

Herstel Sluis Weurt

Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd

Project : Herstel Sluis Weurt
te Weurt

Projectnummer : 19436

Opdrachtgever : 



Hoofdconstructeur 


Projectleider : 

Constructeur : 


Vestiging : 

Datum : 03-09-2020 versie 0.1
: 04-09-2020 versie 1.0

	Naam:	Datum:	Paraaf:
Opgesteld:		04-09-2020	
Gecontroleerd:		04-09-2020	

Q:\2019\19436 Herstel sluis Weurt\60 ontwerp\RA19436VIV001.docx

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
1.1.	Projectbeschrijving	3
1.2.	Wijzigingen ten opzichte van vorige versies	4
2.	Gebruikte documenten	5
2.1.	Tekeningen/ rapporten	5
2.2.	Van toepassing zijnde voorschriften	5
3.	Oorzaakanalyse asbreuk (situatie 1)	6
3.1.	Gegevens metingen	6
3.2.	Controle berekeningen bestaande assen (situatie 1/2)	8
3.3.	Horizontale belasting op deur tijdens deurbewegingen	8
3.4.	Conclusies oorzaakanalyse	11
4.	Ballast (situatie 2)	12
4.1.	Benodigde ballast t.b.v. vaste 'ligging' op de rails	12
4.2.	Conclusie m.b.t. afsluiten buitenboordkranen in zomersituatie	14
5.	Toelaatbare belasting bestaande assen (situatie 1/2)	15
5.1.	Uitgangspunten en randvoorwaarden	15
5.2.	Resultaten berekeningen (VOBB).....	16
5.3.	Schaduwberekening EEM	17
5.4.	Inschatting restlevensduur situatie 2.....	17
6.	Berekening nieuwe assen (situatie 3)	20
6.1.	Toetsing as bij normaal gebruik	21
6.2.	Restlevensduur bij lagere waterstanden	21
7.	Aanbevelingen voor toekomstig gebruik van de deuren	23
Bijlage 1.	Berekeningen bestaande as (situatie 1/2)	24
Bijlage 2.	Berekeningen ANSYS	25
Bijlage 3.	Berekening nieuwe assen (situatie 3)	26
Bijlage 4.	Berekening nieuwe assen bij lagere waterstanden (situatie 3)	27
Bijlage 5.	Berekening restlevensduur nieuwe assen (situatie 3)	28

1. Inleiding

1.1. Projectbeschrijving

Het project betreft de oostelijke sluiscolk van het Sluiscomplex Weurt. De sluiscolk stamt uit 1927 en heeft 3 hoofden met roldeuren. De 3 deuren zijn genummerd I, II en III en rouleren wat betreft positie. In dit rapport gaat het over het problemen die zijn opgetreden met deuren die zijn vastgesteld in het Waalhoofd. Wanneer wordt gesproken over 'de Waaldeur' betreft dit niet een specifieke deur, maar de deur die op dat moment in het Waalhoofd wordt gebruikt.



figuur 1-1: Overzicht Sluiscomplex Weurt (afbeelding Rijkswaterstaat)

Bij de roldeur (deur III) in het Waalhoofd zijn in april 2020 2 assen van een truckstel onder de deur gebroken, vermoedelijk door vermoeiing. Deze deur is toen vervangen door de deur uit het middenhoofd (deur II), welke sindsdien dus als Waaldeur wordt gebruikt.

Er is bij deze beide deuren sprake van grote hoeveelheden lekwater dat zich verzamelt in de onderste luchtkisten, ook aangeduid met 'onderkamers'. Deze kisten zouden bij normaal gebruik altijd volledig met lucht moeten zijn gevuld. Na het vaststellen van de lekkage werden de onderkamers regelmatig leeggeblazen, om te voorkomen dat de belasting op de truckstellen onder de deur te hoog wordt. Uiteindelijk is een pompsysteem aangebracht waarmee de hoeveelheid extra water beperkt blijft.

Er kunnen 3 situaties worden onderscheiden:

- Situatie 1: De eerste situatie bestond tot het constateren van de asbreuk in april 2020, met deur III in het Waalhoofd.
- Situatie 2: Dit is de 'huidige' situatie met deur II in het Waalhoofd.
- Situatie 3: De situatie vanaf oktober 2020, waarbij deur III met nieuwe assen wordt terug geplaatst in het Waalhoofd.

Dit rapport behandelt een aantal vragen omtrent situatie 2, met het gebruik van de roldeur II in het Waalhoofd, en herstel van deur III t.b.v. situatie 3:

- Is er een scenario mogelijk, waarbij een vaste hoeveelheid ballastwater in de deur gelaten wordt, waarbij de deur zowel niet opdrijft bij het kanaalpeil en niet te zwaar wordt belast bij een lager Waalpeil (situatie 2)? (zie H4)
- Welke oorzaken en faalmechanismen hebben een rol gespeeld bij het bezwijken van de assen (zie H3) en welke mogelijkheden zijn er op korte termijn om bij het ontwerp van de wielstellen en nieuwe assen deze oorzaken te verhelpen (situatie 1)? (zie H6 en H7)
- Wat is de restlevensduur van de assen van deur II (situatie 2) op dit moment en bij welke waterstanden van de Waal bestaat er een kans op asbreuk? (zie H0)

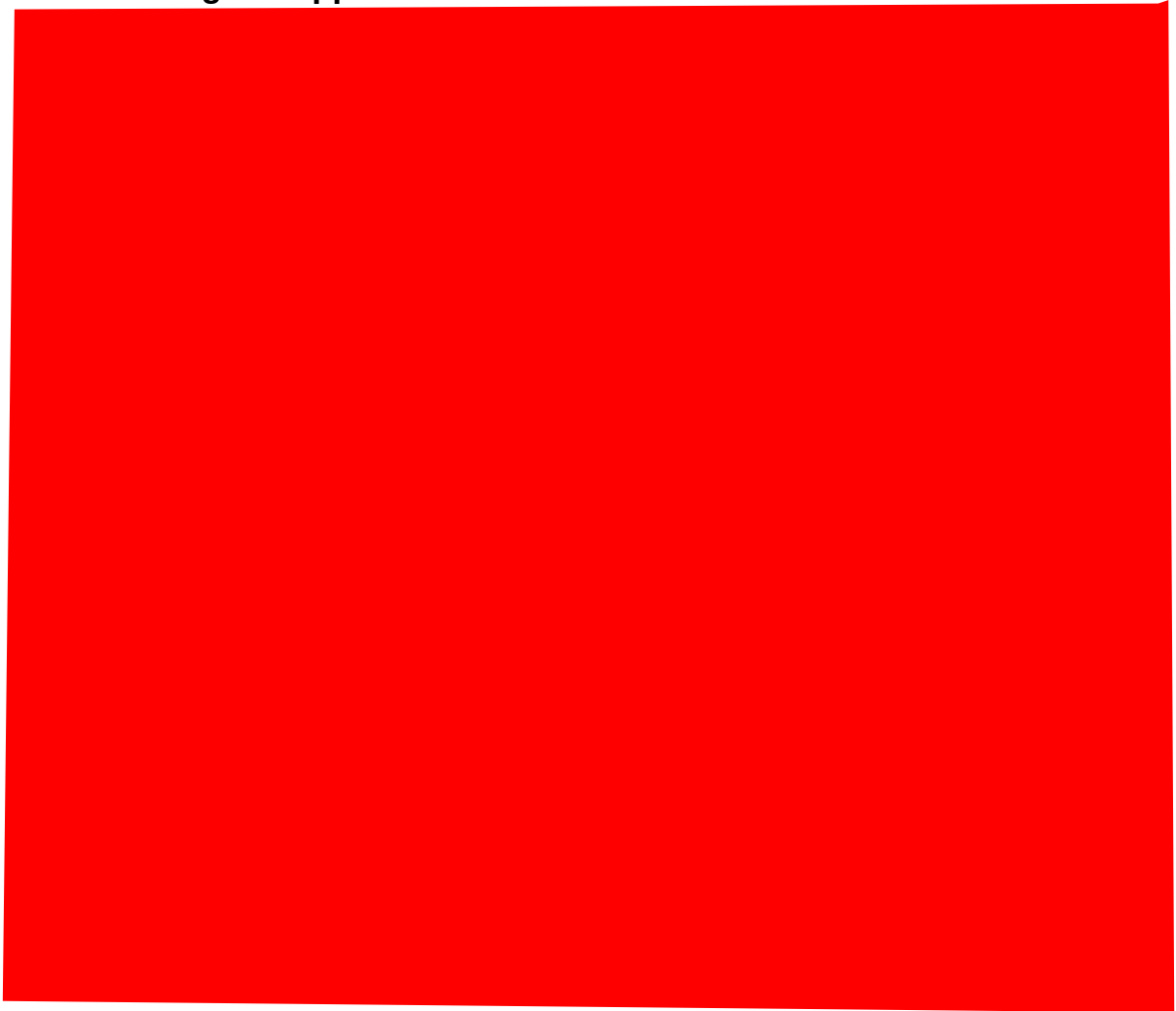
Deze vragen zijn grotendeels al beantwoord in een aantal memo's (zie §2.1), in dit rapport wordt e.e.a. samengevat en aangevuld en zijn de achterliggende berekeningen toegevoegd in de bijlagen. Tevens is een berekening gemaakt voor nieuwe assen en de invloed op de restlevensduur van deze assen wanneer gedurende een bepaalde tijd wordt geschut bij waterstanden van de Waal lager dan NAP+5,85m. (zie §6.2)

1.2. Wijzigingen ten opzichte van vorige versies

n.v.t.

2. Gebruikte documenten

2.1. Tekeningen/ rapporten



2.2. Van toepassing zijnde voorschriften

algemeen/ belastingen

NEN-EN 1990 Eurocode – Grondslagen voor het ontwerp

NEN 9997-1 Geotechnisch ontwerp van constructies (samenstelling van NEN-EN 1997-1+NB en NEN 1907-1)

NEN 6786:2001 Voorschriften voor het ontwerpen van beweegbare bruggen (VOBB)

NEN 6786-1:2017 Voorschriften voor het ontwerp van beweegbare delen van kunstwerken
Deel 1: Beweegbare bruggen (VOBB)

3. Oorzaakanalyse asbreuk (situatie 1)

Om de juiste herstel- en verbetermaatregelen op te kunnen stellen is het van belang inzicht te krijgen in de oorzaak van het breken van de assen. De situatie waarin de assen zijn gebroken betreft de situatie 1 met deur III in het Waalhoofd. Van deze deur, die op het moment van opstellen van dit rapport in het dok staat, is bekend dat 1 van de onderkamers lek is. Het betreft een kamer aan de linker (kanaal) zijde ter hoogte van het wielstel waar de gebroken assen zich bevinden. Hierin kan zich maximaal $ca\ 4,9/2 \times 3,34 \times 1,9 = 15,5$ ton water verzamelen.

Voor een beschrijving en de werking van de lucht- en ballastkisten wordt verwezen naar '40C-004-02 Schutsluis Weurt Oost – Procedure ballasten en ontballasten roldeuren Weurt oost'.

3.1. Gegevens metingen

Van deur II (situatie 2) is bekend dat water van de bovenkamers naar 4 á 5 van de 10 de onderkamers lekt. Bij deur III (situatie 1) is dit 1 van de onderkamers aan de linkerzijde boven het truckstel aan de West/Weurtzijde. In theorie kan per lekkende onderkamer een maximale extra belasting van $1/10 \times 4,9 \times (6,0-4,1) \times 16,7 = 15,5$ ton optreden.

tabel 3-1: Meetwaarden waterhoogte onderkamers roldeur II (RWS)

Waalhoofd meting 2-6-2020		
1 links	170	cm
3 rechts	190	cm
4 links	180	cm
5 links	110	cm
totaal cm	650	cm
ton	52	ton

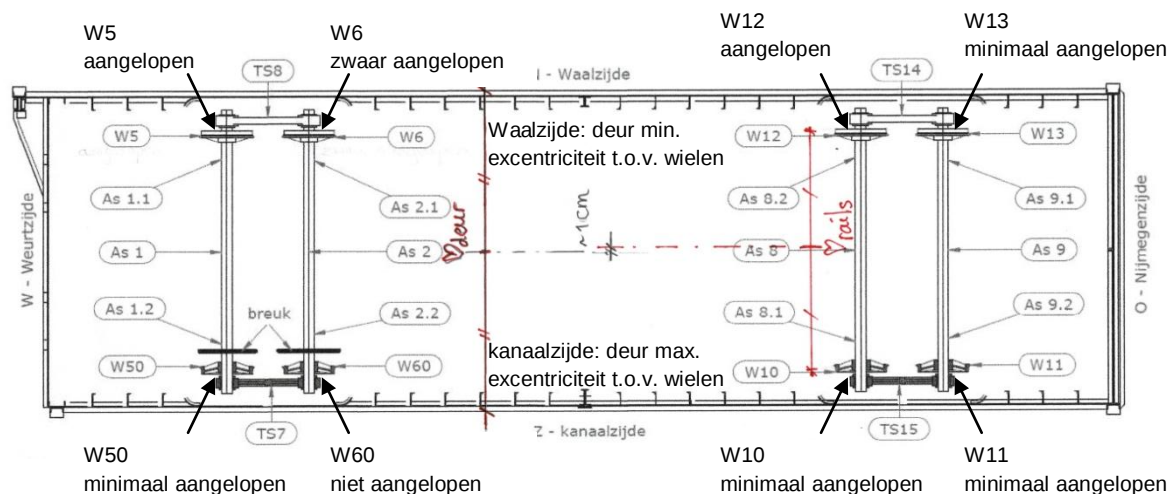
Door [REDACTED] zijn diverse metingen en onderzoek gedaan om duidelijkheid te krijgen over de oorzaak van de asbreuk. Zie hiervoor 'Technisch Inspectierapport – Wielstellen roldeur te Weurt' en 'MEMO Astappen DPI 14-07-2020' van [REDACTED] en tekening '203117-01' en '203117-02' van [REDACTED]. Tijdens een overleg op 14-07-2020 zijn deze resultaten samen met VIVO, RWS en [REDACTED] toegelicht en besproken. De belangrijkste relevante zaken die hieruit volgen zijn:

- Het hart van de rails in het Waalhoofd ligt ca. 1 cm richting de Waal. (geldig bij alle 3 de situaties)
- De deur beweegt in de richting loodrecht op de rails en schrankt hierbij tijdens het openen en sluiten. Bij iedere meting is deze beweging anders, wel neigt de deur steeds richting het kanaal. (situatie 2)
- Slibafzetting op de assen laat zien dat de deur zich vooral aan de zijde van het kanaal heeft bevonden. (situatie 1)
- Ook de ongebroken assen laten vermoeiingsscheuren zien. (situatie 1)
- Tijdens de deurbeweging heeft de deur tegen de wielen gedrukt, vooral bij de wielen aan de Waalzijde. Er is bekend dat de rails in het verleden wel eens zijn losgraakt. (situatie 1)

Opgemerkt wordt dat de meting van de deurbeweging tijdens rijden plaats heeft gevonden in situatie 2, d.w.z. met deur II waarbij zich ook lekwater bevond in een aantal onderkamers. 4 van de 5 onderkamers waarin water is waargenomen bevinden zich aan de linkerzijde van de deur, dit is de kanaalzijde. Het extra gewicht zit dus excentrisch in de deur, waarbij het

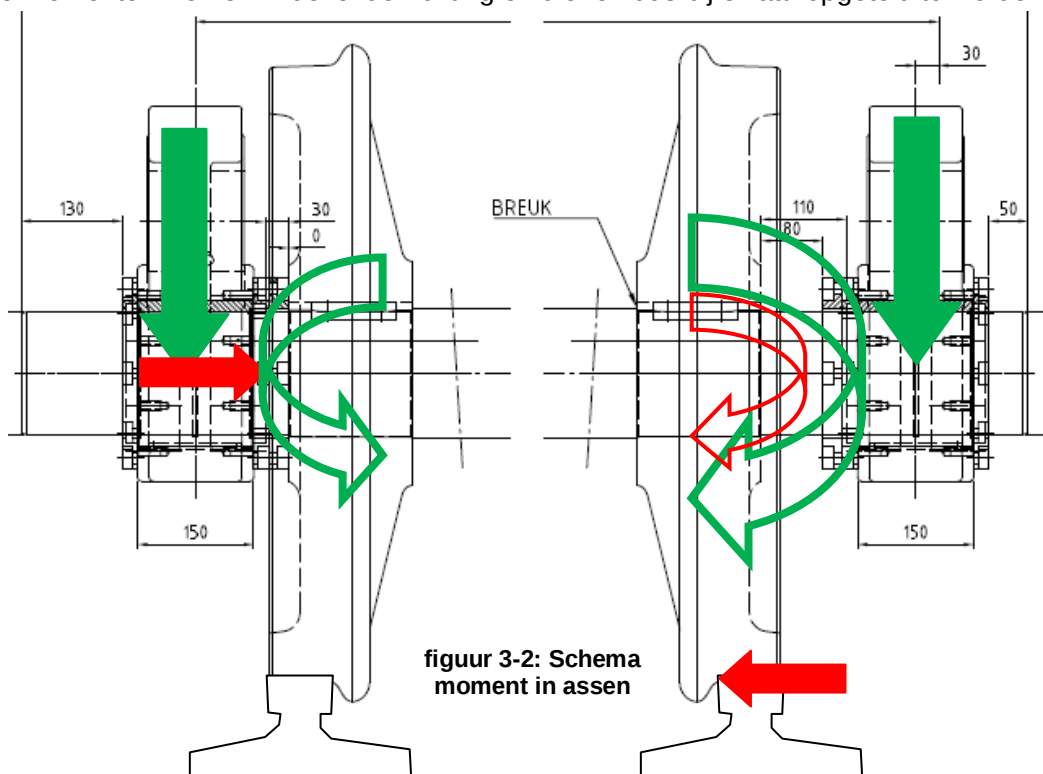
zwaartepunt ervan wel binnen de wielen valt. Bij afwezigheid van horizontale belasting op de deur zal deze niet kantelen. Wel worden de asuiteinden c.q. wielen niet in gelijke mate belast.

Een en ander is samengevat in de afbeelding overgenomen uit het inspectierapport van [REDACTED] de nummering van assen en wielen betreft deur III.



figuur 3-1: Overzicht assen en wielen uit inspectierapport [REDACTED]

Wanneer de deur tegen het wiel drukt (→), wordt het wiel aan de andere zijde op dezelfde as horizontaal gesteund door de rail (←) en treedt een extra moment op in de as (↻). Aan deze zijde is tegelijk de excentriciteit van de neerwaartse belasting uit de deur (↓) het grootst, wat al een extreme waarde voor het moment in de as geeft (↻). Beide momenten werken in dezelfde richting en dienen dus bij elkaar opgeteld te worden.



figuur 3-2: Schema moment in assen

Uit inmeting van de truckstellen van deur III blijkt bovendien dat de deur in situatie 1 aan de Oost/Nijmegenzijde meer speling/ruimte heeft tussen deur en wiel dan aan de West/Weurtzijde. Bovenstaand beschreven effect zal dus het snelst optreden bij het wielstel aan de West/Weurtzijde, wat overeenkomt met het zwaarst aangelopen wiel W6 en de gebroken as 2.2.

Er valt te concluderen dat een horizontale belasting op het wielstel een rol heeft gespeeld bij het bezwijken van de assen in situatie 1. In §3.3 is een nadere beschouwing gemaakt van deze horizontale belasting.

Nadat er in deur II (situatie 2) een pompinstallatie is aangebracht om continu het lekwater uit de onderkisten te pompen, is waargenomen dat de deur minder 'botst' bij het sluiten en rustiger beweegt tijdens het rijden van de deur.

3.2. Controle berekeningen bestaande assen (situatie 1/2)

Er zijn verschillende vermoeiingsberekeningen gemaakt, gebaseerd op de NEN 6786:2001 (VOBB). Hierbij zijn 4 mogelijk maatgevende posities aangehouden. Er is gevarieerd in waarden voor de belastingfactor en het horizontaal verplaatsen van de deur: 60 mm (origineel ontwerp), 55 mm (maximale ruimte tussen wiel en deksel op lager op tekening LBAN2002-41031), 35mm (afstand tussen aanslag en wrijfhout op tekening LBAN-1996-41306) en 75 mm (inschatting huidige situatie). Zie voor verdere toelichting §0.

Op basis van deze berekening zouden de assen bij functioneren zonder lekkage al niet voldoen op vermoeiingsduursterke (oneindig aantal wisselingen) bij zuivere wisselspanning (draaiende assen) bij een Waalpeil lager dan ca. NAP + 5,85 m.

Aanvullend op de berekeningen met belastingen volgens het ontwerp, is ook de situatie bekeken waarbij zich extra gewicht in de lekke onderkamer bevindt. Bij deur III (situatie 1) is een onderkamer boven het wielstel aan de West/Weurtzijde aan de kanaal/linkerzijde van de deur lek. De netto neerwaartse belasting verdeelt zich gelijkmatig over de assen, de extra belasting van max ca. 15 ton gaat voor 80% (de oplegging van de deur zit iets naar binnen t.o.v. de buitenzijde van de onderkamers) naar de assen aan de kanaalzijde. Voor 1 as is dit dus $15 \times 0,8 \times \frac{1}{2} = 6$ ton, oftewel 60 kN extra. Ten opzichte van de toelaatbare belasting op de as van ca. 95 kN is dit een toename van ruim 60%.

Bij een toetsing op vermoeiingsduursterkte met 2×10^6 wisselingen is de maatgevende $uc = 1,3$. Door het aantal belastingswisselingen te verlagen, wordt met Wöhlerlijnen een vermoeiingstijdsterkte bepaald, het aantal wisselingen wordt verlaagd tot de bijbehorende vermoeiingssterkte een $uc = 1,0$ oplevert. Uit het aantal wisselingen volgt dan bij deze uitgangspunten een levensduur van 10,4 jaar i.p.v. 50 jaar.

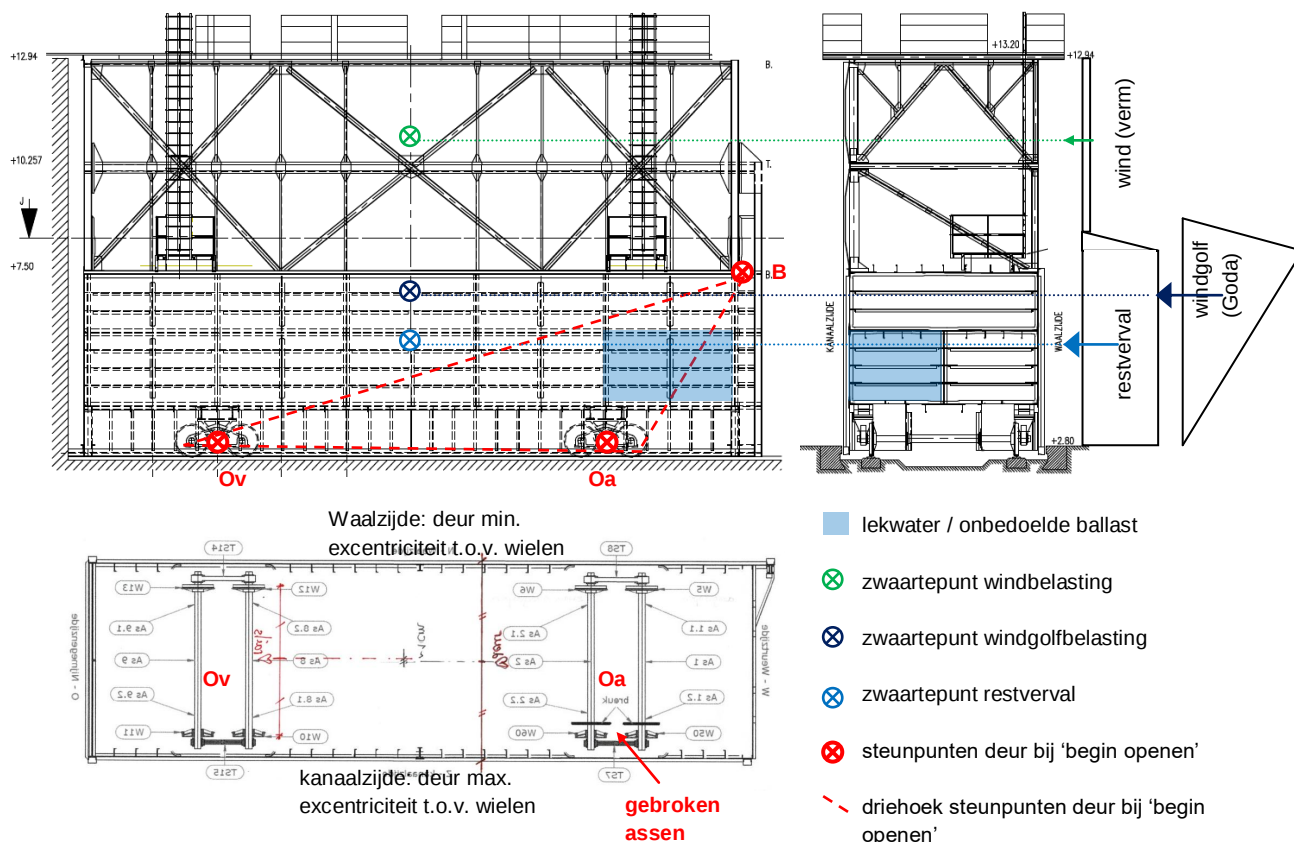
3.3. Horizontale belasting op deur tijdens deurbewegingen

Tijdens een deurbeweging kunnen verschillende horizontale belastingen op de deur werken. De belangrijkste zijn restverval, windgolven en wind. Al deze belastingen kunnen in beide richtingen voorkomen. Aangezien is vastgesteld in §3.1 dat de deur (deur II) vooral aan de zijde van het kanaal beweegt en de aanloopsporen het zwaarst zijn aan de Waalzijde, is de belasting in het overzicht in figuur 3-3 getekend zoals deze op de Waalzijde van de deur werkt. De maatgevende belastingsituatie is die bij begin openen van de deur, waarbij de deur geen horizontale steun meer heeft in de deurnis en er nog een restverval aanwezig kan zijn.

De deur wordt in deze stand normaal gesproken gesteund door de verende plaat met wrijfhout tegen de aanslag aan de onderzijde en het wrijfhout op de deur op NAP+7,5m hoogte tegen de aanslag aan het begin van de deurkamer **⊗B** (Boven). Er zijn echter sporen van aanlopen van de deur tegen de wielen, wat betekent dat de wielen (ook) als horizontale steun werken: **⊗Ov** (Onder voor) en **⊗Oa** (Onder achter).

Per belastinggeval is het zwaartepunt van de belasting op de deur geprojecteerd. De belastingen zoals geschetst komen overeen met die bij een Waalpeil van ca NAP+8,5m. Er is te zien dat alle belasting aangrijpt buiten de driehoek van de horizontale steunpunten. Dit houdt in dat de deur onder die belasting wil kantelen. De belastingafdracht vindt plaats naar de opleggingen Ov en B, om deze lijn ontstaat een moment wat wordt opgenomen door een toename van de belasting op de asuiteinden aan de kanaalzijde van de deur en een afname van de belasting op de asuiteinden aan de Waalzijde. Bij deze waterstand is de neerwaartse belasting (bovenkamers niet volledig gevuld in geballaste toestand, zie 40C-004-02 Schutsluis Weurt Oost – Procedure ballasten en ontballasten roldeuren Weurt oost) niet voldoende om het volledige kantelmoment op te nemen. De deur gaat dan ook werkelijk schranken, waarbij het steunpunt Oa een reactie geeft die tegengesteld is aan die in Ov en B. Hierdoor neemt ook te oplegreactie in deze 2 punten toe.

De horizontale belasting die bij hogere waterstanden mogelijk op de wielen komt is voor de beide wielstellen altijd tegengesteld. De mate waarin deze horizontale belasting werkelijk op de wielen komt, hangt af van de speling van het wrijfhout tussen de aanslagen en de stijfheid van de verende plaat. Het feit dat de deur schrankt maakt de kans dat de wielen aanlopen wel groter, de verende plaat moet de belasting op een hoek opnemen i.p.v. dat de deur over de hele lengte tegen de aanslag wordt gedrukt. Het wrijfhout zal hierdoor op de hoeken ook harder slijten, wat op den duur eveneens de kans van het aanlopen van de wielen vergroot.



figuur 3-3: Overzicht horizontale belastingen en steunpunten

De aanloopsporen op de wielen en slibafzetting (zie §3.1) geven echter het beeld dat de horizontale belasting op beide wielstellen voornamelijk in dezelfde richting is geweest en niet tegengesteld. Dit klopt niet met de belastingafdracht zoals hiervoor beschreven bij horizontale belastingen door hogere waterstand. Het lijkt daarom onwaarschijnlijk dat dit mechanisme een maatgevende bijdrage aan het bezwijken van de assen heeft geleverd.

Bij waterstanden lager dan NAP+7,5 neemt de neerwaartse belasting op de assen toe, waardoor deze voldoende is om het kantelmoment van de deur door horizontale belastingen tijdens de deurbeweging op te nemen zonder te gaan schranken. De horizontale belasting zal dan voornamelijk worden afgedragen naar de steunpunten Ov en B. In deze situatie is het niet waarschijnlijk dat de wielen van het wielstel Oa (zwaarst aangelopen en gebroken assen) een horizontale belasting opnemen die, door het extra moment dat dit in de as geeft, asbreuk veroorzaakt.

Wanneer de waterstand lager wordt dan NAP+6,0m loopt de neerwaartse belasting op de assen verder op, doordat de onderkamers niet meer volledig onder water staan. In dat geval kan een toename van de belasting aan 1 zijde van de deur door het kantelmoment toenemen tot boven de vermoeiingsduursterkte. Dat wil zeggen dat de as vermoeiingsschade oploopt in deze situatie. Ten opzichte van de horizontale belastingen bij ca NAP+8,5m is het moment ten gevolge van windbelasting groter doordat een groter deel van de deur zicht boven water bevindt. De belasting door restverval grijpt dan aan binnen de driehoek van steunpunten en levert geen bijdrage meer aan het kantelmoment. De windgolfbelasting wordt lager en grijpt aan dichtbij de lijn van B naar Ov. Vooral de windbelasting zou dus een toename van de neerwaartse belasting op de as kunnen geven. De wind komt echter het vaakst vanuit het zuid-westen en geeft dan een toename van de belasting op de assen aan de Waalzijde van de deur. De breuk in de assen zit echter juist aan de kanaalzijde.

Geconcludeerd kan worden dat het mogelijk is dat er ten gevolge van horizontale belasting op de deur tijdens het bewegen horizontale belastingen op de wielen komen. Tevens kunnen deze horizontale belastingen de neerwaartse belasting aan een zijde van de deur doen toenemen t.o.v. de belasting door neerwaartse belastingen van de deur zelf. Ook kan, bij hogere waterstanden, de deur door wind en windgolven gaan schranken. Al deze effecten kunnen in beide richtingen voorkomen. En hoewel ze een bijdrage kunnen leveren aan vermoeiing van de assen, verklaren ze niet de asbreuk van juist het wielstel Oa aan de Waalzijde.

Tot slot wordt opgemerkt dat de belasting door wind en windgolven in vlagen en golven optreden, bovendien vooral wanneer de deur nog/al grotendeels buiten de deurkamer zit. De belastingen hierdoor op de assen zijn dus niet bij alle omwentelingen van de as aanwezig. Dit in tegenstelling tot de extra neerwaartse belasting door lekkage.

3.4. Conclusies oorzaakanalyse

Uit de voorgaande beschouwingen blijkt dat op de bezwaken assen belastingen zijn opgetreden waar in het ontwerp waarschijnlijk geen rekening mee is gehouden:

- de extra neerwaartse belasting door lekkage tussen de boven- en onderkamers
- verstoring van balans in van de deur door excentrisch aanwezig lekwater
- de extra neerwaartse belasting door lagere waterstanden op de Waal
- de horizontale belasting van de deur tegen het wielstel

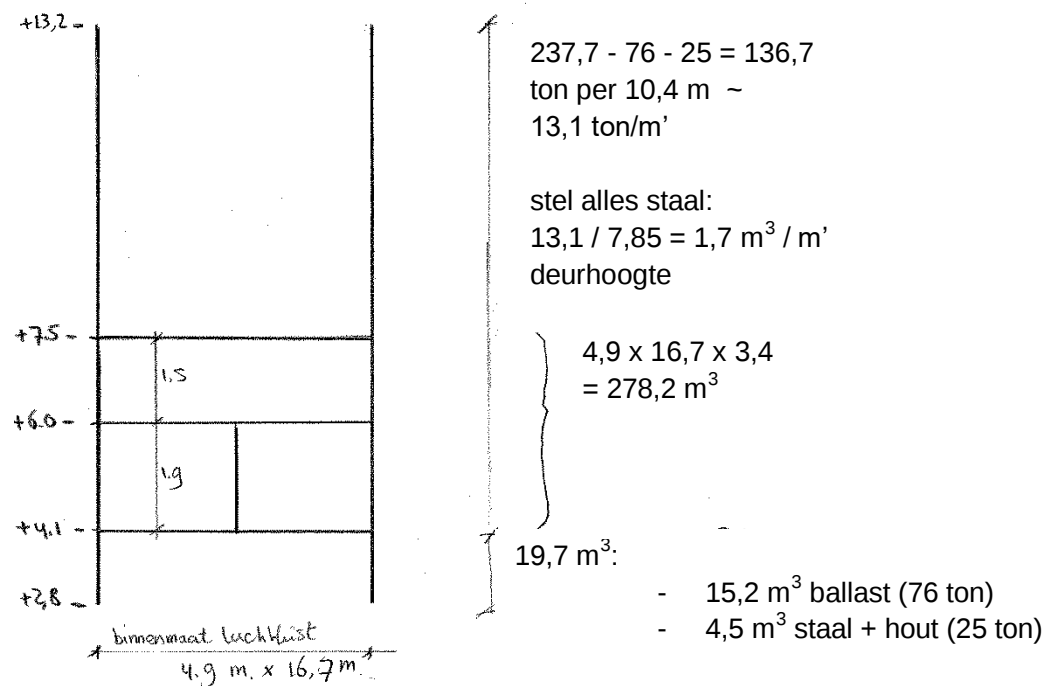
Op grond van de beschouwingen in §3.2 en §3.3 kan worden geconcludeerd dat de extra belasting door water in de lekke onderkamer de voornaamste oorzaak van het bezwijken van de assen is en dat de horizontale belastingen een geringere bijdrage hebben geleverd aan de vermoeiingsbreuk. Zowel door toename van de neerwaartse belasting op een asuiteinde als door horizontale belasting tegen het wiel door het aanlopen van de deur tegen het wiel.

4. Ballast (situatie 2)

4.1. Benodigde ballast t.b.v. vaste 'ligging' op de rails

Er is voor situatie 2 uitgezocht of er een scenario mogelijk is waarbij een vaste hoeveelheid ballastwater in de deur gelaten wordt, waarbij de deur zowel niet opdrijft bij het kanaalpeil en niet te zwaar wordt belast bij het Waalpeil. Door het afsluiten van de buitenboordkranen kan geen extra water via de bovenkamers naar de onderkamers lekken, het regelmatig leegpersen of continu leegpompen van de onderkamers zou dan achterwege kunnen blijven.

Voor het kanaalpeil wordt een waterstand van NAP+ 7,9m aangehouden. Opgemerkt wordt dat waterstanden boven NAP + 7,5m weinig invloed hebben op de benodigde ballast. Het opdrijvend vermogen wordt voornamelijk bepaald door hoever de luchtkisten onder water staan, vanaf bij NAP + 7,5m is dat volledig. Bij hogere waterstanden bevindt zich een groter deel van de staalconstructie onder water, waardoor het opdrijvend vermogen nog in beperkte mate toeneemt. Dit volume is geschat op $1,7 \text{ m}^3$ bij een stijging van 1 m. De gegevens zijn ontleend aan de originele ontwerpdocumenten, zie bijlage III van 40C-004-02 Schutsluis Weurt Oost – Procedure ballasten en ontballasten roldeuren Weurt oost.



Er wordt gerekend volgens de NEN6786:2017, welke voor controle van de vaste ligging verwijst naar de NEN-EN 1990. In de NEN-EN 1990 wordt verwezen naar NEN 1997 voor de uiterste grenstoestand UPL: verlies van evenwicht van de constructie ten gevolge van opdrijven door waterdruk of andere verticale belastingen.

Volgens de NEN 1997 gelden de volgende belastingfactoren:

$\gamma_{G,dst} = 1,0$ (aandrijvend, ongunstig)

$\gamma_{G,stb} = 0,9$ (weerstandbiedend, gunstig)

De weerstandbiedende belasting G_{stb} bestaat uit het gewicht van de deur, evt. slib/lekwater werkt gunstig en wordt niet meegenomen. Het deurgewicht is 237,7 ton.

De aandrijvende belasting G_{dst} bestaat uit het drijfvermogen:

- $19,7 \text{ m}^3$ (ballast staal hout)
- $4,9 \times 3,4 \times 16,7 = 278,2 \text{ m}^3$
- $(7,9 - 7,5) \times 1,7 = 0,7 \text{ m}^3$

Totaal is dit $19,7 + 278,2 + 0,7 = 298,6 \text{ m}^3$ oftewel 298,6 ton

De benodigde ballast bedraagt:

$$(\gamma_{G,dst} \times G_{dst} - \gamma_{G,stb} \times G_{stb}) / \gamma_{G,stb} = (1,0 \times 298,6 - 0,9 \times 237,7) / 0,9 = 94 \text{ ton.}$$

Wanneer alle belastingen representatief worden gerekend zou de benodigde ballast 61 ton zijn. Andersom levert de ballast van 94 ton een netto neerwaartse belasting op de truckstellen van 33 ton.

Wanneer bij deze gekozen ballast de buitenboordkraan wordt gesloten, levert dit verhoogde representatieve neerwaartse belasting op de truckstellen bij nivelleren op Waalpeil (Vast ballast 94 ton). In onderstaande tabel wordt per waterstand weer gegeven wat de netto neerwaartse belasting is in de volgende scenarios': volgens het ontwerp (Zomersituatie met 4 ton lekwater); met huidige lekkage van deur II (Zomersituatie met ca. 50 ton lekwater); met gesloten buitenboordkranen en benodigde hoeveelheid vaste ballast i.v.m. kanaalpeil (Vast ballast 94 ton). Hieruit wordt duidelijk dat bij een scenario met gesloten buitenboordkranen in de zomersituatie met lagere waterstanden de neerwaartse belasting aanzienlijk hoger is dan waarop het ontwerp is gebaseerd. De neerwaartse belasting wordt zelfs hoger dan met 50 ton lekwater.

tabel 4-1: Overzicht netto neerwaartse belasting

Heersend Waalpeil	Zomersituatie 4 ton lekwater	Zomersituatie 50 ton lekwater	Vast ballast 94 ton
NAP + 6,5m	64 ton	110 ton	116 ton
NAP + 6,0m	65 ton	111 ton	155 ton
NAP + 5,85m	77 ton	123 ton	167 ton
NAP + 5,5m	106 ton	152 ton	196 ton
NAP + 5,0m	148 ton	194 ton	238 ton
NAP + 4,85m	160 ton	206 ton	250 ton
NAP + 4,1m	222 ton	268 ton	312 ton

Opgemerkt wordt dat volgens '40C-004-02 Schutsluis Weurt Oost – Procedure ballasten en ontballasten roldeuren Weurt oost' in de wintersituatie de deur geballast is met een middels en peilbrief vastgestelde hoeveelheid water in de bovenkamer en gesloten buitenboordkranen. Op basis van de waterniveaus in tabel 2.2 van dat rapport zijn de bovenkisten gevuld met gemiddeld 85 cm water, dit komt overeen met $4,9 \times 0,85 \times 16,7 = 69,6 \text{ ton}$.

4.2. Conclusie m.b.t. afsluiten buitenboordkranen in zomersituatie

Gezien de toelaatbare belasting t.a.v. de assen voor vermoeiing (76 ton netto neerwaarts) is het niet haalbaar om de deuren te voorzien van een vaste hoeveelheid ballastwater. Het blijft noodzakelijk om de bovenkisten te gebruiken met de buitenkranen geopend, zodat de ballast kan varieëren met het over de deur heersende waterpeil.

Door de houten aanslagen op voldoende dikte te brengen/houden kan het verplaatsen van de deur vanuit de middenpositie wat worden beperkt, wat leidt tot een iets lagere excentriciteit en derhalve een lager moment in de as. Op basis van de afmetingen van de gebroken as en een maximale zijdelingse verplaatsing van 55 mm is een netto neerwaartse belasting van 76 ton (representatief) toelaatbaar t.a.v. vermoeiing van de assen, zie hiervoor ook §5.2.

5. Toelaatbare belasting bestaande assen (situatie 1/2)

5.1. Uitgangspunten en randvoorwaarden

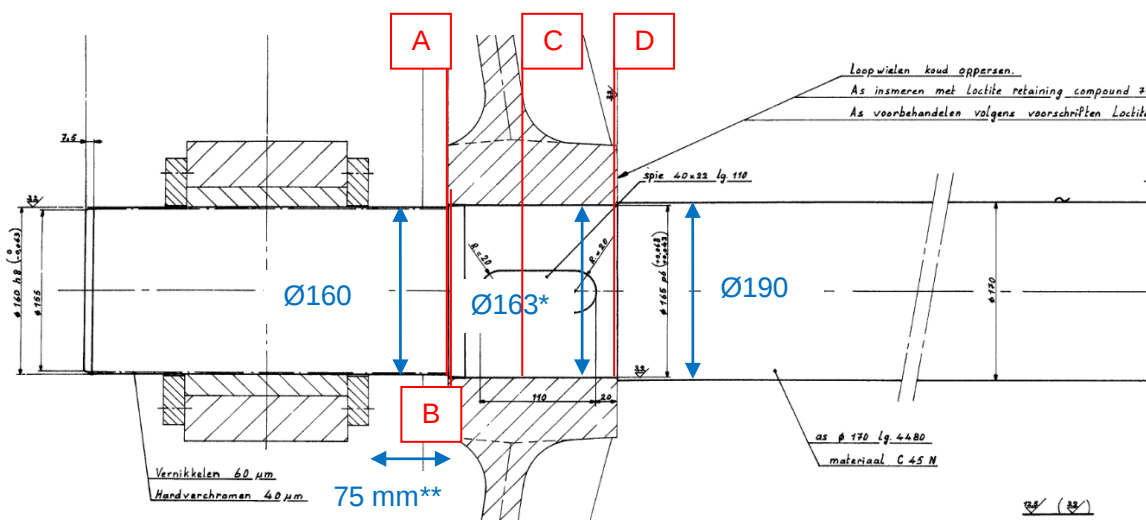
Ter referentie en indicatie van de opneembare belasting is gekeken naar de originele ontwerpstukken, zie bijlage III van 40C-004-02 Schutsluis Weurt Oost – Procedure ballasten en ontballasten roldeuren Weurt oost (ref 108439/20-005.507):

- De wioldruk tijdens het rijden zou 11 ton zijn, totaal dus 88 ton, waarbij de deur 6 cm naar weerskanten heen en weer kan schuiven.
- Bij een Waalpeil van 6,0m+NAP is de truckbelasting 65,5 ton. Er is berekend dat er een verval van 22 cm over de deur nodig is om de wrijving van lagers over de as te overwinnen, waardoor de deur tegen de aanslag aan gedrukt wordt. Op het moment dat de deur nog niet tegen de aanslag komt, levert dit verval een kantelmoment op de deur, wat een trek/druk koppel van +/- 5,6 ton geeft (1,4 ton per wiel).
- Bij een Waalpeil van 13m+NAP is de belasting op de trucks 26 +/- 13 ton. Vanwege dit mogelijke kantelmoment bij het schuiven van de deur over de assen, dient de neerwaartse belasting per per truck niet beneden de 10 ton te zijn.

Aangezien de controleberekening betrekking heeft op situatie 1 en 2, waarbij de assen dateren van voor 2017, is uitgegaan van de NEN6786:2001 (VOBB).

De controleberekening gaat uit van een as met afmetingen zoals deze zijn vastgesteld bij de gebroken assen (situatie 1). Deze afmetingen zijn vermeld in onderstaand fragment van een tekening met net weer andere dimensies. Een afronding bij een overgang in de diameter is op tekening niet gegeven, volgens opgave zit hier een haakse hoek, er is gerekend met een afrondingsstraal van 1 mm. Er is bekend dat de assen die nu in situatie 2 onder de Waaldeur zitten afwijkende afmetingen en materiaaleigenschappen kan hebben.

De 4 mogelijk maatgevend posities zijn A (overgang diameter 160-163), B (as-naaf overgang buitenzijde wiel), C (spiebaan in as t.p.v. wiel) en D (as-naaf overgang binnenzijde wiel).



figuur 5-1: Fragment tekening as met wielen (LBAN1990-41876)

* opgave diameter t.p.v. het wiel op moment dat de berekeningen zijn gemaakt was 163 mm, na inspectie door [REDACTED] bleek dit 165 mm te zijn.

** op tekening LBAN2002-41031 is deze tussenruimte 55mm (bij deur centrisch t.o.v. de wielen)

Overige uitgangspunten:

- Voor het maximale moment in de as is de maatgevende excentriciteit van lager t.o.v. wiel aangehouden: $(4170 \text{ (hoh lagers)} - 3770 \text{ (hoh rails)})/2 + xx \text{ (verplaatsen deur vanuit middenpositie tegen aanslag)} = 185 + xx \text{ mm}$.
- Tevens is het moment bepaald op de overgang van astap lager naar wielnaaf t.p.v. buitenkant wiel. Deze maat bedraagt maximaal $175 + xx \text{ mm}$.
- Voor het materiaal is op basis van tekening LBAN1998-41146 34CrMo4 aangehouden.
 $k_u \text{ (gesteldheid oppervlak)} = 1,2 \text{ (} R_a = 3,2 \mu\text{m)}$
 $Y_{m,fat} \text{ (materiaalfactor)} = 1,2$
- De as is getoetst op een combinatie van moment en dwarskracht. Op positie A en B is de volledige dwarskracht gerekend, op positie C de helft en op positie D nul.

Bij de berekeningen is, bij bepaalde uitgangspunten, gezocht naar de belasting die, t.p.v. de maatgevende positie een unity check van 1,0 oplevert. De volledige berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 1.

5.2. Resultaten berekeningen (VOBB)

Uit de berekeningen van de as conform VOBB volgt dat de maatgevende positie de diktesprong aan de binnenzijde van het wiel is (positie D). Dit komt overeen met de plaats waar de assen zijn gebroken. Bij de meest conservatieve uitgangspunten is de toelaatbare totale neerwaartse belasting ca 60 ton. Vervolgens is de belastingfactor verlaagd naar 1,15 (in lijn met RBK en NEN8700 voor toetsen verbouw/gebruik) en naar 1,0 (representatief). Tevens is de maximale zijdelingse verplaatsing van de deur verlaagd naar 55 mm (volgens tekening LBAN2002-41031) en en 35 mm (de theoretische ruimte tussen wrijfhout deur en dorpel op tekening LBAN1996-41306). Hierdoor wordt zichtbaar wat de bandbreedte van de toelaatbare belasting is, afhankelijk van randvoorwaarden die kunnen variëren. Tot slot is met een zijdelingse verplaatsing van 60 mm, een belasting van 88 ton en geen belastingfactor de unity check berekend. Dan blijkt dat ook de materiaalfactor van 1,2 moet worden verlaagd naar 1,0 om de as te laten voldoen bij de belasting die wordt vermeld bij het originele ontwerp.

Op basis van deze resultaten is de toelaatbare belasting in de gebruikssituatie (situatie 2) 76 ton en zouden de assen bij functioneren zonder lekkage al niet voldoen op vermoeiingsduursterke (oneindig aantal wisselingen) bij zuivere wisselspanning (draaiende assen) bij een Waalpeil lager dan ca. NAP + 5,85 m.

Samenvattingstabel met toelaatbare netto neerwaartse belasting voor oneindig aantal wisselingen bij verschillende waarden voor belastingfactor voor vermoeiing en zijdelingse verplaatsing van deur tegen de aanslag.							
netto neerw belasting (rep)[ton]	belastingfactor vermoeiing γ_V	hor verplaatsing deur [mm]	$u_{c_{fat}}$ pos A	$u_{c_{fat}}$ pos B	$u_{c_{fat}}$ pos C	$u_{c_{fat}}$ pos D	bijbehorend min toelaatbaar Waalpeil, excl lekkage
60	1,2	75	0,59	0,74	1,00	1,02	6,04 +NAP
62	1,15	75	0,58	0,74	0,99	1,01	6,01 +NAP
64	1,2	55	0,58	0,73	0,99	1,01	5,98 +NAP
67	1,15	55	0,58	0,73	0,99	1,01	5,94 +NAP
76	1	55	0,57	0,72	0,98	1,00	5,84 +NAP
69	1,2	35	0,57	0,72	0,98	1,00	5,92 +NAP
88	1,0	60	0,57	0,86	1,16	1,18	5,69 +NAP

5.3. Schaduwberekening EEM

Naast de berekeningen op basis van de VOB is met ANSYS een EEM-berekening gemaakt met als doel een lagere kerffactor te onderbouwen, zodat een hogere toelaatbare asbelasting kan worden bepaald. Hiermee kan de restlevensduur zo reëel en optimaal mogelijk worden bepaald. Uit deze berekening volgt echter een andere maatgevende positie in de as, nl. de diktesprong aan de buitenzijde van het wiel. Mogelijk komt dit verschil doordat in de ANSYS berekening rekening gehouden wordt met het wiel strak om de as en tegen de diktesprong aan de binnenzijde van het wiel (Ø163 naar Ø190). Onduidelijk is of de EEM-berekening hierin een goede weergave van de werkelijkheid is. Mogelijk is dat wel zo en speelt bij het bezwijken van de as een andere belasting of effect dan waar in het ontwerp rekening mee is gehouden, zoals een horizontale belasting uit de deur op de as en het wiel, zoals beschreven in §3.1. Gezien de onzekerheid omtrent de juistheid van het model, de duidelijkheid die er reeds is vanuit de andere analyses en metingen en de beschikbare tijd is gekozen om niet verder te gaan met de EEM-berekening.

Voorlopige resultaten van de berekening zijn opgenomen in Bijlage 2.

5.4. Inschatting restlevensduur situatie 2

De berekeningen in de paragrafen hiervoor gaan uit van een oneindig aantal wisselingen met de maatgevende belasting (constante amplitude) waarbij in principe geen vermoeiingsschade ontstaat. Het is mogelijk om een schadeberekening uit te voeren, waarbij rekening wordt gehouden met de werkelijke leeftijd van de assen en dus de werkelijk opgetreden belastingen in relatie tot het aantal keren dat die belasting is voorgekomen en nog zal optreden. Er is dan (incidenteel) een hogere maatgevende belasting toelaatbaar.

De (rest)levensduur wordt in principe bepaald door de sterkte van de as t.a.v. vermoeiing en de mate waarin belastingen reeds vermoeiingsschade hebben veroorzaakt.

De sterkte van de assen t.a.v. vermoeiing is van een aantal factoren afhankelijk:

Bepalende eigenschappen as	Beschikbaarheid gegevens
materiaalkwaliteit	- volgens tekeningen kan dit zijn: smeedstaal (1925) / C45 (1990) / Cr34Mo4 (1998) - volgens materiaaltest op de gebroken assen 42CrMo4 (geen tekening van beschikbaar)
kerffactor	- deels is dit bekend van archieftekeningen - niet van alle in omloop zijnde assen is een tekening
oppervlakte gesteldheid	- deels is dit bekend van archieftekeningen - niet van alle in omloop zijnde assen is een tekening

De belasting op de as t.a.v. vermoeiing is afhankelijk van:

Opgetreden belasting	Beschikbaarheid gegevens m.b.t. waarde en bijbehorend aantal belastingswisselingen
neerwaartse belasting	- aannahme grootte belasting een aantal deurbewegingen op basis van historie waterstanden - onbekend wat betreft hoeveelheid lekwater i.c.m. aantal deurbewegingen
excentriciteit t.o.v. wiel	- aannahme op basis van beschikbare tussenruimte op basis van tekeningen: 75mm (1925/1990/1998) 55mm (2002) - aannahme op basis van beeld metingen aan deur tijdens bewegen/rijden en waargenomen slibaanslag - aannahme op basis van inmeting assen truckstellen - afhankelijk van slijtage aan wrijfhout (onbekend) - excentriciteit rails t.o.v. deur/aanslag (1 cm ingemeten)
verstreken levensduur	- aannahme leeftijd as op basis van beschikbare archieftekeningen - aannahme gebruiksduur per positie/sluishoofd op basis van beschikbare onderhoudsrapporten en deur-wissel regime
horizontale belasting op wiel/rail	- speling deur tussen aanslagen - slijtage van wrijfhout - stijfheid deur en verende plaat onderzijde (verhouding afdracht horizontale belastingen naar zijanten en onderaanslag) - vervalbelasting, wind- en translatiegolven, waterbeweging (stroming, schepen, nivelleren)

In theorie kan zoals gezegd een schadeberekening worden gemaakt, waarbij wordt gekeken naar verschillende bandbreedtes van belastingen en het aantal bijbehorende belastingswisselingen. Er dient echter een behoorlijk aantal aannames te worden gedaan

omdat veel zaken onbekend zijn. Zo is er niks bekend over welke variant van de assen nu onder de deur in het Waalhoofd zitten en hoe lang deze, in welk sluishoofd, al in gebruik zijn geweest. Dit maakt dat de de uitkomst van een schadeberekening onbetrouwbaar is en ongunstig uit zal komen wanneer veilige aannames worden gedaan voor de onbekende uitgangspunten.

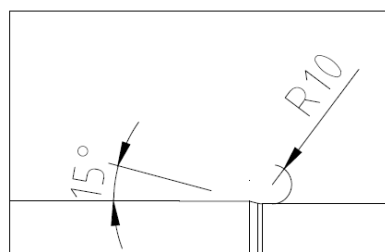
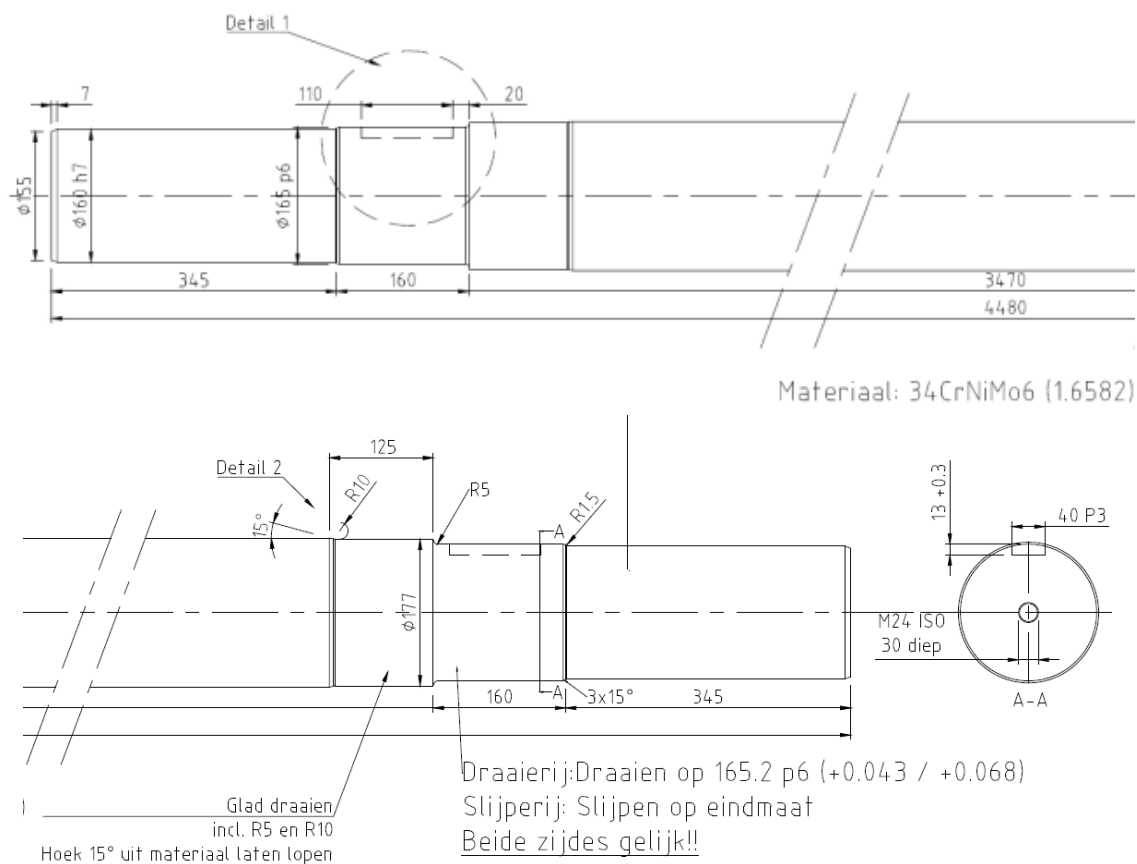
Wat wel met zekerheid is vast te stellen, is dat op de bezweken assen belastingen zijn opgetreden waar in het ontwerp geen rekening mee is gehouden. Met name de extra neerwaartse belasting door lekkage tussen de boven- en onderkamers lijkt de asbreuk te hebben veroorzaakt. Aangezien deur II in situatie 2 meer lekke onderkamers heeft dan deur III, hebben de assen van deze deur een grotere belasting gehad. Dat wil zeggen vanaf het in gebruik nemen van de deur in situatie 2 tot het moment dat de lekkage door het continu leegpompen onder controle was.

De neerwaartse belasting is hoger bij lekkage en neemt bij een Waalstand lager dan NAP + 6,0 m in belangrijke mate toe, aangezien de onderkisten dan niet meer geheel onder water staan en het opdrijvend vermogen dus afneemt. Gezien de extra vermoeiingsschade die is opgetreden door de lekkage en de hoge belasting op de assen bij waterstanden lager dan NAP + 6,0m is er bij deze waterstanden het risico dat de assen van deze deur ook breken.

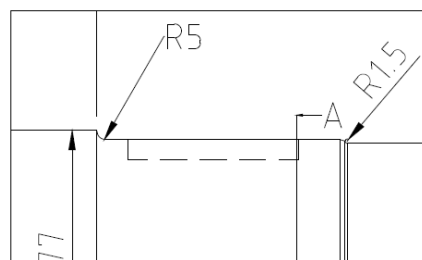
6. Berekening nieuwe assen (situatie 3)

Binnen de randvoorwaarden en mogelijkheden van het bestaande ontwerp van de truckstellen is het ontwerp van de as geoptimaliseerd. Dat wil zeggen dat de materiaalkwaliteit is verhoogd naar 34CrNiMo6 en dat de overgangen van afrondingsstralen zijn voorzien. Voor de ruwheid wordt, na slijpen, uitgegaan van maximaal $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. De naaf van het wiel wordt aangepast op de geometrie van de overgang van 165 naar 177 mm met R5 (detail 3).

Tot slot wordt de ruwe as $\varnothing 180$ glad afgedraaid naar $\varnothing 177$ over het eerste deel binnen de wielen. Hoe kleiner de sprong (vanaf $\varnothing 165$ mm) hoe gunstiger t.a.v. kerfwerking voor vermoeiing.



Detail 2



Detail 3

figuur 6-1: Fragmenten tekening nieuwe as 200509-01 van [REDACTED]

De berekening van de as is uitgevoerd conform NEN 6786-1:2017. Omdat situatie 3 een herstelmaatregel van een bestaande constructie betreft en de gevolgen van bezwijken van de as beperkt worden geacht, wordt een gevolgklasse CC1 aangehouden.

6.1. Toetsing as bij normaal gebruik

Voor de laagste waterstand op de Waal is een niveau van NAP + 5,85m aangehouden. Dit is een reële aanname voor de toetsing op vermoeiingsduursterkte, d.w.z. met een constante amplitude en een oneindig aantal wisselingen.

Voor de niet-lekke onderkamers is gerekend met ca 5 cm lekwater, dat komt neer op $\frac{1}{2} \times 4,9 \times 0,05 \times 16,7 = 2$ ton. Voor de lekke onderkamers is gerekend met ca 20 cm lekwater, wat neerkomt op $\frac{1}{2} \times 4,9 \times 0,2 \times 16,7 = 8$ ton. In totaal 10 ton lekwater.

Het wiel is aan de buitenzijde, richting het as uiteinde, niet opgesloten tegen kruip. Dit was in het verleden ook niet het geval en kruipen van het wiel over de as in die richting is niet opgetreden. Voor kruip tegen het dikkere deel van de as is een controle uitgevoerd. Zie voor de berekening van de as Bijlage 3.

De maatgevende toetsingen treden weer op bij de overgang van Ø165 naar Ø177 aan de binnenzijde van de wielen (positie D). Deze uitkomsten worden bepaald door de kerfactor die geldt bij een as-naaf overgang. Op basis van de overgang in diameter zou de unity check voor vermoeiing lager zijn.

$$UC_{\text{max, overbelasten}} = 0,23$$

$$UC_{\text{max, vermoeiing}} = 0,97$$

$$UC_{\text{max, vlaktedruk as-wiel, hor}} = 0,47$$

6.2. Restlevensduur bij lagere waterstanden

Aangezien er in droge perioden ook waterstanden van de Waal lager dan NAP + 5,85 m. voorkomen, is er berekend in welke mate de restlevensduur wordt verkort wanneer er ook bij deze lagere waterstanden wordt geschud.

Hiertoe is er een verdeling gemaakt in de range van waterstanden, zie tabel 6-1. Per range is voor de laagste waterstand berekend wat de levensduur van de as is door te variëren in het aantal belastingswisselingen en de vermoeiingstijdssterkte zo te verhogen tot de maatgevende $uc = 1,0$ wordt. Bij elke range hoort dan een bepaald toelaatbaar aantal wisselingen $N_{R,i}$. Deze berekening zijn opgenomen in Bijlage 4.

Afhankelijk van het werkelijk opgetreden aantal wisselingen N_i kan dan de deelschade door vermoeiing worden berekend door $D_i = N_i / N_{R,i}$. Wanneer de totale schade door vermoeiing $D_{\text{tot}} = 1,0$ wordt is de (rest)levensduur verstreken.

Voor ieder moment kan worden bepaald wat deze totale schade is en hoeveel 'restschade' nog mag optreden. Op basis van een levensduur van 50 jaar (600 maanden) kan deze toelaatbare 'restschade' worden vertaald naar een restlevensduur bij normaal gebruik, dat wil zeggen schutten bij waterstanden van minimaal NAP + 5,85 m. Voor deze berekening is een spreadsheet gemaakt die bij dit rapport wordt toegevoegd als Bijlage 5.

Hieruit volgt bijvoorbeeld dat wanneer er gedurende 1 maand wordt geschut bij een waterstand tussen NAP + 5,5 en +5,85 m. de (rest)levensduur met 5 maanden afneemt.

tabel 6-1: Afname levensduur bij normaal gebruik bij 1 maand schutten in range i

waterstand Waal	duur schutten bij range	afname levensduur
[m] + NAP	[maand]	[maand]
(1) Waal $\geq 5,85$	1	1
(2) $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	1	5
(3) $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	1	16
(4) $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	1	43
(5) $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	1	86



Projectnr. : 19436
Omschrijving : Herstel sluis Weurt
Bijlage van : RA19435VIV001-Bijlage 5
Datum : 04-09-2020
Onderdeel : assen roldeur

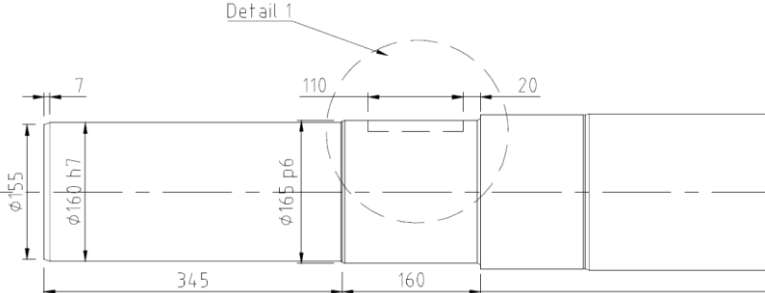
Berekening restlevensduur assen roldeur bij waterstanden Waal < NAP+5,85m

Versie : 03-09-2020

Uitgangspunten en Randvoorwaarden

Weurt roldeur III in Waalhoofd gevolgklasse CC1 ($\gamma_{M, \text{fat}} = 1,15$)
10 ton lekwater/slib geen invloed horizontale belasting deur tegen wielen
eigen gewicht deur 237,7 ton berekening volgens NEN 6786:2017
5000 schuttingen per jaar
as volgens tekening 'As treinstel Sluis Weurt' 200509-01 (concept d.d. 15-07-2020) va 

Detail 1



voor overige randvoorwaarden en berekening levensduur per range:
rapport 'Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd' - RA19436VIV001 d.d. 04-09-2020

Invoergegevens	totale gebruiksduur deur in range i		$N_{k,i}$
i=1 Aantal maanden met waterstand Waal $\geq 5,85$	5	maanden	600 maanden
i=2 Aantal maanden met waterstand $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	8	maanden	133 maanden
i=3 Aantal maanden met waterstand $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	4	maanden	38 maanden
i=4 Aantal maanden met waterstand $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	5	maanden	14 maanden
i=5 Aantal maanden met waterstand $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	3	maanden	7 maanden

Schade door vermoeiing*

i=1 $D_1 = N_1 / N_{R,1}$	=	0,008
i=2 $D_2 = N_2 / N_{R,2}$	=	0,060
i=3 $D_3 = N_3 / N_{R,3}$	=	0,105
i=4 $D_4 = N_4 / N_{R,4}$	=	0,357
i=5 $D_5 = N_5 / N_{R,5}$	=	0,429 +
D_{tot}	=	0,959

Restlevensduur*, geldig na gebruiksduur zoals hierboven ingevoerd

restlevensduur bij Waal $\geq \text{NAP}+5,85\text{m}$	=	$(1 - D_{\text{tot}}) \times 600$
	=	24 maand = 2 jaar

Let op: restlevensduur kleiner dan 3 jaar!

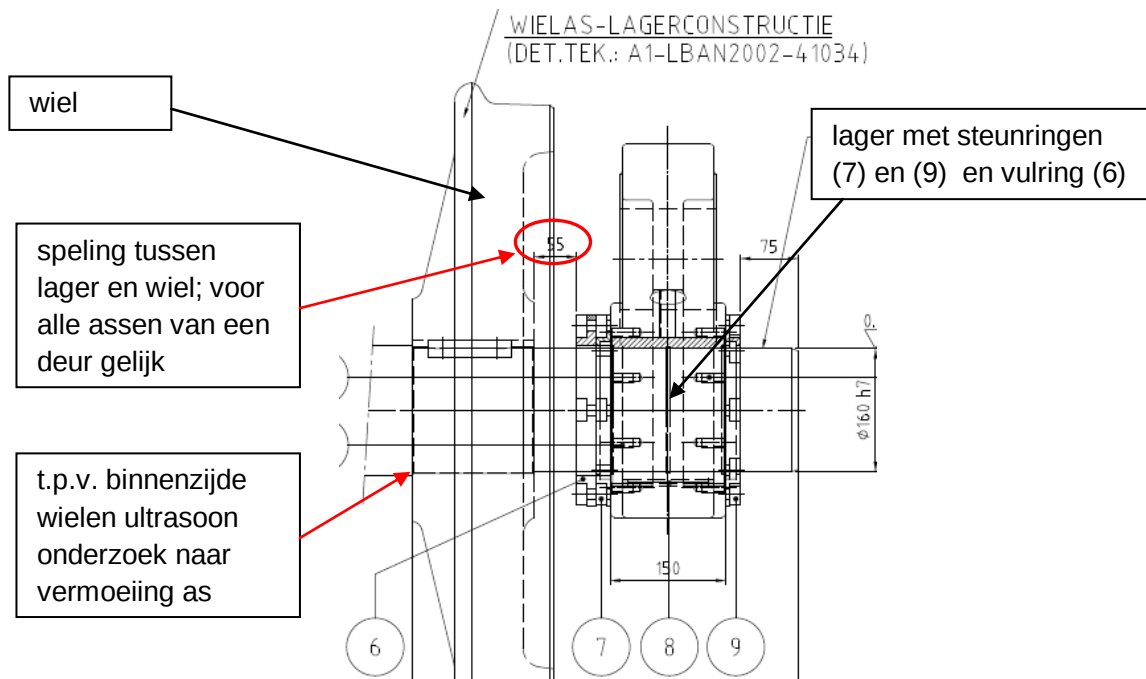
* uitkomsten dienen handmatig te worden nagerekend

figuur 6-2: Willekeurig voorbeeld berekening restlevensduur met spreadsheet

7. Aanbevelingen voor toekomstig gebruik van de deuren

Er is een aantal factoren van invloed geweest op het bezwijken van de assen. Dit geeft aanleiding om aandacht te besteden aan het volgende. Dit geldt voor alle 3 de deuren:

- Op assen dient bij beide wielstellen van de deur een gelijke speling tussen het lager van het schommelstuk en de wielen te zitten (zie afbeelding). De positie van het schommelstuk onder de deur is met vulplaten te stellen.
- De dikte van het wrijfhout dient te worden gemonitord en zo nodig hersteld. Dit voorkomt dat de deur teveel zijdelings kan verplaatsen en de volledige speling tussen het lager en het wiel wordt gebruikt en het wiel als horizontale steun voor de deur gaat werken.
- Bij onderhoud aan de deur (eens per 3 jaar) kan middels ultrasoon onderzoek (NDO) worden gemonitord in hoeverre er vermoeiing van de assen is opgetreden. Het gaat dan met name om de as ter plaatse van de sprong in diameter aan de binnenzijde van het wiel (zie afbeelding). NB: zeker aan de huidige assen van deur II is mogelijk vermoeiingsschade opgetreden door (ca. 3 maanden) schutten met aanzienlijke hoeveelheden lekwater.
- Monitoren of/hoeveel water er staat in de onderkamers en evt. lekkage verhelpen.



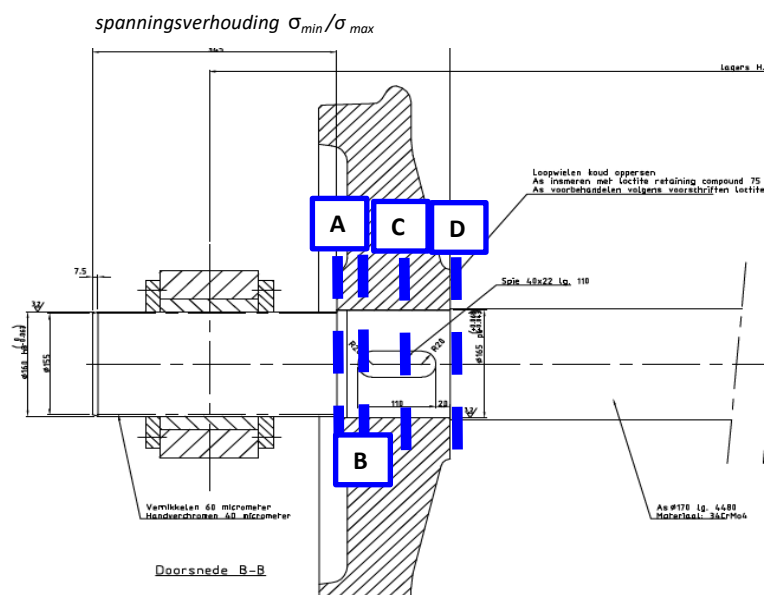
- Wanneer het horizontale wrijfhout op een hogere positie dan NAP+7,5m zou zitten, wordt het schranken van de deur tijdens de deurbewegingen bij hoge waterstanden verminderd. Er dient dan eerst onderzocht te worden of de deur de belastingen op deze hoogte kan opnemen.

Bijlage 1. Berekeningen bestaande as (situatie 1/2)

<i>h.o.h. rails</i>		3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>		4140	mm
<i>tussen wielen</i>		3470	mm
<i>breedte naaf</i>		160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>		75	mm
L_A	=	250	mm
L_B	=	260	mm
B_{lager}	=	160	mm

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.		60 ton	$\gamma_0 =$	1,5	$\gamma_v =$	1,2
R_{Ed}	=	113 kN	$\mathbf{0}$	$\mathbf{v}$		
			belasting op wiel			
κ	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$			



De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1,0	mm	10,0	mm	2,0	mm	1,0	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spie?						ja			

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,O,Ed}	=	28	kNm	29	kNm	29	kNm	29	kNm
V _{O,Ed}	=	113	kN	56	kN	56	kN	0	kN
M _{t,O,Ed}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,20		0,19		0,19		0,19	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,v}	=	22,5	kNm	23	kNm	23	kNm	23	kNm
V _v	=	90	kN	45	kN	45	kN	0	kN
M _{t,v}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,59		0,74		1,00		1,02	

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,2

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00
K_n	=	1,00

= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s

UGT-overbelasten

	pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 28 kNm	29 kNm	29 kNm	29 kNm
$V_{O,Ed}$	= 113 kN	56 kN	56 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0 kNm	0 kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
d	= 160 mm	163 mm	163 mm	163 mm
A	= 2,0E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²
W_b	= 4,0E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³
W_t	= 8,0E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³
I_p	= 6,4E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 28 kNm	29 kNm	29 kNm	29 kNm
$\sigma_{t,Ed}$	= 70 N/mm ²	69 N/mm ²	69 N/mm ²	69 N/mm ²
$V_{O,Ed}$	= 113 kN	56 kN	56 kN	0 kN
$\tau_{m,Ed}$	= 6 N/mm ²	3 N/mm ²	3 N/mm ²	0 N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	= 0 kNm	0 kNm	0 kNm	0 kNm
τ_{Ed}	= 7 N/mm ²	4 N/mm ²	4 N/mm ²	0 N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$	0,16 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1
τ_{Ed}	7 N/mm ²	4 N/mm ²	4 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$	0,05 < 1	0,02 < 1	0,02 < 1	0,00 < 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed})^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2}$	71 N/mm ²	69 N/mm ²	69 N/mm ²	69 N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$	88 N/mm ²	86 N/mm ²	86 N/mm ²	86 N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$	0,16 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):	0,20 < 1	0,19 < 1	0,19 < 1	0,19 < 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} \equiv$ **0,20** < 1 Voldoet

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)				
Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	
		700	750	

$M_{b,V,Ed}$	=	23	kNm	23	kNm	23	kNm
$V_{V,Ed}$	=	90	kN	45	kN	45	kN
$M_{t,V,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm

resultaat UC = 0,59 0,74 1,00 1,02

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
$k_{d,b} = k_{d,t}$	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
$k_{d,v} = k_{d,t/c}$	=	1		1		1		1	
k_u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f_u	β_0	β_τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

$k_b = k_{t/c} = \beta_0 * \beta$	3,68	β_0	2,63
$k_t = k_v = \beta_0 * \beta_\tau$	2,63	β	1,4

$f_{fat,b,Rd}$	=	$f_{fat,b} / (k_b * k_d * k_u)$
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	$f_{fat,t/c} / (k_{t/c} * k_d * k_u)$
$f_{fat,t,Rd}$	=	$f_{fat,t} / (k_t * k_d * k_u)$
$f_{fat,v,Rd}$	=	$f_{fat,v} / (k_v * k_d * k_u)$

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$k_b = k_{t/c}$	3,68	2,63	3,55	3,68
$k_t = k_v$	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
$f_{fat,b,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A		pos B		pos C		pos D	
A _B	=	0,66		0,66		0,66		0,66	
r/t	=	0,67		0,00		0,00		0,07	
α _σ	=	2,35		2,94		2,94		4,20	
B _B	=	7,7		7,7		7,7		7,7	
d/D	=	0,98		1,00		1,00		0,86	
C _B	=	0,2		0,2		0,2		0,2	
r/d	=	0,0063		0,0307		0,0307		0,0061	
<u>Torsie:</u>									
A _T	=	3,4		3,4		3,4		3,4	
α _τ	=	1,61		2,04		2,04		2,54	
B _T	=	27		27		27		27	
C _T	=	1		1		1		1	

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 23 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 56 N/mm ²	55 N/mm ²	55 N/mm ²	55 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,58 < 1	0,74 < 1	1,00 < 1	1,02 > 1!!
V_V	= 90 kN	45 kN	45 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 5,97 N/mm ²	2,88 N/mm ²	2,88 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,07 < 1	0,07 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

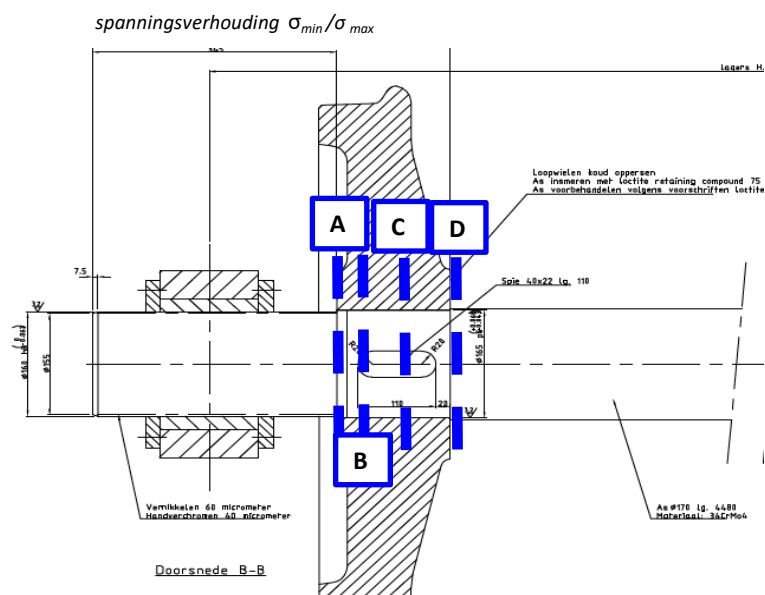
$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,59 < 1	0,74 < 1	1,00 > 1!!	1,02 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing $UC_{max} \equiv$ **1,02** **> 1!! Voldoet NIET**

<i>h.o.h. rails</i>		3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>		4140	mm
<i>tussen wielen</i>		3470	mm
<i>breedte naaf</i>		160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>		75	mm
L_A	=	250	mm
L_B	=	260	mm
B_{lager}	=	160	mm

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.		62 ton	$Y_0 =$	1,25	$Y_V =$	1,15
R_{Ed}	=	97 kN	belasting op wiel			
κ	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$			



De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1,0	mm	10,0	mm	2,0	mm	1,0	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spie?						ja			

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,O,Ed}	=	24	kNm	25	kNm	25	kNm	25	kNm
V _{O,Ed}	=	97	kN	48	kN	48	kN	0	kN
M _{t,O,Ed}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,17		0,16		0,16		0,16	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,v}	=	22,3	kNm	23	kNm	23	kNm	23	kNm
V _v	=	89	kN	45	kN	45	kN	0	kN
M _{t,v}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,58		0,74		0,99		1,01	

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

Eigenschappen veredelstaal tot Ø19

Ck45

34CrMo4+QT

42CrMo4+QT

34CrNiMo6+QT

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)

450	500
700	750

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,2

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00
K_n	=	1,00

= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	24	kNm	25	kNm	25	kNm	25	kNm
$V_{O,Ed}$	=	97	kN	48	kN	48	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	24	kNm	25	kNm	25	kNm	25	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	60	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	97	kN	48	kN	48	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	5	N/mm ²	2	N/mm ²	2	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	6	N/mm ²	3	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,13	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1
τ_{Ed}		6	N/mm ²	3	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,04	< 1	0,02	< 1	0,02	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		61	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		76	N/mm ²	74	N/mm ²	74	N/mm ²	74	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,14	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):		0,17	< 1	0,16	< 1	0,16	< 1	0,16	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} \equiv$ **0,17** < 1 Voldoet

$M_{b,V,Ed}$	=	22	kNm	23	kNm	23	kNm
$V_{V,Ed}$	=	89	kN	45	kN	45	kN
$M_{t,V,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm

resultaat	UC =	0,58	0,74	0,99	1,01
-----------	------	------	------	------	------

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d;v} = k _{d;t/c}	=	1		1		1		1	
k _u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ * β	3,68	β ₀	2,63
k _t = k _v = β ₀ * β _τ	2,63	β	1,4

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b * k _d * k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} * k _d * k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t * k _d * k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v * k _d * k _u)

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	3,68	2,63	3,55	3,68
k _t = k _v	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
f _{fat,b,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,67	0,00	0,00	0,07
α _σ	=	2,35	2,94	2,94	4,20
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,98	1,00	1,00	0,86
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0307	0,0307	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,61	2,04	2,04	2,54
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

K	=	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$		=	-1					
		Pos A			pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²		89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²		89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²		51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²		51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 22 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 55 N/mm ²	55 N/mm ²	55 N/mm ²	55 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,58 < 1	0,73 < 1	0,99 < 1	1,01 > 1!!
V_V	= 89 kN	45 kN	45 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 5,91 N/mm ²	2,85 N/mm ²	2,85 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,07 < 1	0,07 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,58 < 1	0,74 < 1	0,99 < 1	1,01 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing $UC_{max} \equiv$ **1,01** **> 1!! Voldoet NIET**

Geometrie as truckstel

h.o.h. rails		3770	mm
h.o.h. lagers		4140	mm
tussen wielen		3470	mm
breedte naaf		160	mm
max. zijdelings verpl deur		55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

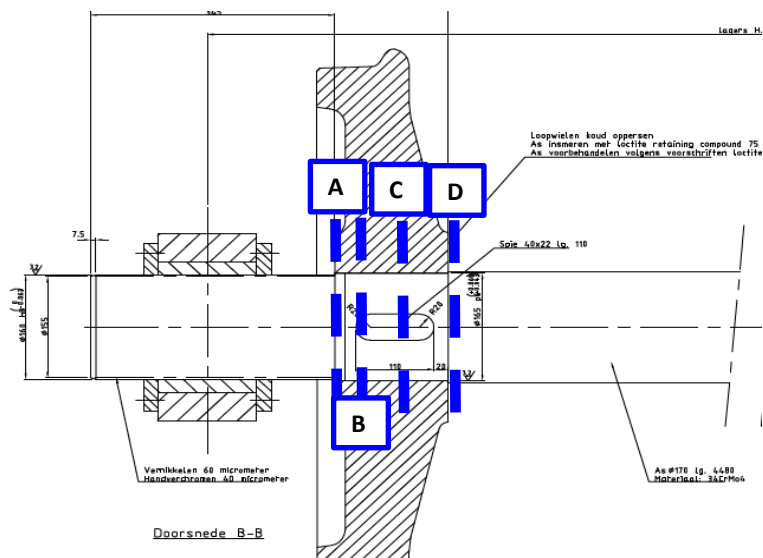
h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A)

h.o.h. afstand lager tot rail (punt B)

breedte lager

Normaal bedrijf - rekenwaarden

netto neerwaartse belasting rep.		67	ton	$Y_0 =$	1,25	$Y_V =$	1,15
R_{Ed}	=	105	96	kN	belasting op wiel		
K	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$				



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	160 mm	163 mm	163 mm	163 mm
D	163 mm	163 mm	163 mm	190 mm
r'	1,0 mm	10,0 mm	2,0 mm	1,0 mm
t_1	1,5 mm	0 mm	0 mm	13,5 mm
as-naaf?	nee	ja	nee	nee
dikte sprong?	ja	nee	nee	ja
spie?			ja	

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	24 kNm	25 kNm	25 kNm	25 kNm
$V_{O,Ed}$	105 kN	52 kN	52 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,17	0,16	0,16	0,16

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	22,2 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
V_V	96 kN	48 kN	48 kN	0 kN
$M_{t,V}$	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,58	0,73	0,99	1,01

Materiaalgrootheden en factoren			Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)				
Materiaal	34CrMo4+QT	Eigenschappen veredelstaal tot Ø190	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT	
f_y	450	N/mm ²		450	500		
f_u	700	N/mm ²		700	750		
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350	N/mm ²					
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280	N/mm ²					
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162	N/mm ²					
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202	N/mm ²					
γ_{M0}	=	1	materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden				
γ_{Mf}	=	1,2	materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing				
$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00	$= 1$ als $n \leq 0,1$ omw/s				
K_n	=	1,00					

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	24	kNm	25	kNm	25	kNm	25	kNm
$V_{O,Ed}$	=	105	kN	52	kN	52	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	24	kNm	25	kNm	25	kNm	25	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	60	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	105	kN	52	kN	52	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	5	N/mm ²	3	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	7	N/mm ²	3	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,13	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1
τ_{Ed}		7	N/mm ²	3	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,05	< 1	0,02	< 1	0,02	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		61	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²	59	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		75	N/mm ²	74	N/mm ²	74	N/mm ²	74	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,14	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1	0,13	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):		0,17	< 1	$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_{t,Ed})^2 + 3 \cdot \tau_{m,Ed}^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,16	< 1	0,16	< 1

<u>Maatgevende controle UGT Overbelasten</u>	<u>UC_{max}</u> =	0,17	< 1 Voldoet
--	---------------------------	------	-------------

$M_{b,v,Ed}$	=	22	kNm	23	kNm	23	kNm
$V_{v,Ed}$	=	96	kN	48	kN	48	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm

resultaat UC = 0,58 0,73 0,99 1,01

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t_1	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
$k_{d,b} = k_{d,t}$	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
$k_{d,v} = k_{d,t/c}$	=	1		1		1		1	
k_u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f_u	β_0	β_τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

$k_b = k_{t/c} = \beta_0 * \beta$	3,68	β_0	2,63
$k_t = k_v = \beta_0 * \beta_\tau$	2,63	β	1,4

$f_{fat,b,Rd}$	=	$f_{fat,b} / (k_b * k_d * k_u)$
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	$f_{fat,t/c} / (k_{t/c} * k_d * k_u)$
$f_{fat,t,Rd}$	=	$f_{fat,t} / (k_t * k_d * k_u)$
$f_{fat,v,Rd}$	=	$f_{fat,v} / (k_v * k_d * k_u)$

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$k_b = k_{t/c}$	3,68	2,63	3,55	3,68
$k_t = k_v$	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
$f_{fat,b,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,67	0,00	0,00	0,07
α _σ	=	2,35	2,94	2,94	4,20
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,98	1,00	1,00	0,86
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0307	0,0307	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,61	2,04	2,04	2,54
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$f_{fat,b,Rd}$	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}		=	-1						
		Pos A			pos B		pos C		pos D		
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²		89	N/mm ²		66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²		89	N/mm ²		66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²		51	N/mm ²		39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²		51	N/mm ²		39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 22 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 55 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,57 < 1	0,73 < 1	0,99 < 1	1,01 > 1!!
V_V	= 96 kN	48 kN	48 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 6,39 N/mm ²	3,08 N/mm ²	3,08 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,08 < 1	0,07 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

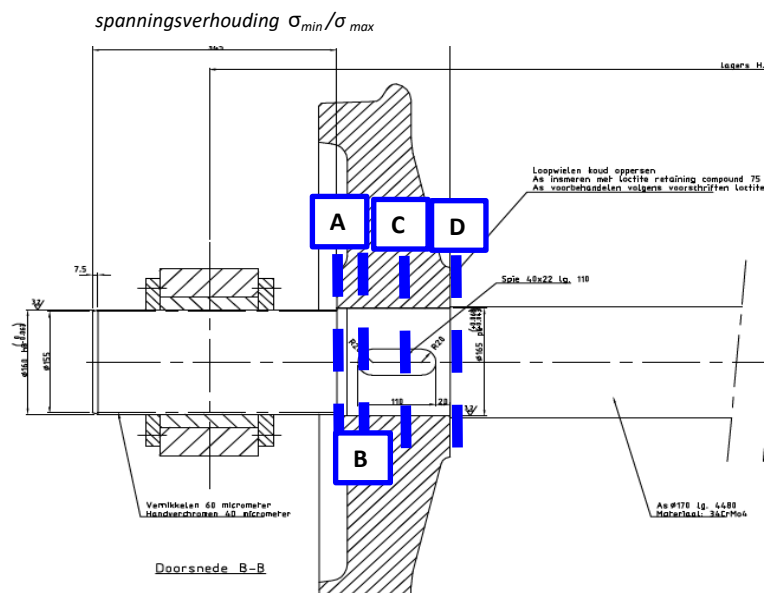
$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,58 < 1	0,73 < 1	0,99 < 1	1,01 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing $UC_{max} \equiv$ **1,01** **> 1!! Voldoet NIET**

<i>h.o.h. rails</i>		3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>		4140	mm
<i>tussen wielen</i>		3470	mm
<i>breedte naaf</i>		160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>		55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.		64 ton	$Y_0 =$	1,5	$Y_V =$	1,2
R_{Ed}	=	120	$\frac{O}{V}$	96	kN	belasting op wiel
κ	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$			



De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1,0	mm	10,0	mm	2,0	mm	1,0	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spie?						ja			

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,O,Ed}	=	28	kNm	29	kNm	29	kNm	29	kNm
V _{O,Ed}	=	120	kN	60	kN	60	kN	0	kN
M _{t,O,Ed}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,19		0,19		0,19		0,19	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,v}	=	22,1	kNm	23	kNm	23	kNm	23	kNm
V _v	=	96	kN	48	kN	48	kN	0	kN
M _{t,v}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,58		0,73		0,99		1,01	

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

Eigenschappen veredelstaal tot Ø19

Ck45

34CrMo4+QT

42CrMo4+QT

34CrNiMo6+QT

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)			
	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT
		450	500
		700	750

γ_{M0} = 1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

γ_{Mf} = 1,2

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$ = 1,00

= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s

K_n = 1,00

UGT-overbelasten

	pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 28 kNm	29 kNm	29 kNm	29 kNm
$V_{O,Ed}$	= 120 kN	60 kN	60 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0 kNm	0 kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
d	= 160 mm	163 mm	163 mm	163 mm
A	= 2,0E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²
W_b	= 4,0E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³
W_t	= 8,0E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³
I_p	= 6,4E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$ = $M_{b,Ed} / W_b$

τ_{Ed} = $4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$

$\tau_{m,Ed}$ = V_{Ed} / A

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 28 kNm	29 kNm	29 kNm	29 kNm
$\sigma_{t,Ed}$	= 69 N/mm ²	68 N/mm ²	68 N/mm ²	68 N/mm ²
$V_{O,Ed}$	= 120 kN	60 kN	60 kN	0 kN
$\tau_{m,Ed}$	= 6 N/mm ²	3 N/mm ²	3 N/mm ²	0 N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	= 0 kNm	0 kNm	0 kNm	0 kNm
τ_{Ed}	= 8 N/mm ²	4 N/mm ²	4 N/mm ²	0 N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$	0,15 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1
τ_{Ed}	8 N/mm ²	4 N/mm ²	4 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$	0,05 < 1	0,03 < 1	0,03 < 1	0,00 < 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$	70 N/mm ²	68 N/mm ²	68 N/mm ²	68 N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$	86 N/mm ²	85 N/mm ²	85 N/mm ²	85 N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$	0,16 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1	0,15 < 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):				
	0,19 < 1	0,19 < 1	0,19 < 1	0,19 < 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

UC_{max} = 0,19 < 1 Voldoet

$M_{b,v,Ed}$	=	22	kNm	23	kNm	23	kNm
$V_{v,Ed}$	=	96	kN	48	kN	48	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm

resultaat	UC =	0,58	0,73	0,99	1,01
-----------	------	------	------	------	------

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1		1		1		1	
k _u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ * β	3,68	β ₀	2,63
k _t = k _v = β ₀ * β _τ	2,63	β	1,4

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b * k _d * k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} * k _d * k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t * k _d * k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v * k _d * k _u)

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	3,68	2,63	3,55	3,68
k _t = k _v	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
f _{fat,b,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,67	0,00	0,00	0,07
α _σ	=	2,35	2,94	2,94	4,20
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,98	1,00	1,00	0,86
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0307	0,0307	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,61	2,04	2,04	2,54
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

	Pos A	pos B	pos C	pos D
f _{fat,b,Rd}	= 115 N/mm ²	89 N/mm ²	66 N/mm ²	64 N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	= 115 N/mm ²	89 N/mm ²	66 N/mm ²	64 N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	= 97 N/mm ²	51 N/mm ²	39 N/mm ²	61 N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	= 97 N/mm ²	51 N/mm ²	39 N/mm ²	61 N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

K	=	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 22 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 55 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,57 < 1	0,73 < 1	0,98 < 1	1,01 > 1!!
V_V	= 96 kN	48 kN	48 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 6,37 N/mm ²	3,07 N/mm ²	3,07 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,08 < 1	0,07 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,58 < 1	0,73 < 1	0,99 < 1	1,01 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing $UC_{max} \equiv$ **1,01** **> 1!! Voldoet NIET**

Geometrie as truckstel

<i>h.o.h. rails</i>	3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>	4140	mm
<i>tussen wielen</i>	3470	mm
<i>breedte naaf</i>	160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>	35	mm
L_A	=	210 mm
L_B	=	220 mm
B_{lager}	=	160 mm

h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A)

h.o.h. afstand lager tot rail (punt B)

breedte lager

Normaal bedrijf - rekenwaarden

netto neerwaartse belasting rep.

69 ton

$Y_0 =$

1,5

$Y_V =$

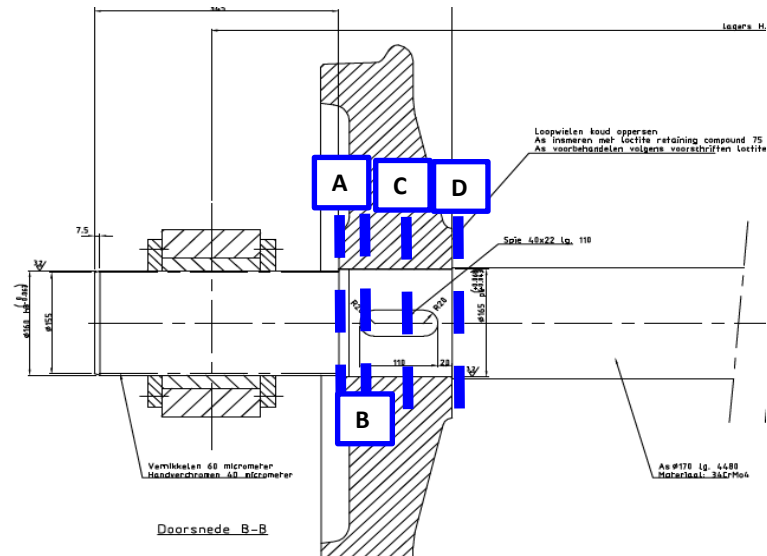
1,2

R_{Ed}	=	0	V
		129	104

kN belasting op wiel

K	=	-1
-----	---	----

spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	= 160 mm	163 mm	163 mm	163 mm
D	= 163 mm	163 mm	163 mm	190 mm
r'	= 1,0 mm	10,0 mm	2,0 mm	1,0 mm
t_1	= 1,5 mm	0 mm	0 mm	13,5 mm
as-naaf?	nee	ja	nee	nee
dikte sprong?	ja	nee	nee	ja
spie?			ja	

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 27 kNm	28 kNm	28 kNm	28 kNm
$V_{O,Ed}$	= 129 kN	65 kN	65 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,19	0,19	0,19	0,19

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 21,7 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
V_V	= 104 kN	52 kN	52 kN	0 kN
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,57	0,72	0,98	1,00

Materiaalgrootheden en factoren			Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)				
Materiaal	34CrMo4+QT	Eigenschappen veredelstaal tot Ø190	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT	
f_y	450	N/mm ²		450	500		
f_u	700	N/mm ²		700	750		
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350	N/mm ²					
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280	N/mm ²					
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162	N/mm ²					
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202	N/mm ²					
γ_{M0}	=	1	materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden				
γ_{Mf}	=	1,2	materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing				
$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00	≈ 1 als $n \leq 0,1$ omw/s				
K_n	=	1,00					

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	27	kNm	28	kNm	28	kNm	28	kNm
$V_{O,Ed}$	=	129	kN	65	kN	65	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	27	kNm	28	kNm	28	kNm	28	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	68	N/mm ²	67	N/mm ²	67	N/mm ²	67	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	129	kN	65	kN	65	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	6	N/mm ²	3	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	9	N/mm ²	4	N/mm ²	4	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,15	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1
τ_{Ed}		9	N/mm ²	4	N/mm ²	4	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,06	< 1	0,03	< 1	0,03	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		69	N/mm ²	67	N/mm ²	67	N/mm ²	67	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		85	N/mm ²	84	N/mm ²	84	N/mm ²	84	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,15	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):		0,19	< 1	0,19	< 1	0,19	< 1	0,19	< 1

<u>Maatgevende controle UGT Overbelasten</u>	<u>UC_{max}</u> =	0,19	< 1	Voldoet
--	---------------------------	------	-----	---------

$M_{b,v,Ed}$	=	22	kNm	23	kNm	23	kNm
$V_{v,Ed}$	=	104	kN	52	kN	52	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm

resultaat UC = 0,57 0,72 0,98 1,00

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
$k_{d,b} = k_{d,t}$	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
$k_{d,v} = k_{d,t/c}$	=	1		1		1		1	
k_u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f_u	β_0	β_τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

$k_b = k_{t/c} = \beta_0 * \beta$	3,68	β_0	2,63
$k_t = k_v = \beta_0 * \beta_\tau$	2,63	β	1,4

$f_{fat,b,Rd}$	=	$f_{fat,b} / (k_b * k_d * k_u)$
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	$f_{fat,t/c} / (k_{t/c} * k_d * k_u)$
$f_{fat,t,Rd}$	=	$f_{fat,t} / (k_t * k_d * k_u)$
$f_{fat,v,Rd}$	=	$f_{fat,v} / (k_v * k_d * k_u)$

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$k_b = k_{t/c}$	3,68	2,63	3,55	3,68
$k_t = k_v$	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
$f_{fat,b,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,67	0,00	0,00	0,07
α _σ	=	2,35	2,94	2,94	4,20
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,98	1,00	1,00	0,86
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0307	0,0307	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,61	2,04	2,04	2,54
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

K	=	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
M _{b,V}	= 22 kNm	23 kNm	23 kNm	23 kNm
σ _{b,V}	= 54 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²
σ _{b,V} / (f _{fat,b,Rd} / γ _{Mf})	0,56 < 1	0,72 < 1	0,97 < 1	1,00 < 1
V _V	= 104 kN	52 kN	52 kN	0 kN
τ _{v,V}	= 6,86 N/mm ²	3,31 N/mm ²	3,31 N/mm ²	0,00 N/mm ²
τ _{v,V} / (f _{fat,v,Rd} / γ _{Mf})	0,08 < 1	0,08 < 1	0,10 < 1	0,00 < 1
M _{t,V}	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
τ _{t,V}	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
τ _{t,V} / (f _{fat,t,Rd} / γ _{Mf})	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

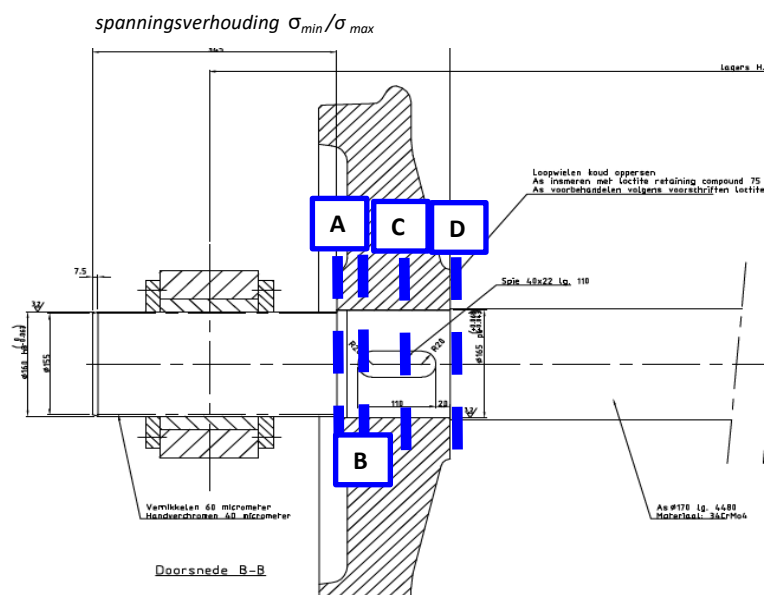
$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,57 < 1	0,72 < 1	0,98 < 1	1,00 < 1	

<u>Maatgevende controle UGT Vermoeiing</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>1,00</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

<i>h.o.h. rails</i>		3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>		4140	mm
<i>tussen wielen</i>		3470	mm
<i>breedte naaf</i>		160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>		55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.		76 ton	$Y_0 =$	1,25	$Y_V =$	1,0
R_{Ed}	=	119	$\frac{O}{V}$	95	kN	belasting op wiel
κ	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$			



De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1,0	mm	1,0	mm	2,0	mm	1,0	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spie?						ja			

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,O,Ed}	=	27	kNm	27	kNm	29	kNm	29	kNm
V _{O,Ed}	=	119	kN	119	kN	59	kN	0	kN
M _{t,O,Ed}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,19		0,18		0,19		0,19	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,v}	=	21,9	kNm	22	kNm	23	kNm	23	kNm
V _v	=	95	kN	95	kN	48	kN	0	kN
M _{t,v}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,57		0,71		0,98		1,00	

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,2

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00
K_n	=	1,00

= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	27	kNm	27	kNm	29	kNm	29	kNm
$V_{O,Ed}$	=	119	kN	119	kN	59	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³	4,3E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³	8,5E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴	6,9E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	27	kNm	27	kNm	29	kNm	29	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	68	N/mm ²	64	N/mm ²	67	N/mm ²	67	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	119	kN	119	kN	59	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	6	N/mm ²	6	N/mm ²	3	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	8	N/mm ²	8	N/mm ²	4	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,15	< 1	0,14	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1
τ_{Ed}		8	N/mm ²	8	N/mm ²	4	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,05	< 1	0,05	< 1	0,03	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed})^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2}$		69	N/mm ²	66	N/mm ²	67	N/mm ²	67	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		86	N/mm ²	81	N/mm ²	84	N/mm ²	84	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,15	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1	0,15	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):									
		0,19	< 1	0,18	< 1	0,19	< 1	0,19	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} =$ 0,19 < 1 Voldoet

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)				
Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	
		700	750	

$M_{b,v,Ed}$	=	22	kNm	22	kNm	23	kNm	23	kNm
$V_{v,Ed}$	=	95	kN	95	kN	48	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

resultaat UC = 0,57 0,71 0,98 1,00

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t_1	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
$k_{d,b} = k_{d,t}$	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
$k_{d,v} = k_{d,t/c}$	=	1		1		1		1	
k_u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f_u	β_0	β_τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

$k_b = k_{t/c} = \beta_0 * \beta$	3,68	β_0	2,63
$k_t = k_v = \beta_0 * \beta_\tau$	2,63	β	1,4

$f_{fat,b,Rd}$	=	$f_{fat,b} / (k_b * k_d * k_u)$
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	$f_{fat,t/c} / (k_{t/c} * k_d * k_u)$
$f_{fat,t,Rd}$	=	$f_{fat,t} / (k_t * k_d * k_u)$
$f_{fat,v,Rd}$	=	$f_{fat,v} / (k_v * k_d * k_u)$

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$k_b = k_{t/c}$	3,68	2,63	3,55	3,68
$k_t = k_v$	2,63	2,63	3,47	2,63

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$f_{fat,b,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	63	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	63	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	51	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	51	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,67	0,00	0,00	0,07
α _σ	=	2,35	2,94	2,94	4,20
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,98	1,00	1,00	0,86
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0307	0,0307	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,61	2,04	2,04	2,54
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$f_{fat,b,Rd}$	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

K	=	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 22 kNm	22 kNm	23 kNm	23 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 54 N/mm ²	51 N/mm ²	54 N/mm ²	54 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,57 < 1	0,70 < 1	0,98 < 1	1,00 > 1!!
V_V	= 95 kN	95 kN	48 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 6,30 N/mm ²	6,07 N/mm ²	3,04 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,08 < 1	0,14 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

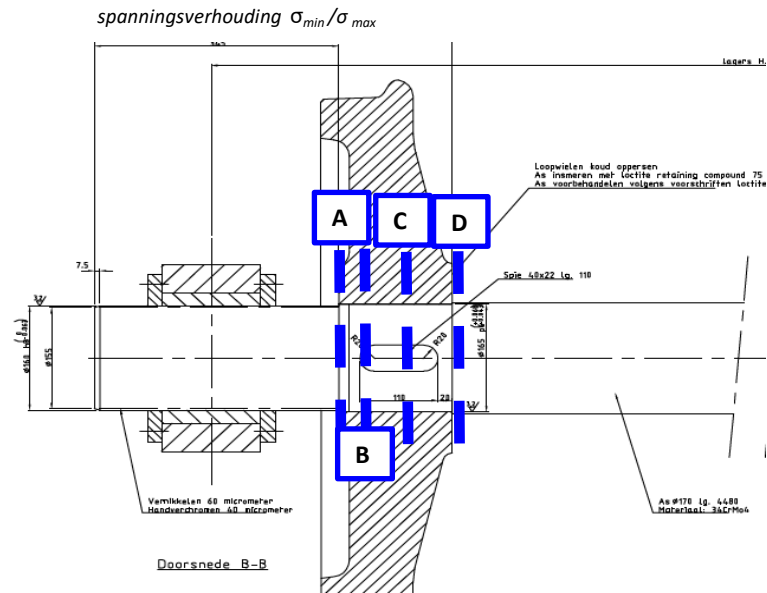
$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,57 < 1	0,71 < 1	0,98 < 1	1,00 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing $UC_{max} \equiv$ 1,00 > 1!! Voldoet NIET

<i>h.o.h. rails</i>		3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>		4140	mm
<i>tussen wielen</i>		3470	mm
<i>breedte naaf</i>		160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>		60	mm
L_A	=	235	mm
L_B	=	245	mm
B_{lager}	=	160	mm

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.		88 ton	$Y_0 =$	1,25	$Y_V =$	1,0
R_{Ed}	=	$\begin{matrix} \mathbf{O} & \mathbf{V} \\ 138 & 110 \end{matrix}$	kN	belasting op wiel		
κ	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$			



De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1,0	mm	10,0	mm	2,0	mm	1,0	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spie?						ja			

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,O,Ed}	=	32	kNm	34	kNm	34	kNm	34	kNm
V _{O,Ed}	=	138	kN	69	kN	69	kN	0	kN
M _{t,O,Ed}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,22		0,22		0,22		0,22	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
M _{b,v}	=	25,9	kNm	27	kNm	27	kNm	27	kNm
V _v	=	110	kN	55	kN	55	kN	0	kN
M _{t,v}	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,68		0,86		1,16		1,18	

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)

Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
open veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18		450	500	
		700	750	

γ_{M0} = 1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

γ_{Mf} = **1,2**

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$ = **1,00**

= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s

K_n = 1,00

UGT-overbelasten

	pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 32 kNm	34 kNm	34 kNm	34 kNm
$V_{O,Ed}$	= 138 kN	69 kN	69 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0 kNm	0 kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
d	= 160 mm	163 mm	163 mm	163 mm
A	= 2,0E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²	2,1E+04 mm ²
W_b	= 4,0E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³	4,3E+05 mm ³
W_t	= 8,0E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³	8,5E+05 mm ³
I_p	= 6,4E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴	6,9E+07 mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$ = $M_{b,Ed} / W_b$

τ_{Ed} = $4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$

$\tau_{m,Ed}$ = V_{Ed} / A

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 32 kNm	34 kNm	34 kNm	34 kNm
$\sigma_{t,Ed}$	= 80 N/mm ²	79 N/mm ²	79 N/mm ²	79 N/mm ²
$V_{O,Ed}$	= 138 kN	69 kN	69 kN	0 kN
$\tau_{m,Ed}$	= 7 N/mm ²	3 N/mm ²	3 N/mm ²	0 N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	= 0 kNm	0 kNm	0 kNm	0 kNm
τ_{Ed}	= 9 N/mm ²	4 N/mm ²	4 N/mm ²	0 N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$	0,18 < 1	0,18 < 1	0,18 < 1	0,18 < 1
τ_{Ed}	9 N/mm ²	4 N/mm ²	4 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$	0,06 < 1	0,03 < 1	0,03 < 1	0,00 < 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$	82 N/mm ²	80 N/mm ²	80 N/mm ²	79 N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$	101 N/mm ²	99 N/mm ²	99 N/mm ²	99 N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$	0,18 < 1	0,18 < 1	0,18 < 1	0,18 < 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):		$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_{t,Ed})^2 + 3 \cdot \tau_{m,Ed}^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		
	0,22 < 1	0,22 < 1	0,22 < 1	0,22 < 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} =$ **0,22** ≤ 1 Voldoet

$M_{b,v,Ed}$	=	26	kNm	27	kNm	27	kNm	27	kNm
$V_{v,Ed}$	=	110	kN	55	kN	55	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

resultaat UC = 0,68 0,86 1,16 1,18

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	163	mm	163	mm	163	mm
D	=	163	mm	163	mm	163	mm	190	mm
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	13,5	mm
as-naaf?		nee		ja		nee		nee	
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan?						ja			
$k_{d,b} = k_{d,t}$	=	1,25		1,25		1,25		1,25	zie § 9.2.1.2 NEN 6786
$k_{d,v} = k_{d,t/c}$	=	1		1		1		1	
k_u	=	1,2		1,2		1,2		1,2	zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f_u	β_0	β_τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

$k_b = k_{t/c} = \beta_0 * \beta$	3,68	β_0	2,63
$k_t = k_v = \beta_0 * \beta_\tau$	2,63	β	1,4

$f_{fat,b,Rd}$	=	$f_{fat,b} / (k_b * k_d * k_u)$
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	$f_{fat,t/c} / (k_{t/c} * k_d * k_u)$
$f_{fat,t,Rd}$	=	$f_{fat,t} / (k_t * k_d * k_u)$
$f_{fat,v,Rd}$	=	$f_{fat,v} / (k_v * k_d * k_u)$

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$k_b = k_{t/c}$	3,68	2,63	3,55	3,68
$k_t = k_v$	2,63	2,63	3,47	2,63

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$f_{fat,b,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	63	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	63	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	51	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	51	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,67	0,00	0,00	0,07
α _σ	=	2,35	2,94	2,94	4,20
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,98	1,00	1,00	0,86
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0307	0,0307	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,61	2,04	2,04	2,54
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,04		2,75		2,75		3,64		
k _{t/c}	=	2,12		2,80		2,80		3,79		
k _t = k _v	=	1,39		1,90		1,90		2,20		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	64	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	61	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

K	=	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	115	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	64	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	97	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	61	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
M _{b,V}	= 26 kNm	27 kNm	27 kNm	27 kNm
σ _{b,V}	= 64 N/mm ²	63 N/mm ²	63 N/mm ²	63 N/mm ²
σ _{b,V} / (f _{fat,b,Rd} / γ _{Mf})	0,67 < 1	0,85 < 1	1,15 > 1!!	1,18 > 1!!
V _V	= 110 kN	55 kN	55 kN	0 kN
τ _{v,V}	= 7,29 N/mm ²	3,51 N/mm ²	3,51 N/mm ²	0,00 N/mm ²
τ _{v,V} / (f _{fat,v,Rd} / γ _{Mf})	0,09 < 1	0,08 < 1	0,11 < 1	0,00 < 1
M _{t,V}	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
τ _{t,V}	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
τ _{t,V} / (f _{fat,t,Rd} / γ _{Mf})	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,68 < 1	0,86 < 1	1,16 > 1!!	1,18 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing UC_{max} ≡ 1,18 > 1!! Voldoet NIET

voor belastingfactor voor vermoeiing en zijdelingse verplaatsing van deur tegen de aanslag.

netto neerw belasting (rep)[ton]	belastingfactor vermoeiing γ_v	hor verplaatsing deur [mm]	$u_{c_{fat}}$ pos A	$u_{c_{fat}}$ pos B	$u_{c_{fat}}$ pos C	$u_{c_{fat}}$ pos D	bijbehorend min toelaatbaar Waalpeil, excl lekkage
60	1,2	75	0,59	0,74	1,00	1,02	6,04 +NAP
62	1,15	75	0,58	0,74	0,99	1,01	6,01 +NAP
64	1,2	55	0,58	0,73	0,99	1,01	5,98 +NAP
67	1,15	55	0,58	0,73	0,99	1,01	5,94 +NAP
76	1	55	0,57	0,71	0,98	1,00	5,84 +NAP
69	1,2	35	0,57	0,72	0,98	1,00	5,92 +NAP
88	1,0	60	0,57	0,86	1,16	1,18	5,69 +NAP

positie A is bij de overgang van 160 naar 163mm, kerf gebaseerd op sprong in diameter met een afrondingsstraal van 1 mm

positie B is gerekend met het maximale moment (arm van hart lager tot hart rail) met kerf gebaseerd op as-naaf verbinding

positie C als positie B met kerf gebaseerd op spiebaan

positie D is bij de overgang van 163 naar 190mm, kerf gebaseerd op sprong in belasting op wiel

NB: wanneer bij de berekening met 88 ton naast de belastingfactor ook de materiaalfactor (1,2) wordt weggelaten, wordt de $u_c = 1,00$

Geometrie as truckstel

<i>h.o.h. rails</i>	3770	mm
<i>h.o.h. lagers</i>	4140	mm
<i>tussen wielen</i>	3470	mm
<i>breedte naaf</i>	160	mm
<i>max. zijdelings verpl deur</i>	55	mm
L_A	=	230 mm
L_B	=	240 mm
B_{lager}	=	160 mm

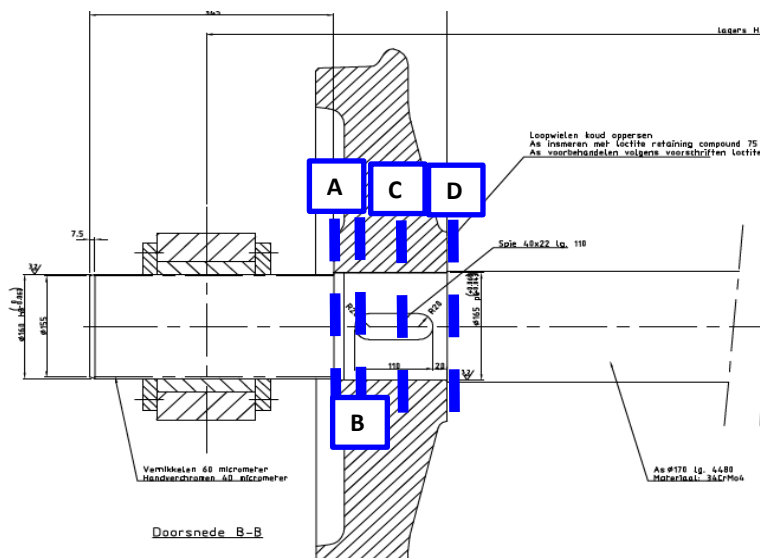
h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A)

h.o.h. afstand lager tot rail (punt B)

breedte lager

Normaal bedrijf - rekenwaarden

netto neerwaartse belasting rep.	76	ton	$Y_0 =$	1,25	$Y_V =$	1,0
lekkage in onderkamer 4/5L rep.	15	ton	waarvan 0,8 x 1/2 naar 1 as			
R_{Ed}	=	194	kN	belasting op wiel		
K	=	-1	spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$			



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	= 160 mm	165 mm	165 mm	165 mm
D	= 165 mm	165 mm	165 mm	190 mm
r'	= 1,0 mm	1,0 mm	2,0 mm	1,0 mm
t ₁	= 2,5 mm	0 mm	0 mm	12,5 mm
as-naaf?	nee	ja	nee	nee
dikte sprong?	ja	nee	nee	ja
spie?			ja	

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 45 kNm	45 kNm	47 kNm	47 kNm
$V_{O,Ed}$	= 194 kN	194 kN	97 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,31	0,28	0,29	0,29

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 35,7 kNm	36 kNm	37 kNm	37 kNm
V_V	= 155 kN	155 kN	78 kN	0 kN
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,91	0,93	1,29	1,30

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00
K_n	=	1,00

= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	45	kNm	45	kNm	47	kNm	47	kNm
$V_{O,Ed}$	=	194	kN	194	kN	97	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	45	kNm	45	kNm	47	kNm	47	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	111	N/mm ²	101	N/mm ²	105	N/mm ²	105	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	194	kN	194	kN	97	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	10	N/mm ²	9	N/mm ²	5	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	13	N/mm ²	12	N/mm ²	6	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,25	< 1	0,22	< 1	0,23	< 1	0,23	< 1
τ_{Ed}		13	N/mm ²	12	N/mm ²	6	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,09	< 1	0,08	< 1	0,04	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		113	N/mm ²	103	N/mm ²	106	N/mm ²	105	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		140	N/mm ²	127	N/mm ²	132	N/mm ²	132	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,25	< 1	0,23	< 1	0,24	< 1	0,23	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):									
		0,31	< 1	0,28	< 1	0,29	< 1	0,29	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} =$ 0,31 < 1 Voldoet

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)				
Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	
		700	750	

$M_{b,v,Ed}$	=	36	kNm	36	kNm	37	kNm	37	kNm
$V_{v,Ed}$	=	155	kN	155	kN	78	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

resultaat	UC =	0,91	0,93	1,29	1,30
-----------	------	------	------	------	------

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	165	mm	165	mm	165	mm	190	mm	
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm	
t ₁	=	2,5	mm	0	mm	0	mm	12,5	mm	
as-naaf?		nee		ja		nee		nee		
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,2		1,2		1,2		1,2		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

tabel B.1		tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ * β	3,68	β ₀	2,63
k _t = k _v = β ₀ * β _τ	2,63	β	1,4

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b * k _d * k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} * k _d * k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t * k _d * k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v * k _d * k _u)

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	3,68	2,63	3,55	3,68
k _t = k _v	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
f _{fat,b,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,40	0,00	0,00	0,08
α _σ	=	2,75	2,95	2,95	4,15
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,97	1,00	1,00	0,87
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0303	0,0303	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,79	2,04	2,04	2,51
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,38		2,76		2,76		3,59		
k _{t/c}	=	2,48		2,81		2,81		3,74		
k _t = k _v	=	1,55		1,91		1,91		2,17		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	98	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	65	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	98	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	65	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	87	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	62	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	87	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	62	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	98	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	98	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	87	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	62	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	87	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	62	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}		=	-1						
		Pos A			pos B		pos C		pos D		
f _{fat,b,κ,Rd}	=	98	N/mm ²		89	N/mm ²		66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	98	N/mm ²		89	N/mm ²		66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	87	N/mm ²		51	N/mm ²		39	N/mm ²	62	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	87	N/mm ²		51	N/mm ²		39	N/mm ²	62	N/mm ²

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 36 kNm	36 kNm	37 kNm	37 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 89 N/mm ²	81 N/mm ²	84 N/mm ²	84 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,91 < 1	0,91 < 1	1,28 > 1!!	1,30 > 1!!
V_V	= 155 kN	155 kN	78 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 10,28 N/mm ²	9,67 N/mm ²	4,83 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,12 < 1	0,19 < 1	0,12 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$				
Pos A	pos B	pos C	pos D	
0,91 < 1	0,93 < 1	1,29 > 1!!	1,30 > 1!!	

Maatgevende controle UGT Vermoeiing $UC_{max} \equiv$ 1,30 > 1!! Voldoet NIET

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrMo4+QT**

f_y	450 N/mm ²
f_u	700 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	350 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	280 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	162 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	202 N/mm ²

Eigenschappen veredelstaal tot Ø190 uit Tabel 18 (SW550)

Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	
		700	750	

γ_{M0}	=	1	materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden
γ_{Mf}	=	1	materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00	= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s
K_n	=	1,00	

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	45	kNm	45	kNm	47	kNm	47	kNm
$V_{O,Ed}$	=	194	kN	194	kN	97	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	45	kNm	45	kNm	47	kNm	47	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	111	N/mm ²	101	N/mm ²	105	N/mm ²	105	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	194	kN	194	kN	97	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	10	N/mm ²	9	N/mm ²	5	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	13	N/mm ²	12	N/mm ²	6	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,25	< 1	0,22	< 1	0,23	< 1	0,23	< 1
τ_{Ed}		13	N/mm ²	12	N/mm ²	6	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,09	< 1	0,08	< 1	0,04	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		113	N/mm ²	103	N/mm ²	106	N/mm ²	105	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		140	N/mm ²	127	N/mm ²	132	N/mm ²	132	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,25	< 1	0,23	< 1	0,24	< 1	0,23	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):		0,31	< 1	0,28	< 1	0,29	< 1	0,29	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} =$ 0,31 < 1 Voldoet

$M_{b,v,Ed}$	=	36	kNm	36	kNm	37	kNm	37	kNm
$V_{v,Ed}$	=	155	kN	155	kN	78	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

resultaat	UC =	0,73	0,74	0,99	1,00
-----------	------	------	------	------	------

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	165	mm	165	mm	165	mm	190	mm	
r'	=	1	mm	5	mm	5	mm	1	mm	
t ₁	=	2,5	mm	0	mm	0	mm	12,5	mm	
as-naaf?		nee		ja		nee		nee		
dikte sprong?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,2		1,2		1,2		1,2		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ * β	3,68	β ₀	2,63
k _t = k _v = β ₀ * β _τ	2,63	β	1,4

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b * k _d * k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} * k _d * k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t * k _d * k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v * k _d * k _u)

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	3,68	2,63	3,55	3,68
k _t = k _v	2,63	2,63	3,47	2,63

	Pos A		pos B		pos C		pos D
f _{fat,b,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	63	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	51	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A	pos B	pos C	pos D
A _B	=	0,66	0,66	0,66	0,66
r/t	=	0,40	0,00	0,00	0,08
α _σ	=	2,75	2,95	2,95	4,15
B _B	=	7,7	7,7	7,7	7,7
d/D	=	0,97	1,00	1,00	0,87
C _B	=	0,2	0,2	0,2	0,2
r/d	=	0,0063	0,0303	0,0303	0,0061
<u>Torsie:</u>					
A _T	=	3,4	3,4	3,4	3,4
α _τ	=	1,79	2,04	2,04	2,51
B _T	=	27	27	27	27
C _T	=	1	1	1	1

χ _b	=	2,01	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	2,01	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	1,01	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	1,01	mm ⁻¹	
χ _t	=	2,00	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	2,00	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		
η _{χt/c}	=	1,11		1,05		1,05		1,11		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,15		1,07		1,07		1,15		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	2,38		2,76		2,76		3,59		
k _{t/c}	=	2,48		2,81		2,81		3,74		
k _t = k _v	=	1,55		1,91		1,91		2,17		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d,v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,20		1,20		1,20		1,20		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	98	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	65	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	98	N/mm ²	85	N/mm ²	85	N/mm ²	65	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	87	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	62	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	87	N/mm ²	71	N/mm ²	71	N/mm ²	62	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	98	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	98	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	87	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	62	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	87	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	62	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

K	=	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	98	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	98	N/mm ²	89	N/mm ²	66	N/mm ²	65	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	87	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	62	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	87	N/mm ²	51	N/mm ²	39	N/mm ²	62	N/mm ²

Levensduur:	L _e jaar	10,4 jaar
Aantal spanningswisselingen:	N	5000 /jaar
Aantal spanningswisselingen:	N	12,8 /schutting
Aantal spanningswisselingen:	N	6,7E+05

Wohlerlijn met constante amplitude

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$C_{\phi ob} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,b,K,Rd})) =$	5,03	4,79	4,19	4,16
$C_{\phi ot/c} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,t/c,K,Rd})) =$	5,03	4,79	4,19	4,16
$C_{\phi tt} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,t,K,Rd})) =$	6,44	4,79	4,23	5,28
$C_{\phi tv} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,v,K,Rd})) =$	6,44	4,79	4,23	5,28

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$f_{fat,b,K,N,Rd} =$	122 N/mm ²	112 N/mm ²	85 N/mm ²	85 N/mm ²
$f_{fat,t/c,K,N,Rd} =$	122 N/mm ²	112 N/mm ²	85 N/mm ²	85 N/mm ²
$f_{fat,t,K,N,Rd} =$	103 N/mm ³	64 N/mm ³	50 N/mm ³	76 N/mm ³
$f_{fat,v,K,N,Rd} =$	103 N/mm ²	64 N/mm ²	50 N/mm ²	76 N/mm ²

Controle doorsneden op vermoeiing conform art. 9.3.2.1

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V} =$	36 kNm	36 kNm	37 kNm	37 kNm
$\sigma_{b,V} =$	89 N/mm ²	81 N/mm ²	84 N/mm ²	84 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,73 < 1	0,72 < 1	0,99 < 1	1,00 < 1
$V_V =$	155 kN	155 kN	78 kN	0 kN
$\tau_{v,V} =$	10,28 N/mm ²	9,67 N/mm ²	4,83 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,10 < 1	0,15 < 1	0,10 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V} =$	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V} =$	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

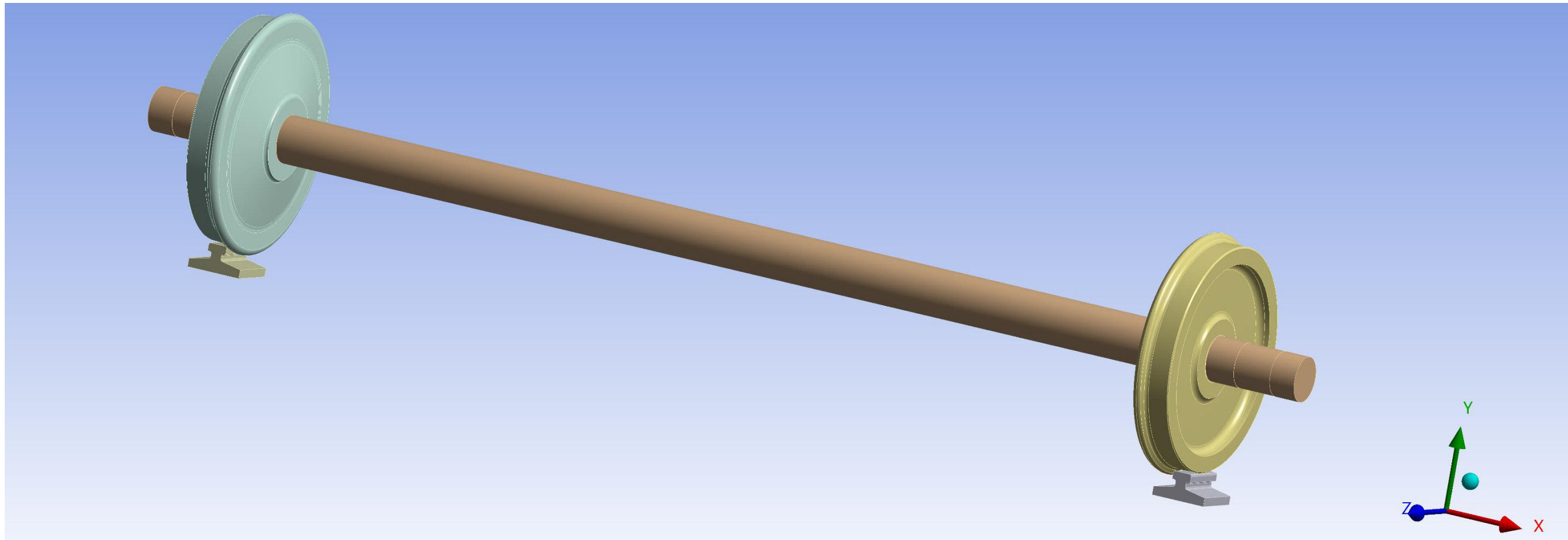
$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$	Pos A	pos B	pos C	pos D
	0,73 < 1	0,74 < 1	0,99 < 1	1,00 < 1

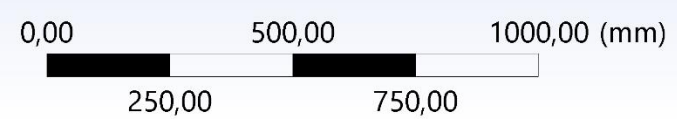
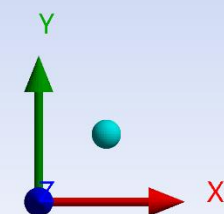
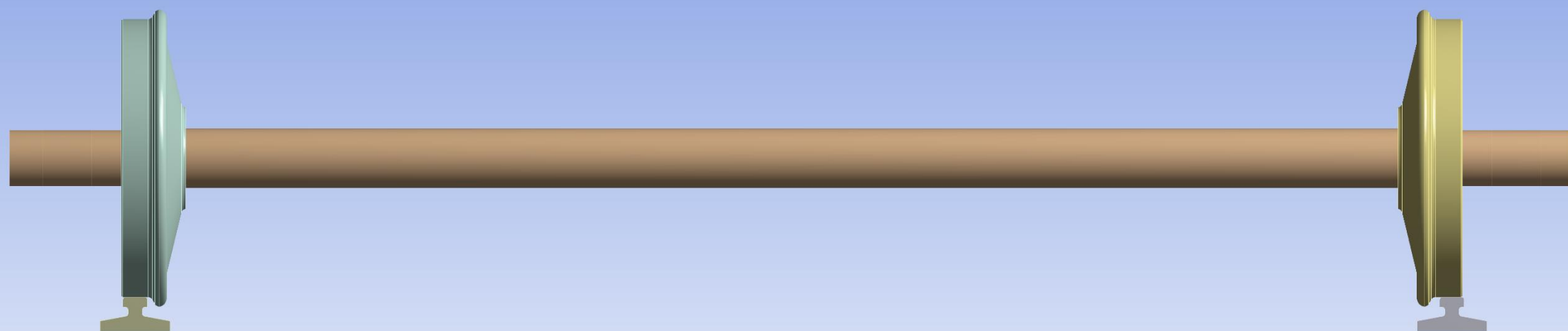
<u>Maatgevende controle UGT Vermoeiing</u>	<u>UC_{max} =</u>	<u>1,00</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

Bijlage 2. Berekeningen ANSYS

Model

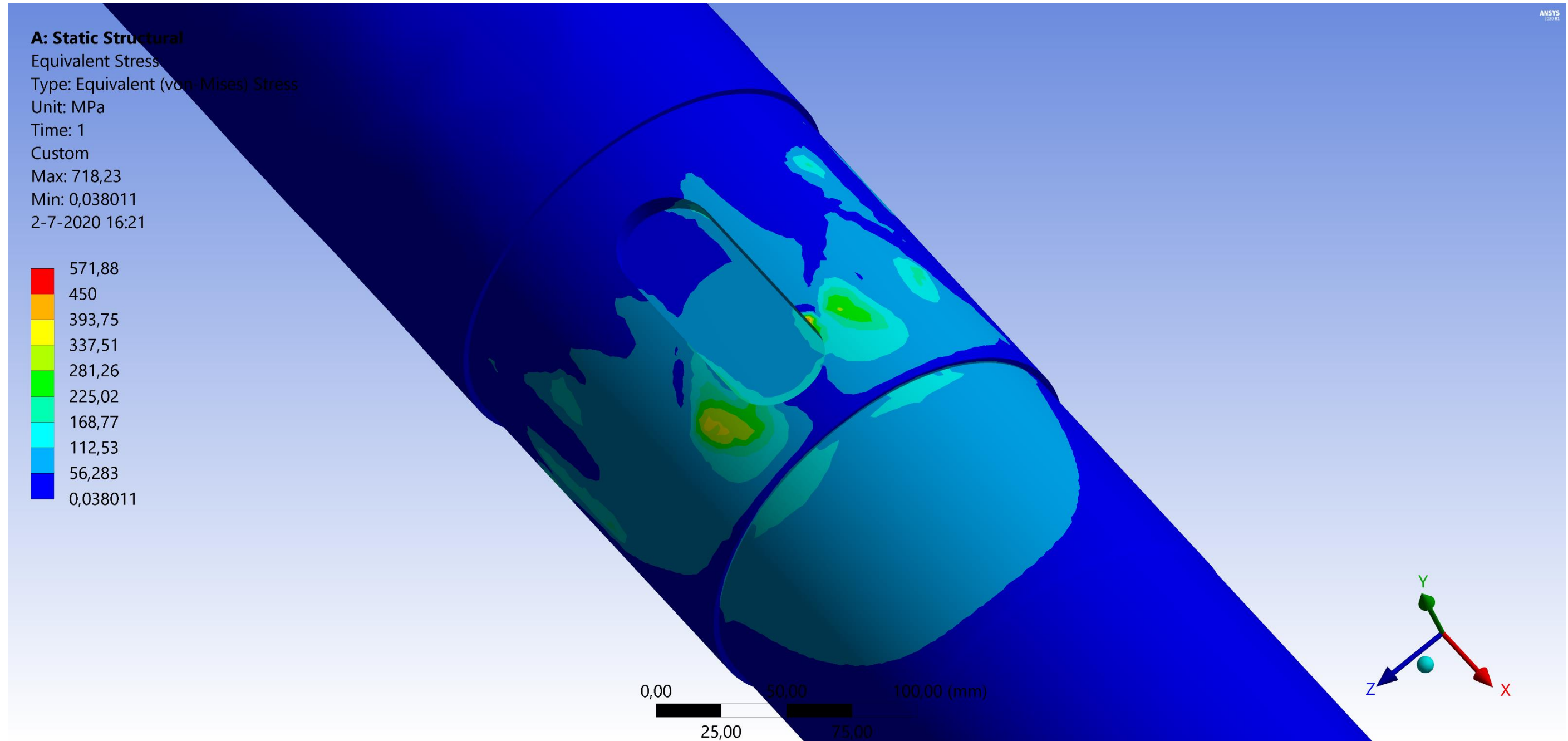
- Gerekend is met een belasting van 272,5 kN. De belasting is afgeleid uit de aangeleverde Excel-sheet. De belasting hoort bij een laag Waalpeil; dus maximale belasting op de as.
- In het model is geen rekening gehouden met excentriciteit ten gevolge van waterdruk.
- In het model is aan één zijde een spie verbinding gemodelleerd om de invloed daarvan te bepalen. Deze invloed is noemenswaardig en aan de andere zijde zal ook een spie toegevoegd moeten worden voor een beter resultaat.
- In de berekening wordt uitgegaan van een veiligheidsfactor van 1,0 -> 272,5 kN representatief is tevens rekenwaarde.





Spanningen

In de as ontstaat een maximale spanning van 571,88 N/mm². Voor het materiaal 34CrMo4+QT geldt, bij een diameter tussen Ø160 en Ø250, een vloeispanning van $f_y = 450$ N/mm². De maximale spanning betreft een plaatselijke piek. Het model moet nog iets worden opgewaardeerd voor een zuiver beeld.



A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

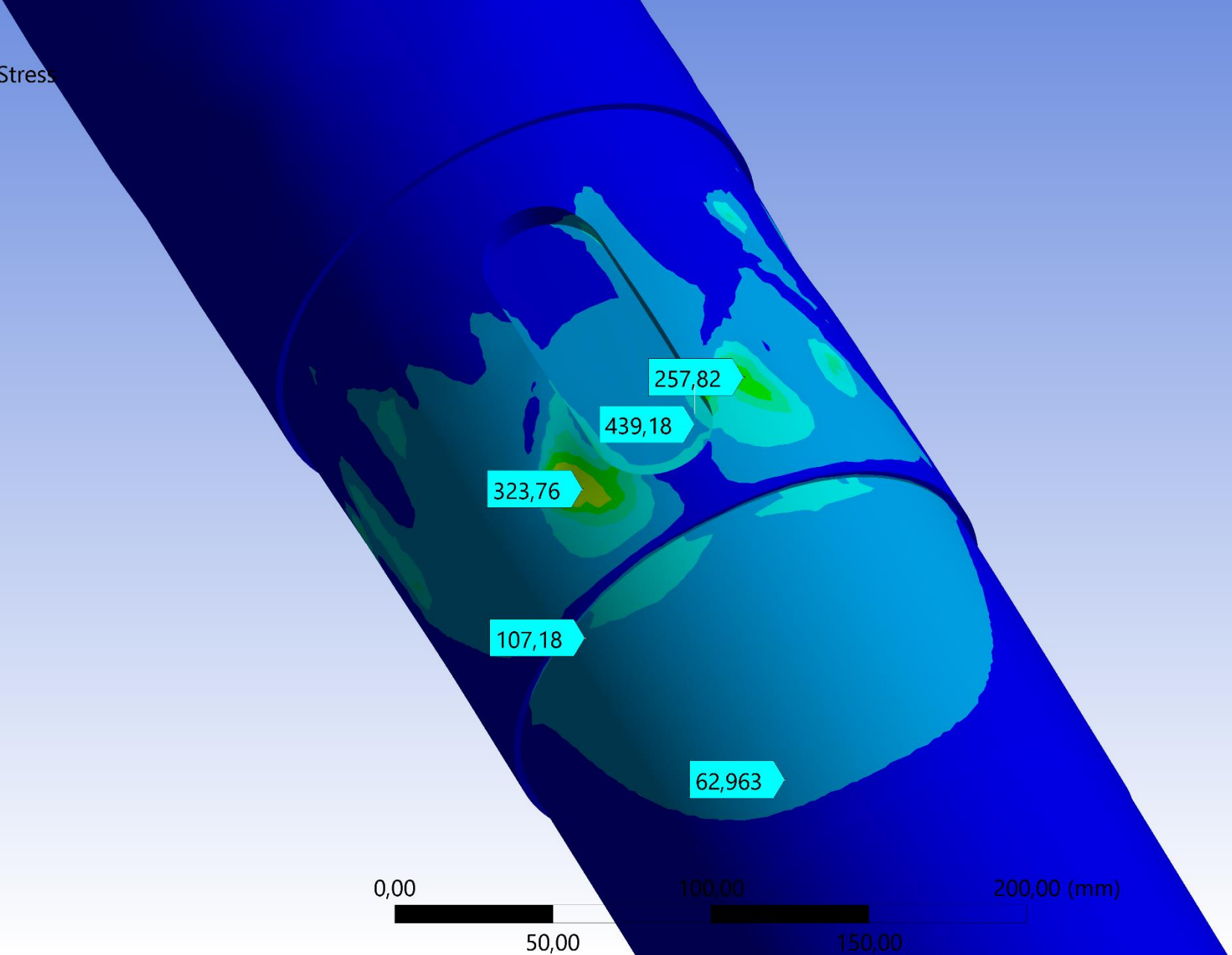
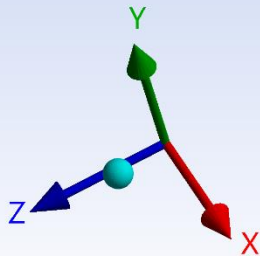
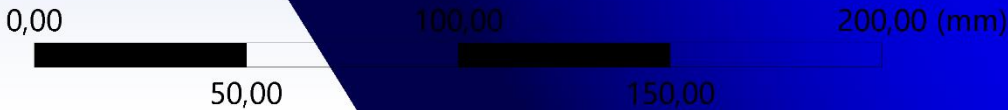
Time: 1

Custom Obsolete

Max: 718,23

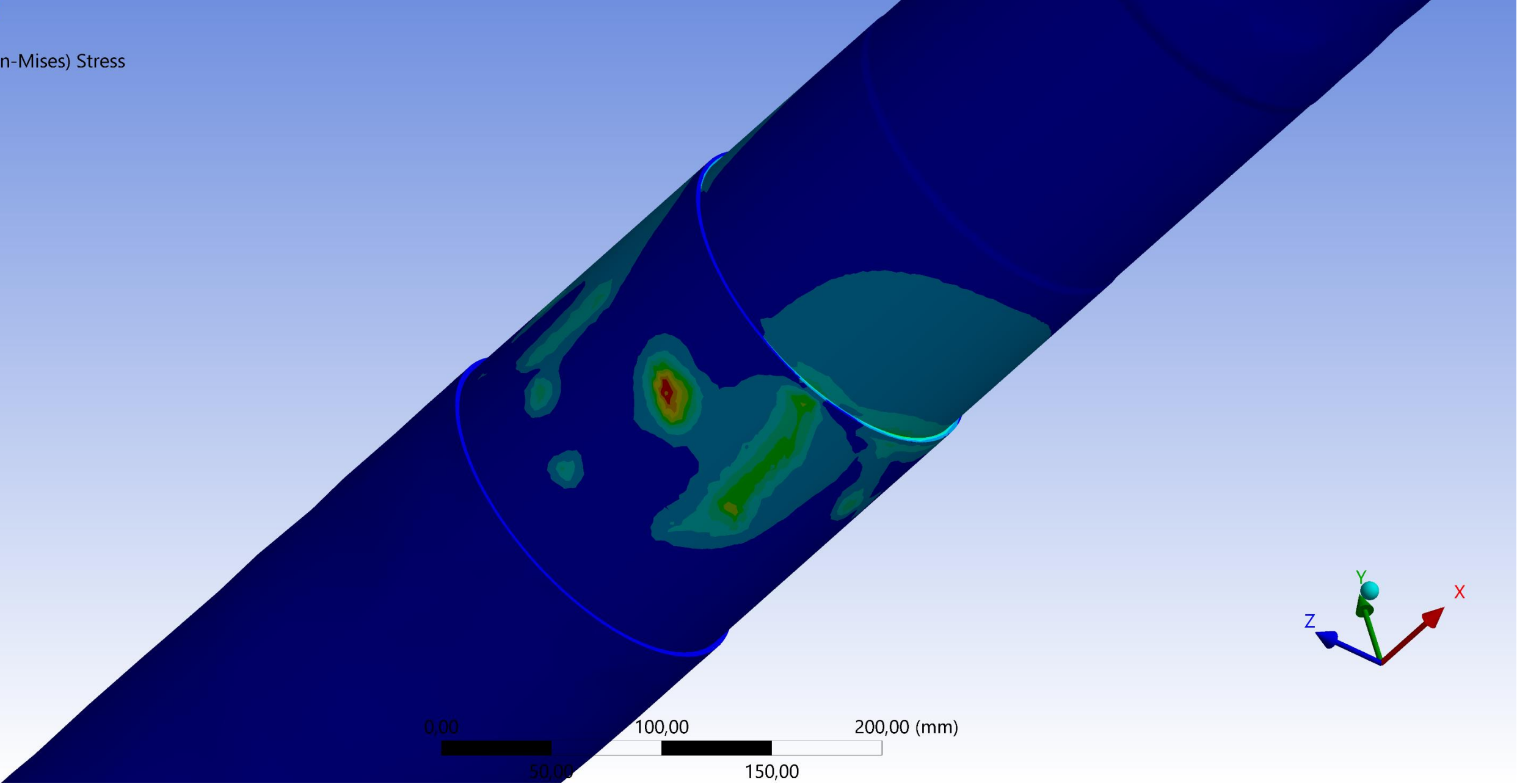
Min: 0,038011

2-7-2020 16:29

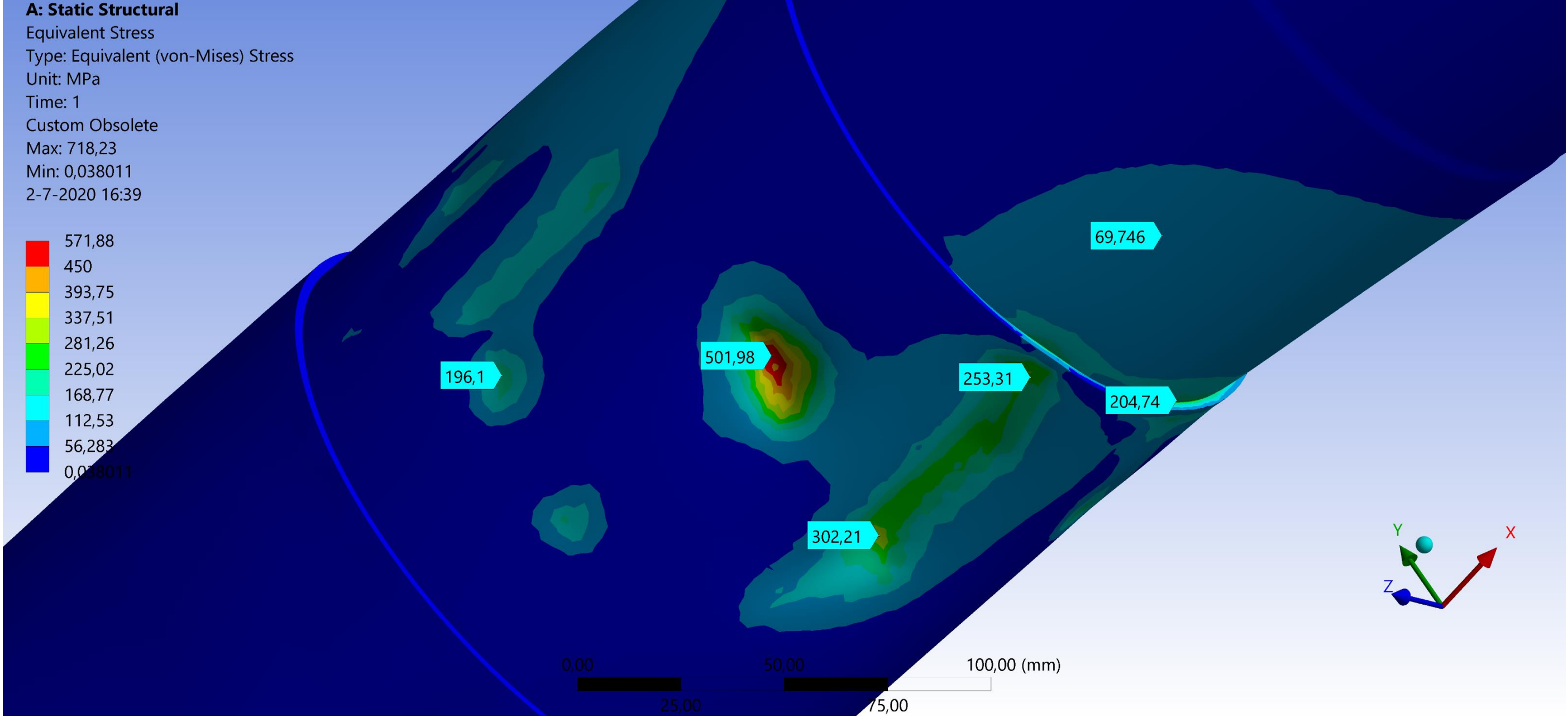


A: Static Structural

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 718,23
Min: 0,038011
2-7-2020 16:21

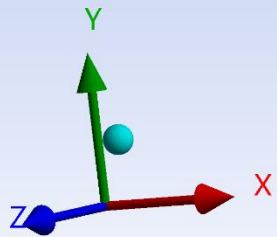
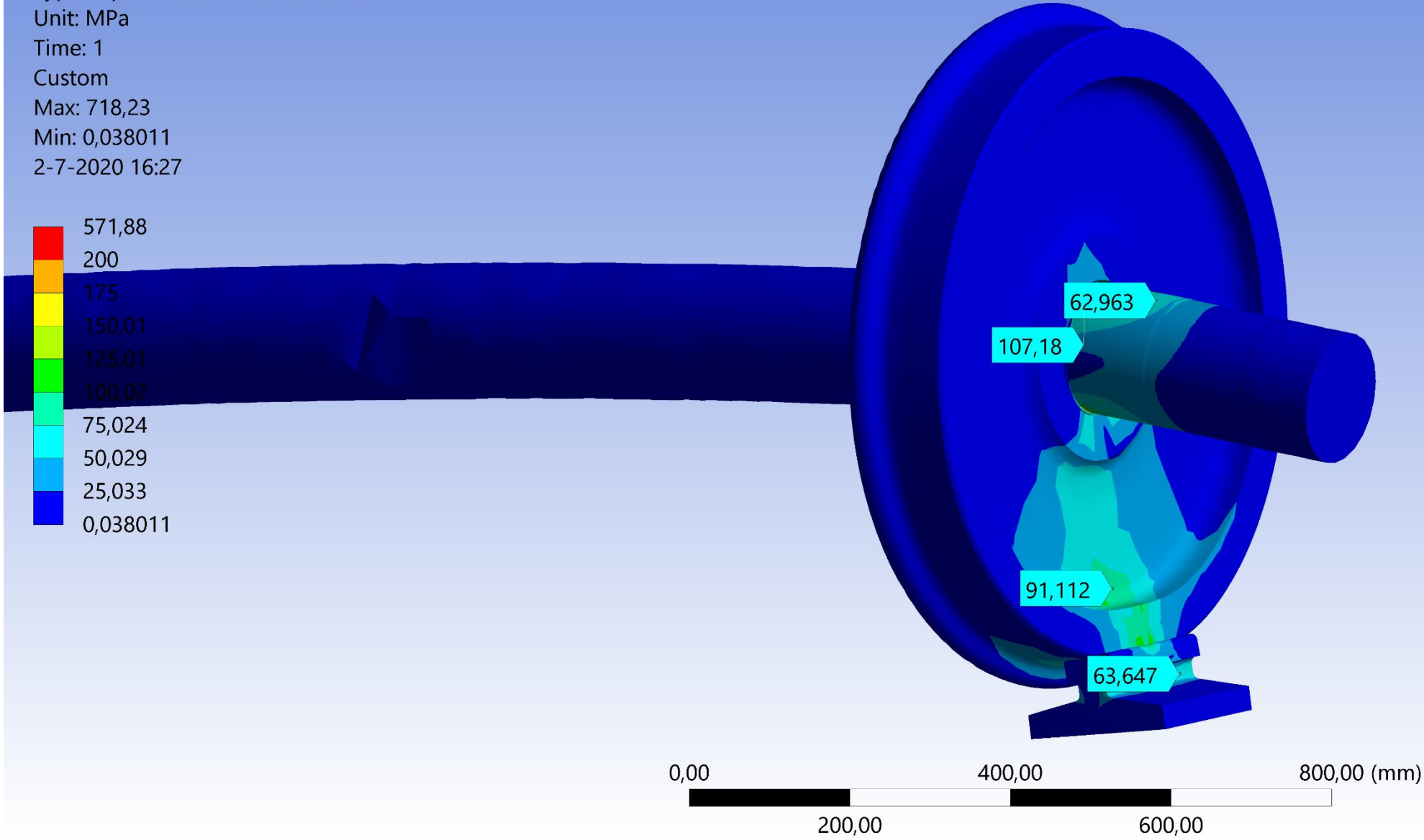
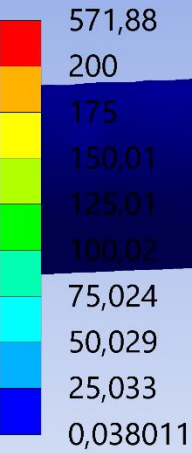


A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom Obsolete
Max: 718,23
Min: 0,038011
2-7-2020 16:39



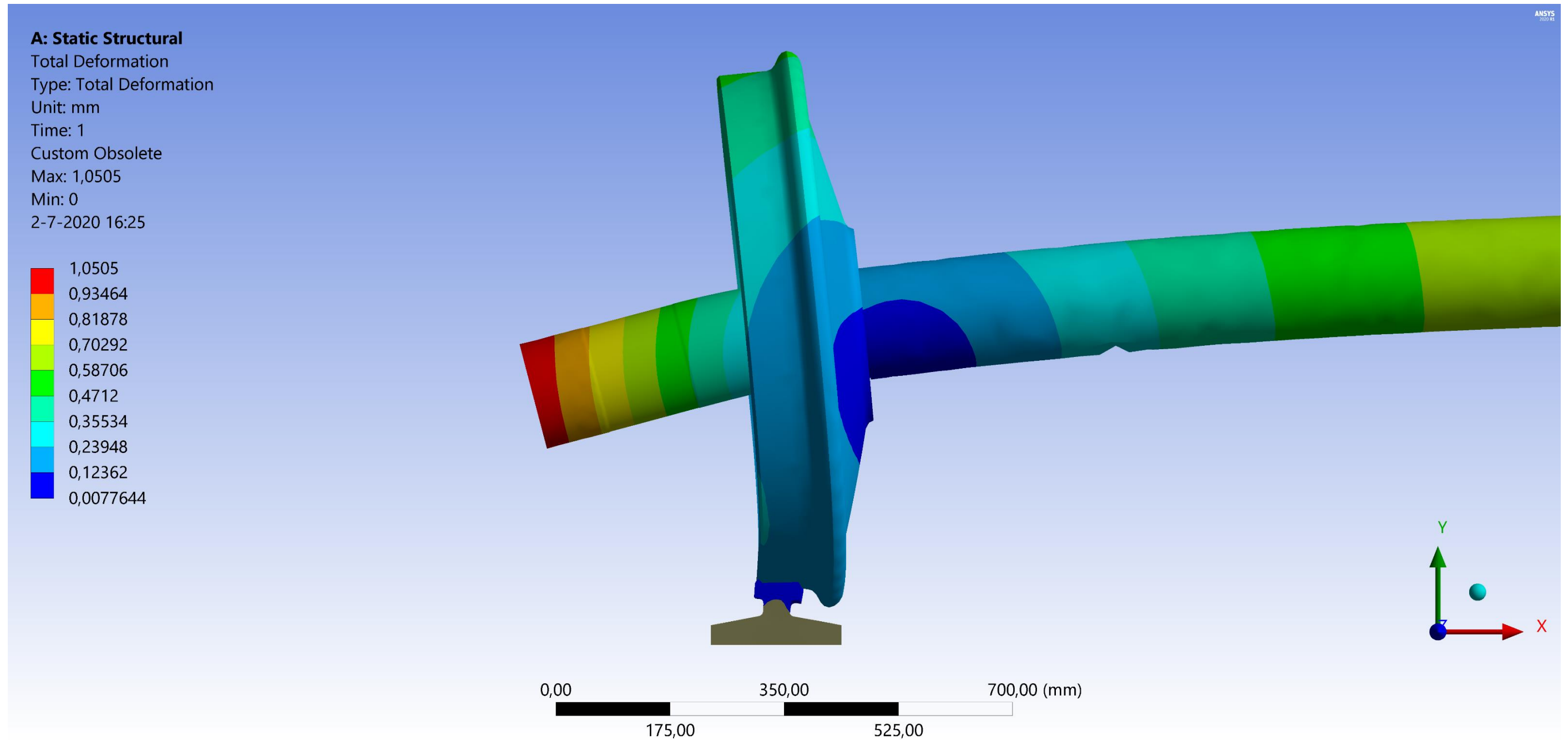
A: Static Structural

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 718,23
Min: 0,038011
2-7-2020 16:27



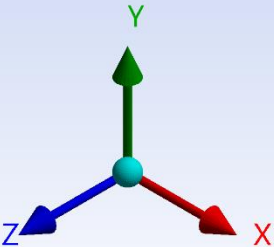
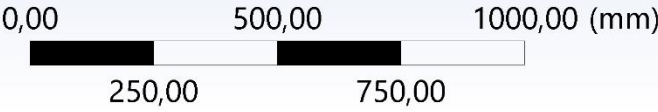
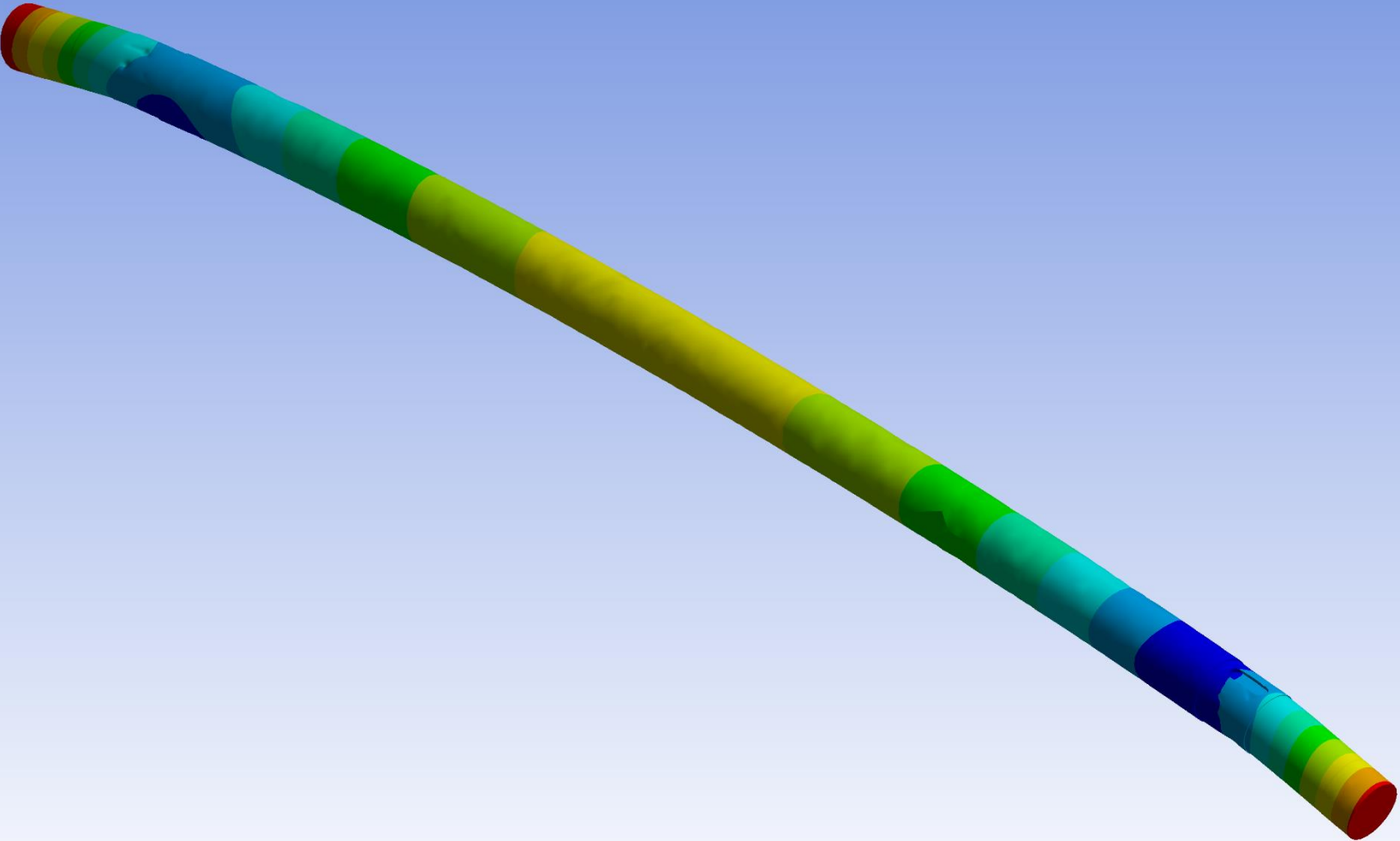
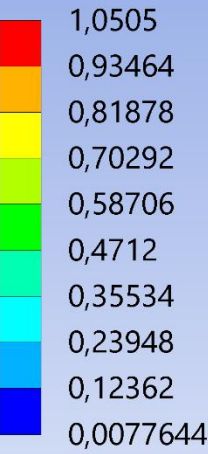
vervormingen

De vervorming is tevens bepaald op basis van 227,5 kN. Dit is exclusief belastingfactoren, dus akkoord voor een bruikbaarheidsgrenstoestand.

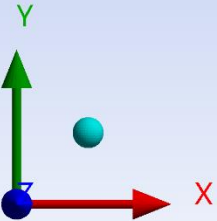
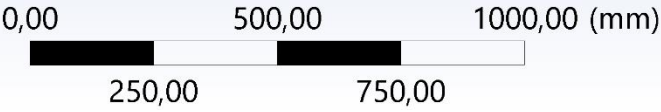
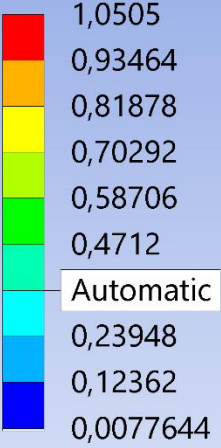


A: Static Structural

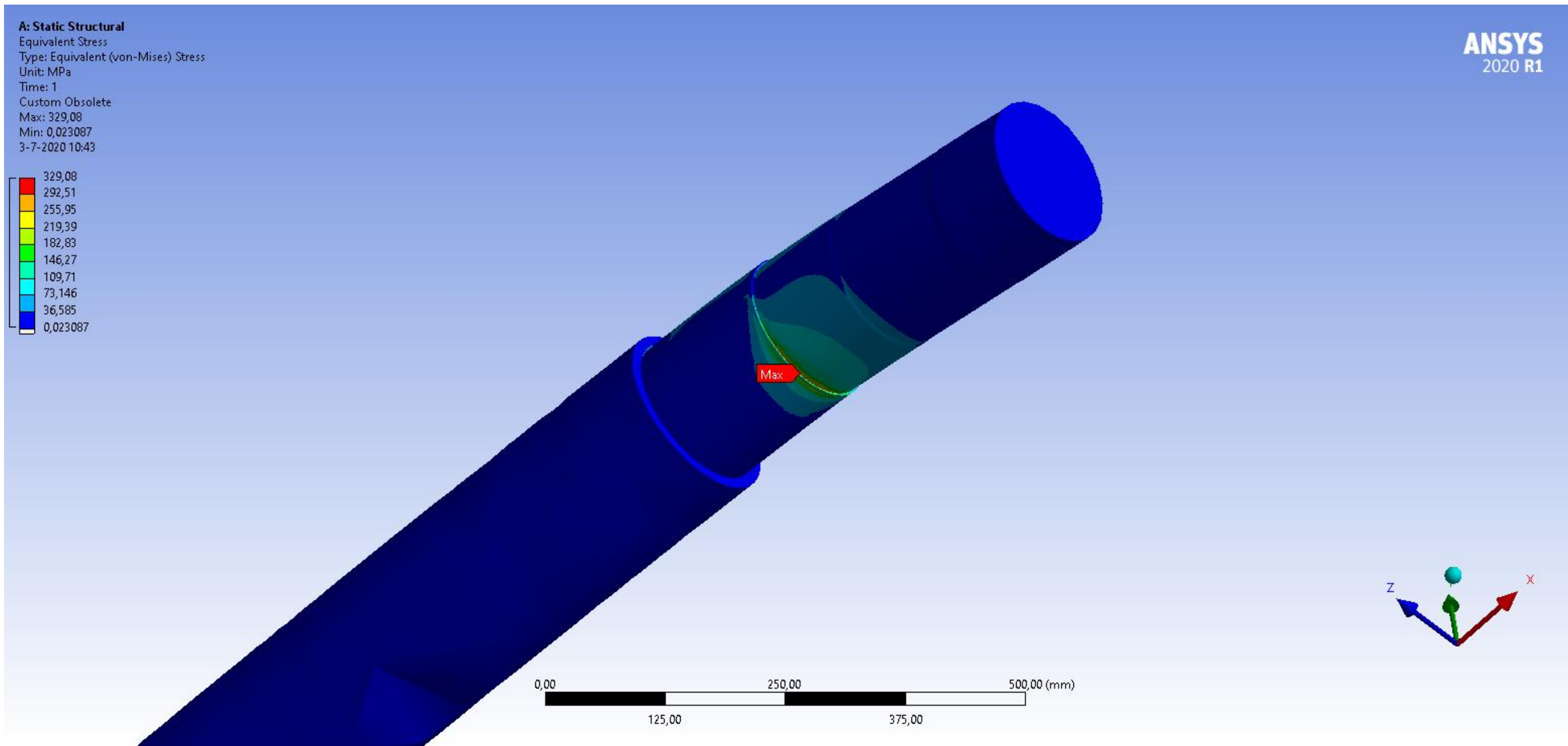
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
Custom
Max: 1,0505
Min: 0
2-7-2020 16:23



A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
Custom
Max: 1,0505
Min: 0
2-7-2020 16:24

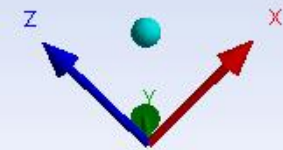
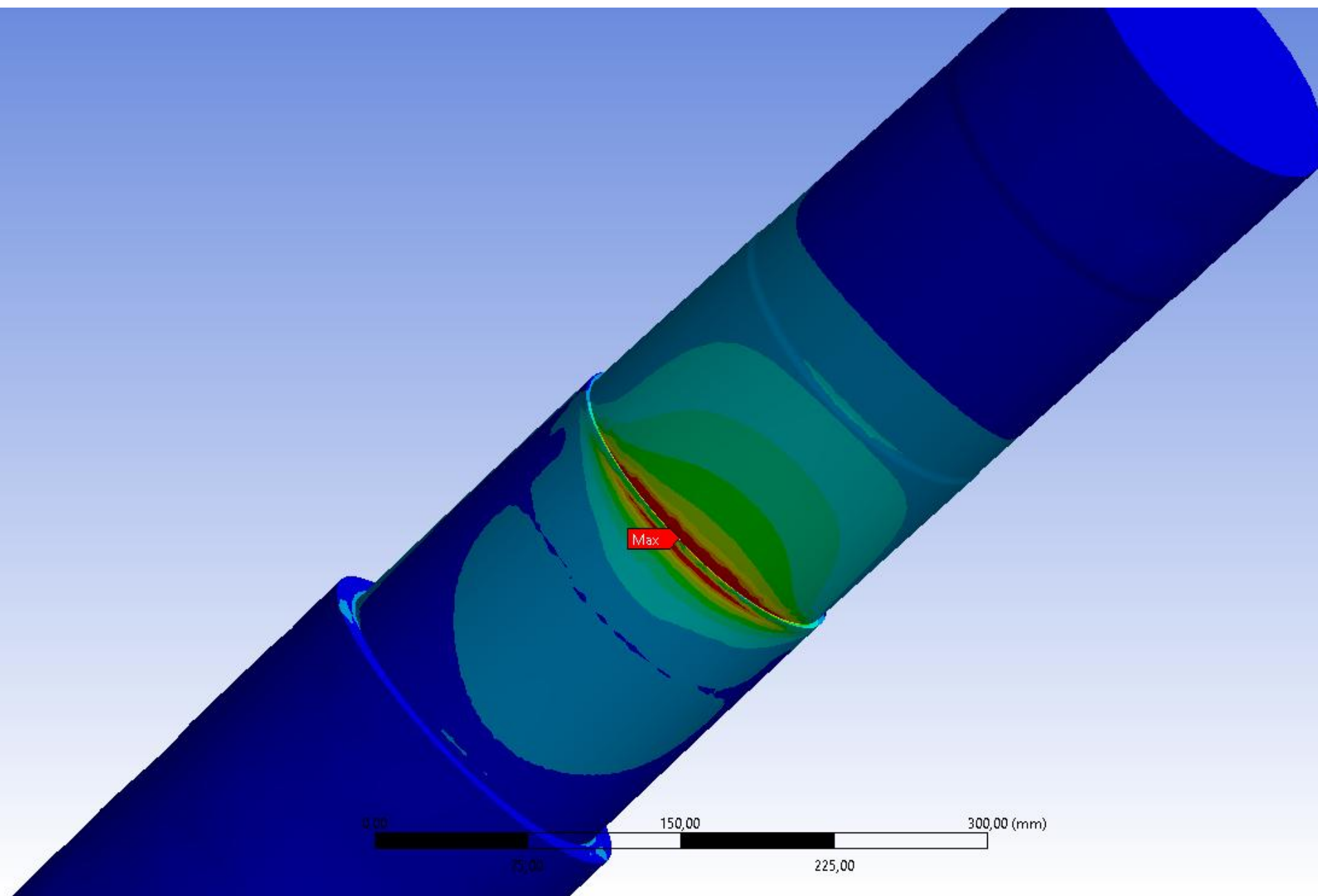
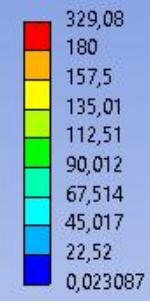


Diameter as tussen wielen aangepast naar Ø190mm overeenkomstig gebroken assen



A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom Obsolete
Max: 329,08
Min: 0,023087
3-7-2020 10:44

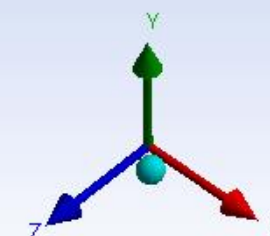
ANSYS
2020 R1

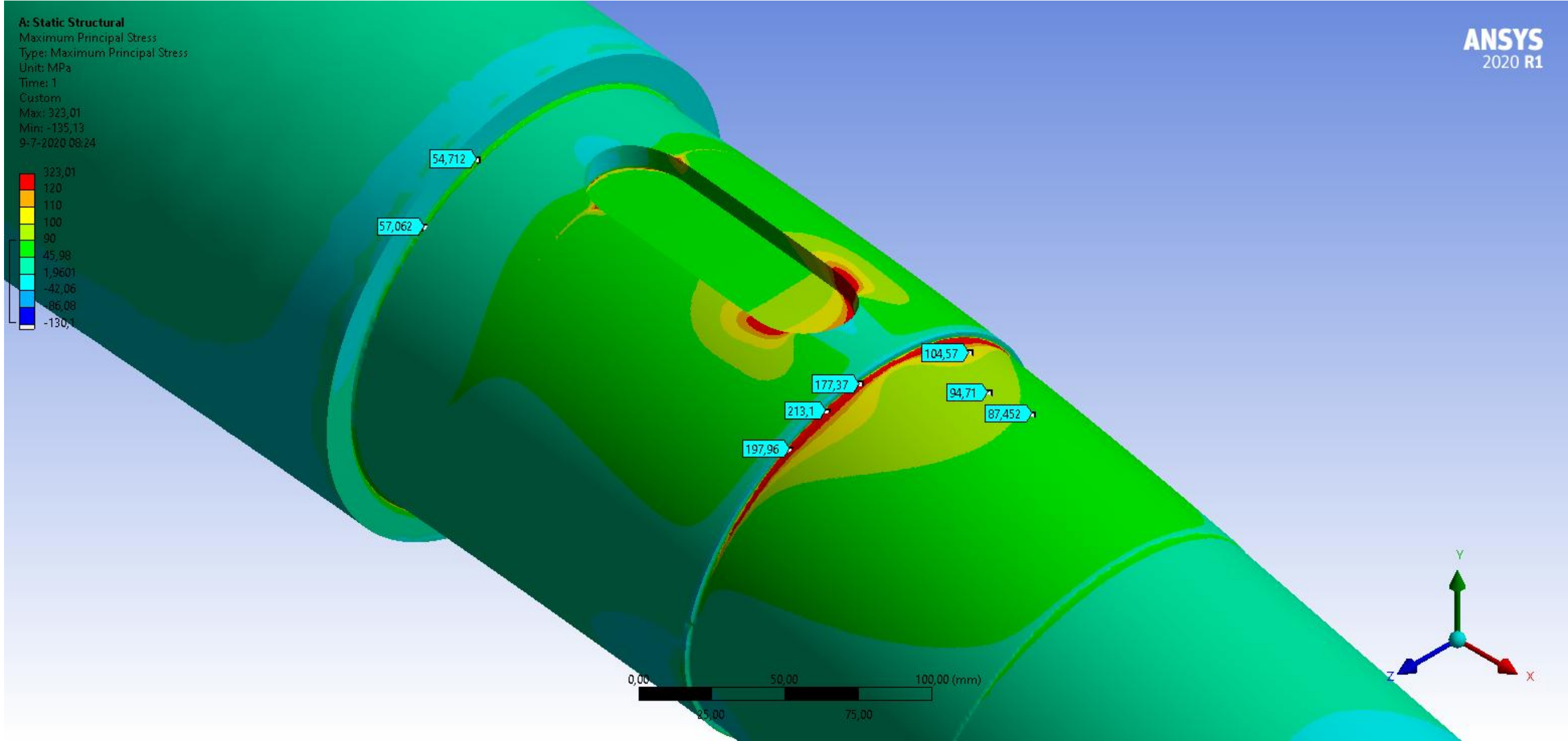


Acoustic Structural
Element 183 (Shell)
Type: Acoustic (Acoustic) (Shell)
Units: mm
Time: 1
Element: 183 (Shell)
Nodes: 183 (Shell)
Nodes: 183 (Shell)
Nodes: 183 (Shell)

329,06
180
157,5
135,01
112,51
90,012
67,514
45,017
22,52
0,023087

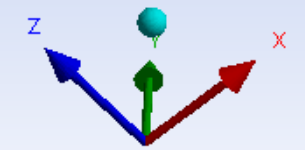
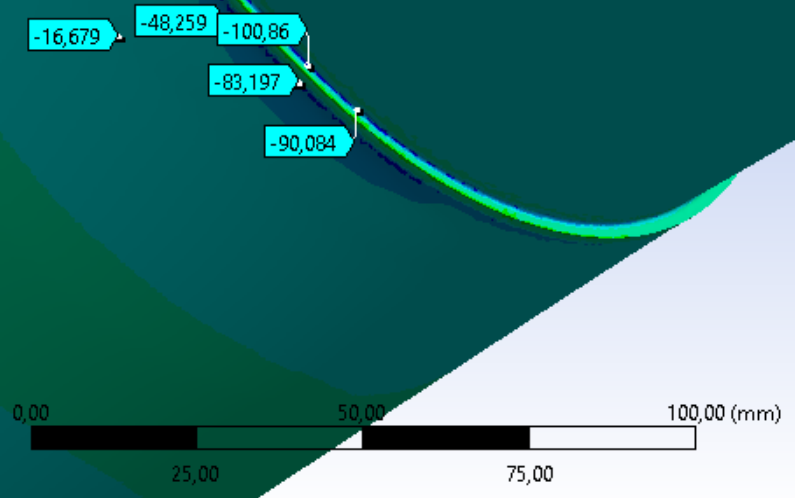
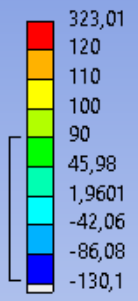
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 (mm)

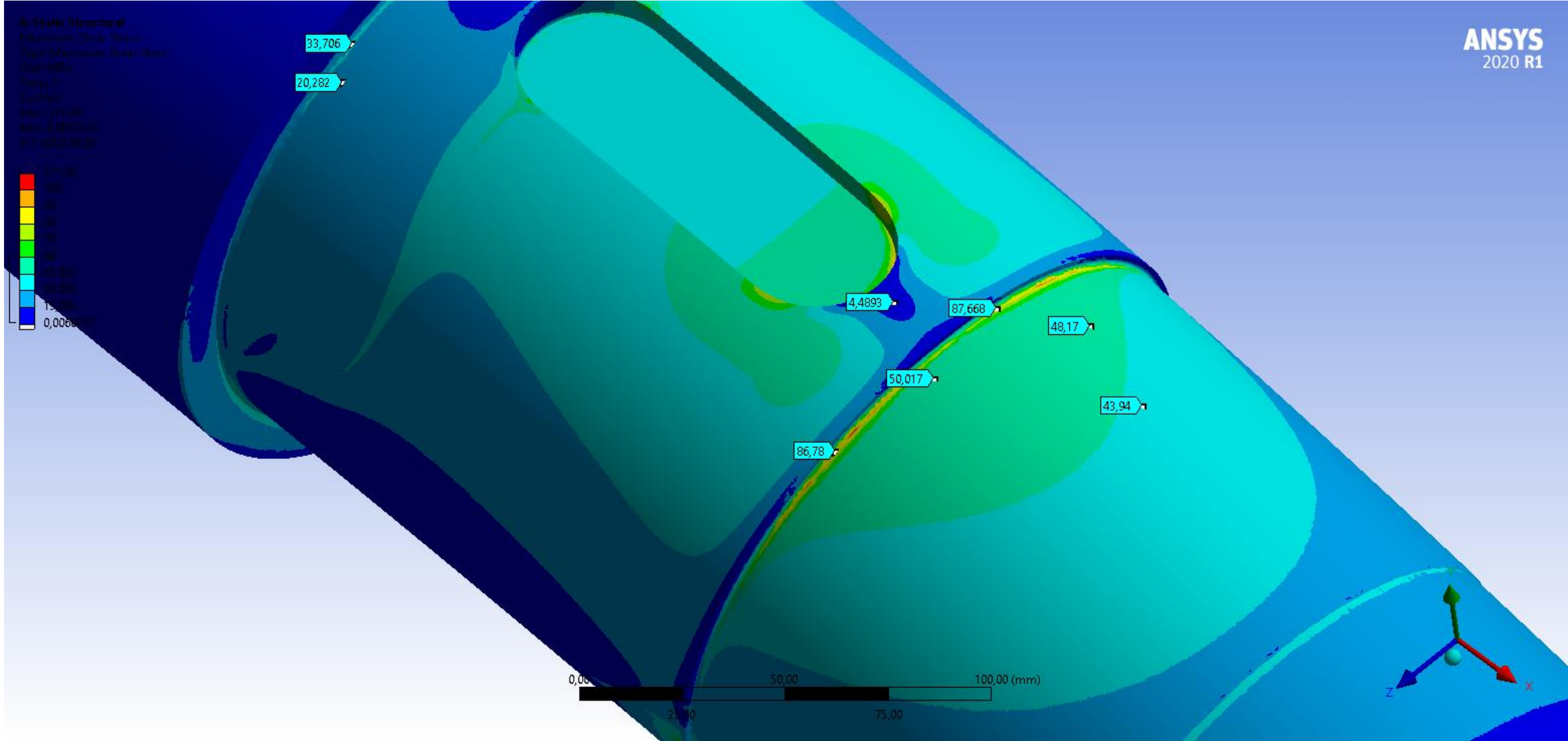




A: Static Structural
Maximum Principal Stress
Type: Maximum Principal Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 323,01
Min: -135,13
9-7-2020 08:30

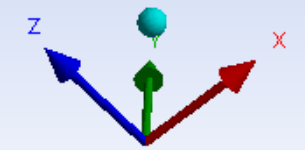
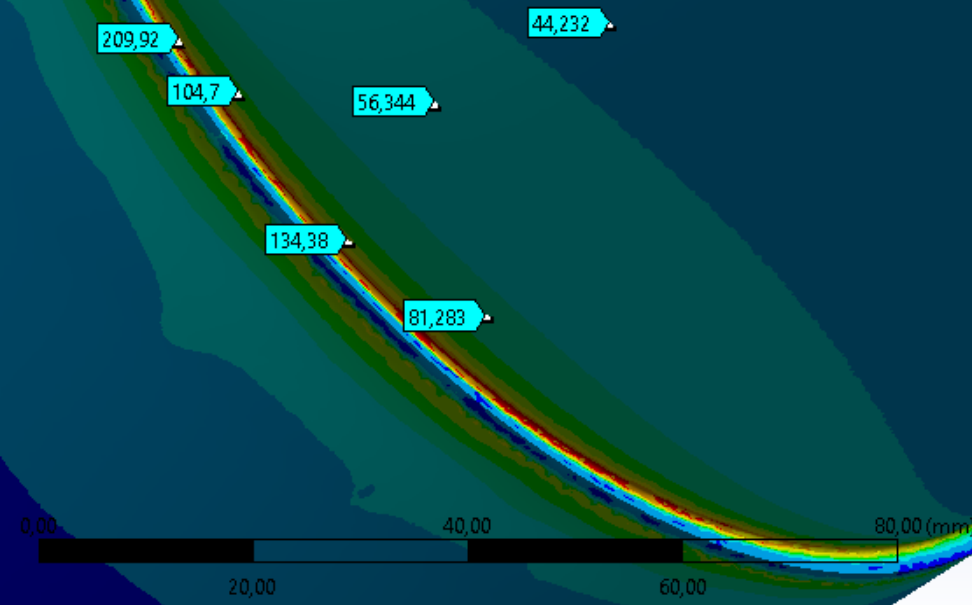
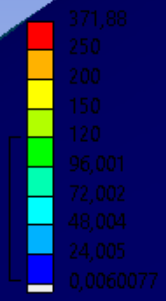
ANSYS
2020 R1





A: Static Structural
Maximum Shear Stress
Type: Maximum Shear Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 371,88
Min: 0,0053125
9-7-2020 08:34

ANSYS
2020 R1



Bijlage 3. Berekening nieuwe assen (situatie 3)

dikte deur	4,9 m		
lengte compartiment	3,34 m		
totaal aantal compartimenter	5		
minimaal benodigd waterballast bij Kanaalpeil NAP+7,9m		94 ton	bepaald op 94 ton op basis van UGT UPL NEN 1997
toelaatbaar netto neerwaartse belasting t.a.v. assen		88 ton	
aantal compartimenten buitenboord dicht	0		max 5
variabele ballast in compartimenten open	122,7 ton		
benodigde ballast in gesloten compartimenten	0,0 ton (totaal)		
<u>berekenen netto neerwaartse belasting bij Waalpeil</u>			
	5,85 m + NAP		
deurgewicht	237,7 ton		
blijvend water gesloten compartimenten	0,0 ton		
variabele ballast	0,0 ton		bij waalpeil > NAP+6,0 en afh. van aantal comp. buitenb.kraan dicht
lekwater onbedoeld	10,0 ton		lekkage verholpen, 5 á 20 cm lekwater ≈ 10 ton
opdrijven ballast	15,2 ton		
opdrijven ijzer en hout	4,5 ton		
opdrijven luchtkist onder	143,2 ton		
opdrijven luchtkist boven	0,0 ton		
netto neer	84,8 ton	< 88 ton -> voldoet	
	84,8 ton, excl blijvende ballast in gesloten compartimenten		

rekenwaarden op basis van NEN6786:2017

gevolgklasse CC1 $K_{FI} = 0,9$

UGT Overbelasten

$V_{G,sup} = 1,17$ *tabel 7 form. 6.10a*
 $V_{G,inf} = 0,9$

$F_{Ed,neer,0} = 143 \text{ ton}$

UGT Vermoeiing

$V_{G,sup} = 1,0$ *tabel 7 form. 6.10a*
 $V_{G,inf} = 1,0$

$F_{Ed,neer,V} = 84,8 \text{ ton}$

Geometrie as truckstel

h.o.h. rail-contact	=	3770 mm
h.o.h. lagers	=	4140 mm
tussen wielen	=	3470 mm
breedte naaf	=	160 mm
max. zijdelings verpl deur	=	55 mm
L_A	=	230 mm
L_B	=	240 mm
B_{lager}	=	160 mm

h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A/B)

h.o.h. afstand lager tot oplegging rail (max. moment C/D)

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.

84,8 ton

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

bijbehorend Waalpeil

5,85 m +NAP

met

10 ton lekwater

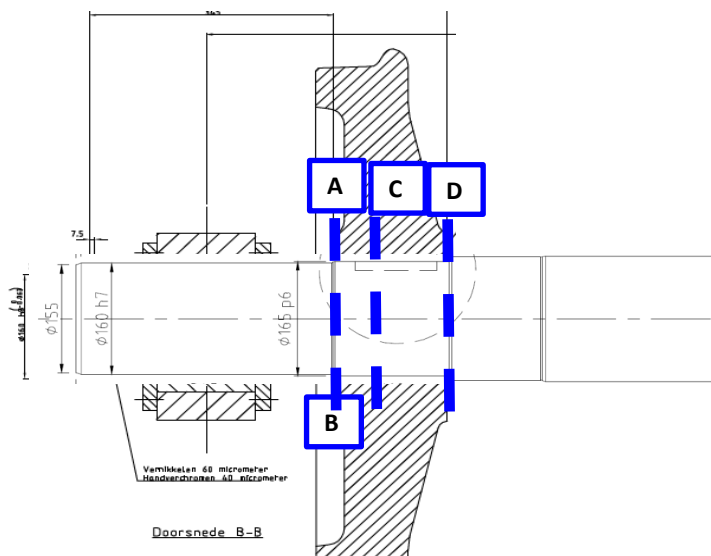
Normaal bedrijf rekenwaarde belasting conform Tabel 7 en 11

	O	V
$R_{ed,tot}$	= 143	84,8 ton
$R_{ed,wiel}$	= 179	106 kN
K	=	-1

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

belasting op 1 astap resp. wiel

spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	= 160 mm	165 mm	165 mm	165 mm
D	= 163 mm	165 mm	165 mm	177 mm
r'	= 1,5 mm	1,0 mm	1,0 mm	5,0 mm
t_1	= 1,5 mm	0 mm	0 mm	6 mm
as-naaf (bijl.B)?	nee	ja	nee	ja
dikte sprong (bijl.A)?	ja	nee	nee	ja
spiebaan (bijl.B.3b)?	nee	nee	ja	nee

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 41 kNm	41 kNm	43 kNm	43 kNm
$V_{O,Ed}$	= 179 kN	179 kN	89 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,23	0,21	0,22	0,22

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 24 kNm	24 kNm	25 kNm	25 kNm
V_V	= 106 kN	106 kN	53 kN	0 kN
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,47	0,93	0,87	0,97

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrNiMo6+QT**

f_y	560 N/mm ²
f_u	800 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	400 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	320 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	185 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	231 N/mm ²

γ_{M0}	=	1	<i>materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden</i>
γ_{Mf}	=	1,15 CC1	<i>materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing</i>
$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00	= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s
K_n	=	1,00	

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	41	kNm	41	kNm	43	kNm	43	kNm
$V_{O,Ed}$	=	179	kN	179	kN	89	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	41	kNm	41	kNm	43	kNm	43	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	102	N/mm ²	93	N/mm ²	97	N/mm ²	97	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	179	kN	179	kN	89	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	9	N/mm ²	8	N/mm ²	4	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	12	N/mm ²	11	N/mm ²	6	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,18	< 1	0,17	< 1	0,17	< 1	0,17	< 1
τ_{Ed}		12	N/mm ²	11	N/mm ²	6	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,06	< 1	0,06	< 1	0,03	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		104	N/mm ²	95	N/mm ²	98	N/mm ²	97	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		129	N/mm ²	118	N/mm ²	122	N/mm ²	122	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,19	< 1	0,17	< 1	0,17	< 1	0,17	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):		0,23	< 1	0,21	< 1	0,22	< 1	0,22	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

UC_{max} = 0,23 < 1 Voldoet

Eigenschappen veredelstaal tot Ø180 uit Tabel E2 (10083-3)				
Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	560
		700	750	800

$M_{b,v,Ed}$	=	24	kNm	24	kNm	25	kNm	25	kNm
$V_{v,Ed}$	=	106	kN	106	kN	53	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm
resultaat	UC =	0,47	< 1	0,93	< 1	0,87	< 1	0,97	< 1

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	163	mm	165	mm	165	mm	177	mm	
r'	=	1,5	mm	5	mm	5	mm	5	mm	
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	6	mm	
as-naaf (bijl.B)?		nee		ja		nee		ja		
dikte sprong (bijl.A)?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d,b} = k _{d,t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d,t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ *β	4,04	β ₀	2,69	voor spiebaan	β	1,35
k _t = k _v = β ₀ *β _τ	2,69	β	1,5		β _τ	1,32
f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b *k _d *k _u)				
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} *k _d *k _u)				
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t *k _d *k _u)				
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v *k _d *k _u)				

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	4,04	4,04	3,63	4,04
k _t = k _v	2,69	2,69	3,55	2,69

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$f_{fat,b,Rd}$	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
$f_{fat,t/c,Rd}$	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
$f_{fat,t,Rd}$	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
$f_{fat,v,Rd}$	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A		pos B		pos C		pos D	
A _B	=	0,66		0,66		0,66		0,66	
r/t	=	1,00		0,00		0,00		0,83	
α _σ	=	2,04		2,95		2,95		2,04	
B _B	=	7,7		7,7		7,7		7,7	
d/D	=	0,98		1,00		1,00		0,93	
C _B	=	0,2		0,2		0,2		0,2	
r/d	=	0,0094		0,0303		0,0303		0,0303	
<u>Torsie:</u>									
A _T	=	3,4		3,4		3,4		3,4	
α _τ	=	1,46		2,04		2,04		1,48	
B _T	=	27		27		27		27	
C _T	=	1		1		1		1	

χ _b	=	1,35	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	0,68	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	
χ _t	=	1,33	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,09		1,05		1,05		1,05		
η _{χt/c}	=	1,06		1,04		1,04		1,04		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,09		1,05		1,05		1,05		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	1,87		2,81		2,81		1,95		
k _{t/c}	=	1,92		2,85		2,85		1,97		
k _t = k _v	=	1,35		1,95		1,95		1,41		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d;v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

M _{b,V}	=	24 kNm	24 kNm	25 kNm	25 kNm
σ _{b,V}	=	61 N/mm ²	55 N/mm ²	58 N/mm ²	58 N/mm ²
σ _{b,V} / (f _{fat,b,Rd} / γ _{Mf})		0,47 < 1	0,93 < 1	0,87 < 1	0,97 < 1
V _V	=	106 kN	106 kN	53 kN	0 kN
τ _{v,V}	=	7,03 N/mm ²	6,61 N/mm ²	3,30 N/mm ²	0,00 N/mm ²
τ _{v,V} / (f _{fat,v,Rd} / γ _{Mf})		0,07 < 1	0,13 < 1	0,08 < 1	0,00 < 1
M _{t,V}	=	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
τ _{t,V}	=	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
τ _{t,V} / (f _{fat,t,Rd} / γ _{Mf})		0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$					
Pos A		pos B		pos C	pos D
0,47 < 1		0,93 < 1		0,87 < 1	0,97 < 1

Maatgevende controle UGT Vermoeiing	UC _{max} =	0,97	< 1 Voldoet
-------------------------------------	---------------------	------	-------------

Controle kruip wiel tegen asØ177

Kruipbelasting volgens 2.3.7

	pos A	pos B	pos C	pos D
F _{kruip,O,Ed}	= - kN	- kN	- kN	89 kN

50% van radiale kracht t.g.v. EG

NB: in de andere richting is het wiel niet opgesloten, kruip in deze richting is in het verleden niet voorgekomen

Toetsing van de vlaktedruk volgens 6.4.2

A = ¹ /4 π(D ² -(d+2r) ²) =	553	mm ²
σ _{max,Ed}	=	162 N/mm ²

			f_y :	γ_{Mo} :
materiaal wiel	42CrMo4+QT	LBAN1998-41146	500 N/mm2	1,0
	GS 60/GE 300	LBAN1990-41876	300 N/mm2	1,15 maatgevend
materiaal as	34CrNiMo6+QT	200509-01	560 N/mm2	1,0

σ _{max,Ed} / (f _y /γ _{M0}) =	0,47 < 1
--	----------

Maatgevende controle UGT vlaktedruk	UC _{max} =	0,47	< 1 Voldoet
-------------------------------------	---------------------	------	-------------

Bijlage 4. Berekening nieuwe assen bij lagere waterstanden (situatie 3)

hoogte bovenkist	1,5 m		
dikte deur	4,9 m		
lengte compartiment	3,34 m		
totaal aantal compartimenter	5		
minimaal benodigd waterballast bij Kanaalpeil NAP+7,9m		94 ton	bepaald op 94 ton op basis van UGT UPL NEN 1997
toelaatbaar netto neerwaartse belasting t.a.v. assen		113 ton	bij een levensduur van 133 maand

aantal compartimenten buitenboord dicht	0	max 5
variabele ballast in compartimenten open	122,7 ton	
benodigde ballast in gesloten compartimenten	0,0 ton (totaal)	

berekenen netto neerwaartse belasting bij Waalpeil 5,50 m + NAP

deurgewicht	237,7 ton	
blijvend water gesloten compartimenten	0,0 ton	
variabele ballast	0,0 ton	bij waalpeil > NAP+6,0 en afh. van aantal comp. buitenb.kraan dicht
lekwater onbedoeld	10,0 ton	lekkage verholpen, 5 á 20 cm lekwater ≈ 10 ton

opdrijven ballast	15,2 ton
opdrijven ijzer en hout	4,5 ton
opdrijven luchtkist onder	114,6 ton

opdrijven luchtkist boven	0,0 ton
---------------------------	---------

netto neer	113,4 ton	> 113 ton -> voldoet niet
------------	-----------	---------------------------

113,4 ton, excl blijvende ballast in gesloten compartimenten

rekenwaarden op basis van NEN6786:2017

gevolgklasse	CC1	$K_{FI} = 0,9$
--------------	-----	----------------

UGT Overbelasten

$V_{G,sup} =$	1,17	tabel 7 form. 6.10a
$V_{G,inf} =$	0,9	

$F_{Ed,neer,0} =$	169 ton
-------------------	---------

UGT Vermoeiing

$V_{G,sup} =$	1,0	tabel 7 form. 6.10a
$V_{G,inf} =$	1,0	

$F_{Ed,neer,V} =$	113,4 ton
-------------------	-----------

Geometrie as truckstel

h.o.h. rail-contact	=	3770	mm
h.o.h. lagers	=	4140	mm
tussen wielen	=	3470	mm
breedte naaf	=	160	mm
max. zijdelings verpl deur	=	55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A/B)

h.o.h. afstand lager tot oplegging rail (max. moment C/D)

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.

113,4 ton

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

bijbehorend Waalpeil

5,50 m +NAP

met

10 ton lekwater

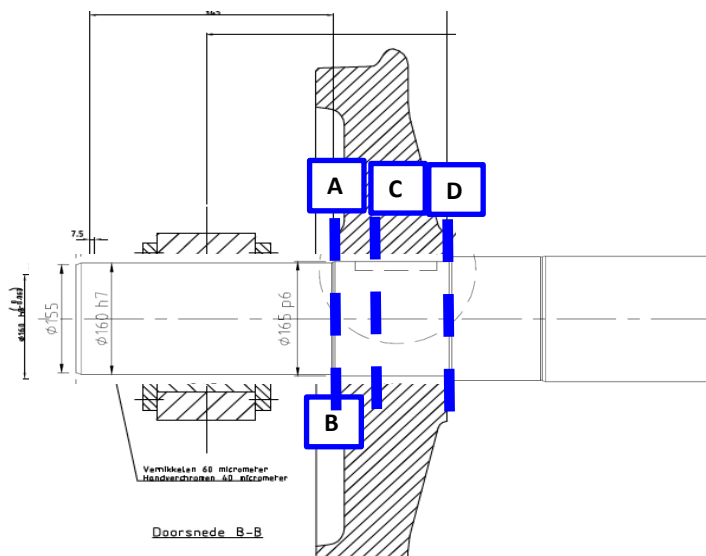
Normaal bedrijf rekenwaarde belasting conform Tabel 7 en 11

	O	V		
$R_{ed,tot}$	=	169	113,4	ton
$R_{ed,wiel}$	=	211	142	kN
K	=	-1		

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

belasting op 1 astap resp. wiel

spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	= 160 mm	165 mm	165 mm	165 mm
D	= 163 mm	165 mm	165 mm	177 mm
r'	= 1,5 mm	1,0 mm	1,0 mm	5,0 mm
t_1	= 1,5 mm	0 mm	0 mm	6 mm
as-naaf (bijl.B)?	nee	ja	nee	ja
dikte sprong (bijl.A)?	ja	nee	nee	ja
spiebaan (bijl.B.3b)?	nee	nee	ja	nee

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 49 kNm	49 kNm	51 kNm	51 kNm
$V_{O,Ed}$	= 211 kN	211 kN	106 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,27	0,25	0,26	0,26

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 33 kNm	33 kNm	34 kNm	34 kNm
V_V	= 142 kN	142 kN	71 kN	0 kN
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,53	0,97	0,91	1,00

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrNiMo6+QT**

f_y	560 N/mm ²
f_u	800 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	400 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	320 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	185 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	231 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,15 CC1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00	= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s
K_n	=	1,00	

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	49 kNm		49 kNm		51 kNm		51 kNm	
$V_{O,Ed}$	=	211 kN		211 kN		106 kN		0 kN	
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0 kNm		0,0 kNm		0 kNm		0 kNm	

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160 mm		165 mm		165 mm		165 mm	
A	=	2,0E+04 mm ²		2,1E+04 mm ²		2,1E+04 mm ²		2,1E+04 mm ²	
W_b	=	4,0E+05 mm ³		4,4E+05 mm ³		4,4E+05 mm ³		4,4E+05 mm ³	
W_t	=	8,0E+05 mm ³		8,8E+05 mm ³		8,8E+05 mm ³		8,8E+05 mm ³	
I_p	=	6,4E+07 mm ⁴		7,3E+07 mm ⁴		7,3E+07 mm ⁴		7,3E+07 mm ⁴	

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	49 kNm		49 kNm		51 kNm		51 kNm	
$\sigma_{t,Ed}$	=	121 N/mm ²		110 N/mm ²		115 N/mm ²		115 N/mm ²	
$V_{O,Ed}$	=	211 kN		211 kN		106 kN		0 kN	
$\tau_{m,Ed}$	=	11 N/mm ²		10 N/mm ²		5 N/mm ²		0 N/mm ²	
$M_{t,O,Ed}$	=	0 kNm		0 kNm		0 kNm		0 kNm	
τ_{Ed}	=	14 N/mm ²		13 N/mm ²		7 N/mm ²		0 N/mm ²	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,22 < 1		0,20 < 1		0,21 < 1		0,21 < 1	
τ_{Ed}		14 N/mm ²		13 N/mm ²		7 N/mm ²		0 N/mm ²	
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,08 < 1		0,07 < 1		0,04 < 1		0,00 < 1	
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		123 N/mm ²		112 N/mm ²		116 N/mm ²		115 N/mm ²	
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		152 N/mm ²		139 N/mm ²		144 N/mm ²		144 N/mm ²	
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,22 < 1		0,20 < 1		0,21 < 1		0,21 < 1	
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):									
		0,27 < 1		0,25 < 1		0,26 < 1		0,26 < 1	

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$UC_{max} \equiv$ **0,27** < 1 Voldoet

Eigenschappen veredelstaal tot Ø180 uit Tabel E2 (10083-3)

Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	560
		700	750	800

$M_{b,v,Ed}$	=	33	kNm	33	kNm	34	kNm	34	kNm
$V_{v,Ed}$	=	142	kN	142	kN	71	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm
resultaat	UC =	0,53	< 1	0,97	< 1	0,91	< 1	1,00	< 1

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	163	mm	165	mm	165	mm	177	mm	
r'	=	1,5	mm	5	mm	5	mm	5	mm	
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	6	mm	
as-naaf (bijl.B)?		nee		ja		nee		ja		
dikte sprong (bijl.A)?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d,b} = k _{d,t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d,t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ *β	4,04	β ₀	2,69	voor spiebaan	β	1,35
k _t = k _v = β ₀ *β _τ	2,69	β	1,5		β _τ	1,32

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b *k _d *k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} *k _d *k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t *k _d *k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v *k _d *k _u)

	Pos A		pos B		pos C		pos D
k _b = k _{t/c}	4,04		4,04		3,63		4,04
k _t = k _v	2,69		2,69		3,55		2,69

	Pos A		pos B		pos C		pos D
f _{fat,b,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A		pos B		pos C		pos D	
A _B	=	0,66		0,66		0,66		0,66	
r/t	=	1,00		0,00		0,00		0,83	
α _σ	=	2,04		2,95		2,95		2,04	
B _B	=	7,7		7,7		7,7		7,7	
d/D	=	0,98		1,00		1,00		0,93	
C _B	=	0,2		0,2		0,2		0,2	
r/d	=	0,0094		0,0303		0,0303		0,0303	
<u>Torsie:</u>									
A _T	=	3,4		3,4		3,4		3,4	
α _τ	=	1,46		2,04		2,04		1,48	
B _T	=	27		27		27		27	
C _T	=	1		1		1		1	

χ _b	=	1,35	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	0,68	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	
χ _t	=	1,33	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,09		1,05		1,05		1,05		
η _{χt/c}	=	1,06		1,04		1,04		1,04		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,09		1,05		1,05		1,05		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	1,87		2,81		2,81		1,95		
k _{t/c}	=	1,92		2,85		2,85		1,97		
k _t = k _v	=	1,35		1,95		1,95		1,41		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d;v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Levensduur:	L _e :jaar	133 maand
Aantal spanningswisselingen:	N	416,6667 /maand
Aantal spanningswisselingen:	N	13 /schutting
Aantal spanningswisselingen:	N	7,2E+05

Wohlerlijn met constante amplitude

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$C_{\phi ob} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,b,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi ot/c} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,t/c,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi tt} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,t,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84
$C_{\phi tv} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,v,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$f_{fat,b,K,N,Rd}$	= 177 N/mm ²	89 N/mm ²	98 N/mm ²	89 N/mm ²
$f_{fat,t/c,K,N,Rd}$	= 177 N/mm ²	89 N/mm ²	98 N/mm ²	89 N/mm ²
$f_{fat,t,K,N,Rd}$	= 137 N/mm ³	74 N/mm ³	57 N/mm ³	74 N/mm ³
$f_{fat,v,K,N,Rd}$	= 137 N/mm ²	74 N/mm ²	57 N/mm ²	74 N/mm ²

Controle doorsneden op vermoeiing conform art. 9.3.2.1

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 33 kNm	33 kNm	34 kNm	34 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 81 N/mm ²	74 N/mm ²	77 N/mm ²	77 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,53 < 1	0,96 < 1	0,91 < 1	1,00 < 1
V_V	= 142 kN	142 kN	71 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 9,40 N/mm ²	8,84 N/mm ²	4,42 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,08 < 1	0,14 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$	Pos A	pos B	pos C	pos D
	0,53 < 1	0,97 < 1	0,91 < 1	1,00 < 1

<u>Maatgevende controle UGT Vermoeiing</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>1,00</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

Controle kruip wiel tegen asØ177

Kruipbelasting volgens 2.3.7

	pos A	pos B	pos C	pos D
$F_{kruip,O,Ed}$	= - kN	- kN	- kN	106 kN

50% van radiale kracht t.g.v. EG

NB: in de andere richting is het wiel niet opgesloten, kruip in deze richting is in het verleden niet voorgekomen

Toetsing van de vlaktedruk volgens 6.4.2

$A = \frac{1}{4} \pi (D^2 - (d+2r)^2) =$	553 mm ²
$\sigma_{max,Ed} =$	191 N/mm ²

			$f_y :$	$Y_{M0} :$	
materiaal wiel	42CrMo4+QT	LBAN1998-41146	500 N/mm2	1,0	
	GS 60/GE 300	LBAN1990-41876	300 N/mm2	1,15	<i>maatgevend</i>
materiaal as	34CrNiMo6+QT	200509-01	560 N/mm2	1,0	
$\sigma_{max,Ed} / (f_y/Y_{M0}) =$				0,55	< 1

<u>Maatgevende controle UGT vlaktedruk</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>0,55</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

hoogte bovenkist	1,5 m		
dikte deur	4,9 m		
lengte compartiment	3,34 m		
totaal aantal compartimenter	5		
minimaal benodigd waterballast bij Kanaalpeil NAP+7,9m		94 ton	bepaald op 94 ton op basis van UGT UPL NEN 1997
toelaatbaar netto neerwaartse belasting t.a.v. assen		155 ton	bij een levensduur van 38 maand
aantal compartimenten buitenboord dicht		0	max 5
variabele ballast in compartimenten open		122,7 ton	
benodigde ballast in gesloten compartimenten		0,0 ton (totaal)	
<u>berekenen netto neerwaartse belasting bij Waalpeil</u>	5,00 m + NAP		
deurgewicht	237,7 ton		
blijvend water gesloten compartimenten	0,0 ton		
variabele ballast	0,0 ton		bij waalpeil > NAP+6,0 en afh. van aantal comp. buitenb.kraan dicht
lekwater onbedoeld	10,0 ton		lekkage verholpen, 5 á 20 cm lekwater ≈ 10 ton
opdrijven ballast	15,2 ton		
opdrijven ijzer en hout	4,5 ton		
opdrijven luchtkist onder	73,6 ton		
opdrijven luchtkist boven	0,0 ton		
netto neer	154,4 ton	< 155 ton -> voldoet	
	154,4 ton, excl blijvende ballast in gesloten compartimenten		
<u>rekenwaarden op basis van NEN6786:2017</u>			
gevolgklasse	CC1	$K_{FI} = 0,9$	
<u>UGT Overbelasten</u>			
$V_{G,sup} =$	1,17	tabel 7 form. 6.10a	
$V_{G,inf} =$	0,9		
$F_{Ed,neer,0} =$	206 ton		
<u>UGT Vermoeiing</u>			
$V_{G,sup} =$	1,0	tabel 7 form. 6.10a	
$V_{G,inf} =$	1,0		
$F_{Ed,neer,V} =$	154,4 ton		

Geometrie as truckstel

h.o.h. rail-contact	=	3770	mm
h.o.h. lagers	=	4140	mm
tussen wielen	=	3470	mm
breedte naaf	=	160	mm
max. zijdelings verpl deur	=	55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A/B)

h.o.h. afstand lager tot oplegging rail (max. moment C/D)

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.

154,4 ton

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

bijbehorend Waalpeil

5,00 m +NAP

met

10 ton lekwater

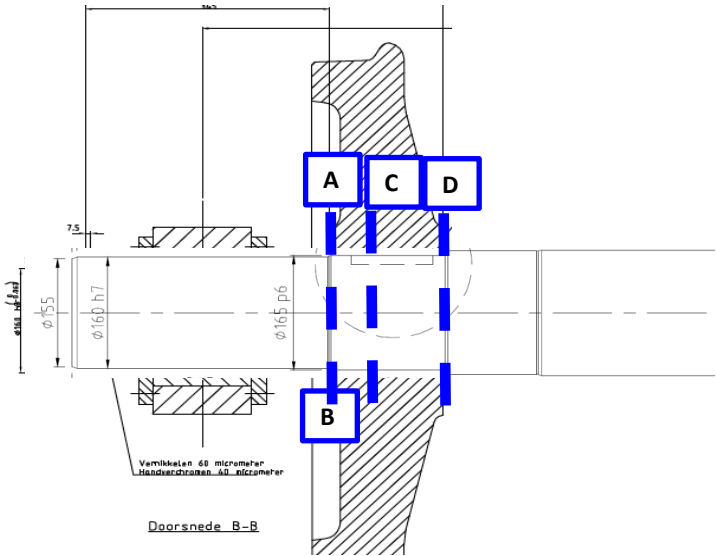
Normaal bedrijf rekenwaarde belasting conform Tabel 7 en 11

	O	V	
$R_{ed,tot}$	=	206	154,4 ton
$R_{ed,wiel}$	=	257	193 kN

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'
belasting op 1 astap resp. wiel

K = -1

spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	= 160 mm	165 mm	165 mm	165 mm
D	= 163 mm	165 mm	165 mm	177 mm
r'	= 1,5 mm	1,0 mm	1,0 mm	5,0 mm
t_1	= 1,5 mm	0 mm	0 mm	6 mm
as-naaf (bijl.B)?	nee	ja	nee	ja
dikte sprong (bijl.A)?	ja	nee	nee	ja
spiebaan (bijl.B.3b)?	nee	nee	ja	nee

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 59 kNm	59 kNm	62 kNm	62 kNm
$V_{O,Ed}$	= 257 kN	257 kN	129 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,33	0,30	0,31	0,31

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 44 kNm	44 kNm	46 kNm	46 kNm
V_V	= 193 kN	193 kN	96 kN	0 kN
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,59	0,97	0,92	1,00

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal **34CrNiMo6+QT**

f_y	560 N/mm ²
f_u	800 N/mm ²
$f_{fat,b} = 0,5 f_u$	400 N/mm ²
$f_{fat,t/c} = 0,4 f_u$	320 N/mm ²
$f_{fat,v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	185 N/mm ²
$f_{fat,t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	231 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,15 CC1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,tabel\ 9}$	=	1,00	= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s
K_n	=	1,00	

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	59 kNm		59 kNm		62 kNm		62 kNm	
$V_{O,Ed}$	=	257 kN		257 kN		129 kN		0 kN	
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0 kNm		0,0 kNm		0 kNm		0 kNm	

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160 mm		165 mm		165 mm		165 mm	
A	=	2,0E+04 mm ²		2,1E+04 mm ²		2,1E+04 mm ²		2,1E+04 mm ²	
W_b	=	4,0E+05 mm ³		4,4E+05 mm ³		4,4E+05 mm ³		4,4E+05 mm ³	
W_t	=	8,0E+05 mm ³		8,8E+05 mm ³		8,8E+05 mm ³		8,8E+05 mm ³	
I_p	=	6,4E+07 mm ⁴		7,3E+07 mm ⁴		7,3E+07 mm ⁴		7,3E+07 mm ⁴	

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	59 kNm		59 kNm		62 kNm		62 kNm	
$\sigma_{t,Ed}$	=	147 N/mm ²		134 N/mm ²		140 N/mm ²		140 N/mm ²	
$V_{O,Ed}$	=	257 kN		257 kN		129 kN		0 kN	
$\tau_{m,Ed}$	=	13 N/mm ²		12 N/mm ²		6 N/mm ²		0 N/mm ²	
$M_{t,O,Ed}$	=	0 kNm		0 kNm		0 kNm		0 kNm	
τ_{Ed}	=	17 N/mm ²		16 N/mm ²		8 N/mm ²		0 N/mm ²	

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,26 < 1		0,24 < 1		0,25 < 1		0,25 < 1	
τ_{Ed}		17 N/mm ²		16 N/mm ²		8 N/mm ²		0 N/mm ²	
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,09 < 1		0,09 < 1		0,04 < 1		0,00 < 1	
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		150 N/mm ²		137 N/mm ²		141 N/mm ²		140 N/mm ²	
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		185 N/mm ²		169 N/mm ²		175 N/mm ²		175 N/mm ²	
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,27 < 1		0,24 < 1		0,25 < 1		0,25 < 1	
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):									
		0,33 < 1		0,30 < 1		0,31 < 1		0,31 < 1	

Maatgevende controle UGT Overbelasten

UC_{max} = 0,33 < 1 Voldoet

Eigenschappen veredelstaal tot Ø180 uit Tabel E2 (10083-3)

Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	560
		700	750	800

$M_{b,V,Ed}$	=	44	kNm	44	kNm	46	kNm	46	kNm
$V_{V,Ed}$	=	193	kN	193	kN	96	kN	0	kN
$M_{t,V,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm
resultaat	UC =	0,59	< 1	0,97	< 1	0,92	< 1	1,00	< 1

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	163	mm	165	mm	165	mm	177	mm	
r'	=	1,5	mm	5	mm	5	mm	5	mm	
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	6	mm	
as-naaf (bijl.B)?		nee		ja		nee		ja		
dikte sprong (bijl.A)?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d,b} = k _{d,t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d,t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ *β	4,04	β ₀	2,69	voor spiebaan	β	1,35
k _t = k _v = β ₀ *β _τ	2,69	β	1,5		β _τ	1,32

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b *k _d *k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} *k _d *k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t *k _d *k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v *k _d *k _u)

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	4,04	4,04	3,63	4,04
k _t = k _v	2,69	2,69	3,55	2,69

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A		pos B		pos C		pos D	
A _B	=	0,66		0,66		0,66		0,66	
r/t	=	1,00		0,00		0,00		0,83	
α _σ	=	2,04		2,95		2,95		2,04	
B _B	=	7,7		7,7		7,7		7,7	
d/D	=	0,98		1,00		1,00		0,93	
C _B	=	0,2		0,2		0,2		0,2	
r/d	=	0,0094		0,0303		0,0303		0,0303	
<u>Torsie:</u>									
A _T	=	3,4		3,4		3,4		3,4	
α _τ	=	1,46		2,04		2,04		1,48	
B _T	=	27		27		27		27	
C _T	=	1		1		1		1	
χ _b	=	1,35	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹
χ _{t/c}	=	0,68	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹
χ _t	=	1,33	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹
η _{χb}	=	1,09		1,05		1,05		1,05	
η _{χt/c}	=	1,06		1,04		1,04		1,04	
η _{χt} = η _{χv}	=	1,09		1,05		1,05		1,05	
k _b	=	1,87		2,81		2,81		1,95	
k _{t/c}	=	1,92		2,85		2,85		1,97	
k _t = k _v	=	1,35		1,95		1,95		1,41	
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25	
k _{d;v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00	
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²

tabel 25

(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)

(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Levensduur:	L _e :jaar	38	maand
Aantal spanningswisselingen:	N	416,6667	/maand
Aantal spanningswisselingen:	N	13	/schutting
Aantal spanningswisselingen:	N	2,1E+05	

Wohlerlijn met constante amplitude

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$C_{\phi ob} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,b,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi ot/c} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,t/c,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi tt} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,t,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84
$C_{\phi tv} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,v,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$f_{fat,b,K,N,Rd}$	= 219 N/mm ²	121 N/mm ²	131 N/mm ²	121 N/mm ²
$f_{fat,t/c,K,N,Rd}$	= 219 N/mm ²	121 N/mm ²	131 N/mm ²	121 N/mm ²
$f_{fat,t,K,N,Rd}$	= 163 N/mm ³	96 N/mm ³	77 N/mm ³	96 N/mm ³
$f_{fat,v,K,N,Rd}$	= 163 N/mm ²	96 N/mm ²	77 N/mm ²	96 N/mm ²

Controle doorsneden op vermoeiing conform art. 9.3.2.1

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 44 kNm	44 kNm	46 kNm	46 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 110 N/mm ²	101 N/mm ²	105 N/mm ²	105 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,58 < 1	0,96 < 1	0,92 < 1	1,00 < 1
V_V	= 193 kN	193 kN	96 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 12,79 N/mm ²	12,03 N/mm ²	6,02 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,09 < 1	0,14 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$	Pos A	pos B	pos C	pos D
	0,59 < 1	0,97 < 1	0,92 < 1	1,00 < 1

<u>Maatgevende controle UGT Vermoeiing</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>1,00</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

Controle kruip wiel tegen asØ177

Kruipbelasting volgens 2.3.7

	pos A	pos B	pos C	pos D
$F_{kruip,O,Ed}$	= - kN	- kN	- kN	129 kN

50% van radiale kracht t.g.v. EG

NB: in de andere richting is het wiel niet opgesloten, kruip in deze richting is in het verleden niet voorgekomen

Toetsing van de vlaktedruk volgens 6.4.2

$A = \frac{1}{4} \pi (D^2 - (d+2r)^2) =$	553 mm ²
$\sigma_{max,Ed} =$	233 N/mm ²

	f_y :	γ_{M0} :
materiaal wiel	42CrMo4+QT	LBAN1998-41146
	GS 60/GE 300	LBAN1990-41876
materiaal as	34CrNiMo6+QT	200509-01
$\sigma_{max,Ed} / (f_y / \gamma_{M0}) =$	500 N/mm2	1,0
	300 N/mm2	1,15 <i>maatgevend</i>
	560 N/mm2	1,0
		0,67 < 1

<u>Maatgevende controle UGT vlaktedruk</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>0,67</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

hoogte bovenkist	1,5 m		
dikte deur	4,9 m		
lengte compartiment	3,34 m		
totaal aantal compartimenter	5		
minimaal benodigd waterballast bij Kanaalpeil NAP+7,9m		94 ton	bepaald op 94 ton op basis van UGT UPL NEN 1997
toelaatbaar netto neerwaartse belasting t.a.v. assen		198 ton	bij een levensduur van 14 maand

aantal compartimenten buitenboord dicht	0	max 5
variabele ballast in compartimenten open	122,7 ton	
benodigde ballast in gesloten compartimenten	0,0 ton (totaal)	

berekenen netto neerwaartse belasting bij Waalpeil 4,50 m + NAP

deurgewicht	237,7 ton	
blijvend water gesloten compartimenten	0,0 ton	
variabele ballast	0,0 ton	bij waalpeil > NAP+6,0 en afh. van aantal comp. buitenb.kraan dicht
lekwater onbedoeld	10,0 ton	lekkage verholpen, 5 á 20 cm lekwater ≈ 10 ton

opdrijven ballast	15,2 ton
opdrijven ijzer en hout	4,5 ton
opdrijven luchtkist onder	32,7 ton

opdrijven luchtkist boven	0,0 ton
---------------------------	---------

netto neer	195,3 ton	< 198 ton -> voldoet
------------	-----------	----------------------

195,3 ton, excl blijvende ballast in gesloten compartimenten

rekenwaarden op basis van NEN6786:2017

gevolgklasse	CC1	$K_{FI} = 0,9$
--------------	-----	----------------

UGT Overbelasten

$V_{G,sup} =$	1,17	tabel 7 form. 6.10a
$V_{G,inf} =$	0,9	

$F_{Ed,neer,0} =$	243 ton
-------------------	---------

UGT Vermoeiing

$V_{G,sup} =$	1,0	tabel 7 form. 6.10a
$V_{G,inf} =$	1,0	

$F_{Ed,neer,V} =$	195,3 ton
-------------------	-----------

Geometrie as truckstel

h.o.h. rail-contact	=	3770	mm
h.o.h. lagers	=	4140	mm
tussen wielen	=	3470	mm
breedte naaf	=	160	mm
max. zijdelings verpl deur	=	55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A/B)

h.o.h. afstand lager tot oplegging rail (max. moment C/D)

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.

195,3 ton

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

bijbehorend Waalpeil

4,50 m +NAP

met

10 ton lekwater

Normaal bedrijf rekenwaarde belasting conform Tabel 7 en 11

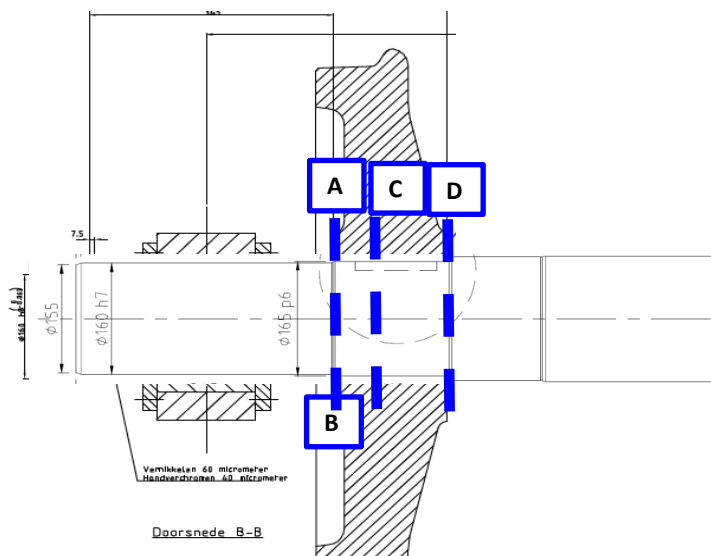
	O	V	
$R_{ed,tot}$	=	243	195,3 ton
$R_{ed,wiel}$	=	303	244 kN

totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'

belasting op 1 astap resp. wiel

K = -1

spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

	Pos A	Pos B	Pos C	Pos D
d	= 160 mm	165 mm	165 mm	165 mm
D	= 163 mm	165 mm	165 mm	177 mm
r'	= 1,5 mm	1,0 mm	1,0 mm	5,0 mm
t_1	= 1,5 mm	0 mm	0 mm	6 mm
as-naaf (bijl.B)?	nee	ja	nee	ja
dikte sprong (bijl.A)?	ja	nee	nee	ja
spiebaan (bijl.B.3b)?	nee	nee	ja	nee

UGT Overbelasten:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,O,Ed}$	= 70 kNm	70 kNm	73 kNm	73 kNm
$V_{O,Ed}$	= 303 kN	303 kN	152 kN	0 kN
$M_{t,O,Ed}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,39	0,36	0,37	0,37

UGT Vermoeiing:

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 56 kNm	56 kNm	59 kNm	59 kNm
V_V	= 244 kN	244 kN	122 kN	0 kN
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
resultaat UC =	0,63	0,96	0,92	0,99

Materiaalgrootheden en factoren

Materiaal 34CrNiMo6+QT

f_y	560 N/mm ²
f_u	800 N/mm ²
$f_{\text{fat},b} = 0,5 f_u$	400 N/mm ²
$f_{\text{fat},t/c} = 0,4 f_u$	320 N/mm ²
$f_{\text{fat},v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	185 N/mm ²
$f_{\text{fat},t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	231 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,15 CC1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,\text{Tabel 9}}$	=	1,00	= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s
K_n	=	1,00	

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	70	kNm	70	kNm	73	kNm	73	kNm
$V_{O,Ed}$	=	303	kN	303	kN	152	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	70	kNm	70	kNm	73	kNm	73	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	173	N/mm ²	158	N/mm ²	165	N/mm ²	165	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	303	kN	303	kN	152	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	15	N/mm ²	14	N/mm ²	7	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	20	N/mm ²	19	N/mm ²	9	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,31	< 1	0,28	< 1	0,29	< 1	0,29	< 1
τ_{Ed}		20	N/mm ²	19	N/mm ²	9	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,11	< 1	0,10	< 1	0,05	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		177	N/mm ²	162	N/mm ²	166	N/mm ²	165	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		218	N/mm ²	199	N/mm ²	207	N/mm ²	206	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,32	< 1	0,29	< 1	0,30	< 1	0,29	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):									
		0,39	< 1	0,36	< 1	0,37	< 1	0,37	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten $UC_{max} = 0,39 < 1$ VoldoetEigenschappen veredelstaal tot Ø180 uit Tabel E2 (10083-3)

Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	560
		700	750	800

$M_{b,v,Ed}$	=	56	kNm	56	kNm	59	kNm	59	kNm
$V_{v,Ed}$	=	244	kN	244	kN	122	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm
resultaat	UC =	0,63	< 1	0,96	< 1	0,92	< 1	0,99	< 1

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	163	mm	165	mm	165	mm	177	mm	
r'	=	1,5	mm	5	mm	5	mm	5	mm	
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	6	mm	
as-naaf (bijl.B)?		nee		ja		nee		ja		
dikte sprong (bijl.A)?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d,b} = k _{d,t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d,t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ *β	4,04	β ₀	2,69	voor spiebaan	β	1,35
k _t = k _v = β ₀ *β _τ	2,69	β	1,5		β _τ	1,32

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b *k _d *k _u)	
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} *k _d *k _u)	
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t *k _d *k _u)	
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v *k _d *k _u)	

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	4,04	4,04	3,63	4,04
k _t = k _v	2,69	2,69	3,55	2,69

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A		pos B		pos C		pos D	
A _B	=	0,66		0,66		0,66		0,66	
r/t	=	1,00		0,00		0,00		0,83	
α _σ	=	2,04		2,95		2,95		2,04	
B _B	=	7,7		7,7		7,7		7,7	
d/D	=	0,98		1,00		1,00		0,93	
C _B	=	0,2		0,2		0,2		0,2	
r/d	=	0,0094		0,0303		0,0303		0,0303	
<u>Torsie:</u>									
A _T	=	3,4		3,4		3,4		3,4	
α _τ	=	1,46		2,04		2,04		1,48	
B _T	=	27		27		27		27	
C _T	=	1		1		1		1	
χ _b	=	1,35	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹
χ _{t/c}	=	0,68	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹
χ _t	=	1,33	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹
η _{χb}	=	1,09		1,05		1,05		1,05	
η _{χt/c}	=	1,06		1,04		1,04		1,04	
η _{χt} = η _{χv}	=	1,09		1,05		1,05		1,05	
k _b	=	1,87		2,81		2,81		1,95	
k _{t/c}	=	1,92		2,85		2,85		1,97	
k _t = k _v	=	1,35		1,95		1,95		1,41	
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25	
k _{d;v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00	
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²

tabel 25

(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)

(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Levensduur:	L _e :jaar	14 maanden
Aantal spanningswisselingen:	N	416,6667 /maand
Aantal spanningswisselingen:	N	13 /schutting
Aantal spanningswisselingen:	N	7,6E+04

Wohlerlijn met constante amplitude

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$C_{\phi ob} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,b,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi ot/c} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,t/c,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi tt} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,t,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84
$C_{\phi tv} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,v,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$f_{fat,b,K,N,Rd}$	= 259 N/mm ²	155 N/mm ²	166 N/mm ²	155 N/mm ²
$f_{fat,t/c,K,N,Rd}$	= 259 N/mm ²	155 N/mm ²	166 N/mm ²	155 N/mm ²
$f_{fat,t,K,N,Rd}$	= 187 N/mm ³	117 N/mm ³	97 N/mm ³	117 N/mm ³
$f_{fat,v,K,N,Rd}$	= 187 N/mm ²	117 N/mm ²	97 N/mm ²	117 N/mm ²

Controle doorsneden op vermoeiing conform art. 9.3.2.1

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 56 kNm	56 kNm	59 kNm	59 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 140 N/mm ²	127 N/mm ²	133 N/mm ²	133 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,62 < 1	0,94 < 1	0,92 < 1	0,99 < 1
V_V	= 244 kN	244 kN	122 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 16,19 N/mm ²	15,22 N/mm ²	7,61 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,10 < 1	0,15 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mf}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mf}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mf}))^2]} \leq 1$	Pos A	pos B	pos C	pos D
	0,63 < 1	0,96 < 1	0,92 < 1	0,99 < 1

<u>Maatgevende controle UGT Vermoeiing</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>0,99</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

Controle kruip wiel tegen asØ177

Kruipbelasting volgens 2.3.7

	pos A	pos B	pos C	pos D
$F_{kruip,O,Ed}$	= - kN	- kN	- kN	152 kN

50% van radiale kracht t.g.v. EG

NB: in de andere richting is het wiel niet opgesloten, kruip in deze richting is in het verleden niet voorgekomen

Toetsing van de vlaktedruk volgens 6.4.2

$A = \frac{1}{4} \pi(D^2 - (d+2r)^2) =$	553 mm ²
$\sigma_{max,Ed} =$	274 N/mm ²

			$f_y :$	$Y_{M0} :$	
materiaal wiel	42CrMo4+QT	LBAN1998-41146	500 N/mm2	1,0	
	GS 60/GE 300	LBAN1990-41876	300 N/mm2	1,15	<i>maatgevend</i>
materiaal as	34CrNiMo6+QT	200509-01	560 N/mm2	1,0	
$\sigma_{\max,Ed} / (f_y/Y_{M0}) =$			0,79 < 1		

<u>Maatgevende controle UGT vlaktedruk</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>0,79</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

hoogte bovenkist	1,5 m		
dikte deur	4,9 m		
lengte compartiment	3,34 m		
totaal aantal compartimenter	5		
minimaal benodigd waterballast bij Kanaalpeil NAP+7,9m		94 ton	bepaald op 94 ton op basis van UGT UPL NEN 1997
toelaatbaar netto neerwaartse belasting t.a.v. assen		235 ton	bij een levensduur van 7 maand
aantal compartimenten buitenboord dicht	0		max 5
variabele ballast in compartimenten open	122,7 ton		
benodigde ballast in gesloten compartimenten	0,0 ton (totaal)		
<u>berekenen netto neerwaartse belasting bij Waalpeil</u>	4,00 m + NAP		
deurgewicht	237,7 ton		
blijvend water gesloten compartimenten	0,0 ton		
variabele ballast	0,0 ton		bij waalpeil > NAP+6,0 en afh. van aantal comp. buitenb.kraan dicht
lekwater onbedoeld	10,0 ton		lekkage verholpen, 5 á 20 cm lekwater ≈ 10 ton
opdrijven ballast	15,2 ton		
opdrijven ijzer en hout	4,5 ton		
opdrijven luchtkist onder	0,0 ton		
opdrijven luchtkist boven	0,0 ton		
netto neer	228,0 ton	< 235 ton -> voldoet	
	228,0 ton, excl blijvende ballast in gesloten compartimenten		

rekenwaarden op basis van NEN6786:2017

gevolgklasse CC1 $K_{FI} = 0,9$

UGT Overbelasten

$V_{G,sup} = 1,17$ *tabel 7 form. 6.10a*
 $V_{G,inf} = 0,9$

$F_{Ed,neer,0} = 272$ ton

UGT Vermoeiing

$V_{G,sup} = 1,0$ *tabel 7 form. 6.10a*
 $V_{G,inf} = 1,0$

$F_{Ed,neer,V} = 228,0$ ton

Geometrie as truckstel

h.o.h. rail-contact	=	3770	mm
h.o.h. lagers	=	4140	mm
tussen wielen	=	3470	mm
breedte naaf	=	160	mm
max. zijdelings verpl deur	=	55	mm
L_A	=	230	mm
L_B	=	240	mm
B_{lager}	=	160	mm

h.o.h. afstand lager tot buitenkant wiel (punt A/B)

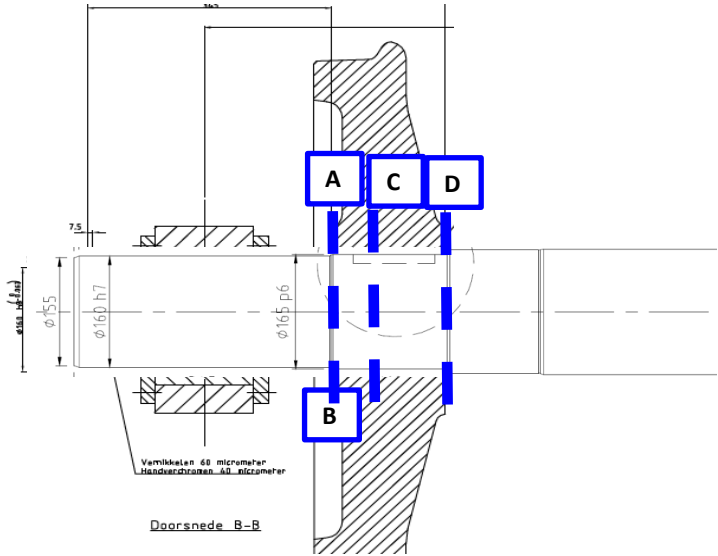
h.o.h. afstand lager tot oplegging rail (max. moment C/D)

breedte lager

netto neerwaartse belasting rep.	228,0	ton	totaal voor de hele deur uit tabblad '19436 roldeur belasting'
bijbehorend Waalpeil	4,00	m +NAP	met 10 ton lekwater
Normaal bedrijf rekenwaarde belasting conform Tabel 7 en 11			

	O	V		
$R_{ed,tot}$	=	272	228,0	ton
$R_{ed,wiel}$	=	340	285	kN
K	=	-1		

spanningsverhouding $\sigma_{min}/\sigma_{max}$



Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D	
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm
D	=	163	mm	165	mm	165	mm	177	mm
r'	=	1,5	mm	1,0	mm	1,0	mm	5,0	mm
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	6	mm
as-naaf (bijl.B)?		nee		ja		nee		ja	
dikte sprong (bijl.A)?		ja		nee		nee		ja	
spiebaan (bijl.B.3b)?		nee		nee		ja		nee	

UGT Overbelasten:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	78	kNm	78	kNm	82	kNm	82	kNm
$V_{O,Ed}$	=	340	kN	340	kN	170	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,44		0,40		0,41		0,41	

UGT Vermoeiing:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,V}$	=	66	kNm	66	kNm	68	kNm	68	kNm
V_V	=	285	kN	285	kN	143	kN	0	kN
$M_{t,V}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm	0,0	kNm
resultaat	UC =	0,65		0,94		0,91		0,97	

Materiaalgrootheden en factoren34CrNiMo6+QT

f_y	560 N/mm ²
f_u	800 N/mm ²
$f_{\text{fat},b} = 0,5 f_u$	400 N/mm ²
$f_{\text{fat},t/c} = 0,4 f_u$	320 N/mm ²
$f_{\text{fat},v} = 0,4 f_u / \sqrt{3}$	185 N/mm ²
$f_{\text{fat},t} = 0,5 f_u / \sqrt{3}$	231 N/mm ²

γ_{M0}	=	1
γ_{Mf}	=	1,15 CC1

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van doorsneden

materiaalfactor conform Tabel 22 voor toetsing van vermoeiing

$K_{n,\text{Tabel 9}}$	=	1,00	= 1 als $n \leq 0,1$ omw/s
K_n	=	1,00	

UGT-overbelasten

		pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	78	kNm	78	kNm	82	kNm	82	kNm
$V_{O,Ed}$	=	340	kN	340	kN	170	kN	0	kN
$M_{t,O,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm

Afmetingen as

De as bestaat heeft per positie de volgende eigenschappen:

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm
A	=	2,0E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²	2,1E+04	mm ²
W_b	=	4,0E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³	4,4E+05	mm ³
W_t	=	8,0E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³	8,8E+05	mm ³
I_p	=	6,4E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴	7,3E+07	mm ⁴

$\sigma_{t,Ed}$	=	$M_{b,Ed} / W_b$
τ_{Ed}	=	$4/3 \cdot V_{Ed} / A + M_{t,Ed} / W_t$
$\tau_{m,Ed}$	=	V_{Ed} / A

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$M_{b,O,Ed}$	=	78	kNm	78	kNm	82	kNm	82	kNm
$\sigma_{t,Ed}$	=	195	N/mm ²	177	N/mm ²	185	N/mm ²	185	N/mm ²
$V_{O,Ed}$	=	340	kN	340	kN	170	kN	0	kN
$\tau_{m,Ed}$	=	17	N/mm ²	16	N/mm ²	8	N/mm ²	0	N/mm ²
$M_{t,O,Ed}$	=	0	kNm	0	kNm	0	kNm	0	kNm
τ_{Ed}	=	23	N/mm ²	21	N/mm ²	11	N/mm ²	0	N/mm ²

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
$\sigma_{t,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,35	< 1	0,32	< 1	0,33	< 1	0,33	< 1
τ_{Ed}		23	N/mm ²	21	N/mm ²	11	N/mm ²	0	N/mm ²
$\tau_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0} / \sqrt{3})$		0,12	< 1	0,11	< 1	0,06	< 1	0,00	< 1
$\sqrt{(\sigma_{t,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)}$		198	N/mm ²	181	N/mm ²	186	N/mm ²	185	N/mm ²
$\sqrt{((1,25 \cdot \sigma_d)^2 + 3 \cdot \tau_{m,d}^2)}$		245	N/mm ²	223	N/mm ²	232	N/mm ²	231	N/mm ²
$\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)} / (f_y / \gamma_{M0})$		0,35	< 1	0,32	< 1	0,33	< 1	0,33	< 1
indien onderdeel gedrongen is ($l / d \leq 5$):									
		0,44	< 1	0,40	< 1	0,41	< 1	0,41	< 1

Maatgevende controle UGT Overbelasten

$$\underline{UC}_{max} = \underline{0,44} < \underline{1} \text{ Voldoet}$$

Eigenschappen veredelstaal tot Ø180 uit Tabel E2 (10083-3)

Ck35	Ck45	34CrMo4+QT	42CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
		450	500	560
		700	750	800

$M_{b,v,Ed}$	=	66	kNm	66	kNm	68	kNm	68	kNm
$V_{v,Ed}$	=	285	kN	285	kN	143	kN	0	kN
$M_{t,v,Ed}$	=	0,0	kNm	0,0	kNm	0	kNm	0	kNm
resultaat	UC =	0,65	< 1	0,94	< 1	0,91	< 1	0,97	< 1

Afmetingen as ten behoeve van vermoeiingscontrole:

		Pos A		Pos B		Pos C		Pos D		
d	=	160	mm	165	mm	165	mm	165	mm	
D	=	163	mm	165	mm	165	mm	177	mm	
r'	=	1,5	mm	5	mm	5	mm	5	mm	
t ₁	=	1,5	mm	0	mm	0	mm	6	mm	
as-naaf (bijl.B)?		nee		ja		nee		ja		
dikte sprong (bijl.A)?		ja		nee		nee		ja		
spiebaan?						ja				
k _{d,b} = k _{d,t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		zie § 9.2.1.2 NEN 6786
k _{d,v} = k _{d,t/c}	=	1		1		1		1		
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		zie § 9.2.1.3 NEN 6786

Controle as-naaf op vermoeiing VOBB (NEN6786) volgens bijlage B:

	tabel B.1	tabel B.2	
f _u	β ₀	β _τ	β
360	2,4	1	1,1
400	2,4	1	1,13
450	2,4	1	1,18
500	2,45	1	1,22
510	2,46	1	1,23
600	2,55	1	1,31
690	2,622	1	1,391
700	2,63	1	1,4
800	2,69	1	1,5
900	2,73	1	1,61
1000	2,77	1	1,71
1100	2,8	1	1,82

Berekening volgens bijlage B van toepassing op as-naafverbinding of wentellagers op assen e.d.

k _b = k _{t/c} = β ₀ *β	4,04	β ₀	2,69	voor spiebaan	β	1,35
k _t = k _v = β ₀ *β _τ	2,69	β	1,5		β _τ	1,32

f _{fat,b,Rd}	=	f _{fat,b} / (k _b *k _d *k _u)
f _{fat,t/c,Rd}	=	f _{fat,t/c} / (k _{t/c} *k _d *k _u)
f _{fat,t,Rd}	=	f _{fat,t} / (k _t *k _d *k _u)
f _{fat,v,Rd}	=	f _{fat,v} / (k _v *k _d *k _u)

	Pos A	pos B	pos C	pos D
k _b = k _{t/c}	4,04	4,04	3,63	4,04
k _t = k _v	2,69	2,69	3,55	2,69

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	69	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	60	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

<u>Buiging:</u>		Pos A		pos B		pos C		pos D	
A _B	=	0,66		0,66		0,66		0,66	
r/t	=	1,00		0,00		0,00		0,83	
α _σ	=	2,04		2,95		2,95		2,04	
B _B	=	7,7		7,7		7,7		7,7	
d/D	=	0,98		1,00		1,00		0,93	
C _B	=	0,2		0,2		0,2		0,2	
r/d	=	0,0094		0,0303		0,0303		0,0303	
<u>Torsie:</u>									
A _T	=	3,4		3,4		3,4		3,4	
α _τ	=	1,46		2,04		2,04		1,48	
B _T	=	27		27		27		27	
C _T	=	1		1		1		1	

χ _b	=	1,35	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	0,41	mm ⁻¹	tabel 25
χ _{t/c}	=	0,68	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	0,21	mm ⁻¹	
χ _t	=	1,33	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	0,40	mm ⁻¹	
η _{χb}	=	1,09		1,05		1,05		1,05		
η _{χt/c}	=	1,06		1,04		1,04		1,04		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
η _{χt} = η _{χv}	=	1,09		1,05		1,05		1,05		(aflezen uit figuur 5 NEN 6786)
k _b	=	1,87		2,81		2,81		1,95		
k _{t/c}	=	1,92		2,85		2,85		1,97		
k _t = k _v	=	1,35		1,95		1,95		1,41		
k _{d;b} = k _{d;t}	=	1,25		1,25		1,25		1,25		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _{d;v} = k _{d;t/c}	=	1,00		1,00		1,00		1,00		(aflezen uit fig.6 NEN 6786)
k _u	=	1,15		1,15		1,15		1,15		(aflezen uit figuur 7 NEN 6786)
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²	
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	99	N/mm ²	99	N/mm ²	143	N/mm ²	
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²	
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	82	N/mm ²	82	N/mm ²	114	N/mm ²	

maatgevend uit bijlage A en B indien van toepassing

		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Rekenwaarden vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning (κ ≠ -1) volgens NEN 6786 9.2.2

Vermoeiingsduursterkte anders dan bij zuivere wisselspanning K ≠ -1

$$f_{fat,b,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,b,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,b,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t/c,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t/c,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t/c,Rd} / f_u))$$

$$f_{fat,t,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,t,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,t,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

$$f_{fat,v,\kappa,Rd} = (2 * f_{fat,v,Rd}) / (1 - \kappa + (1 + \kappa) * (f_{fat,v,Rd} * \sqrt{3} / f_u))$$

κ	=	σ _{min} / σ _{max}	=	-1					
		Pos A		pos B		pos C		pos D	
f _{fat,b,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t/c,κ,Rd}	=	149	N/mm ²	69	N/mm ²	77	N/mm ²	69	N/mm ²
f _{fat,t,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²
f _{fat,v,κ,Rd}	=	119	N/mm ²	60	N/mm ²	45	N/mm ²	60	N/mm ²

Levensduur:	L _e :jaar	/ maanden
Aantal spanningswisselingen:	N	416,6667 /maand
Aantal spanningswisselingen:	N	13 /schutting
Aantal spanningswisselingen:	N	3,8E+04

Wohlerlijn met constante amplitude

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$C_{\phi ob} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,b,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi ot/c} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u) - \log(f_{fat,t/c,K,Rd}))$	= 5,89	4,04	4,22	4,04
$C_{\phi tt} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,t,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84
$C_{\phi tv} = (\log(2e6) - \log(10^2)) / (\log(f_u / \sqrt{3}) - \log(f_{fat,v,K,Rd}))$	= 7,32	4,84	4,26	4,84

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$f_{fat,b,K,N,Rd}$	= 292 N/mm ²	184 N/mm ²	196 N/mm ²	184 N/mm ²
$f_{fat,t/c,K,N,Rd}$	= 292 N/mm ²	184 N/mm ²	196 N/mm ²	184 N/mm ²
$f_{fat,t,K,N,Rd}$	= 205 N/mm ³	135 N/mm ³	115 N/mm ³	135 N/mm ³
$f_{fat,v,K,N,Rd}$	= 205 N/mm ²	135 N/mm ²	115 N/mm ²	135 N/mm ²

Controle doorsneden op vermoeiing conform art. 9.3.2.1

	Pos A	pos B	pos C	pos D
$M_{b,V}$	= 66 kNm	66 kNm	68 kNm	68 kNm
$\sigma_{b,V}$	= 163 N/mm ²	149 N/mm ²	155 N/mm ²	155 N/mm ²
$\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mfr})$	0,64 < 1	0,93 < 1	0,91 < 1	0,97 < 1
V_V	= 285 kN	285 kN	143 kN	0 kN
$\tau_{v,V}$	= 18,90 N/mm ²	17,77 N/mm ²	8,89 N/mm ²	0,00 N/mm ²
$\tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mfr})$	0,11 < 1	0,15 < 1	0,09 < 1	0,00 < 1
$M_{t,V}$	= 0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm	0,0 kNm
$\tau_{t,V}$	= 0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²	0 N/mm ²
$\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mfr})$	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1	0,00 < 1

gecombineerde spanningen

$\sqrt{[(\sigma_{b,V} / (f_{fat,b,Rd} / \gamma_{Mfr}))^2 + (\tau_{t,V} / (f_{fat,t,Rd} / \gamma_{Mfr}) + \tau_{v,V} / (f_{fat,v,Rd} / \gamma_{Mfr}))^2]} \leq 1$	Pos A	pos B	pos C	pos D
	0,65 < 1	0,94 < 1	0,91 < 1	0,97 < 1

<u>Maatgevende controle UGT Vermoeiing</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>0,97</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

Controle kruip wiel tegen asØ177

Kruipbelasting volgens 2.3.7

	pos A	pos B	pos C	pos D
$F_{kruip,O,Ed}$	= - kN	- kN	- kN	170 kN

50% van radiale kracht t.g.v. EG

NB: in de andere richting is het wiel niet opgesloten, kruip in deze richting is in het verleden niet voorgekomen

Toetsing van de vlaktedruk volgens 6.4.2

$A = \frac{1}{4} \pi(D^2 - (d+2r)^2) =$	553 mm ²
$\sigma_{max,Ed} =$	308 N/mm ²

	f_y :	γ_{M0} :
materiaal wiel	42CrMo4+QT	LBAN1998-41146
	GS 60/GE 300	LBAN1990-41876
materiaal as	34CrNiMo6+QT	200509-01
	500 N/mm2	1,0
	300 N/mm2	1,15 <i>maatgevend</i>
	560 N/mm2	1,0
$\sigma_{max,Ed} / (f_y / \gamma_{M0}) =$		0,89 < 1

<u>Maatgevende controle UGT vlaktedruk</u>	<u>UC_{max} ≡</u>	<u>0,89</u>	<u>< 1 Voldoet</u>
--	---------------------------	-------------	-----------------------

Bijlage 5. Berekening restlevensduur nieuwe assen (situatie 3)

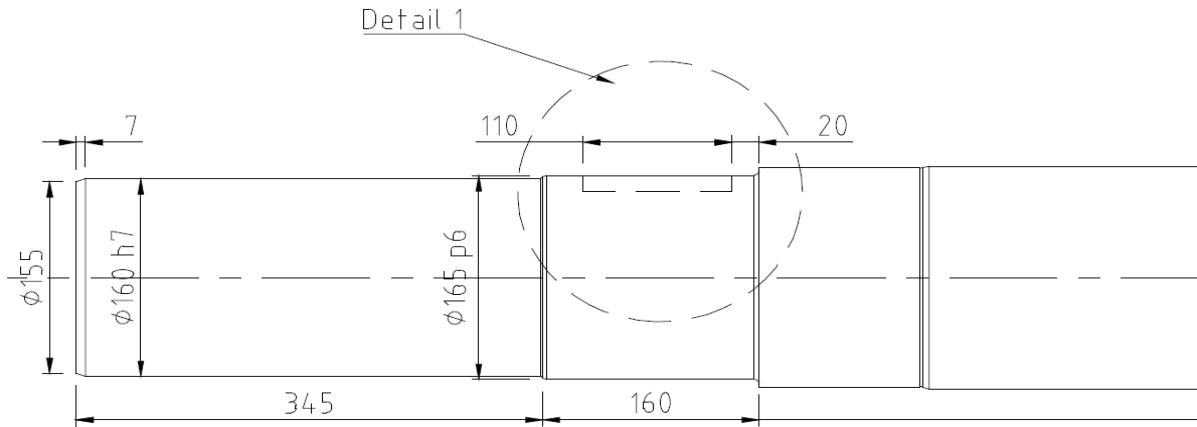
Berekening restlevensduur assen roldeur bij waterstanden Waal < NAP+5,85m

Versie : 03-09-2020

Uitgangspunten en Randvoorwaarden

Weurt roldeur III in Waalhoofd
 10 ton lekwater/slib
 eigen gewicht deur 237,7 ton
 5000 schuttingen per jaar
 as volgens tekening 'As treinstel Sluis Weurt' 200509-01 (concept d.d. 15-07-2020)

gevolgklasse CC1 ($\gamma_{M,fat} = 1,15$)
 geen invloed horizontale belasting deur tegen wielen
 berekening volgens NEN 6786:2017



voor overige randvoorwaarden en berekening levensduur per range:

rapport 'Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd' - RA19436VIV001 d.d. 04-09-2020

Invoergegevens

totale gebruiksduur deur in range i

1 Aantal maanden met waterstand Waal $\geq 5,85$	5	maanden
2 Aantal maanden met waterstand $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	8	maanden
3 Aantal maanden met waterstand $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	4	maanden
4 Aantal maanden met waterstand $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	5	maanden
5 Aantal maanden met waterstand $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	3	maanden

Schade door vermoeiing*

1 $D_1 = N_1 / N_{R,1}$	=	0,008
2 $D_2 = N_2 / N_{R,2}$	=	0,060
3 $D_3 = N_3 / N_{R,3}$	=	0,105
4 $D_4 = N_4 / N_{R,4}$	=	0,357
5 $D_5 = N_5 / N_{R,5}$	=	0,429 +
D_{tot}	=	0,959

Restlevensduur*, geldig na gebruiksduur zoals hierboven ingevoerd

$$\text{restlevensduur bij Waal} \geq \text{NAP}+5,85\text{m} = (1 - D_{tot}) \times 600 = 24 \text{ maand} = 2 \text{ jaar}$$

Let op: restlevensduur kleiner dan 3 jaar!

* uitkomsten dienen handmatig te worden nagerekend

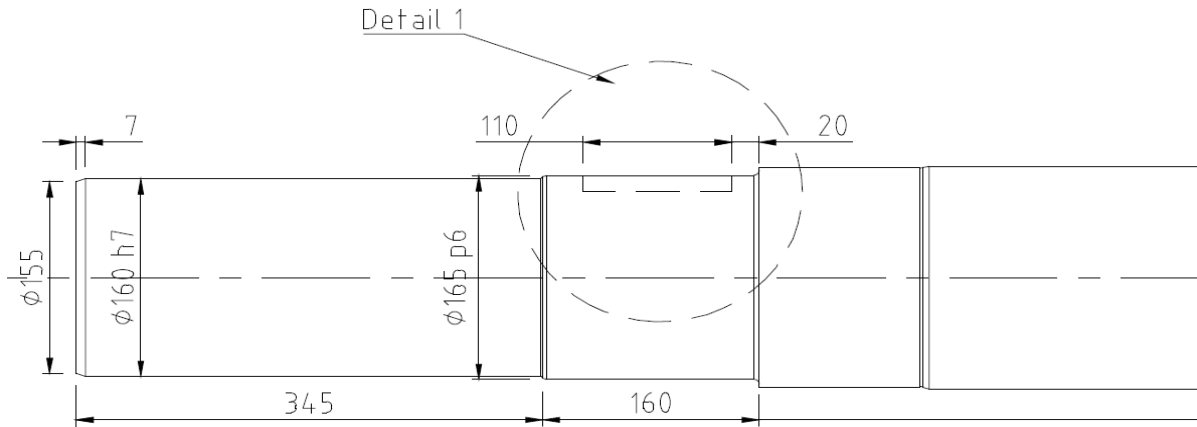
Berekening restlevensduur assen roldeur bij waterstanden Waal < NAP+5,85m

Versie : 03-09-2020

Uitgangspunten en Randvoorwaarden

Weurt roldeur III in Waalhoofd
 10 ton lekwater/slib
 eigen gewicht deur 237,7 ton
 5000 schuttingen per jaar
 as volgens tekening 'As treinstel Sluis Weurt' 200509-01 (concept d.d. 15-07-2020)

gevolgklasse CC1 ($\gamma_{M,fat} = 1,15$)
 geen invloed horizontale belasting deur tegen wielen
 berekening volgens NEN 6786:2017



voor overige randvoorwaarden en berekening levensduur per range:

rapport 'Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd' - RA19436VIV001 d.d. 04-09-2020

Invoergegevens

totale gebruiksduur deur in range i

1 Aantal maanden met waterstand Waal $\geq 5,85$	0	maanden
2 Aantal maanden met waterstand $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	1	maanden
3 Aantal maanden met waterstand $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	0	maanden
4 Aantal maanden met waterstand $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	0	maanden
5 Aantal maanden met waterstand $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	0	maanden

Schade door vermoeiing*

1 $D_1 = N_1 / N_{R,1}$	=	0,000
2 $D_2 = N_2 / N_{R,2}$	=	0,008
3 $D_3 = N_3 / N_{R,3}$	=	0,000
4 $D_4 = N_4 / N_{R,4}$	=	0,000
5 $D_5 = N_5 / N_{R,5}$	=	0,000 +
D_{tot}	=	0,008

Restlevensduur*, geldig na gebruiksduur zoals hierboven ingevoerd

$$\begin{aligned} \text{restlevensduur bij Waal} \geq \text{NAP}+5,85\text{m} &= (1 - D_{tot}) \times 600 \\ &= 595 \text{ maand} = 49 \text{ jaar} \end{aligned}$$

* uitkomsten dienen handmatig te worden nagerekend

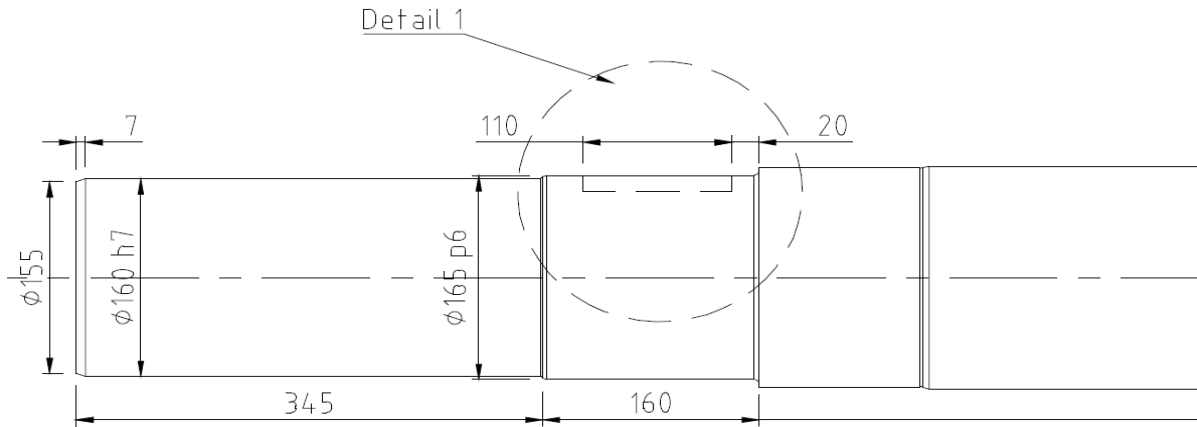
Berekening restlevensduur assen roldeur bij waterstanden Waal < NAP+5,85m

Versie : 03-09-2020

Uitgangspunten en Randvoorwaarden

Weurt roldeur III in Waalhoofd
 10 ton lekwater/slib
 eigen gewicht deur 237,7 ton
 5000 schuttingen per jaar
 as volgens tekening 'As treinstel Sluis Weurt' 200509-01 (concept d.d. 15-07-2020)

gevolgklasse CC1 ($\gamma_{M,fat} = 1,15$)
 geen invloed horizontale belasting deur tegen wielen
 berekening volgens NEN 6786:2017



voor overige randvoorwaarden en berekening levensduur per range:

rapport 'Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd' - RA19436VIV001 d.d. 04-09-2020

Invoergegevens

totale gebruiksduur deur in range i

1 Aantal maanden met waterstand Waal $\geq 5,85$	0	maanden
2 Aantal maanden met waterstand $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	0	maanden
3 Aantal maanden met waterstand $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	1	maanden
4 Aantal maanden met waterstand $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	0	maanden
5 Aantal maanden met waterstand $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	0	maanden

Schade door vermoeiing*

1 $D_1 = N_1 / N_{R,1}$	=	0,000
2 $D_2 = N_2 / N_{R,2}$	=	0,000
3 $D_3 = N_3 / N_{R,3}$	=	0,026
4 $D_4 = N_4 / N_{R,4}$	=	0,000
5 $D_5 = N_5 / N_{R,5}$	=	0,000 +
D_{tot}	=	0,026

Restlevensduur*, geldig na gebruiksduur zoals hierboven ingevoerd

$$\begin{aligned} \text{restlevensduur bij Waal} \geq \text{NAP}+5,85\text{m} &= (1 - D_{tot}) \times 600 \\ &= 584 \text{ maand} = 48 \text{ jaar} \end{aligned}$$

* uitkomsten dienen handmatig te worden nagerekend

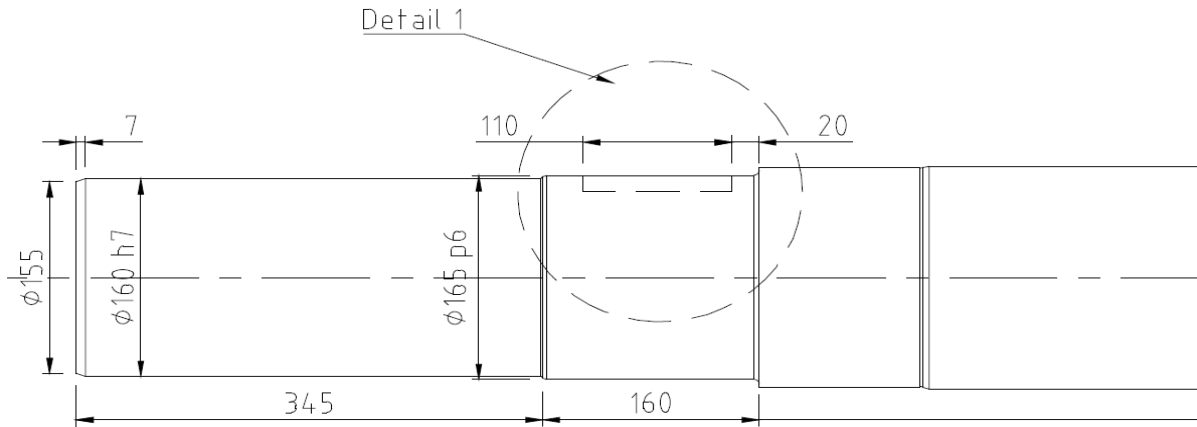
Waterstanden Waal < NAP+5,85m

Versie : 03-09-2020

Uitgangspunten en Randvoorwaarden

Weurt roldeur III in Waalhoofd
 10 ton lekwater/slib
 eigen gewicht deur 237,7 ton
 5000 schuttingen per jaar
 as volgens tekening 'As treinstel Sluis Weurt' 200509-01 (concept d.d. 15-07-2020)

gevolgklasse CC1 ($\gamma_{M,fat} = 1,15$)
 geen invloed horizontale belasting deur tegen wielen
 berekening volgens NEN 6786:2017



voor overige randvoorwaarden en berekening levensduur per range:
 rapport 'Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd' - RA19436VIV001 d.d. 04-09-2020

Invoergegevens

totale gebruiksduur deur in range i

1 Aantal maanden met waterstand Waal $\geq 5,85$	0	maanden
2 Aantal maanden met waterstand $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	0	maanden
3 Aantal maanden met waterstand $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	0	maanden
4 Aantal maanden met waterstand $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	1	maanden
5 Aantal maanden met waterstand $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	0	maanden

Schade door vermoeiing*

1 $D_1 = N_1 / N_{R,1}$	=	0,000
2 $D_2 = N_2 / N_{R,2}$	=	0,000
3 $D_3 = N_3 / N_{R,3}$	=	0,000
4 $D_4 = N_4 / N_{R,4}$	=	0,071
5 $D_5 = N_5 / N_{R,5}$	=	0,000 +
D_{tot}	=	0,071

Restlevensduur*, geldig na gebruiksduur zoals hierboven ingevoerd

restlevensduur bij Waal $\geq \text{NAP}+5,85\text{m}$	=	$(1 - D_{tot}) \times 600$
	=	557 maand = 46 jaar

* uitkomsten dienen handmatig te worden nagerekend

Projectnr. : 19436
 Omschrijving : Herstel sluis Weurt
 Bijlage van : RA19435VIV001-Bijlage 5
 Datum : 03-09-2020
 Onderdeel : assen roldeur

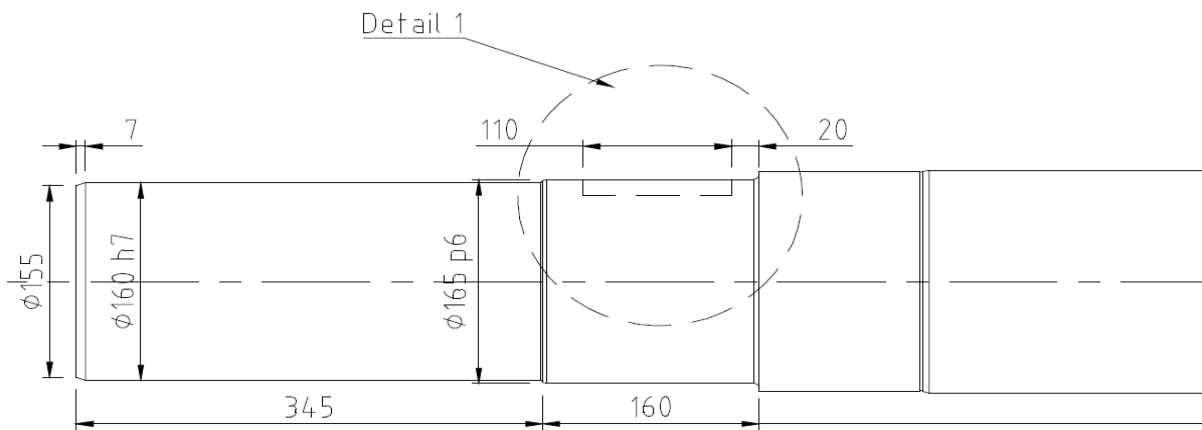
Berekening restlevensduur assen roldeur bij waterstanden Waal < NAP+5,85m

Versie : 03-09-2020

Uitgangspunten en Randvoorwaarden

Weurt roldeur III in Waalhoofd
 10 ton lekwater/slib
 eigen gewicht deur 237,7 ton
 5000 schuttingen per jaar
 as volgens tekening 'As treinstel Sluis Weurt' 200509-01 (concept d.d. 15-07-2020)

gevolgklasse CC1 ($\gamma_{M,fat} = 1,15$)
 geen invloed horizontale belasting deur tegen wielen
 berekening volgens NEN 6786:2017



voor overige randvoorwaarden en berekening levensduur per range:
 rapport 'Ballast en wielstellen roldeur Waalhoofd' - RA19436VIV001 d.d. 04-09-2020

Invoergegevens

totale gebruiksduur deur in range i

1 Aantal maanden met waterstand Waal $\geq 5,85$	0	maanden
2 Aantal maanden met waterstand $5,85 > \text{Waal} \geq 5,5$	0	maanden
3 Aantal maanden met waterstand $5,5 > \text{Waal} \geq 5,0$	0	maanden
4 Aantal maanden met waterstand $5,0 > \text{Waal} \geq 4,5$	0	maanden
5 Aantal maanden met waterstand $4,5 > \text{Waal} \geq 4,0$	1	maanden

Schade door vermoeiing*

1 $D_1 = N_1 / N_{R,1}$	=	0,000
2 $D_2 = N_2 / N_{R,2}$	=	0,000
3 $D_3 = N_3 / N_{R,3}$	=	0,000
4 $D_4 = N_4 / N_{R,4}$	=	0,000
5 $D_5 = N_5 / N_{R,5}$	=	0,143 +
D_{tot}	=	0,143

Restlevensduur*, geldig na gebruiksduur zoals hierboven ingevoerd

$$\begin{aligned} \text{restlevensduur bij Waal} \geq \text{NAP}+5,85\text{m} &= (1 - D_{tot}) \times 600 \\ &= 514 \text{ maand} = 42 \text{ jaar} \end{aligned}$$

* uitkomsten dienen handmatig te worden nagerekend