

Draagconstructie Bezoekerscentrum Waalbos – Rijsoordse molen

Bachelor eindwerk – eindrapport



Voorwoord

Het bachelor eindwerk is gemaakt voor de BSc Civiele Techniek aan de TU Delft. Voor dit eindwerk heb ik gekozen voor het uitwerken van een realistische draagconstructie in beton voor het bezoekerscentrum Waalbos.

In dit onderzoek ben ik begeleid door Dr.ir. H.R. Schipper en Dr.ir. P.C.J. Hoogenboom. Graag wil ik hen bedanken voor hun ondersteuning tijdens het onderzoek en de begeleiding voor het bachelor eindwerk.

Willem Simons

Delft, 27 oktober 2017

Samenvatting

Voor dit onderzoek wordt een schaalconstructie ontworpen voor een bezoekerscentrum nabij Rijsoord. Het onderzoek is gebaseerd op het project Bezoekerscentrum Waalbos Rijsoord. Er is voor dit project een schetsontwerp gemaakt door een architectenbureau. Het doel is om op basis van dit schetsontwerp te onderzoeken wat de beste methode is om de betonnen schaalconstructie te realiseren. Dit omvat een berekening van het krachtsverloop en de wapening in de constructie.

Ten eerste is een analyse gemaakt van het project Bezoekerscentrum Waalbos Rijsoord. Kort is gekeken naar de omgeving, de stakeholders en de bodem van de locatie. In de synthese zijn twee varianten opgesteld die in de simulatie getoetst worden aan het programma van eisen dat al bekend is gemaakt voor het project Bezoekerscentrum Waalbos Rijsoord. Ook wordt er getoetst aan enkele opgestelde constructieve eisen. Het toetsen van de constructieve eisen gaat door middel van een handberekening in verschillende belastinggevallen.

Uit de twee varianten is er één gekozen om verder uit te werken in het computerprogramma SCIA Engineer. Dit programma is in staat om 3D-constructies te ontwerpen, te modeleren en te analyseren. Een vergelijking is gemaakt tussen de handberekening en SCIA. Hieruit is gebleken dat er significante verschillen zijn tussen de verkregen resultaten. Dit is te verklaren doordat SCIA rekening houdt met de geometrie van de constructie en de relaties tussen de spanningen, krachten, momenten en verplaatsingen.

Met de verkregen resultaten is gekeken naar verdere optimalisatie van het ontwerp. Er is onderzocht welke primaire wapening kan worden toegepast in de constructie. Het is gebleken dat de eigenschappen van staalvezels het beste overeenkomen met de gestelde eisen.

Als laatste is de toepassing van een randboog onderzocht. Met behulp van de randboog kan men een hap uit de schaal nemen die de toegang vormt tot het gebouw. Het is gebleken dat zonder de randboog de zakking van de constructie te groot is. Hetzelfde geldt voor een klein uitgevoerde randboog. Een randboog met een doorsnede van 300 mm bij 200 mm voldoet aan de gestelde eisen.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de gemaakte handberekening geen accuraat resultaat geeft voor de schaalconstructie. Er zijn te veel variabelen waar geen rekening mee wordt gehouden, met als gevolg dat de resultaten afwijken van de gevonden waarden in het computerprogramma SCIA.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
Hoofdstuk 1 – Probleemstelling	5
Hoofdstuk 2 – Analyse.....	6
2.1 Omgeving.....	6
2.2 Stakeholderanalyse	6
2.3 Bodemanalyse	7
2.4 Doelstelling.....	8
2.5 Resultaten analyse	8
2.5.1 Randvoorwaarden	8
2.5.2 Programma van eisen.....	9
Hoofdstuk 3 – Synthese.....	10
3.1 Variant 1: Ellips.....	10
3.2 Variant 2: Met vorm van gebouw.....	10
Hoofdstuk 4 – Simulatie met handberekening.....	11
4.1 Definitie belastingen en combinaties.....	11
4.1.1 Blijvende belastingen	11
4.1.2 Veranderlijke belastingen.....	11
4.1.3 Belastingcombinaties	11
4.2 Constructieve eisen	12
4.3 Handberekening	12
4.3.1 Variant 1 – Ellips	13
4.3.2 Variant 2 – In vorm van gebouw	14
4.4 Conclusie simulatie.....	15
4.3.1 Variant 1	15
4.3.2 Variant 2	15
Hoofdstuk 5 – SCIA Model.....	16
5.1 Model eigenschappen	16
5.2 Resultaten SCIA	17
Hoofdstuk 6 – Vergelijking handberekening en computermodel	18
6.1 Belastinggeval 1.....	18
6.2 Belastinggeval 2.....	18
6.3 Belastinggeval 3.....	19
6.4 MatrixFrame	19
6.5 Toelichting vergelijking.....	19

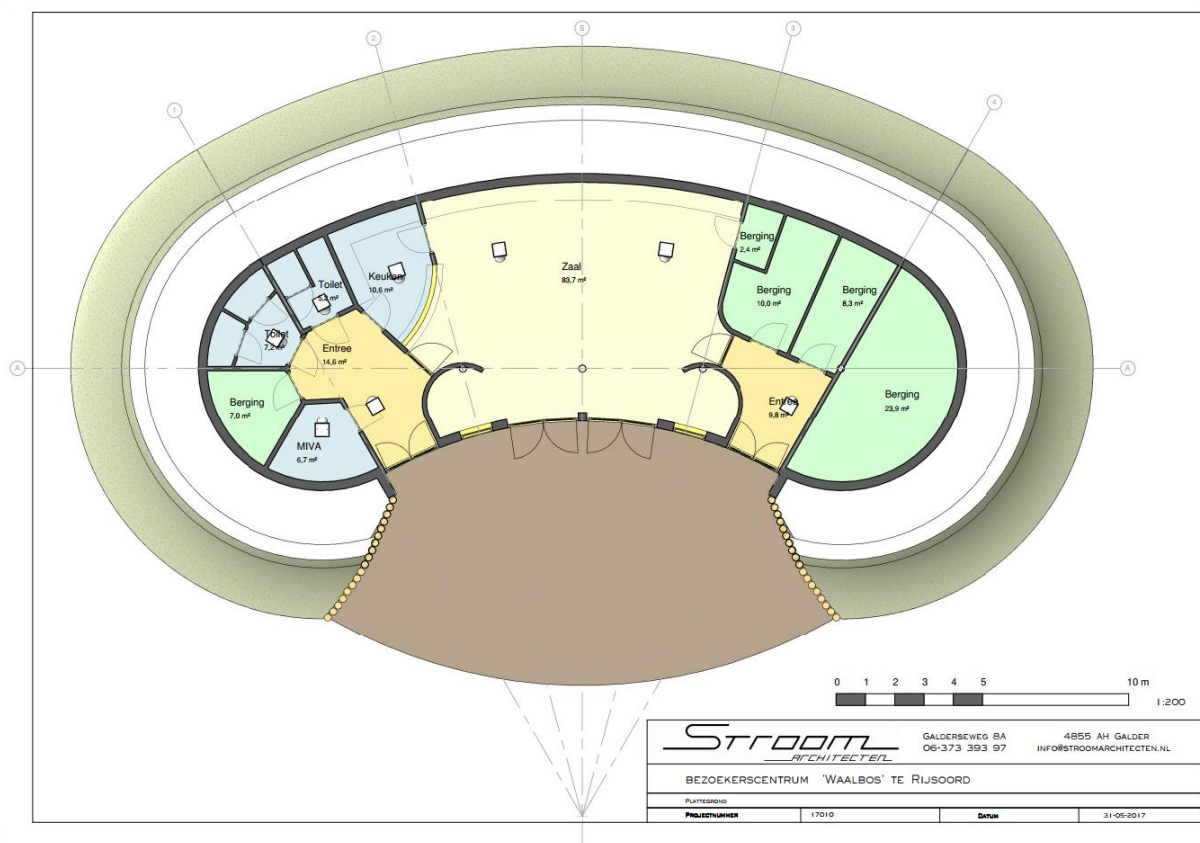
Hoofdstuk 7 – Uitwerking gekozen variant	22
7.1 Vezelwapening	22
7.2 Drukboog dimensioneren.....	23
Hoofdstuk 8 – Conclusie	25
Bronnen	26
Bijlage 1 – Foto’s huidige situatie.....	27
Bijlage 2 – Grondwaterstand	30
Bijlage 3 – Simulatie varianten	35
Bijlage 4 – SCIA	37
Invoer constructie	37
Invoer lasten, combinaties	38
Resultaten	39
Bijlage 5 – Matrixframe	64
Invoer constructie	64
Lasten	65
Resultaten	65

Hoofdstuk 1 – Probleemstelling

In de buurt van de molen 'De Kersenboom', ook wel bekend als de Rijsoordse Molen, is er behoefte aan een centraal gelegen gebouw die voor verschillende doeleinden kan worden gebruikt. Deze behoefte is voortgekomen uit de stichting 'Bezoekerscentrum Rijsoord' welke de interesses en belangen van 3 lokale stichtingen vertegenwoordigt. De functie die het bezoekerscentrum zal vervullen kan worden samengevat als: Opvangen en informeren van de bezoekers van de 3 stichtingen en het verzorgen van tentoonstellingen en workshops samen met het huizen en opslaan van materiaal van de stichtingen. Er wordt uitgegaan van een gekromde betonconstructie. Voor dit probleem is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

Wat is de beste methode om de betonnen schaalconstructie te realiseren en hoe heeft die effect op de rest van het ontwerp?

In dit onderzoek zal worden gekeken wat de mogelijkheden zijn voor een realistisch ontwerp voor een bezoekerscentrum. Op het moment van het onderzoek is er al een schetsontwerp gemaakt door een architectenbureau. Dit ontwerp zal, in grote lijnen, als basis worden gebruikt voor dit onderzoek.



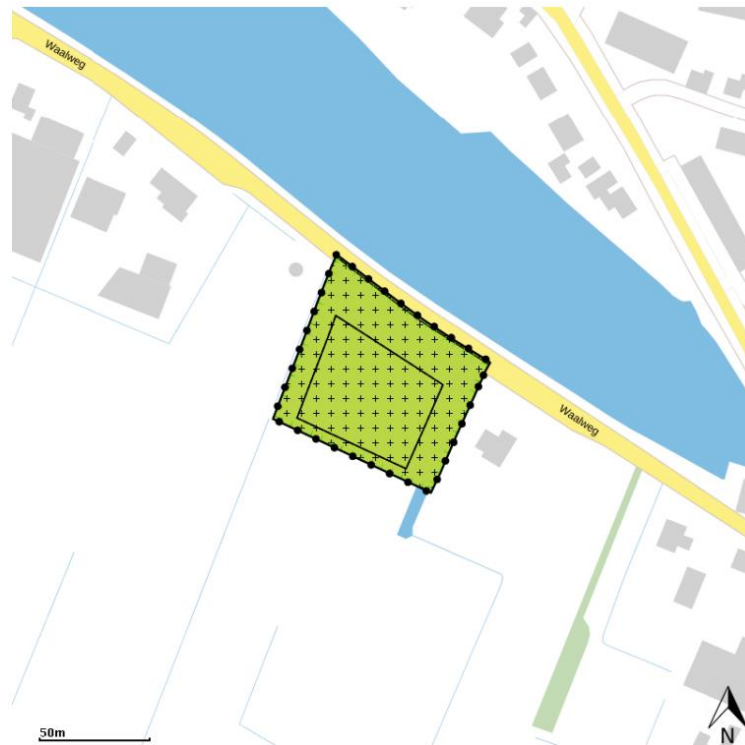
Figuur 1 Schetsontwerp Bezoekerscentrum (2017)

Hoofdstuk 2 – Analyse

In de analysefase wordt gekeken naar de huidige situatie van het project Bezoekerscentrum Waalbos. Er wordt met name onderzocht: Omgeving, Stakeholders en Doelstelling. De resultaten van de analyse vormen de randvoorwaarden en het programma van eisen en wensen.

2.1 Omgeving

Alvorens men kan beginnen met de bouw van het bezoekerscentrum moet een geschikte locatie worden gevonden. Met een omgevingsanalyse kan dit doel worden bereikt. De locatie van het perceel waar het bezoekerscentrum gebouwd wordt is te zien in onderstaande figuur. Dit ligt tussen de Waalweg 9 en de molen 'De Kersenboom'



Figuur 2 Locatie perceel (ruimtelijkeplannen, 2017)

Het perceel ligt aan de Waalweg en kijkt uit op de Waal. Het valt niet binnen de bebouwde kom van Rijsoord, maar ligt er net buiten. Kenmerkende gebouwen in de buurt zijn de Rijsoordse Molen en het Koi en Vijvercentrum Ridderkerk, allebei gelegen aan de westkant van het perceel. Aan de oostkant kan men een fietspad en een woning treffen.

Direct achter het perceel ligt de ijsbaan, gekenmerkt door het lager gelegen stuk grond. Wanneer het weer het toelaat kan deze worden gevuld met water, wat befrist en zo een ijsbaan creëert. Verder zijn er in de omgeving veel weilanden te zien.

2.2 Stakeholderanalyse

Met de stakeholderanalyse wordt in kaart gebracht wie de belanghebbenden zijn en welke belangen ze hebben bij het project.

De Stichting bezoekerscentrum Waalbos is de initiatiefnemer van het project. De doelstelling volgens het online RSIN document is als volgt:

De oprichting, het beheer en onderhoud van een gebouw als bezoekerscentrum voor het Waalbos te Ridderkerk, de molen en de ijsbaan en als huisvesting van activiteiten van de Stichting Natuurbeheer Waalbos, Stichting De Rijsoordse Molen en de IJclub Rijsoord en omstreken, waarbij de activiteiten die de stichting onderneemt een raakvlak met natuur, sport, milieu of cultuur hebben, en voorts al hetgeen met één en ander rechtstreeks of zijdelings verband houdt of daartoe bevorderlijk kan zijn, alles in de ruimste zin van het woord.

De Stichting Bezoekerscentrum Waalbos wordt gezien als enige primaire stakeholder. De secundaire stakeholders zijn de volgende:

- De drie stichtingen:
 - Stichting Natuurbeheer Waalbos
 - Stichting Rijsoordse Molen
 - IJclub Rijsoord & Omstreken
- De Gemeente Ridderkerk heeft als taak het aanpassen van het bestemmingsplan om het project te realiseren. Op het moment is er een ontwerpbestemmingsplan gepubliceerd.

De externe stakeholders zijn de omwonenden en bezoekers van het bezoekerscentrum.

In de volgende tabel zijn de primaire, secundaire en externe stakeholders geplaatst. Ook worden hun belangen en potentiële invloed weergegeven, samen met de relatieve prioriteit van de stakeholders.

Tabel 1 Stakeholdermatrix

	Stakeholder	Belangen	Potentiële invloed	Relatieve prioriteit
Primair	Stichting Bezoekerscentrum Waalbos	Realiseren bezoekerscentrum	+	5
Secundair	Gemeente Ridderkerk		+	4
	Stichting Natuurbeheer Waalbos	Opvang bezoekers Waalbos	+	3
	Stichting Rijsoordse Molen	Opvang bezoekers Molen en opslag van spullen	+	3
	IJclub Rijsoord & Omstreken	Opvang bezoekers IJsbaan	+	3
Extern	Bezoekers		Nvt	1
	Omwonenden	Wonen	-	2

2.3 Bodemanalyse

Om te voorspellen hoe de grond zich gedraagt onder de constructie moet er worden gekeken naar de samenstelling van de verschillende aanwezige lagen, evenals het bepalen van het grondwaterpeil. In de buurt van de locatie hebben meerdere onderzoeken plaatsgevonden, de resultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel. Merk op dat het maaiveld begint bij NAP -1,06 meter.

Tabel 2 Grondsamenstelling

Bovenkant laag (m beneden maaiveld)	Onderkant laag (m beneden maaiveld)	Soort	Overig
0,00	2,00	Klei	
2,00	3,00	Klei	Venig
3,00	5,50	Veen	
5,50	13,50	Klei	
13,50	16,50	Zand	

Naast de samenstelling van de grond is het belangrijk om ook te kijken naar de stand van het grondwater. Dit heeft invloed op de wijze van funderen van de constructie en kan grote gevolgen hebben. Op de exacte locatie van de constructie is geen data beschikbaar, in plaats daarvan is gekeken naar putten in de buurt. Zo kan een schatting worden gemaakt van de grondwaterstand. Dit is samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 3 Grondwaterstanden

Locatie	Maaiveld (tov NAP)	Grondwaterstand (tov NAP)
1	-0,08 m	-1,40 m
	-0,08 m	-1,60 m
	-0,08 m	-1,60 m
2	-0,05 m	-1,35 m
	-0,05 m	-1,40 m
3	-1,50 m	-1,55 m
4	-1,37 m	-2,00 m
	-1,37 m	-1,55 m

De gemiddelde grondwaterstand van de 4 locaties is 0,98 m onder het maaiveld.

2.4 Doelstelling

Het doel van het eindwerk is om een realistische draagconstructie in beton te ontwerpen voor het bezoekerscentrum. Dit omvat een berekening van het krachtverloop, de benodigde wapening en de verbindingen tussen de elementen. Er moet worden voldaan aan de gestelde eisen en eventueel de wensen van het ontwerp. Een belangrijk punt is dat het bezoekerscentrum zo goed mogelijk moet passen in de omgeving.

2.5 Resultaten analyse

De resultaten van de analyse worden samengevat in randvoorwaarden en het programma van eisen.

2.5.1 Randvoorwaarden

Voor het project zijn de volgende randvoorwaarden opgesteld waar het ontwerp aan moet voldoen. De randvoorwaarden zijn beperkingen die zijn opgelegd door de omgeving en de wet- en regelgeving.

Ten eerste, er is een maximale hoogte vastgesteld die niet overschreden mag worden. Het hoogste punt mag niet 3 meter boven het maaiveld komen. Dit om te voorkomen dat de wind naar de molen negatief wordt beïnvloed.

Ook mag het gebouw niet langer worden dan 30 meter.

Daarnaast moet het gebouw passen in de omgeving. Er wordt gestreefd naar een organische vorm dat als het ware opgaat in de omgeving.

Het gebouw moet aan de voorwaarden van het bouwbesluit voldoen.

De veiligheid van het gebouw moet gegarandeerd worden door middel van het naleven van het bouwbesluit en de gestelde constructieve eisen volgens de Nederlandse Norm (NEN).

Ten laatste, voor de aanvang van de bouw moet een omgevingsvergunning worden aangevraagd. Het is niet nodig om een vergunning Natuurbeschermingswet aan te vragen. De locatie ligt niet in een zogenaamd Natura-2000 gebied.

2.5.2 Programma van eisen

Op het moment is er al een programma van eisen. De meest relevante delen voor dit onderzoek zijn de volgende:

Eisen locatie en ligging:

- Het gebouw moet zo ver als mogelijk onzichtbaar zijn vanaf de Waalweg en het Waalbos (opgaan in de omgeving)
- Passend in de omgeving
- Goed zicht op het Waalbos
- Goede zonligging van centrale ruimte en terras
- Goed bereikbaar voor bezoekers, fietsers, bevoorrading, hulpdiensten
- Centraal gelegen met veilige en korte loopafstanden naar het parkeerterrein, de molen

Ontwerpeisen gebouw:

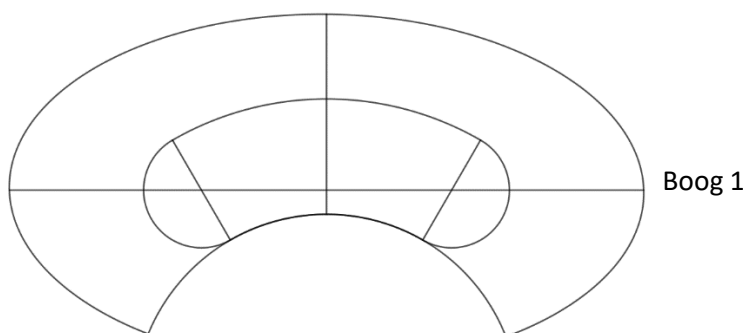
- Afmetingen:
 - o Het gebouw dient niet hoger te worden opgetrokken dan de hoogte van de onderkant van de onderste wiek
 - o Het gebouw dient buiten de voor de windvang van de molen belangrijke en op de tekening aangegeven molenbiotooplijnen te worden gebouwd
 - o Niet langer dan 30 meter zijn (exclusief talud)
- Uitstraling
 - o Het gebouw dient op een organische manier met oog voor ecologische waarden, natuurvriendelijk en duurzaam te worden gebouwd zoveel mogelijk met gebruikmaking van duurzame materialen.

Hoofdstuk 3 – Synthese

Tijdens de synthese worden er verschillende varianten opgesteld die mogelijk gebruikt kunnen worden als schaalconstructie. Dankzij de vloeiende vorm is een schaal uitermate geschikt voor het bezoekerscentrum. De schaal past goed in het landschap, het heeft veel weg van een grasheuvel. Voor de vorm van de schaal zijn er twee varianten opgesteld. Verder in dit hoofdstuk wordt beknopt beschreven hoe het ontwerp tot stand komt en hoe het eruit ziet.

3.1 Variant 1: Ellips

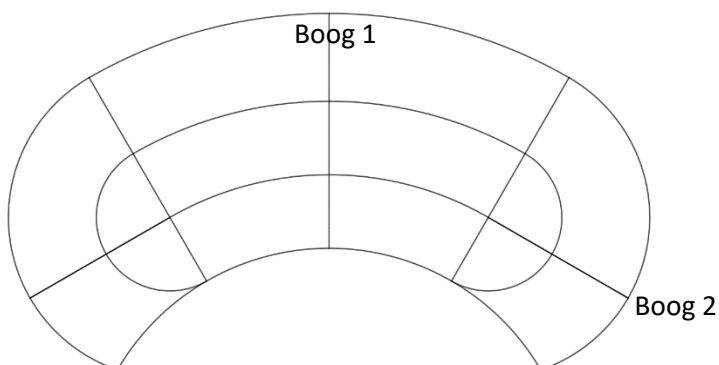
De eerste variant bestaat uit een schaalconstructie met een omtrek gelijk aan de vorm van een ellips. De dimensies van de ellips zijn groter dan die van het gebouw. De schaal wordt over het gebouw geplaatst en steunt niet op de buitenmuren van het gebouw. Voor de toegang wordt er een randbalk geplaatst die als het ware een hap uit de ellips haalt. Er is voor deze variant 1 representatieve boog bepaald, die wordt uitgewerkt in hoofdstuk 4. In figuur 3 is het bovenaanzicht afgebeeld.



Figuur 3 Boven aanzicht Variant 1

3.2 Variant 2: Met vorm van gebouw

De tweede variant bestaat uit een serie platen die de vorm van het gebouw aannemen. Aan beide uiteinden van het gebouw (links en rechts) wordt gebruikt gemaakt van een bolvormige constructie. Dit resulteert in een boonvormige constructie. Ook in deze constructie is een randbalk toegepast waaronder de toegang tot het gebouw geplaatst kan worden. Boog 1 loopt van het maaiveld tot het hoogste punt van de randboog. Boog 2 is een halve boog. In figuur 4 is het bovenaanzicht afgebeeld.



Figuur 4 Boven aanzicht Variant 2

Hoofdstuk 4 – Simulatie met handberekening

In dit hoofdstuk worden de twee varianten geëvalueerd. Deze worden getoetst aan de randvoorwaarden, het plan van eisen en de constructieve eisen door middel van een handberekening, welke gebaseerd is op het boek *Mechanica van constructies: Elasto-statica van slanke structuren*. De toegepaste methode en formules zijn te vinden in bijlage 3. Er wordt gesteld dat per variant er twee representatieve bogen zijn. Aan de hand van een iteratief proces worden de constructieve eisen getoetst.

4.1 Definitie belastingen en combinaties

Alvorens de varianten getoetst kunnen worden moeten de belastingen en belasting combinaties worden gedefinieerd. Voor beide varianten gelden dezelfde belastingen en combinaties.

4.1.1 Blijvende belastingen

De blijvende belastingen zijn af te leiden uit de samenstelling van het dak. De volgende blijvende belastingen werken op de constructie:

Tabel 4 Eigenschappen blijvende belastingen

Functie	Materiaal	Volumiek gewicht (kN/m ³)	Opmerking
Draagconstructie	Beton	24	
Isolatie	Minerale wol	0,15-0,40	Gekozen volumiek gewicht: 0,25 kN/m ³
Dakbedekking	Aarde, nat	20	

De dikte van de isolatie en de dakbedekking blijft constant in de simulatie. Beide lagen hebben een dikte van 100 mm. Voor de isolatie is in dit onderzoek niet belangrijk welk materiaal wordt gebruikt, er wordt een realistische aanname gedaan van het volumieke gewicht en het materiaalsoort, te zien in tabel 4. De dikte van het beton wordt per iteratie aangepast indien nodig.

4.1.2 Veranderlijke belastingen

Voor de veranderlijke belastingen wordt rekening gehouden met de belastingen die niet altijd op het gebouw zullen werken.

Tabel 5 Eigenschappen veranderlijke belastingen

Belasting	Gewicht (kN/m ²)	Opmerking
Mensenmassa	3	4 personen (75 kg) per m ²
Sneeuw	0,7	
Wind	0,6	Kan ook gunstig werken

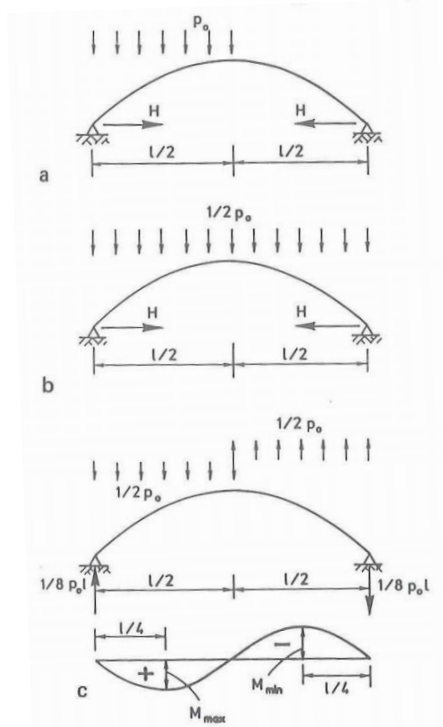
De maatgevende belasting is de mensenmassa, deze werkt als een gelijkmatig verdeelde belasting op de bogen.

4.1.3 Belastingcombinaties

Met de belastingen gedefinieerd kan worden gekeken naar de verschillende combinaties van belastingen die op de constructie kunnen werken. De blijvende belasting is aangeduid met de letter G, de veranderlijke belasting is aangeduid met de letter Q. Er worden drie belastingcombinaties opgesteld:

- Combinatie 1: Alleen eigengewicht ($1,2 \cdot G$)
- Combinatie 2: Eigengewicht + Q over hele schaal ($1,2 \cdot G + 1,5 \cdot Q$)
- Combinatie 3: Eigengewicht + Q Asymmetrisch ($1,2 \cdot G + 1,5 \cdot Q$)

Voor combinatie 3 is gekozen voor een Asymmetrische belasting van Q. Dit wil zeggen dat er slechts over de helft van de overspanning een gelijkmatig verdeelde belasting optreedt, te zien in figuur 5. Het eigengewicht werkt daarentegen wel over de hele overspanning.



Figuur 5 Ongunstige belasting boog

4.2 Constructieve eisen

De constructieve eisen die gelden zijn de volgende:

- Minimale hoogte van 2,60 meter volgens het bouwbesluit. Merk op dat voor de schaalconstructie deze eis geldt voor een groot deel van het gebruiksoppervlak. Aan de randen van het gebouw wordt deze eis bewust niet gehaald. Gezien de bestemming per ruimte anders is wordt er in de berging- en toiletruimtes gestreefd naar een minimale hoogte van 2,00 meter.
- Betondruksterke. Er wordt gekozen voor sterkteklasse C45/55 met een maximale rekenwaarde van de betondruksterke van 30 N/mm².

Er wordt aangenomen dat er wapening toegepast wordt, hierdoor wordt niet getoetst op trekspanning, afschuifspanning, trekkracht en dwarskracht.

4.3 Handberekening

Met het opstellen van de belastinggevallen en de constructieve eisen kan een begin worden gemaakt aan de simulatie van de varianten door middel van een handberekening. De handberekening wordt uitgevoerd in Excel, zie bijlage 3. Voor het ontwerpen van de boog is de volgende formule gebruikt:

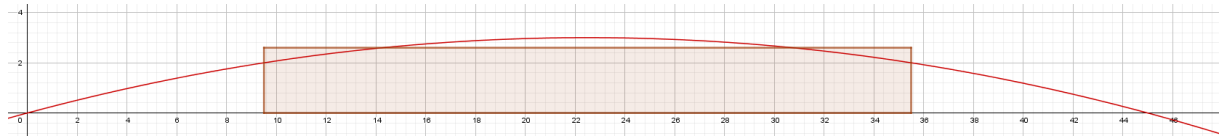
$$z(x) = \frac{4fx(l-x)}{l^2}$$

Toepassen van de formule resulteert in een parabool met overspanning l en pijl f.

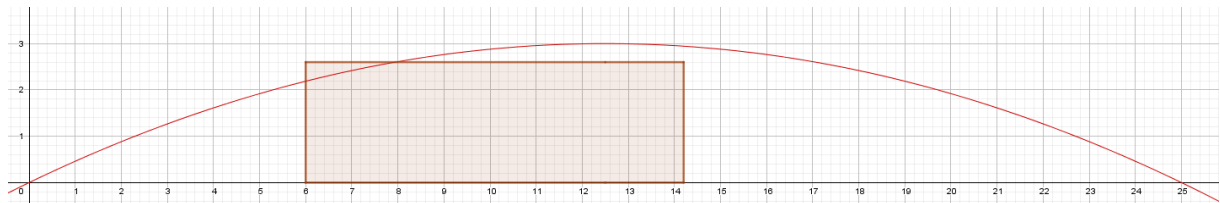
4.3.1 Variant 1 – Ellips

4.3.1.1 Dimensies

Er moet rekening gehouden worden met de constructieve eisen omtrent de hoogte van het plafond, het gebouw moet 'passen' onder de parabool. Hieronder staan het vooraanzicht en zijaanzicht van het gebouw (rood gearceerd) getekend onder de parabool.



Figuur 6 Vooraanzicht variant 1



Figuur 7 Zijaanzicht variant 1

Dit geeft lengte van 45 meter en breedte van 25 meter met een maximale hoogte van 3 meter.

4.3.1.2 Simulatie

Randvoorwaarden

De geëiste maximale lengte van het gebouw wordt overschreden met 15 meter. Aan de hoogte-eis wordt voldaan.

Programma van eisen

De ontwerpeisen worden nageleefd op de lengte eis na.

Constructieve eisen

Er wordt getoetst aan de constructieve eisen, specifiek de betondruksterkte. Voor het iteratieve proces is de hoogte van het beton variabel. Het proces wordt onderbroken als de maximale drukspanning niet groter is dan 30 N/mm^2 . De resultaten zijn samengevat in de volgende tabellen:

Tabel 6 Resultaten handberekening Variant 1 Boog 1

Booglente = 45 m, symmetrische Q					
Iteratie	Betonhoogte [mm]	Maximale spanning en normaalkracht			
		EG		EG + Q	
		σ	N	σ	N
1	100	-4,48	-448,03	-8,28	-827,72
2	150	-3,79	-569,53	-6,33	-949,22
3	200	-3,46	-691,03	-5,35	-1070,72

Tabel 7 Resultaten handberekening Variant 1 Boog 1

Booglente = 45 m, Asymmetrische Q									
i	h_{beton} [mm]	Maximaal moment, spanning en normaalkracht							
		Q				EG + Q			
		M [kNm]	N [kN]	σ		M	N	σ	
1	100	142,38	-189,84	-87,32	83,53	142,38	-637,88	-91,81	79,05
2	150	142,38	-189,84	-39,23	36,70	142,38	-759,38	-43,03	32,91
3	200	142,38	-189,84	-22,31	20,41	142,38	-880,88	-25,76	16,95

4.3.2 Variant 2 – In vorm van gebouw

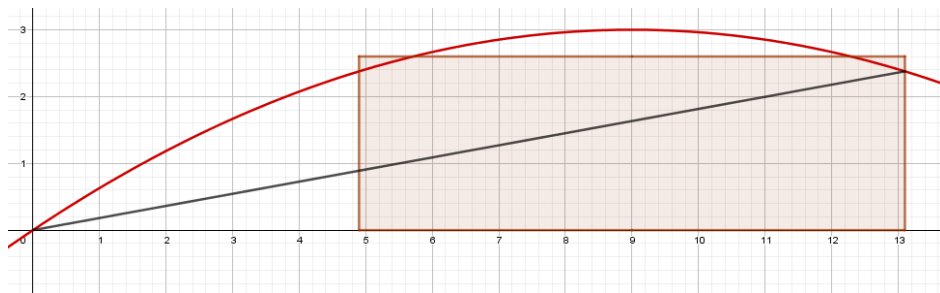
4.3.2.1 Dimensies

Wederom moet rekening gehouden worden met de constructieve eisen, het gebouw moet 'passen' onder de parabool. Gezien de constructie de vorm van het gebouw volgt hoeft er alleen gekeken worden naar het zijaanzicht. Voor deze variant is de volgende dwarsdoorsnede (gebouw rood gearceerd) gemaakt:



Figuur 8 Zijaanzicht variant 2

De vastgestelde dimensies zijn: lengte van 35,8 meter, breedte van 19,9 meter met een maximale hoogte van 3 meter. Om f te bepalen is er een lijn getekend tussen de eindpunten van de boog, dit is te zien in figuur 9. Met behulp van deze lijn is de maximale afstand bepaald tussen de parabool en de lijn.



Figuur 9 Zijaanzicht variant 2 met hulplijn

4.3.2.2 Simulatie

Randvoorwaarden

De maximale lengte wordt overschreden met 5,8 meter. De maximale hoogte wordt niet overschreden.

Programma van eisen

Aan het programma van eisen wordt grotendeels voldaan. Alleen de eis die de lengte beperkt tot 30 meter wordt niet gehaald.

Constructieve eisen

Wederom worden de constructieve eisen getoetst volgens een iteratief proces, te beginnen met de betondruksterkte. Er zijn 2 representatieve bogen die getoetst worden. In de onderstaande tabellen zijn de resultaten van de handberekening te vinden:

Tabel 8 Resultaat handberekening Variant 2 Boog 1

Boog 1, Booglente = 13,1 m, $f = 1,59$, symmetrische Q					
Iteratie	Betonhoogte [mm]	Maximale spanning en normaalkracht			
		EG		EG + Q	
		σ	N	σ	N
1	100	-0,72	-71,64	-1,32	-132,35

Tabel 9 Resultaat handberekening Variant 2 Boog 1

Boog 1, Booglente = 13,1 m, f = 1,59, Asymmetrische Q									
i	h_{beton}	Maximaal moment, spanning en normaalkracht							
	[mm]	Q				EG + Q			
		M [kNm]	N [kN]	σ		M	N	σ	
1	100	12,07	-30,36	-7,54	6,96	12,07	-101,995	-8,26	6,22

Tabel 10 Resultaat handberekening Variant 2 Boog 2

Boog 2, Booglente = 9 m (Excel: l=18), f = 2,6 symmetrische Q					
Iteratie	Betonhoogte [mm]	Maximale spanning en normaalkracht			
		EG		EG + Q	
		σ	N	σ	N
1	100	-0,83	-82,71	-1,53	-152,81

Tabel 11 Resultaat handberekening Variant 2 Boog 2

Boog 2, Booglente = 9 m (Excel: l=18), f = 2,6, Asymmetrische Q									
i	h_{beton}	Maximaal moment, spanning en normaalkracht							
	[mm]	Q				EG + Q			
		M [kNm]	N [kN]	σ		M	N	σ	
1	100	22,78	-35,05	-14,02	13,32	22,78	-117,76	-14,85	12,49

4.4 Conclusie simulatie

Per variant wordt kort het resultaat van de simulatie toegelicht.

4.4.1 Variant 1

De afmetingen van het gebouw vallen niet binnen de eisen van het ontwerp, namelijk de maximale lengte van het gebouw (30 meter) wordt overschreden. Het is niet mogelijk om aan beide de ontwerpeisen een gebouw te construeren. Er wordt prioriteit gesteld aan de eis maximale hoogte (3 meter). Met de gestelde constructieve eisen is een schaalconstructie mogelijk met een dikte van 200 mm.

4.4.2 Variant 2

Ook bij deze variant vallen de afmetingen van het gebouw niet binnen de eis dat de maximale lengte niet meer dan 30 meter mag bedragen. Deze eis wordt overschreden met 5,8 meter. Qua hoogte en betondruksterkte voldoet de constructie wel aan de gestelde eisen. Ook is de betonhoogte van 100 mm realistisch voor een schaalconstructie. Doordat er gestreefd wordt naar een zo'n dun mogelijke constructie wordt deze variant verder uitgewerkt in dit onderzoek.

Hoofdstuk 5 – SCIA Model

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken dat variant 2 de voorkeur heeft over variant 1, deze variant wordt uitwerkt in SCIA. De constructie wijkt licht af van de constructie uit het vorige hoofdstuk. De bogen zijn in de vorm van een cirkelboog in plaats van een parabool. Het is gebleken dat het niet mogelijk is om de constructie precies over te nemen. In SCIA kunnen de volgende hoofdspansingen en krachten worden berekend:

Hoofdspansing definitie [N/mm^2]:

- σ_1 : Trek, kijk naar hoogste waarde in model
- σ_2 : Druk, kijk naar hoogste absolute waarde in model

Plaats hoofdspansing [N/mm^2]:

- σ_+ : spanning die optreedt in bovenste vezel van de constructie
- σ_- : spanning die optreedt in de onderste vezel van de constructie

Overige grootheden:

- normaalkracht (trek: n_1 , druk: n_2) per strekkende meter [kN/m]
- hoofdmoment (m_1 , m_2) per strekkende meter [kNm/m]

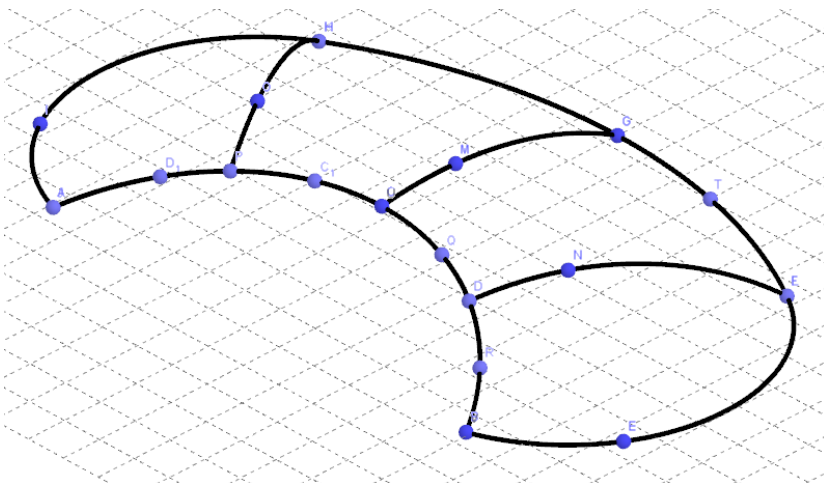
5.1 Model eigenschappen

De eigenschappen van het SCIA-model is in de volgende tabel samengevat:

Tabel 12 Eigenschappen SCIA model

Dikte	100 mm, constant
Materiaal	C45/55
Randboog	100 x 50 mm, aanname

Om de coördinaten van de knopen in SCIA te bepalen is gebruik gemaakt van GeoGebra. Dit is een wiskundeapplicatie waarin ook in zowel 2D als 3D kan worden getekend, waaronder deze constructie.



Figuur 10 GeoGebra model

Daarnaast zijn de volgende belastinggevallen gebruikt:

- Combinatie 1: Alleen eigengewicht ($1,2 * G$)
- Combinatie 2: Eigengewicht + Q over hele schaal ($1,2 * G + 1,5 * Q$)
- Combinatie 3: Eigengewicht + Q Asymmetrisch ($1,2 * G + 1,5 * Q$)

5.2 Resultaten SCIA

Voor de hele constructie is bekeken wat de maximale waarden zijn van de spanningen, de normaalkracht en het hoofdmoment. In bijlage 4 kunnen de grafische resultaten gevonden worden. De resultaten van de berekening in SCIA zijn te vinden in tabel 13 en tabel 14.

Tabel 13 Resultaat SCIA

	σ_{1+} [MPa]		σ_{1-} [MPa]		σ_{2+} [MPa]		σ_{2-} [MPa]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
BG1	-3,4	2,0	-2,2	3,8	1,5	-6,0	0,4	-10,3
BG2	-6,3	3,6	-4,1	7,0	2,8	-11,1	0,8	-19,1
BG3	-4,1	3,4	-2,7	4,8	2,4	-6,7	0,5	-10,3

Tabel 14 Resultaat SCIA

	n_1 [kN/m]		n_2 [kN/m]		m_1 [kNm/m]		m_2 [kNm/m]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
BG1	-212,21	107,55	24,99	-756,40	-2,30	5,76	-5,18	2,53
BG2	-392,05	198,69	46,16	-1341,99	-4,25	10,65	-9,57	4,68
BG3	-261,16	249,69	29,27	-726,4	-3,33	5,76	-7,14	3,11

De grootste gevonden waarden zijn dikgedrukt. Zo blijkt dat belastinggeval 2 maatgevend is, behalve in het geval van de normaalkracht (n_1). Deze treedt op bij het hoogste punt van de randboog

Hoofdstuk 6 – Vergelijking handberekening en computermodel

In dit hoofdstuk worden de verkregen uitkomsten van de handberekeningen vergeleken met de resultaten van het computerprogramma (Matrixframe en SCIA). Dit wordt gedaan met de gekozen variant uit het hoofdstuk Simulatie.

Tabel 15 Resultaten handberekening

	BG1		BG2		BG3			
	σ	N	σ	N	M	N	σ	
Boog 1	-0,72	-71,64	-1,32	-132,35	12,07	-102,00	-8,26	6,22
Boog 2	-0,83	-82,71	-1,53	-152,81	22,78	-117,76	-14,85	12,49

De resultaten samengevat in tabel 15 worden vergeleken met de resultaten uit SCIA. In bijlage 4 kunnen de 2D-gegevens van de volledige constructie bekeken worden in de verschillende belastinggevallen. Om een vergelijking te kunnen maken met de handberekening wordt gekeken naar de spanningen en krachten nabij de locatie van de bogen die zijn opgesteld bij de handberekening. Ook is rekening gehouden met de trajectoriën, zo is er alleen gekeken naar de krachten en spanningen in de richting van de berekende bogen. Voor belastinggeval 1 en 2 wordt er louter gekeken naar de drukspanning en de normaalkracht.

6.1 Belastinggeval 1

Per belastinggeval wordt een vergelijking gemaakt, beginnende met belastinggeval 1. De resultaten uit SCIA zijn te vinden in tabellen 16 en 17.

Tabel 16 Resultaten spanning SCIA in BG1

BG1	σ_{1+} [MPa]		σ_{1-} [MPa]		σ_{2+} [MPa]		σ_{2-} [MPa]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Boog 1	-0,4	0,0	0,4	0,8	-5,0	-5,5	-3,0	-4,0
Boog 2	0,4	0,8	-0,8	-0,4	-1,5	-2,0	-2,0	-3,0

Tabel 17 Resultaten krachten en momenten SCIA in BG1

BG1	n_1 [kN/m]		n_2 [kN/m]		m_1 [kNm/m]		m_2 [kNm/m]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Boog 1	-60	-40	-200	-250	4,5	5,0	-1,5	-2,0
Boog 2	-100	-80	-100	-150	0,5	1,0	-3,0	-3,5

Zowel de drukspanning (σ_2) als de normaalkracht vallen lager uit in de handberekening in vergelijking met de resultaten uit SCIA.

6.2 Belastinggeval 2

De resultaten uit SCIA voor het tweede belastinggeval zijn als volgt:

Tabel 18 Resultaten spanningen SCIA in BG2

BG2	σ_{1+} [MPa]		σ_{1-} [MPa]		σ_{2+} [MPa]		σ_{2-} [MPa]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Boog 1	-0,6	0,0	1,0	2,0	-9,0	-10,0	-6,0	-8,0
Boog 2	0,6	1,2	-1,0	0,0	-2,0	-3,0	-2,0	-4,0

Tabel 19 Resultaten krachten en momenten SCIA in BG2

BG2	n ₁ [kN/m]		n ₂ [kN/m]		m ₁ [kNm/m]		m ₂ [kNm/m]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Boog 1	-120	-80	-300	-400	8,0	9,0	-3,0	-4,0
Boog 2	-200	-160	-200	-300	1,0	2,0	-4,0	-5,0

Ook blijkt voor dit belastinggeval dat de drukspanning (σ_2) en de normaalkracht lager zijn in de handberekening dan de resultaten uit SCIA.

6.3 Belastinggeval 3

Voor het laatste belastinggeval wordt gekeken naar de trek- en drukspanning, de normaalkracht en de momenten in de bogen.

Tabel 20 Resultaten spanningen SCIA in BG3

BG3	σ_{1+} [MPa]		σ_{1-} [MPa]		σ_{2+} [MPa]		σ_{2-} [MPa]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Boog 1	-0,5	0,0	0,5	1,0	-4,8	-5,4	-3,0	-4,0
Boog 2	1,0	1,5	-1,0	-0,5	-2,4	-3,0	-3,0	-4,0

Tabel 21 Resultaten krachten en momenten SCIA in BG3

BG3	n ₁ [kN/m]		n ₂ [kN/m]		m ₁ [kNm/m]		m ₂ [kNm/m]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Boog 1	-40	0	-250	-300	4,2	4,8	1,0	2,0
Boog 2	-120	-80	-150	-200	0,6	1,2	-3,0	-4,0

Voor dit belastinggeval blijkt dat het hoofdmoment en de spanningen groter uitvallen in de handberekening dan de resultaten uit SCIA. De normaalkracht is groter in SCIA.

6.4 MatrixFrame

De resultaten uit Matrixframe voor de belastinggevallen zijn samengevat in onderstaande tabel:

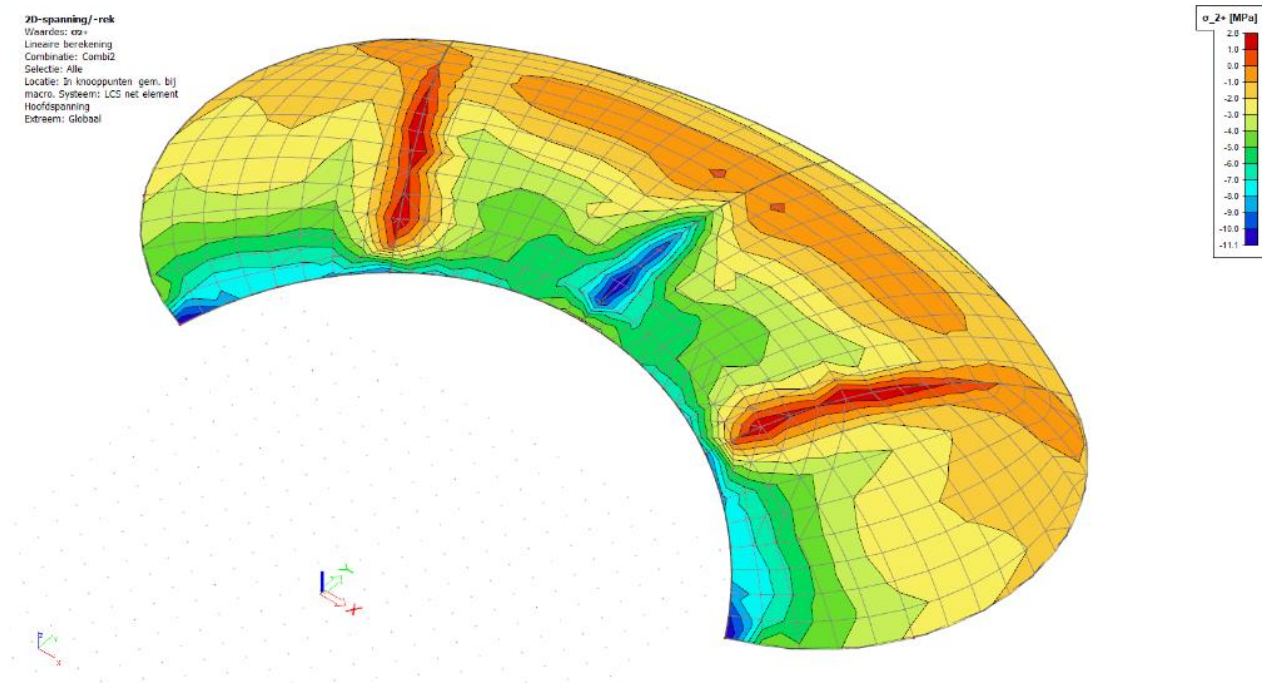
Tabel 22 Resultaten Matrixframe

	BG1	BG2	BG3	
	N	N	M	N
Boog 1	-95,76	-176,92	7,63	-139,22
Boog 2	-82,71	-152,81	14,95	-135,29

Voor boog 2 zijn de resultaten van MatrixFrame en de handberekening identiek voor belastinggeval 1 en 2. De andere resultaten benaderen de handberekening een stuk beter dan SCIA. Nog steeds zijn er verschillen te observeren. De resultaten van de handberekening vallen lager uit dan die van MatrixFrame. In bijlage 5 is de berekening met behulp van MatrixFrame uitgelegd.

6.5 Toelichting vergelijking

Er zijn duidelijk verschillen tussen de handberekening en de resultaten uit SCIA. Ter referentie wordt gebruik gemaakt van figuur 11 waar de drukspanning (σ_{2+}) in belastinggeval 2 wordt afgebeeld.

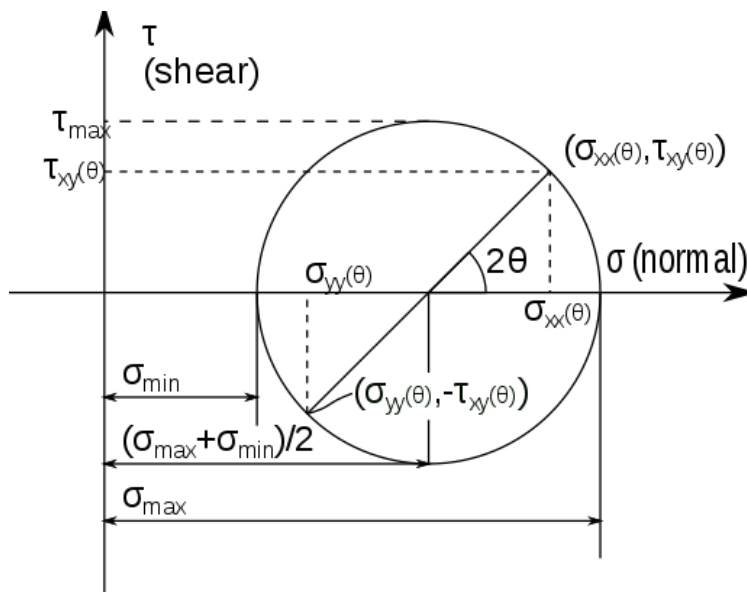


Figuur 11 Drukspanningverloop in BG2

De belangrijkste opmerkingen over de vergelijking zijn de volgende:

- ➔ Voor de halve boog (boog 2) wordt in de handberekening en MatrixFrame hetzelfde resultaat verkregen.
- ➔ De andere resultaten uit MatrixFrame vallen hoger uit dan de handberekening. Dit kan verklaard worden doordat de vorm van de boog niet nauwkeurig is. Het is geen perfecte parabool.
- ➔ SCIA geeft grote lokale pieken, dit is te verklaren door de geometrie van de schaalconstructie. Dit is goed te zien bij de aansluiting van de bolvormige delen aan de zijkant waar de kromming veranderd. Hier treedt de grootste trekspanning op in de schaal. (Zie de dieprode banden in figuur 11)
- ➔ In het midden van de constructie is een hoge drukspanning te zien. In de bogen wordt in SCIA ook de invloed van de aangrenzende vlakken meegenomen. SCIA gaat niet uit van een boog maar van een monolithische constructie. Hierdoor is de normaalkracht in boog 1 groter dan verwacht. (Zie de blauwe plek in het midden van de schaal in figuur 11).
- ➔ Langs de randboog treedt ook een hoge drukspanning op, dit omdat er als het ware een hap uit de schaal is genomen. De spanningen hopen zich zo op rond de opening. Met behulp van een randboog kunnen deze worden afgedragen naar de fundering.
- ➔ SCIA berekent de trek- en drukspanning, normaalkrachten en momenten in de schaal voor alle belastinggevallen. Doordat de constructie vervormt kunnen deze krachten en spanningen optreden.
- ➔ De handberekening in belastinggevallen 1 en 2 geeft alleen drukspanning en normaalkracht, er wordt niet uitgegaan dat er een trekspanning optreedt. Ook treden er geen buigende momenten op volgens de handberekening. Dit is te verklaren door de vorm van de parabool, die de vorm van een omgekeerde kabel volgt. De druklijn valt samen met de as van de boog, zo treden er geen buigende momenten op. SCIA houdt rekening met de samendrukking van de boog, zo kunnen er kleine momenten ontstaan in de constructie.

- De hoofdspanning is gebaseerd op de cirkel van Mohr, welke de relatie tussen de normaalspanning en schuifspanning weergeeft. In de richting van de hoofdspanning treedt geen schuifspanning op. In figuur 12 is de cirkel van Mohr afgebeeld. In de snijpunten van de as van de normaalspanning en de cirkel kan men de grootte van de hoofdspanningen vinden.



Figuur 12 Cirkel van Mohr (Wikipedia, 2017)

Hoofdstuk 7 – Uitwerking gekozen variant

In dit hoofdstuk wordt de gekozen variant (uit het vorige hoofdstuk) verder uitgewerkt met behulp van een handberekening. De materiaatgegevens zijn gebaseerd op het boek Fibre Reinforced Cementitious Composites (2007) en het artikel Double-curved textile reinforced concrete panels with tensile strain-hardening characteristics (Marijn Kok, 2004). Voor bepaalde onderdelen wordt gebruik gemaakt van SCIA en MatrixFrame.

7.1 Vezelwapening

Er zijn verschillende materialen beschikbaar die toegevoegd kunnen worden aan het beton om specifieke eigenschappen aan te passen. Voor dit onderzoek wordt gekeken naar de volgende 3 materialen:

Tabel 23 Materiaaleigenschappen vezels

Materiaal	Treksterkte [MPa]	Toepassing
Polypropyleenvezels	450	Toevoegen aan betonmix
Staalvezels	700	Toevoegen aan betonmix
Textielvezels	1700	Gewoven matten, meerdere lagen

Voor de constructie in dit onderzoek is er behoefte aan een materiaal dat de trekspanning kan opnemen die optreedt in de doorsnede, het wordt gebruikt als primaire wapening. Met de volgende formule kan de wapendichtheid bepaald worden:

$$\rho = \frac{\sigma_1}{f_y} * 100 \%$$

Deze formule is afgeleid van de volgende situatie: Evenwicht in doorsnede homogeen vezelbeton, gelijkmatig verdeelde spanning over doorsnede.

$$N = A_c \sigma_1$$

$$N_s = A_{s,min} f_y$$

$$N = N_s \rightarrow A_c \sigma_1 = A_{s,min} f_y \rightarrow \frac{A_{s,min}}{A_c} = \frac{\sigma_1}{f_y}$$

$$\rho = \frac{A_{s,min}}{A_c} = \frac{\sigma_1}{f_y}$$

De maximale trekspanning in SCIA is 7,0 N/mm², de handberekening geeft een maximale trekspanning van 12,49 N/mm². Er wordt uitgegaan van een maximale wapeningdichtheid van 2%. Met deze gegevens kan de wapeningdichtheid worden bepaald per materiaal:

Tabel 24 Resultaten wapeningdichtheid

Materiaal	Treksterkte	SCIA wapeningdichtheid	Handberekening wapeningdichtheid
Polypropyleen	450	1,55 %	2,78 %
Staalvezels	700	1,00 %	1,78 %
Textielvezels	595	1,18 %	2,10 %

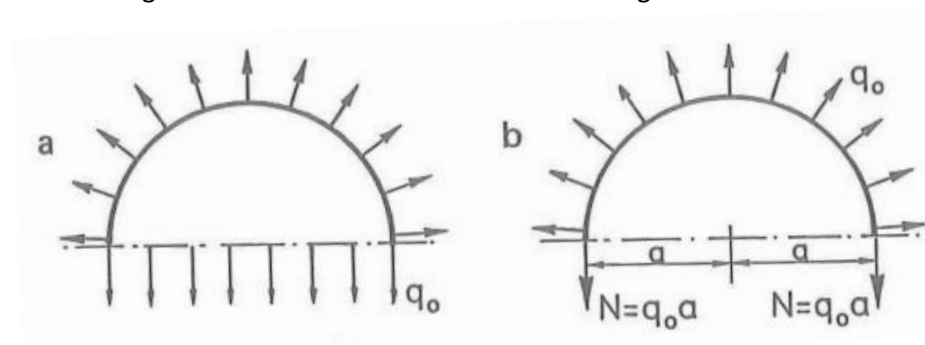
Het blijkt dat alle drie de materialen geschikt zijn om gebruikt te worden aan de hand van de gegevens uit de SCIA berekening. Voor de trekspanning uit de handberekening zijn alleen staalvezels geschikt om te gebruiken als primaire wapening.

Het is belangrijk om op te merken dat het weldegelijk mogelijk is om polypropyleenvezels te gebruiken als primaire wapening, op de voorwaarde dat er een volumepercentage geldt van meer dan 5%. Hierbij gaat het ten koste van de maakbaarheid, de vezels worden toegepast als een gewoven mat gelijk textiel.

Staalvezels genieten de voorkeur als toepassing voor de primaire wapening. Dit materiaal kan toegevoegd worden aan de betonmix en continue in situ gestort worden, met als positief gevolg dat een monolithische constructie ontstaat. Voor de andere materiaalkeuzes moet er laag voor laag gestort worden om de gewoven matten toe te passen. Om de materiaaleigenschappen te garanderen kan er ook gekozen worden voor prefabricatie van de constructie. Het nadeel hiervan is dat de schaalconstructie moet worden opgedeeld in meerdere elementen vanwege de grote afmetingen van de constructie. Hierdoor creëert het een nieuw probleem, namelijk de verbinding tussen de elementen. In dit onderzoek is niet verder gekeken naar dit probleem.

7.2 Drukboog dimensioneren

Tot nu toe is er in dit onderzoek niet in detail gekeken naar de dimensies van de drukboog. Met behulp van de ketelformule kan de drukboog grof worden uitgewerkt. In onderstaande figuur wordt de situatie geschetst waar men de formule voor kan gebruiken.



Figuur 13 Visualisatie ketelformule

Om de formule toe te passen op de randboog moet de richting van de gelijkmatige verdeelde belasting worden omgedraaid gezien de constructie een drukkracht uitoefent op de randboog. Zo kan de normaalkracht en de normaalspanning in de boog worden bepaald. De vergelijkingen zijn als volgt:

$$N = q_0 a$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{q_0 a}{A}$$

Er wordt geen rekening gehouden met belasting van het eigengewicht van de balk, deze werkt in een andere richting dan de verdeelde belasting die drukt op de boog. Voor de gelijkmatige verdeelde belasting wordt aangenomen dat de normaalkracht uit boog 1 in belastinggeval 2 representatief is. Dit resulteert in een verdeelde belasting van 132,35 kN/m. De straal van de boog is 13,27 m waardoor de normaalkracht gelijk aan -1756,28 kN. Een snelle berekening in MatrixFrame geeft aan dat de berekening accuraat is. De normaalkracht in MatrixFrame is gelijk aan -1748,28 kN, zie bijlage 5.

In tabel 25 wordt de normaalspanning berekend voor verschillende afmeting van de randboog.

Tabel 25 Resultaat normaalspanning randboog

Iteratie	Dimensies [mm]	Normaalspanning [N/mm ²]
1	100 x 50	351,26
2	200 x 100	87,81
3	300 x 200	29,27
4	400 x 250	17,56

Voor betonsterkteklasse C45/55 is de rekenwaarde van de druksterkte gelijk aan 30 N/mm². Een randboog met afmetingen 200 x 100 mm is voldoende.

In SCIA wordt ook gekeken naar de optimalisatie van de drukboog en of deze wel nodig is. Er wordt gebruikt gemaakt van dezelfde doorsneden als in de eerdere handberekening. De resultaten zijn te vinden in onderstaande tabel:

Tabel 26 Trek- en drukspanning, maximale zakking boog en constructie

Dimensies doorsnede	σ_1 MPa	σ_2 MPa	Maximale zakking boog [mm]	Maximale zakking constructie [mm]
100 x 50	10,6	-21,9	25,6	25,6
200 x 100	11,8	-20,1	20,1	20,1
300 x 200	6,7	-17,2	11,4	14,2
400 x 250	3,9	-13,8	7,4	12,4

De maximale trekspanning treedt telkens op in het midden van de randboog waar boog 1 eindigt. Voor betonsterkteklasse C45/55 is de rekenwaarde van de betontreksterkte gelijk aan 1,77 N/mm². Er moet dus wapening worden toegepast om de trekspanning op te nemen. Voor de drukspanning zou een boog van 100 x 50 mm voldoende zijn.

Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met de maximale zakking. Om het langetermijneffect van kruip mee te nemen wordt de berekende zakking verdubbeld. Aangenomen is dat een zakking groter dan 30 mm onwenselijk is. Als gevolg heeft dit dat de minimale dimensies van de randboog 300 x 200 mm moet zijn.

Verder wordt er ook gekeken wat het effect op de constructie is als de randboog wordt weggelaten.

Tabel 27 Spanning en zakking constructie zonder randboog

σ_{1-} MPa	σ_{1+} MPa	Maximale zakking constructie [mm]
11,7	0,7	27,4

De optredende trekspanning aan de onderkant van de constructie (σ_{1-}) kan worden opgevangen door wapening toe te passen. Dit kan zowel in de vorm van toevoegen van vezels of het gebruik van wapeningsstaven in de onderkant van de randboog. Als wordt gekeken naar het effect op de zakking is te zien dat deze onacceptabel groot is. Het is dus nodig om een drukboog toe te passen.

Hoofdstuk 8 – Conclusie

Voorafgaand aan dit onderzoek is de volgende onderzoeksvraag gesteld:

Wat is de beste methode om de betonnen schaalconstructie te realiseren en hoe heeft die effect op de rest van het ontwerp?

Het beantwoorden van de onderzoeksvraag is via een korte probleemanalyse uitgevoerd waarna er een twee varianten van een draagconstructie zijn ontworpen die getoetst zijn met zowel een handberekening als met het computerprogramma SCIA.

Uit de handberekening is gebleken dat variant 2 van de schaalconstructie te realiseren is met een dikte van 100 mm.

In de vergelijking van de handberekening met de resultaten uit SCIA is gebleken dat de handberekening gelimiteerd is. SCIA houdt rekening met de geometrie van de constructie en de relaties tussen de spanningen, krachten, momenten en verplaatsingen. Hierdoor wijken de resultaten van de handberekening af van de gevonden waarden uit SCIA. Voor de meeste belastinggevallen is gebleken dat de handberekening een te lage waarde geeft, dit is geen veilige manier om de constructie te realiseren.

Als laatste is de gekozen variant verder uitgewerkt. Er is gekeken naar de primaire wapening en de optimale dimensies van de randboog in het ontwerp. De resultaten hebben uitgewezen dat het toepassen van staalvezels de treksterkte en de maakbaarheid positief beïnvloed.

In conclusie, uit het onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om een dunne schaalconstructie te realiseren welke voldoet aan de meeste gestelde ontwerpeisen. Dit kan het beste gedaan worden in SCIA gezien het een complex gevormde constructie is, de handberekening heeft geen veilige resultaten gegeven. In een ander onderzoek kan gekeken worden naar de optimalisatie van de handberekening om zo een realistischer resultaat te krijgen.

Bronnen

- [Bezoekerscentrum Waalbos - Rijsoordse molen] [Poster]. (2017, maart). Geraadpleegd van http://www.afstudeeropdrachten.citg.tudelft.nl/bsc_downloadpdf.php?id=826
- [Schetsontwerp Bezoekerscentrum Waalbos]. (2017, 8 september). Geraadpleegd van http://www.bezoekerscentrumwaalbos.nl/media/attachments/2017/06/29/170531-17010_so_3.pdf
- Elling, R., Andeweg, B., Jong, J. de, & Swankhuisen, C. (2005). *Rapportageteknik*. Groningen/Houten, Nederland: Noordhoff.
- Handleiding BSc-eindproject. (2017, 6 september). Geraadpleegd van <https://brightspace.tudelft.nl/d2l/le/content/45003/viewContent/446950/View>
- Hertogh, M.J.C.M., & Bosch-Rekvelde, M.G.C. (2015). *Integraal Ontwerp en Beheer*. Delft, Nederland: TU Delft.
- Samenvatting ontwerpuitgangspunten (highlights). (2017, 7 september). Geraadpleegd van <http://www.bezoekerscentrumwaalbos.nl/media/attachments/2017/07/02/samenvatting-ontwerpuitgangspunten-highlights-.pdf>
- Ontwerpbestemmingsplan Bezoekerscentrum Waalbos. Geraadpleegd van http://www.ridderkerk.nl/inwoners/ter-inzage_48197/item/ontwerpbestemmingsplan-bezoekerscentrum-waalbos_64030.html
- Bestemmingsplan Bezoekerscentrum Waalbos. Geraadpleegd van <http://www.ruimtelijkeplannen.nl/web-roo/roo/bestemmingsplannen>
- Braam, C. & Lagendijk, P. (2011). *Constructieboek Gewapend Beton* (7^e druk). Boxtel, Nederland: Aeneas, uitgeverij van vakinformatie bv.
- Ondergrondgegevens (2017-09-20). Geraadpleegd van <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- van Eldik, C. (2013). *Veiligheid (CTB2220/CTB2320)*. Zoetermeer, Nederland: Bouwen met staal
- Hartsuiker, C. & Welleman, H. (2007). *Intro into Continuum Mechanics*. Delft, Nederland: TU Delft.
- Bentur, A. & Mindess, S. (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Abingdon, Verenigd Koninkrijk: Taylor & Francis.
- Wagemans, L. (2004). *Quick Reference* (ed. 2014). Delft, Nederland: TU Delft
- Kok, M. & Schipper, R. & Grünwald, S. & Nijse, R. (2014). Double-curved textile reinforced concrete panels with tensile strain-hardening characteristics. *Strain Hardening Cementitious Composites*. Bagneux, Frankrijk: RILEM S.A.R.L. Publications.
- Products – Steel fibres – ArcelorMittal (2017, 17 september). Geraadpleegd van <http://ds.arcelormittal.com/wiresolutions/steelfibres/products/language/EN>
- Bouma, A. (1993). *Mechanica van Constructies: Elasto-statica van slanke structuren*. Delft, Nederland: Delftse Uitgevers Maatschappij
- Vezelbeton, vezelversterkt beton, tab-slap (2017, 21 september). Geraadpleegd van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/vezelbeton.shtml>

Bijlage 1 – Foto's huidige situatie

Een verzameling foto's genomen tijdens een bezoek aan de Rijsoordse molen.

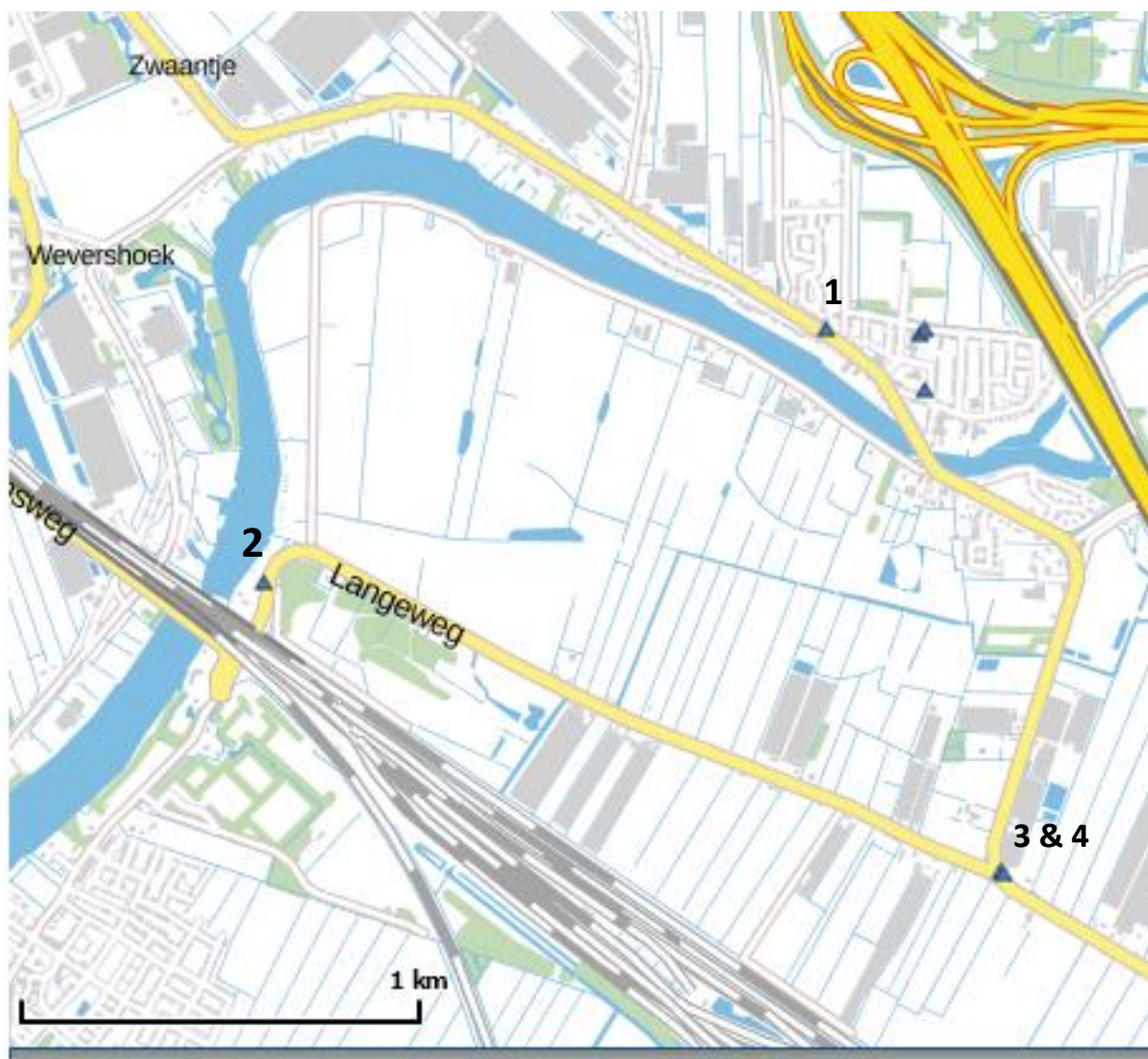






Bijlage 2 – Grondwaterstand

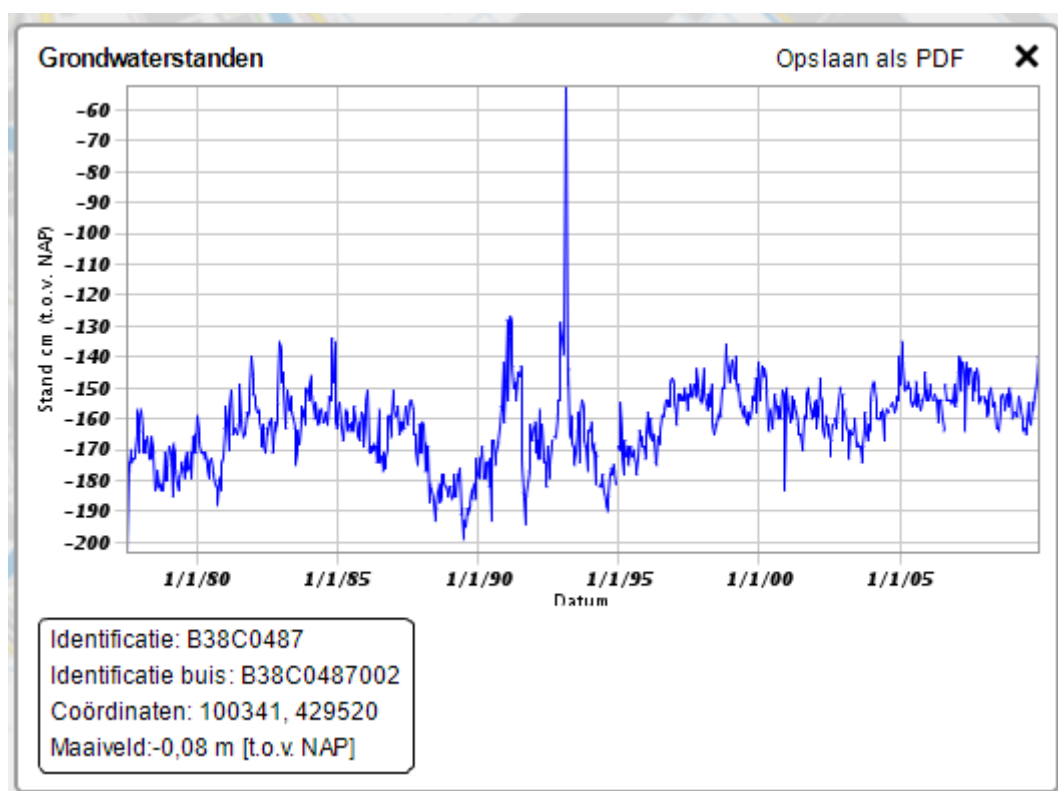
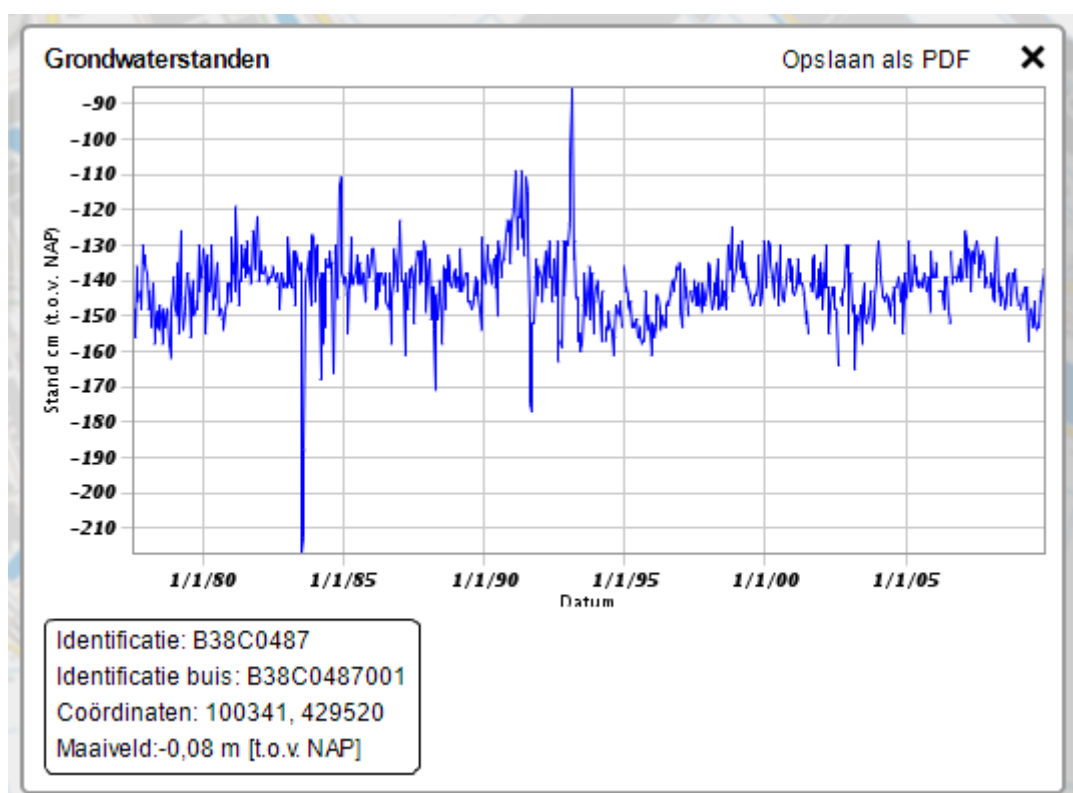
De locatie van de verschillende DINO/BRO-putten is in de onderstaande figuur te vinden.

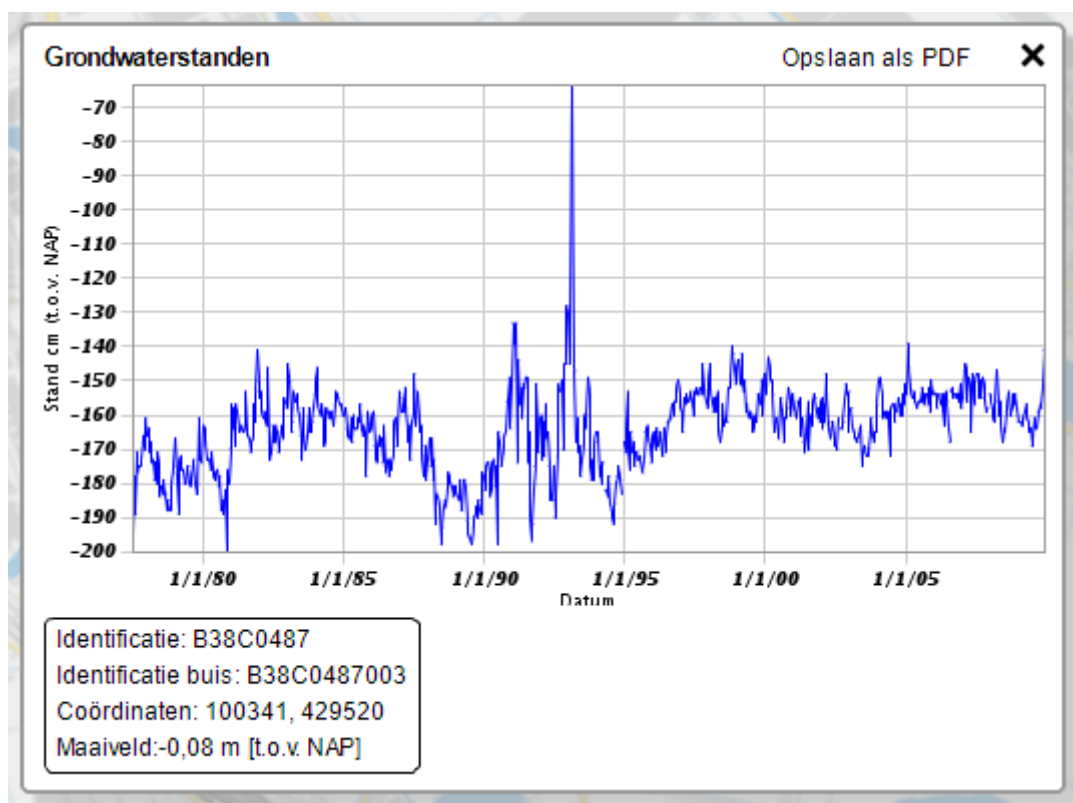


De gemiddelde grondwaterstand per put is te vinden in onderstaande tabel:

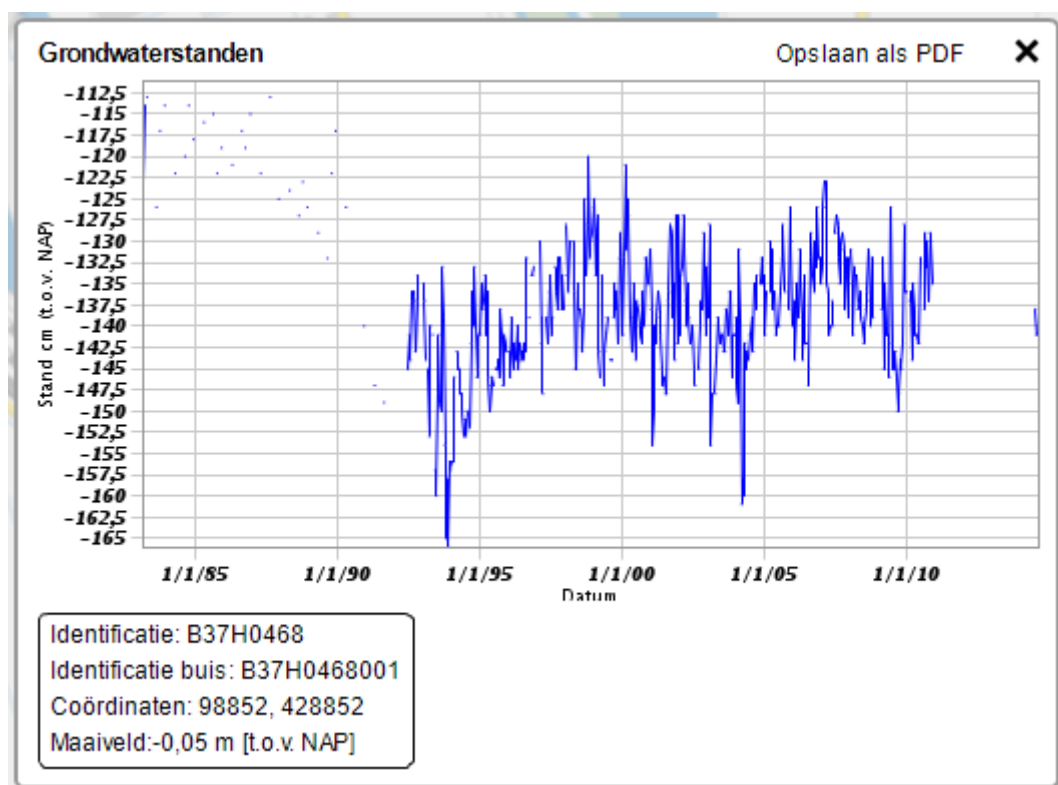
Locatie	Maaiveld (tov NAP)	Grondwaterstand (tov NAP)
1	-0,08 m	-1,40 m
	-0,08 m	-1,60 m
	-0,08 m	-1,60 m
2	-0,05 m	-1,35 m
	-0,05 m	-1,40 m
3	-1,50 m	-1,55 m
4	-1,37 m	-2,00 m
	-1,37 m	-1,55 m

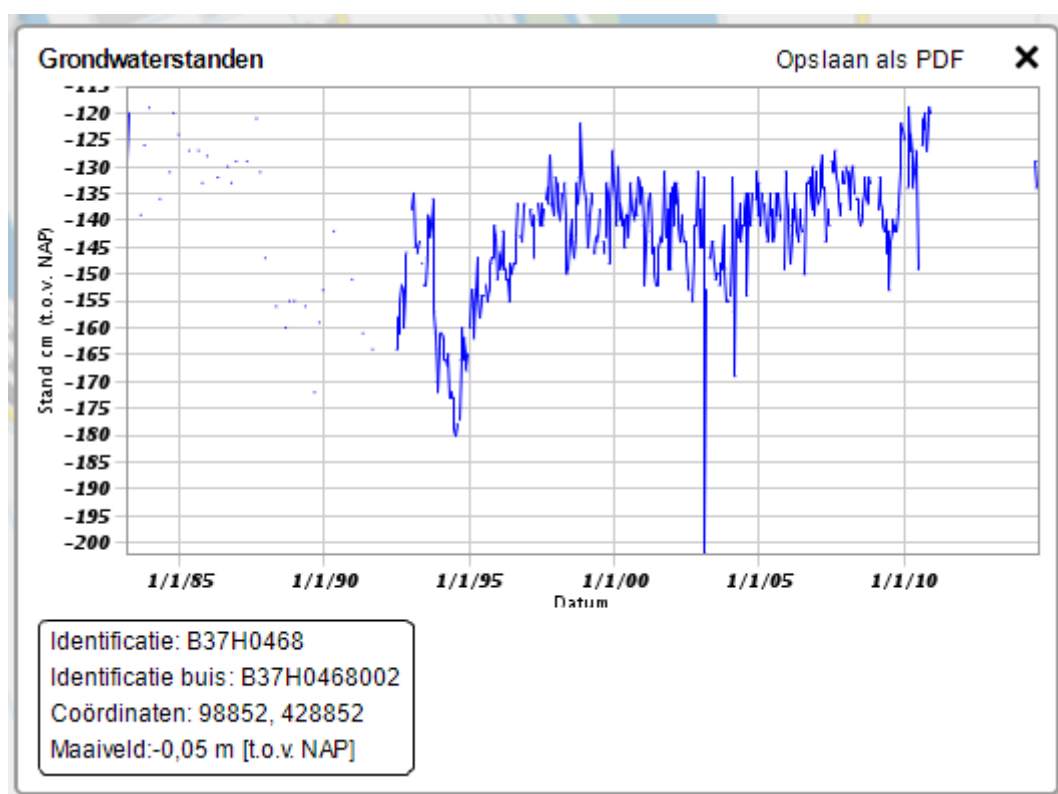
Locatie 1



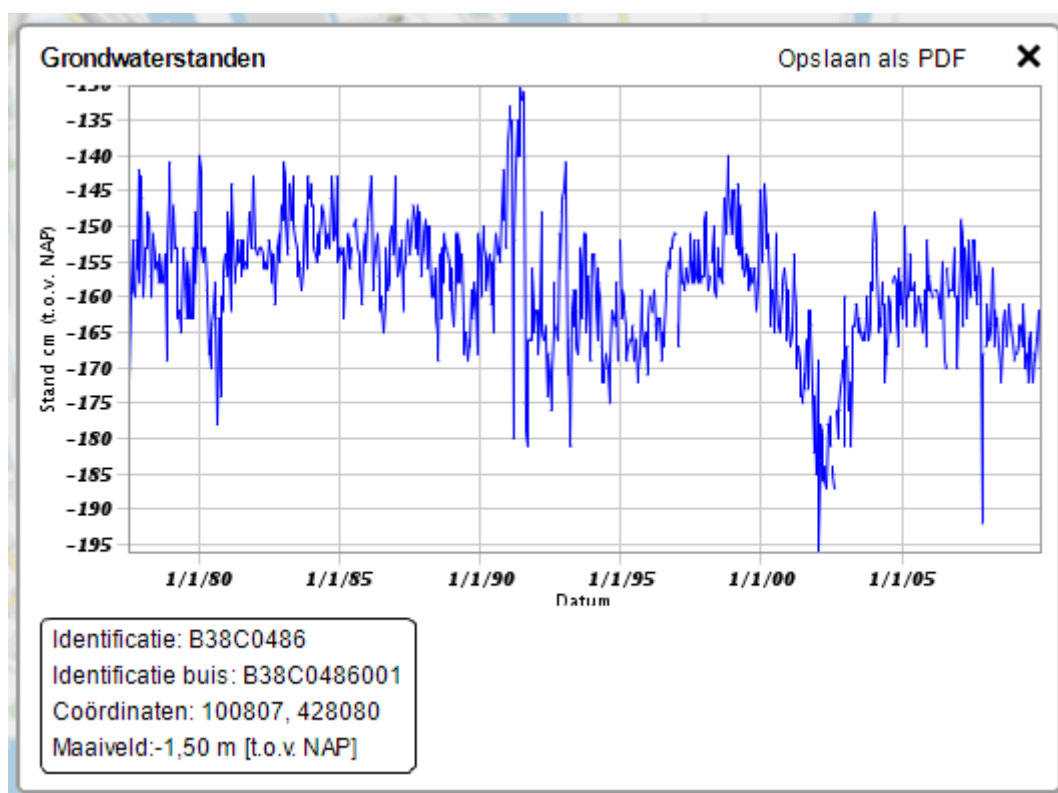


Locatie 2

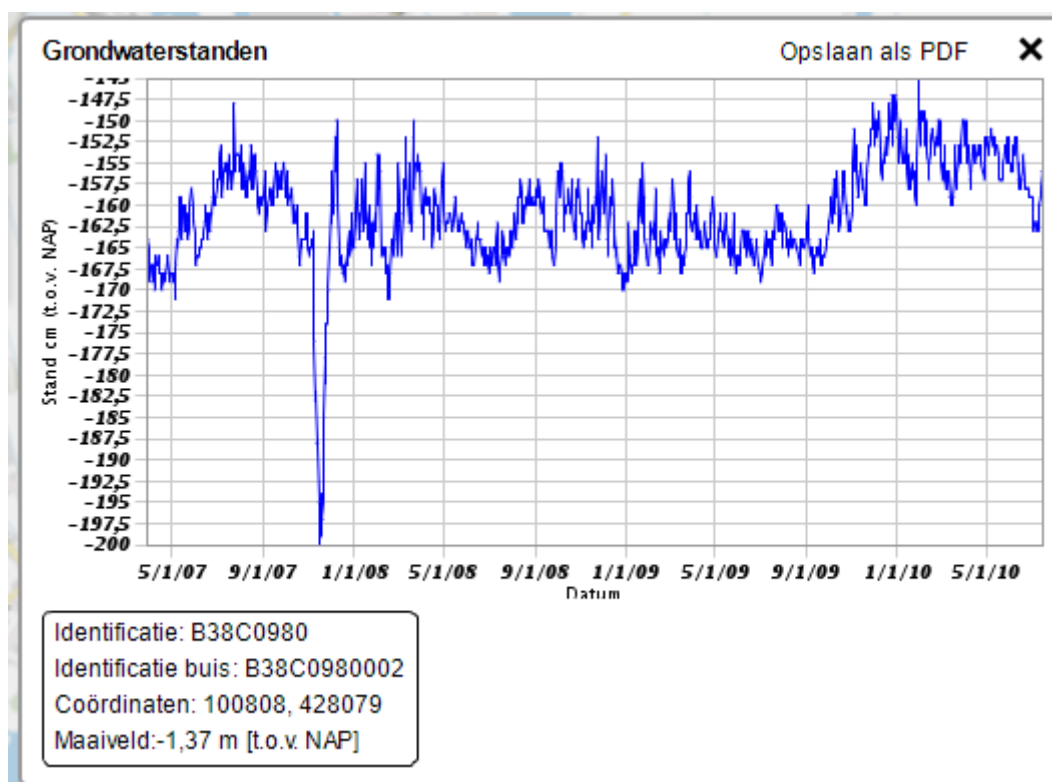
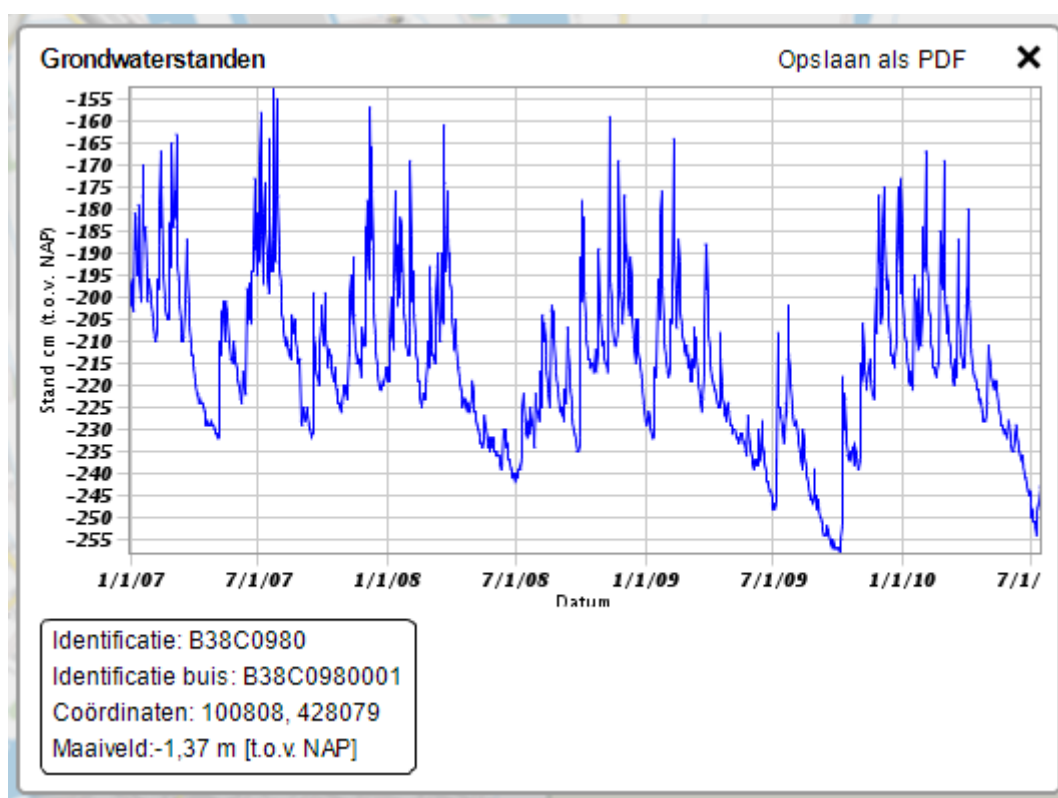




Locatie 3



Locatie 4



Bijlage 3 – Simulatie varianten

Toelichting berekening simulatie variant 1.2 'Vorm van gebouw'. Per onderdeel wordt een korte omschrijving gegeven en worden ook de gebruikte formules gegeven.

Dimensies: bepalen afmetingen boog, dikte van de lagen van de verschillende lagen.

Lasten: invoeren volumieke gewicht per materiaal en bepalen grootte lasten.

Combinaties: opstellen van de belastingcombinaties en het bepalen van de coëfficiënten.

Resultaten: In de resultaten worden de horizontale, verticale oplegreacties berekend, samen met de resultante van beide oplegreacties. Voor de asymmetrische belasting wordt ook het optredende moment bepaald.

Dimensioneren beton: Bepalen interne spanningen van het beton. Aan de hand van de berekende spanningsverloop kunnen de dimensies van de boog getoetst worden.

Gebruikte formules:

$$h_{\text{totaal}} = h_{\text{beton}} + h_{\text{isolatie}} + h_{\text{grond}}$$

$$G = \gamma_{\text{beton}} \times h_{\text{beton}} + \gamma_{\text{isolatie}} \times h_{\text{isolatie}} + \gamma_{\text{grond}} \times h_{\text{grond}}$$

$$BG = G \times \psi_G + Q \times \psi_Q$$

$$H = \frac{q_0 l^2}{8f}$$

$$V = \frac{q_0 l}{2}$$

$$R = \sqrt{H^2 + V^2}$$

$$M_{\text{symmetrisch}} = \frac{1}{2} q_0 x(l-x) - \frac{q_0 l^2}{8f} \frac{4fx(l-x)}{l^2} = 0$$

$$M_{\text{asymmetrisch}} = \frac{1}{64} q_0 l^2$$

$$H = \frac{q_0 l^2}{16f}$$

$$W = \frac{1}{6} b h^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

Randboog:

$$N = q_0 R$$

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

(Variant 1, Boog 1)

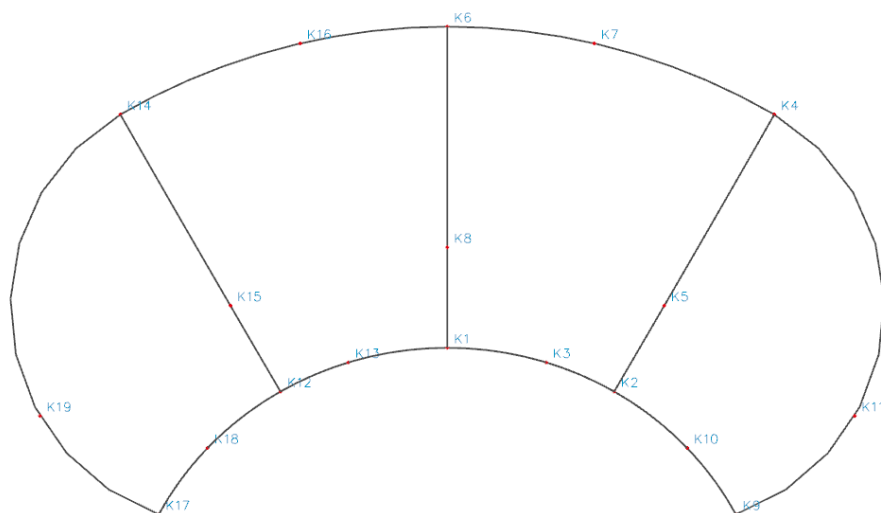
36

Bijlage 4 – SCIA

In SCIA is de constructie van variant 2 ingevoerd. In deze bijlage wordt uitgelegd hoe de constructie is ingevoerd, alsmede hoe de resultaten zijn verkregen.

Invoer constructie

In onderstaande figuur zijn de knopen weergegeven die gebruikt zijn in SCIA om de constructie te maken. De afmetingen van de randboog, die loopt van K17 naar K9, zijn 200 mm bij 100 mm. De constructie is gemaakt van betonsoort C45/55 en is 100 mm dik.



De coördinaten van de knopen zijn weergegeven in tabel [].

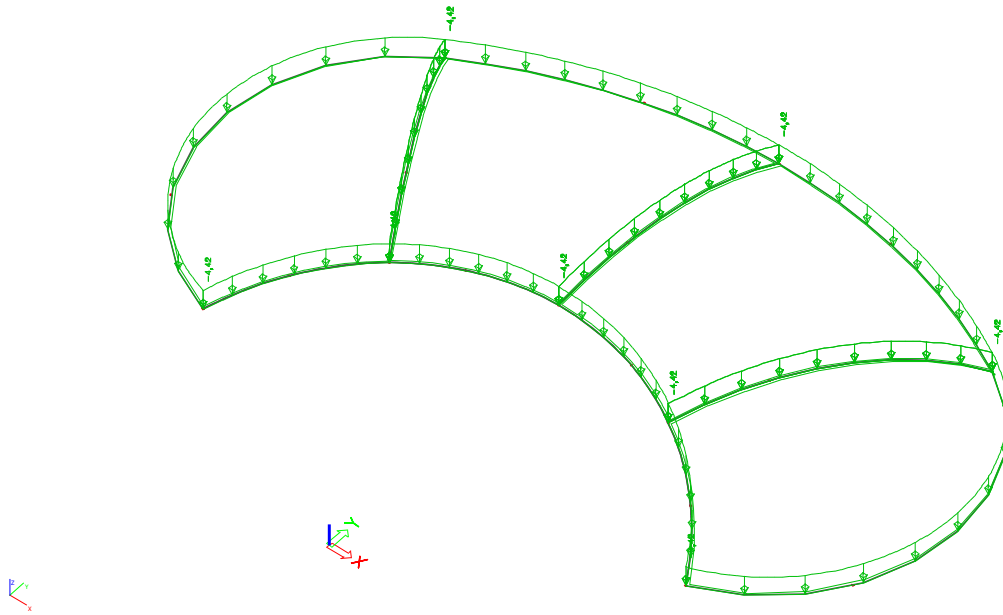
Knoop	X [m]	Y [m]	Z [m]
K1	0	13,650	2,380
K2	6,825	11,867	1,756
K3	4,043	13,055	2,171
K4	13,375	23,166	0
K5	8,875	15,372	2,600
K6	0	26,750	0
K7	6,015	26,065	0
K8	0	17,750	2,600
K9	11,803	6,856	0
K10	9,808	9,565	0,949
K11	16,669	10,872	0
K12	-6,825	11,867	1,756
K13	-4,043	13,055	2,171
K14	-13,375	23,166	0
K15	-8,875	15,372	2,600
K16	-6,015	26,065	0
K17	-11,803	6,856	0
K18	-9,808	9,565	0,949
K19	-16,669	10,872	0

Invoer lasten, combinaties

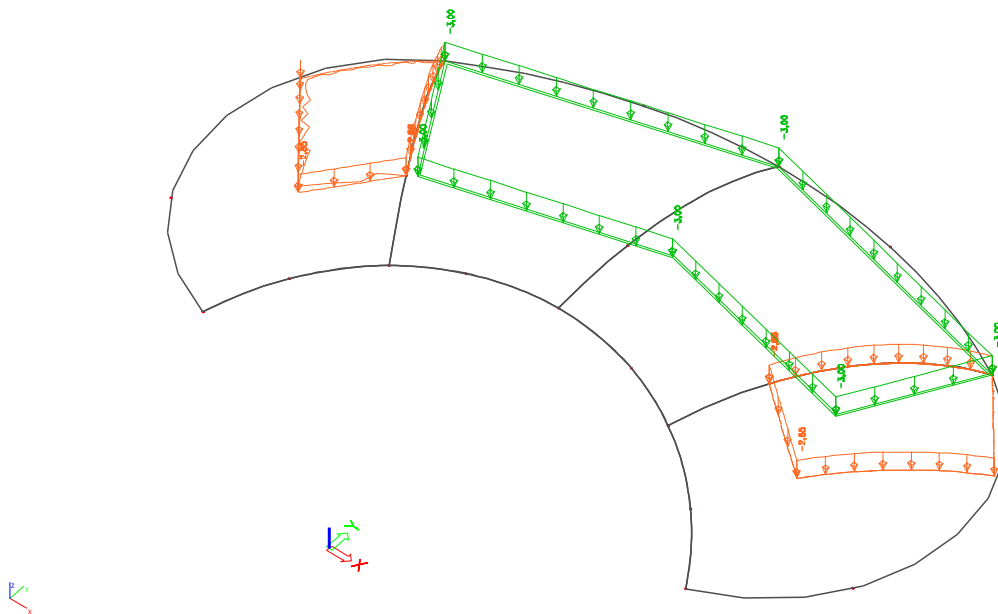
De belastingcombinaties die zijn gebruikt in hoofdstuk 4 zijn ook toegepast op de constructie.

- Combinatie 1: Alleen eigengewicht ($1,2 * G$)
- Combinatie 2: Eigengewicht + Q over hele schaal ($1,2 * G + 1,5 * Q$)
- Combinatie 3: Eigengewicht + Q Asymmetrisch ($1,2 * G + 1,5 * Q$)

Voor combinatie 1 en 2 geldt dat ze over heel de constructie werken, alleen de grootte van de belasting verschilt. Hieronder is de belasting voor combinatie 1 afgebeeld.

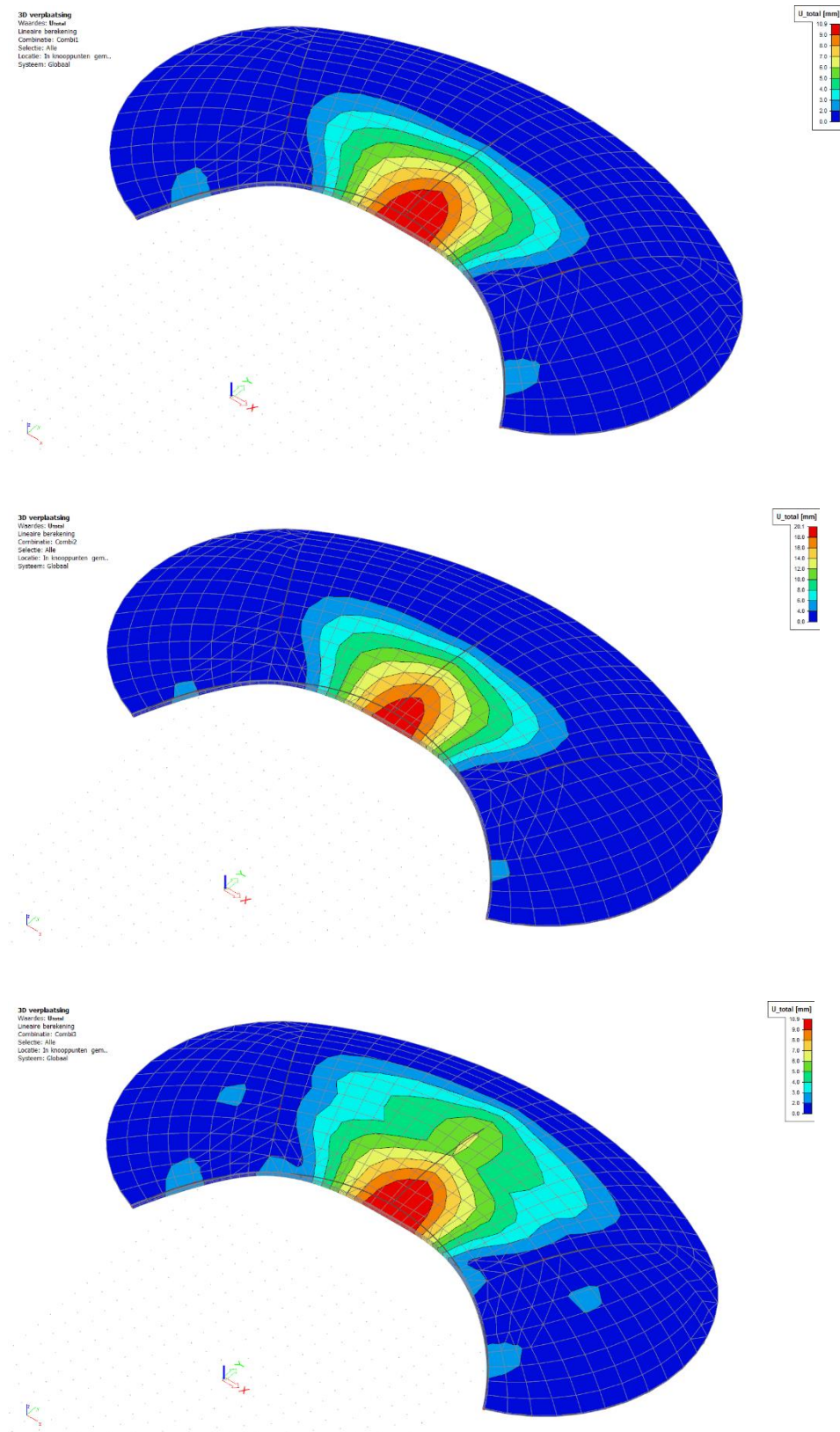


Voor combinatie 3 is de volgende belasting verdeling van toepassing:



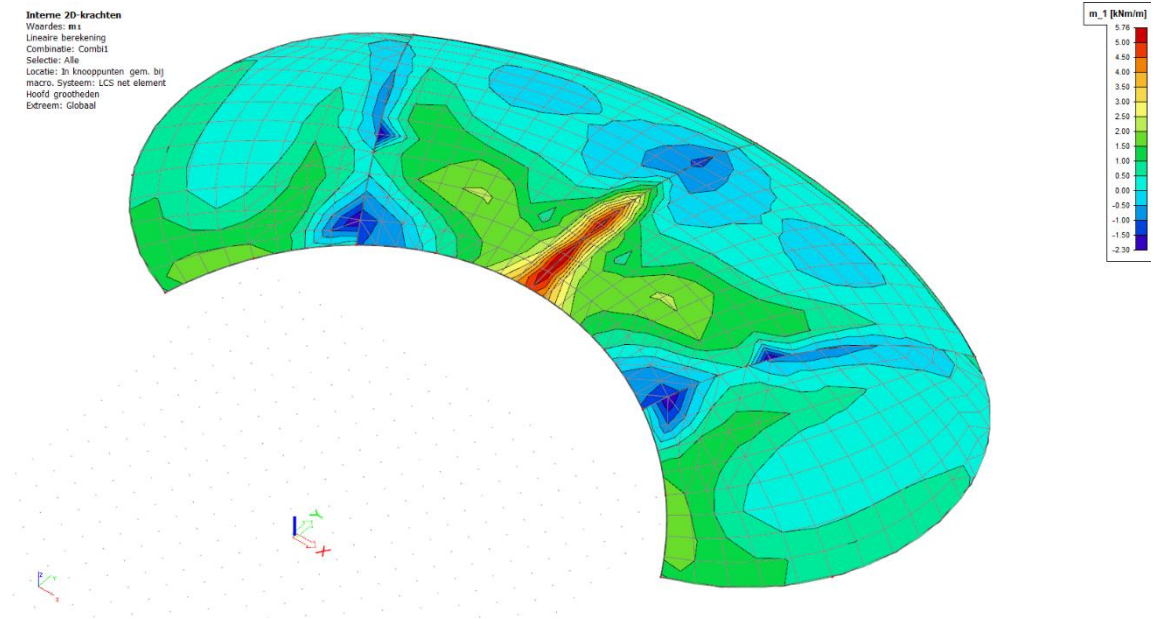
Resultaten

De 3D verplaatsingen voor de drie belastinggevallen zijn als volgt:

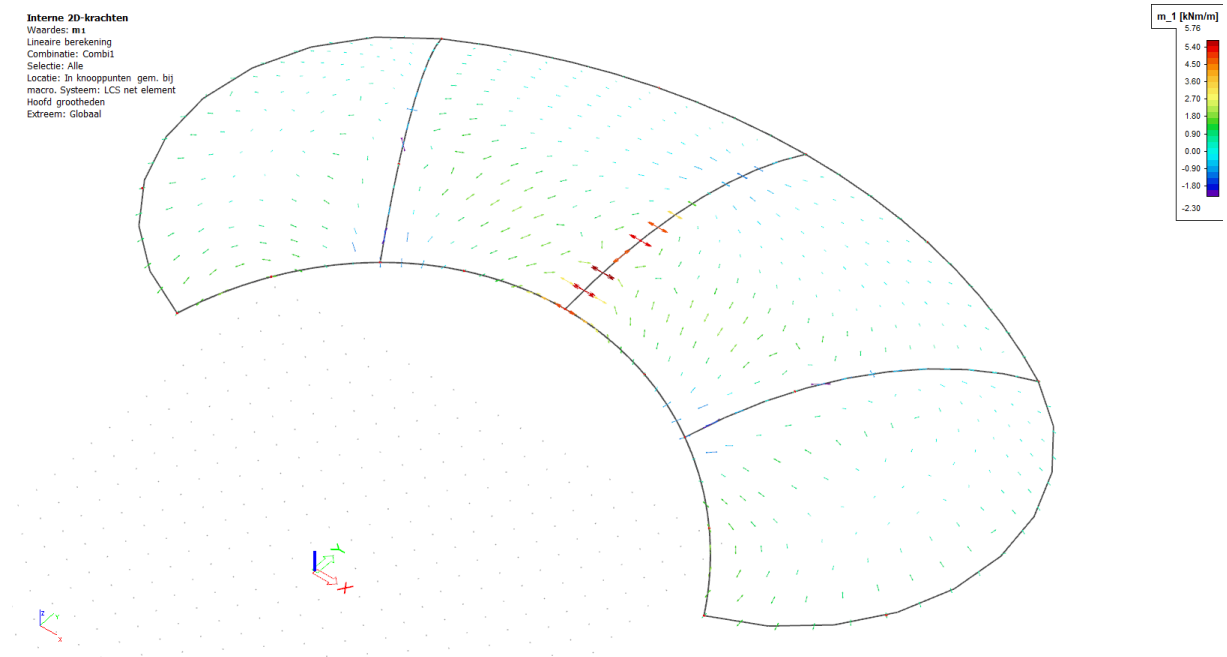


BG1 2D m1

2D spanning



Trajectorie

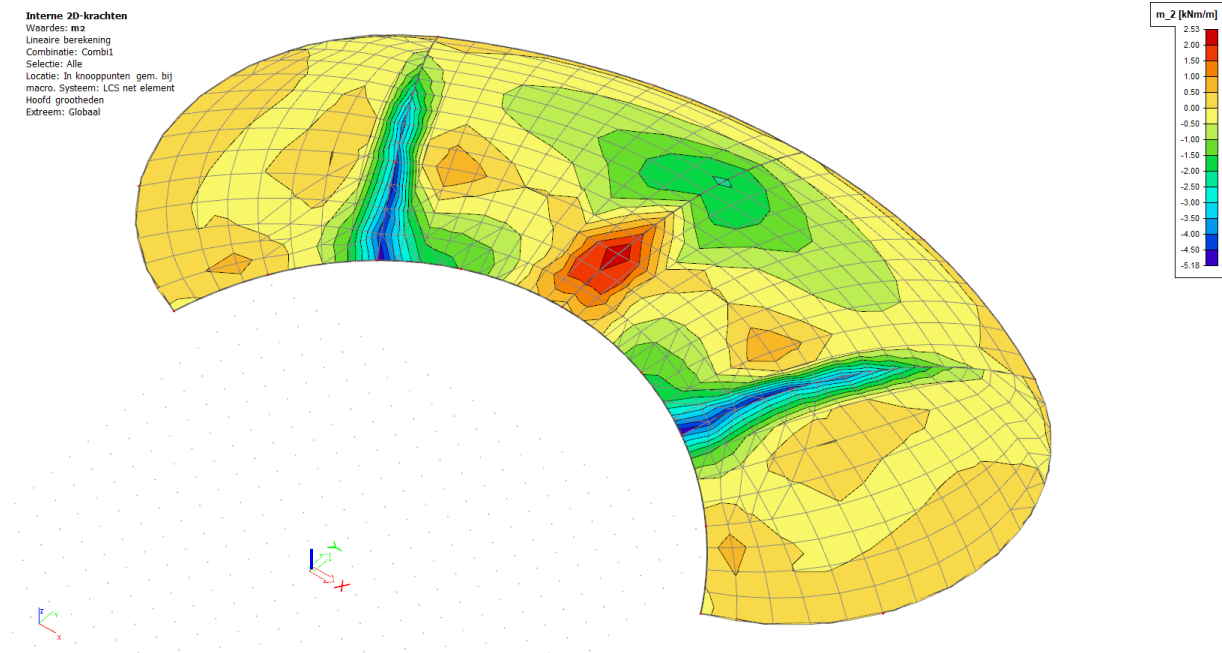


BG1 2D m2

2D spanning

Interne 2D-krachten

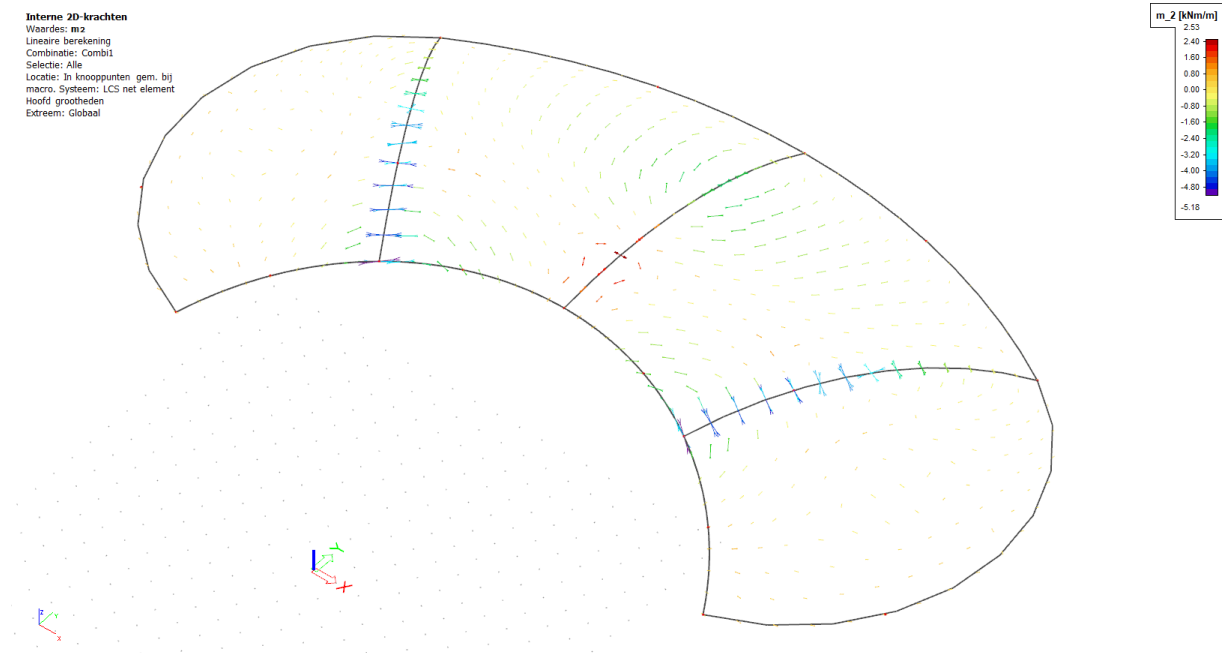
Waardes: m2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: m2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

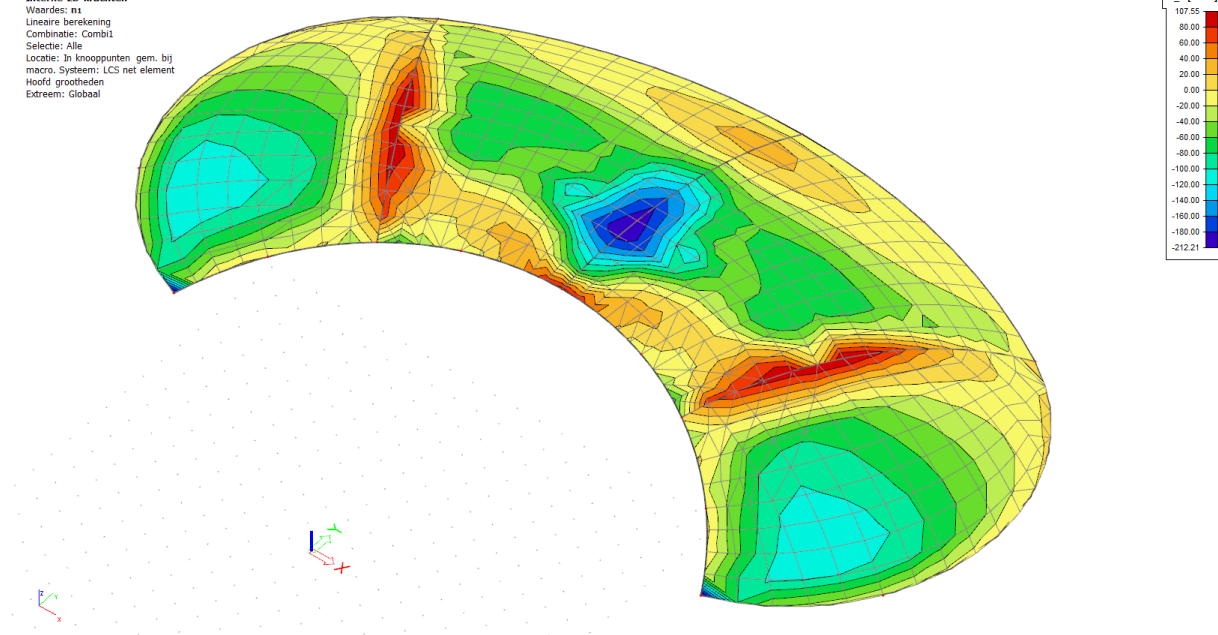


BG1 2D n1

2D spanning

Interne 2D-krachten

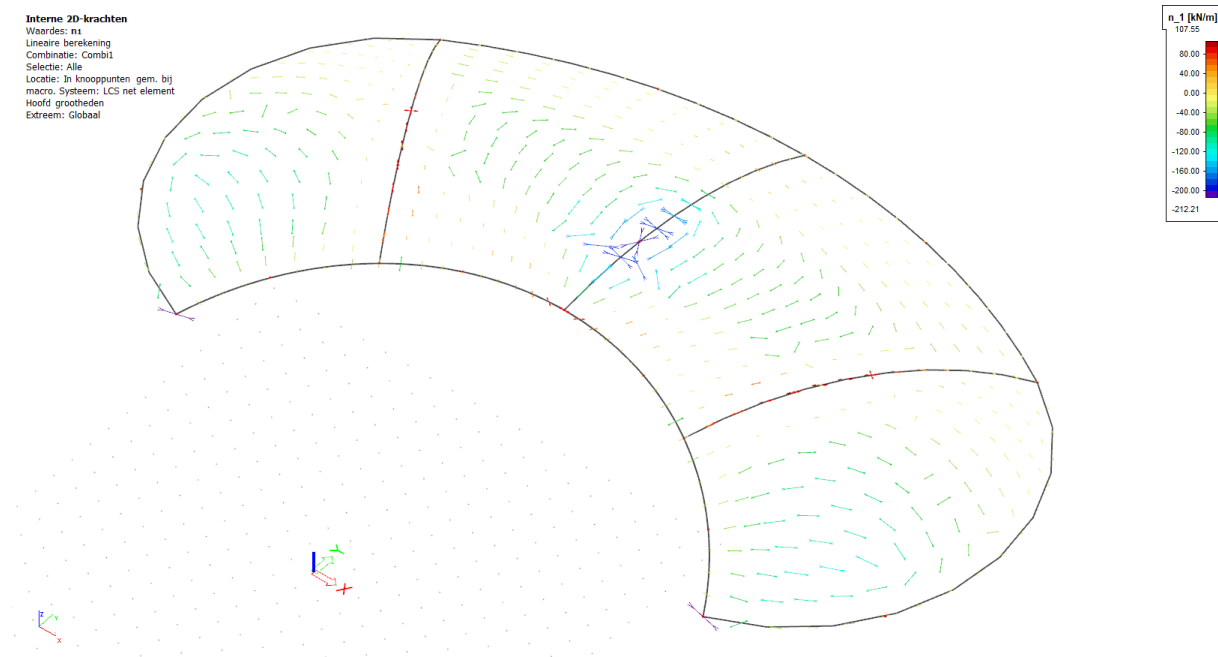
Waardes: n1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: n1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

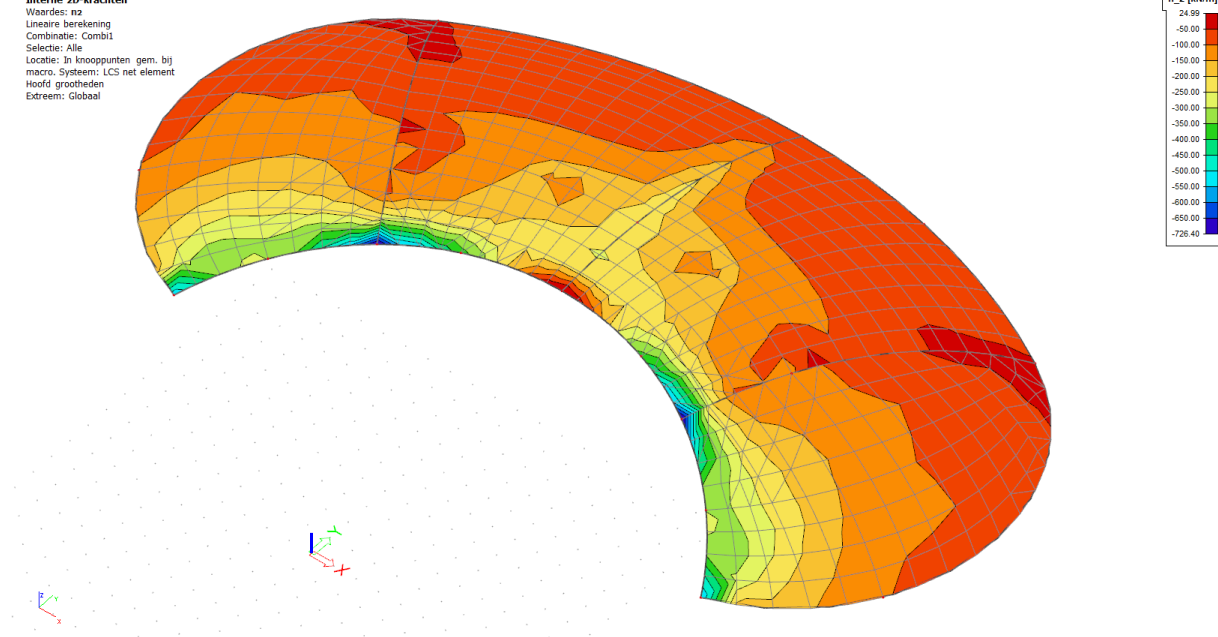


BG1 2D n2

2D spanning

Interne 2D-krachten

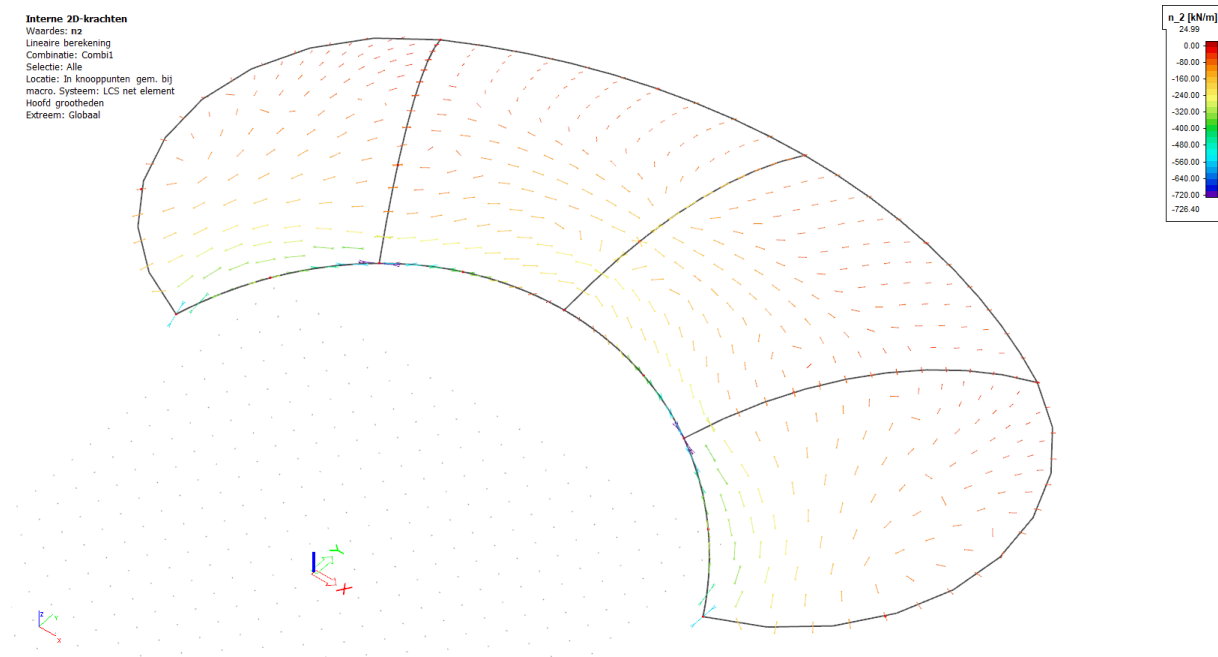
Waarden: n2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waarden: n2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

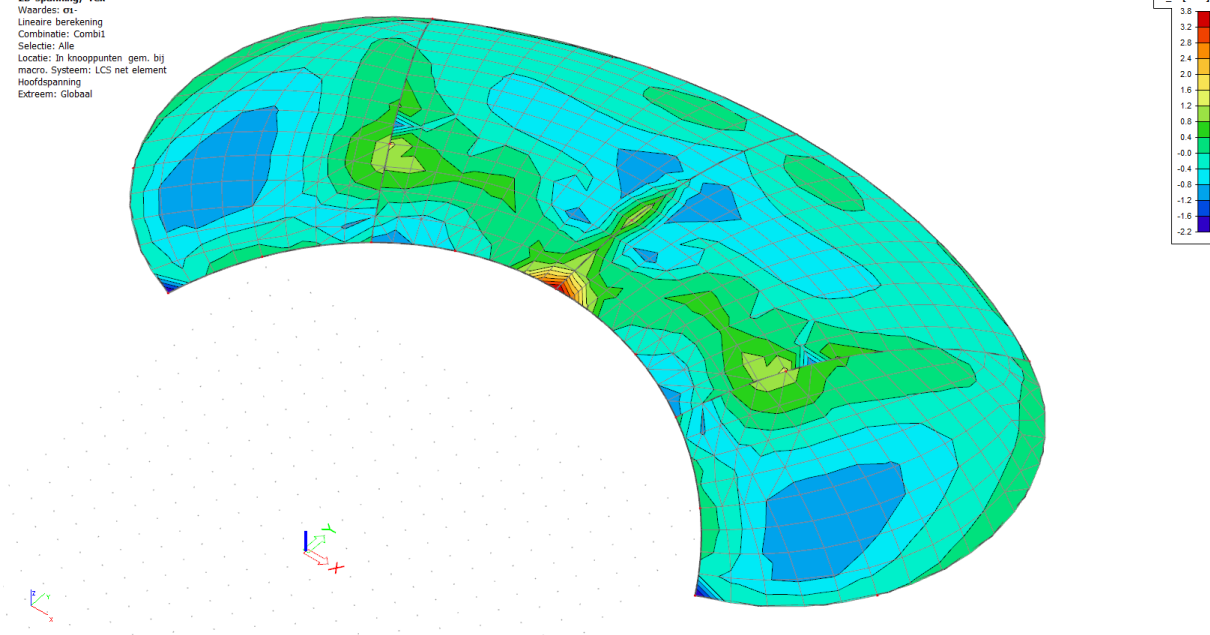


BG1 2D sigma 1 –

2D spanning

2D-spanning/-rek

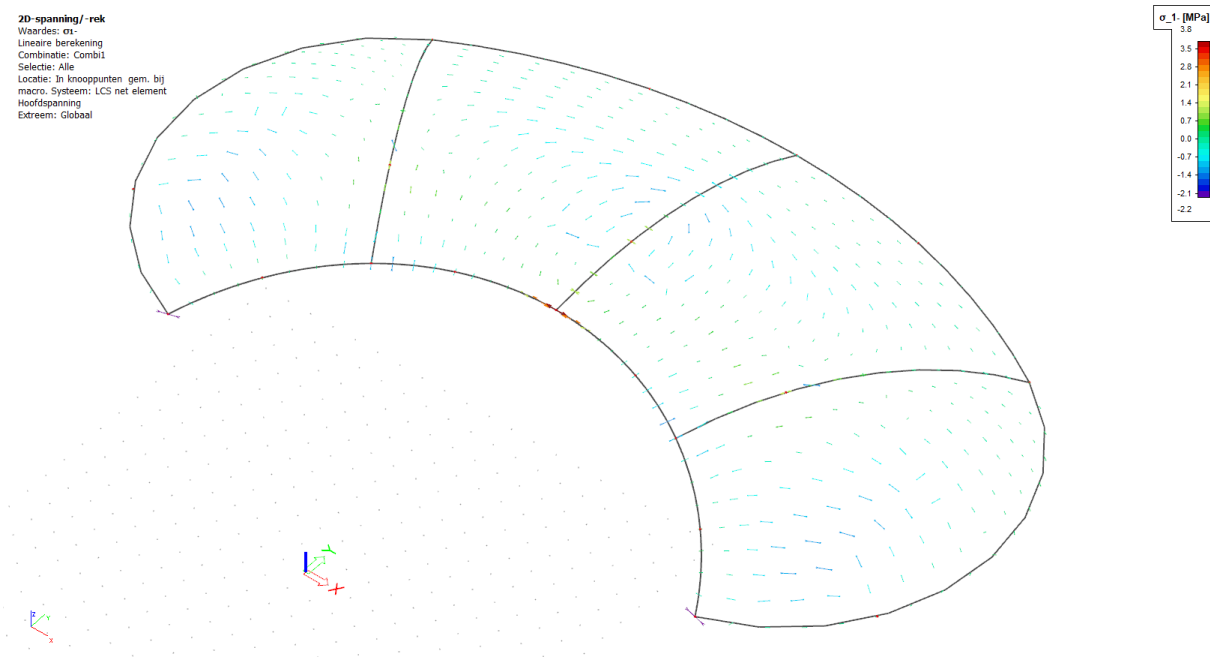
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

2D-spanning/-rek

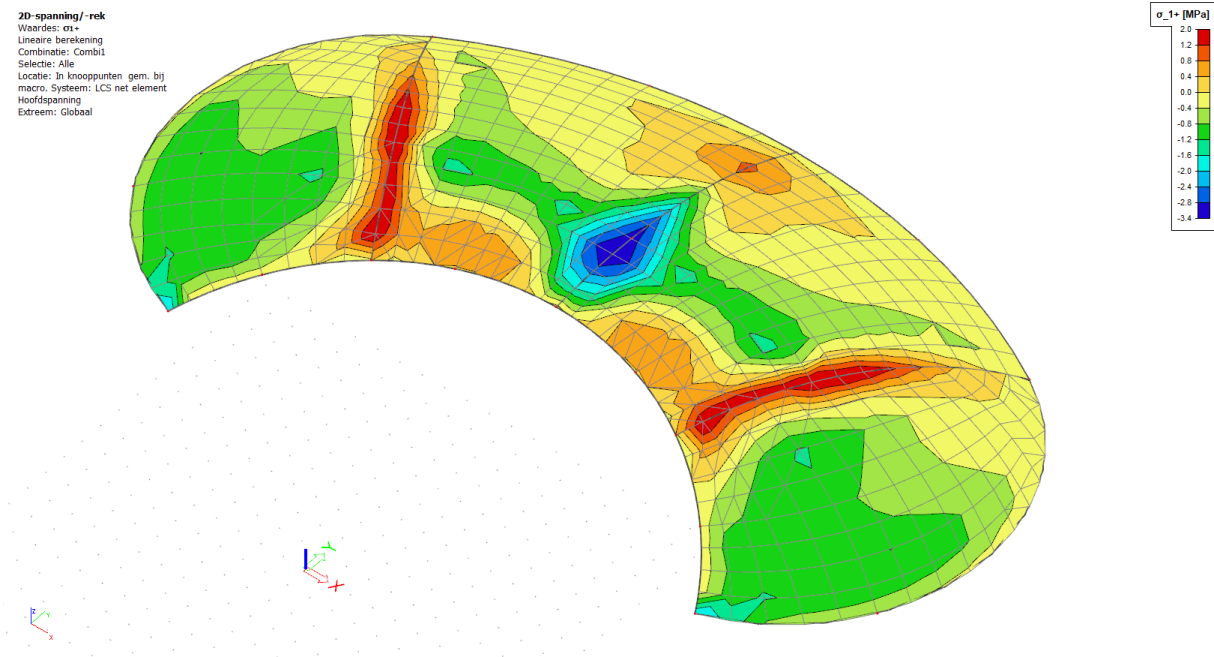
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG1 2D sigma 1 +

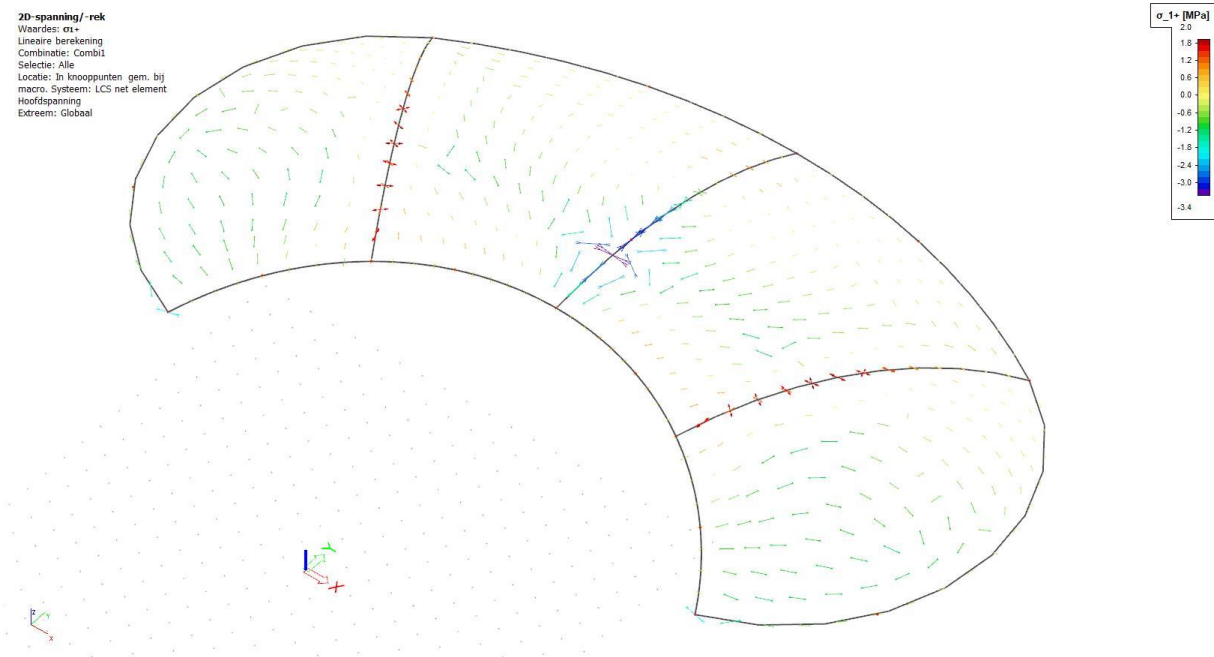
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

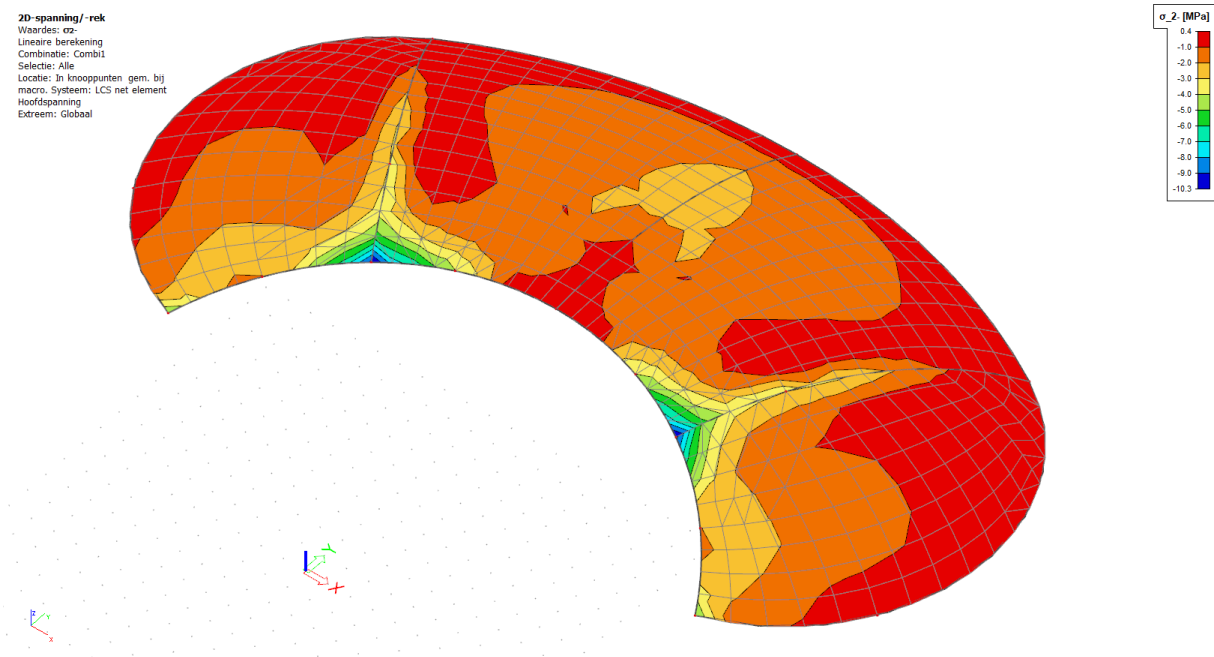
2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG1 sigma 2 –

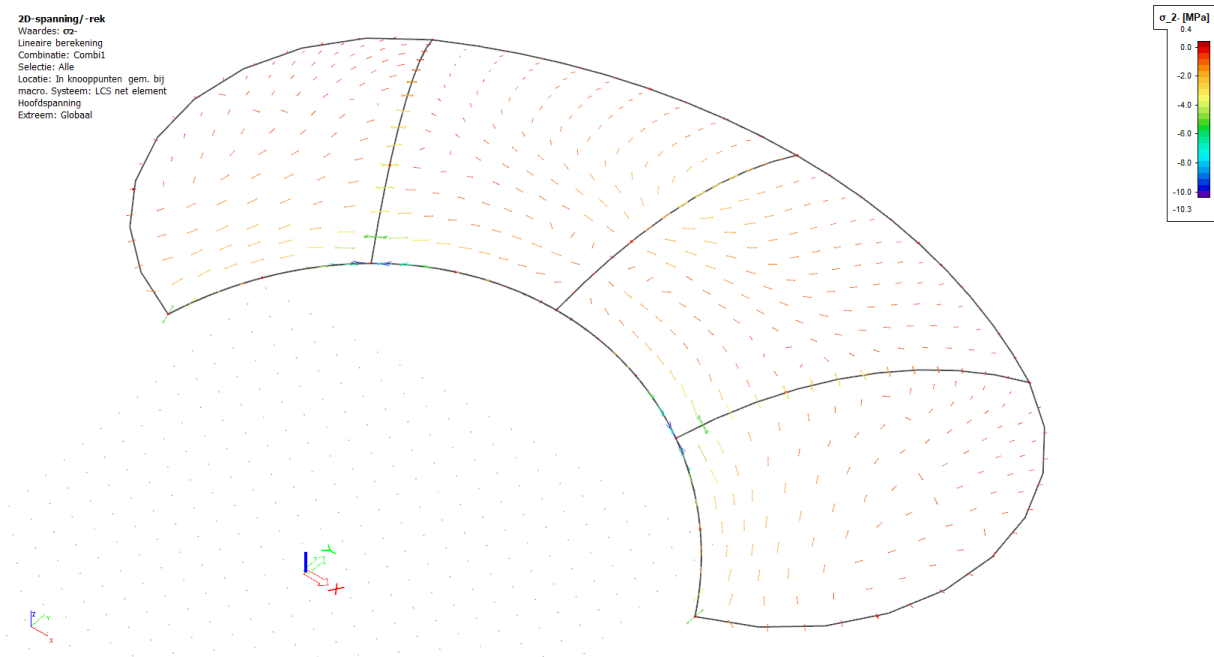
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waardes: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

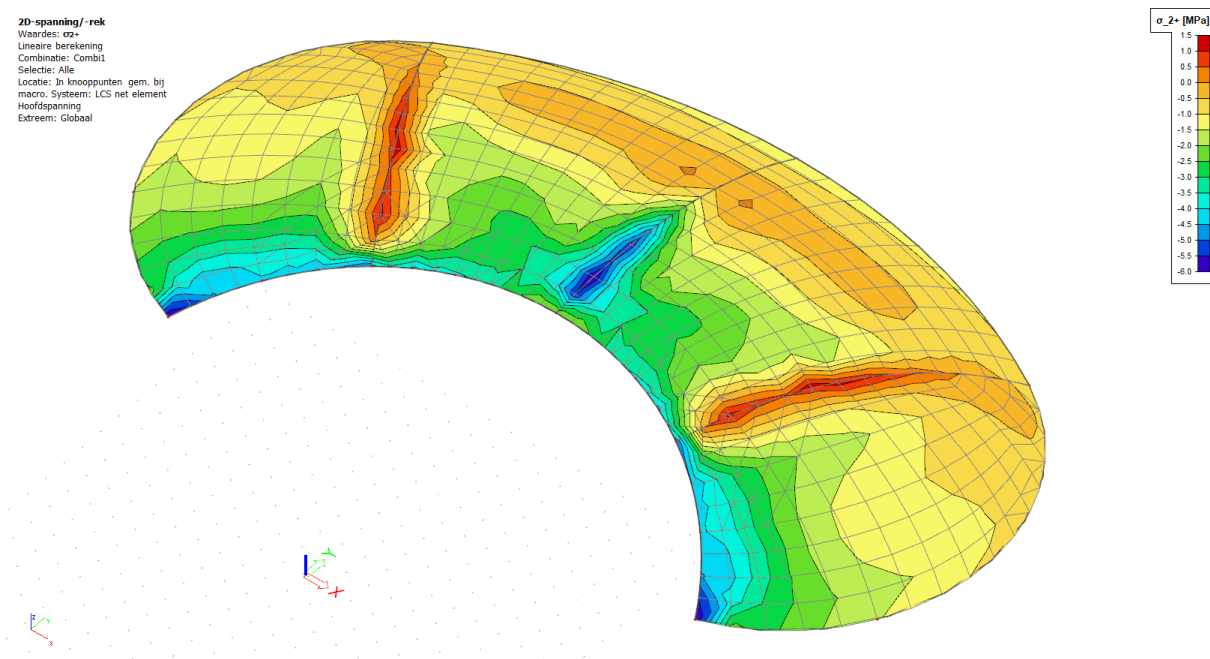
2D-spanning/-rek
Waardes: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG1 2D sigma 2 +

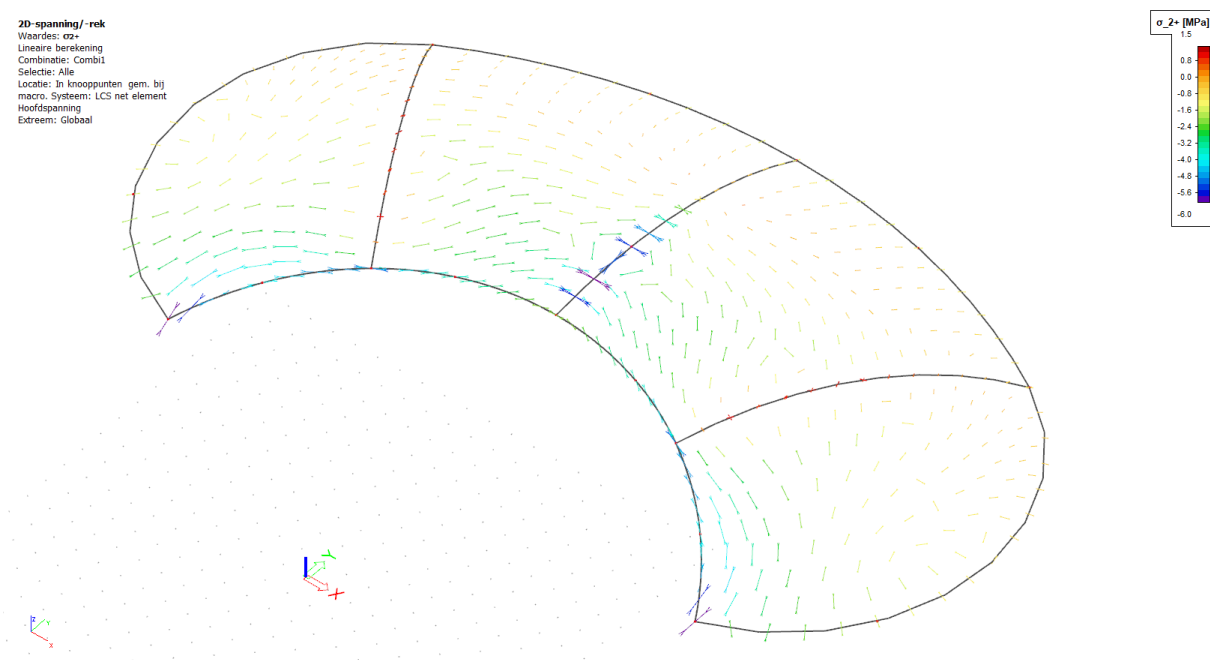
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi1
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal

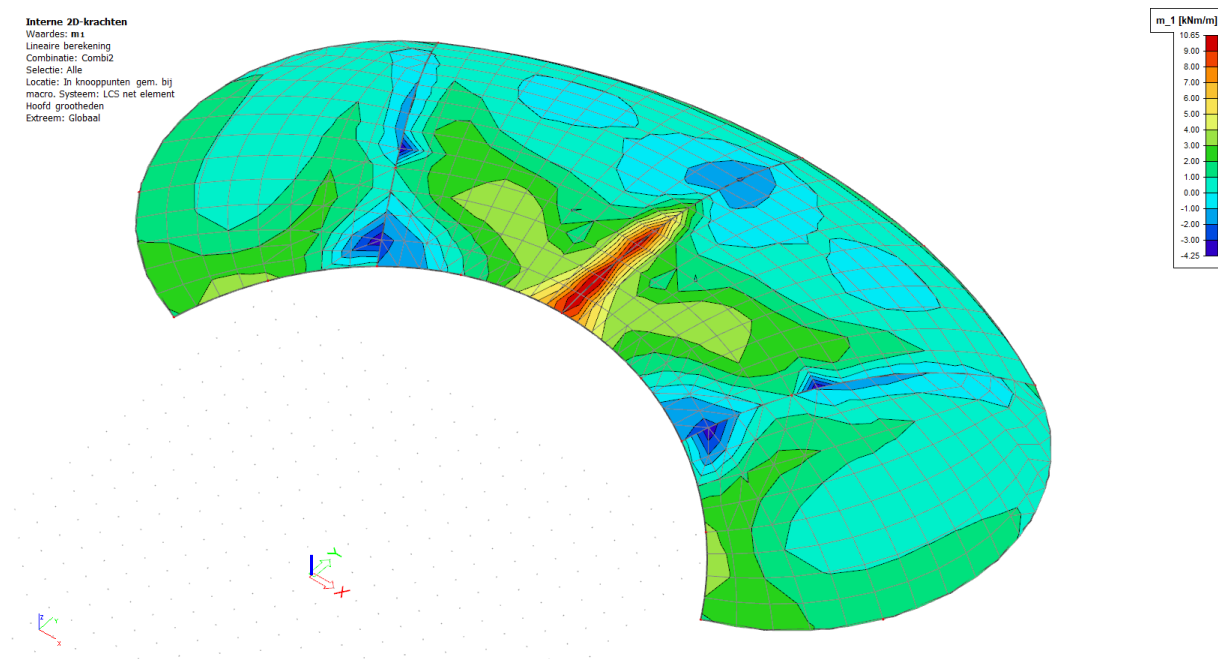


BG2 2D m1

2D spanning

Interne 2D-krachten

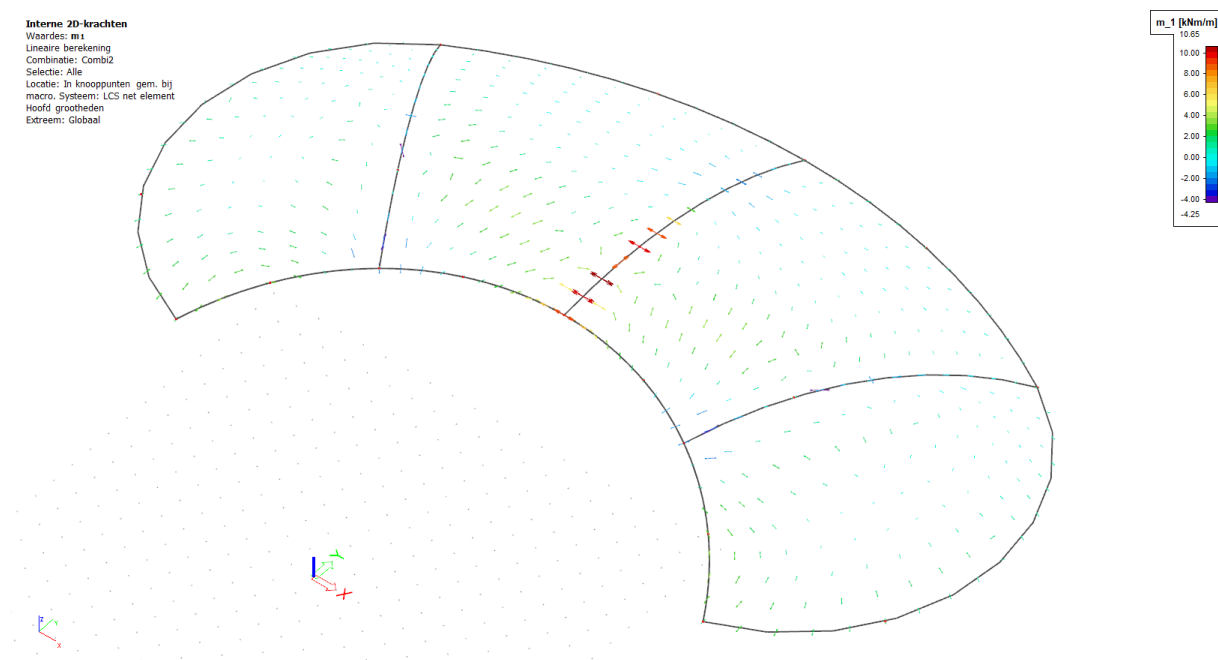
Waardes: m1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: m1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

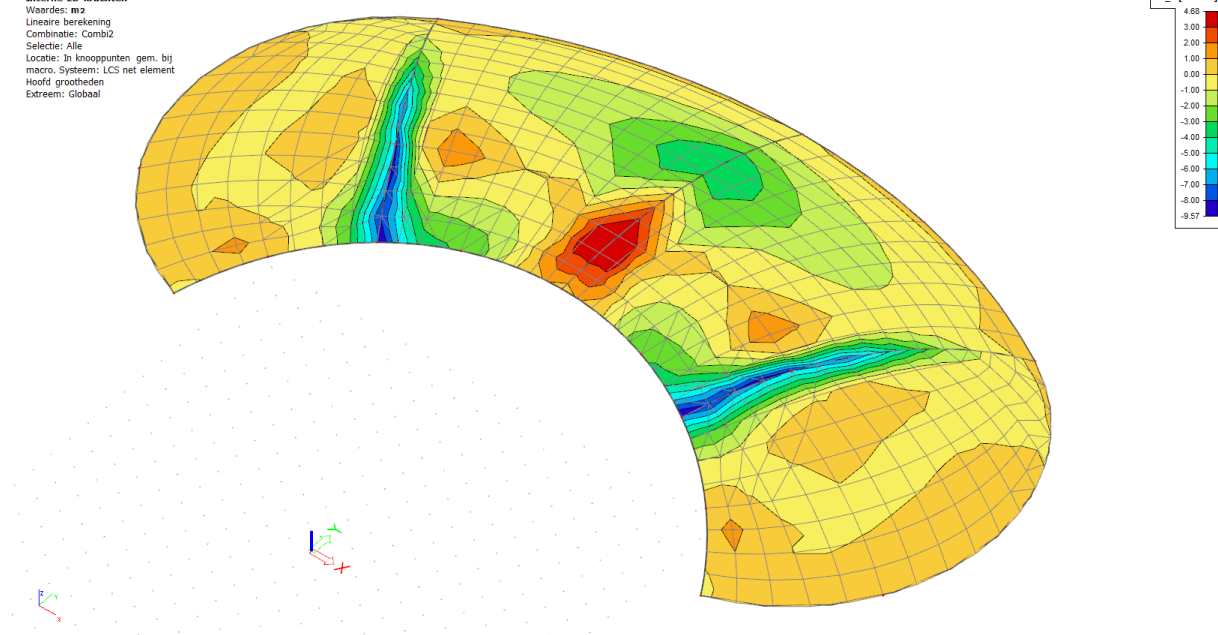


BG2 2D m2

2D spanning

Interne 2D-krachten

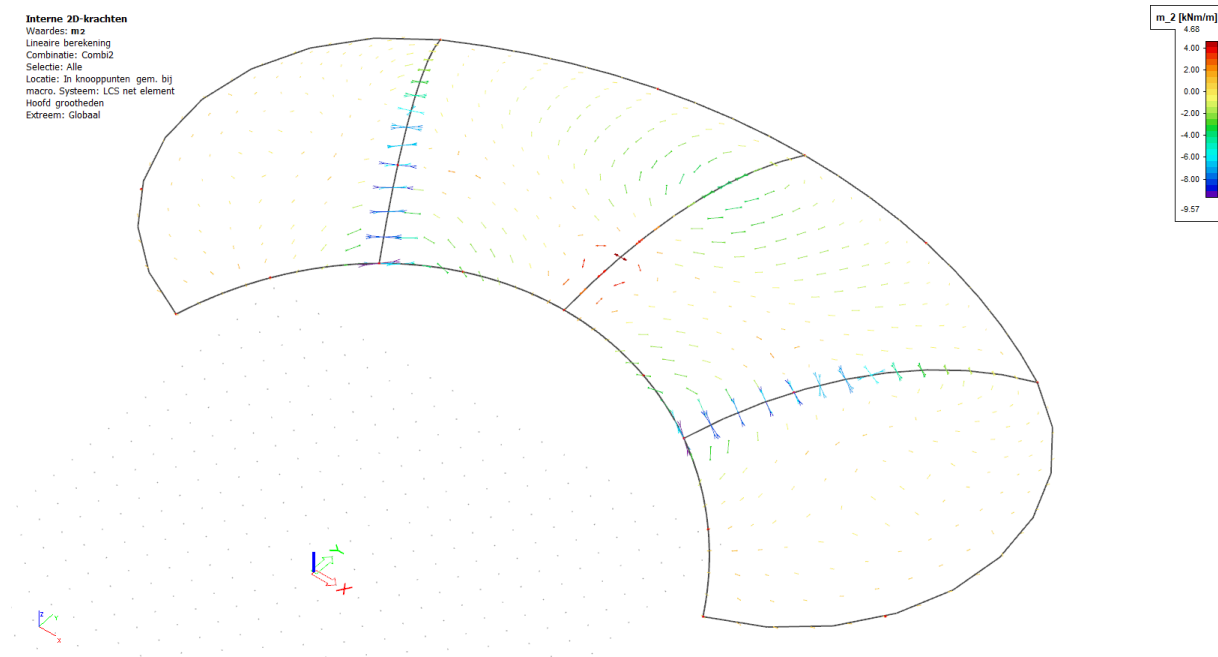
Waardes: m2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: m2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

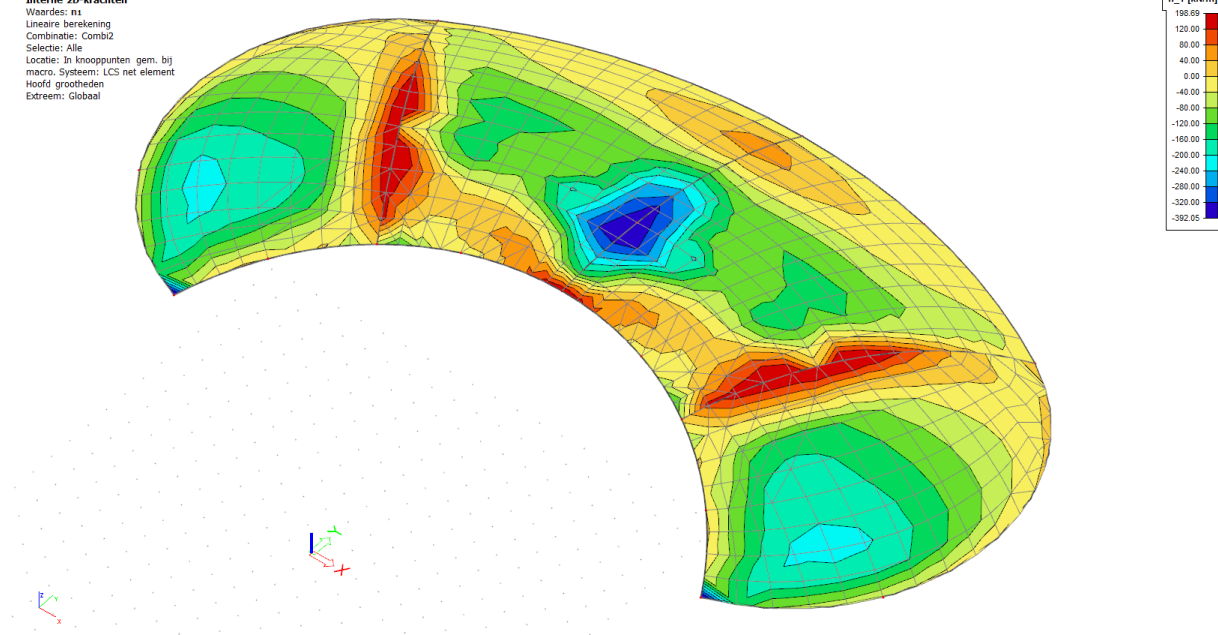


BG2 2D n1

2D spanning

Interne 2D-krachten

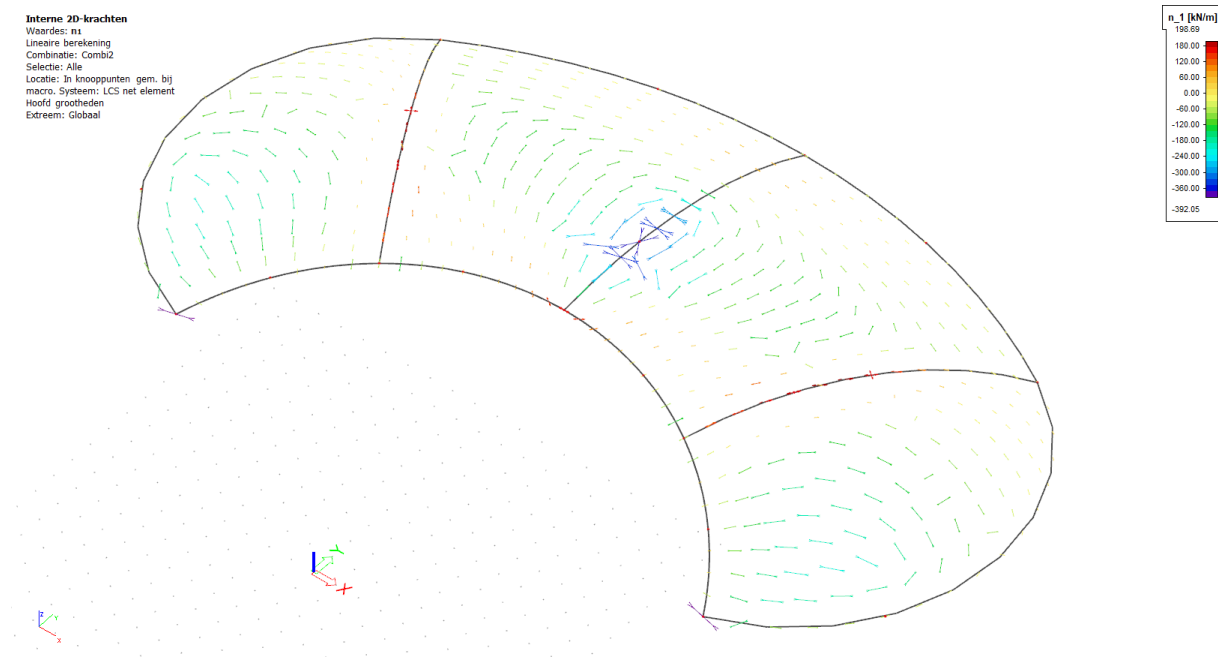
Waardes: n1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: n1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

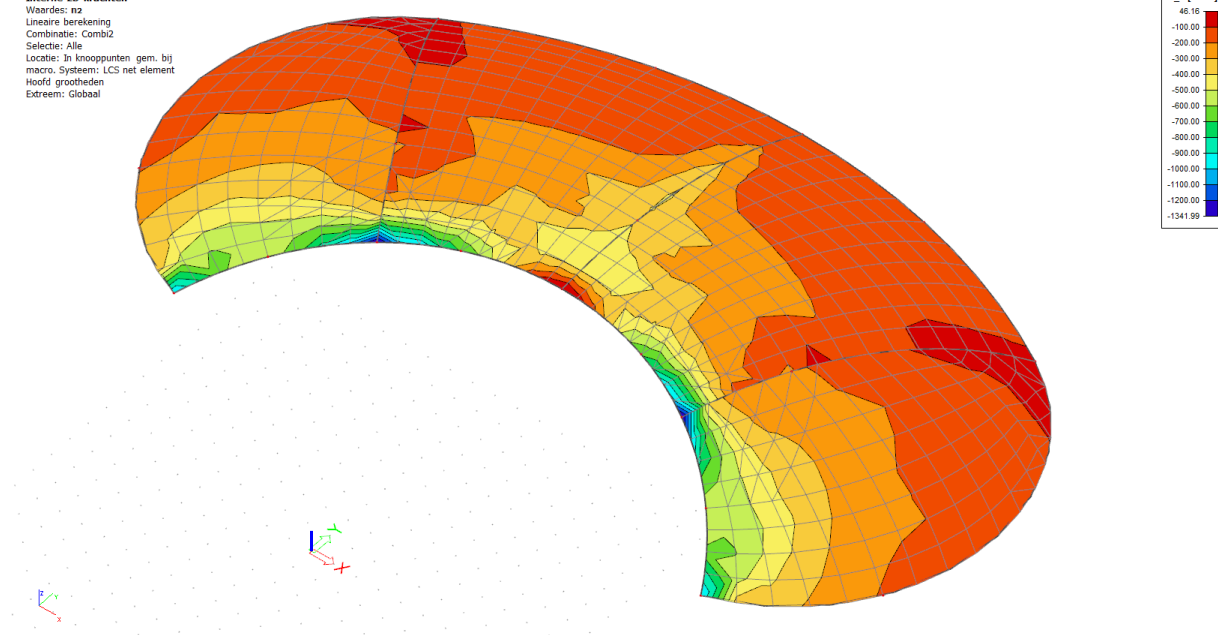


BG2 2D n2

2D spanning

Interne 2D-krachten

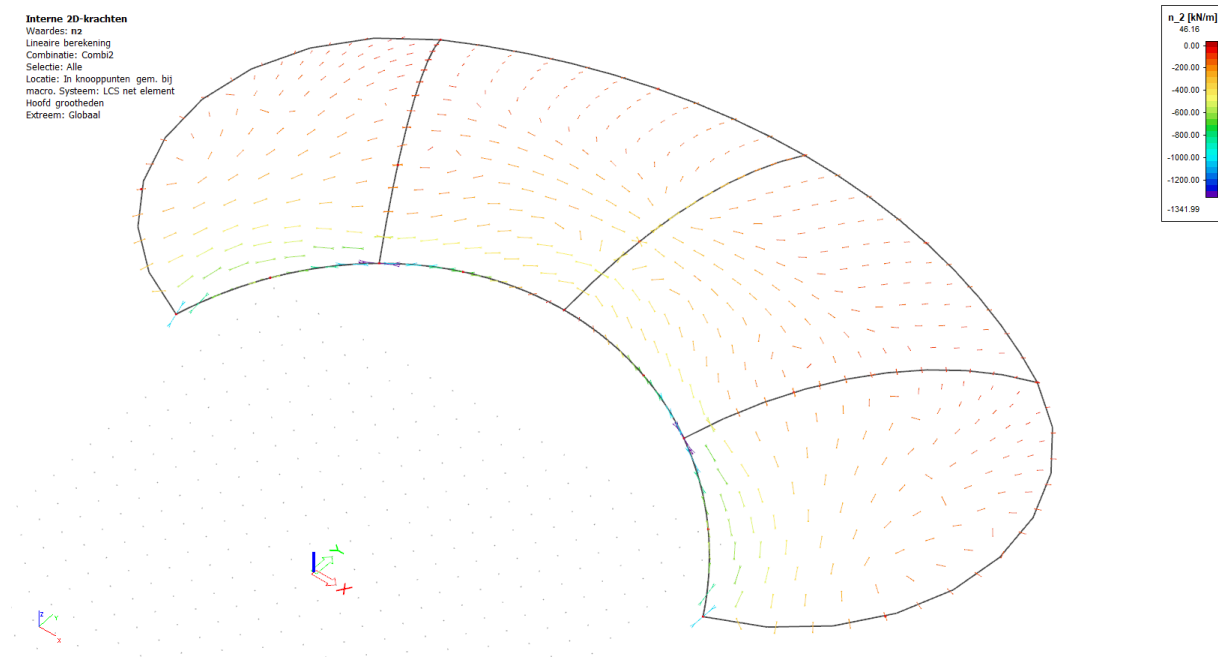
Waardes: n2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

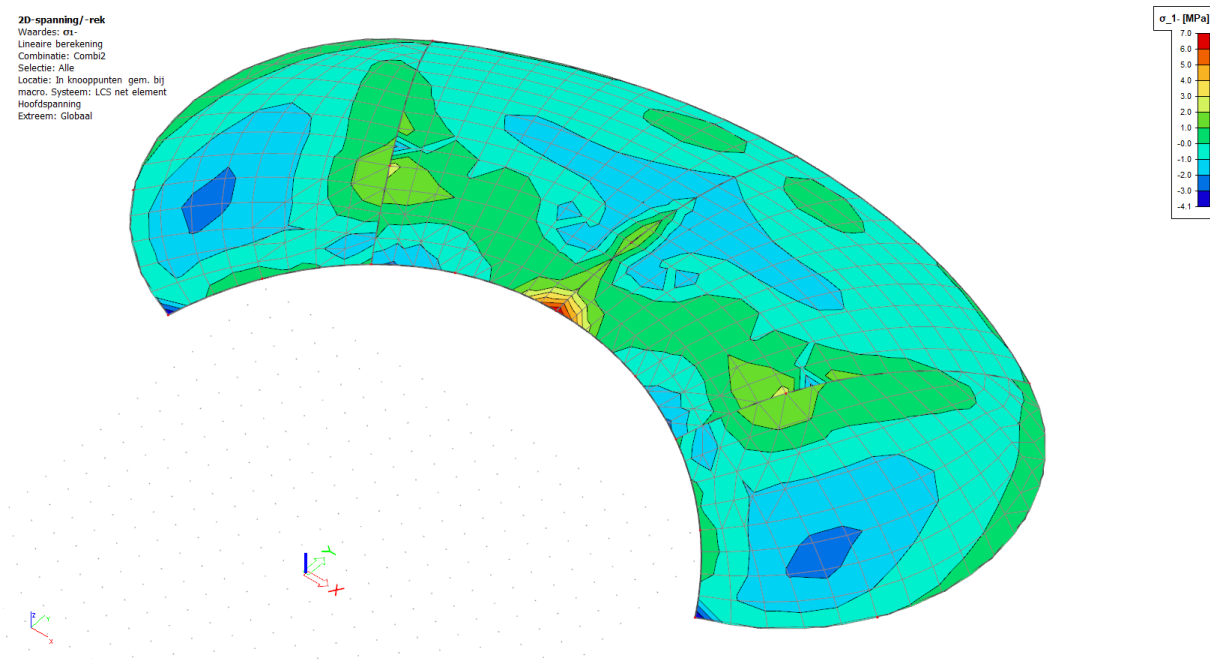
Waardes: n2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



BG2 2D sigma 1 –

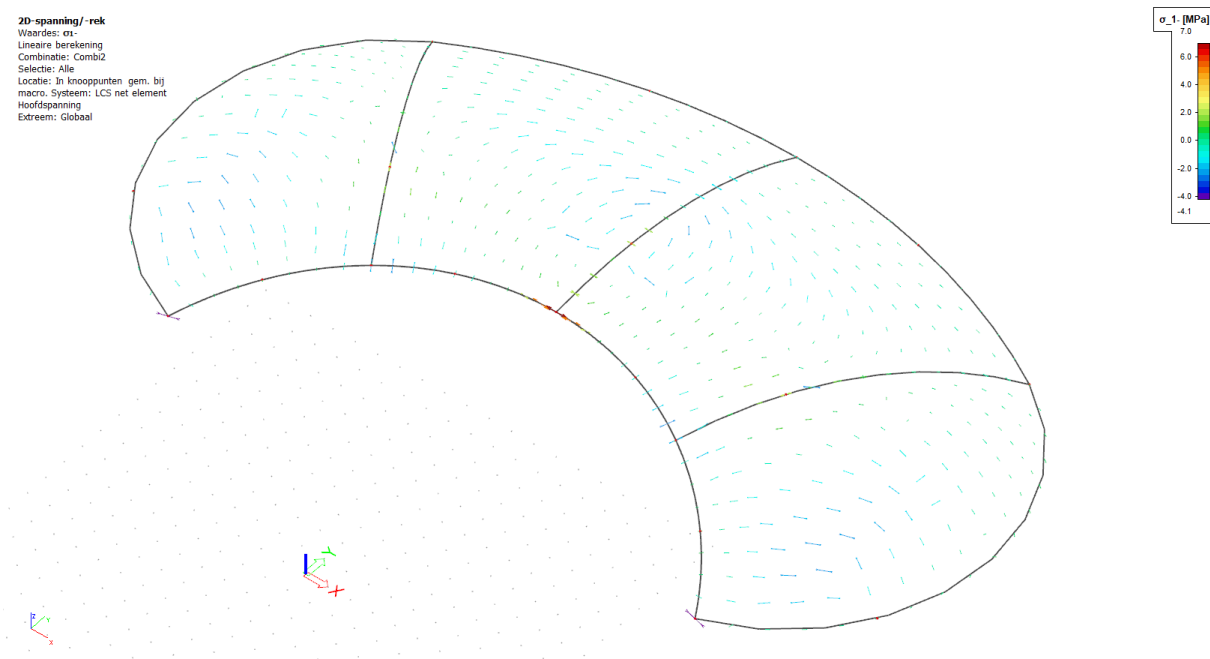
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

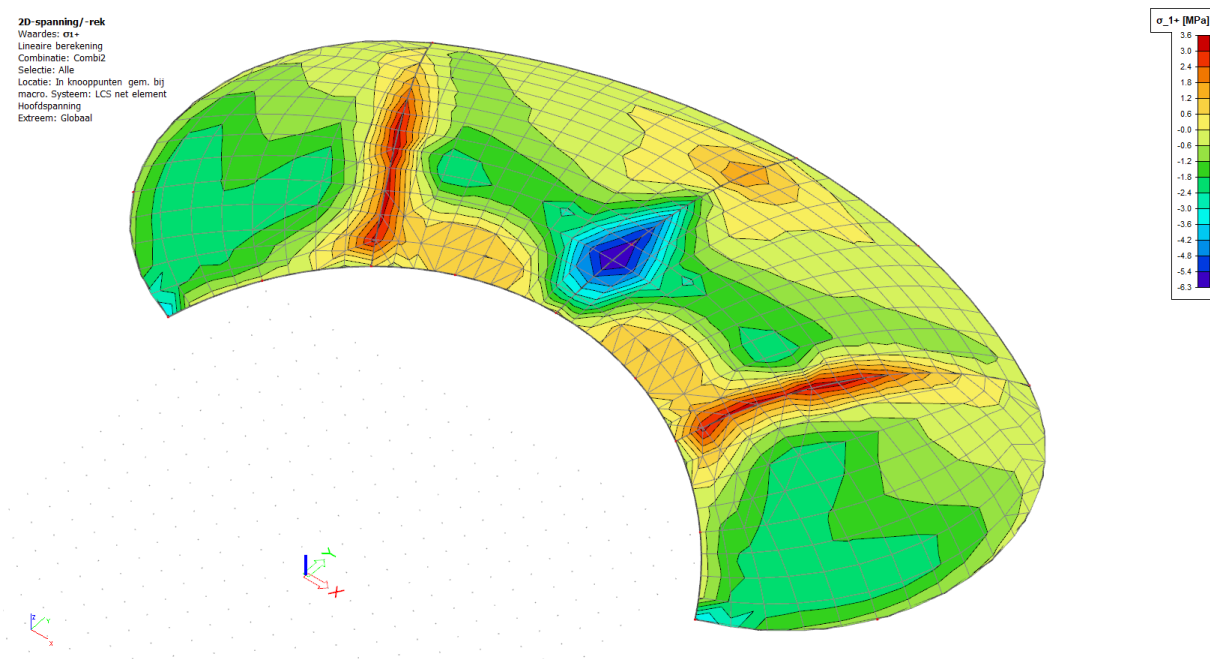
2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG2 2D sigma 1 +

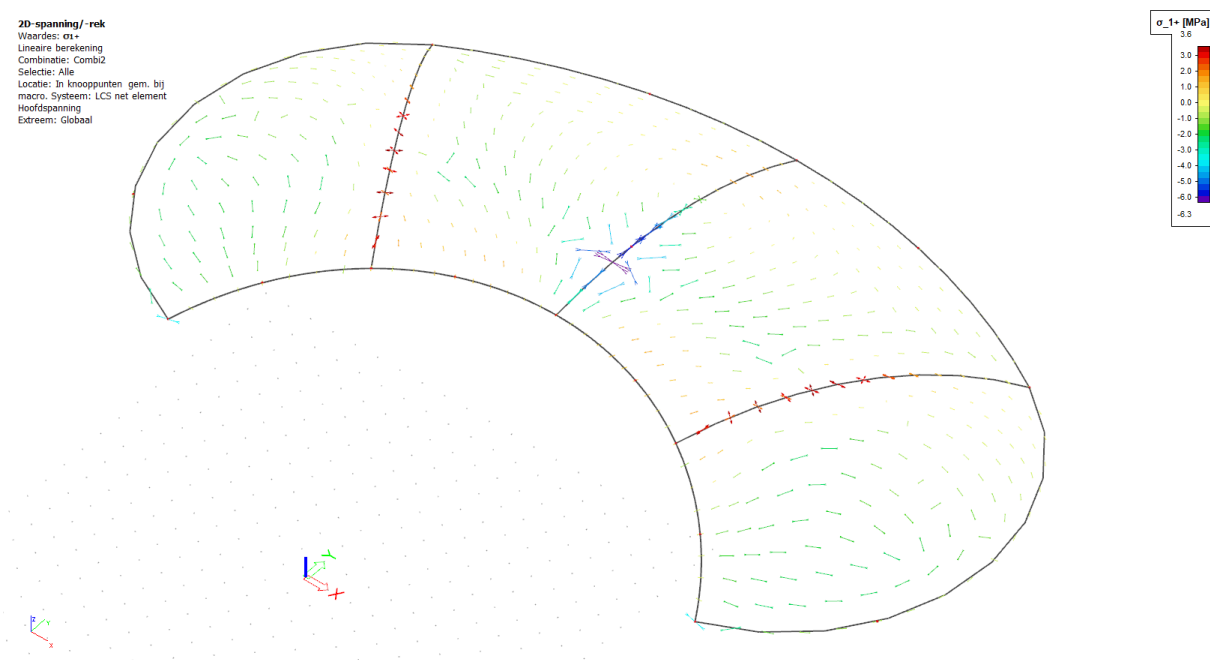
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

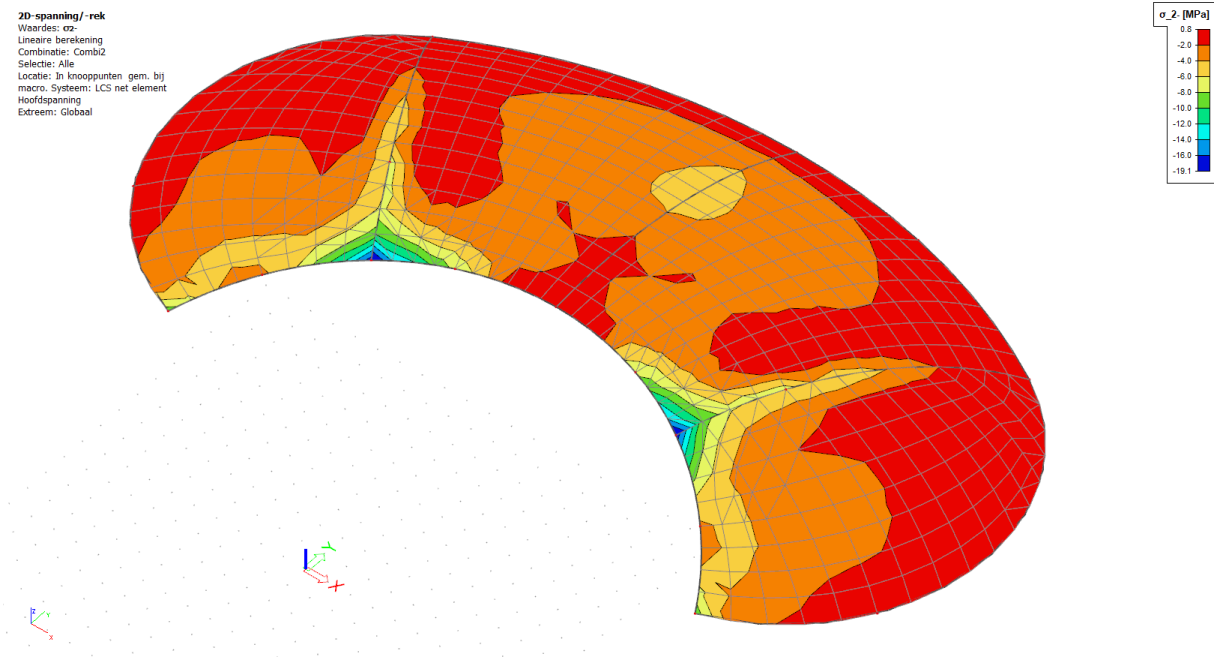
2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG2 2D sigma –

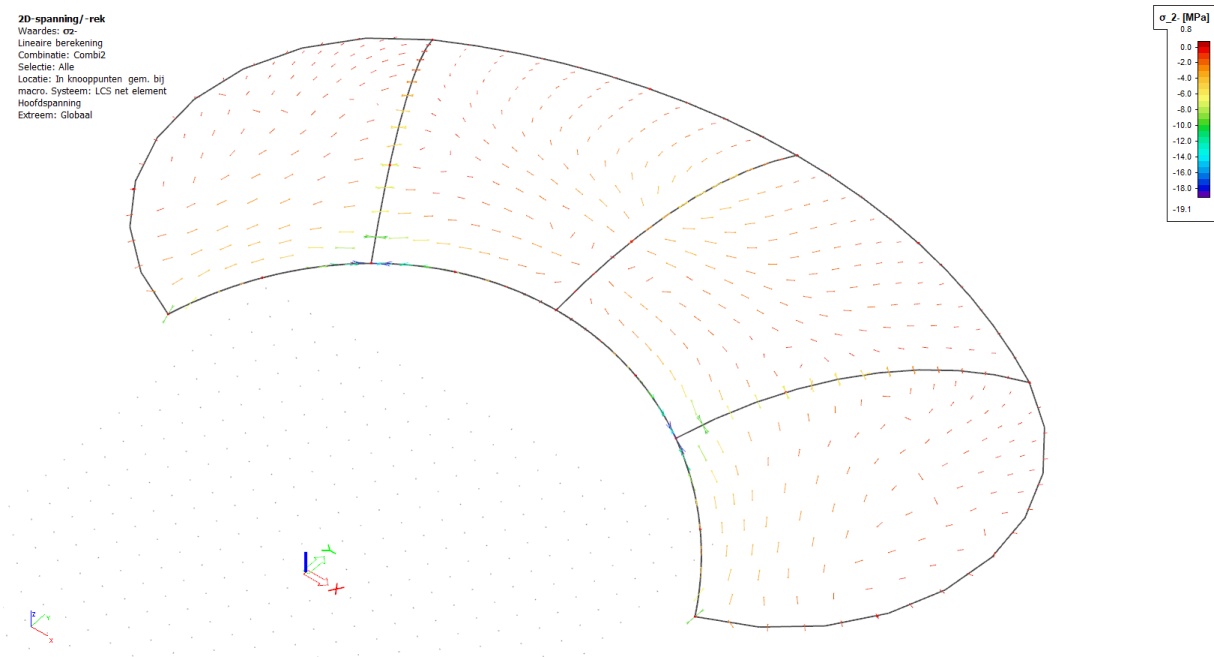
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_z
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

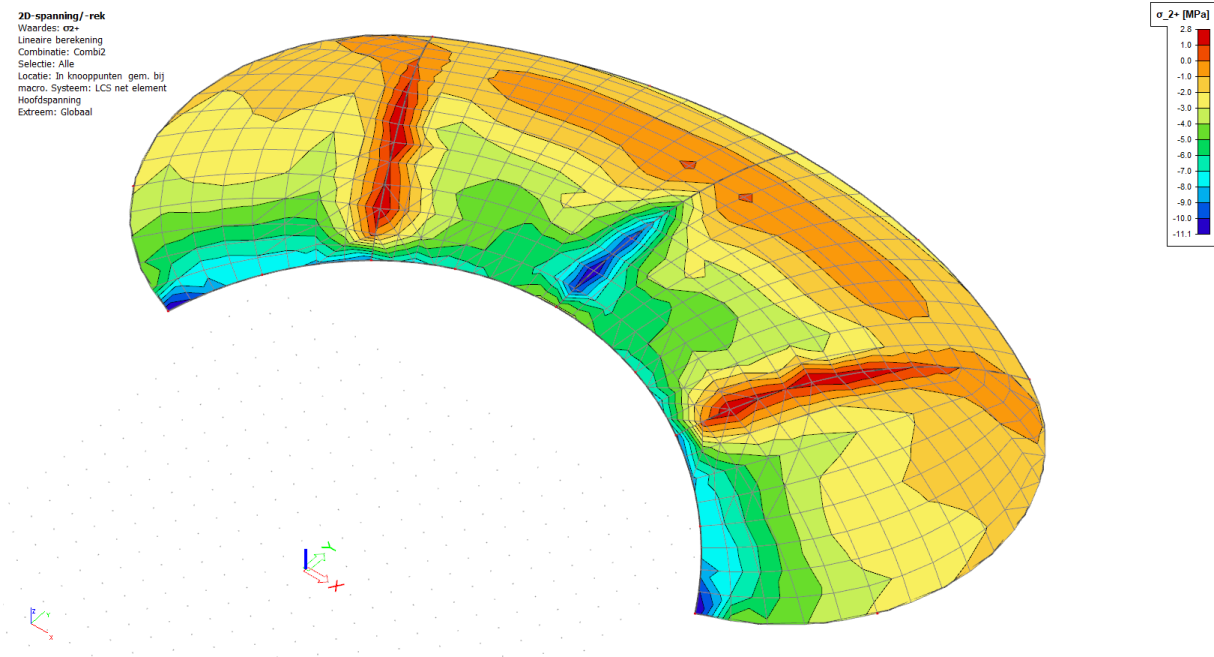
2D-spanning/-rek
Waarden: σ_z
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG2 2D sigma 2+

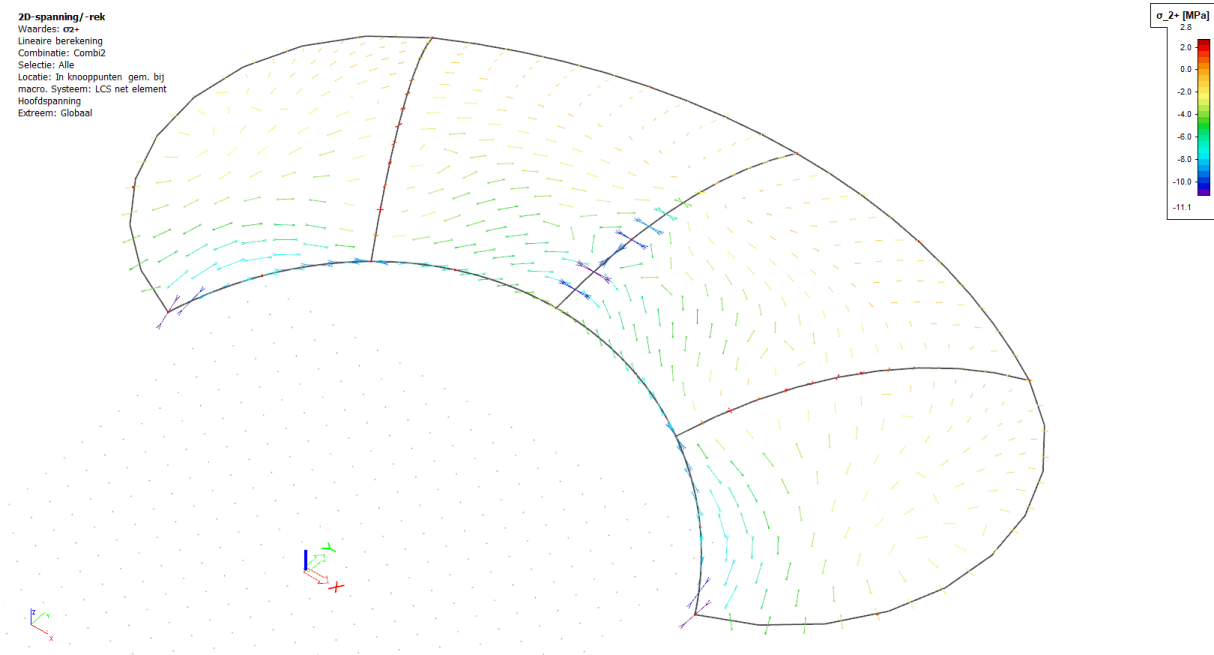
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi2
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal

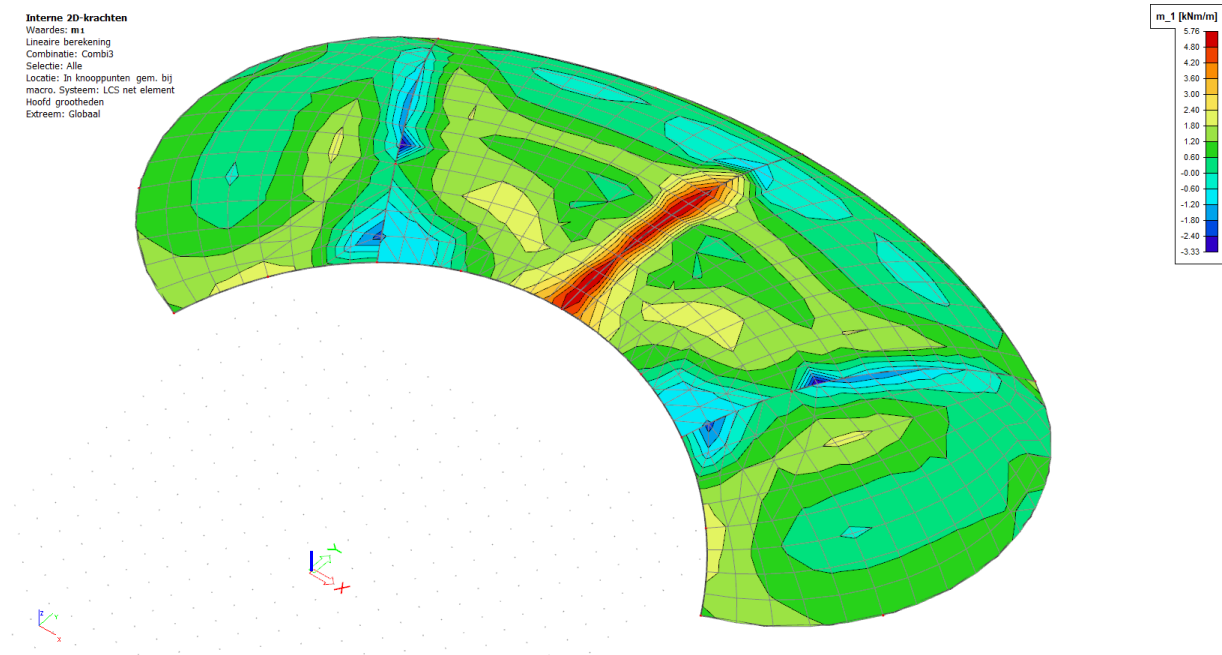


BG3 2D m1

2D spanning

Interne 2D-krachten

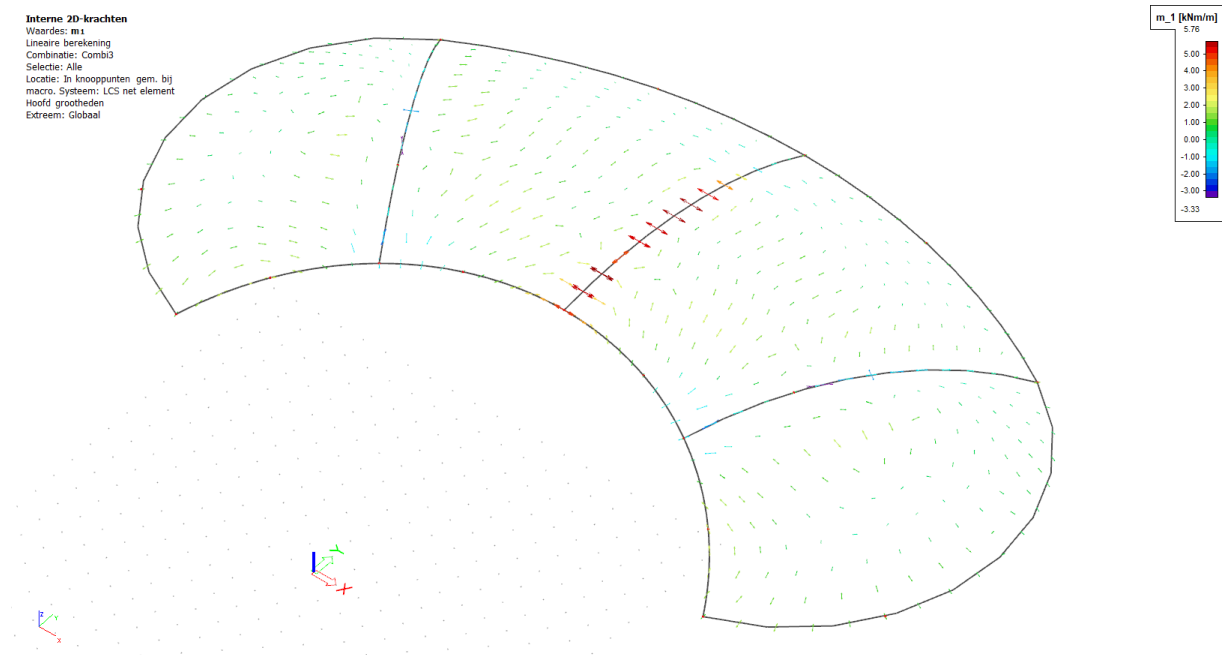
Waardes: m1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: m1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

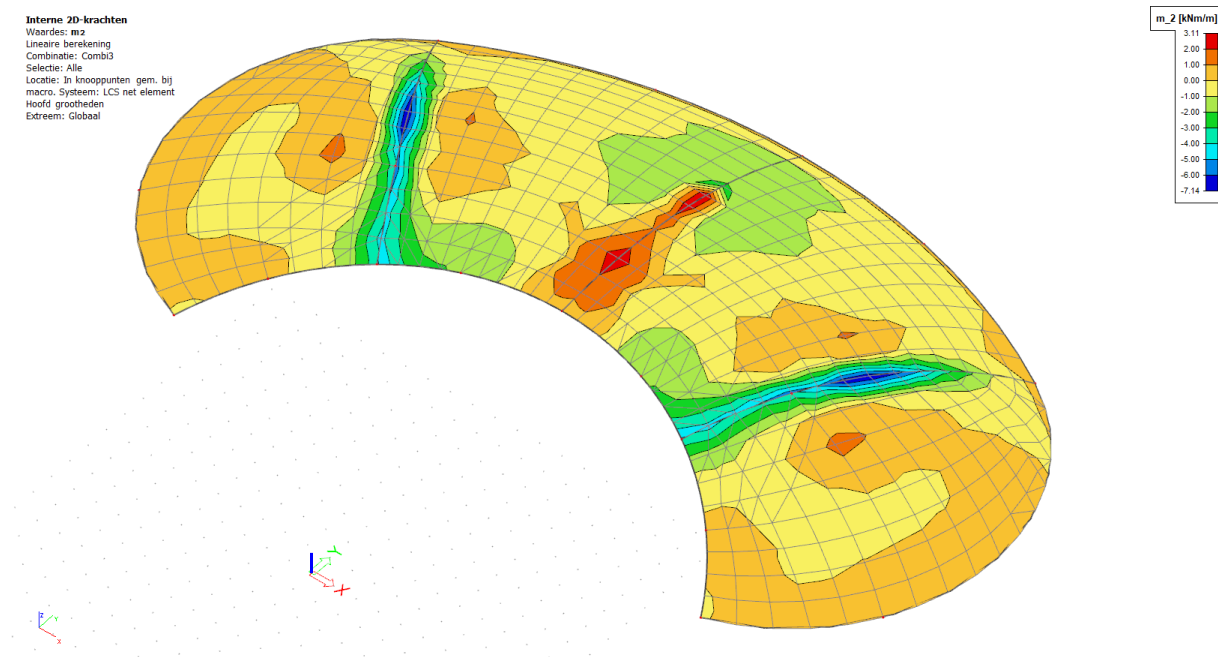


BG3 2D m2

2D spanning

Interne 2D-krachten

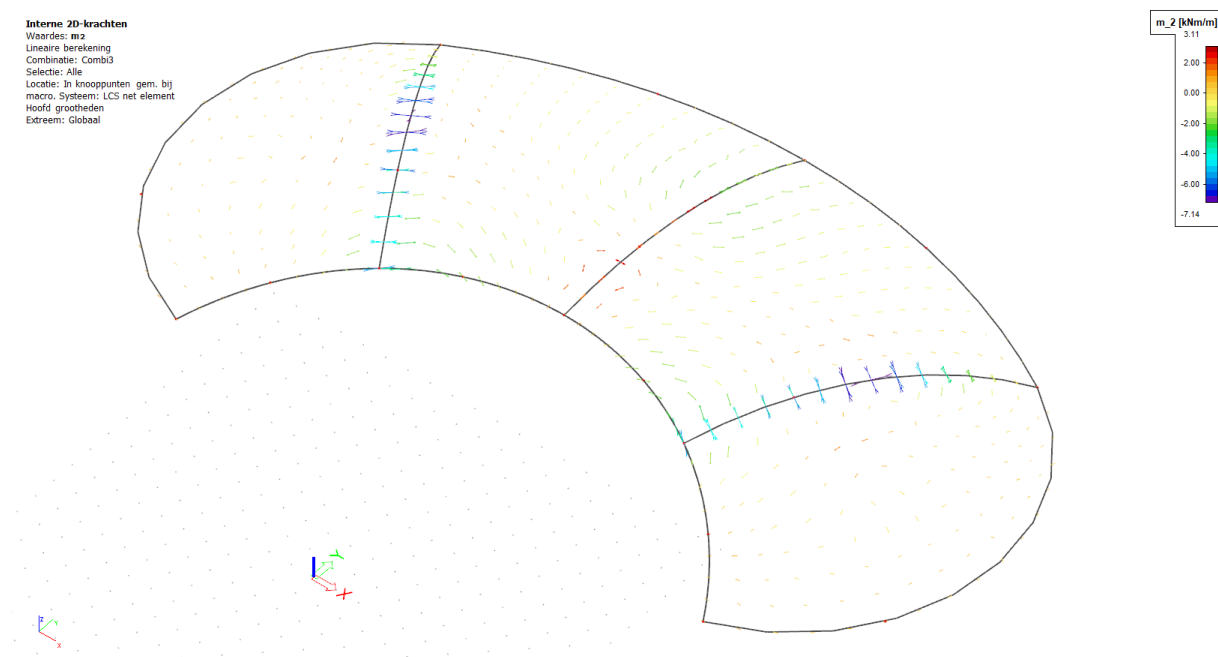
Waardes: m2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: m2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

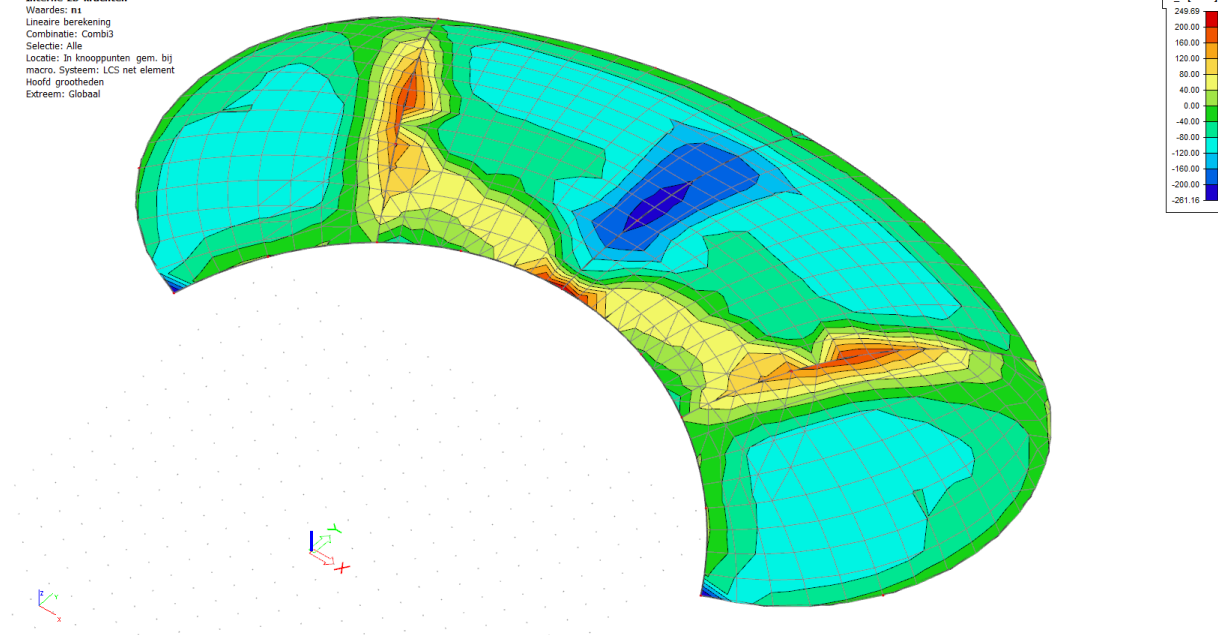


BG3 2D n1

2D spanning

Interne 2D-krachten

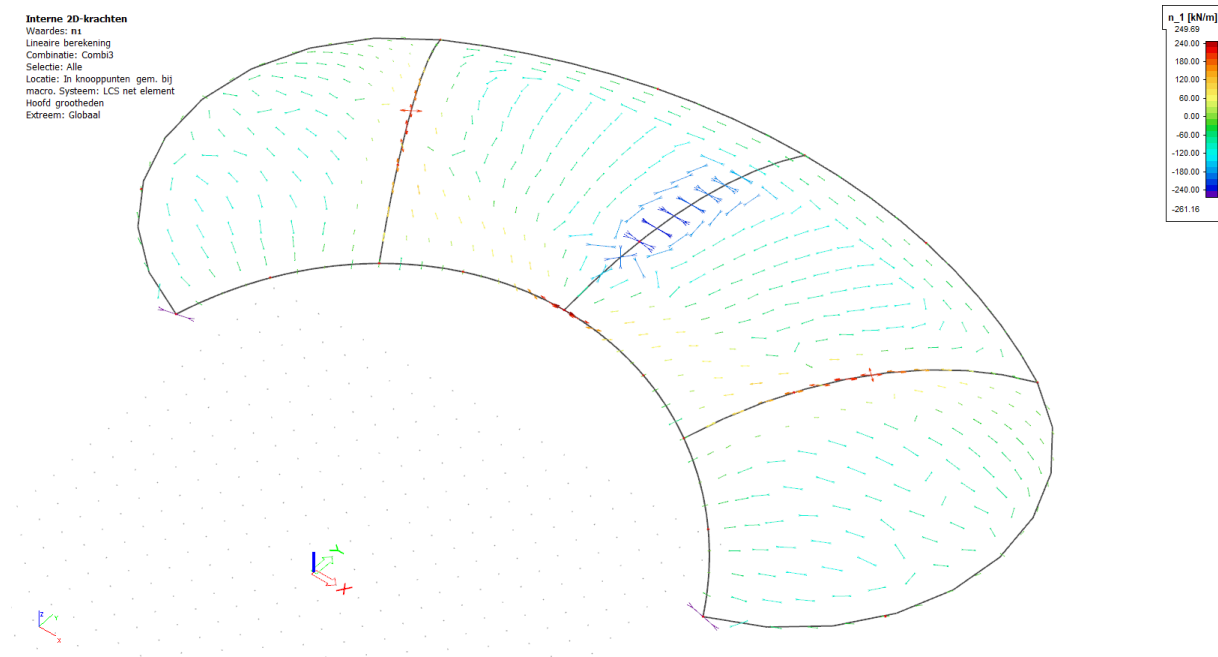
Waardes: n1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

Waardes: n1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal

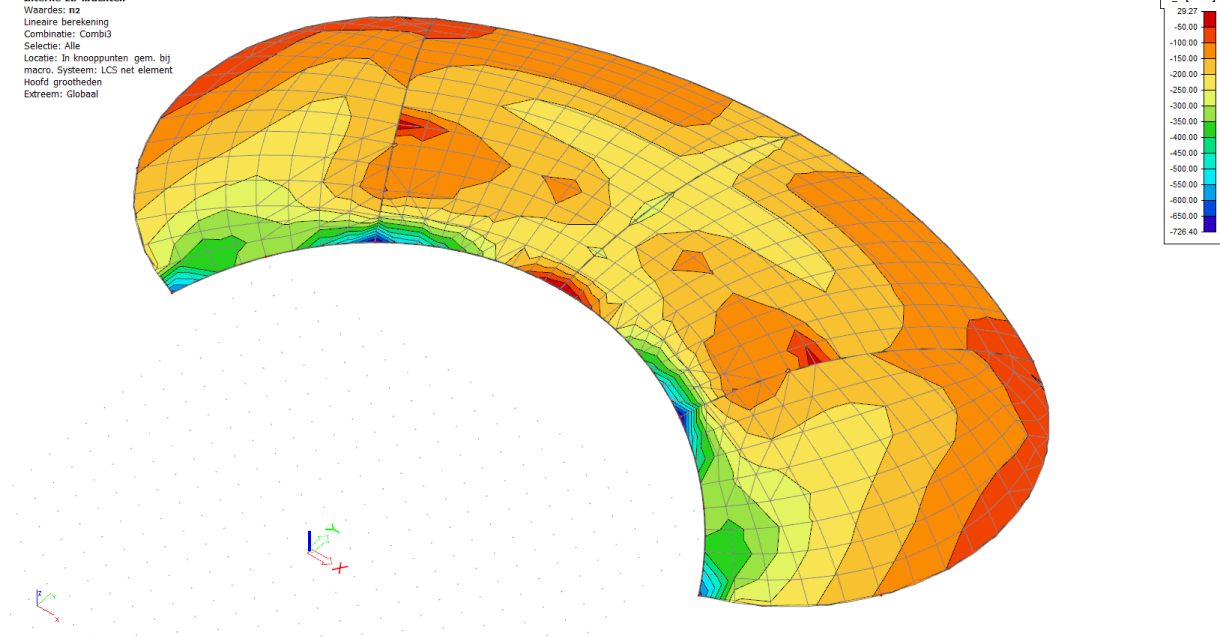


BG3 2D n2

2D spanning

Interne 2D-krachten

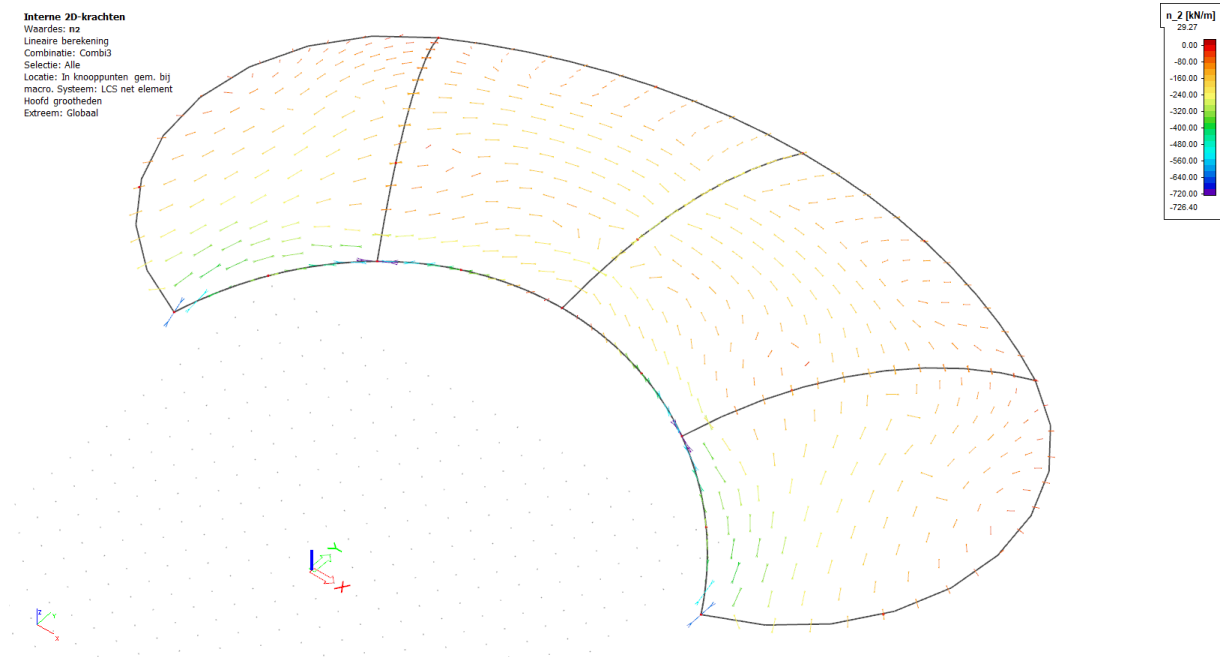
Waardes: n2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



Trajectorie

Interne 2D-krachten

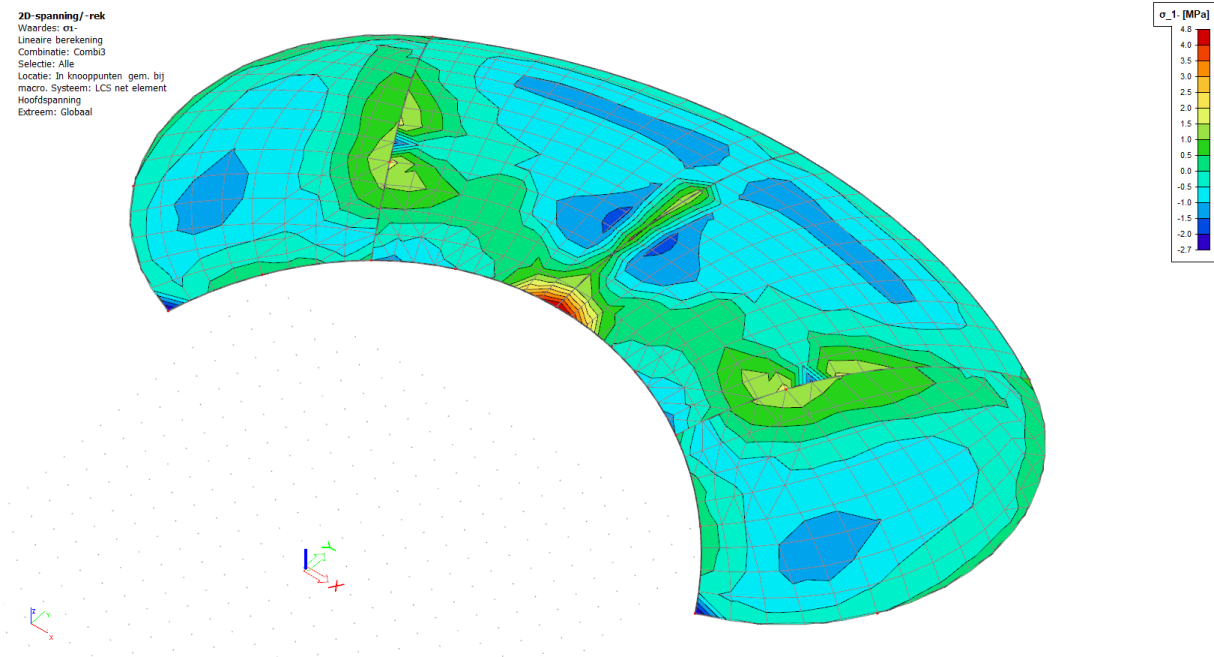
Waardes: n2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofd grootheden
Extreem: Globaal



BG3 2D sigma 1-

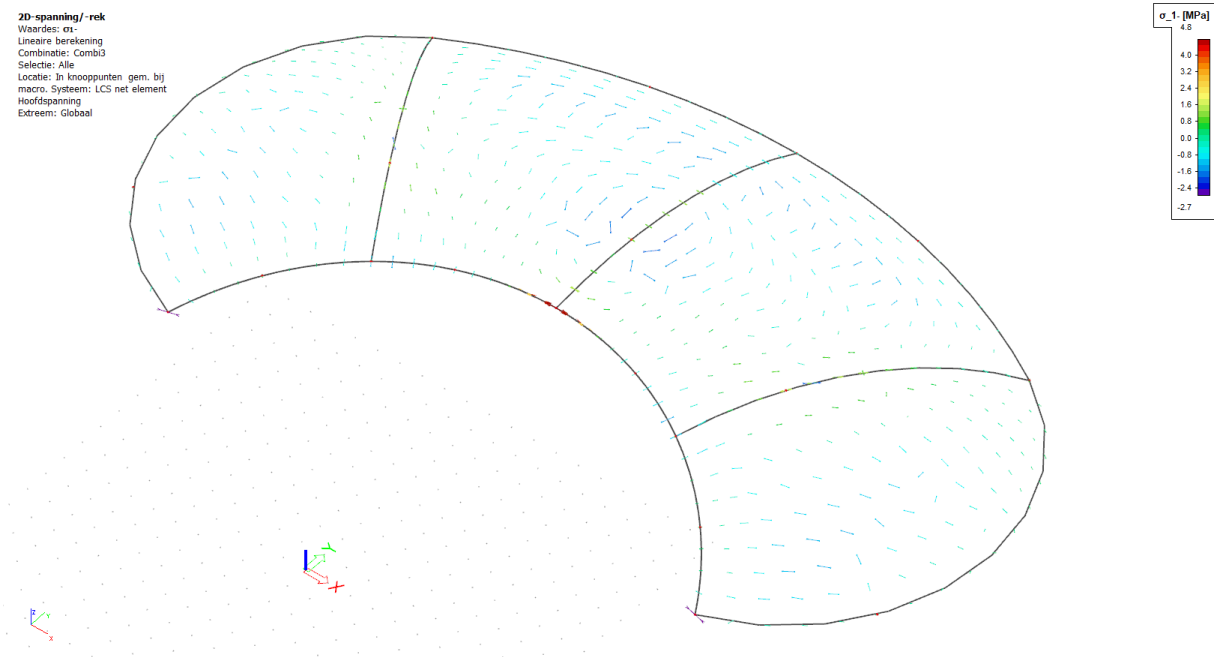
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1 -
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

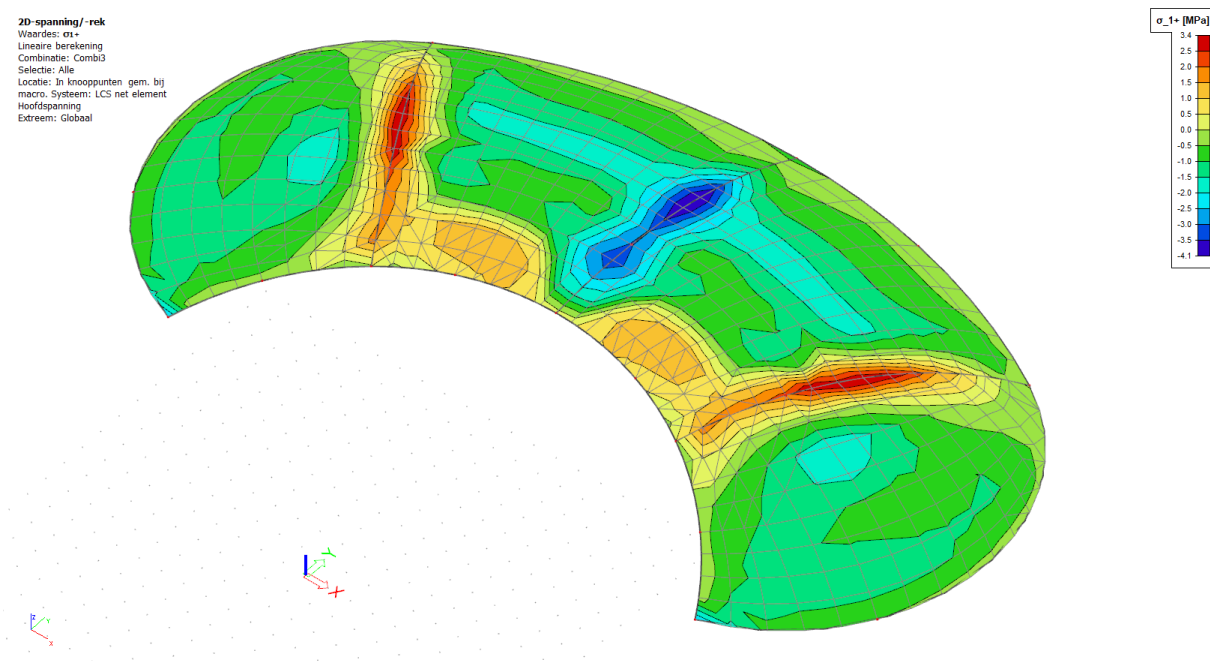
2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1 -
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG3 sigma 1 +

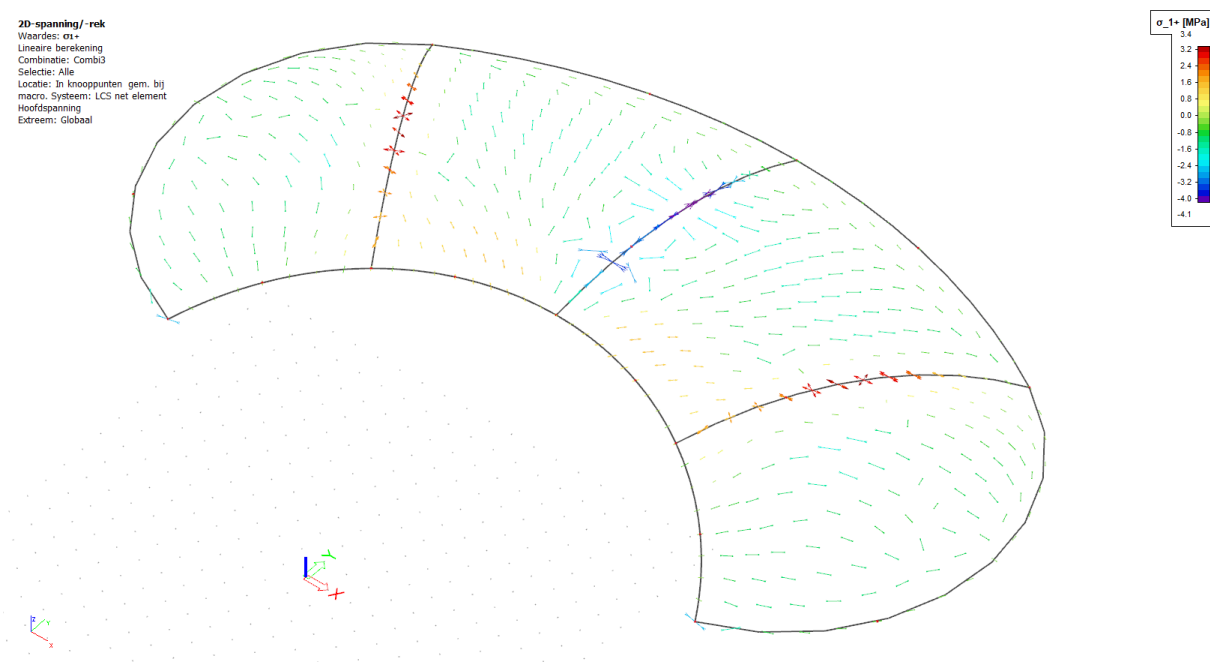
2D Spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

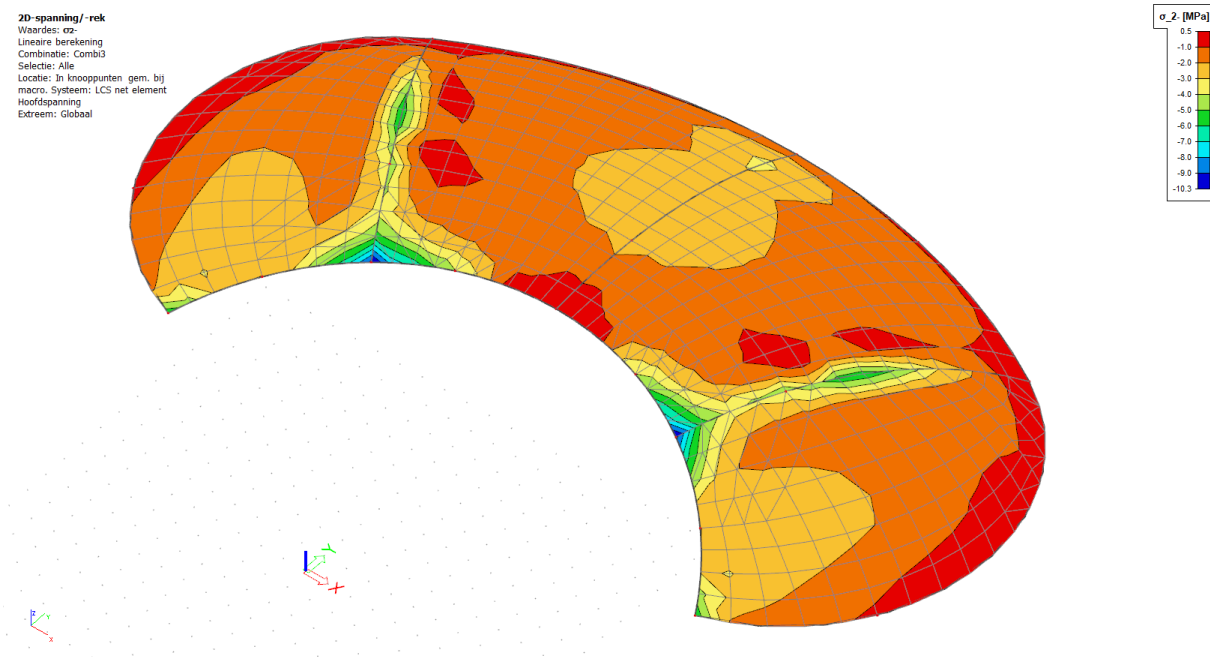
2D-spanning/-rek
Waarden: σ_1
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG3 2D sigma 2 –

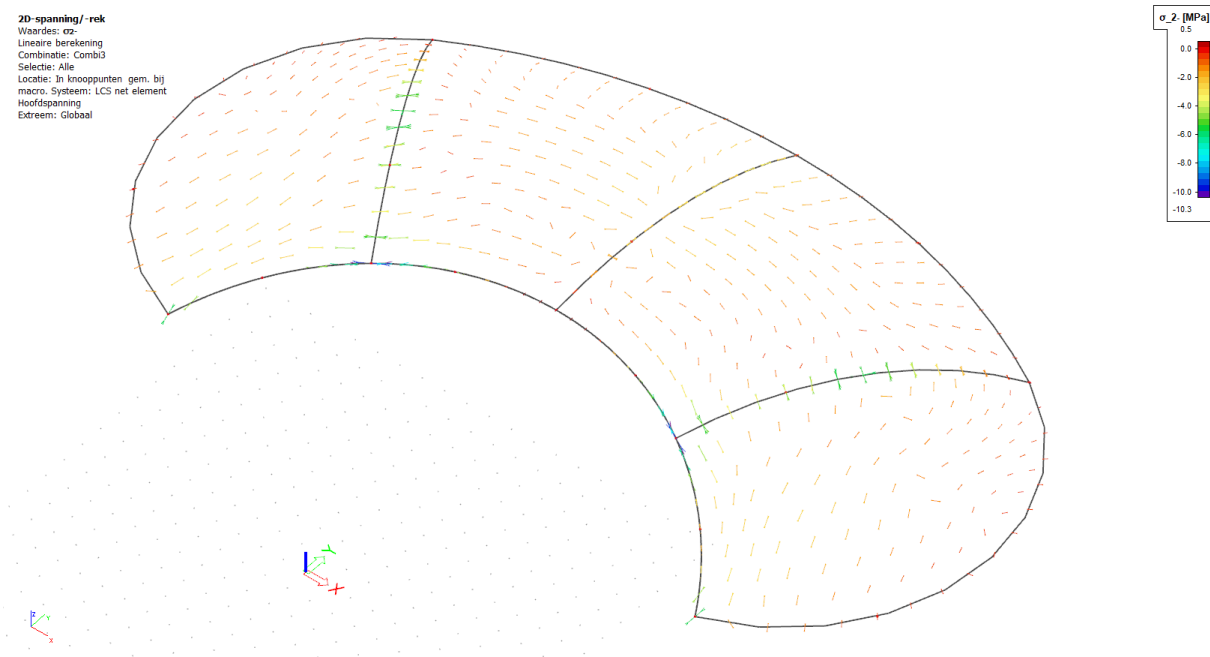
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waardes: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

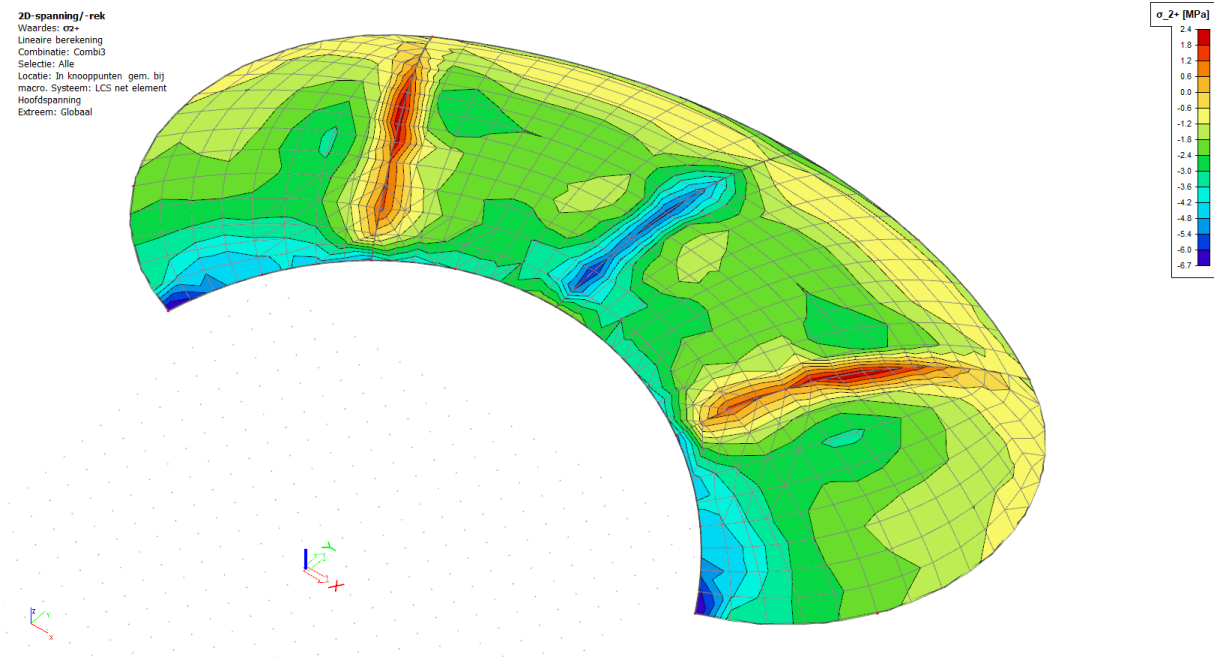
2D-spanning/-rek
Waardes: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



BG3 sigma 2 +

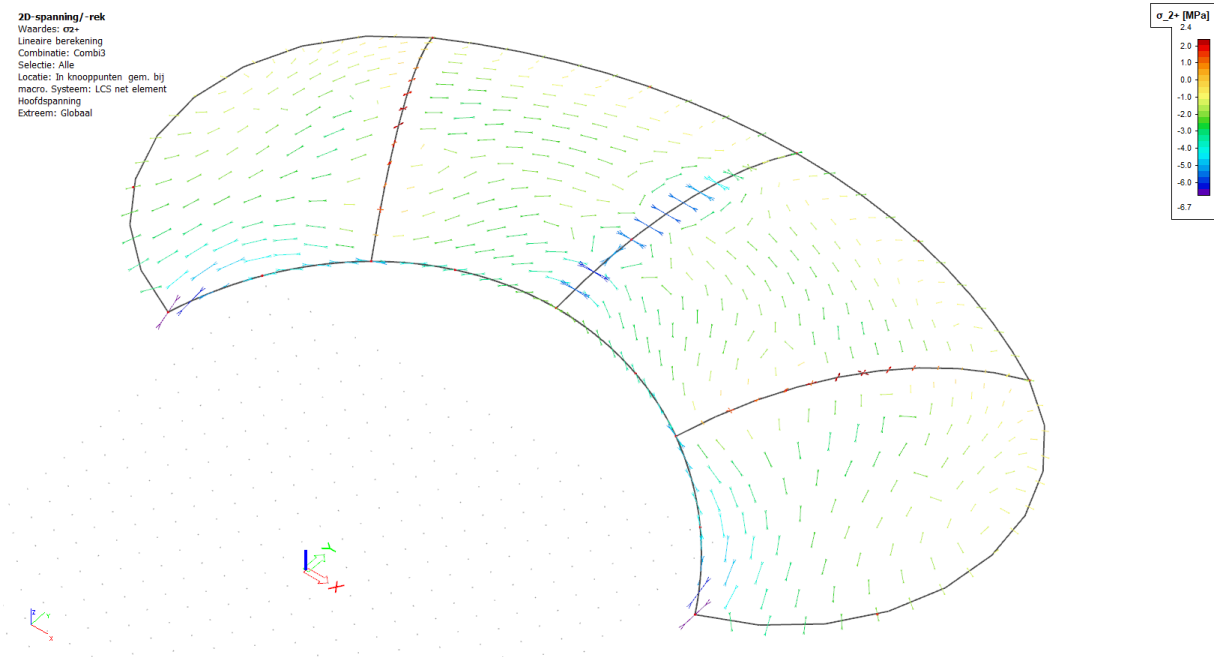
2D spanning

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



Trajectorie

2D-spanning/-rek
Waarden: σ_2
Lineaire berekening
Combinatie: Combi3
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: LCS net element
Hoofdspanning
Extreem: Globaal



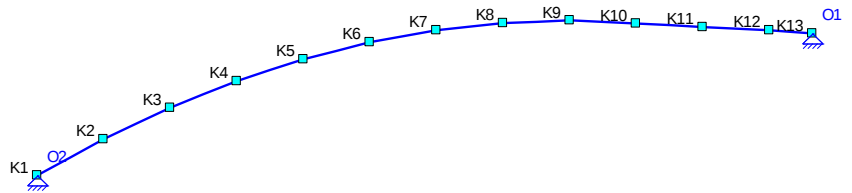
Bijlage 5 – Matrixframe

Aan de hand van MatrixFrame kan de handberekening worden geverifieerd. Dit is gedaan voor de bogen uit variant 2.

Invoer constructie

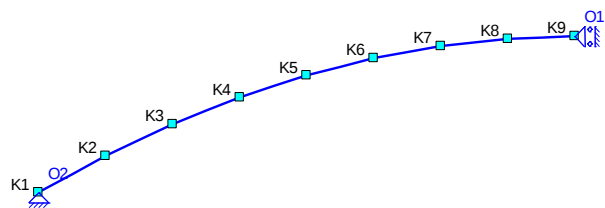
Boog 1

Knoop	X	Z
K1	0.000	0.000
K2	1.125	-0.609
K3	2.250	-1.138
K4	3.375	-1.584
K5	4.500	-1.950
K6	5.625	-2.234
K7	6.750	-2.438
K8	7.875	-2.559
K9	9.000	-2.600
K10	10.125	-2.550
K11	11.250	-2.490
K12	13.375	-2.435
K13	13.1	2.380



Boog 2

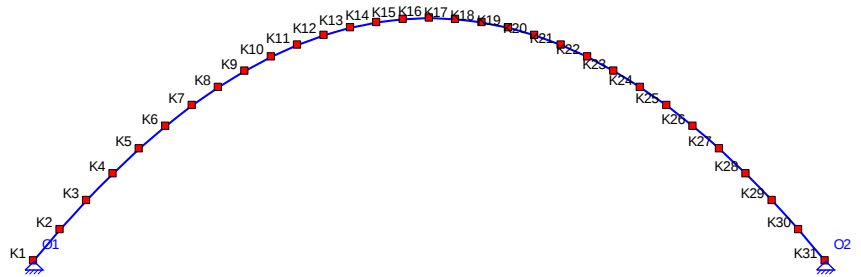
Knoop	X	Z
K1	-9.000	0.000
K2	-7.875	-0.609
K3	-6.750	-1.138
K4	-5.625	-1.584
K5	-4.500	-1.950
K6	-3.375	-2.234
K7	-2.250	-2.438
K8	-1.125	-2.559
K9	0.000	-2.600



Randboog

K1	-11.500	0.000
K2	-10.733	-0.902
K3	-9.967	-1.742
K4	-9.200	-2.520
K5	-8.433	-3.236
K6	-7.667	-3.889
K7	-6.900	-4.480
K8	-6.133	-5.009
K9	-5.367	-5.476

K10	-4.600	-5.880
K11	-3.833	-6.222
K12	-3.067	-6.502
K13	-2.300	-6.720
K14	-1.533	-6.876
K15	-0.767	-6.969
K16	0.000	-7.000
K17	0.767	-6.969
K18	1.533	-6.876
K19	2.300	-6.720
K20	3.067	-6.502
K21	3.833	-6.222
K22	4.600	-5.880
K23	5.367	-5.476
K24	6.133	-5.009
K25	6.900	-4.480
K26	7.667	-3.889
K27	8.433	-3.236
K28	9.200	-2.520
K29	9.967	-1.742
K30	10.733	-0.902
K31	11.500	0.000



Lasten

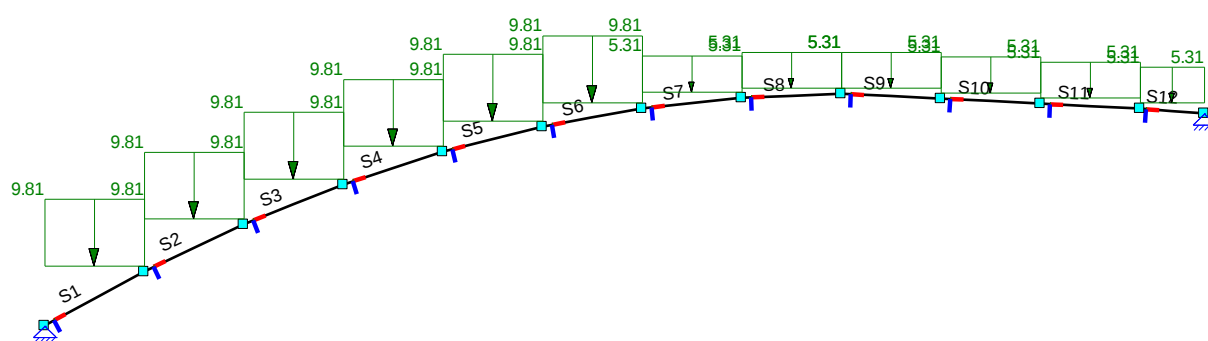
De bogen 1 en 2 zijn getoetst aan de 3 opgestelde belastinggevallen. Deze bogen worden belast door een verdeelde belasting in de globale z-richting. Merk op dat de randboog op een andere manier belast wordt dan de bogen 1 en 2, de verdeelde belasting werkt in de lokale z-richting.

Resultaten

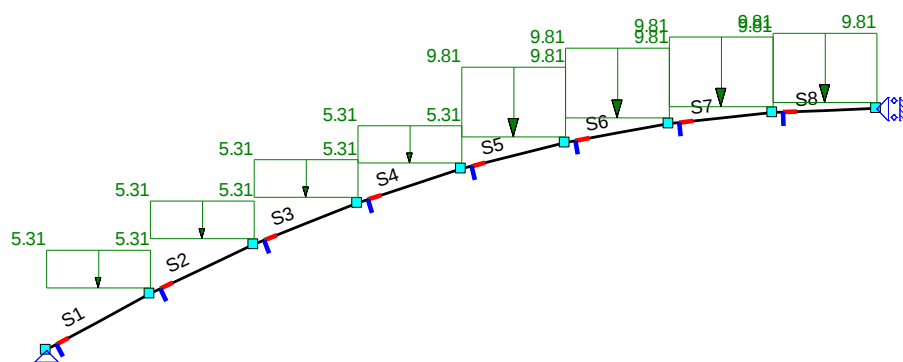
In matrixframe is gekeken naar de normaalkracht in alle belastinggevallen, voor belastinggeval 3 is ook gekeken naar het optredende moment. Voor de randboog is alleen gekeken naar belastinggeval 2.

	BG1	BG2	BG3	
	N	N	M	N
Boog 1	-95,76	-176,92	7,63	-139,22
Boog 2	-82,71	-152,81	14,95	-135,29
Randboog	-	-1748,25	-	-

BG3 Boog 1



BG3 Boog 2



BG2 Randboog

