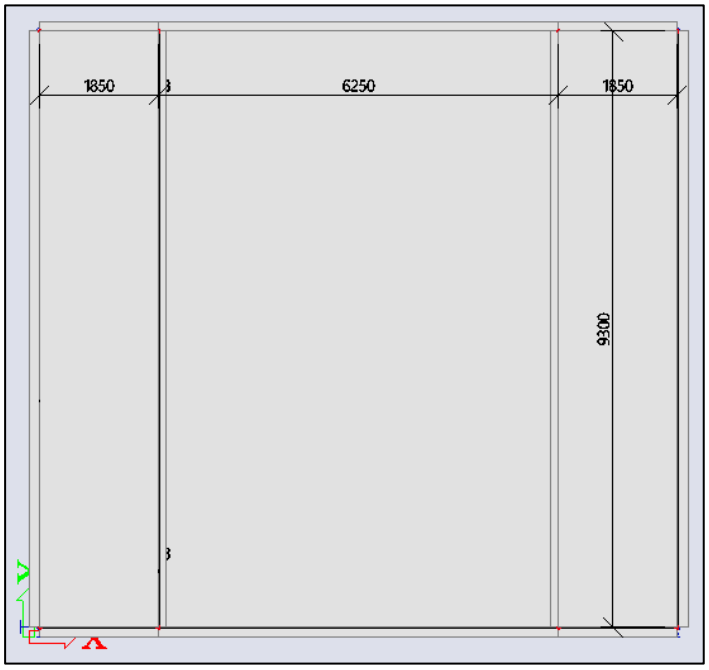


4. Berekening brugdek

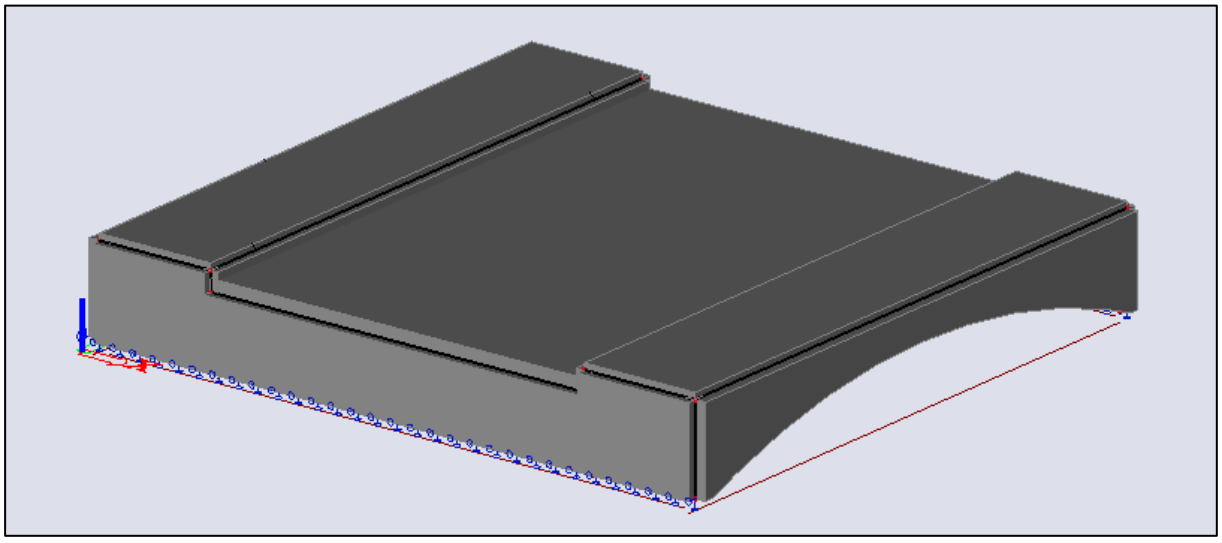
4.1. Schematisatie

Het geheel is in Scia Engineer ingevoerd. Hierbij zijn de afmetingen en de diktes van de balken ingevoerd conform de bestekstekeningen.

Voor de sterkte is de situatie van extreme verkeersbelasting BM1-TS met gelijkmatig verdeelde belasting (11,3 en 2,3 kN/m²) maatgevend.



figuur 4 Schematisatie in Scia Engineer, bovenaanzicht



figuur 5 Schematisatie in Scia Engineer, 3D weergave

4.2. Belastinggevallen

BG1: permanente belasting
Het eigen gewicht van de brug wordt door Scia berekend. Daarnaast wordt er 2,3 kN/m² op het brugdek t.p.v. de rijbaan gezet voor het eigen gewicht van de klinkers, en een lijnlast van 1,5 kN/m op de rand van de brug voor het leuningwerk.

BG2: BM-1 Gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting
Het brugdek is verdeeld in 2 rijstroken van 3,0m breed en twee voetpaden van 1,85m breed. Op rijstrook 1 wordt op de hele brug een belasting van 11,3 kN/m² gezet en op de overige oppervlakte staat een belasting van 2,3 kN/m², zoals bepaald in par. 3.3.2.

BG3: BM-1 tandemstelsels
Op rijstrook 1 worden 4 wiellasten gezet met een belasting van 300/2 = 150 kN per wiellast. De wielprent heeft een oppervlakte van 400×400mm. De belasting wordt gespreid tot een oppervlakte van 600×600mm. Dit geeft een belasting per vierkante meter van 150 / (0,6×0,6) = 416,7 kN/m² op een oppervlakte van 0,6×0,6m.
Op rijstrook 2 is dit een belasting van 100 / (0,6×0,6) = 277,8 kN/m² op een oppervlakte van 0,6×0,6m.
Deze tandemstelsels worden in stappen van 1,0m over de brug verplaatst om zo voor iedere plek op de brug de maatgevende momenten te berekenen.
De α-factoren voor de tandemstelsels (α = 0,74) worden in Scia als combinatiefactoren ingevoerd.

4.3. Momenten

Er worden 17 verschillende momenten berekend en getoetst:

Moment	Toelichting	Richting
1	Alleen de boog	Langs
2	De boog + een deel van het trottoir (ΣN = 0 kN)	Langs
3	Alleen rand bij scheiding voetpad en rijbaan	Langs
4	Rand + deel trottoir + deel dek (ΣN = 0 kN)	Langs
5	Dek rijbaan snede met een breedte van 1000 mm	Langs
6	Steunpuntswapening	Langs
A	Dek rijbaan snede met een breedte van 1000 mm	Dwars
B	Dek trottoir snede met een breedte van 1000 mm	Dwars

tabel 4 Berekende momenten

Doordat er in de 3 velden verschillende wapeningsdoorsnedes te vinden zijn worden deze apart van elkaar getoetst. Het brugdek wordt verdeeld in veld 1, 2 en 3.

Deze 8 momenten worden berekend in Scia Engineer. De uitvoer van het model is toegevoegd in bijlage D. In onderstaande tabel staan de resultaten opgesomd. In hoofdstuk 5 worden alle opneembare momenten toegelicht op basis van de wapening in het brugdek.

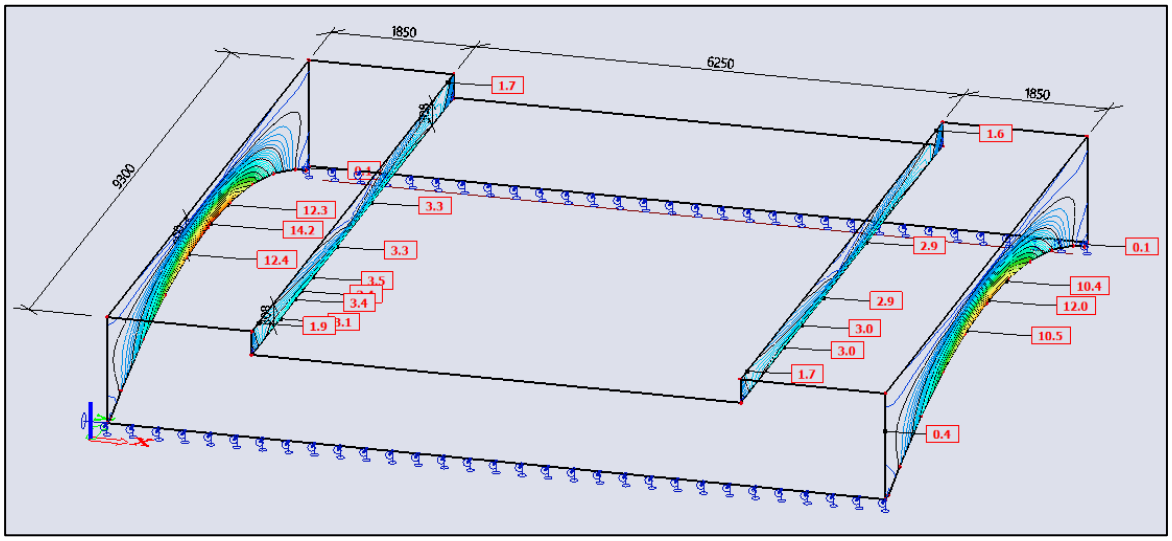
Moment	Opneembaar moment [kNm]	Optredend moment [kNm]	Unity check afkeur	Unity check verbouw
1	147,3 (+ N)	Vind evenwicht met brugdek		
2	337,4	**- ***	**- ***	
3	21,3 (+ N)	Vind evenwicht met brugdek		
4	682,6	874	**0,78**	**0,86**
5	209 (+ N)	375	**0,56**	**0,62**
6	71,3	147	**0,49**	**0,54**
A	99,5	94	**1,06**	**1,17**
B	23,9	35	**0,69**	**0,76**

tabel 5 Samenvattingen momenten

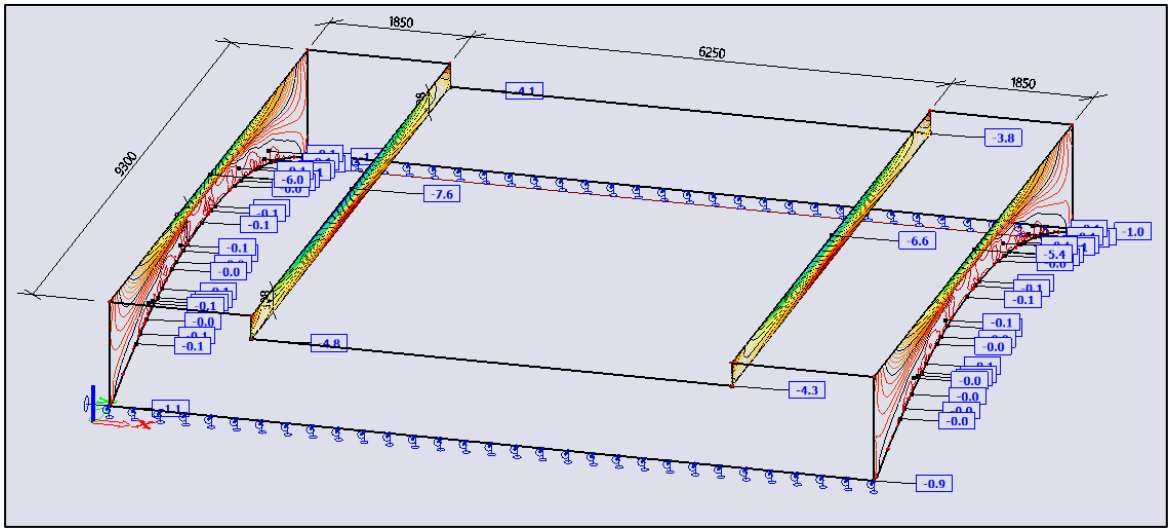
* Bij moment 1 en 2 is het onbekend hoe de wapening in de boog eruit ziet. Hierdoor is het niet mogelijk om exact te bepalen of deze doorsnedes voldoen.
Als bij moment 2 wordt uitgegaan van de meest gunstige ligging van de wapening is de unity check **0,91/1,01**. Er is echter een kans dat de wapening meer verspreid over de hele balk ligt waardoor de unity check hoger wordt.

5. Resultaten spanningen uit Scia

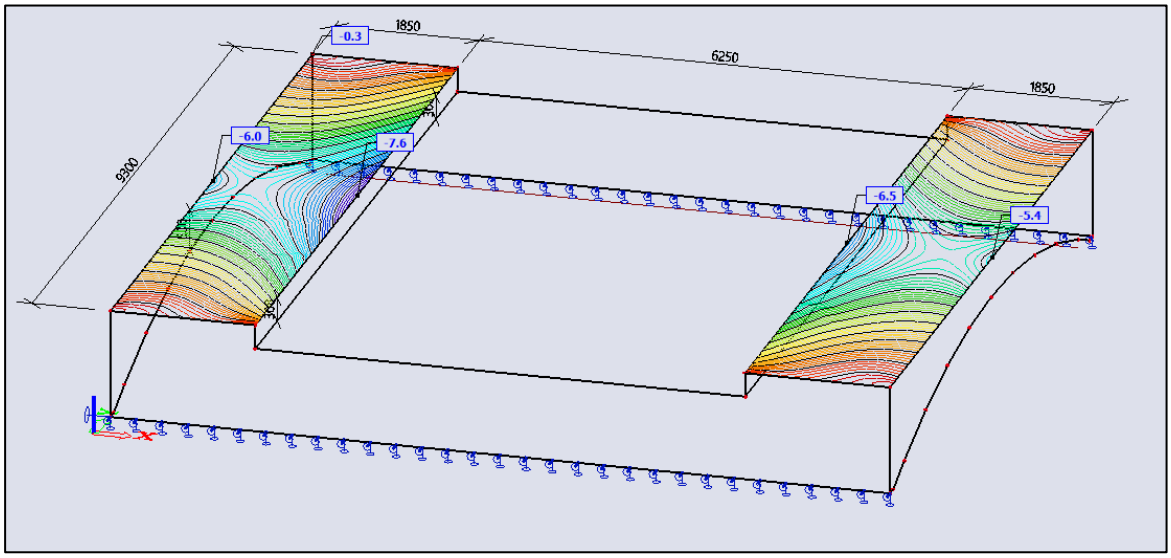
In onderstaande figuren staan de maximale trek- en drukspanningen die voorkomen in de platen die zijn geschematiseerd als wand. Hierbij is positief een trekspanning en negatief een drukspanning. De spanningen zijn in N/mm²



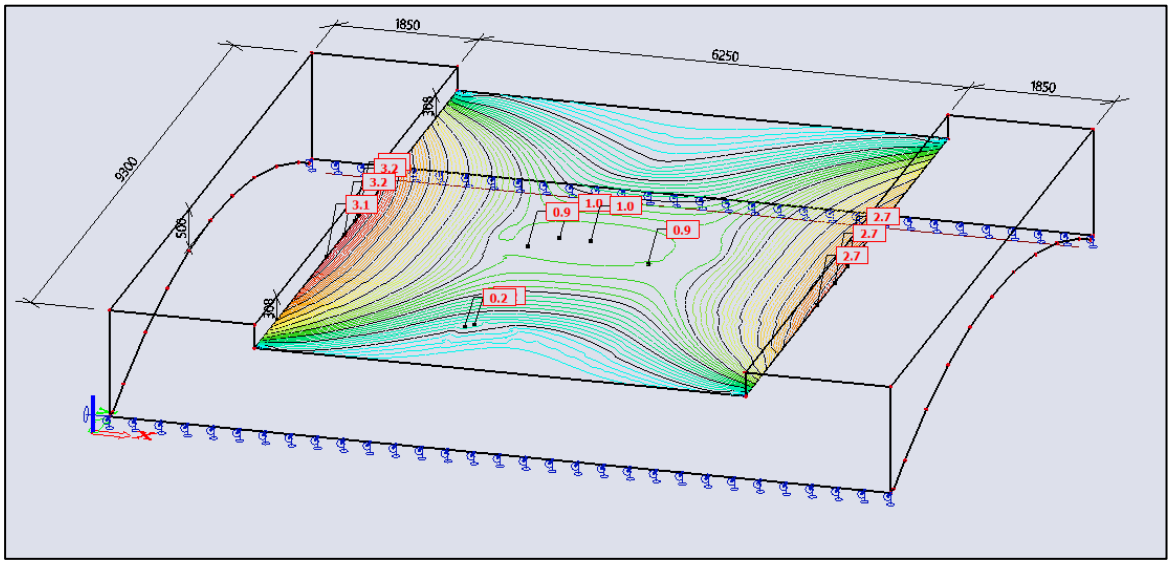
figuur 6 Maximale trekspanningen in de wanden (N/mm²)



figuur 7 Maximale drukspanningen in de wanden (N/mm²)



figuur 8 *Maximale drukspanningen in de platen (N/mm²)*

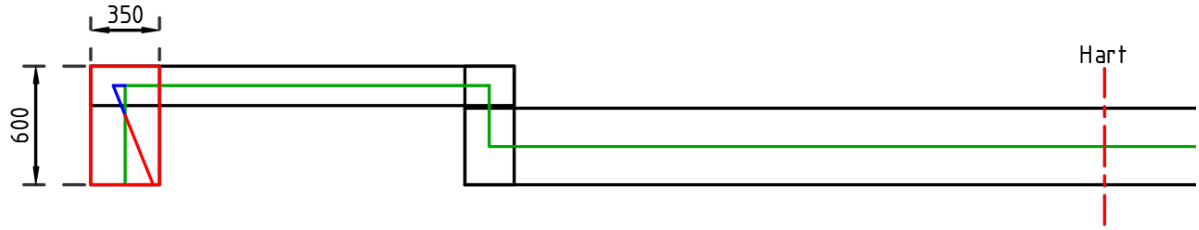


figuur 9 *Maximale trekspanningen in de platen (N/mm²)*

6. Wapeningsberekening momenten

De wapening in de brug is getoetst op basis van de bestektekeningen uit 1963.
In dit hoofdstuk zijn alleen de samenvattingen van de wapeningsberekeningen toegevoegd. De volledige berekeningen zijn toegevoegd in bijlage A.

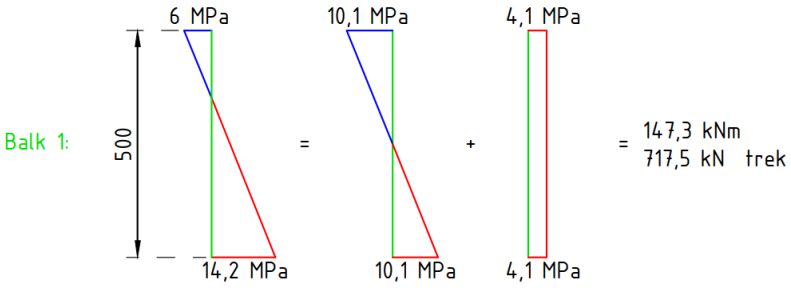
6.1. Moment 1: Alleen de boog



Bestem-ming	Merk	Aantal	Dikte in mm.	Lengte per stuk in mm.	Totale Lengte in m.	Gewicht in kg.	Ha-ken	Bochten Hoogte	Bochten Schaar Lengte in cm.	Maten, h.o.h., beugels inwendig
Boog	13		10		430		7			
	14		10		160		2			
	15	4	28	1030	42					
	16	8	28	990	80					
	17	10	10	980	98					

figuur 10 Buigstaat van de Brouwersbrug

De wapening in deze doorsnede is niet helemaal bekend. Per boog liggen er 6ø28 staven en 5ø10 staven.
Uit figuur 6 en 7 volgen de volgende spanningen in de randbalk. Deze kunnen worden opgedeeld in een buigspanning van 10,1 MPa en een trekspanning van 4,1 MPa. Dit resulteert in het volgende moment en de volgende normaalkracht:

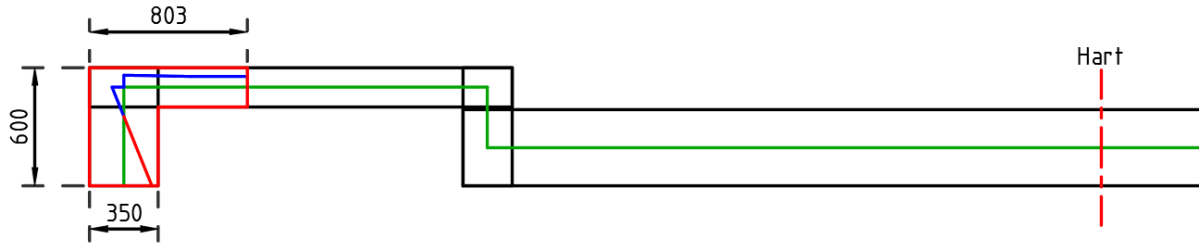


De trekkracht in de snede vind evenwicht met de drukkracht in het trottoir. Daardoor wordt de doorsnede getoetst als een T-ligger in de volgende paragraaf.

De momenten en normaalkrachten ten gevolge van de spanningen in de onderdelen die als wand zijn geschematiseerd (figuur 6 en 7) worden iedere keer op bovenstaande manier berekend.

6.2. Moment 2: De boog + een deel van het trottoir (ΣN = 0 kN)

De resulterende trekkracht in de boog is 717,5 kN. Om de som van de normaalkrachten 0 kN te maken is 803 mm van het brugdek nodig. De voetpaden worden volledig op druk belast. Optredend moment ten gevolge van normaalkrachten is 321 kNm. Het moment wat in het trottoir in langsrichting (op dezelfde 803mm breedte) zit is 16,4 kNm, Totaal geeft dat 337,4 kNm.



Wapening onderin de balk is niet bekend. In een gunstige situatie is het volgende ingevoerd:

Wapening	**laag** [mm]	**aant.** [st]	c_{staaf}	d_s	A_s
Bovennet	1 Ø 8	10	34	38	503
(drukzone)	1		34	34	
	1		34	34	
Ondernet	1 Ø 28	3	34	552	1847
(trekzone)	3 Ø 10	5	128	467	393
	3 Ø 28	3	128	458	1847

Met deze wapening voldoet de doorsnede. Echter is niet bekend hoe de wapening verdeeld is in de doornsede, waardoor niet kan worden bepaald of de doorsnede echt voldoet.

Samenvatting van de berekening:

Krachten

M_{Ed}	337,4 [kNm]	M_{freq}	1 [kNm]	
V_{Ed}	0 [kN]			
N_{Ed}	0 [kN]	N_{freq}	0 [kN]	

Materiaalkwaliteit

Beton	C25/30	
Staal	B 220 B	
Dekking	34	[mm]

Wapening

Boven	*laag 1*	10ø8
Onder	*laag 1*	3ø28+5ø10+3ø28
Beugels	*laag 2*	ø16-175 -snedig

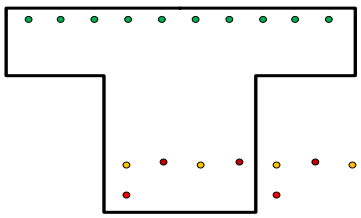
Afmeting

	h	b	
h1 (drukzone)	200	803	[mm]
h2 (lijf)	400	350	[mm]
	0	0	[mm]

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**Voldoet [0,91]**
Drukzone	**Voldoet [0,46]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,00]**
min. en max. wapening	**Voldoet [0,34]**

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



Technosoft construct geeft (met alleen 6ø28 onderin) een unity check van 0,90:

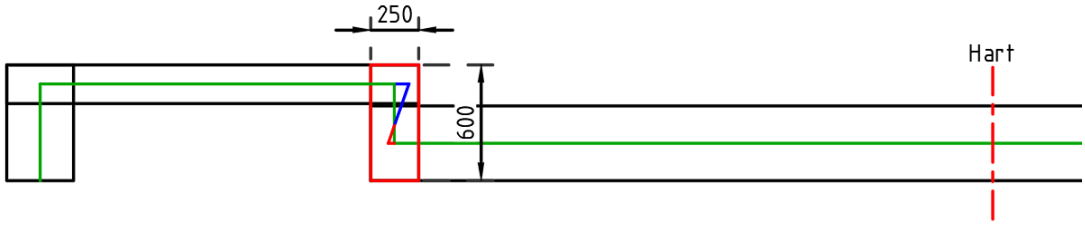
BELASTING **RESULTATEN**

Nr	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	$N_{E;freq}$ [kN]	$M_{E;freq}$ [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Opm.
1	0.0	-337.4	0.0	0.0	40.8	-374.0	52.8	-415.7	174

Opmerkingen

[37] De tussenafstand van de staven (onder) 16.0 mm is kleiner dan de minimale tussenafstand 36.5 mm.
[174] MRfreq is het uiterste buigende moment in de scheurvorming toestand.

6.3. Moment 3: Alleen rand bij scheiding voetpad en rijbaan



Bestem-ming	Merk	Aantal	Dikte in mm	Lengte per stuk in mm	Totale Lengte in m	Gewicht in kg.	Ha-ken	Bochten Hoogte te Lengte in cm	Maten hoh. beugels inwendig
Dek:	1	31	28	999	308		10		952
	2	26	28	1015	264		13		166 565 540 565 166
	3	2	28	1030	21		13		10 23 808 23 20
	4	52	16	640	333				640
	5	64	10	610	391				610
	6	41	10	950	390				950
	6a	52	19	240	125		9		222

Var. hoogte -10 cm

figuur 11 Buigstaat van de Brouwersbrug

De wapening onderin het brugdek, in het midden van de overspanning, is ø28-112
6500mm / 58 hoh-afstanden = 112 mm.

Samenvatting van de berekening:

Krachten

M_{Ed}	21,3 [kNm]	M_{freq}	1 [kNm]	
V_{Ed}	0 [kN]			
N_{Ed}	-169 [kN]	N_{freq}	1 [kN]	

Wapening

Boven	*laag 1*	1ø10
Onder	*laag 1*	2,2ø28
Beugels	*laag 2*	ø16-175 -snedig

Materiaalkwaliteit

Beton	C20/25	
Staal	B 220 B	
Dekking	34	[mm]

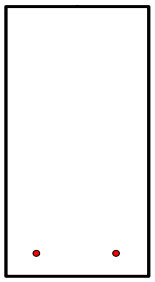
Afmeting

	h	b	
balk/plaat	600	250	[mm]
	400	350	[mm]
	0	0	[mm]

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**Voldoet [0,18]**
Drukzone	**Voldoet [0,47]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,00]**
min. en max. wapening	**Voldoet [0,23]**

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



De onderwapening heeft een staaloppervlakte van 1232 mm². Dit kan een trekkracht opnemen van 235 kN. De unity check voor normaalkracht is al 0,72.

Technosoft construct geeft een unity check van 0,13:

BELASTING **RESULTATEN**

Nr	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	$N_{E;freq}$ [kN]	$M_{E;freq}$ [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Opm.
1	-169.1	-21.0	0.0	0.0	62.9	-160.4	23.7	-138.0	174

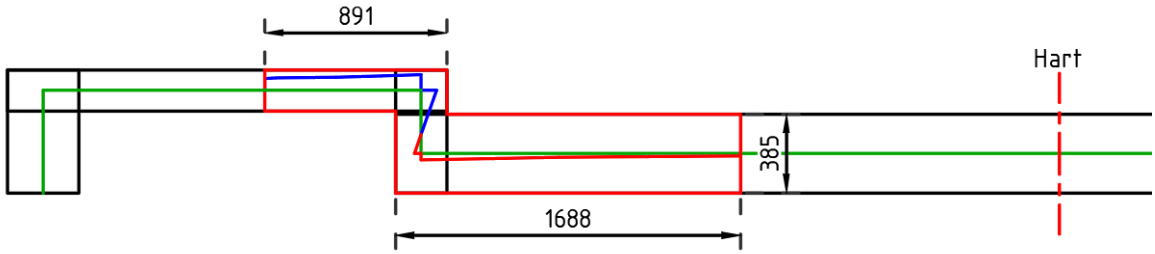
Opmerkingen

[174] MRfreq is het uiterste buigende moment in de scheurvorming toestand.

6.4. Moment 4: Rand + deel trottoir + deel dek rijbaan (ΣN = 0 kN)

Optredend moment ten gevolge van de spanningen is 359,6 kNm. Het moment wat in het trottoir in langsrichting zit is 22,1 kNm, en in het brugdek is dat 300,9 kNm. Totaal geeft dat in deze snede een moment van 682,6 kNm.

Voor de breedte van het brugdek is een kwart van de breedte van de plaat aangehouden. Om dan in de doorsnede evenwicht van normaalkracht te krijgen is van het trottoir 891mm meegenomen.



Samenvatting van de berekening:

Krachten

M_{Ed}	682,6 [kNm]	M_{freq}	1 [kNm]
V_{Ed}	0 [kN]		
N_{Ed}	0 [kN]	N_{freq}	0 [kN]

Materiaalkwaliteit

Beton	C25/30	
Staal	B 220 B	
Dekking	34	[mm]

Wapening

Boven	*laag 1*	3,6ø8
Onder	*laag 1*	15ø28
Beugels	*laag 2*	ø16-175 -snedig

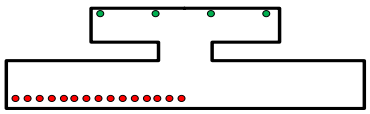
Afmeting

	h	b	
h1 (drukzone)	200	891	[mm]
h2 (lijf)	116	250	[mm]
h3 (trekzone)	284	1688	[mm]

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**Voldoet [0,78]**
Drukzone	**Voldoet [0,98]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,00]**
min. en max. wapening	**Voldoet [0,34]**

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



Technosoft construct geeft een unity check van 0,80:

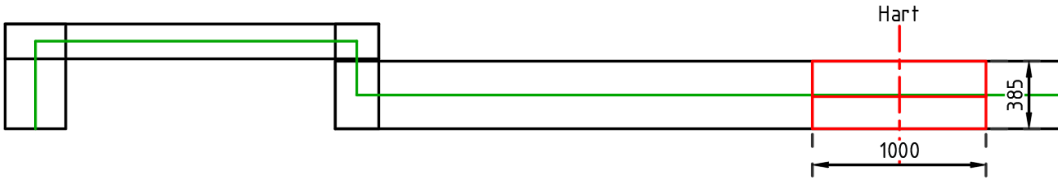
BELASTING **RESULTATEN**

Nr	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	$N_{E;freq}$ [kN]	$M_{E;freq}$ [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Opm.
1	0.0	-682.6	0.0	0.0	68.0	-857.2	75.7	-970.4	174

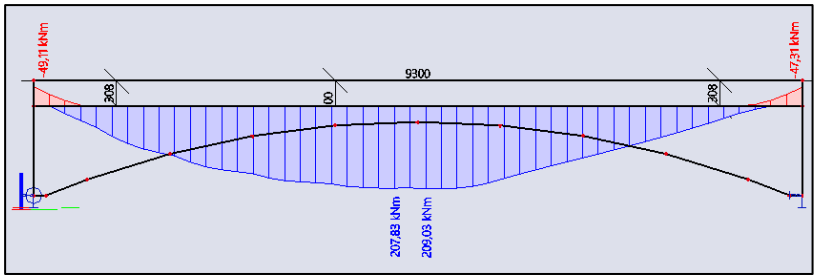
Opmerkingen

[174] MRfreq is het uiterste buigende moment in de scheurvorming toestand.

6.5. Moment 5: Dek rijbaan snede met een breedte van 1000 mm



De normaalkracht in deze snede is 385 kN (trek). De onderwapening heeft een staaloppervlakte van 5974 mm². Dit kan een trekkracht opnemen van 1141 kN. De unity check voor normaalkracht is 0,34.



figuur 12 Veldmoment op een snede van 1,0m in het midden van de brug

Samenvatting van de berekening:

Krachten

M_{Ed}	209	[kNm]	M_{freq}	1 [kNm]
V_{Ed}	0	[kN]		
N_{Ed}	385	[kN]	N_{freq}	0 [kN]

Materiaalkwaliteit

Beton	C20/25
Staal	B 220 B
Dekking	34 [mm]

Wapening

Boven	*laag 1*	ø10-165
Onder	*laag 1*	ø28-112
Beugels	*laag 2*	ø16-175 -snedig

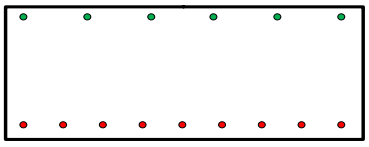
Afmeting

	h	b	
balk/plaat	470	1000	[mm]
	0	0	[mm]
	0	0	[mm]

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**Voldoet [0,56]**
Drukzone	**Voldoet [0,62]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,00]**
min. en max. wapening	**Voldoet [0,29]**

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



Technosoft construct geeft een unity check van 0,59:

BELASTING **RESULTATEN**

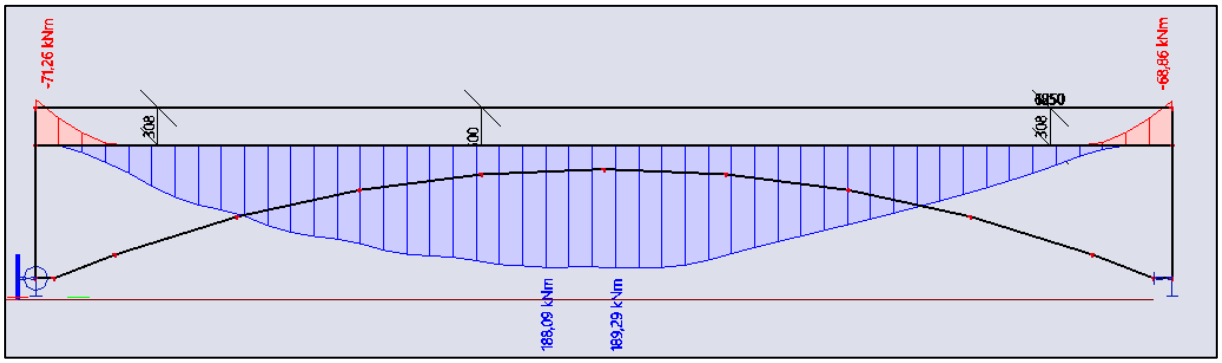
Nr	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	$N_{E;freq}$ [kN]	$M_{E;freq}$ [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Opm.
1	385.0	-209.0	0.0	0.0	0.0	-356.4	57.0	-472.7	11,174

Opmerkingen

[11] Moment/normaalkracht X-ri kan niet worden opgenomen!
[174] MRfreq is het uiterste buigende moment in de scheurvorming toestand.

6.6. Moment 6: steunpuntswapening

De snede van 1,0 meter breed met het grootste steunpuntsmoment is de volgende:



figuur 13 Steunpuntsmoment uit Scia op de maatgevende snede van 1,0m

Het maximale steunpuntsmoment is 71,3 kNm.

Samenvatting

Krachten

M_{Ed}	71,3	[kNm]	M_{freq}	1 [kNm]
V_{Ed}	0	[kN]		
N_{Ed}	0	[kN]	N_{freq}	0 [kN]

Wapening

Boven	*laag 1*	ø10-150
Onder	*laag 1*	ø28-200
Beugels	*laag 2*	ø1-100 4-snedig

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**Voldoet [0,49]**
Drukzone	**Voldoet [0,51]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,01]**
min. en max. wapening	**Voldoet [0,36]**

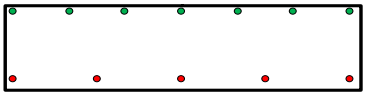
Materiaalkwaliteit

Beton	C25/30	
Staal	B 220 B	
Dekking	20	[mm]

Afmeting

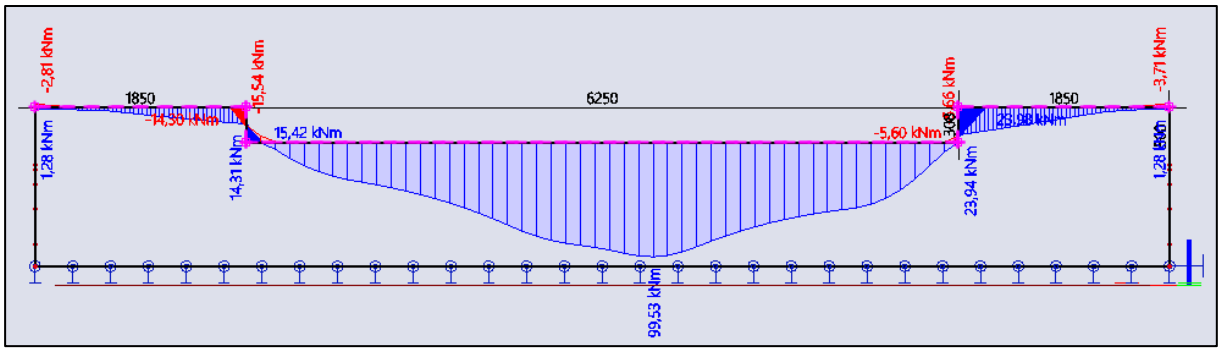
	h	b	
balk/plaat	300	1000	[mm]
	0	0	[mm]
	0	0	[mm]

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



6.7. Moment A: Dek rijbaan snede met een breedte van 1000 mm

De momenten in dwarsrichting zijn het hoogst in het midden van de overspanning. De momenten in deze strook met een breedte van 1000mm zijn:



figuur 14 Moment in dwarsrichting in een snede met een breedte van 1,0m in het midden van de brug

Samenvatting

Krachten

M_{Ed}	99,5 [kNm]	M_{freq}	1	[kNm]
V_{Ed}	0 [kN]			
N_{Ed}	0 [kN]	N_{freq}	0	[kN]

Materiaalkwaliteit

Beton	C25/30	
Staal	B 220 B	
Dekking	34	[mm]

Wapening

Boven	*laag 2*	ø10-140
Onder	*laag 2*	ø16-175
Beugels	*laag 1*	ø28-100 4-snedig

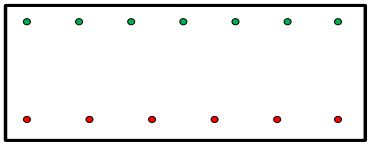
Afmeting

	h	b	
balk/plaat	480	1000	[mm]
	0	0	[mm]
	0	0	[mm]

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**VOLDOET NIET [1,06]**
Drukzone	**Voldoet [0,24]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,02]**
min. en max. wapening	**VOLDOET NIET [1,13]**

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



Technosoft construct geeft een unity check van 1,05:

BELASTING			RESULTATEN						
					Sterkte		Scheurvorming		Opm.
Nr	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	$N_{E;freq}$ [kN]	$M_{E;freq}$ [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	$M_{R;freq}$ [kNm]	$M_{R;freq}$ [kNm]	
1	0.0	-99.5	0.0	1.0	47.9	-94.4	63.9	-104.4	174,11

Opmerkingen

[11] Moment/normaalkracht X-ri kan niet worden opgenomen!
[174] MRfreq is het uiterste buigende moment in de scheurvorming toestand.

6.8. Moment B: Dek trottoir snede met een breedte van 1000 mm

Samenvatting

Krachten

M_{Ed}	23,9 [kNm]	M_{freq}	1 [kNm]
V_{Ed}	0 [kN]		
N_{Ed}	0 [kN]	N_{freq}	0 [kN]

Materiaalkwaliteit

Beton	C25/30
Staal	B 220 B
Dekking	20 [mm]

Wapening

Boven	*laag 1*	ø10-140+ø19-280
Onder	*laag 1*	ø19-270
Beugels	*laag 2*	ø1-100 4-snedig

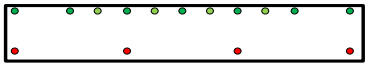
Afmeting

	h	b	
balk/plaat	200	1000	[mm]
	0	0	[mm]
	0	0	[mm]

Toetsing conform: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011

Herverdeling	**Voldoet [0,80]**
Buigend moment	**Voldoet [0,69]**
Drukzone	**Voldoet [0,54]**
Dwarskracht	**Voldoet [0,00]**
geen dwarskrachtwapening nodig	
Scheurbeheersing	**Voldoet [0,02]**
min. en max. wapening	**Voldoet [0,61]**

Figuur: Overzicht betondoorsnede
(wapening schematisch weergeven)



Technosoft construct geeft een unity check van 0,69:

BELASTING **RESULTATEN**

Nr	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	$N_{E;freq}$ [kN]	$M_{E;freq}$ [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Sterkte M_{Rd} [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Scheurvorming $M_{R;freq}$ [kNm]	Opm.
1	0.0	-23.9	0.0	1.0	11.6	-34.6	14.0	-37.9	174,6

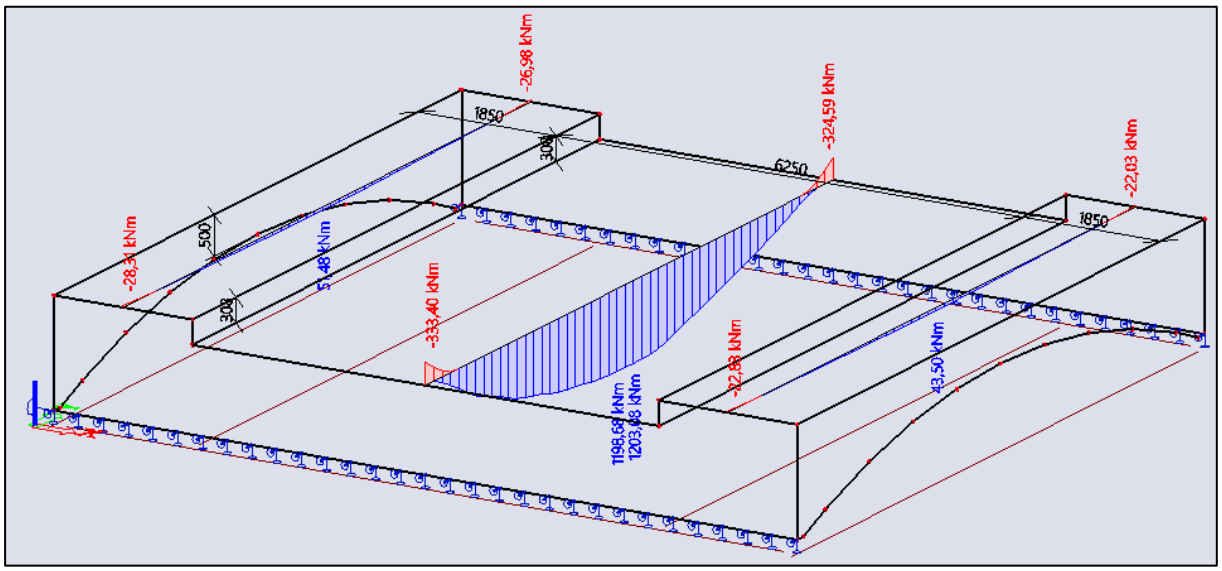
Opmerkingen

[174] MRfreq is het uiterste buigende moment in de scheurvorming toestand.

7. Momentensom over de hele brug

De momenten in het hele brugdek worden opgedeeld in 3 delen:

	Veldmomenten:	Steunpuntsmomenten:
Voetpad 1:	51 kNm	28 kNm & 27 kNm
Voetpad 2:	44 kNm	333 kNm & 325 kNm
Rijbaan:	1203 kNm	23 kNm & 22 kNm
Totaal:	1298 kNm	384 kNm & 374 kNm

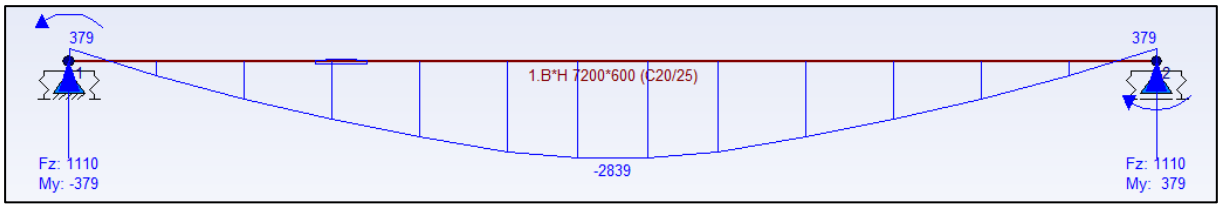


figuur 15 Momentenlijnen uit Scia

De momenten ten gevolge van de normaalkrachten in het brugdek zijn 1671 kNm.
Totaal is dat 1290 + 1671 = 2961 kNm.

Het gemiddelde steunpuntsmoment over de hele breedte van de brug is 379 kNm

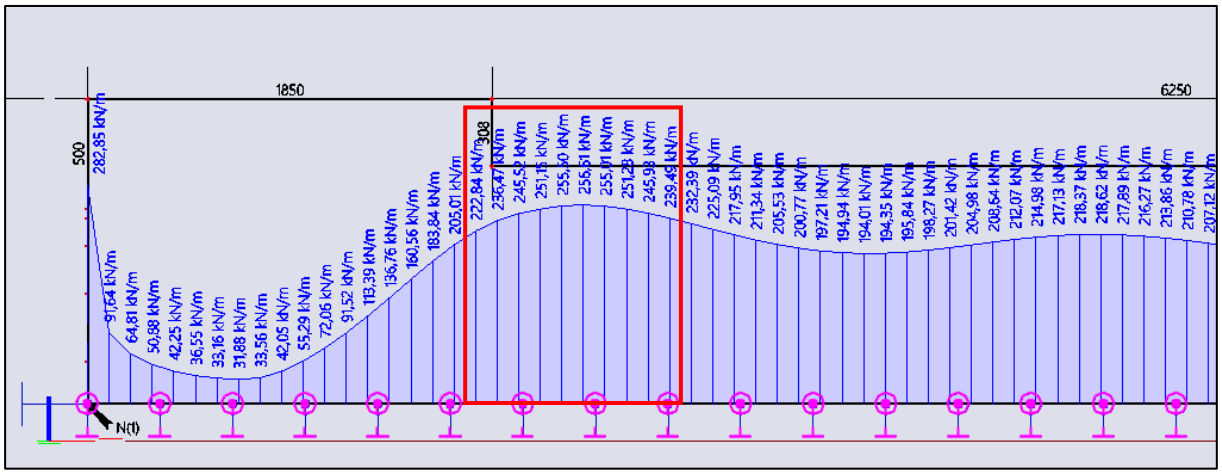
Om te controleren dat de momenten ten gevolge van de normaalkrachten goed zijn uitgerekend wordt een TS-Raamwerken model gemaakt met één balk die dezelfde belastingen krijgt. Hierbij wordt bij beide steunpunten een momentveer toegevoegd die hetzelfde steunpuntsmoment genereerd.
Het veldmoment dat dan optreed is 2839 kNm. Dit komt goed overeen met de berekening met Scia (afwijking van 4%)



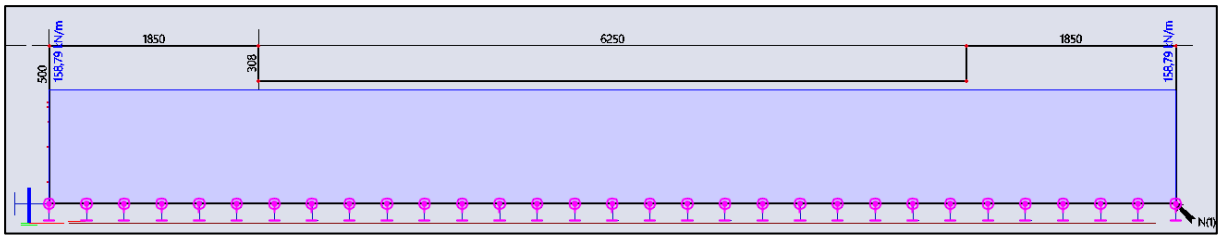
figuur 16 Moment met alle belastingen uit TS-raamwerken

8. Verticaal draagvermogen

De berekening van het verticaal draagvermogen van de Brouwersbrug wordt uitgevoerd in Technosoft Paalfunderingen. In onderstaande figuren is te zien dat de maximale verticale belasting op een strekkende meter steunpunt rond de 255 kN/m[1] ligt.
De gemiddelde belasting in het steunpunt is 159 kN/m[1].

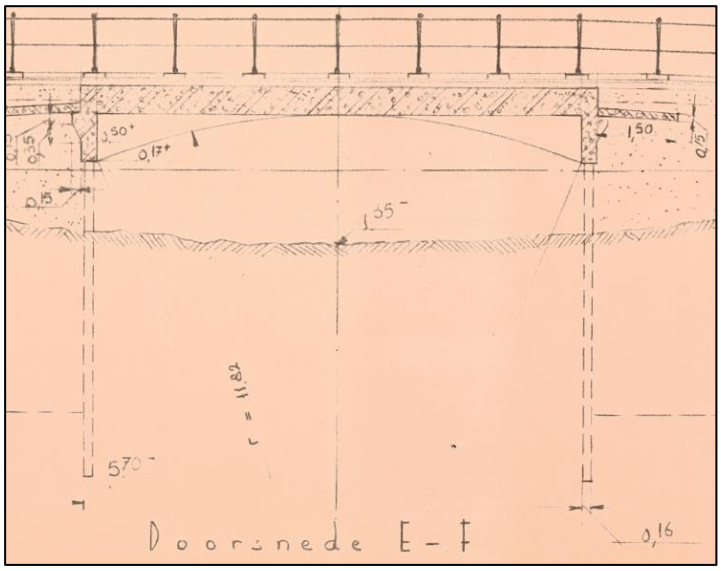


figuur 17 Exacte reactiekrachten over het maatgevende deel



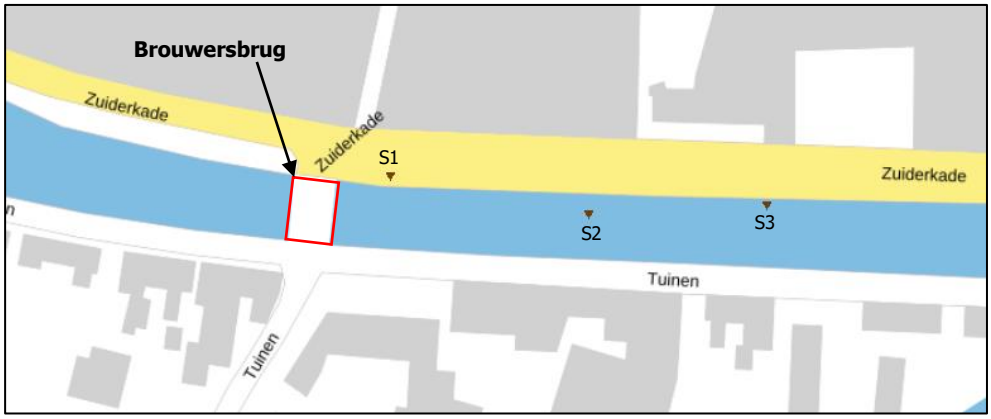
figuur 18 Gemiddelde reactiekracht over de hele breedte van het steunpunt

De brouwersbrug wordt ondersteund door een betonnen damwand met een inheidiepte van -5,70m ten opzichte van het Fries zomer peil. Dit staat gelijk aan -6,36m NAP.
In Technosoft Raamwerken wordt een betonnen funderingspaal ingevoerd met een breedte van 1000mm en een dikte van 160mm.



figuur 19 Dwarsdoorsnede van de Brouwersbrug

In onderstaand figuur zijn de locaties van de drie gebruikte sonderingen weergegeven ten opzichte van de Brouwersbrug. Sondering 1 is het dichtst bij de brug.



figuur 20 Locatie sonderingen t.o.v. de Brouwersbrug

De berekeningsuitvoer van TS-Paalfunderingen en de 3 sonderingen zijn toegevoegd in bijlage C.
Uitgangspunten:

- Geheide paal, 160x1000
- $\alpha_p = 0{,}7; \alpha_s = 0{,}010$

	Draagvermogen [kN]	**Unity check** afkeur	**Unity check** verbouw
S1	472	**0,54**	**0,60**
S2	621	**0,41**	**0,45**
S3	283	**0,90**	**0,99**

tabel 6 Resultaten

9. Conclusie

Onderhavig rapport omvat oa. berekeningen met betrekking tot de Brouwersbrug, gebaseerd op afkeur of verbouw van de constructie volgens de NEN 1992 en NEN 8701, leiden tot de resultaten en mogelijkheden als omschreven in de navolgende paragraven.



9.1. Huidige situatie

De constructie voldoet op dit moment niet aan de constructieve veiligheid conform NEN 1992 en NEN 8701 en dient derhalve te worden afgekeurd.
Afkeur ligt op momentenoverschrijding in dwarsrichting.

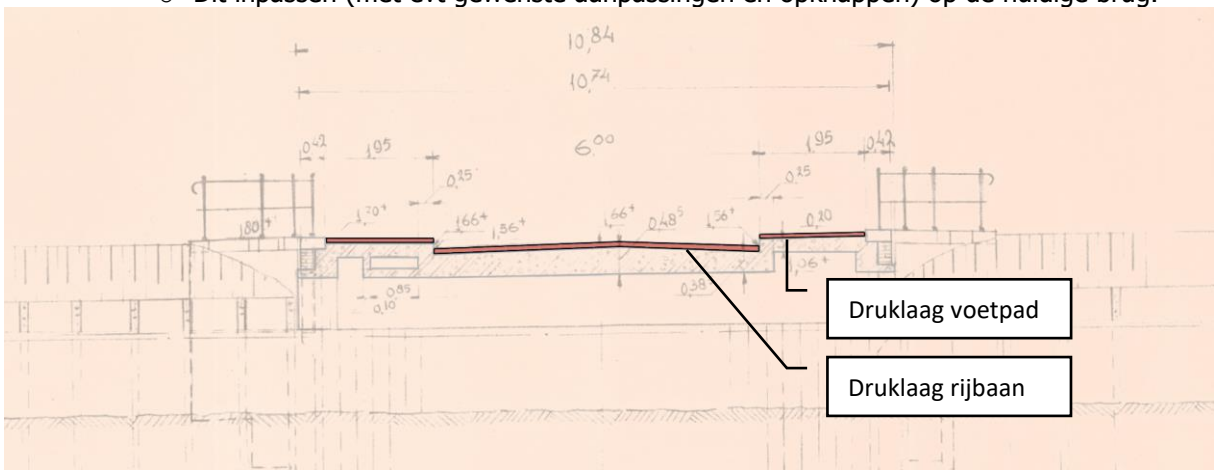
Voor het borgen van de constructieve veiligheid in de huidige situatie zijn er twee opties:

1. Een gewichtsbeperking voor zware voertuigen, te handhaven door middel van verkeersborden (verbod voor voertuigen > 40 ton);
   (afbeelding ter illustratie, tekst 40t)
2. Een fysieke rijbaanversmalling om te voorkomen dat zware voertuigen elkaar op de brug kunnen passeren.

9.2. Lange termijn

Voor de lange termijn:

A. Heeft gemeente WAADHOEKE aangegeven dat vervanging van de brug een van de varianten is.
B. Echter, ons oordeel voor de langere termijn is dat de constructie zodanig is dat constructieve versterking op zijn plaats is:
   - Het aanbrengen van een constructieve druklaag van ongeveer 100 mm direct op het rijdek (na verwijdering van de bestrating);
   - Het aanbrengen van een constructieve druklaag (van ca. 100 mm) op de voetpaden.
   - Dit inpassen (met evt gewenste aanpassingen en opknappen) op de huidige brug.



9.3. INDICATIEF ADDENDUM

9.3.1. Toelichting op korte termijn:

Wij adviseren om deze maatregelen op korte termijn toe te passen voor de constructieve veiligheid en om levensduurverlengend onderhoud mogelijk te maken (schade voorkomen).

9.3.2. Toelichting op lange termijn:

- **AD A.** Vervanging van de brug zal een investering vergen van naar schatting 2 à 4 miljoen euro.*
- **AD B.** Levensduurverlengende maatregelen kunnen worden uitgevoerd met een kleinere investering, geschat tussen de 400.000 en 800.000 euro.* Bovendien zal de Footprint van deze optie aanzienlijk lager zijn, evenals de impact op de omgeving.

**De investeringsbedragen zijn zeer indicatieve inschattingen, aangereikt door / in samenwerking met de gemeente Waadhoeke.*