RESULTATEN VERDIEPINGSSLAG AARDBEVINGBELASTING OP WATERKERING EEMSHAVEN DELFZIJL

WATERSCHAP NOORDERZIJLVEST

22 april 2015
078278720:A - Concept
C03011.000330.0100

ARCADIS FUGRO

Inhoud

1 Inleiding 5
1.1 Inleiding 5
1.2 Doelstelling 5
1.3 Onze opdracht 5
1.4 Leeswijzer 6

2 Algemeen 7
2.1 Afkeuring van de dijk: Faalmechanismen 7
2.2 Trajectindeling 7
2.3 Algemene uitgangspunten 8
2.3.1 Planperiode 8
2.3.2 Definitie ruimtebeslag 8
2.4 Aanpak berekeningen 8
2.5 Huidige normering versus nieuwe normering 9
2.6 Aardbevingbelasting 9
2.7 Bepaling kruinhoogte 10
2.8 Gevolgde proces 11

3 Hertoets 12
3.1 Uitgangspunten 12
3.2 Resultaten en conclusie 12

4 Rekenslag 1; december 2014 13
4.1 Kruinhoogte 13
4.1.1 Uitgangspunten 13
4.1.2 Resultaten kruinhoogte; spoor 1 en 2 14
4.1.3 Resultaten kruinhoogte; spoor 3 en 4 14
4.2 Stabiliteit 15
4.2.1 Uitgangspunten 15
4.2.2 Resultaten ruimtebeslag; spoor 1 en 2 15
4.2.3 Resultaten ruimtebeslag; spoor 3 en 4 15
4.3 Gevoeligheidsanalyses 16
4.3.1 Invloed aardbevingsbelasting op bermlengte 16
4.3.2 Invloed kruinhoogte op bermafmeting en ruimtebeslag 17
4.4 Conclusie rekenslag 1 17

5 Rekenslag 2; februari 2015 19
5.1 Kruinhoogte 19
5.1.1 Advies kennisplatform 19
5.1.2 Uitgangspunten 20
5.1.3 Resultaten kruinhoogte; spoor 3 en 4 20
5.2 Stabiliteit 21
5.2.1 Uitgangspunten 21
5.2.2 Resultaten ruimtebeslag; spoor 3 en 4 21

5.3 Gevoeligheidsanalyses 21
5.3.1 Invloed eigenschappen oude klei kern op de buitenwaartse stabiliteit 22
5.3.2 Invloed schadefactor op ruimtebeslag buitenwaarts 22
5.4 Conclusie rekenslag 2 23

6 Rekenslag 3; februari 2015 25
6.1 Kruinhoogte 25
6.1.1 Uitgangspunten 25
6.1.2 Resultaten kruinhoogte; spoor 4 26
6.2 Stabiliteit 26
6.2.1 Uitgangspunten 26
6.2.2 Resultaten ruimtebeslag; spoor 4 26
6.3 Conclusie rekenslag 3 27

7 Rekenslag 4; maart 2015 28
7.1 Kruinhoogte 28
7.1.1 Uitgangspunten 28
7.1.2 Resultaten kruinhoogte; spoor 3 en 4 29
7.2 Stabiliteit 29
7.2.1 Uitgangspunten 29
7.2.2 Resultaten ruimtebeslag; spoor 3 en 4 29
7.3 Conclusie rekenslag 4 30

8 Conclusies en aanbevelingen 31
8.1 Conclusie 31
8.2 Aanbevelingen ten behoeve van valideren en eventueel aanpassen uitgangspunten D&C contract 31

9 Referenties 33

Bijlage 1 Gegevens rekenslag 0 35
Bijlage 1.1 Memo raai 86 35
Bijlage 1.2 Ontwerp kruinhoogte waddenzeedijken Impactanalyse aardbevingen 36

Bijlage 2 Gegevens rekenslag 1 37
Bijlage 2.1 Memo Uitgangspunten 38
Bijlage 2.2 Memo raai 6 39
Bijlage 2.3 Memo raai 41 40
Bijlage 2.4 Memo raai 61 41
Bijlage 2.5 Memo Samenvatting 42
Bijlage 2.6 Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode MEMO 43
Bijlage 2.7 Ontwerp tekeningen 44

Bijlage 3 Gegevens rekenslag 2 45
Bijlage 3.1 Memo raai 6 46
Bijlage 3.2 Memo raai 41 47
Bijlage 3.3 Memo raai 61 48
Bijlage 3.4 Memo raai 61 49
Bijlage 3.5 Ontwerp tekeningen 50

Bijlage 4 Gegevens rekenslag 3 52
Bijlage 4.1 Memo optimistisch scenario 53
Bijlage 4.2 Tekeningen 54

Bijlage 5 Gegevens rekenslag 4 55
Bijlage 5.1 Memo rekenslag 4A 56
Bijlage 5.2 Ontwerp tekeningen 4A 57
Bijlage 5.3 Memo rekenslag 4B 58
Bijlage 5.4 Ontwerp tekeningen 4B 59
Bijlage 5.5 Uitgangspunten TVKA 60
Bijlage 5.6 Presentatie HWBP 61

Colofon 62

1 Inleiding

1.1 INLEIDING

De huidige dijk tussen Eemshaven en Delfzijl is in de derde toetsronde afgekeurd. Deze dijk, met een lengte van 11,7 kilometer, maakt onderdeel uit van dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest.

Naast de bestaande veiligheidstoets heeft Deltares in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken een vooronderzoek gedaan naar de invloed van aardbevingen / aardschokken in Groningen op de veiligheid van dijken (Deltares, 2014). Uit deze studie blijkt dat de invloed van aardschokken / aardbevingen aanzienlijk kan zijn. De studie geeft echter nog niet voldoende concrete aanknopingspunten om concrete maatregelen te kunnen benoemen, of om een kostenraming te geven voor compenserende maatregelen.

Door Deltares is voor een aantal scenario's aangegeven welke aardbevingbelastingen in de ontwerpberekeningen moet worden opgenomen. Dit alles heeft geleid tot het opstellen van verkennende ontwerpberekeningen inclusief de aardbeving belasting.

De voorliggende rapportage bevat de resultaten van de uitgevoerde stabiliteitsberekeningen voor de hoogwatersituatie en voor de aardbeving belasting.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van de ontwerpberekeningen is: het zodanig uitvoeren van de dijkverbetering dat deze voldoet aan de nieuwe normering en waarbij de dijkverbetering voldoende veiligheid bied tegen aardbevingen.

1.3 ONZE OPDRACHT

De opdracht die wij mee hebben gekregen bij aanvang van het project is:

- Bepalen van het ruimtebeslag,

- In beeld brengen van de verschillen van het ruimtebeslag bij de oude en de nieuwe normering,
- Formuleren realistische set ontwerpuitgangspunten voor het bepalen van het Voorkeursalternatief en het D&C-contract dat op de markt wordt gebracht.

In de titel van deze paragraaf staat “onze” opdracht, maar wie is die ons?

- Ontwerpteam voor de verkenningsfase bestaat uit Arcadis/Fugro/Deltares
- Consultatie van TNO/ENW en het kennisplatform
- Consulteren van ENW-Techniek

1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 is een aantal algemene onderwerpen verder uitgewerkt, tevens wordt hier inzicht gegeven in het proces dat is doorlopen, waarbij door middel van een aantal iteratieslagen een ontwerp is uitgewerkt.
In hoofdstuk 3 tot en met 7 zijn de resultaten van de verschillende rekenslagen opgenomen. Per hoofdstuk zijn de maatgevende uitgangspunten en de resultaten opgenomen. Voor de uitgebreide onderbouwing wordt verwezen naar de bijlagen.
Tenslotte worden in hoofdstuk 8 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor naderonderzoek.

2 Algemeen

2.1 AFKEURING VAN DE DIJK: FAALMECHANISMEN

De dijk tussen Eemshaven en Delfzijl, onderdeel uitmakend van dijkring 6, en in beheer van Waterschap Noorderzijlvest is afgekeurd over een lengte van 11,7 kilometer.

De faalmechanismen uit de derde toetsronde zijn als volgt:

Dijktraject/leiding	Afgekeurd onderdeel
Km 27,00 – 29,20	Grasbekleding onder toetspeil
Km 27,00 – 30,00	Koperslakblokken
Km 27,00 – 38,50	Macrostabiliteit binnenwaarts
Km 29,80 – 30,30	Grasbekleding onder toetspeil
Km 30,90 – 36,30	Grasbekleding onder toetspeil
Km 38,30 – 38,70	Grasbekleding onder toetspeil

Voor het opstellen van een ontwerp wordt een integraal ontwerp opgesteld, waarbij het ontwerp aan alle faalmechanismen voldoet. Hiervoor wordt voor het ontwerp gekeken naar:

- Kruinhoogte
- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts

Waarbij voor zowel de binnenwaartse als de buitenwaartse stabiliteit niet alleen gekeken is naar een belasting als gevolg van hoogwater, maar ook naar een aardbevingsbelasting.

Het mechanisme Piping wordt gezien de grote dikte van de slappe lagen in dit stadium minder relevant beschouwd. Daar waar ondiepe, mogelijk watervoerende, zandlagen aanwezig zijn wordt ervan uitgegaan dat door nader onderzoek kan worden aangetoond dat Piping niet maatgevend is, of indien dit niet het geval is Piping door een maatregel die geen ruimte kost (bijv. grondverbetering/kleikist/drainage) wordt ondervangen.

De overige mechanismen worden vooralsnog niet beschouwd.

2.2 TRAJECTINDELING

De totale lengte van de afgekeurde dijk bestaat uit 11,7 kilometer. Voor het opstellen van de ontwerpen is een trajectindeling gemaakt. De totale lengte is onderverdeeld in 5 trajecten, waarbij per traject een maatgevende meetraai is benoemd. Deze raai is benoemd op basis van locatie.

De kilometrering van de trajecten is opgesteld op basis van het Stochastisch Ondergrond Schematisatie (SOS).

Maatgevende meetraai	Dijkpaal locatie [km]	Traject [km]
6	38	38,5-37,1
41	34,5	37,1-32,9
61	32,5	32,9-30,7
86	30	30,7-29,5
106	28	29,5-27

2.3 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

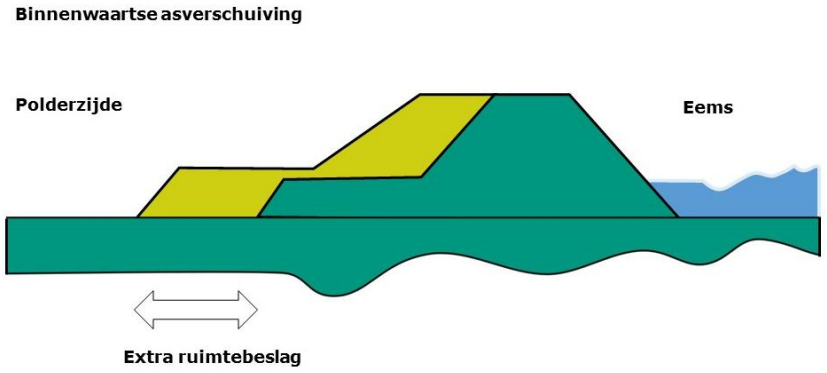
In deze paragraaf is een aantal definities om de context van de overige hoofdstukken beter te kunnen plaatsen.

2.3.1 PLANPERIODE

De planperiode van de meeste dijkversterkingen is 50 jaar. Hier kun je bewust van afwijken. Per rekenslag is de gebruikte planperiode benoemd. De planperiode is de periode waarin de dijk nog aan de gestelde eisen moet voldoen.

2.3.2 DEFINITIE RUIMTEBESLAG

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen, als gevolg van benodigde kruinverhoging, taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen. Het ruimtebeslag wordt gemeten op het niveau van de huidige binnenteen.



2.4 AANPAK BEREKENINGEN

Een van de doelstellingen is dat het verschil tussen de bestaande normering en de nieuwe normering duidelijk wordt. Daarnaast is het noodzakelijk om te onderzoeken wat de invloed van de aardbeving belasting is bij zowel de bestaande als de nieuwe normering. Om deze verschillen in beeld te brengen hebben we 4 sporen benoemd.

1. Ontwerp met de vigerende leidraden, zonder aardbevingsbelasting;
2. Ontwerp met de vigerende leidraden, met aardbevingsbelasting;
3. Ontwerp met het OI2014, zonder aardbevingsbelasting;
4. Ontwerp met het OI2014, met aardbevingsbelasting.

Naast deze sporen is ook nog een hertoets van op basis van de huidige normering uitgevoerd. Deze toetsing is zonder de aardbeving belasting. De resultaten van de hertoets zijn opgenomen in hoofdstuk 3.

In totaal zijn in de afgelopen periode 4 rekenslagen gedaan. De verschillende rekenslagen zijn per hoofdstuk gerapporteerd. In de verschillende rekenslagen zijn niet elke keer alle sporen opnieuw bepaald. Ik de hoofstukken wordt aangegeven welke sporen berekend zijn en met welke uitgangspunten.

2.5 HUIDIGE NORMERING VERSUS NIEUWE NORMERING

De ontwerpberekeningen die zijn gemaakt zijn op basis van de huidige normringen, en de nieuwe normeringen. Deze nieuwe normeringen worden ontwikkeld naar aanleiding van het Deltaprogramma. In het Deltaprogramma is aangegeven dat een actualisatie plaats kan vinden naar aanleiding van enerzijds een toename van het aantal inwoners en de economische waarde binnen de dijkringen, hierdoor zijn de gevolgen van een overstroming ernstiger. Daarnaast is in de afgelopen jaren de kennis van overstromingskansen en het verloop van overstroming toegenomen. De normen worden aangepast op basis van deze nieuwe uitgangspunten en kennis.

Grootste verschil overschrijdingskansen versus overstromingskansen
Waar de huidige normering uitgaat van een overschrijdingskans gaat de nieuwe normering uit van een overstromingskans.

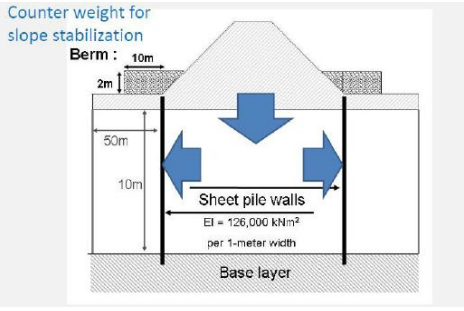
Overschrijdingskans
Deze normen schrijven voor hoe hoog het belastingniveau is dat moet worden beschouwd in de toetsing. De sterkte van elke dijkdoorsnede moet groot genoeg zijn om het belastingniveau veilig te kunnen keren.

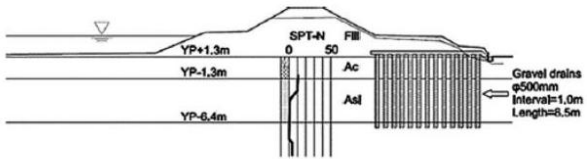
Overstromingskans
De overstromingskans is de kans dat er ergens een dijk doorbreekt, zodat er een overstroming ontstaat. Hoewel het principe van de overstromingskansbenadering eenvoudig is, kan de berekening erg complex zijn.

2.6 AARDBEVINGBELASTING

Belangrijk uitgangspunt bij het bepalen van de stabiliteit voor de aardbevingbelasting is dat de verweking door een maatregel wordt uitgesloten. Bijvoorbeeld:

- Grondverbetering
- Drainage
- Constructieve oplossing



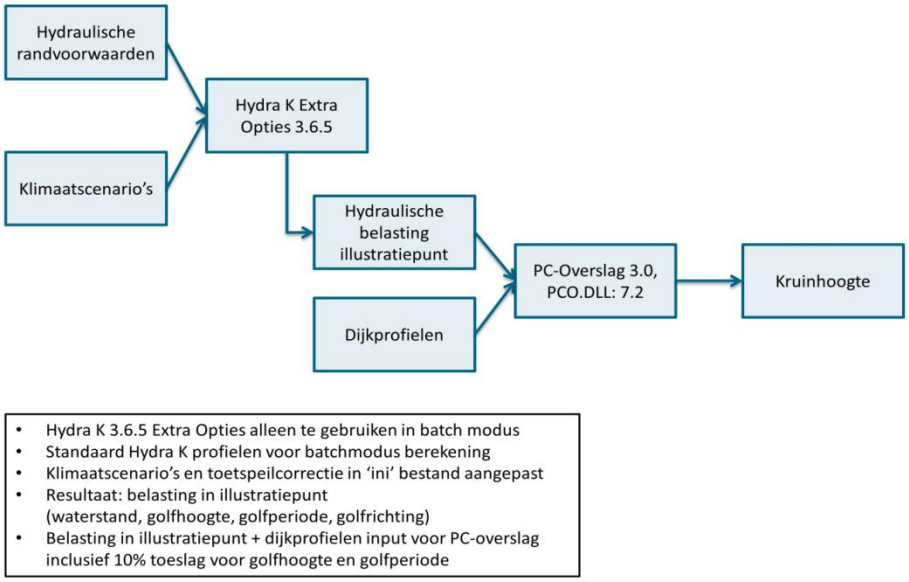


All pictures from: Y. Sasaki et al. / Soils and Foundations 52 (2012) 1016–1032

Concreet komt het erop neer dat naast de stabiliteitsberm die nodig is voor de macrostabilitiet ook een maatregel moet worden genomen voor het oplossen van de verwekingsgevoelige laag. Deze maatregel kan weer een positief effect hebben op de grondoplossing, dit effect is niet opgenomen in de sommen die zijn geraaporteerd.

2.7 BEPALING KRUINHOOGTE

Figuur 1 toont het stroomschema voor de berekeningen van de kruinhoogte. Hierin is geen onderscheid gemaakt tussen de vigerende normering of de nieuwe normering, de gevolgde stappen zijn identiek. De resultaten uit Hydra-K zijn, samen met de dijkprofielen, de input voor het golfoverslagmodel PC-overslag. De golfrichting uit het illustratiepunt wordt (na correctie ten opzichte van de dijknormaal) gebruikt als input voor PC-overslag. Met PC-overslag zijn voor meerdere overslagdebieten de kruinhoogten bepaald.



Figuur 1: Stroomschema berekeningen van de kruinhoogte

Toeslagen

Op de hydraulische randvoorwaarden die standaard berekend worden zijn de volgende toeslagen toegepast, conform OI2014 en advies van het Kennisplatform Risicobenadering:

- 10% toeslag op de golfhoogte en golfperiode;
- 0,2 m zeespiegelstijging (bij een planperiode van 25 jaar, 0,35 m bij een planperiode van 50 jaar);
- 0,4 m robuustheidstoeslag;
- Grotere golven vanwege grotere waterdiepte door de zeespiegelstijging.

Historie randvoorwaarden

De stijging van de benodigde kruinhoogte wordt deels veroorzaakt door een hogere waterstand (1,02m =+0,36m +0,66m), maar met name door een toename van de kruinhoogte ten gevolge van hogere golven. De significante golfhoogte en de bijbehorende periode is in de CR2011 (concept randvoorwaarden 2011) aanzienlijk toegenomen. De significante golfhoogte voor de toekomstige situatie is 2,98 m (Hsn) bij een periode van 5,68 s (Tm1,0n) ten opzichte van bijvoorbeeld de HR2001 met een significante golfhoogte (Hs) van 0,80 m en een golfperiode (Tp) van 2,8 s of de HR2006 met een significante golfhoogte (Hs) van 1,15 m.

2.8 GEVOLGDE PROCES

Om tot een uiteindelijk ontwerp te komen is een aantal rekenslagen uitgevoerd.
In onderstaand overzicht is een weergave gegeven van de belangrijkste verschillen tussen de diverse iteratieslagen. Per hoofdstuk zijn de uitgangspunten en resultaten van een rekenslag uitgewerkt.

Hertoetsing	**Rekenslag 1** **12-2014** **Oude + nieuwe norm** **Met/zonder beving**	**Rekenslag 2** **02-2015** **Nieuwe normering** **Met/zonder beving**	**Rekenslag 3** **02-2015** **Nieuwe norm,** **met beving,** **optimistisch**	**Rekenslag 4** **03-2015** **Nieuwe norm,** **met/zonder beving**
	Overslag 1 l/m/s PP 50 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 αbeving = 0,7 Geen verlaging γm Geen reststerkte KNMI kansverdeling	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 αbeving = 0,7 Geen verlaging γm Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 10 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 34% Midden-/afkeur = 2 αbeving = 0,9 Verlaging γm=0,79 Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 24% Midden-/afkeur = 3 αbeving = 0,9 Verlaging γm = 0,89 Reststerkte 1/3 KNMI met aftopping
Resultaten in Hoofdstuk 4	Resultaten in Hoofdstuk 5	Resultaten in Hoofdstuk 6	Resultaten in Hoofdstuk 7	Resultaten in Hoofdstuk 8
Huidige situatie	Spoor 1 Spoor 2 Spoor 3 Spoor 4	Spoor 3 Spoor 4	Spoor 4	Spoor 3 Spoor 4

3 Hertoets

3.1 UITGANGSPUNTEN

Bij de derde toetsronde is het gehele dijktraject afgekeurd op binnenwaartse stabiliteit. Na de uitgevoerde toetsronde is een aantal nieuwe gegevens beschikbaar gekomen. Met deze nieuwe gegevens zoals het SOS ondergrondmodel en een andere geometrie, is de toetsing opnieuw uitgevoerd voor de bestaande situatie.

3.2 RESULTATEN EN CONCLUSIE

De stabiliteitsberekening zijn in december opnieuw uitgevoerd. Hierbij is zowel de stabiliteit van het binnentalud als de stabiliteit van het buitentalud bepaald. Deze is bepaald met de methode Bishop en met Spencer. De resultaten zijn in onderstaande tabel gerapporteerd.

Raai	Huidige situatie binnen			Huidige situatie buiten		
	Bishop	Spencer	Voldoet?	Bishop	Spencer	Voldoet?
6	0,93	0,95	Nee	1,35	1,36	Ja
41	1,02	0,94	Nee	1,23	1,21	Ja
61	1,15	1,02	Nee	1,36	1,33	Ja
86	1,23	1,13	Ja	1,67	1,61	Ja
106	1,15	1,07	Ja	1,62	1,59	Ja
Eis	**1,11**	**1,05**		**1,05**	**1,00**	

Op basis van deze hertoets blijkt dat met deze nieuwe uitgangspunten de dijk niet meer voor het hele traject afgekeurd is op binnenwaartse stabiliteit. Het betreft hier de huidige situatie, zonder rekening te houden met aardbevingen. Bij het opstellen van een aardbevingsbestendig ontwerp voor 25 of 50 jaar is er voor alle raaien een versterkingsmaatregel noodzakelijk.

4 Rekenslag 1; december 2014

In dit hoofdstuk is alleen een aantal maatgevende uitgangspunten en de resultaten opgenomen. De onderbouwde memo's zijn opgenomen in Bijlage 2.

4.1 KRUINHOOGTE

4.1.1 UITGANGSPUNTEN

Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de kruinhoogte zijn:

- Overslagdebiet van 1 l/s/m
- Planperiode 50 jaar

De gehanteerde waterstanden zijn als volgt:

- Waterstand voor spoor 1 en 2 vigerende normen t.b.v. kruinhoogte en voor stabiliteit, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/4.000 per jaar [ref C03011 000330 r01r01, tabel 3] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,24	4.000
Raai 41	5,84	4.000
Raai 61	5,74	4.000
Raai 86	5,85	4.000
Raai 106	6,27	4.000

- Waterstand voor spoor 3 en 4 nieuwe normen t.b.v. kruinhoogte, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/18.750 of 1/62.500 per jaar [ref C03011 000330 r01r01, tabel 7] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,65	18.750
Raai 41	6,38	62.500
Raai 61	6,44	62.500
Raai 86	6,26	62.500
Raai 106	6,93	62.500

- Waterstand voor spoor 3 en 4 t.b.v. stabiliteit, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/1.500 of 1/5.000 per jaar [ref C03011 000330 r01r01, tabel 5] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,18	1.500
Raai 41	5,83	5.000
Raai 61	5,80	5.000
Raai 86	5,91	5.000
Raai 106	6,34	5.000

Geotechnische waarden zijn verder uitgewerkt in de bijlagen.

4.1.2 RESULTATEN KRUINHOOGTE; SPOOR 1 EN 2

Op basis van de uitganspunten is een ontwerphoogte voor de huidige normeringen bepaald; spoor 1 en spoor 2. Deze ontwerphoogte is de hoogte die na het verstrijken van de planperiode van 50 jaar nog aanwezig moet zijn. De aanleghoogte om dit resultaat te bereiken is hoger, en is niet gerapporteerd in deze resultaten.

De resultaten op basis van deze uitgangspunten zijn:

Raai	Bestaande kruinhoogte [nap +m]	Norm [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 2 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
6	7,6	4.000	7,56	**6,89**	6,68	6,43	6,26	5,91
41	8,1	4.000	7,95	**7,36**	7,18	6,96	6,80	6,44
61	8,1	4.000	8,34	**7,62**	7,39	7,11	6,91	6,46
86	7,7	4.000	8,02	**7,44**	7,27	7,05	6,88	6,51
106	8,1	4.000	10,39	**9,37**	9,04	8,61	8,30	7,62

4.1.3 RESULTATEN KRUINHOOGTE; SPOOR 3 EN 4

Op basis van de uitganspunten is een ontwerphoogte voor de nieuwe normeringen bepaald; spoor 3 en spoor 4.
Deze ontwerphoogte is de hoogte die na het verstrijken van de planperiode van 50 jaar nog aanwezig moet zijn. De aanleghoogte om dit resultaat te bereiken is hoger, en is niet gerapporteerd in deze resultaten.

De resultaten op basis van deze uitgangspunten zijn:

Raai	Bestaande kruin hoogte [nap +m]	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]	Kruin hoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 2 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
6	7,6	3.000	18.750	8,67	**7,93**	7,71	7,41	7,19	6,71
41	8,1	10.000	62.500	9,81	**8,99**	8,74	8,41	8,17	7,64
61	8,1	10.000	62.500	10,19	**9,29**	9,00	8,63	8,36	7,77
86	7,7	10.000	62.500	9,66	**8,88**	8,64	8,33	8,10	7,58
106	8,1	10.000	62.500	12,44	**11,21**	10,80	10,27	9,88	9,02

4.2 STABILITEIT

4.2.1 UITGANGSPUNTEN

Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de stabiliteit zijn:

- Faalkansbudget 4%
- Factor middenkans/afkeurkans 2
- Invloedsfactor aardbeving 0,7
- Geen gereduceerde materiaalfactor
- Geen reststerkte na instabiliteit door beving
- Ongewijzigde kansverdeling beving KNMI

4.2.2 RESULTATEN RUIMTEBESLAG; SPOOR 1 EN 2

Er zijn bermen nodig als verbeteringsmaatregel, zodat de dijk voldoet aan de veiligheidsnormen. De bermen zijn ontworpen met D-Geo Stability. De lengtes die in de tabel staan opgenomen, zijn de lengtes van de het extra ruimtebeslag, zie paragraaf 3.3.

Op basis van de uitganspunten en de benodigde is de benodigde stabiliteitsberm voor de bestaande normeringen bepaald: spoor 1 en spoor 2.

km	Raai nr	Spoor 1 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)	Spoor 2 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)
38	Raai 6	7	(STBU voldoet)	7	25	10	35
34,5	Raai 41	19	(STBU voldoet)	19	69	46	115
32,5	Raai 61	8	(STBU voldoet)	8	33	13	46
30	Raai 86	11	(STBU voldoet)	11	30	18	48
28	Raai 106	20	(STBU voldoet)	20	35	15	50

4.2.3 RESULTATEN RUIMTEBESLAG; SPOOR 3 EN 4

Op basis van de uitganspunten en de benodigde is de benodigde stabiliteitsberm voor de nieuwe normeringen bepaald: spoor 3 en spoor 4.

km	Raai nr	Spoor 3 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)	Spoor 4 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)
38	Raai 6	9	(STBU voldoet)	9	33	15	48
34,5	Raai 41	31	(STBU voldoet)	31	83	60	143
32,5	Raai 61	14	(STBU voldoet)	14	46	13	59
30	Raai 86	20	(STBU voldoet)	20	46	28	74
28	Raai 106	32	(STBU voldoet)	32	53	28	81

4.3 GEVOELIGHEIDSANALYSES

Om zicht te krijgen in de gevoeligheid van een aantal zaken zijn verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd bij afwijkende kruinhoogten, waterstanden en bermhoogten en hebben daarom alleen betrekking op de rekenslag waarvoor deze is uitgevoerd. De opgedane inzichten veranderen echter niet door deze verschillen. De uitgevoerde analyses zijn beschreven in de volgende paragraven.

4.3.1 INVLOED AARDBEVINGSBELASTING OP BERMLENGTE

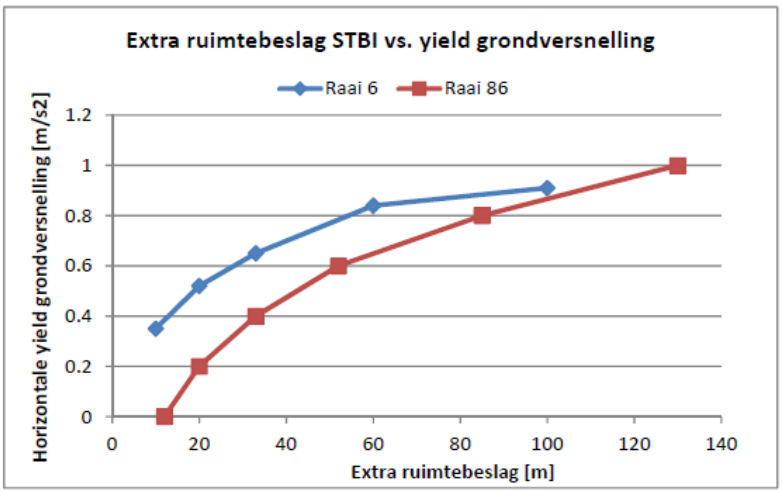
Twee belangrijke parameters in de bepaling van de aardbevingsbelasting zijn de invloedsfactor van deze belasting en de beschikbare faalkansruimte. Daarnaast speelt ook de vraag of de door het KNMI opgegeven zeer grote grondversnellingen (tot 15 m/s2) fysisch wel mogelijk zijn. Voor de twee eerste parameters is de invloed in tabel 10 aangegeven. Het in de berekeningen toegepaste scenario is dik weergegeven.

Invloedsfactor [-]	faalkansruimte [-]	terugkeertijd [jaar]	piek grondversnelling* [m/s2]	Yield grondversnelling** [m/s2]
0.9	0.04	19385	8.3	3.1
0.9	0.24	4470	6	1.6
0.7* **	**0.04**	**790**	**3.7**	**0.6**
0.7	0.24	347	2.8	0.33

Tabel 1: verband tussen invloedfactor, faalkansruimte en bijbehorende piek en yield grondversnellingen.

*) Piek grondversnelling volgens gegevens KNMI
**) Yield grondversnelling o.b.v. Newmark Sliding Block berekeningen uitgevoerd door Deltares. Dit is de ontwerpwaarde van de versnelling welke in de stabiliteitsanalyse moet worden toegepast waarbij voldaan moet worden aan de macrostabiliteitseisen. Weliswaar treden tijdens de ontwerpaardbeving hogere versnellingen op, maar de vervormingen die bij overschrijding van de yield grondversnelling optreden blijven voldoende laag.
***) Toegepaste scenario bij de resultaten in tabel 1 en tabel 2

Het effect van de grondversnelling op het benodigd extra ruimtebeslag is voor raai 6 en 86 indicatief bepaald en in figuur 2 weergegeven. Let op, in deze grafiek is op de verticale as de *yield* grondversnelling weergegeven.



Figuur 2 extra ruimtebeslag STBI vs yield grondversnelling

Conclusie is dat een yield grondversnelling van ca. 0,85 m/s2 (piek grondversnelling ca. 4,5 m/s2) het ruimtebeslag met een factor 2 toeneemt en bij een yield grondversnelling van ca. 0,3 m/s2 (piek grondversnelling ca. 3 m/s2) deze halveert. De bermlengte is dus zeer gevoelig voor de gehanteerde ontwerpversnelling. Bij een yield grondversnelling groter dan ca. 0,85 m/s2, of een piek grondversnelling ca. 4,5 m/s2, neemt het ruimtebeslag dermate veel toe dat een oplossing in grond niet realistisch meer lijkt. Als oplossing kan dan gedacht worden aan een kistdamoplossing. Deze wordt echter naar verwachting wel erg zwaar.

Geadviseerd wordt om meer inzicht in de te hanteren aardbevingsbelastingen te verkrijgen.

4.3.2 INVLOED KRUINHOOGTE OP BERMAFMETING EN RUIMTEBESLAG

De kruinhoogte heeft een negatieve invloed op de benodigde bermlengte. Een hogere kruin leidt tot een langere berm. Door de aardbevingsbelasting wordt dit effect mogelijk versterkt. In deze gevoeligheidsanalyse is de kruinhoogte van raai 86 gevarieerd tussen NAP +7,8 en NAP +9,0 m, met een stapgrootte van 0,2 m. In de berekening is uitgegaan van een yield grondversnelling van 0,61 m/s^2. Naast de benodigde bermlengte (bij een gelijkblijvende bermhoogte) is ook gekeken naar het effect op het ruimtebeslag. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2.

Kruinhoogte [m NAP]	Bermlengte [m]	Extra ruimtebeslag [m]
7,8	40	38
8,0	41	40
8,2	45	45
8,4	47	48
8,6	48	51
8,8	50	54
9,0	52	57

Tabel 2: Benodigde bermlengte en extra ruimtebeslag bij verschillende kruinhoogten raai 86.

Uit de uitgevoerde analyse blijkt dat gemiddeld genomen de bermlengte met 1 m toeneemt voor elke 0,1 m kruinhoogte. Het ruimtebeslag neemt harder toe, circa 2 m per 0,1 m kruinhoogte. Dit wordt veroorzaakt door het 1:4 binnen en 1:4 buitentalud. Elke 0,1 m kruinverhoging leidt hierdoor tot een extra ruimtebeslag van 0,8 m.

4.4 CONCLUSIE REKENSLAG 1

Bij het bepalen van het nieuwe ontwerp zonder de aardbeving belasting volstaat het aanbrengen van een binnenberm in samenhang met het verhogen van de kruin van de dijk. Dit is het geval bij zowel de rekenslag op basis van de bestaande als op basis van de nieuwe normering.
Het totale benodigde ruimtebeslag ligt tussen de 7 en 20 meter voor spoor 1 en tussen de 9 en 32 meter voor spoor 3.

Bij het ontwerp inclusief de aardbevingbelasting is ook aan de buitenberm een stabiliteitsberm noodzakelijk. Dit is het geval bij zowel de rekenslag op basis van de bestaande als op basis van de nieuwe normering. Het totale benodigde ruimtebeslag ligt tussen de 35 en 115 meter voor spoor 2 en tussen de 48 en 143 meter voor spoor 4.

Door dit ruimtebeslag blijft de nieuwe dijk in een aantal gevallen niet binnen de eigendomsgrenzen van het waterschap.

Met name deze laatste berekeningen inclusief de aardbeving belasting heeft een forse impact op het ruimtebeslag en de kosten. Deze resultaten zijn door het ontwerpteam als niet haalbaar en niet betaalbaar beoordeeld. Er is afgesproken om de uitgangspunten te optimaliseren. Deze worden verder uitgewerkt in rekenslag 2.

5 Rekenslag 2; februari 2015

In dit hoofdstuk is alleen een aantal maatgevende uitgangspunten en de resultaten opgenomen. De onderbouwde memo's zijn opgenomen in Bijlage 3.

5.1 KRUINHOOGTE

5.1.1 ADVIES KENNISPLATFORM

Om de uitgangspunten te optimaliseren is advies gevraagd bij het kennisplatform risicobenadering. Dit kennisplatform is in het leven geroepen om de vragen ten aanzien van de nieuwe normeringen te kunnen beantwoorden, en te kunnen bevestigen dat de uitgangspunten die gebruikt zijn overeenkomen met de uitgangspunten van het OI2014.

Uit de reactie van het kennisplatform blijkt dat zij akkoord zijn met de gebruikte methode en waarden. Als conclusies en aandachtspunten geeft zij de volgende onderwerpen aan:

- Overslagdebiet van 10 l/s/m is haalbaar
- Overstromingskans heeft betrekking op falen van de dijk, niet op begaanbaarheid
- Ten aanzien van uitgangspunten OI2014 weinig ruimte tot optimalisatie kruinhoogte (geen wijzigingen doorgevoerd)
- Van faalkansbegroting mag gemotiveerd worden afgeweken
- Optimalisatie wordt vooral gevonden in overslagdebiet
- Dus geen optimalisatie HR met toeslagen

Naar aanleiding van het overleg is er nog een vraag gesteld aan de helpdesk water over de toename van de kruinhoogte ten gevolge van de zeespiegelstijging. Inhoudelijk is de vraag dat het is fysisch niet (geheel) verklaarbaar dat 0,35 m zeespiegelstijging ook 0,32 m extra golfoploop veroorzaakt bij een waterstand van NAP + 6,925 m op de Waddenzee (tussen Eemshaven en Delfzijl).

Het antwoord van de helpdesk water is:
Als gevolg van de verhoging van de waterstand treedt een verandering op in de balans tussen propagatie, generatie en dissipatie van golfenergie. Hoewel een zeespiegelstijging van 0.35 meter ten opzichte van een waterstand van NAP+6 meter klein lijkt, heeft dit wel degelijk effect op de eerder genoemde processen. Als gevolg van de verhoogde waterstand treedt meer golfdoordringing over de tidal delta op: de banken in de voorliggende Waddenzee zorgen voor minder energie dissipatie en dus toename van de propagatie van golfenergie vanuit de Noordzee. Daarnaast speelt dat als gevolg van de toename in de waterstand in de Waddenzee meer golfgroei kan optreden, waardoor de golfcondities (lokaal gegenereerde component) tpv bv Eemshaven toenemen. Tot slot zorgt een toename van de waterstand tot minder reductie van de

goflenergie als gevolg van bodemwrijving en breken in de Eems zelf. Daar komt bij dat tegelijkertijd ook de golfperiode zal toenemen, wat uiteindelijk tot een toename van de golfoploop zal leiden.

Bovengenoemde is relevant voor het illustratiepunt voor genoemde dijksecties, dat (als ik het goed heb onthouden) een golfrichting van NNW omvat, wat betekent dat de dominante golfenergie door bovenstaande aspecten wordt beïnvloed.

Al met al wordt een toename van de golfhoogte met 0.1 meter ten gevolge van een zeespiegelstijging van 0.35 meter al realistisch beoordeeld.

5.1.2 UITGANGSPUNTEN

Naar aanleiding van het overleg en het gegeven advies van het kennisplatform is een aantal uitgangspunten voor de kruinhoogte bepaling gewijzigd. Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de kruinhoogte voor deze tweede rekenslag zijn:

- Overslagdebiet van 5 l/s/m
- Planperiode 25 jaar

De gehanteerde waterstanden zijn als volgt:

- Waterstand voor spoor 3 en 4 t.b.v. kruinhoogte, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/18.750 of 1/62.500 per jaar [ref xls-bestand BELASTING_HBN_RAAIEN_2030.xlsx, bijlage bij email van DvH aan MA 19-1-2015 en 11-2 van MvR aan MM] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,50	18.750
Raai 41	6,23	62.500
Raai 61	6,29	62.500
Raai 86	6,12	62.500
Raai 106	6,69	62.500

- Waterstand voor spoor 3 en 4 t.b.v. stabiliteit, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/1.500 of 1/5.000 per jaar [ref Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode MEMO, tabel 'Wln Afkeurkans'] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,03	1.500
Raai 41	5,75	5.000
Raai 61	5,65	5.000
Raai 86	5,77	5.000
Raai 106	6,18	5.000

Geotechnische waarden zijn verder uitgewerkt in de bijlagen.

5.1.3 RESULTATEN KRUINHOOGTE; SPOOR 3 EN 4

Op basis van de uitganspunten is een ontwerphoogte voor de nieuwe normering met een halve zichtperiode (25jaar) bepaald; spoor 3 en spoor 4.

Deze ontwerphoogte is de hoogte die na het verstrijken van de planperiode van 25 jaar nog aanwezig moet zijn. De aanleghoogte om dit resultaat te bereiken is hoger, en is niet gerapporteerd in deze resultaten.

De resultaten op basis van deze uitgangspunten zijn:

Raai	Bestaande kruin hoogte [nap +m]	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]	Kruin hoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]
6	7,6	3.000	18.750	7.28	**6.76**	6.55
41	8,1	10.000	62.500	8.33	**7.77**	7.54
61	8,1	10.000	62.500	8.55	**7.93**	7.68
86	7,7	10.000	62.500	8.23	**7.70**	7.48
106	8,1	10.000	62.500	10.48	**9.57**	9.18

* Raai 6 o.b.v. 1/10.000 per jaar frequentie om extra inzicht te bieden in de benodigde ontwerphoogte

5.2 STABILITEIT

5.2.1 UITGANGSPUNTEN

Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de stabiliteit zijn:

- Faalkansbudget 4%
- Factor middenkans/afkeurkans 2
- Invloedsfactor aardbeving 0,7
- Geen gereduceerde materiaalfactor
- Geen reststerkte na instabiliteit door beving
- Ongewijzigde kansverdeling beving KNMI

5.2.2 RESULTATEN RUIMTEBESLAG; SPOOR 3 EN 4

Op basis van de uitganspunten en de benodigde is de benodigde stabiliteitsberm voor de nieuwe normeringen bepaald: spoor 3 en spoor 4.

km	Raai nr	Spoor 3 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)	Spoor 4 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)
38	Raai 6	10	STBU voldoet	10	25	20	45
34,5	Raai 41	29	7	36	50	39	89
32,5	Raai 61	18	STBU voldoet	18	40	25	65
30	Raai 86	29	STBU voldoet	29	54	0*	54
28	Raai 106	28	STBU voldoet	28	45	0*	45

* (berm binnen huidig talud)

5.3 GEVOELIGHEIDSANALYSES

Om zicht te krijgen in de gevoeligheid van een aantal zaken zijn verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd bij een afwijkende kruinhoogten, waterstanden en bermhoogten en hebben daarom alleen betrekking om de rekenslag waarvoor deze is uitgevoerd. De opgedane inzichten veranderen echter niet door deze verschillen. De uitgevoerde analyses zijn beschreven in de volgende paragraven.

5.3.1 INVLOED EIGENSCHAPPEN OUDE KLEI KERN OP DE BUITENWAARTSE STABILITEIT

De parameters van de oude kleidijk zijn vooralsnog overgenomen uit de toetsing die in 2010 is uitgevoerd. Deze zijn weer gebaseerd op tabel 1 van NEN 6740 en dus niet op laboratoriumonderzoek. Door het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse met betrekking tot de eigenschappen van de klei in de oude dijk wordt meer inzicht gekregen in het effect van de aannames ten aanzien van de eigenschappen van deze kleilaag en of het nuttig is om aanvullend (laboratorium)onderzoek naar de eigenschappen van deze laag te doen.

Om de invloed van de grondparameters van de oude kleidijk op de berekeningsresultaten inzichtelijk te krijgen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de grondparameters zijn gevarieerd. De invloed op de buitenwaartse stabiliteit is onderzocht, omdat de binnenwaartse stabiliteit nauwelijks beïnvloed wordt door de sterkte van de grond van de oude kleidijk. Tevens is uitgegaan van de nieuwe normering. De gehanteerde grondparameters zijn weergegeven in tabel 3-2. Hierbij is bij de basisvariant uitgegaan van de grondparameters uit het uitgangspuntendocument [1]. Deze zijn afkomstig uit de uitgevoerde toetsing in 2010. Daarnaast is een berekening gemaakt waarbij uitgegaan is van sterkteparameters welke zijn overgenomen van in andere projecten opgedane praktijkervaringen voor een goed verdichte kleiophoging. Daarnaast is de invloed onderzocht van het verlagen van de cohesie van de oude kleidijk, aangezien de in de toetsing van 2010 gehanteerde waarde relatief hoog is indien deze wordt vergeleken met de ervaringsgetallen uit andere projecten.

berekening	γ dr;d [kN/m^3]	φ 'd [°]	C 'd [kN/m^2]
basis	15,0 / 17,5	14,7	6,7
praktijkwaarden goed verdichte klei	16,5 / 16,5	22,5	3,0
lagere cohesie	15,0 / 15,0	14,7	2,5

Tabel 3: Gehanteerde grondparameters oude kleidijk

variant	berekening	extra ruimtebeslag buitenzijde [m]
geen aardbeving	alle berekeningen	(STBU voldoet)
versterkt + aardbeving	basis	13
	praktijkwaarden goed verdichte klei	29
	lagere cohesie	38

Tabel 4: Berekeningsresultaten gevoeligheidsanalyse

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat vooral de gehanteerde cohesie van invloed is op het berekeningsresultaat. Tussen de basisberekening (c = 6,7 kN/m2) en berekening met lage cohesie (c = 2,5 kN/m2) bedraagt het verschil in ruimtebeslag ca. 25 m. Opgemerkt dient te worden dat ook de volumegewichten tussen de berekeningen verschillen, echter dit heeft relatief weinig invloed op het resultaat. Het verschil in veiligheidsfactor bedraagt ca. 1/100). De gehanteerde waarden voor het volumegewicht en de hoek van inwendige wrijving hebben minder invloed op het benodigde ruimtebeslag.

5.3.2 INVLOED SCHADEFACTOR OP RUIMTEBESLAG BUITENWAARTS

De invloed van aardbevingen is niet in de huidige veiligheidsfilosofie voor macrostabiliteit binnenwaarts meegenomen. Mogelijk kan een lagere schadefactor worden gehanteerd, omdat de onzekerheid in de aardbevingsbelasting dominanter is dan de onzekerheid overige parameters. Om de invloed van de toe te

passen schadefactor op het benodigde ruimtebeslag te bepalen zijn berekeningen gemaakt voor de buitenwaartse stabiliteit. Met betrekking tot de hoogte van de dijk en de gehanteerde (grond)waterstanden is uitgegaan van de nieuwe normering. De situatie met aardbevingsbelasting is beschouwd. Er zijn alleen berekeningen met het rekenmodel Spencer uitgevoerd.

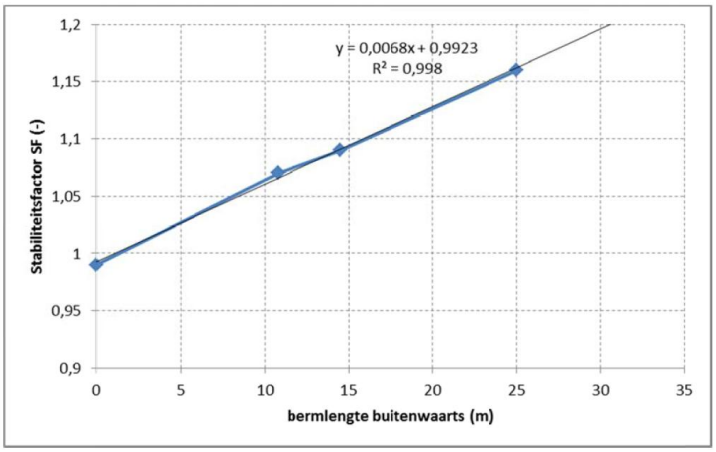
Het benodigde ruimtebeslag is bepaald bij vier vereiste stabiliteitsfactoren. Hierbij is uitgegaan van een modelfactor van $\gamma d = 0,95$ (Spencer) en een schematiseringsfactor van $\gamma b = 1,1$:

- SF = 0,99 ($\gamma n = 0,95$)
- SF = 1,07 ($\gamma n = 1,02$)
- SF = 1,09 ($\gamma n = 1,04$)
- SF = 1,16 ($\gamma n = 1,11$)

De benodigde ruimtebeslagen zijn weergegeven in tabel 5. Uit de berekeningen blijkt dat de te hanteren stabiliteitsfactor een grote invloed heeft op het benodigde ruimtebeslag. Uit de berekeningen blijkt dat een verlaging van de stabiliteitsfactor met 0,1 globaal leidt tot 15 m minder ruimtebeslag. Hetzelfde geldt ongeveer voor de schadefactor. In figuur 4-1 is dit grafisch weergegeven.

toegepaste schadefactor [SF]	extra ruimtebeslag binnenzijde [m]
1,16	25
1,09	14,5
1,07	10,8
0,99	0

Tabel 5: Berekeningsresultaten gevoeligheid toegepaste schadefactor



Figuur 3 Invloed stabiliteitsfactor op benodigde bermbreedte buitenwaarts

5.4 CONCLUSIE REKENSLAG 2

Bij het bepalen van het nieuwe ontwerp zonder de aardbeving belasting volstaat bij bijna alle raaien het aanbrengen van een binnenberm in samenhang met het verhogen van de kruin van de dijk. Alleen bij raai 41 is naast een binnenberm ook een buitenberm noodzakelijk. Het totale benodigde ruimtebeslag binnendijks ligt tussen de 10 en 29 meter voor spoor 3.

Bij het ontwerp inclusief de aardbevingbelasting is ook aan de buitenberm een stabiliteitsberm noodzakelijk. Dit is het geval bij zowel de rekenslag op basis van de bestaande als op basis van de nieuwe normering. Het totale benodigde ruimtebeslag ligt tussen de 45 en 89 meter voor spoor 4.

Door dit ruimtebeslag blijft de nieuwe dijk in een aantal gevallen niet binnen de eigendomsgrenzen van het waterschap.

De benodigde ruimtebeslagen en de bermen zijn kleiner dan in de voorgaande rekenslag. Een optimalisatie van de aardbeving belasting is nog wel mogelijk. Afgesproken wordt dat er een nieuwe rekenslag volgt met aangepaste uitgangspunten om het ontwerp te optimistisch te benaderen.

6 Rekenslag 3; februari 2015

In dit hoofdstuk is alleen een aantal maatgevende uitgangspunten en de resultaten opgenomen. De onderbouwde memo's zijn opgenomen in Bijlage 3.

6.1 KRUINHOOGTE

6.1.1 UITGANGSPUNTEN

De uitgangspunten voor de kruinhoogte zijn in deze derde rekenslag gelijk aan de uitgangspunten in de tweede rekenslag. Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de kruinhoogte voor deze tweede rekenslag zijn:

- Overslagdebiet 10 l/s/m
- Planperiode 25 jaar

De gehanteerde waterstanden zijn als volgt:

- idem waterstanden 5.1.2 (waterstand staat los van overslagdebiet):Waterstand voor 4 t.b.v. kruinhoogte, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/18.750 of 1/62.500 per jaar [ref xls-bestand BELASTING_HBN_RAAIEN_2030.xlsx, bijlage bij email van DvH aan MA 19-1-2015 en 11-2 van MvR aan MM] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,50	18.750
Raai 41	6,23	62.500
Raai 61	6,29	62.500
Raai 86	6,12	62.500
Raai 106	6,69	62.500

- Waterstand voor spoor 4 t.b.v. stabiliteit, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/1.500 of 1/5.000 per jaar [ref Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode MEMO, tabel 'Wln Afkeurkans'] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,03	1.500
Raai 41	5,75	5.000
Raai 61	5,65	5.000
Raai 86	5,77	5.000
Raai 106	6,18	5.000

Geotechnische waarden zijn verder uitgewerkt in de bijlagen.

6.1.2 RESULTATEN KRUINHOOGTE; SPOOR 4

Op basis van de uitganspunten is een ontwerphoogte voor de nieuwe normering met een halve zichtperiode (25 jaar) bepaald; spoor 3 en spoor 4. Deze ontwerphoogte is de hoogte die na het verstrijken van de planperiode van 25 jaar nog aanwezig moet zijn. De aanleghoogte om dit resultaat te bereiken is hoger, en is niet gerapporteerd in deze resultaten.

De resultaten op basis van deze uitgangspunten zijn:

Raai	Bestaande kruin hoogte [nap +m]	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]	Kruin hoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]
6	7,6	3.000	18.750	7.28	6.76	**6.55**
41	8,1	10.000	62.500	8.33	7.77	**7.54**
61	8,1	10.000	62.500	8.55	7.93	**7.68**
86	7,7	10.000	62.500	8.23	7.70	**7.48**
106	8,1	10.000	62.500	10.48	9.57	**9.18**

6.2 STABILITEIT

6.2.1 UITGANGSPUNTEN

Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de stabiliteit zijn:

- Faalkansbudget 34%
- Factor middenkans/afkeurkans 2
- Invloedsfactor aardbeving 0,9
- Gereduceerde materiaalfactor en schadefactor bij aardbeving (o.a. reststerkte en verdisconteren hoge invloedsfactor beving) factor 0,79
- Geen reststerkte na instabiliteit door beving
- Afgetopte kansverdeling beving KNMI

6.2.2 RESULTATEN RUIMTEBESLAG; SPOOR 4

Op basis van de uitganspunten en de benodigde is de benodigde stabiliteitsberm voor de nieuwe normeringen bepaald: spoor 4.

km	Raai nr	Spoor 4 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)
38	Raai 6	7	0	7
34,5	Raai 41	23	0	23
32,5	Raai 61	3	0	3
30	Raai 86	10	0	10
28	Raai 106	12	0	12

6.3 CONCLUSIE REKENSLAG 3

Bij het ontwerp inclusief de aardbeving belasting is aan de buitenberm geen stabiliteitsberm noodzakelijk. Het totale benodigde ruimtebeslag van de binnenberm ligt tussen de 3 en 23 meter voor spoor 4.

Door dit ruimtebeslag blijft de nieuwe dijk op bijna alle trajecten binnen de eigendomsgrenzen van het waterschap.

De benodigde ruimtebeslagen en de bermen zijn kleiner dan in de voorgaande rekenslag. Het gevoel bij deze berekening is dat alle optimistische mogelijkheden in de berekening opgenomen zijn.
De afspraak is om deze optimistische benadering verder uit te werken tot een realistische benadering.

7 Rekenslag 4; maart 2015

In dit hoofdstuk is alleen een aantal maatgevende uitgangspunten en de resultaten opgenomen. De onderbouwde memo's zijn opgenomen in Bijlage 5 en 6.
Voor deze rekenslag zijn twee berekeningen opgesteld. Een waarbij de stabiliteit leidend is boven de de uitgangspunten vanuit beheer en onderhoud. Deze resultaten zijn niet opgenomen in de rapportage, wel in bijlage 5.1 en 5.2.

Tevens zijn de geotechnische berekeningen opgesteld op basis van de gestelde uitgangspunten, bijvoorbeeld minimaal binnentalud 1:4. Deze resultaten zijn opgenomen in dit hoofdstuk, en verder onderbouwd in bijlage 5.3 tm 5.5.

7.1 KRUINHOOGTE

7.1.1 UITGANGSPUNTEN

De uitgangspunten voor de kruinhoogte zijn in deze vierde rekenslag gelijk aan de uitgangspunten in de derde rekenslag. Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de kruinhoogte voor de kruinhoogte zijn:

- Overslagdebiet van 5 l/s/m
- Planperiode 25 jaar

De gehanteerde waterstanden zijn als volgt:

- Waterstand voor spoor 3 en 4 t.b.v. kruinhoogte, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/18.750 of 1/62.500 per jaar [ref xls-bestand BELASTING_HBN_RAAIEN_2030.xlsx, bijlage bij email van DvH aan MA 19-1-2015 en 11-2 van MvR aan MM] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,50	18.750
Raai 41	6,23	62.500
Raai 61	6,29	62.500
Raai 86	6,12	62.500
Raai 106	6,69	62.500

- Waterstand voor spoor 3 en 4 t.b.v. stabiliteit, o.b.v. overschrijdingsfrequentie 1/1.500 of 1/5.000 per jaar [ref Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode MEMO, tabel 'Wln Afkeurkans'] (zonder robuustheidstoeslag)

Raai	W [m +NAP]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]
Raai 6	5,03	1.500
Raai 41	5,75	5.000
Raai 61	5,65	5.000
Raai 86	5,77	5.000
Raai 106	6,18	5.000

Geotechnische waarden zijn verder uitgewerkt in de bijlagen.

7.1.2 RESULTATEN KRUINHOOGTE; SPOOR 3 EN 4

Op basis van de uitganspunten is een ontwerphoogte voor de nieuwe normering met een halve zichtperiode (25jaar) bepaald; spoor 3 en spoor 4.
Deze ontwerphoogte is de hoogte die na het verstrijken van de planperiode van 25 jaar nog aanwezig moet zijn. De aanleghoogte om dit resultaat te bereiken is hoger, en is niet gerapporteerd in deze resultaten.
De resultaten op basis van deze uitgangspunten zijn:

Raai	Bestaande kruin hoogte [nap +m]	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]	Kruin hoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruin hoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]
6	7,6	3.000	18.750	7,70 (7,10)	**7,19 (6,59)**	6,99 (6,39)
41	8,1	10.000	62.500	8,76 (8,16)	**8,22 (7,62)**	8,00 (7,40)
61	8,1	10.000	62.500	9,02 (8,42)	**8,41 (7,81)**	8,16 (7,56)
86	7,7	10.000	62.500	8,69 (8,09)	**8,17 (7,57)**	7,92 (7,32)
106	8,1	10.000	62.500	10,86 (10,26)	**9,98 (9,38)**	9,62 (9,02)

1) Waarden tussen haakjes exclusief compensatie voor bodemdaling en robuustheidstoeslag

7.2 STABILITEIT

7.2.1 UITGANGSPUNTEN

Belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de stabiliteit zijn:

- Faalkansbudget 24%
- Factor middenkans/afkeurkans 3
- Invloedsfactor aardbeving 0,9
- Gereduceerde materiaalfactor (factor) 0,89 door lagere invloed materiaalonzekerheid
- Kans op overstroming gegeven instabiliteit door beving van 1/3 (reststerkte)
- Afgetopte kansverdeling beving KNMI met 27 significante bevingen

7.2.2 RESULTATEN RUIMTEBESLAG; SPOOR 3 EN 4

Op basis van de uitganspunten en de benodigde is de benodigde stabiliteitsberm voor de nieuwe normeringen bepaald: spoor 3 en spoor 4.

km	Raai nr	Spoor 3 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)	Spoor 4 Ruimtebeslag binnenzijde (m)	Ruimtebeslag buitenzijde (m)	Totaal (m)
38	Raai 6	12 [1)]	STBU voldoet	12	6[1)]	STBU voldoet	6
34,5	Raai 41	14[2)]	STBU voldoet	14	26[2)]	6[3)]	32
32,5	Raai 61	12[4)]	STBU voldoet	12	12[4)]	STBU voldoet	12
30	Raai 86	15[4)]	STBU voldoet	15	15[4)]	STBU voldoet	15
28	Raai 106	23[4)]	STBU voldoet	23	23[4)]	STBU voldoet	23

1) In afwijking van de uitgangspunten is een steiler binnentalud (binnenteen-berm) van 1v:4h gehanteerd, omdat hiermee aan de stabiliteitseis wordt voldaan bij een kleiner ruimtebeslag, door dit uitgangspunt is aanpassen van binnentalud op de binnenzijde niet noodzakelijk.
2) Bij de Bishop methode voldoet STBI niet aan de rand van de berm, omdat ernaast een sloot ligt. Als maatregel is daarom de sloot gedempt, omdat anders een veel langere berm nodig zou zijn. In de praktijk zal een nieuwe sloot op enige afstand van de berm moeten worden aangelegd.
3) Om te voldoen aan de stabiliteitseis voor STBU is een maximale yield-versnelling van 0,42 m/s2 (terugkeertijd ca. 700 jaar) toelaatbaar
4) Het ruimtebeslag wordt bepaald door de eisen ten aanzien van de geometrie en niet door eisen ten aanzien van de stabiliteit.

7.3 CONCLUSIE REKENSLAG 4

Bij het bepalen van het nieuwe ontwerp zonder de aardbeving belasting volstaat bij alle raaien het aanbrengen van een binnenberm in samenhang met het verhogen van de kruin van de dijk.
Het totale benodigde ruimtebeslag binnendijks ligt tussen de 12 en 23 meter voor spoor 3.

Bij het ontwerp inclusief de aardbevingbelasting is bij raai 41 ook aan de buitenberm een stabiliteitsberm noodzakelijk. Het totale benodigde ruimtebeslag ligt tussen de 6 en de 32 meter voor spoor 4.

Door dit ruimtebeslag blijft de nieuwe dijk in een aantal gevallen niet binnen de eigendomsgrenzen van het waterschap.

De resultaten van de ruimtebeslagen van spoor 3 en spoor 4 liggen dicht bij elkaar. Bij raai 61, 86 en 106 is spoor 3 en spoor 4 zelfs gelijk.

Bij dit ontwerp is voor een aantal raaien zichtbaar dat de uitgangspunten vanuit beheer en onderhoud (binnentalud van 1:4, en een berm van minimaal 5 meter, rekenslag 4B) zelf maatgevend is ten opzichte van de daadwerkelijke stabiliteitsberm (rekenslag 4A). Deze zou nog iets kleiner kunnen.

8 Conclusies en aanbevelingen

Per rekenslag is een aantal conclusies opgenomen. In dit hoofdstuk zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen die geldig zijn na de laatste rekenslag.

8.1 CONCLUSIE

Het doel van de uitgevoerde berekeningen is om het benodigd ruimtebeslag te bepalen.
Op basis van de berekeningen varieert het benodigd extra ruimtebeslag aan de binnenzijde voor de situatie waarbij de waterbelasting dominant is (spoor 3) tussen ca. 10 en 25 m. Voor de situatie waarbij de aardbevingsbelasting dominant is (spoor 4) varieert het benodigd extra ruimtebeslag tussen ca. 5 en 25 m.

Bij raai 61, 86 en 106 wordt het ruimtebeslag voor zowel spoor 3 (waterbelasting dominant) als spoor 4 (aardbevingsbelasting dominant) bepaald door de eisen aan de geometrie en niet door de eisen ten aanzien van de stabiliteit. Hierdoor is het ruimtebeslag voor spoor 3 en 4 voor deze raaien hetzelfde.

Aan de buitenzijde is alleen voor raai 41 voor de aardbevingssituatie extra ruimtebeslag van ca. 6 m benodigd. Zonder versterking is de stabiliteit bij een aardbevingsbelasting met een terugkeertijd van ca. 700 jaar (eis 1300 jaar) voldoende.

Ter plaatse van raai 6 is het ontwerp voor de waterbelasting maatgevend ten opzichte van de aardbevingsbelasting. Reden hiervoor is met name de lagere norm die voor dit dijktraject geldt, waardoor de aardbevingsbelasting significant afneemt. Het effect van een afwijkende norm heeft dus een grotere invloed op het effect van de aardbevingsbelasting dan op het effect van de waterbelasting.

8.2 AANBEVELINGEN TEN BEHOEVE VAN VALIDEREN EN EVENTUEEL AANPASSEN UITGANGSPUNTEN D&C CONTRACT

In de afgelopen maanden is een aanzienlijk aanscherping in de uitgangspunten bereikt. Echter, met name ten aanzien van de aardbevingsbelasting (o.a. niet lineaire overdrachtsfunctie) lijkt nog verdere optimalisatie mogelijk.

Het maken van aardbevingsbestendige dijkontwerpen is relatief nieuw in Nederland. Geadviseerd wordt om de ontwerpaanpak en ontwerpkeuzes te laten verifiëren door internationale experts.

De invloed van ongedraineerd rekenen (CSSM) is nog niet bekend, maar er is ook nog geen ontwerpaanpak beschikbaar om dit vast te stellen. Aanbevolen wordt om (op basis van de nu beschikbare rekenregels) een gevoeligheidsanalyse uit te voeren om de bandbreedte waarbinnen deze invloed kan liggen vast te leggen.

Vooralsnog wordt er van uitgegaan dat verweking voorkomen wordt door aanvullende maatregelen, zoals grondverbetering en/of drainage. De impact van deze aanname is zeer groot. De kosten van deze maatregelen zijn nog niet in kaart gebracht, maar kunnen aanzienlijk zijn. Aanbevolen wordt de mogelijke maatregelen nader uit te werken en de scope van deze maatregelen vast te stellen.

Daarnaast is het noodzakelijk om een aantal uitgangspunten verder uit te werken en vast te leggen zoals:
- Vaststellen faalkansbudget
- Vaststellen reststerkte aanpak
- Overnemen factor middenkans/afkeurkans
- Toe te passen lengteeffect

Geadviseerd wordt om de proevenverzameling voor alle ontbrekende lagen uit SOS aan te vullen, zodat voor alle relevante grondlagen uit het SOS rekenwaarden beschikbaar zijn. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen (Tfco, Pgcc en DK) van belang.

De ligging en de eigenschappen van de oude kleidijk, en dan vooral de gehanteerde cohesie, hebben veel invloed op de berekeningen, daarom is het aan te bevelen onderzoek uit te voeren naar de ligging en de eigenschappen van de oude kleidijk.

De ligging van de freatische lijn in de dijk is bepaald aan de hand van LivedijkXL metingen in combinatie met handberekeningen van de infiltratie die optreedt bij hoge waterstanden ter plaatse van het buitentalud (en binnentalud als gevolg van een hoog overslagdebiet). De handberekeningen zijn indicatief, dit kan mogelijk nog worden geoptimaliseerd.

Aanbevolen wordt om in het ontwerp ofwel de kleideklaag te dimensioneren op microstabiliteit (opdrukken) ofwel te zorgen voor voldoende drainage ter plaatse van de binnenteen.

Als laatste adviseren wij de respons van de tussenzandlagen te meten/afleiden, de freatische waterstand ter plaatse van het gedeelte met de kleidijk aan binnenzijde te meten (raai 6), en de stijghoogte in het 1e watervoerende pakket nader te bepalen.

9 Referenties

Referenties:

ref 1. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014, Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, april 2014, definitief

ref 2. Deltares, 2014, Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden, april 2014, definitief

ref 3. Deltaprogramma Veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014, Synthesedocument deelprogramma Veiligheid, 25 juli 2014, definitief

ref 4. Deltares, 2011, Deltascenario's, 30 april 2011, definitief

ref 5. Geoplus, 2014, Dijkmeting Delfzijl-Eemshaven, Projectnummer: 788.04

ref 6. Deltares 2015: Aanpak voor een haalbaar en betaalbaar ontwerp

Opgestelde rapportages en memo's door ARCADIS/Fugro die ten grondslag liggen aan deze rapportage.

	bijlage	Onderwerp	Naam memo	Datum
0	1.1	Raai 86	1212-0075-003.M01v2concept	5-nov-14
	1.2	Ontwerp kruinhoogte waddenzeedijken Impactanalyse aardbevingen	078156292:0.4 - Concept	20-11-2014
1	2.1	uitgangspunten	1212-0075-003.M03v2concept	19-nov-14
	2.2	Raai 6	1212-0075-003.M02v4concept	3-dec-14
	2.3	Raai 41	1212-0075-003.M04v1concept	27-nov-14
	2.4	Raai 61	1212-0075-003.M05v2	8-dec-14
	2.5	Samenvatting Inclusief gevoeligheidsanalyse aardbevings-belasting	1212-0075-003.M06v4concept	12-12-2014
	2.6	Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode MEMO	078297511_VA	19-1-2015
	2.7	Tekeningen	Versie A	30-1-2015
2	3	uitgangspunten	1212-0075-003.M03v4concept	20-1-2015
	3.1	Raai 6	1212-0075-003.M02v5concept	26-1-2015
	3.2	Raai 41	1212-0075-003.M04v2concept	27-1-2015
	3.3	Raai 61 Inclusief gevoeligheidsanalyse oude kleidijk	1212-0075-003.M05v3concept	9-1-2015
	3.4	Raai 61 Inclusief gevoeligheidsanalyse schadefactor	1212-0075-003.M05v7concept	18-2-2015
	3.5	Tekeningen	Versie B	4-2-2015
3	4.1	optimistisch scenario	1212-0075-003.M08v2concept	18-2-2015
	4.2	Tekeningen	Versie C	27-2-2015
4a	5.1	Rekensessie 4a	1212-0075-003.M09v2concept	10-3-2015
	5.2	Tekeningen	Versie D	12-3-2015
4b	5.3	Rekensessie 4b Inclusief hertoets	1212-0075-003.M09v3	2-4-2015
	5.4	Tekeningen	Versie E	5-3-2015
	5.5	Uitgangspunten TVKA	1212-0075-003.M07v3	4-3-2015
	5.6	Presentatie HWBP	@@	@@
		Gevoeligheidsanalyse TVKA	1212-0075-003.M10v1concept	20-4-2015

Bijlage 1 Gegevens rekenslag 0

Bijlage 1.1 Memo raai 86

Aan : Martin Arends (Arcadis), Huub de Bruijn (Deltares), Martin van der Meer (Fugro)

Van : Ben Rijneveld (Fugro)

Controle : -

Ref : 1212-0075-003.M01v2concept/BRV

Versie : 2 (concept, nog geen intere controle)

Datum : 5 november 2014

Betreft : Berekeningen versterking dp 30,0

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 30,0 (raai 86) gegeven. In deze raai is **het** Dijk Monitoring en Conditionering (DMC) systeem geïnstalleerd.

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de beschikbare berekening ter plaatse van dp 30,0. Het nieuw beschikbaar gekomen grondonderzoek is nog niet verwerkt.

Daarnaast is gebruik gemaakt van de volgende literatuur en rapporten:

[ARC 2014] Belastingniveau Waddenzee waterkeringen, Arcadis memo met kenmerk 078119389:B, 3 november 2014

[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007

[DEL 2014_1] Ondergrondmodel Delfzijl-Eemshaven, Deltares memo 1210009-002-GEO-0001, 1 oktober 2014

[DTM] Digitaal Terrein Model Dijkverbetering Eemshaven

[HCO 1994] Handreiking Constructief ontwerpen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 1994

[PWG 1965] Zeedijken vak Delfzijl – Nansum, pand 4 bestekstekening blad4, Provinciale waterstaat Groningen, 1965

[VTV 2006] Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007

[WNZ 2010] Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk, primaire waterkeringen dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest, rapport 9V2113.B0, 27 mei 2010

3. UITGANGSPUNTEN

De ontwerpberekeningen op schetsontwerpniveau zijn alleen gericht op het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit (STBI). Er is geen volledig, integraal ontwerp uitgewerkt. De planperiode bedraagt 50 jaar.

3.1. Normering en partiële factoren

In de berekeningen is uitgegaan van de huidige normen, gebaseerd op overschrijdingskansen en niet op overstromingskansen.

De normfrequentie voor dijkring 6 bedraagt 1/4000, waarbij voor toetsen een schadefactor 1,18 hoort [VTV 2006]. Deze schadefactor geldt in combinatie met de materiaalfactoren uit [VTV 2006]. Voor ontwerpen zou op basis van [ATRWG 2001] uit moeten worden gegaan van aangepaste

schadefactoren en materiaalfactoren, maar hierbij wordt dezelfde betrouwbaarheid gerealiseerd. Daarom is vooralsnog gebruik gemaakt van de schade- en materiaalfactoren uit [VTV 2006].

Voor de schematiseringsfactor is uitgegaan van een waarde van $\gamma_b = 1,1$. Deze waarde is (nog niet) rekenkundig onderbouwd.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van $\gamma_d = 1,0$ en voor het model Spencer van een modelfactor van $\gamma_d = 0,95$.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor van F.S. ≥ 1,30 (= 1,18 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop en F.S. ≥ 1,23 (= 1,18 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

3.2. Modellen

In de berekeningen is gedraineerd (met wateroverspanningen) gerekend. In de stabiliteitsberekeningen is gerekend met het model Bishop. De maatgevende berekening is gecontroleerd moet het model Spencer.

Uit indicatieve berekeningen blijkt dat zonder het toepassen van de zoneringsregel zeer brede bermen en zeer flauwe taludhellingen van de berm toegepast moeten worden. Daarom is uitgegaan van een overslagdebiet van 0,1 l/s/m. Qua zonering is een in dit stadium alleen naar zone 3 volgens [HCO 1994] gedifferentieerd. Voor zone 1 en 2 is uitgegaan van de eis voor zone 1. Voor zone 3 is als eis een stabiliteitsfactor van F.S. ≥ 1,0 toegepast. Dit is conservatiever dan de eis uit [HCO 1994] dat de stabiliteit hoger moet zijn dan de huidige situatie. Hier is eventueel nog optimalisatie mogelijk.

3.3. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “77804_DTM_Dijk_(140905PW)-29500 – 31500”, dwarsprofiel DWP-7 bij metrering 30000.00 [DTM]. Merk op dat deze geometrie enigszins afwijkt van de bestekstekening [PWG 1965]. Op het betreffende dwarsprofiel uit het DTM is geen kewlsloot weergegeven, deze is echter langs het traject wel aanwezig (bijv. in het DTM profiel van km 29.500). Voor de kwelsloot is een diepte van 1 m, taludhellingen 1v:3h en een slootbodembreedte van 1 m aangehouden.

De ontwerpkruinhoogte is gebaseerd op [ARC 2014], waarbij is uitgegaan van een overslagdebiet van 0,1 l/s/m. In dat geval bedraagt de ontwerpkruinhoogte (incl. robuustheidstoeslag) NAP +8,02 m. Dit is de ontwerphoogte exclusief het effect van bodemdaling. Er is uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,4 m. Derhalve is gerekend met een ontwerpkruinhoogte van NAP +8,4 m.

Voor de oplossing is uitgegaan van een vaste positie van de buitenteen, waarbij de versterking wordt gerealiseerd door een verflauwing van het binnentalud en verbreding/verhoging van de binnenberm. Daarnaast wordt voor een verhoging van kruin uitgegaan van het doortrekken van het buitentalud onder de huidig aanwezige taludhelling van ca. 1v:3h. Omdat de huidige kruinhoogte NAP +7,7 m bedraagt is er een verhoging van 0,7 m van de kruin gemodelleerd, waarbij een kruinbreedte van 3 m is gehanteerd.

Het effect van de bodemdaling in het achterland is niet in de berekeningen meegenomen. Omdat het achterland min of meer meezakt met kruin, blijft de kerende hoogte namelijk in de loop van de tijd ongeveer gelijk. Omdat er al een verhoging van de kruin is meegenomen is deze aanpak te verantwoorden.

Het effect van een eventuele zettingscompensatie om de ontwerpkruinhoogte gedurende de levensduur van de waterkering te garanderen is niet meegenomen. Dit dient in het ontwerp nader uitgewerkt te worden.

3.4. Hydraulische randvoorwaarden

Conform [ARC 2014] is voor de ontwerpwaterstand (huidige normering) voor de geotechnische mechanismen uitgegaan van een waterstand van NAP +5,85 plus een robuustheidstoeslag van 0,1 m, ofwel NAP +5,95 m. Dit zijn de waterstanden exclusief bodemdaling. In de berekeningen is de bodemdaling op toeslag op de waterstand meegenomen. Reden hiervoor is dat in de loop van de tijd de waterstand in de dijk relatief hoger wordt, omdat de dijk zakt. Omdat het zakken van de dijk niet expliciet gemodelleerd is, is dit op deze manier meegenomen. Er is uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,4 m. Derhalve is gerekend met een buitenwaterstand van NAP +6,35 m.

3.5. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 86 (B8620, DKP8630, B8640, DKP8650, B8660, DKP8690 en B8680, segment 11 en 12 van het stochastisch ondergrondmodel [DEL 2014_1] en de bestekstekening [PWG 1965].

Voor de grondparameters is uitgegaan van de parameters en laagindeling welke in de toetsing [WNZ 2010] zijn gehanteerd. Hierbij is zin de gehanteerde bodemlagen uit de toetsing omgezet naar de nieuwe geologische schematisatie uit [DEL 2014_1], zie tabel 1.

Tabel 1: Gehanteerde grondparameters

Grondlaag toetsing	Grondlaag SOS	$\gamma_{dr;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{dr;d}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;d}$ [kN/m^3]	φ'_{rep} [°]	φ'_{d} [°]	c'_{rep} [kPa]	c'_{d} [kPa]
Natuurlijke grondslag									
Oude zeeklei (OZK)	Tfcc/Pgcc	15,5	14,1	17,5	15,9	17,5	14,6	5,0	3,3
Veen (V)	Shpp	4,0	3,6	11,5	10,5	15,0	12,5	2,5	1,7
Humeuze klei (HK)	Tfco	6,5	5,9	13,5	12,3	15,0	12,5	1,0	0,7
Zand (wadafzetting) (Z)	Tcsf	15,0	13,6	18,0	16,4	27,5	22,9	0,0	0,0
Klei zwak zandig (KZ/ZK)	Tfsc	14,0	12,7	16,5	15,0	25,0	20,8	1,0	0,7
Dijklichaam									
Dijkzand (DZ)	Pfc1/pfc2	17,0	15,5	19,0	17,3	32,5	27,1	0,0	0,0
Dijkklei (DK)		15,0	13,6	17,5	15,9	17,5	14,6	10,0	6,7
Bekledingsklei (BK)		15,0	13,6	17,5	15,9	17,5	14,6	5,0	3,3
Opgespoten zand (OZ)		17,0	15,5	19,0	17,3	30,0	25,0	0,0	0,0

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de kleideklaag is een laagdikte van 0,6 m aan de binnenzijde aangehouden en op de kruin en het buitentalud van 1,0 m. Dit is een inschatting op basis van het lokaal uitgevoerde onderzoek.

Spoor 1 (geen aardbevingsbelasting)
De gehanteerde bodemopbouw voor spoor 1 is overwegend gebaseerd op het stochastisch ondergrondmodel 3 voor segment 12 [DELT 2014_1]. Model 3 is toegepast omdat daar een relatief dikke laag (ca. 8 m) humeuze klei aanwezig is, welke relatief slap is. Derhalve wordt deze schematisatie voldoende conservatief geacht om een schematiseringsfactor van 1,1 te kunnen verantwoorden. Het betreffende scenario een kans van ca. 4,5% van optreden. De overige schematisaties zijn over het algemeen gunstiger, zodat optimalisatie te verwachten is.

Spoor 2 (wel aardbevingsbelasting)

Door Deltares is aangegeven dat alleen de lagen Pfsm, Tcsf en Tcsm gevoelig worden geacht voor verwekingsvloeiing. Deze lagen zijn in segment 11 en 12 niet aanwezig. Derhalve wordt dezelfde bodemopbouw als voor spoor 1 gehanteerd. Achterliggende idee is dat het effect van een horizontale belasting ook voor deze bodemlagen maatgevend is.

Merk op dat in sondering DKP8650 tussen ca. NAP -0,5 en NAP -2,5 m een losgepakte zandlaag aanwezig is, welke mogelijk verwekingsgevoelig is. De berekende relatieve dichtheid op basis van de correlaties van Baldi (1986) en Jamiolkowski (2003) bedraagt voor deze laag ca. 50 à 60%. Deze laag komt echter niet terug in het stochastisch ondergrondmodel. Mogelijk betreft het hier aangebracht dijksmateriaal. Het effect van aardbevingen op deze laag is ook beschouwd.

3.6. Geohydrologische schematisatie

De freatische waterstand is als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn volgt de binnenbekleding en verloopt vervolgens lineair naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Er is conform de toetsberekeningen uitgegaan van een hydrostatisch verloop van de waterspanningen, waarbij geen respons in het pleistocene zand of tussenzandlagen is gemodelleerd.

Het effect van het DMC systeem is niet in de berekeningen meegenomen. Op basis van de beschikbare monitoring lijkt (zonder DMC systeem) een freatische lijn op ca. NAP +2,5 m onder de kruin een goed uitgangspunt. Door het effect van het DMC systeem te modelleren is nog een optimalisatie mogelijk.

Voor het polderpeil is conform [WNZ 2010] uitgegaan van het zomerpeil op NAP -1,2 m.

3.7. Verkeersbelasting

In het ontwerp is rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13,3 kN/m^2 over 2,5 m op het midden van de binnenberm. Er is geen rekening gehouden met een verkeersbelasting op de kruin.

4. BEREKENINGSRESULTATEN

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen of de verschuiving van de kwelsloot, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten zijn gepresenteerd in tabel 2.

Tabel 2: Berekeningsresultaten dp 30,0

Variant	Overslagdebiet [m]	Locatie binnenteen / kwelsloot [m]	Extra ruimte beslag Binnenteen/kwelsloot [m]	Opmerking
Huidig	-	Ca. 71 / 41	-	voldoet niet, F.S. = 0,79
Spoor 1	0,1 l/s/m	Ca. 20 / 0	51 / 41	Bermbreedte ca. 40 m i.c.m. zeer flauwe taluds
Spoor 2				

5. CONCLUSIES

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Hieruit volgt dat bij de genoemde uitgangspunten met een extra ruimtebeslag van orde 50

m tot een veilig ontwerp kan worden gekomen. Hierin is het effect van aardbevingseffecten niet meegenomen.

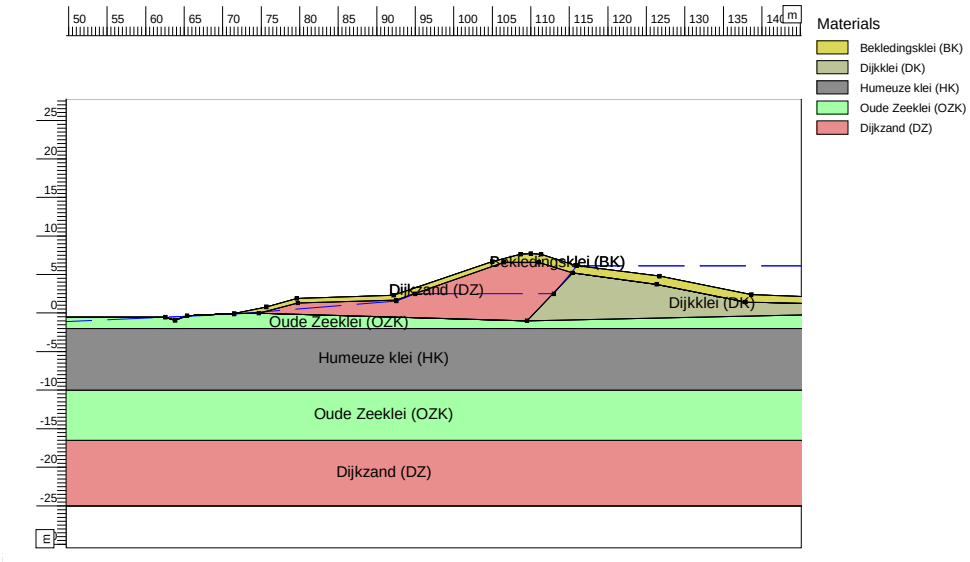
Vergeleken met de vorige versie van deze memo is een groot verschil in extra ruimtebeslag berekend. Belangrijkste reden is het toepassen van het stochastische ondergrondmodel. In de vorige versie was uitgegaan van het lokaal beschikbare grondonderzoek en bijbehorende bodemopbouw. Het schematiseren van de bodemopbouw heeft dus een grootte invloed op het berekende extra ruimte beslag.

Bijlagen:
Berekeningsresultaten 1

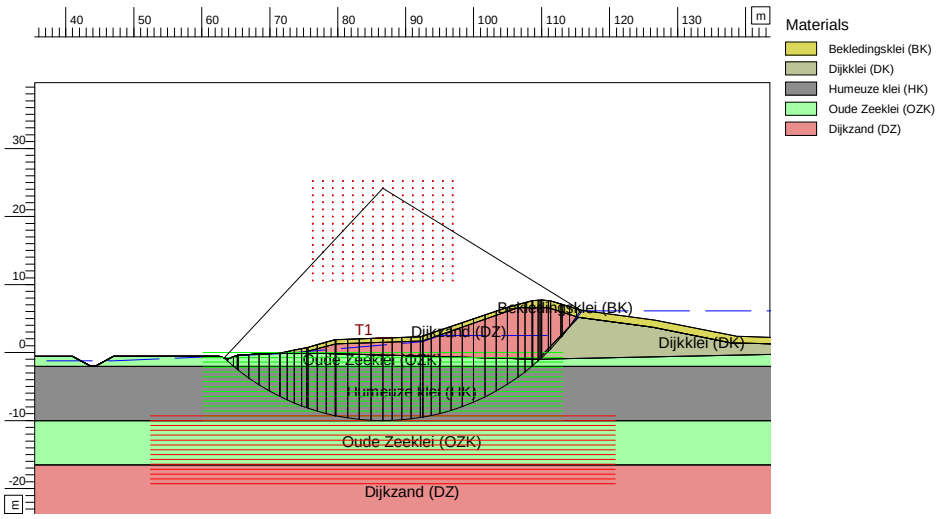
BIJLAGE 1

Resultaten huidige situatie, geen verkeer

Geometry View



Critical Circle Bishop

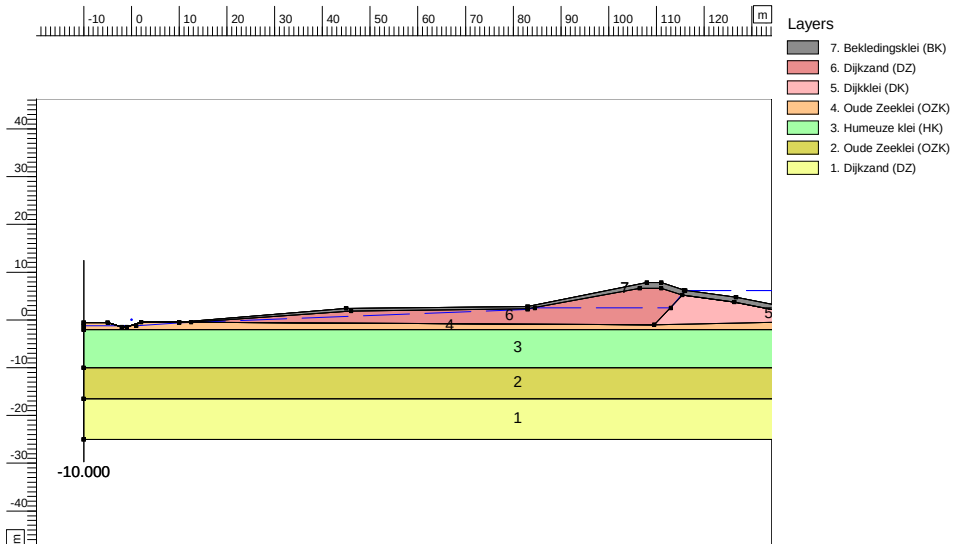


Xm : 86.64 [m]
Ym : 24.18 [m]

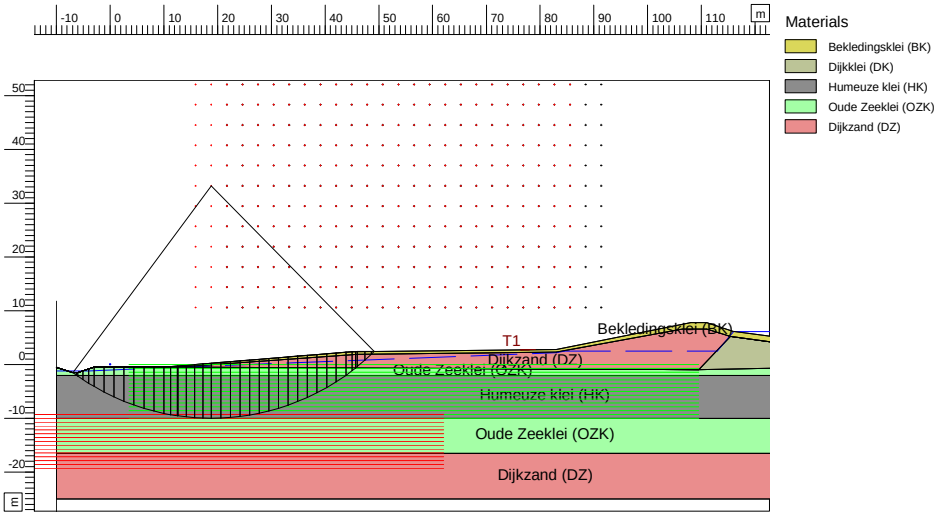
Radius : 34.18 [m]
Safety : 0.79

Resultaten spoor 1, model Bischop, 1 l/s/m, geen verkeer

Geometry View



Critical Circle Bishop

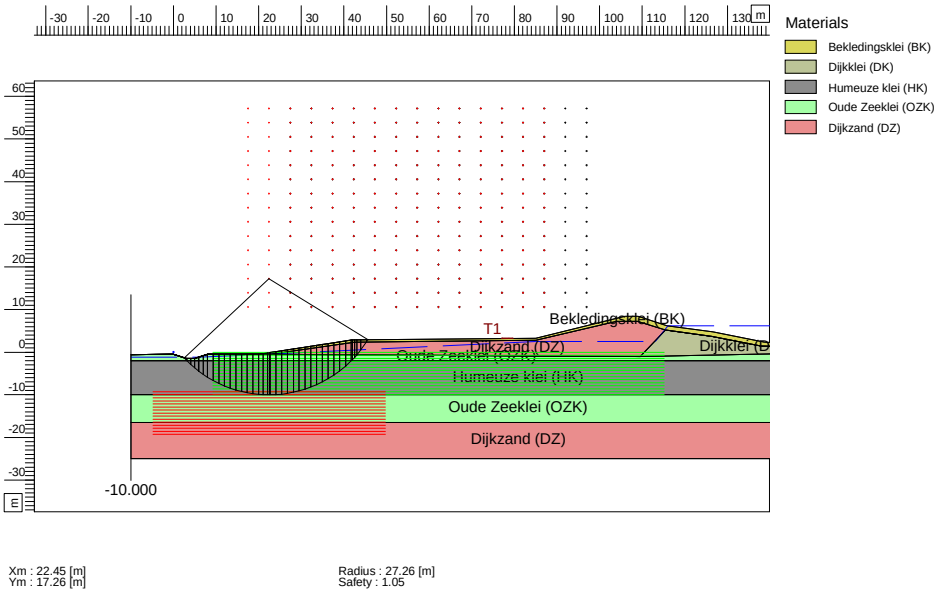


Xm : 18.81 [m]
Ym : 33.23 [m]

Radius : 43.23 [m]
Safety : 1.36

Resultaten spoor 1, model Bischop, 0,1 l/s/m, zonder verkeer

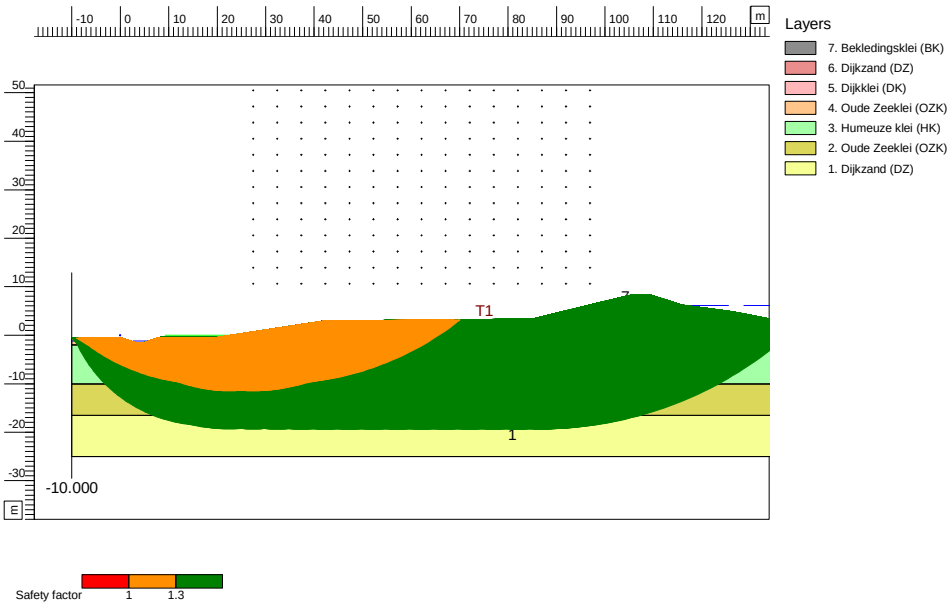
Critical Circle Bishop



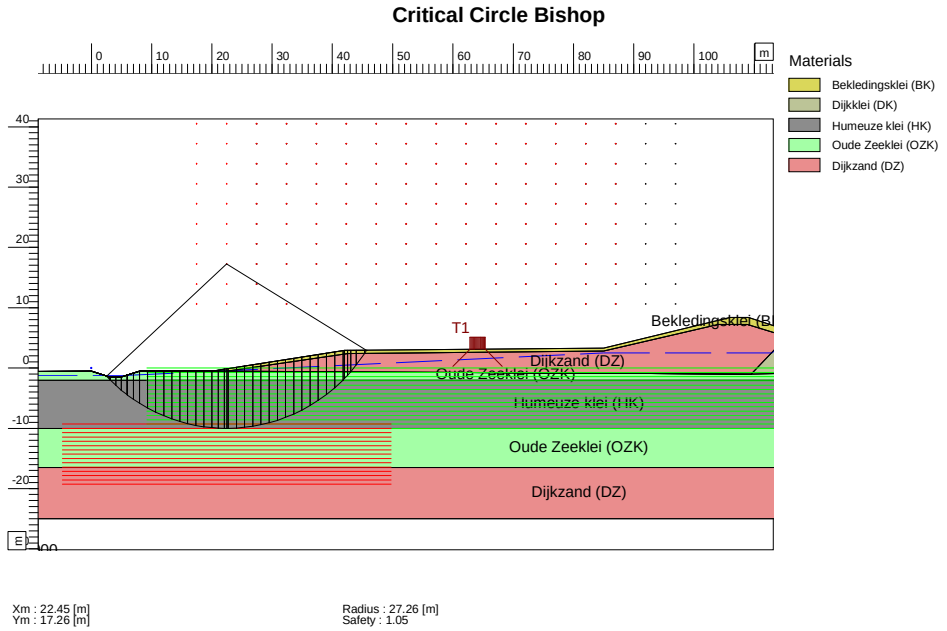
Xm : 22.45 [m]
Ym : 17.26 [m]

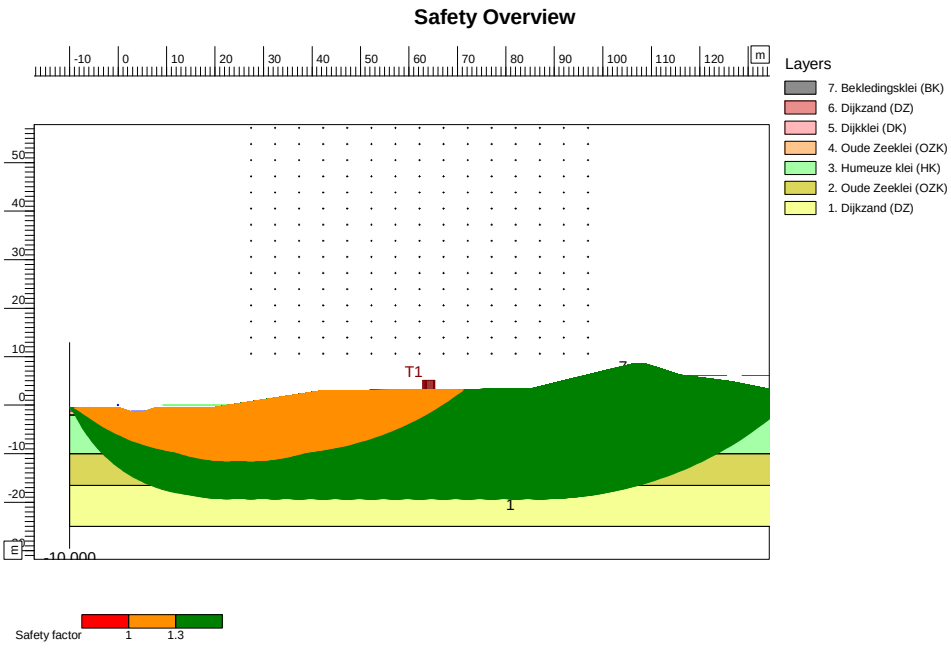
Radius : 27.26 [m]
Safety : 1.05

Safety Overview



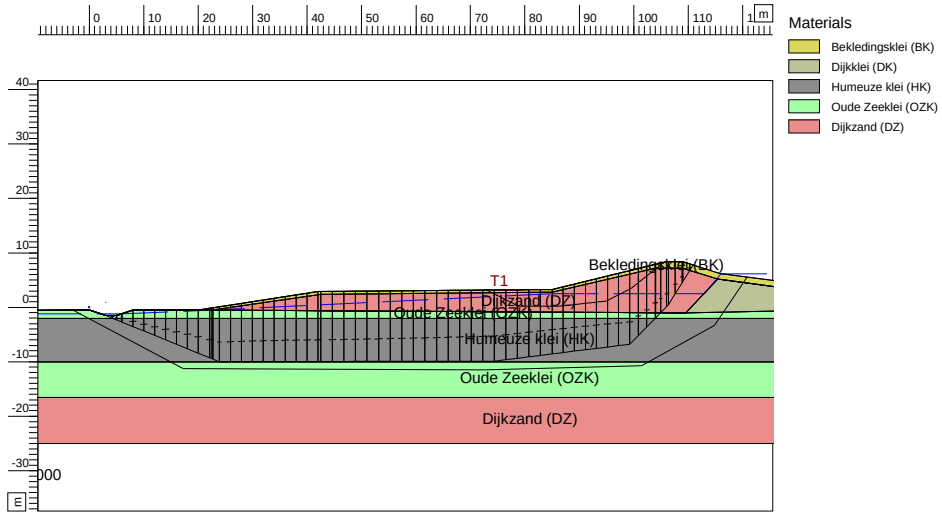
Resultaten spoor 1, model Bischop, 0,1 l/s/m, met verkeer





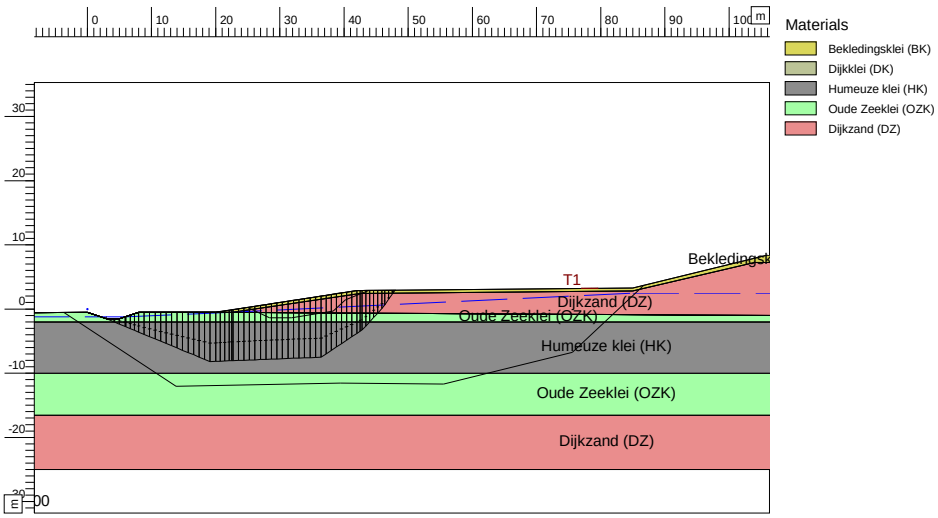
Resultaten spoor 1, model Spencer, 0,1 l/s/m, zonder verkeer

Slip Plane Spencer



Safety : 1.27

Slip Plane Spencer



Safety : 1.11

Bijlage 1.2 Ontwerp kruinhoogte waddenzeedijken Impactanalyse aardbevingen

ONTWERP KRUINHOOGTE WADDENZEEDIJKEN
IMPACTANALYSE AARDBEVINGEN

WATERSCHAP NOORDERZIJLVEST

20 november 2014
078156292:0.5 - Concept
C03011.000330.0100

ARCADIS

Inhoud

1 Inleiding 3

2 Uitgangspunten 4
2.1 Uitgangspunten berekeningen 4
2.2 Locaties 4

3 Werkwijze 6
3.1 Normering 6
3.2 Berekeningen stroomschema 7

4 Resultaten 9
4.1 Kruinhoogte o.b.v. vigerende normering 9
4.2 Waterstanden o.b.v. nieuwe normering (t.b.v. geotechnische faalmechanisme) 10
4.3 Waterstanden bij 1/10 jaar frequentie 10
4.4 Kruinhoogte o.b.v. nieuwe normering 11

5 Analyse resultaten 13
5.1 Aanvullende analyse: toenemende randvoorwaarden 14
5.2 Aanvullende analyse: kruinhoogte met oude RVW 15
5.3 Aanvullende analyse: opbouw kruinhoogte raai 106 16
5.4 Aanvullende analyse: overslagdebiet raai 106 18
5.5 Aanvullende analyse: gehalveerde planperiode raai 106 20

6 Conclusies 21

7 Referenties 22

Bijlage 1 Hydraulische belasting 23

1 Inleiding

Waterschap Noorderzijlvest doet onderzoek naar de aardbeving bestendigheid van haar waterkeringen. In deze studie is gekeken naar de Waddenzeedijken ten zuiden van de Eemshaven en ten noorden van Delfzijl. Gevraagd is om de benodigde ontwerpkruinhoogte voor de waterkering voor een zichtperiode van 50 jaar te bepalen. Hiervoor zijn twee normeringen toegepast, namelijk; met de voorgestelde nieuwe normering [ref 3] en de huidige vigerende normering [Waterwet]. Daarbij zijn de nieuwste inzichten gehanteerd voor de bepaling van hydraulische ontwerprandvoorwaarden [ref 1].

In dit memo zijn de volgende rekenresultaten opgenomen:

- Waterstand voor een zichtperiode van 50 jaar met de voorgestelde nieuwe normering, inclusief klimaatscenario's en robuustheidstoeslag
- Waterstand en het hydraulisch belastingniveau voor een zichtperiode van 50 jaar met de huidige normfrequentie, inclusief klimaatscenario's, waakhoogte en robuustheidstoeslag;
- Waterstand en het hydraulisch belastingniveau voor een zichtperiode van 50 jaar met de voorgestelde nieuwe normering, inclusief klimaatscenario's, waakhoogte en robuustheidstoeslag.

2 Uitgangspunten

2.1 UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN

De uitgangspunten zijn in samenspraak met Waterschap Noorderzijlvest, Deltares en Fugro opgesteld. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor de berekeningen:

- 5 locaties langs de Waddenzeedijken ten noorden van Delfzijl en ten zuiden van de Eemshaven;
- Hydraulische randvoorwaarden (CR2011): swan_waddenzee_oost.mdb (behorend bij Hydra K)
- Huidige normering dijkring 6 (1/4.000 per jaar);
- Nieuwe normering op basis van het synthesedocument deelprogramma Veiligheid [ref 3]
- Waterkering profielen zoals aangeleverd door Waterschap [ref 5];
- KNMI'06 W+ scenario (KNMI, 2006), dit komt overeen met de deltascenario's Stoom en Warm (Deltares, 2011) en betreft zeespiegelstijging 0,35 m in 2050;
- Overslagdebiet van 0,1 – 1 – 2 – 10 en 50 l/s/m;
- Robuustheidstoeslag 0,1 m (2009) en 0,4 m (nieuwe robuustheidstoeslag) [ref 1];
- Golfhoogte en golfperiode toeslag 10% [ref 1];
- Hydra K versie 3.6.5 Extra Opties.

2.2 LOCATIES

De berekeningen zijn uitgevoerd voor vijf locaties, zie Tabel 1 en Figuur 1.

Tabel 1: Locaties raaien Waterschap Noorderzijlvest

Raai	Kilometerpaal	Nieuwe normering [1/… p/j]	X [rd m]	Y [rd m]	Hydra locatie	X [rd m]	Y [rd m]
Raai 6	38,0	1/3.000	253.872	604.317	10870	253.971	604.299
Raai 41	34,5	1/10.000	254.937	601.466	10887	255.044	601.465
Raai 61	32,5	1/10.000	255.142	599.529	10896	255.250	599.524
Raai 86	30,0	1/10.000	255.657	597.178	10907	255.748	597.177
Raai 106	28.0	1/10.000	257.069	596.027	10917	257.241	596.120

Naast de kenmerken van de locaties uit Tabel 1 zijn in Tabel 2 per locatie de kruinhoogte en oriëntatie van de dijk ten opzicht van het noorden opgenomen.

Tabel 2: Oriëntatie en kruinhoogte [ref 5] per locatie

Raai	Kilometerpaal	Oriëntatie [graden t.o.v. Noord]	Aanwezige kruinhoogte [NAP +m]
Raai 6	38,0	90	7,66
Raai 41	34,5	76	8,15
Raai 61	32,5	75	8,07
Raai 86	30,0	92	7,72
Raai 106	28.0	52	8,09

Figuur 1: Locaties raaien – Waddenzeedijk Waterschap Noorderzijlvest

3 Werkwijze

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van Hydra K versie 3.6.5 Extra Opties, zodat de zeespiegelstijging kan worden toegepast (in tegenstelling tot de 'standaard' versie 3.6.5) [ref 2]. Hydra K is primair bedoeld om de waterkeringen te toetsen volgens de vigerende leidraden. Voor de bepaling van de kruinhoogte is naast Hydra-K ook gebruik gemaakt van PC-overslag. Door deze werkwijze is het voor de toekomstige situatie (c.q. belasting) én het gewenste profiel (anders dan het standaard profiel in Hydra-K) mogelijk een berekening uit te voeren. De resultaten van Hydra K (waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting) op basis van een berekening met het standaard profiel zijn gebruikt als input voor het rekenprogramma PC-overslag.

3.1 NORMERING

In de nieuwe normering is onderscheid gemaakt in meerdere typen kansen, namelijk de zogenaamde afkeurkans en de middenkans. De afkeurkans is een afgeleide van de middenkans. De definitie van de afkeurkans en de middenkans is hieronder gegeven (overgenomen uit [RWS, 2014]):

- De afkeurkans of maximaal toelaatbare overstromingskans wordt in de MKBA gedefinieerd als de overstromingskans waarbij de kosten van een versterking nog net gelijk zijn aan de baten[1]. Bij een overstromingskans groter dan maximaal toelaatbare overstromingskans worden de schade (uitgedrukt in kosten) als gevolg van een overstroming groter dan de investering die nodig zijn voor versterking. De maximaal toelaatbare overstromingskans is dus een afkeurgrens;

- De middenkans[2] ligt tussen de maximaal toelaatbare overstromingskans en de optimale ontwerpkans en is gerelateerd aan de gemiddelde schade tussen twee opeenvolgende investeringen. De middenkans kan worden beschouwd als een signaleringswaarde. Na de overschrijding van de middenkans duurt nog ca. 20 jaren (de zogenaamde besteltijd) voordat de maximaal toelaatbare overstromingskans wordt overschreden. Deze periode kan worden gebruik om de versterking uit te voeren.

De normen (zie Tabel 1) zijn uitgedrukt als middenkans. De voor het ontwerp te hanteren overstromingskans (afkeurkans) zal vaak een factor 2 groter zijn dan de middenkans. In deze berekening is dan ook deze factor 2 aangehouden zoals in [RWS, 2014] is beschreven. In de volgende berekening is de waterstand bepaald op basis van de afkeurkans.

[1] In de MKBA zijn de baten uitgedrukt in kosten van de schade als gevolg van de overstroming. Hoe lager deze kosten hoe hoger de baten.

[2] De middenkans voor een bepaald jaar is gedefinieerd als het gemiddelde van de verwachte schade tussen twee opeenvolgende investeringen, gedeeld door de schade in dat jaar.

Voor het ontwerpen van een dijk dient ook rekening te worden gehouden met meerdere faalmechanismen, die tesamen een overstromingskans geven die aan het eind van de levensduur kleiner is dan de gestelde eis. In het ontwerpinstrumentarium 2014 is hier rekening mee gehouden door per faalmechanisme een faalkansruimte vast te stellen. Voor het faalmechanisme golfoverslag en overloop is dit een factor 0,24 [RWS, 2014]. Deze factor bepaald samen met de zogenaamde N-waarde (een maat voor het lengte effect) en de afkeurkans de eis van overschrijdingskans op doorsnede niveau.

Voor macrostabiliteit binnenwaarts is de faalkansruimtefactor verwerkt in de schadefactoren en is direct gebruik gemaakt van de waterstand bij de afkeurkans.

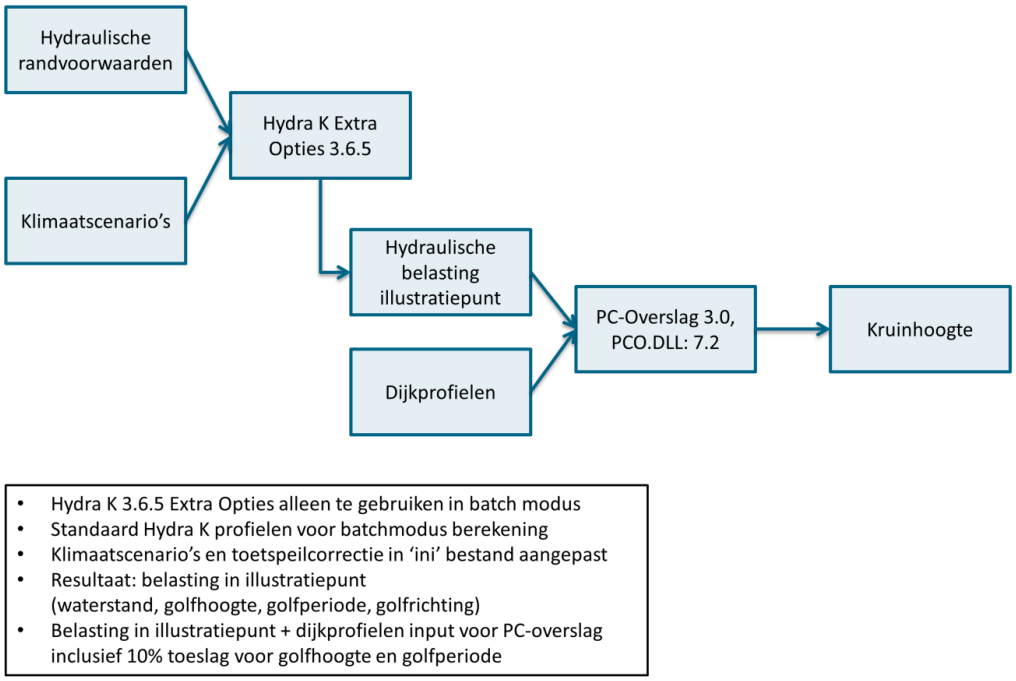
Benodigde kruinhoogte
Voor het bepalen van de benodigde kruinhoogte voor het faalmechanisme golfoverslag en overloop is een norm op doorsnedeniveau afgeleid volgens de Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen [ref 1]:

$$P_{eis,i} = \frac{P_{norm} * \omega}{N}$$

Hierin is:
$P_{eis,\ i}$: de faalkanseis per doorsnede
P_{norm} : de overstromingskans van het dijktraject (zie Tabel 5)
ω : de faalkansruimtefactor voor falen door golfoverslag (0,24)
N : een maat voor het lengte effect (bijlage B, Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen)
De N-waarde voor deze trajecten is gelijk aan 3.

3.2 BEREKENINGEN STROOMSCHEMA

Voor de berekeningen van de kruinhoogte is het stroomschema aangehouden zoals opgenomen in Figuur 2. Hierin is geen onderscheid gemaakt tussen de vigerende normering of de nieuwe normering, de gevolgde stappen zijn identiek. De resultaten uit Hydra-K zijn, samen met de dijkprofielen, de input voor het golfoverslagmodel PC-overslag (op de golfperiode en golfhoogte is daarvoor eerst nog 10% toeslag opgeteld). De golfrichting uit het illustratiepunt wordt (na correctie ten opzichte van de dijknormaal) gebruikt als input voor PC-overslag. Met PC-overslag zijn voor meerdere overslagdebieten de kruinhoogten bepaald waar tot slot de robuustheidstoeslag bij is opgeteld .



Figuur 2: Stroomschema kruinhoogte berekeningen

4 Resultaten

De resultaten zijn onderverdeeld in vier delen, namelijk:

- Kruinhoogte o.b.v. vigerende normering
- Waterstanden o.b.v. nieuwe normering (t.b.v. geotechnische faalmechanisme)
- Waterstanden bij 1/10 jaar frequentie
- Kruinhoogte o.b.v. nieuwe normering

4.1 KRUINHOOGTE O.B.V. VIGERENDE NORMERING

In Tabel 3 is de berekende waterstand aan de teen van de dijk gegeven. Tevens is de kruinhoogte gegeven indien deze op waterstand wordt gebaseerd. In Tabel 4 is de kruinhoogte gegeven indien deze op golfoverslag wordt gebaseerd (de hoogste waarde van beide methode is maatgevend). Gerekend is met de huidige norm van 1/4.000 per jaar en het W+ klimaatscenario. De kruinhoogte is bepaald door de berekende waterstand te verhogen met de robuustheidstoeslag van 0,1 meter (2009) en een waakhoogte van 0,5 meter.

Tabel 3: waterstand en kruinhoogte met de huidige norm en het W+ klimaatscenario en waakhoogte

Raai	Norm [1/… p/j]	W [m +NAP]	Robuust [m]	Waakhoogte [m]	Kruinhoogte (o.b.v. waterstand) [m +NAP]
Raai 6	4.000	5,24	0,1	0,5	5,84
Raai 41	4.000	5,84	0,1	0,5	6,44
Raai 61	4.000	5,74	0,1	0,5	6,34
Raai 86	4.000	5,85	0,1	0,5	6,45
Raai 106	4.000	6,27	0,1	0,5	6,87

Voor de bepaling van de benodigde kruinhoogte op basis van golfoverslag zijn de randvoorwaarden aan de teen van de dijk berekend met Hydra K. De berekende golfhoogte en golfperiode zijn verhoogd met 10% en gebruikt als randvoorwaarden voor het overslagmodel PC-overslag. Met de huidige profielen is de benodigde kruinhoogte bepaald bij de overslagdebieten: 0,1, 1, 2, 10 en 50 l/s/m. In Tabel 4 zijn de resultaten van de berekeningen opgenomen inclusief een verhoging met de robuustheidstoeslag van 0,1 meter (2009).

Tabel 4: kruinhoogte op basis van huidige norm en het W+ klimaatscenario en robuustheidstoeslag

Raai	Norm [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 2 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
Raai 6	4.000	7,56	6,89	6,68	6,43	6,26	5,91
Raai 41	4.000	7,95	7,36	7,18	6,96	6,80	6,44
Raai 61	4.000	8,34	7,62	7,39	7,11	6,91	6,46
Raai 86	4.000	8,02	7,44	7,27	7,05	6,88	6,51
Raai 106	4.000	10,39	9,37	9,04	8,61	8,30	7,62

De kruinhoogte op basis van golfoverslag (Tabel 4) zijn groter dan de kruinhoogte op basis van waterstand (Tabel 3).

4.2 WATERSTANDEN O.B.V. NIEUWE NORMERING (T.B.V. GEOTECHNISCHE FAALMECHANISME)

In Tabel 5 is de berekende waterstand met de nieuwe normering gegeven op basis van de daarbij behorende afkeurkans. Gerekend is met een zeespiegelstijging behorende bij het W+ klimaatscenario (+0,35 m). De berekende waterstand is verhoogd met een robuustheidstoeslag van 0,4 meter. De berekende waterstand (Tabel 5) plus robuustheidstoeslag dienen als rekenwaterstand voor de geotechnische faalmechanismen.

Tabel 5: Waterstand o.b.v. afkeurkans en het W+ klimaatscenario en robuustheidstoeslag

Raai	Norm [1/… p/j]	Afkeurkans [1/… p/j]	W [m +NAP]	Robuustheid Toeslag [m]	W + robuustheidstoeslag [m +NAP]
Raai 6	1/3.000	1/1.500	5,18	0,4	5,58
Raai 6	1/10.000*	1/5.000	5,30	0,4	5,70
Raai 41	1/10.000	1/5.000	5,83	0,4	6,23
Raai 61	1/10.000	1/5.000	5,80	0,4	6,20
Raai 86	1/10.000	1/5.000	5,91	0,4	6,31
Raai 106	1/10.000	1/5.000	6,34	0,4	6,74

* Raai 6 o.b.v. 1/10.000 per jaar frequentie om extra inzicht te bieden in de benodigde ontwerphoogte.

4.3 WATERSTANDEN BIJ 1/10 JAAR FREQUENTIE

In een overleg tussen Deltares, Waterschap Noorderzijlvest en ARCADIS over de invloed van het effect van aardbevingen en de hydraulische belasting is geconcludeerd dat de invloed van een aardbeving veel groter is dan de invloed van de hydraulische belasting. Er kan daarom in de berekeningen voor de ontwerpkruinhoogte ook gerekend worden met een veel lagere waterstand, behorend bij een frequentie van 1/10 jaar. In Tabel 6 is de waterstand gegeven bij een terugkeertijd van 1/10 per jaar inclusief een robuustheidstoeslag van 0,4 meter.

Tabel 6: Waterstanden bij frequentie van 1/10 per jaar en het W+ klimaatscenario en robuustheidstoeslag

Raai	Norm [1/… p/j]	W [m +NAP]	Robuustheid Toeslag [m]	W + robuustheidstoeslag [m +NAP]
Raai 6	1/10	3,99	0,4	4,39
Raai 41	1/10	4,12	0,4	4,52
Raai 61	1/10	4,20	0,4	4,60
Raai 86	1/10	4,35	0,4	4,75
Raai 106	1/10	4,37	0,4	4,77

4.4 KRUINHOOGTE O.B.V. NIEUWE NORMERING

In Tabel 7 is de berekende waterstand aan de teen van de dijk gegeven. Tevens is de kruinhoogte gegeven indien deze op waterstand wordt gebaseerd. In Tabel 8 is de kruinhoogte gegeven indien deze op golfoverslag wordt gebaseerd (de hoogste waarde van beide methode is maatgevend). Gerekend is met de norm per doorsnede en het W+ klimaatscenario. De kruinhoogte is bepaald door de berekende waterstand te verhogen met de robuustheidstoeslag van 0,4 meter en een waakhoogte van 0,5 meter.

Tabel 7: waterstand en kruinhoogte op basis van $P_{eis,\,i}$ en het W+ klimaatscenario en waakhoogte

Raai	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\,i}$ [1/… p/j]	W [m +NAP]	Robuust [m]	Waak Hoogte [m]	W_{2064} [m +NAP]
Raai 6	3.000	18.750	5,65	0,4	0,5	6,55
Raai 6*	10.000	62.500	5,85	0,4	0,5	6.75
Raai 41	10.000	62.500	6,38	0,4	0,5	7,28
Raai 61	10.000	62.500	6,44	0,4	0,5	7,34
Raai 86	10.000	62.500	6,26	0,4	0,5	7,16
Raai 106	10.000	62.500	6,93	0,4	0,5	7,83

* Raai 6 o.b.v. 1/10.000 per jaar frequentie om extra inzicht te bieden in de benodigde ontwerphoogte

Voor de bepaling van de benodigde kruinhoogte op basis van golfoverslag zijn de randvoorwaarden aan de teen van de dijk berekend met Hydra K. De berekende golfhoogte en golfperiode zijn verhoogd met 10% en gebruikt als randvoorwaarden voor het overslagmodel PC-overslag. Met de huidige profielen is de benodigde kruinhoogte bepaald bij de overslagdebieten: 0,1, 1, 2, 10 en 50 l/s/m. In Tabel 8 zijn de resultaten van de berekeningen opgenomen inclusief een verhoging met de robuustheidstoeslag van 0,4 meter.

Tabel 8: kruinhoogte op basis van $P_{eis,\,i}$ en het W+ klimaatscenario en robuustheidstoeslag

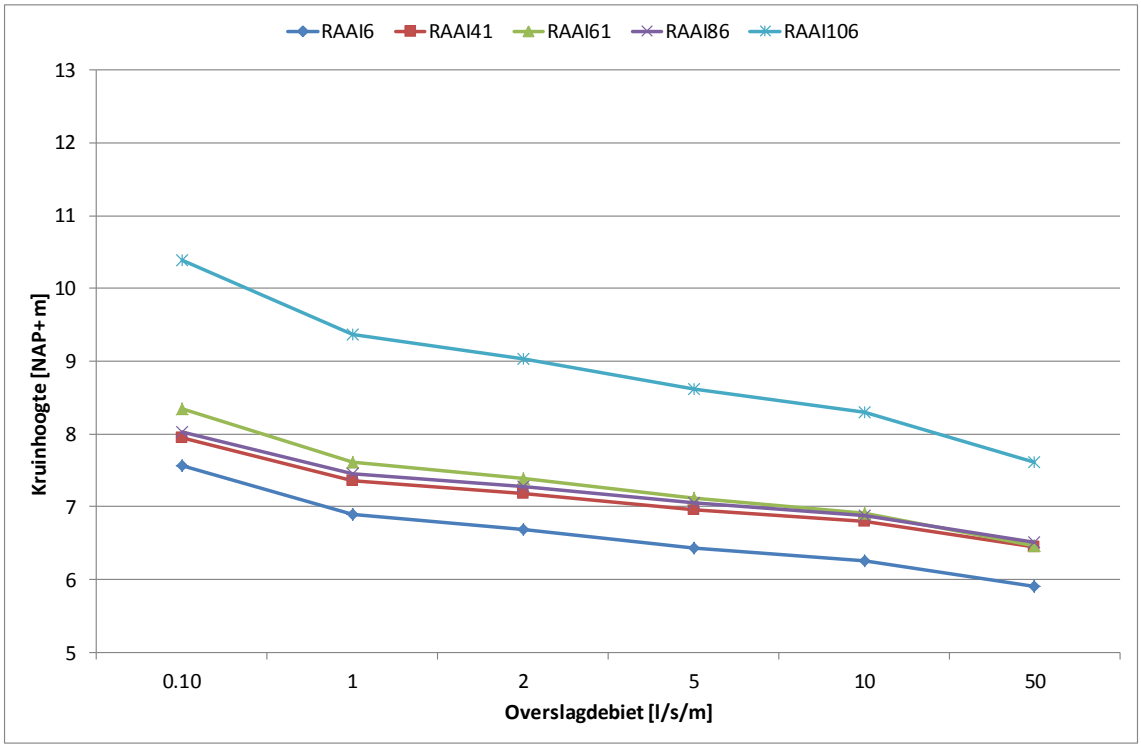
Raai	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\,i}$ [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 2 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
Raai 6	3.000	18.750	8,67	7,93	7,71	7,41	7,19	6,71
Raai 6*	10.000	62.500	9,32	8,51	8,26	7,94	7,71	7,16
Raai 41	10.000	62.500	9,81	8,99	8,74	8,41	8,17	7,64
Raai 61	10.000	62.500	10,19	9,29	9,00	8,63	8,36	7,77
Raai 86	10.000	62.500	9,66	8,88	8,64	8,33	8,10	7,58
Raai 106	10.000	62.500	12,44	11,21	10,80	10,27	9,88	9,02

* Raai 6 o.b.v. 1/10.000 per jaar frequentie om extra inzicht te bieden in de benodigde ontwerphoogte

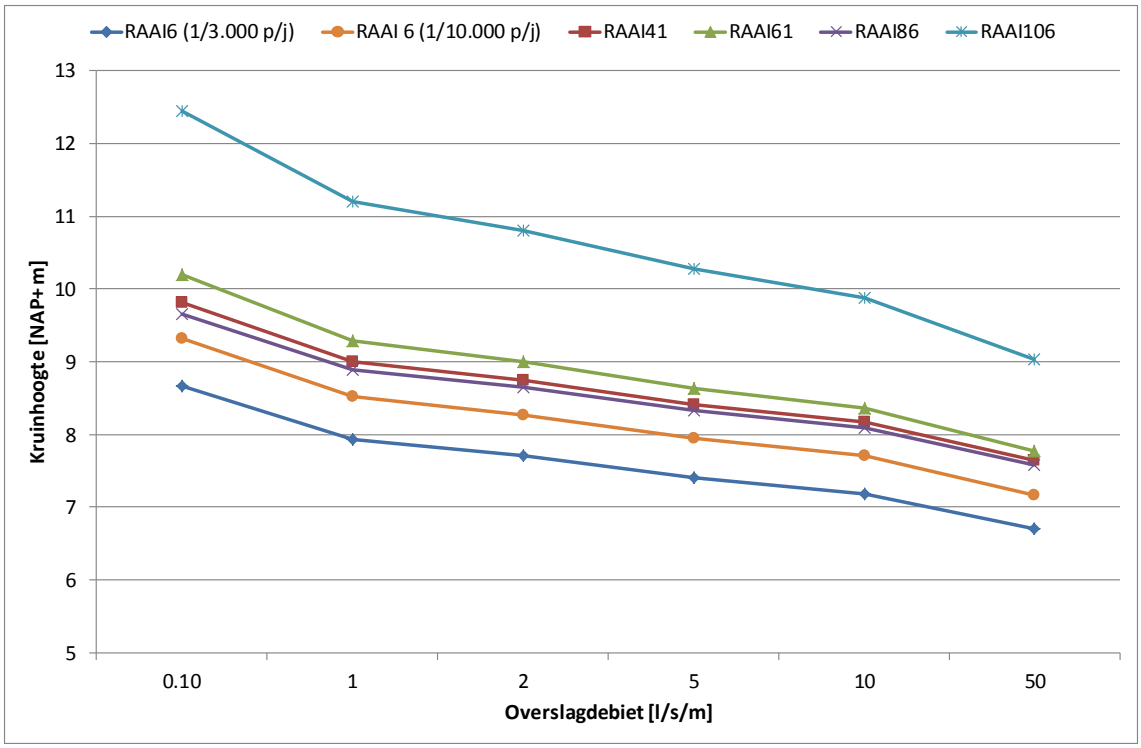
De kruinhoogte op basis van golfoverslag (Tabel 8) zijn groter dan de kruinhoogte op basis van waterstand (Tabel 7).

5 Analyse resultaten

In Figuur 3 is uitgezet het hydraulisch belastingniveau bij verschillende overslagdebieten bij de huidige normering met een zeespiegelstijging in 2050 volgens het W+ klimaatscenario. De benodigde kruinhoogte is onder andere afhankelijk van de oriëntatie van het dijkprofiel, de hoek van inval van de maatgevende golven en het dijkprofiel. In Figuur 4 is uitgezet de kruinhoogte bij verschillende overslagdebieten bij de nieuwe normering met een zeespiegelstijging in 2050 volgens het W+ klimaatscenario. Voor raai 6 is er zowel gerekend met de voorgestelde nieuwe normering (1/3.000 p/j) als bij de voorgestelde normering behorende bij traject 6-7 (1/10.000 p/j). De overige raaien, 41 tot 106, zijn allemaal berekend uitgaande van de 1/10.000 per jaar nieuwe normering.



Figuur 3: Kruinhoogte [huidige normering, W+ klimaatscenario en robuustheidstoeslag]



Figuur 4: Kruinhoogte [nieuwe normering, W+ klimaatscenario en robuustheidstoeslag]

5.1 AANVULLENDE ANALYSE: TOENEMENDE RANDVOORWAARDEN

De benodigde kruinhoogte worden bepaald door de enerzijds de belasting en anderzijds de strekte van de waterkering (inclusief oriëntatie, profiel, opbouw en dergelijke). Voor het bepalen van de belastingen zijn meerdere uitgangspunten toegepast, zoals de verwachte zeespiegelstijging, maar ook de verwachting in toename van golfhoogte en golfperiode, plus de onzekerheden die daarbij spelen. Stijgingen in de hydraulische belasting zijn in het verleden ook al zichtbaar. Om dit inzichtelijk te maken zijn de hydraulische randvoorwaarden in Tabel 9 bij elkaar gezet.

Tabel 9: Huidige en voormalige hydraulische randvoorwaarden

HR	Locatie	'Toetspeil' [m NAP]	Significante golfhoogte [m]	Piek-periode [s]	Golfrichting t.o.v. N [graden]	Bron
HR1996	dijkpaal 29-27	5,95	0,80	2,8	338	ref 6
HR2001	dijkpaal 31-29	5,95	0,80	2,8	338	ref 7
HR2006	vak 57	6,00	1,15	3,84		ref 8, ref 9
CR2011	10917	6,13	2,34	5,98	342	Hydra-K illustratiepunt bij waterstand 1/4.000
		5,91	2,25	4,59 (=Tm1,0n)	337	Hydra-K illustratiepunt bij overslag 1/4.000

Op basis van Tabel 9 kan worden geconstateerd dat de randvoorwaarden waarmee de toetsingen worden uitgevoerd de afgelopen jaren zijn toegenomen. Naast de toename van de waterstand (kolom 'Toetspeil') is de toename van de golfbelasting duidelijk aanwezig. Ten eerste is de significante golfhoogte van de

HR2001 naar de HR2006 met bijna 50% toegenomen. De significante golfhoogte is vervolgens in de CR2011 nog verder toegenomen. Naast de toename in golfhoogte is ook de golfperiode toegenomen.

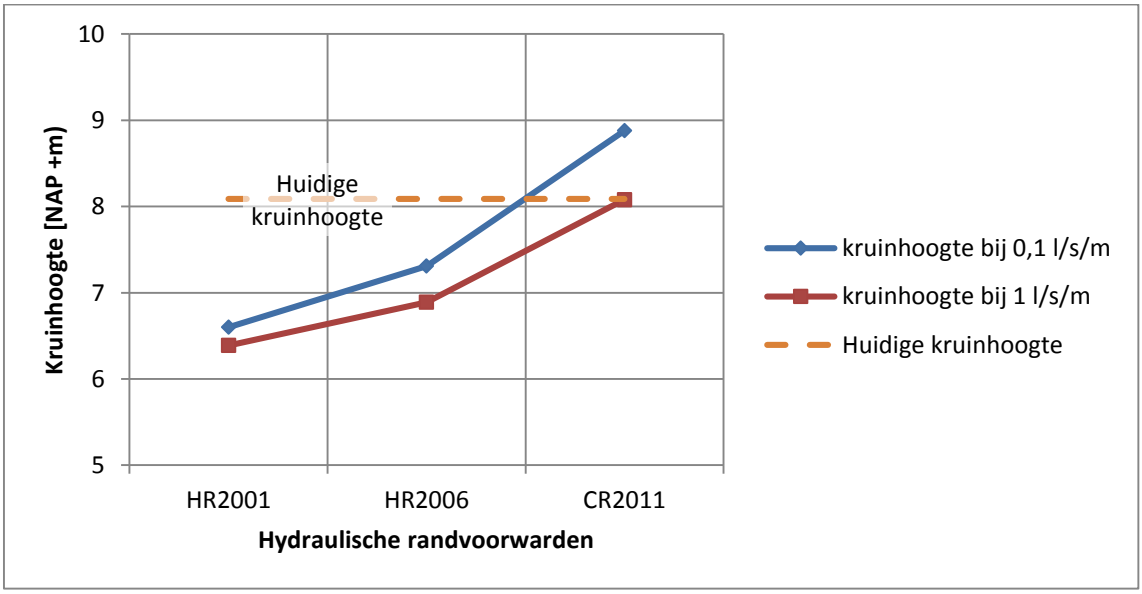
5.2 AANVULLENDE ANALYSE: KRUINHOOGTE MET OUDE RVW

De kruinhoogte berekeningen in dit rapport zijn gebaseerd op toekomstige hydraulische belastingen. Afhankelijk van de te kiezen uitgangspunten levert dat kruinhoogten op die aanzienlijk hoger zijn dan de huidige kruinhoogte (zie Tabel 2). Dat beeld komt niet overeen met de derde landelijke toetsing [ref 9], met uiteraard andere uitgangspunten. Een directe vergelijking met de toetsing is niet mogelijk. In de toetsing is niet de benodigde kruinhoogte bepaald (en eventuele overhoogte), maar is geconstateerd dat het overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/s/m, waarmee de dijk is goedgekeurd.

Om een beeld te krijgen van de overhoogte (het verschil in aanwezige kruinhoogte en de benodigde kruinhoogte) is voor raai 106 de benodigde kruinhoogte berekend. Hiervoor zijn de randvoorwaarden gehanteerd zoals opgenomen in Tabel 9, bij een frequentie van 1/4.000 per jaar en een overslagdebiet van 1,0 l/s/m. Ter vergelijking met de toetsing is tevens nog het overslagdebiet van 0,1 l/s/m berekend

Tabel 10: Berekening met meerdere hydraulische randvoorwaarden, frequentie 1/4.000 per jaar en huidig profiel Raai 106 met kruinhoogte NAP 8,09 m [ref 5] (zonder zeespiegelstijging, robuustheidstoeslag op waterstand en golven)

	Overslagdebiet bij huidige kruinhoogte [l/s/m]	Kruinhoogte bij 0,1 l/s/m [m NAP]	Kruinhoogte bij 1,0 l/s/m [m NAP]	Overhoogte bij 1,0 l/s/m [m]
HR2001	0,000	6,60	6,39	1,70
HR2006	0,001	7,31	6,89	1,20
CR2011	0,986	8,88	8,08	0,01



Figuur 5: Berekening met meerdere hydraulische randvoorwaarden, frequentie 1/4.000 per jaar en huidig profiel raai 106 met kruinhoogte NAP 8,09 m [ref 5] (zonder zeespiegelstijging, robuustheidstoeslag op waterstand en golven)

In de derde landelijke toetsing is geconstateerd dat de kruinhoogte voldoet en is de score 'goed' toegekend. Dit komt overeen met de resultaten uit Tabel 9, waarmee eveneens de score 'goed' zou worden toegekend. In de toetsing is echter een groter overslagdebiet (0,04 l/s/m) berekend, die met name wordt veroorzaakt door een, conservatieve, loodrechte hoek van golfinval.

Op basis van de nieuwe randvoorwaarden (CR2011) is de overhoogte 0,01 m indien een overslagdebiet van 1 l/s/m wordt gehanteerd. Hierin zit dus geen toeslag voor toekomstige klimaatontwikkelingen (zeespiegelstijging en hogere golven met een grotere golfperiode) en robuustheidstoeslag in. In paragraaf 5.3 is verder ingegaan op de extra bijdrage door rekening te houden met de toekomstige klimaatontwikkelingen en de verzwaring van de norm.

5.3 AANVULLENDE ANALYSE: OPBOUW KRUINHOOGTE RAAI 106

De benodigde kruinhoogte voor raai 106 is NAP +11,21 m (zie Tabel 8) indien rekening wordt gehouden met de nieuwe norm, toekomstige klimaateffecten, robuustheidstoeslag en een overslagdebiet van 1,0 l/s/m. Dat is ruim meer dan de huidige kruinhoogte (NAP +8,09m) en ook meer dan de kruinhoogte berekend met de huidige norm (NAP +8,08m), zoals in paragraaf 5.2 is beschreven.

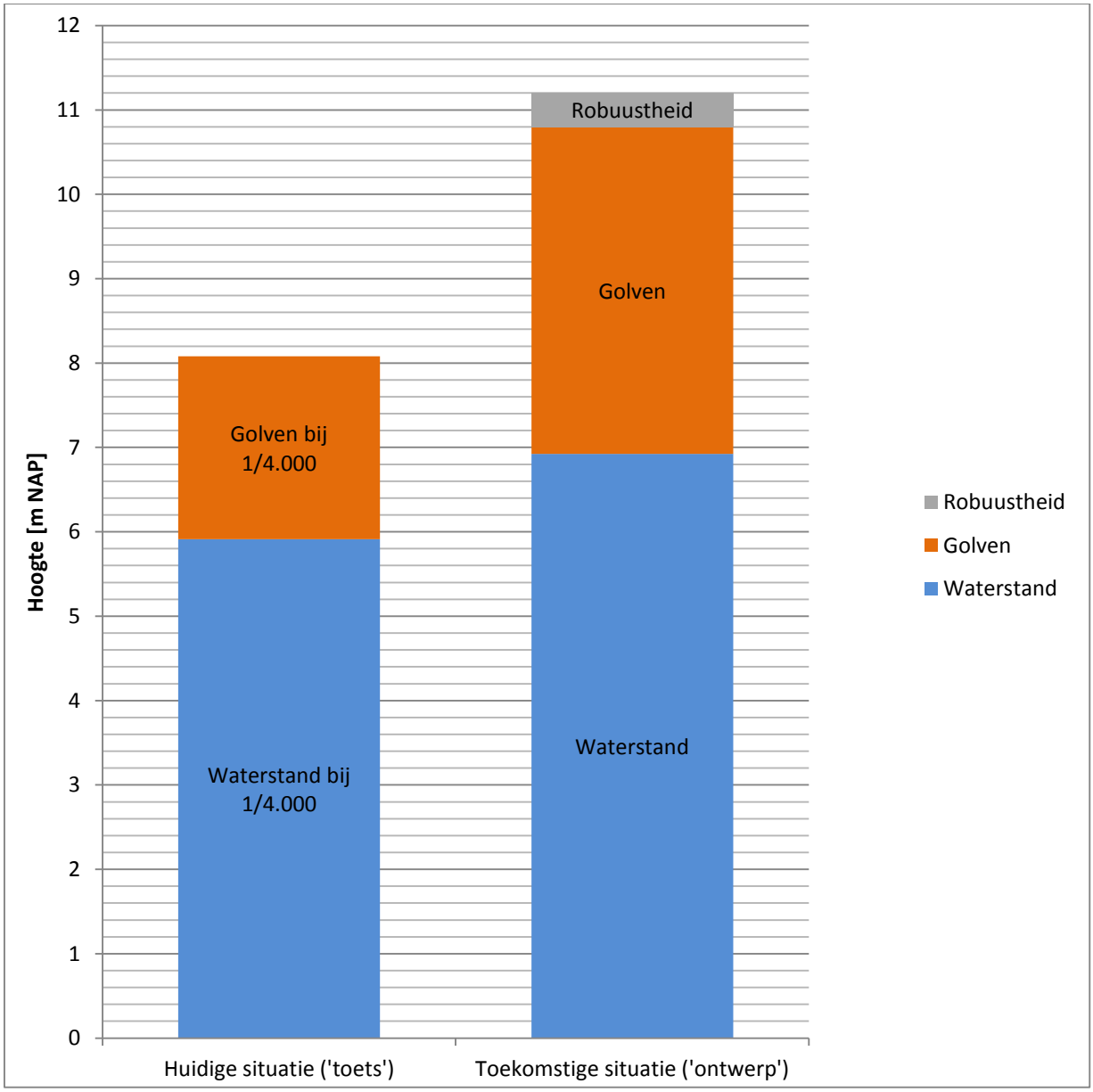
Dit wordt veroorzaakt door een nieuwe (strengere) norm, stijgende zeewaterstand, onzekerheden in de waterstand, toenemende golfhoogte en golfperiode (die worden verdisconteerd in robuustheidstoeslagen). Dit levert bij een gelijk profiel een stijging van de kruinhoogte op van 3,13 m (11,21 – 8,08). Dit betreft niet de aanleghoogte. Voor de aanleghoogte is nog extra hoogte ten behoeve van zetting en klink nodig en eveneens een eventuele toeslag in verband met extra belasting door aardbevingen.

In Tabel 11, Figuur 6 en Figuur 7 is de opbouw van de kruinhoogte gesplitst om inzicht te geven waardoor de stijging van 3,13 m kruinhoogte wordt veroorzaakt.

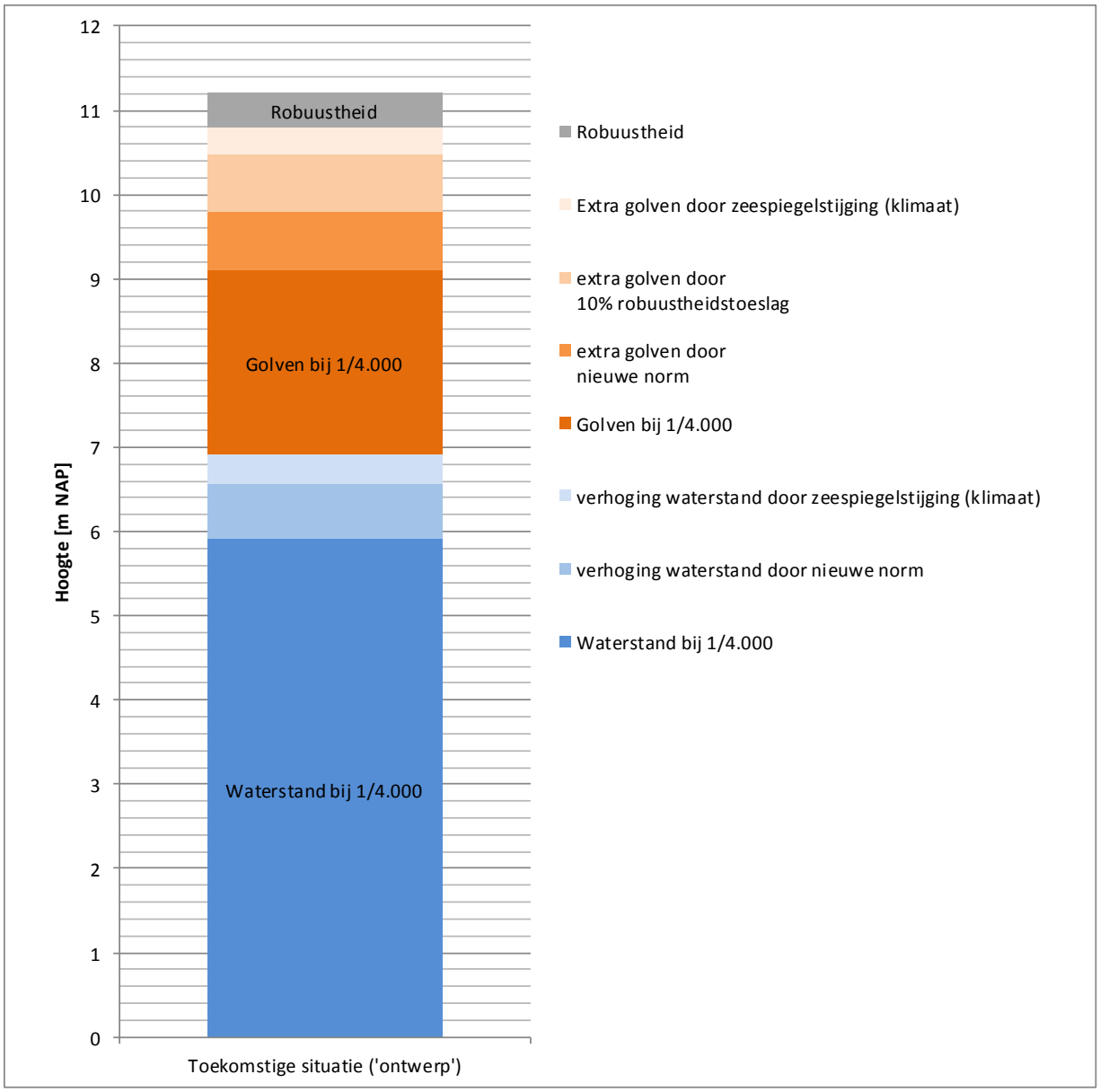
Deze splitsing is vervolgens ook weer samen te voegen tot twee oorzaken, namelijk 'nieuwe norm' en 'toekomstig klimaat'. De 'nieuwe norm' heeft een bijdrage van 44% (0,66+0,71=1,37 m) en het 'toekomstig klimaat' 56% (0,36+0,68+0,32+0,40=1,76 m) ten opzichte van de totale toename van 3,13 m.

Tabel 11: Opbouw kruinhoogte bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m

	Huidige situatie ('toets')	Toekomstige situatie ('ontwerp')	Splitsing toekomstige situatie	Toekomstige situatie ('ontwerp')
Robuustheid		0,40		0,40
Golven	2,17	3,88	Extra kruinhoogte door golven door zeespiegelstijging (klimaat)	0,32
			extra kruinhoogte door golven door 10% robuustheidstoeslag	0,68
			extra kruinhoogte door golven door nieuwe norm	0,71
			Golven bij 1/4.000 per jaar	2,17
Waterstand	5.91	6,93	verhoging waterstand door zeespiegelstijging (klimaat)	0,36
			verhoging waterstand door nieuwe norm	0,66
			Waterstand bij 1/4000 per jaar	5,91
Kruinhoogte	8,08	11,21		11,21



Figuur 6: Opbouw kruinhoogte huidige situatie (1/4.000 per jaar) en toekomstige situatie (1/10.000 per jaar, op doorsnedeniveau 1/62.500 per jaar (inclusief faalkansruimte en afkeurkans))



Figuur 7: Opbouw kruinhoogte toekomstige situatie

In de berekende kruinhoogte is nog geen rekening gehouden met optimalisaties zoals: hogere ruwheid van de bekleding, flauwer boventalud (momenteel 1:3) en of berm, verificatie van golfhoogte en golfperiode inclusief de zeespiegelstijging en de robuustheidstoeslagen en afleiding van de doorsnede eis/norm.

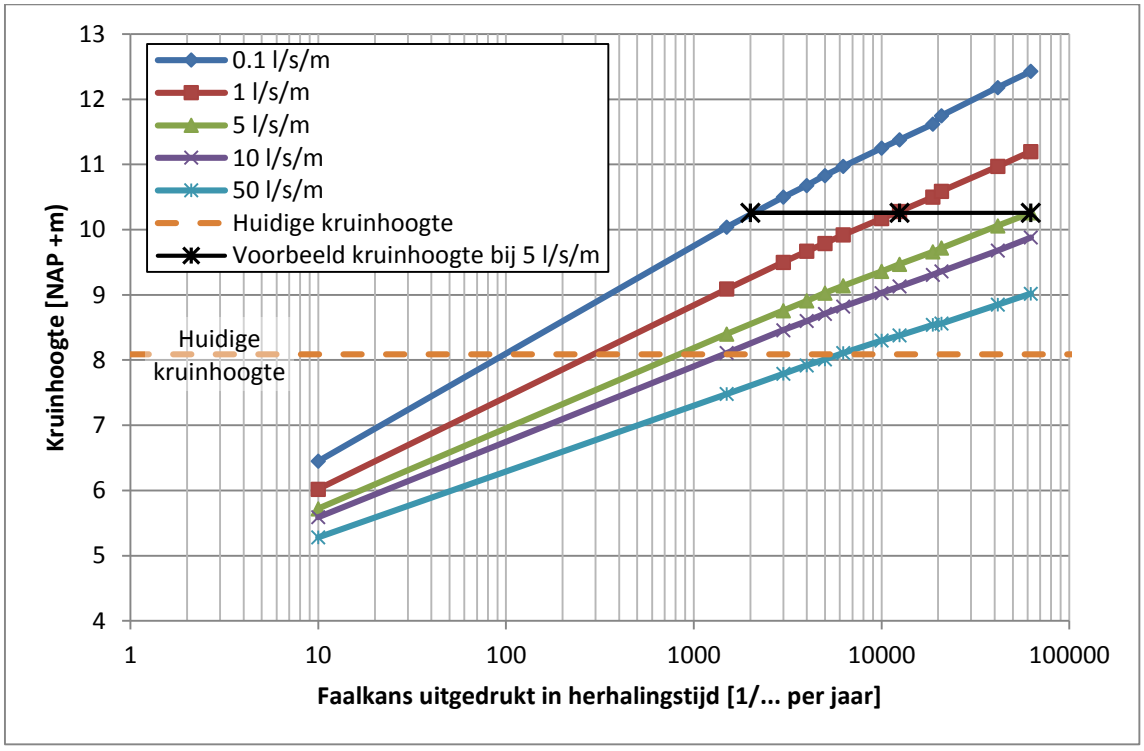
5.4 AANVULLENDE ANALYSE: OVERSLAGDEBIET RAAI 106

In de vorige paragraaf (5.3) is een overslagdebiet van 1 l/s/m als uitgangspunt gehanteerd. Zoals al in Tabel 8 zichtbaar is verschilt de kruinhoogte meer dan 3 m tussen een overslagdebiet van 0,1 l/s/m en 50 l/s/m. Indien in het dijkontwerp rekening wordt gehouden met dergelijke overslagdebieten kan de dijk in een dergelijke maatgevende storm niet bezwijken maar kan de overlast door overslaand water dusdanig zijn dat dit niet meer acceptabel is. Om een indicatie te hebben van het overslagdebiet bij een bepaalde

kruinhoogte zijn de kruinhoogte voor meerdere frequenties en overslagdebieten berekend en opgenomen in Tabel 12 en Figuur 8. Dit betreft de kruinhoogte aan het eind van de planperiode en niet de aanleghoogte waarbij nog rekening moet worden gehouden met bodemdaling, zetting en klink. Indien bijvoorbeeld een overslagdebiet van 5 l/s/m mogelijk is, dan is een kruinhoogte van NAP +10,26 m nodig om te voldoen aan de nieuwe norm (1/10.000 per jaar op het traject wat vertaald op doorsnede niveau neerkomt op een eis van 1/62.500 per jaar). De kans dat er bij die kruinhoogte gemiddeld 1 l/s/m over de kruin komt is circa 1/12.500 per jaar en de kans dat er gemiddeld 0,1 l/s/m over de kruin komt is circa 1/2.000 per jaar.

Tabel 12: Kruinhoogte op basis van een normfrequentie, overslagdebiet en het W+ klimaatscenario met robuustheidstoeslag voor raai 106.

Norm [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
10	6,45	6,02	5,72	5,59	5,28
1500	10,04	9,09	8,40	8,11	7,48
3000	10,50	9,50	8,76	8,46	7,79
4000	10,68	9,67	8,91	8,60	7,92
5000	10,83	9,79	9,03	8,71	8,01
6250	10,97	9,92	9,14	8,82	8,11
10000	11,25	10,17	9,36	9,03	8,30
12500	11,38	10,28	9,47	9,13	8,38
18750	11,62	10,50	9,66	9,31	8,54
20833	11,75	10,59	9,72	9,36	8,56
41600	12,18	10,97	10,06	9,68	8,85
62500	12,43	11,20	10,26	9,88	9,02



Figuur 8: Kruinhoogte op basis van een normfrequentie, overslagdebiet en het W+ klimaatscenario met robuustheidstoeslag voor raai106.

De huidige kruinhoogte zal in de toekomstige situatie circa 1/100 per jaar worden overschreden met gemiddeld 0,1 l/s/m. Door bodemdaling zal dit bij gelijkblijvend overslagdebiet vaker voorkomen of bij een vergelijkbare frequentie met een hoger overslagdebiet zijn.

5.5 AANVULLENDE ANALYSE: GEHALVEERDE PLANPERIODE RAAI 106

Nader in te vullen o.a. op basis van reactie kennisplatform, met name halvering zeespiegelstijging, afkeurkans, robuustheidstoeslagen.

6 Conclusies

In dit rapport zijn de resultaten gepresenteerd voor de benodigde kruinhoogte over een zichtperiode van 50 jaar met het W+ klimaatscenario. Gerekend is met de huidige normfrequentie van dit traject (1/4.000 per jaar) en de nieuwe normering zoals gegeven in het Deltaprogramma Veiligheid (1/3.000 en 1/10.000 per jaar). De berekeningen zijn uitgevoerd met Hydra K 3.6.5 Extra Opties en het golfoverslagmodel PC-overslag. De berekende kruinhoogte zijn de benodigde kruinhoogte aan het eind van de planperiode. Toeslagen voor bodemdaling, zetting en klink moeten hierbij nog worden opgeteld om de aanleghoogte te bepalen.

De benodigde kruinhoogte zijn bedoeld om een indruk te geven van het benodigde ruimtegebruik. Er zijn nog meerdere mogelijkheden om de kruinhoogte te verlagen. Optimalisaties (verlaging kruinhoogte) zijn nog mogelijk door toepassing van hogere ruwheid van de bekleding, flauwer boventalud (momenteel 1:3), verificatie van golfhoogte en golfperiode inclusief de zeespiegelstijging en de robuustheidstoeslagen en afleiding van de doorsnede eis/norm. Deze zijn in deze verkennende fase nog niet toegepast, maar er is al wel aandacht besteed aan meerdere aanvullende analyses om de verschillen tussen de huidige kruinhoogte en de toekomstige kruinhoogte, die enkele meters hoger kan zijn, te kunnen duiden.

Bij het gebruik van de kruinhoogte en rekenresultaten is het goed om te beseffen dat Hydra K niet is gemaakt om met toekomstige randvoorwaarden een ontwerpkruinhoogte te berekenen. Daarom is er, in samenspraak met Deltares, een werkmethode gehanteerd om te komen tot een hydraulisch belastingniveau waarmee een ontwerphoogte berekend kan worden. Met Hydra K is voor elke locatie een berekening gemaakt waarmee randvoorwaarden aan de teen van de dijk zijn berekend. De resultaten zijn gebruikt in het golfoverslagmodel PC-overslag om de benodigde (toekomstige) kruinhoogte te berekenen.

De volgende kanttekeningen worden gemaakt bij bovenstaande resultaten:

- Er is gerekend met Hydra K 3.6.5 Extra Opties, welke officieel niet geschikt is om ontwerprandvoorwaarden te berekenen;
- Er is gerekend met de bij Hydra K 3.6.5 bijgeleverde randvoorwaarden database *SWAN WADDENZEE OOST*;
- Er is geen bodemdaling meegenomen in bovenstaande resultaten;
- De berekende illustratiepunten bij Hydra K geven een golfrichting. In sommige gevallen is deze golfrichting bijna evenwijdig aan de kustrichting of zelfs een aflandige golfrichting. Voor een nauwkeurigere analyse zouden doelgerichtere sommen gemaakt moeten worden, bijvoorbeeld met het golfvoortplantingsmodel SWAN waarbij gelijktijdig de klimaateffecten (zeespiegelstijging en toeslag op golfhoogte en golfperiode) in rekening worden gebracht.

7 Referenties

ref 1. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014, Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, april 2014, definitief
ref 2. Deltares, 2014, Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden, april 2014, definitief
ref 3. Deltaprogramma Veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014, Synthesedocument deelprogramma Veiligheid, 25 juli 2014, definitief
ref 4. Deltares, 2011, Deltascenario's, 30 april 2011, definitief
ref 5. Geoplus, 2014, Dijkmeting Delfzijl-Eemshaven, Projectnummer: 788.04
ref 6. Ministerie Verkeer en Waterstaat, 1996, Hydraulisch Randvoorwaardenboek, 23 oktober 1996
ref 7. Ministerie Verkeer en Waterstaat, 2001, Hydraulische Randvoorwaarden 2001, 21 december 2001
ref 8. Ministerie Verkeer en Waterstaat, 2007, Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen, ISBN 978-90-369-5761-8, 10 september 2007
ref 9. Waterschap Noorderzijlvest, 2010, Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk, 9V2113.B0, 27 mei 2010

Bijlage 1 Hydraulische belasting

Frequentie [1/... p/j]	Waterstand [NAP+ m]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golf hoek van inval [° t.o.v. N]
10	4,00	0,58	3,06	14
1500	5,18	1,31	3,79	26
3000	5,16	1,51	4,11	28
4000	5,24	1,53	4,14	28
5000	5,30	1,55	4,16	28
6250	5,36	1,57	4,18	27
12500	5,54	1,63	4,25	27
18750	5,65	1,67	4,29	27
20833	5,68	1,68	4,30	27
41600	5,84	1,75	4,37	27
62500	5,95	1,79	4,41	27

Tabel 13: Raai 6 [X = 253.872 (RD [m]) ; Y = 604.317 (RD [m])]

Frequentie [1/... p/j]	Waterstand [NAP+ m]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golf hoek van inval [° t.o.v. N]
10	4,12	0,69	2,53	354
1500	5,58	1,36	3,41	358
3000	5,77	1,44	3,49	358
4000	5,84	1,46	3,52	358
5000	5,83	1,52	3,65	1
6250	5,89	1,55	3,68	1
12500	5,98	1,65	3,86	4
18750	6,08	1,69	3,91	4
20833	6,11	1,70	3,92	4
41600	6,29	1,78	4,00	5
62500	6,38	1,82	4,05	5

Tabel 14: Raai 41 [X = 254.937 (RD [m]) ; Y = 601.466 (RD [m])]

Frequentie [1/... p/j]	Waterstand [NAP+ m]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golf hoek van inval [° t.o.v. N]
10	4,20	0,67	2,85	5
1500	5,58	1,40	3,83	11
3000	5,68	1,52	4,03	13
4000	5,74	1,54	4,06	13
5000	5,80	1,56	4,09	13
6250	5,87	1,59	4,13	13
12500	6,04	1,66	4,21	13
18750	6,15	1,70	4,26	13
20833	6,18	1,71	4,28	13
41600	6,33	1,77	4,35	13
62500	6,44	1,81	4,40	13

Tabel 15: Raai 61 [X = 255.142 (RD [m]) ; Y = 599.529 (RD [m])]

Frequentie [1/... p/j]	Waterstand [NAP+ m]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golf hoek van inval [° t.o.v. N]
10	4,35	0,74	3,07	2
1500	5,57	1,55	4,08	9
3000	5,78	1,64	4,19	9
4000	5,85	1,67	4,22	9
5000	5,91	1,70	4,25	9
6250	5,97	1,72	4,28	9
12500	6,15	1,80	4,36	9
18750	6,13	1,87	4,47	10
20833	6,16	1,88	4,48	10
41600	6,17	1,96	4,59	12
62500	6,26	2,01	4,63	12

Tabel 16: Raai 86 [X = 255.657 (RD [m]) ; Y = 597.178 (RD [m])]

Frequentie [1/... p/j]	Waterstand [NAP+ m]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golf hoek van inval [° t.o.v. N]
10	4,37	1,20	3,87	340
1500	5,99	2,19	4,67	338
3000	6,19	2,31	4,74	338
4000	6,27	2,35	4,77	338
5000	6,34	2,39	4,79	338
6250	6,40	2,42	4,82	338
12500	6,57	2,53	4,88	337
18750	6,68	2,59	4,92	337
20833	6,64	2,55	5,05	340
41600	6,82	2,65	5,12	340
62500	6,93	2,71	5,16	340

Tabel 17: Raai 106 [X = 257.069 (RD [m]) ; Y = 596.027 (RD [m])]

Frequentie	Gebaseerd op?
10	Lage herhalingstijd, belasting aardbeving is maatgevend
1500	*Afkeurkans traject 6-6
3000	Voorgestelde norm traject 6-6 [ref 3]
4000	Huidige veiligheidsnorm [ref 8]
5000	*Afkeurkans traject 6-7
6250	Peis, i bij N=1 traject 6-6
12500	Peis, i bij N=2 traject 6-6
18750	Peis, i bij N=3 traject 6-6
20833	Peis, i bij N=1 traject 6-7
41600	Peis, i bij N=2 traject 6-7
62500	Peis, i bij N=3 traject 6-7

Tabel 18: Verschillende frequentie en de basis waarop deze zijn gekozen

Bijlage 2 Gegevens rekenslag 1

Bijlage 2.1 Memo Uitgangspunten

NOTITIE 1212-0075-003.M03v2concept

Aan	:	Bert de Wolff (NZV), Jan Willem Nieuwenhuis (NZV), Ate Wijnstra (NZV), Marcel Visschedijk (Deltares), Huub de Bruijn (Deltares), Hans Niemeijer (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)
Van	:	Ben Rijneveld (Fugro), Martin Arends (Arcadis)
Controle	:	-
Ref	:	1212-0075-003.M03v2concept
Versie	:	2 (concept)
Datum	:	19 november 2014
Betreft	:	Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk

1. INLEIDING

In deze notitie worden de uitgangspunten voor de bepaling van het benodigd ruimtegebruik voor de dijkversterking van de Ommelanderzeedijk gegeven. Het ontwerp betreft een schetsontwerp voor 5 raaien, namelijk raai 6, 41, 61, 86, 106. Deze raaien worden representatief geacht voor het hele traject.

Figuur 1: Locaties raaien

In het schetsontwerp worden 4 sporen onderscheiden:

- Spoor 1: Ontwerp volgens de huidige normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 2: Ontwerp volgens de huidige normering, inclusief aardbevingseffecten
- Spoor 3: Ontwerp volgens de nieuwe normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 4: Ontwerp volgens de nieuwe normering, inclusief aardbevingseffecten

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

Er wordt gebruik gemaakt van de volgende literatuur en rapporten:

[ARC 2014] Belastingniveau Waddenzee waterkeringen, Arcadis memo VOLGT NOG

[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007

[DEL 2014_1] Ondergrondmodel Delfzijl-Eemshaven: met aangepaste schematisatie, Deltares memo 1210009-002-GEO-0001, 12 november 2014

[DEL 2014_2] Ontwerpaanpak Eemshaven Delfzijl, Deltares rapport 1210009-005-GEO-0001, versie werkversie, 1 oktober 2014, concept

[DEL 2014_3] Proevenverzameling Klei en veenlagen Eemshaven Delfzijl, Deltares memo 1210009-002-GEO-0002, 11 november 2014

[DTM] Digitaal Terrein Model Dijkverbetering Eemshaven

[WNZ 2010] Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk, primaire waterkeringen dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest, rapport 9V2113.B0, 27 mei 2010

[BEST] Bestekstekeningen dijkversterking gedateerd op 1965-1977

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. Planperiode

In het ontwerp wordt uitgegaan van een planperiode van 50 jaar. Daarnaast wordt voor de bepaling van de ontwerpkruinhoogte de gevoeligheid voor een planperiode van 25 jaar onderzocht.

3.2. Definitie ruimtebeslag

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

3.3. Faalmechanismen

De beschouwde mechanismen zijn:

- Hoogte
- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts

Het mechanisme Piping wordt gezien de grote dikte van de slappe lagen in dit stadium minder relevant beschouwd. Daar waar ondiepe, mogelijk watervoerende, zandlagen aanwezig zijn wordt ervan uitgegaan dat door nader onderzoek kan worden aangetoond dat Piping niet maatgevend is of indien dit niet het geval is Piping door een maatregel die geen ruimte kost (bijv. grondverbetering/kleikist/drainage) wordt ondervangen.

De overige mechanismen worden vooralsnog niet beschouwd.

Voor de bepaling van de ontwerpkruinhoogte wordt verwezen naar [ARC 2014].

3.4. Normering en partiële factoren macrostabiliteit

De ontwerpberekeningen op schetsontwerpniveau zijn gericht op het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en buitenwaartse macrostabiliteit (STBU). Er is geen volledig, integraal ontwerp uitgewerkt.

Spoor 1 en 2

Voor spoor 1 en 2 wordt uitgegaan van de huidige normen, gebaseerd op overschrijdingskansen en niet op overstromingskansen.

De normfrequentie voor dijkring 6 bedraagt 1/4.000. Op basis van een standaardlengte van 66 km, kan op basis van het [ATRWG] een schadefactor voor STBI van $\gamma_{n;HW}$ = 1,11 en voor STBU (uitgaande van een faalkanseis die 10 maal lager is) van $\gamma_{n;HW}$ = 1,05 worden bepaald. Deze waarde is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen.

Voor de schematiseringsfactor is uitgegaan van een waarde van γ_b = 1,1. Deze waarde is (nog) niet rekenkundig onderbouwd. Dit dient in een later stadium nog wel te worden gedaan. Dit kan tot een wijziging in het ruimtegebruik leiden.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 1,0 en voor het model Spencer van een modelfactor van γ_d = 0,95.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBI:
- F.S. ≥ 1,22 (= 1,11 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,16 (= 1,11 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBU:
- F.S. ≥ 1,16 (= 1,06 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,11 (= 1,06 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

Deze eisen aan de stabiliteitsfactor zijn voor zowel de maatgevende hoogwatersituatie, als de aardbevingssituatie gehanteerd. In feite zou het faalkansbudget verdeeld moeten worden. Echter indien het faalkansbudget verdeeld wordt en er dus per berekening een twee keer strengere eis (2 maal lagere faalkansbudget) wordt toegepast heeft dit een effect van ca. 0,01 op de schadefactor. Achterwege laten van dit effect wordt in dit ontwerpstadium acceptabel geacht.

Spoor 3 en 4
Voor spoor 3 en 4 wordt uitgegaan van de nieuwe normering, gebaseerd op overstromingskansen en niet op overschrijdingskansen.

De overstromingskanseis voor raaien 41, 61, 86 en 106 bedraagt 1/10.000. Voor raai 6 is dit 1/3.000, welke mogelijk nog verhoogd wordt naar 1/10.000. Voor nu is voor alle secties uitgegaan van een eis van 1/10.000. Hierbij kan volgens [DELT 2014_2] met een afkeurgrens welke een factor 2 groter is worden gerekend, ofwel 1/5.000. De invloed hiervan op de schadefactor is overigens beperkt (afname van ca. 0,01).

Op basis van een standaardlengte van 66 km, kan op basis van het [DELT 2014_2] een schadefactor voor STBI van $\gamma_{n;HW}$ = 1,14 en voor STBU (uitgaande van een faalkanseis die 10 maal lager is) van $\gamma_{n;HW}$ = 1,09 worden bepaald. Hierbij is conform [DELT 2014_2] uitgegaan van een faalkansruimtefactor van 0,04. Deze waarde is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen. Ook een ander faalkansverdeling, waarbij bijvoorbeeld faalkansbudget van Piping wordt gebruikt is wellicht nog mogelijk.

Voor de schematiseringsfactor is uitgegaan van een waarde van γ_b = 1,1. Deze waarde is (nog niet) rekenkundig onderbouwd. Dit dient in een later stadium nog wel te worden gedaan. Dit kan tot een wijziging in het ruimtegebruik leiden.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 1,0 en voor het model Spencer van een modelfactor van γ_d = 0,95.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBI:

- F.S. ≥ 1,25 (= 1,14 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,19 (= 1,14 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBU:

- F.S. ≥ 1,20 (= 1,09 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,14 (= 1,09 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

Deze eisen aan de stabiliteitsfactor zijn voor zowel de maatgevende hoogwatersituatie, als de aardbevingssituatie gehanteerd. In feite zou het faalkansbudget verdeeld moeten worden. Echter indien het faalkansbudget verdeeld wordt en er dus per berekening een twee keer strengere eis (2 maal lagere faalkansbudget) wordt toegepast heeft dit een effect van ca. 0,01 op de schadefactor. Achterwege laten van dit effect wordt in dit ontwerpstadium acceptabel geacht.

3.5. Modellen

In de berekeningen is gedraineerd (met wateroverspanningen) gerekend. In de stabiliteitsberekeningen is gerekend met het model Bishop. De maatgevende berekening wordt eveneens gecontroleerd met het model Spencer.

Omdat uit wordt gegaan van een overslagdebiet van 1 l/m/s wordt niet met zonering gerekend.

3.6. Geometrie

De geometrie wordt gebaseerd op de DTM tekeningen.

De ontwerpkruinhoogte is gebaseerd op [ARC 2014], waarbij is uitgegaan van een overslagdebiet van 1 l/s/m. Er wordt uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,4 m. Deze bodemdaling wordt als toeslag op de ontwerpkruinhoogte toegepast.

Voor de oplossing is uitgegaan van een vaste positie van de buitenteen, waarbij de versterking wordt gerealiseerd door een verflauwing van het buiten- en/of binnentalud en verbreding/verhoging van de binnenberm. Voor de berm wordt een taludhelling 1v:20h gehanteerd. Er wordt een kruinbreedte van 3 m gehanteerd.

Het effect van de bodemdaling in het achterland is niet in de berekeningen meegenomen. Omdat het achterland min of meer meezakt met kruin, blijft de kerende hoogte namelijk in de loop van de tijd ongeveer gelijk. Omdat er al een verhoging van de kruin is meegenomen is deze aanpak te verantwoorden.

Het effect van een eventuele zettingscompensatie om de ontwerpkruinhoogte gedurende de levensduur van de waterkering te garanderen is niet meegenomen. Dit dient in het ontwerp nader uitgewerkt te worden.

3.7. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische belasting voor de geotechnische mechanismen wordt gebaseerd op [ARC 2014]. Dit zijn de waterstanden exclusief bodemdaling. In de berekeningen is de bodemdaling als toeslag op de waterstand meegenomen. Reden hiervoor is dat in de loop van de tijd de waterstand in de dijk relatief hoger wordt, omdat de dijk zakt. Omdat het zakken van de dijk niet expliciet gemodelleerd is, is dit op deze manier meegenomen. Er is uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,4 m.

Voor de maatgevende waterstand in combinatie met een aardbeving is door Deltares aangegeven dat met een combinatiewaterstand met een terugkeertijd van 10 jaar moet worden gerekend. Ook deze waarden zijn gegeven in [ARC 2014].

3.8. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw wordt gebaseerd op het stochastische ondergrondmodel SOS [DELT 2014_1], waarbij het segment waarin de raai is gelegen wordt beschouwd. Daarnaast worden het naastgelegen segment aan weerzijde van het betreffende segment beschouwd. Hieruit wordt op basis van expert judgement de maatgevende bodemopbouw, op basis van het scenario met de meeste slappe toplagen, geselecteerd. Deze aanname dient in een later stadium rekenkundig te worden onderbouwd.

Het SOS heeft betrekking op de bodemopbouw in het achterland. Ter plaatse van de dijk wordt de bodemopbouw geschematiseerd op basis van de beschikbare bestektekeningen [BEST] en het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.

Voor de grondparameters is uitgegaan van de proevenverzameling [DELT 2014_3]. Omdat de proevenverzameling slecht betrekking heeft op 2 lagen uit het ondergrondmodel, wordt voor de overige parameters en laagindeling welke in de toetsing [WNZ 2010] zijn gehanteerd. Hierbij is zijn de gehanteerde bodemlaagbeschrijvingen uit de toetsing omgezet naar de nieuwe geologische schematisatie uit [DEL 2014_1], zie tabel 1. Voor de potklei is gebruik gemaakt van de toegepaste rekenwaarden in de rapportage van Grontmij voor de Eemskanaaldijk.

Geadviseerd wordt om de proevenverzameling aan te vullen, zodat voor alle relevante grondlagen uit het SOS rekenwaarden beschikbaar zijn. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen Tfco, Pgcc en DK van belang.

Tabel 1: Gehanteerde grondparameters

Grondlaag toetsing	Grondlaag SOS	$\gamma_{dr;rep}$ [kN/m³]	$\gamma_{dr;d}$ [kN/m³]	$\gamma_{nat;rep}$ [kN/m³]	$\gamma_{nat;d}$ [kN/m³]	φ'_{rep} [°]	φ'_{d} [°]	c'_{rep} [kPa]	c'_{d} [kPa]
Natuurlijke grondslag									
Oude zeeklei (OZK) [1)]	*Tfcc*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*17,2*	*14,5*	*9,6*	*7,7*
Veen (V) [1)]	*Shpp*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Humeuze klei (HK) [1)]	*Tfco*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Zand (wadafzetting) (Z) [2)]	Tcsf/Tcsm	15,0	15,0	18,0	18,0	27,5	23,5	0,0	0,0
Klei zwak zandig (KZ/ZK) [2)]	Tfsc	14,0	14,0	16,5	16,5	25,0	21,2	1,0	0,7
Potklei (PK) [3)]	Pgcc	17,5	17,5	17,5	17,5	20,0	16,9	16,7	13,3
Dijklichaam									
Dijkzand (DZ) [2)]	Pfc1/pfc2	17,0	17,0	19,0	19,0	32,5	28,0	0,0	0,0
Dijkklei (DK) [2)]		15,0	15,0	17,5	17,5	17,5	14,7	10,0	6,7
Bekledingsklei (BK) [2)]		15,0	15,0	17,5	17,5	17,5	14,7	5,0	3,3
Opgespoten zand (OZ) [2)]		17,0	17,0	19,0	19,0	30,0	25,7	0,0	0,0

[1)] Cursieve waarden uit proevenverzameling Deltares
[2)] Waarden gebaseerd op toetsrapportage/tabel 2.b van NEN 9997-1
[3)] Waarden gebaseerd op door Grontmij toegepast waarden bij de Eemskanaaldijk

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de kleideklaag is een laagdikte van 0,6 m aan de binnenzijde aangehouden en op de kruin en het buitentalud van 1,0 m. Dit is een inschatting op basis van het lokaal uitgevoerde onderzoek en de bestekstekeningen [BEST].

Merk op dat de keuze van de ondergrondschematisatie is gebaseerd op de grondparameters uit tabel 1. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

Voor spoor 2 is uitgegaan van dezelfde bodemopbouw als spoor 1. Indien verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn, waarin tijdens een aardbeving wateroverspanningen ontstaan, kan dit leiden tot een lagere stabiliteit dan in het geval van slappe lagen. Echter, het toepassen van een berm om verweking te mitigeren lijkt geen realistische/economische oplossing. Daarom is er van uitgegaan dat verweking wordt voorkomen door maatregelen die geen/nauwelijks ruimtebeslag kosten, zoals een grondverbetering en/of drainage. Het effect van verweking is dus niet nader beschouwd voor de bepaling van het ruimtebeslag. Derhalve wordt een ‘slappe bodem’ voor zowel spoor 1 als 2 als maatgevend aangenomen. Dit dient in een later stadium bij de rekenkundige controle van de schematiseringsfactor aangetoond te worden.

3.9. Geohydrologische schematisatie

Macrostabiliteit binnenwaarts

De freatische waterstand is voor de locaties waar de kleidijk aan de buitenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106) als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn volgt de binnenbekleding en verloopt vervolgens lineair naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Daar waar de kleidijk aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 6), is deze als volgt geschematiseerd:

- Lineair verloop van de buitenwaterstand t.p.v. de buitentalud naar het niveau van de oude kleidijk
- Lineair verloop van het niveau van de kleidijk naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Bij raai 6/km38,0 is de kleikern aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig, dit geldt voor het hele traject van ca. 37.0-38.5. Bij de overige secties (ca. 27.0-37.0) is deze aan de buitenzijde aanwezig. De zandkern van de dijk wordt bedekt door een asfaltbekleding. Onbekend is hoe waterdoorlatend deze is. Daarnaast zijn hier geen peilbuizen of waterspanningsmeters aanwezig. Hierdoor is de onzekerheid in de geohydrologische schematisatie relatief groot en wordt aanvullend onderzoek geadviseerd.

Voor het polderpeil is ter plaatse van raai 41, 61, 86 en 106 uitgegaan van het winterpeil op NAP -1,3 m. Ter plaatse van raai 6 is uitgegaan van een polderpeil op NAP -0,7 m.

Ter plaatse van km 31.5 is voor de 3de toetsronde de respons van de tussenzandlaag gemeten. Hieruit bleek nauwelijks respons op de buitenwaterstand op te treden. Voor de tussenlagen is daarom vooralsnog uitgegaan van een hydrostatisch verloop.

Voor de stijghoogte in het pleistoceen is uitgegaan van een respons op de buitenwaterstand ter plaatse van de huidige binnenteen van 50%. Deze waarde is gebaseerd op slechts 2 responsmetingen in het pleistoceen ter plaatse van km 29,9 (Livedijk op een diepte van NAP -25 m) en km 37 (3^{e} toetsronde op een diepte van NAP -15 m), waarbij een respons van ca. 30% en 15% kan worden afgeleid. Het verloop is lineair aangenomen vanaf MHW ter plaatse van de buitenteen tot een respons van 50% ter plaatse van de huidige binnenteen. Verder in het achterland is een constante respons van 50% gehanteerd. Voor de indringingslengte is uitgegaan van 2 m.

Macrostabiliteit buitenwaarts
Voor de buitenwaartse macrostabiliteit is uitgegaan van een val van MHW naar gemiddeld hoogwater. Het gemiddelde hoogwaterniveau is weergegeven in [ARC 2014]. Daar waar de kleidijk aan de buitenzijde aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106), wordt aangenomen dat de indringing van water zeer beperkt is, waardoor onder de buitenkruinlijn een opbolling van 1m wordt gemodelleerd ten opzichte van GHW.

Daar waar sprake is van een zanddijk (raai 6) wordt ter plaatse van de buitenkruinlijn uitgegaan van MHW en een lineair verloop naar GHW ter plaatse van het buitentalud.

3.10. Aardbevingsbelasting
Aardbevingen kunnen op twee wijzen invloed hebben op de stabiliteit van de waterkering. Allereerst kan verweking, en daardoor een sterke afname van de stabiliteit, van de waterkering optreden. Uitgangspunt is dat verweking door maatregelen die geen/nauwelijks ruimte kosten wordt ondervangen. Hierbij kan gedacht worden aan grondverbetering en/of drainage.

Het tweede effect is de versnelling die het grondmassief ondervindt tengevolge van de aardbeving. De ontwerpwaarde van de horizontale versnelling bedraagt volgens Deltares 3,1 m/s^2. Dit is echter een zeer kortdurende piekwaarde. Op basis van analyses van Deltares volgens de Newmark Sliding Block methode blijkt dat de ontwerpwaarde van de bijbehorende horizontale versnelling voor een statische analyse, waarbij de vervormingen acceptabel blijven, 0,61 m/s^2 bedragen.

Bovenstaande ontwerpversnelling is gebaseerd op een invloedsfactor van de aardbevingsbelasting van 0,7. Mogelijk dient deze hoger aangehouden te worden, tot maximaal 0,9. Vooralsnog lijkt de waarde 0,7 echter redelijk. Hierbij moet bedacht worden dat bij een hogere waarde van de invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting de materiaalfactoren voor de grond waarschijnlijk lager kunnen worden. De gevoeligheid van een invloedsfactor van 0,9 wordt onderzocht door voor de maatgevende som de invloed van de hogere ontwerpversnelling op de stabiliteitsfactor te bepalen. Hierbij wordt uitgegaan van een ontwerpversnelling van 3,7 m/s2 in de statische berekening, wat overeenkomt met een piekversnelling van 7,8 m/s^2.

3.11. Verkeersbelasting
In het ontwerp is rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13,3 kN/m^2 over 2,5 m op het midden van de binnenberm. Er is geen rekening gehouden met een verkeersbelasting op de kruin. De verkeersbelasting wordt als ‘ongedraineerd’ gemodelleerd, waarbij in de cohesieve lagen een wateroverspanning van 80% wordt gemodelleerd.

4. ADVIES
Om tot definitieve uitgangspunten te komen wordt geadviseerd om aanvullend onderzoek uit te voeren:

- De proevenverzameling aan te vullen met parameters voor alle grondlagen uit het SOS. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen Tfco, Pgcc en DK van belang.
- Ter plaatse van raai 6 peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om meer inzicht in de geohydrologische situatie te verkrijgen.

Bijlage 2.2 Memo raai 6

NOTITIE 1212-0075-003.M02v4concept

Aan	:	Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro), Hans Niemeijer (Arcadis), Huub de Bruijn (Deltares), Marcel Visschedijk (Deltares)
Van	:	W.J. Leeuwdrent (Fugro)
Controle	:	Ben Rijneveld (Fugro)
Ref	:	1212-0075-003.M02v4concept/BRV
Versie	:	4 (concept)
Datum	:	3 december 2014
Betreft	:	Berekeningen versterking dp 38,0, raai 6

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 38,0 (raai 6) gegeven.

2. UITGANGSPUNTEN

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT).

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v2concept, 19 november 2014.

De hydraulische randvoorwaarden zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, inpactanalyse aardbevingen, Waterschap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de gehanteerde literatuur genoemd in de uitgangspunten [1] is gebruik gemaakt van het volgende document:

[TRW, 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004.

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “77804_DTM_Dijk_(140905PW)-37000 - 38500”, dwarsprofiel DWP-23 bij metrering 38000.000.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dit dwarsprofiel is de oude kleidijk aan de binnenzijde gelegen.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen. Voor het hoogste punt van de berm is maximaal NAP +4,0 m gehanteerd.

Bij doorsnede dp38,0 voldoet de dijk op basis van de huidige norm aan de benodigde hoogte, zie tabel 1. Bij de nieuwe normering dient de dijk ca. 0,7 m opgehoogd te worden.

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte dp 38,0

Variant	Hoogte o.b.v. huidige norm [m+NAP]	Hoogte o.b.v. nieuwe norm [m+NAP]
Versterkt	7,29 (kruinhoogte = 7,66, voldoet)	8,33 (ca. 0,7 m opgehoogd)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,40 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

In afwijking van de uitgangspunten [1] is voor dp 38,0 uitgegaan van de hydraulische randvoorwaarden voor de nieuwe normering van 1/3.000 jaar. Er is gerekend met schadefactoren die horen bij een norm van 1/10.000 jaar. Het effect hiervan op de schadefactor bedraagt ca. 0,02 en wordt voor dit doel acceptabel geacht.

Tabel 2: Hydraulische randvoorwaarden dp 38,0

	Huidige normering	Nieuwe normering (1/3.000)
Kruinhoogte bij 1 l/s/m overslag	NAP +7,29 m	NAP +8,33 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +5,74 m	NAP +5,98 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	NAP +4,49 m	NAP +4,79 m

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van een val van MHW onder de buitenkruinlijn naar het Gemiddeld Hoog water (GHW). Voor het GHW is een hoogte van NAP +2,10 m aangehouden. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met 0,35 m zeespiegelstijging over de planperiode en 0,40 m bodemdaling.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 6 (B620, DKP630, B640, DKP650, B660, DKP690 en B680), segment 1 en 2 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP 0,0 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 8 van segment 2 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief lage kans van voorkomen (2%), echter scenario 3 is vergelijkbaar en heeft ook een kans van 3%. De scenario's van sectie 1 tonen overigens minder verschillen dan voor sectie 2. Verwacht wordt dat indien alleen sectie 1 wordt beschouwd de resultaten gunstiger zijn.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

Voor de binnenwaartse stabiliteit is de freatische waterstand is als volgt geschematiseerd:

- Lineair verloop van de buitenwaterstand t.p.v. het buitentalud, naar de onderzijde van de kleibekleding ter plaatse van het knikpunt met de berm.
- Lineair verloop van het niveau van de onderzijde van de kleibekleding ter plaatse van het knikpunt met de berm, naar het polderpeil t.p.v. de binnenteen.

Er is geen nieuwe poldersloot geschematiseerd, waardoor ervan uitgegaan is dat het polderpeil aanwezig is ter plaatse van het uiteinde van de binnenteen.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgangspunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform [TRW, 2004] verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW). Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW en de freatische lijn.

2.5. Stabiliteitseis macrostabiliteit

De eis aan de stabiliteitsfactor bij rekenwaarden van de materiaalfactoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn afkomstig uit uitgangspuntendocument [1] en samengevat in tabel 3. Voor de nieuwe normering zijn deze stabiliteitsfactoren afgeleid voor een overstromingsnorm van 1/10.000. Het verschil met een overstromingsnorm van 1/3.000 is echter klein (ca. 0,02) en wordt voor dit doel acceptabel geacht.

Tabel 3: Stabiliteitseis voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig	1,22	1,16
	Nieuw	1,25	1,19
STBU	Huidig	1,16	1,11
	Nieuw	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 4.

Tabel 4: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 38,0

Variant	Normering	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Huidig	7 (incl. verplaatsing sloot)*	(STBU voldoet)	7
	Nieuw	9	(STBU voldoet)	9
Versterkt + aardbeving	Huidig	25	10	30
	Nieuw	33	15	48

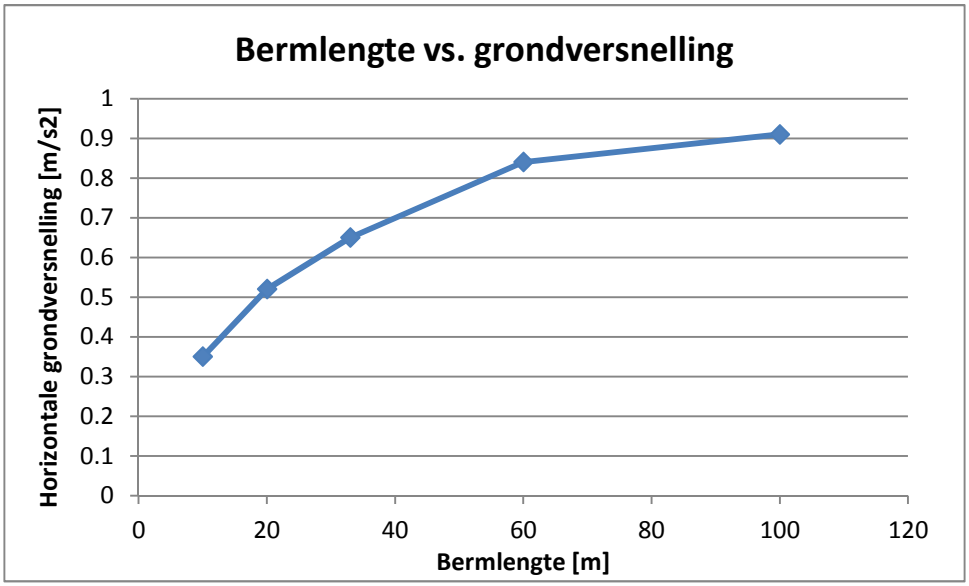
* In tegenstelling tot de overige berekeningen is hier de kwelsloot wel opnieuw geschematiseerd. Bij het niet schematiseren van de kwelsloot zou geen berm meer nodig zijn.

Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de invloed van de aardbeving op de benodigde bermlengte te beschouwen. Hiervoor is voor een aantal bermlengtes de versnelling als gevolg van een aardbeving berekend waarbij de dijk nog net voldoet aan de stabiliteitseisen. Alleen de berm aan de binnenzijde is beschouwd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5 en figuur 1.

Tabel 5: Invloed van horizontale grondversnelling (aardbeving) op benodigde bermlengte

Bermlengte	Horizontale versnelling (m/s^2)
10	0,35
20	0,52
33	0,65
60 [1)]	0,84
100 [2)]	0,91

[1)] Bij de berm van 60 m is een helling van de berm van 1:30 gehanteerd, om de berm passend te krijgen (de berm zou anders lager worden dan het maaiveld).
[2)] Bij de berm van 60 m is een helling van de berm van 1:40 gehanteerd, om de berm passend te krijgen (de berm zou anders lager worden dan het maaiveld).



Figuur 1: relatie tussen horizontale grondversnelling en benodigde bermlengte

4. CONCLUSIES

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Uitgaande van de huidige normering (overschrijdingsnorm 1/4.000)hoeft de dijk niet te worden verhoogd. Bij de nieuwe normering (overstromingsnorm 1/3.000) dient de dijk met ca. 0,7 m te worden verhoogd, wat tevens effect heeft op het ruimtebeslag aan de binnen- en buitenzijde.

Hieruit volgt dat bij de genoemde uitgangspunten met een extra ruimtebeslag aan de binnenzijde van orde 7 m tot een veilig ontwerp kan worden gekomen, uitgaande van de huidige normering. Bij de nieuwe normering is een extra ruimtebeslag van orde 9 m benodigd. Als rekening wordt gehouden met het effect van aardbevingen is bij de huidige normering orde 25 m extra ruimte benodigd en bij de nieuwe normering orde 30 m.

Aan de buitenzijde is geen extra ruimtebeslag benodigd. Als echter rekening wordt gehouden met aardbevingen is voor de huidige normering een extra ruimtebeslag van orde 10 m benodigd en bij de nieuwe normering orde 15 m.

Op basis van een gevoeligheidsanalyse, waarbij bij verschillende horizontale grondversnellingen de benodigde bermlengte is bepaald, kan worden geconcludeerd dat er een duidelijk niet lineaire relatie ligt tussen de bermlengte en horizontale versnelling. Bij een horizontale versnelling hoger dan ca. 0,9 m/s^2 neemt de bermlengte buitenproportioneel toe.

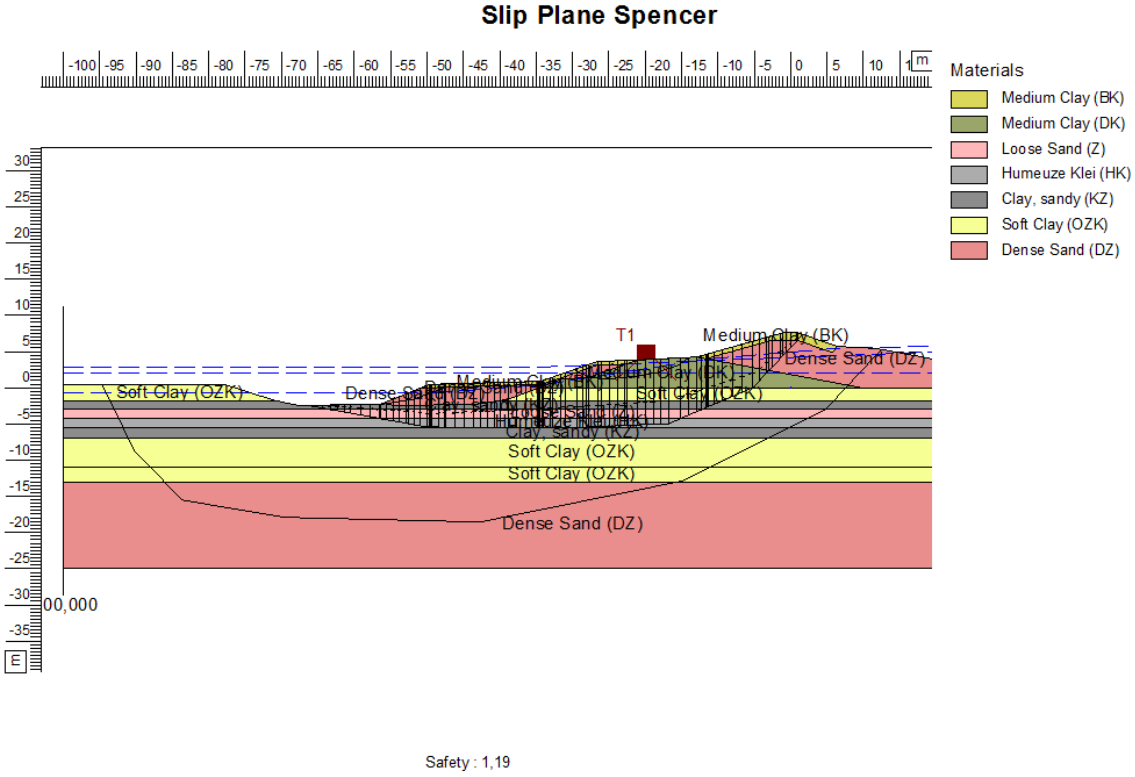
Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende (tussen)zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot geschematiseerd. Het ruimtebeslag inclusief verplaatsing van de kwelsloot is dus groter dan het ruimtebeslag wat hier is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.
- Voor het bepalen van het ruimtebeslag is voor de waterstanden uitgegaan van de nieuwe normering van 1/3.000. Voor de partiële factoren van de macrostabiliteit is uitgegaan van een norm van 1/10.000. Het effect hiervan is beperkt, zodat de resultaten representatief zijn voor een norm van 1/3.000.

Bijlagen:
Berekeningsresultaten 1

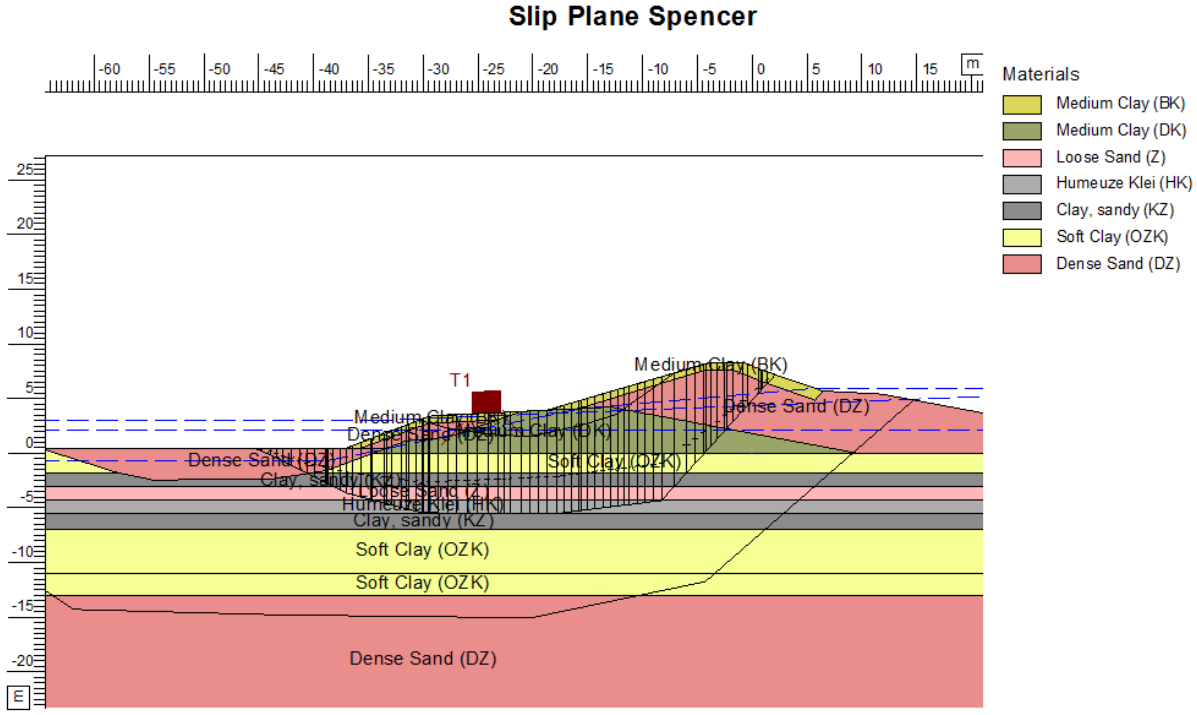
BIJLAGE 1

Resultaten STBI huidige normering



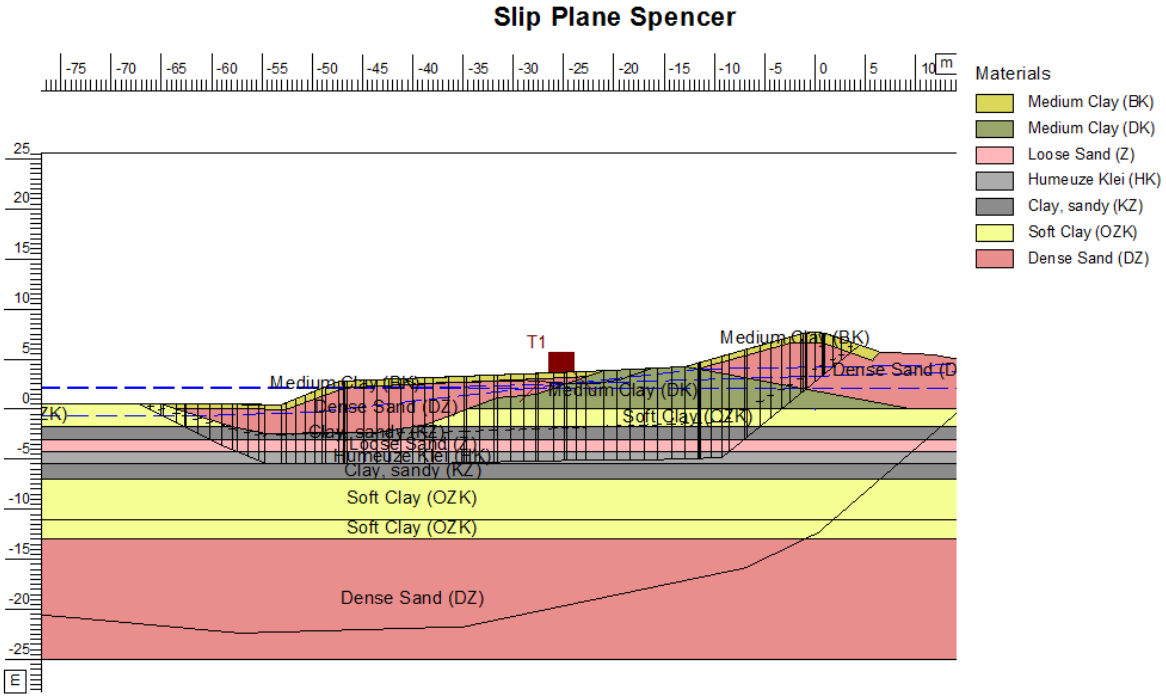
Safety : 1,19

Resultaten STBI nieuwe normering



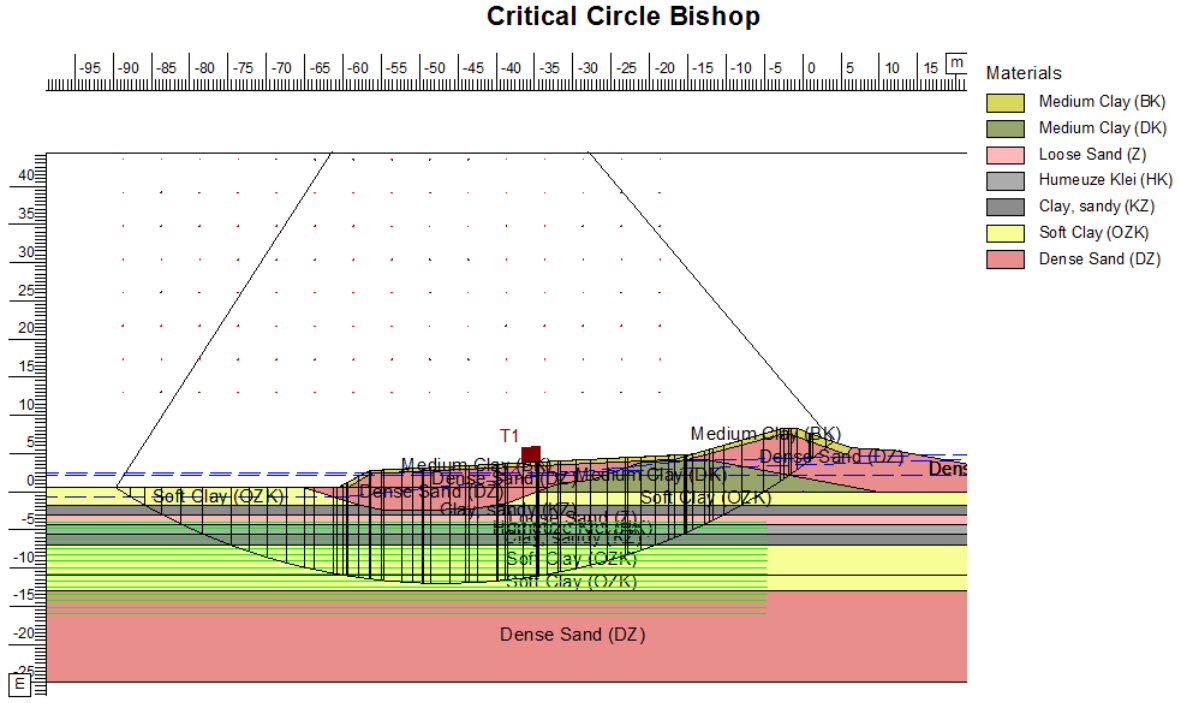
Safety : 1,22

Resultaten STBI, incl. aardbeving, huidige normering



Safety : 1,16

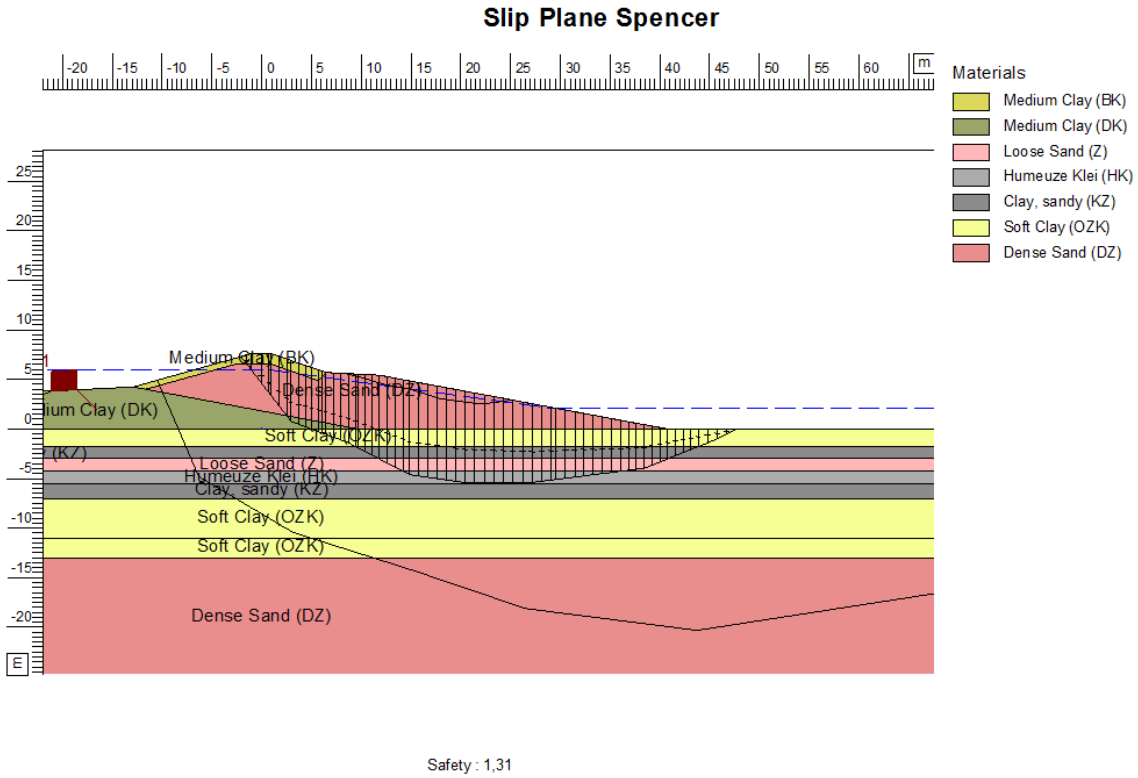
Resultaten STBI, incl. aardbeving, nieuwe normering



Xm : -46,97 [m]
Ym : 67,16 [m]

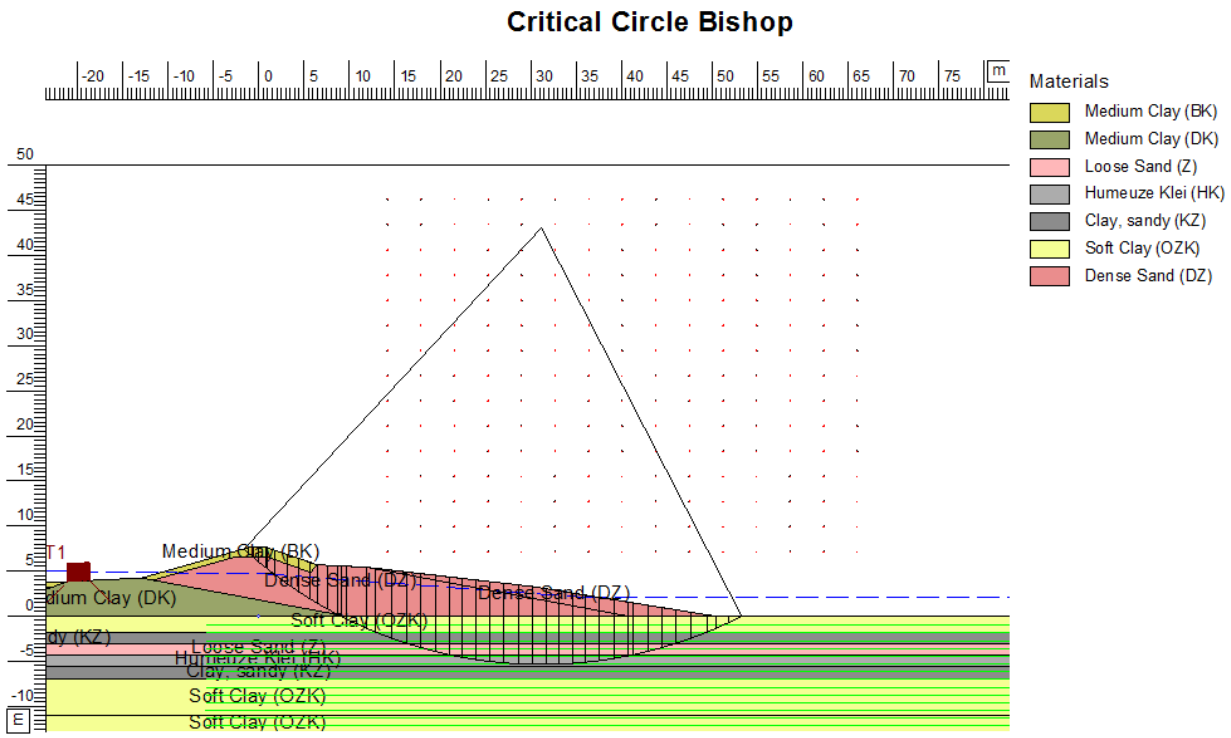
Radius : 79,16 [m]
Safety : 1,28

Resultaten STBU, huidige normering



Safety : 1,31

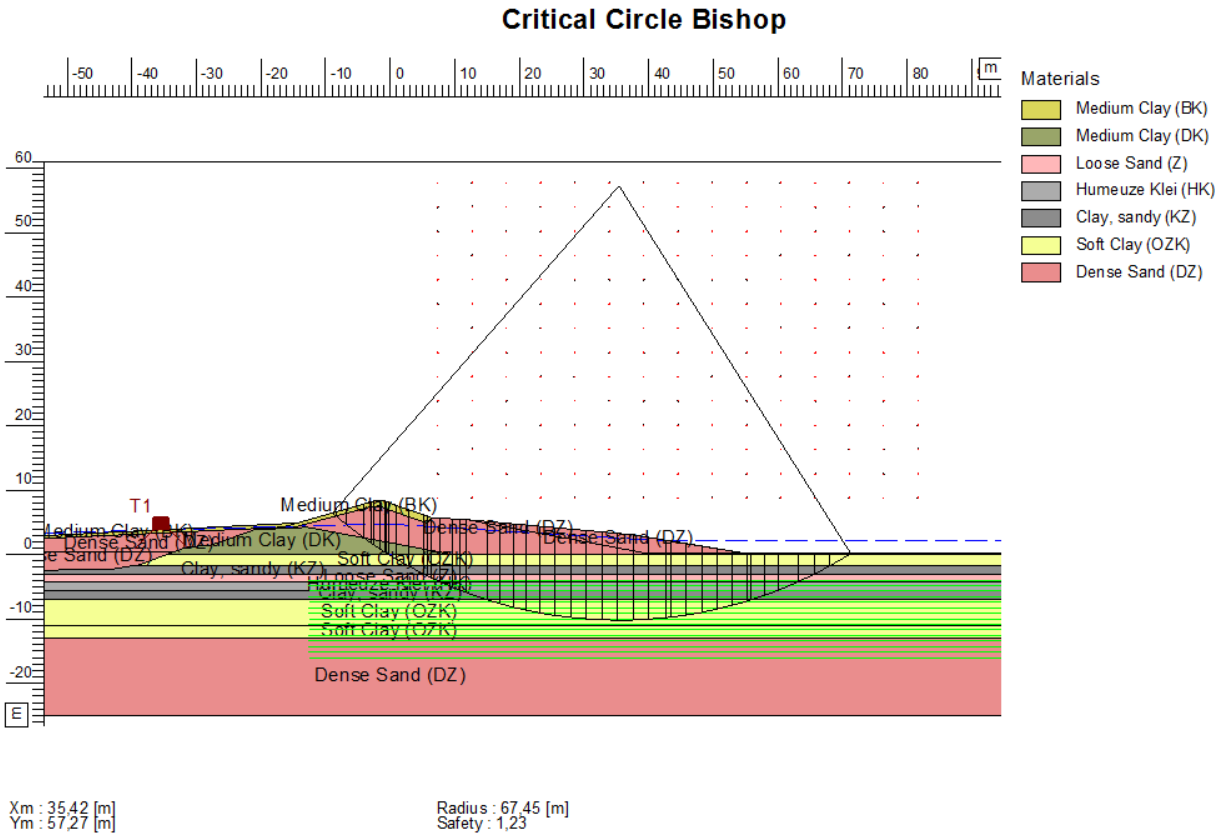
Resultaten STBU, incl. aardbeving, huidige normering



Xm : 31,16 [m]
Ym : 43,06 [m]

Radius : 48,39 [m]
Safety : 1,17

Resultaten STBU, incl. aardbeving, nieuwe normering



Bijlage 2.3 Memo raai 41

NOTITIE 1212-0075-003.M02v1concept

Aan	:	Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro), Hans Niemeijer (Arcadis), Huub de Bruijn (Deltares), Marcel Visschedijk (Deltares)
Van	:	W.J. Leeuwdrent (Fugro)
Controle	:	Ben Rijneveld (Fugro)
Ref	:	1212-0075-003.M04concept/BRV
Versie	:	1 (concept)
Datum	:	27 november 2014
Betreft	:	Berekeningen versterking dp 34,5, raai 41

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 34,5 (raai 41) gegeven.

2. UITGANGSPUNTEN

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT).

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v2concept, 19 november 2014.

De hydraulische randvoorwaarden zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, inpactanalyse aardbevingen, Wtercshap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de gehanteerde literatuur genoemd in de uitgangspunten [1] is gebruik gemaakt van het volgende document:

[TRW, 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004.

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “77804_DTM_Dijk_(140905PW)-34500 – 36500”, dwarsprofiel DWP-16 bij metrering 34500.000.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dit dwarsprofiel is de oude kleidijk aan de buitenzijde gelegen. Merk op dat de dijk destijds in twee slagen is opgehoogd, waardoor ook twee tekeningen beschikbaar zijn. Voor het bepalen van de ligging van de oude kleidijk ten opzichte van het huidige dijkprofiel is hiervan gebruik gemaakt.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

Bij doorsnede dp34,5 voldoet de dijk op basis van de huidige norm aan de benodigde hoogte, zie tabel 1. Bij de nieuwe normering dient de dijk ca. 1,2 m opgehoogd te worden.

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte dp 34,5

Variant	Hoogte o.b.v. huidige norm [m+NAP]	Hoogte o.b.v. nieuwe norm [m+NAP]
Versterkt	7,76 (kruinhoogte = 8,15, voldoet)	9,39 (ca. 1,2 m opgehoogd)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,40 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

Tabel 2: Hydraulische randvoorwaarden dp 34,5

	Huidige normering	Nieuwe normering
Kruinhoogte bij 1 l/s/m overslag	NAP +7,76 m	NAP +9,39 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +6,34 m	NAP +6,63 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	NAP +4,62 m	NAP +4,92 m

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van 1 m opbolling in het talud ten opzichte van het Gemiddeld Hoog Water (GHW). Voor het GHW is een hoogte van NAP +2,10 m aangehouden. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met 0,35 m zeespiegelstijging over de planperiode en 0,40 m bodemdaling.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 41 (B4120, B4140, DKP 4130, B4160, DKP4150, B4180, DKP4190), segment 5, 6 en 7 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP -1,5 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 7 van segment 6 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief hoge kans van voorkomen (ca. 40%) en hier zijn tevens relatief slappe lagen aanwezig in de toplagen.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

Voor de binnenwaartse stabiliteit is de freatische waterstand is als volgt geschematiseerd:

- Verloop van de buitenwaterstand naar het niveau van de freatische lijn onder de kruin van de dijk (NAP +3,0 m).
- Lineair verloop van het niveau van de kleidijk naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

De freatische waterstand in de kruin is gebaseerd op de hoogst gemeten grondwaterstand in de kruin bij het LiveDijkXL project op ca. NAP +1,85 m, vermeerderd met 0,75 m respons op de buitenwaterstand en 0,4 m compensatie van de bodemdaling.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgansgpunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform [TRW, 2004] verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW). Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW en de freatische lijn.

2.5. Partiële factoren macrostabiliteit

De partiële factoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn onderbouwd weergegeven in het uitgangspuntendocument [1]. In tabel 3 zijn deze samengevat weergegeven.

Tabel 3: Partiële factoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig	1,22	1,16
	Nieuw	1,25	1,19
STBU	Huidig	1,16	1,11
	Nieuw	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 4.

Tabel 4: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 34,5

Variant	Normering	Extra ruimte beslag binnenteen [m]	Extra ruimte beslag buitenteen [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Huidig	19	(STBU voldoet)	19
	Nieuw	31	(STBU voldoet)	31
Versterkt + aardbeving	Huidig	69	46	115
	Nieuw	83	60	143

4. CONCLUSIES

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Uitgaande van de huidige normering hoeft de dijk niet te worden verhoogd. Bij de nieuwe normering dient de dijk met ca. 1,2 m te worden verhoogd, wat tevens effect heeft op het ruimtebeslag aan de binnen- en buitenzijde.

Hieruit volgt dat bij de genoemde uitgangspunten met een extra ruimtebeslag aan de binnenzijde van orde 20 m tot een veilig ontwerp kan worden gekomen, uitgaande van de huidige normering. Bij de nieuwe normering is een extra ruimtebeslag van orde 30 m benodigd. Als rekening wordt gehouden met het effect van aardbevingen is bij de huidige normering orde 70 m extra ruimte benodigd en bij de nieuwe normering orde 80 m.
Aan de buitenzijde is geen extra ruimtebeslag benodigd. Als echter rekening wordt gehouden met aardbevingen is voor de huidige normering een extra ruimtebeslag van orde 40 m benodigd en bij de nieuwe normering orde 50 m.

Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

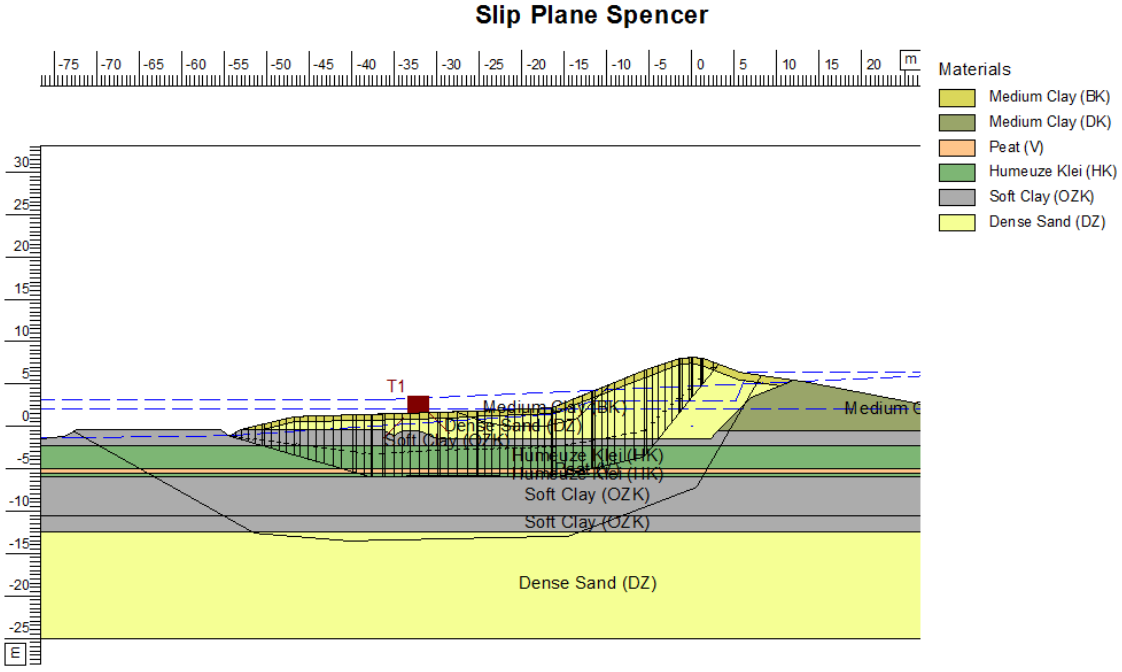
- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende (tussen)zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot geschematiseerd. Hierdoor kan het ruimtebeslag groter zijn dan is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.

Bijlagen:

Berekeningsresultaten 1

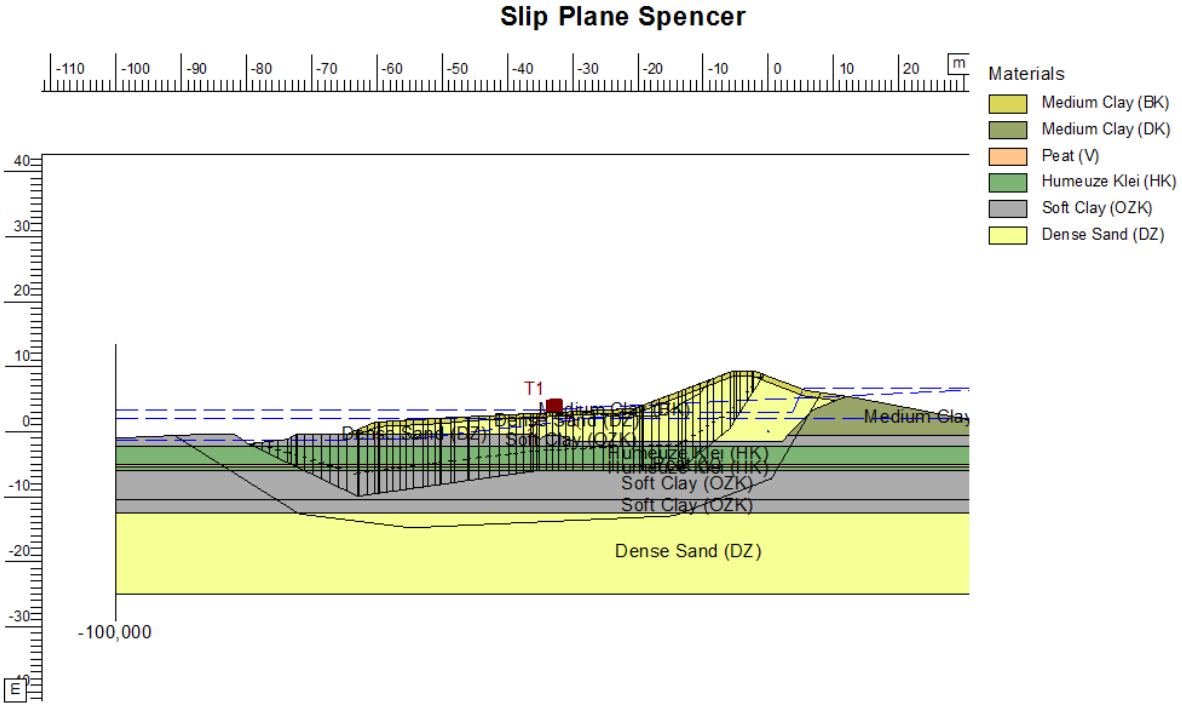
BIJLAGE 1

Resultaten STBI huidige normering



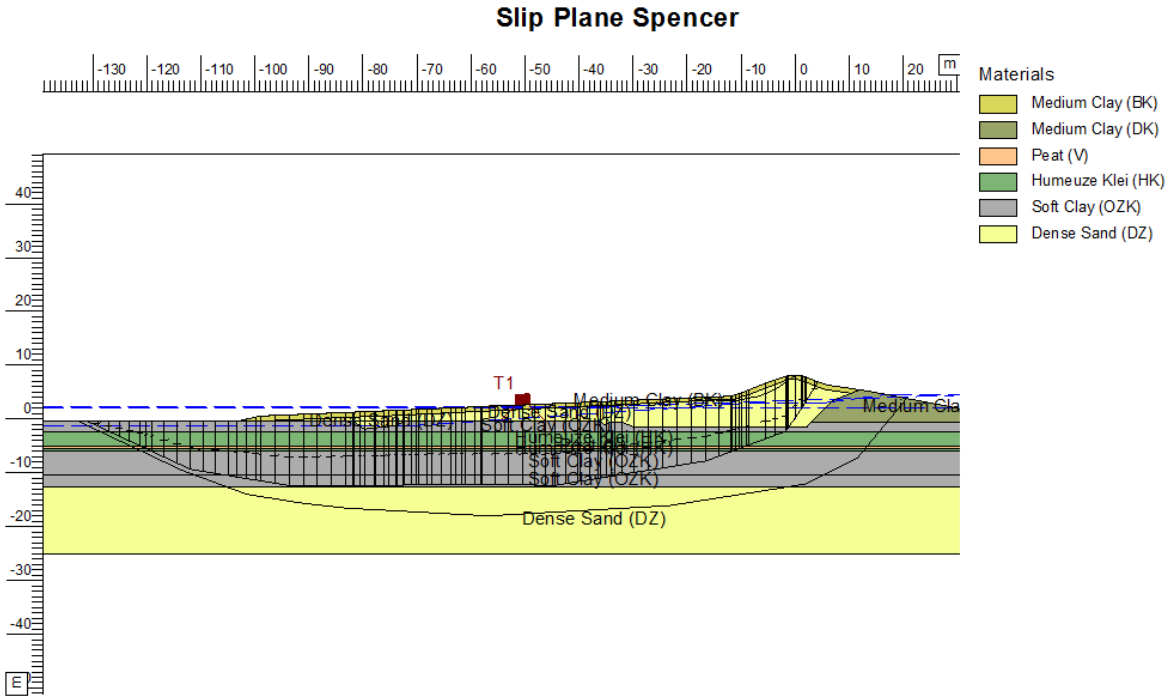
Safety : 1,16

Resultaten STBI nieuwe normering



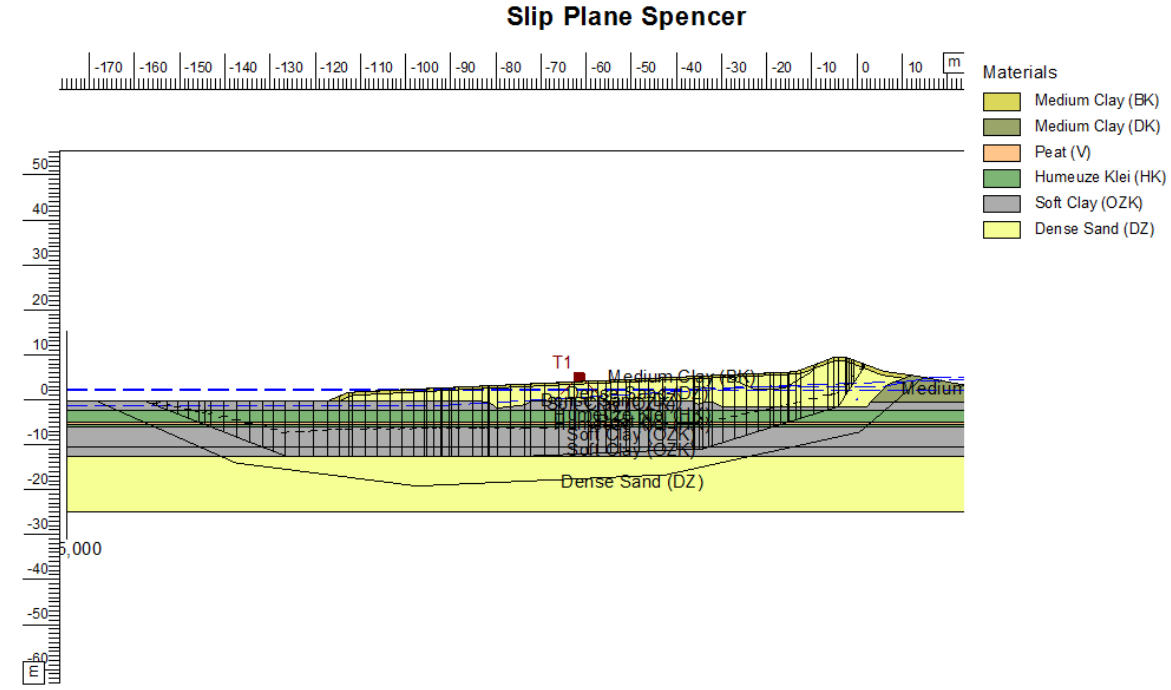
Safety : 1,21

Resultaten STBI, incl. aardbeving, huidige normering



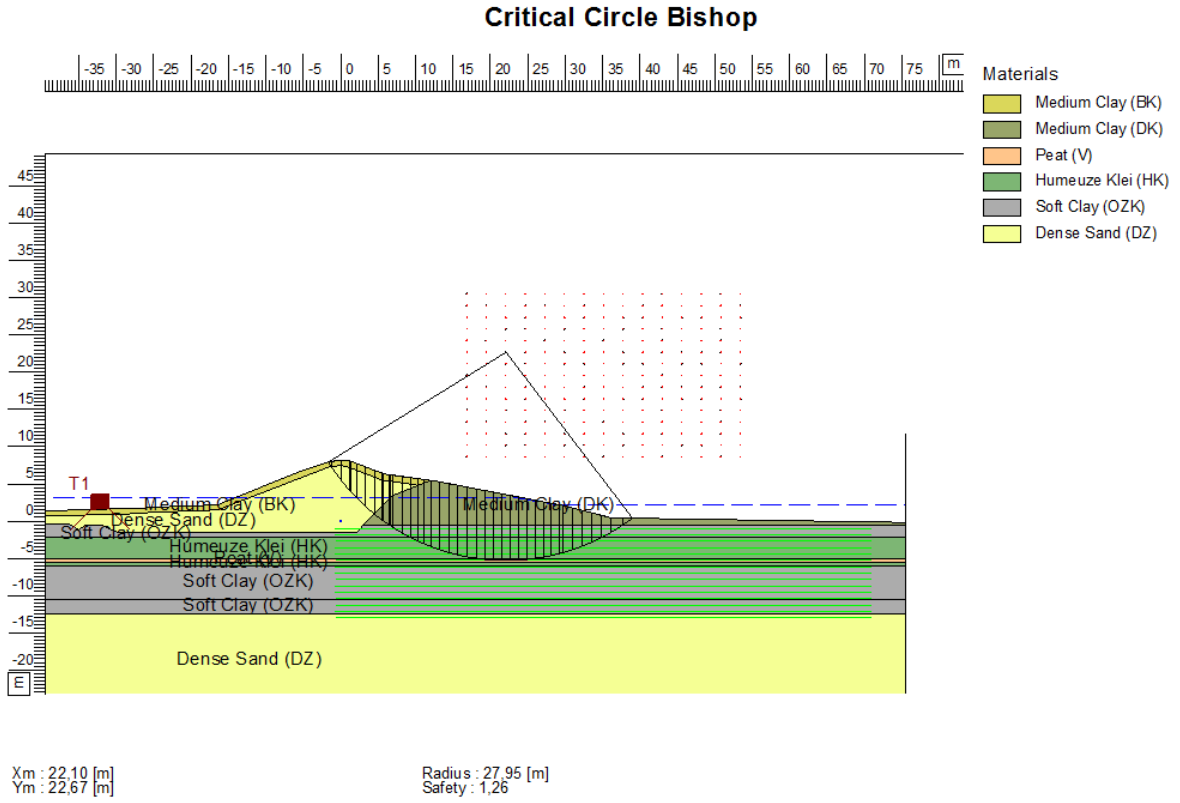
Safety : 1,15

Resultaten STBI, incl. aardbeving, nieuwe normering



Safety : 1,23

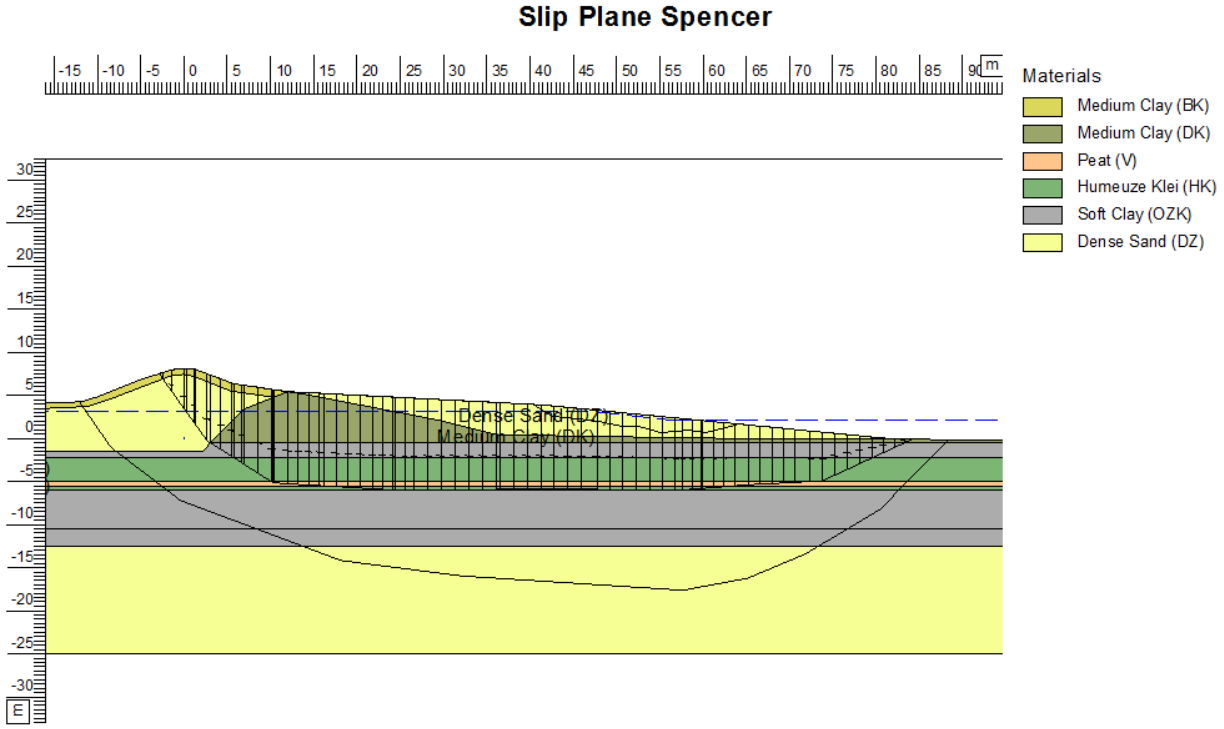
Resultaten STBU, huidige normering



Xm : 22,10 [m]
Ym : 22,67 [m]

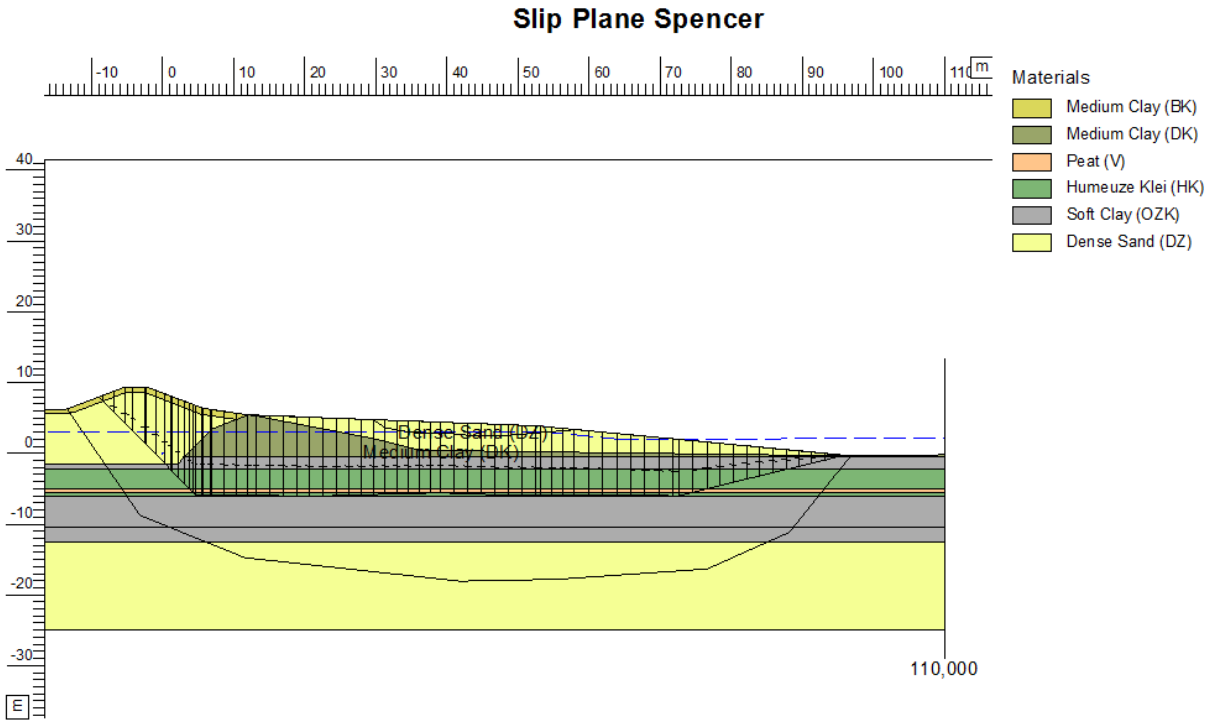
Radius : 27,95 [m]
Safety : 1,26

Resultaten STBU, incl. aardbeving, huidige normering



Safety : 1,11

Resultaten STBU, incl. aardbeving, nieuwe normering



Safety : 1,14

Bijlage 2.4 Memo raai 61

NOTITIE 1212-0075-003.M05v2

Aan : Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro), Hans Niemeijer (Arcadis), Huub de Bruijn (Deltares), Marcel Visschedijk (Deltares)

Van : W.J. Leeuwdrent (Fugro)

Controle : Ben Rijneveld (Fugro)

Ref : 1212-0075-003.M05v2concept/BRV

Versie : 2

Datum : 8 december 2014

Betreft : Berekeningen versterking dp 32,5, raai 61

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 32,5 (raai 61) gegeven.

2. UITGANGSPUNTEN

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT).

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v2concept, 19 november 2014.

Bij dit dwarsprofiel zijn de ruimtebeslagen voor alle vier sporen (oude en nieuwe normering, met en zonder aardbeving) berekend.

De hydraulische randvoorwaarden zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, inpactanalyse aardbevingen, Waterschap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de gehanteerde literatuur genoemd in de uitgangspunten [1] is gebruik gemaakt van het volgende document:

[TRW, 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004.

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “77804_DTM_Dijk_(140905PW)-32000 - 34000”, dwarsprofiel DWP-12 bij metrering 32500.000.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dit dwarsprofiel is de oude kleidijk aan de buitenzijde gelegen. Merk op dat de dijk destijds in twee slagen is opgehoogd, waardoor ook twee tekeningen beschikbaar zijn. Voor het bepalen van de ligging van de oude kleidijk ten opzichte van het huidige dijkprofiel is hiervan gebruik gemaakt.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

Bij doorsnede dp32, dient de dijk bij de nieuwe normering ca. 1,6 m opgehoogd te worden, zie tabel 1. Bij de huidige normering hoeft de dijk niet opgehoogd te worden.

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte dp 32,5

Huidige hoogte kruin dijk [m+NAP]	Benodigde hoogte o.b.v. huidige norm [m+NAP]	Benodigde hoogte o.b.v. nieuwe norm [m+NAP]
8,08	8,02	9,69 (kruinhoogte ca. 1,6 m opgehoogd)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,40 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

Tabel 2: Hydraulische randvoorwaarden dp 32,5

	Huidige normering	Nieuwe normering (1/10.000)
Kruinhoogte bij 1 l/s/m overslag	NAP +8,02 m	NAP +9,69 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +6,24 m	NAP +6,60 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	NAP +4,70 m	NAP +5,00 m

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van 1 m opbolling in het talud ten opzichte van het Gemiddeld Hoog Water (GHW). Voor het GHW is een hoogte van NAP +2,10 m aangehouden. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met 0,35 m zeespiegelstijging over de planperiode en 0,40 m bodemdaling.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 61 (B6120, B6140, DKP 6130, B6160, DKP6150, B6180, DKP6190), segment 8, 9 en 10 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP -1,5 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 11 van segment 10 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief hoge kans van voorkomen (ca. 20%) en hier zijn tevens relatief slappe lagen aanwezig in de toplagen. Tevens hebben de toplagen een relatief grote dikte.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

Voor de binnenwaartse stabiliteit is de freatische waterstand is als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin (NAP +3,0 m)
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn verloopt lineair naar de binnenteen (polderpeil)
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Omdat geen nieuwe kwelsloot is geschematiseerd is ervan uitgegaan dat ter plaatse van het uiteinde van de binnenteen het polderpeil aanwezig is.

De freatische waterstand in de kruin is gebaseerd op de hoogst gemeten grondwaterstand in de kruin bij het LiveDijkXL project op ca. NAP +1,85 m, vermeerderd met 0,75 m respons op de buitenwaterstand en 0,4 m compensatie van de bodemdaling.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgangspunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform [TRW, 2004] verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW). Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW en de freatische lijn.

2.5. Partiële factoren macrostabiliteit

De partiële factoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn onderbouwd weergegeven in het uitgangspuntendocument [1]. In tabel 3 zijn deze samengevat weergegeven.

Tabel 3: Partiële factoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig	1,22	1,16
	Nieuw	1,25	1,19
STBU	Huidig	1,16	1,11
	Nieuw	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 4.

Tabel 4: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 32,5

Variant	Normering	Extra ruimte beslag binnenzijde [m]	Extra ruimte beslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Huidig	8	(STBU voldoet)	8
	Nieuw	14	(STBU voldoet)	14

Variant	Normering	Extra ruimte beslag binnenzijde [m]	Extra ruimte beslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Versterkt + aardbeving	Huidig	33	13	46
	Nieuw	46	13	59

4. CONCLUSIES

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Bij de huidige normering is het niet nodig de dijk te verhogen. Bij de nieuwe normering (overstromingskans 1/10.000) dient de dijk met ca. 1,6 m te worden verhoogd, wat tevens effect heeft op het ruimtebeslag aan de binnen- en buitenzijde.

Hieruit volgt dat bij de genoemde uitgangspunten met een extra ruimtebeslag aan de binnenzijde van orde 10 m tot een veilig ontwerp kan worden gekomen, uitgaande van de huidige normering. Bij de nieuwe normering is een extra ruimtebeslag van orde 15 m benodigd. Als rekening wordt gehouden met het effect van aardbevingen is bij de huidige normering orde 30 m extra ruimte benodigd. Bij de nieuwe normering is orde 50 m extra ruimte benodigd.
Aan de buitenzijde is geen extra ruimtebeslag benodigd. Als echter rekening wordt gehouden met aardbevingen is voor zowel de huidige als de nieuwe normering een extra ruimtebeslag van orde 15 m benodigd.

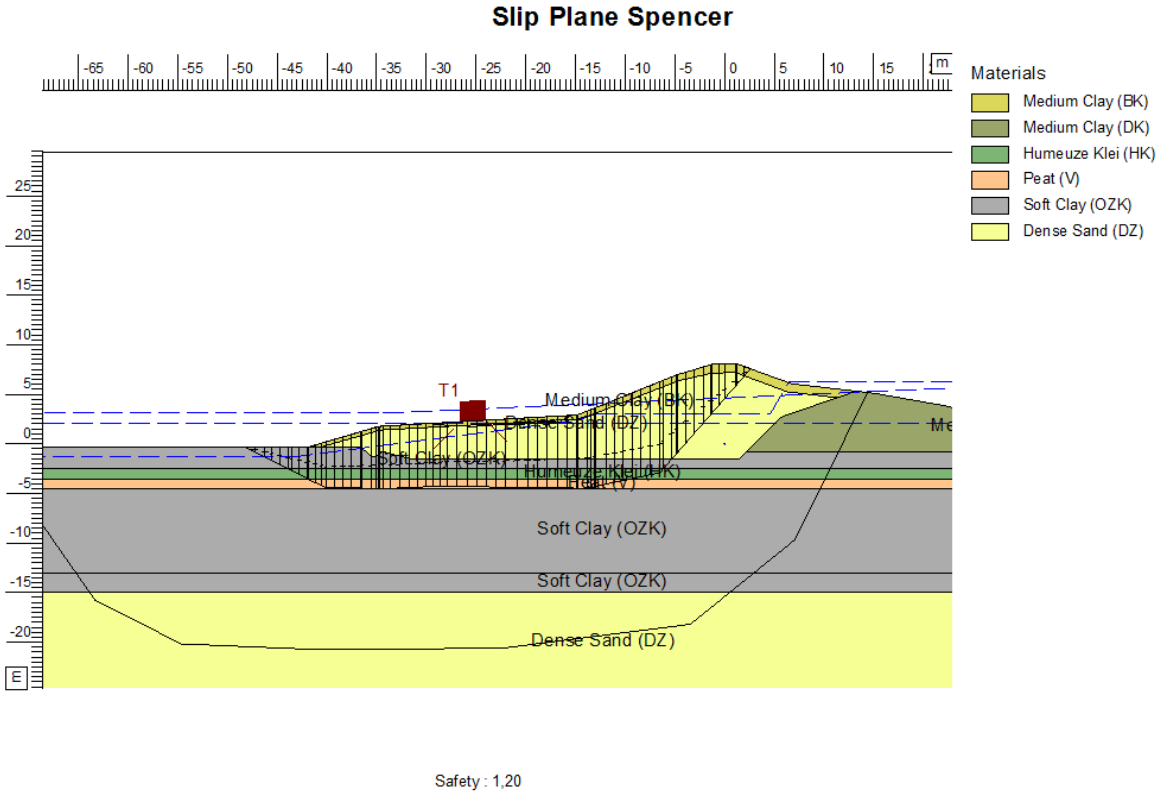
Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende (tussen)zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot geschematiseerd. Hierdoor kan het ruimtebeslag groter zijn dan is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.

Bijlagen:
Berekeningsresultaten 1

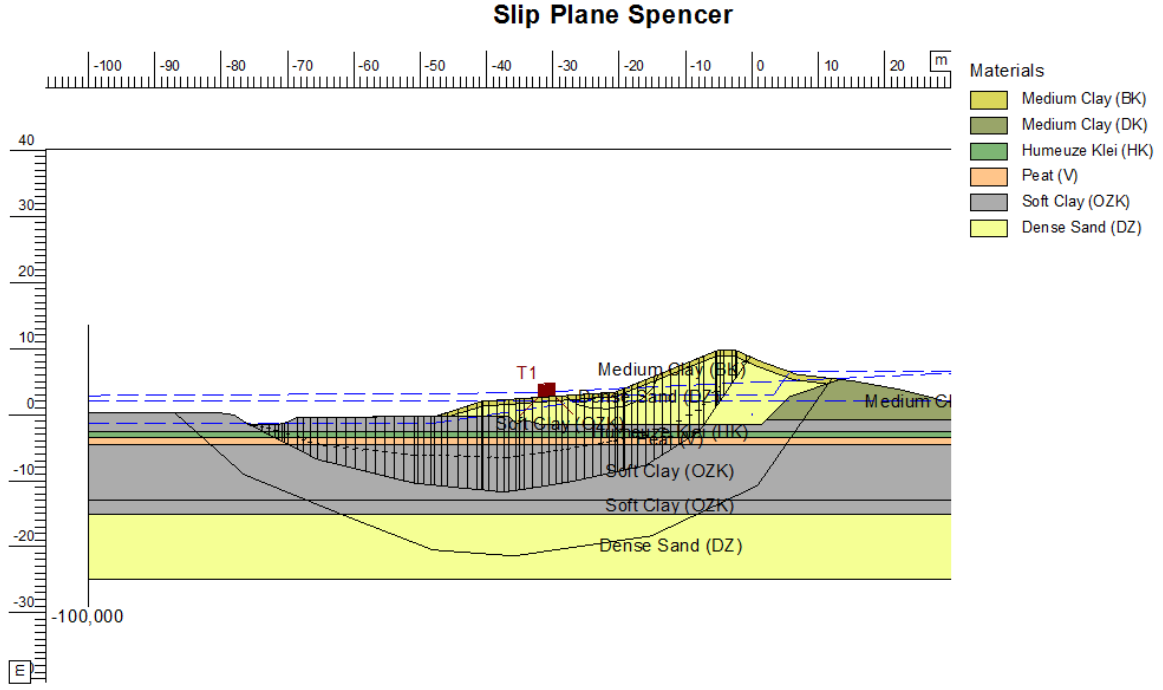
BIJLAGE 1

Resultaten STBI huidige normering



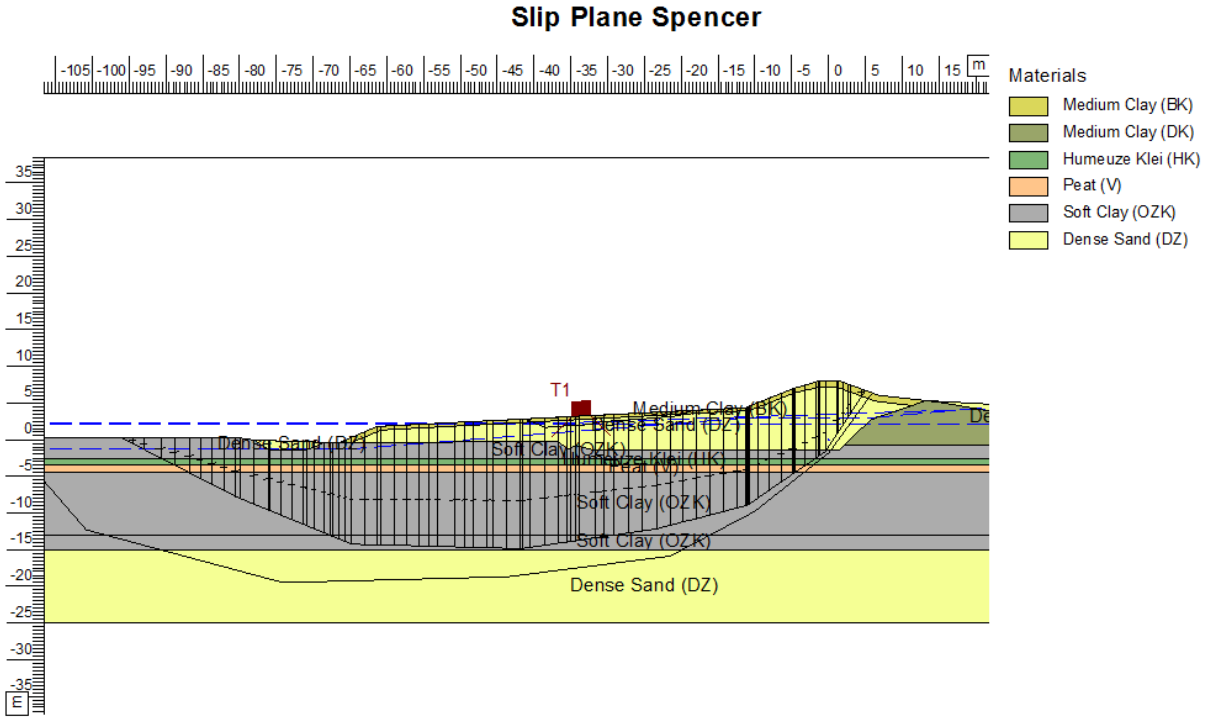
Safety : 1,20

Resultaten STBI nieuwe normering



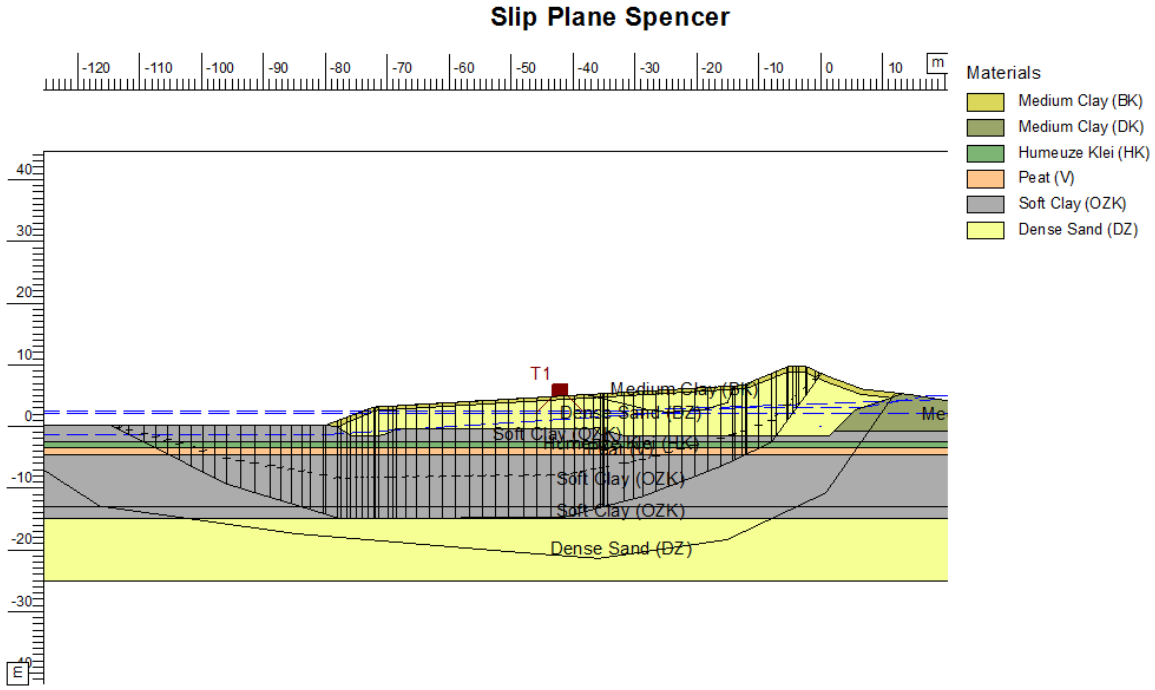
Safety : 1,22

Resultaten STBI, incl. aardbeving, huidige normering



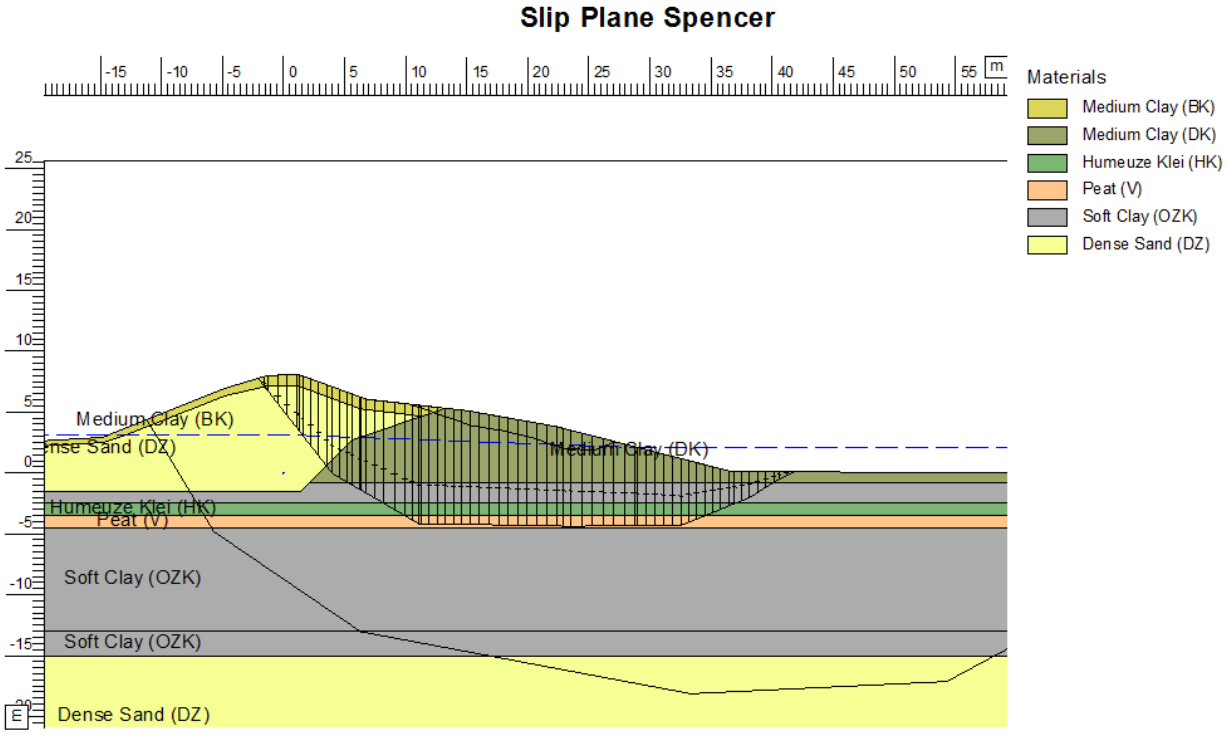
Safety : 1,18

Resultaten STBI, incl. aardbeving, nieuwe normering



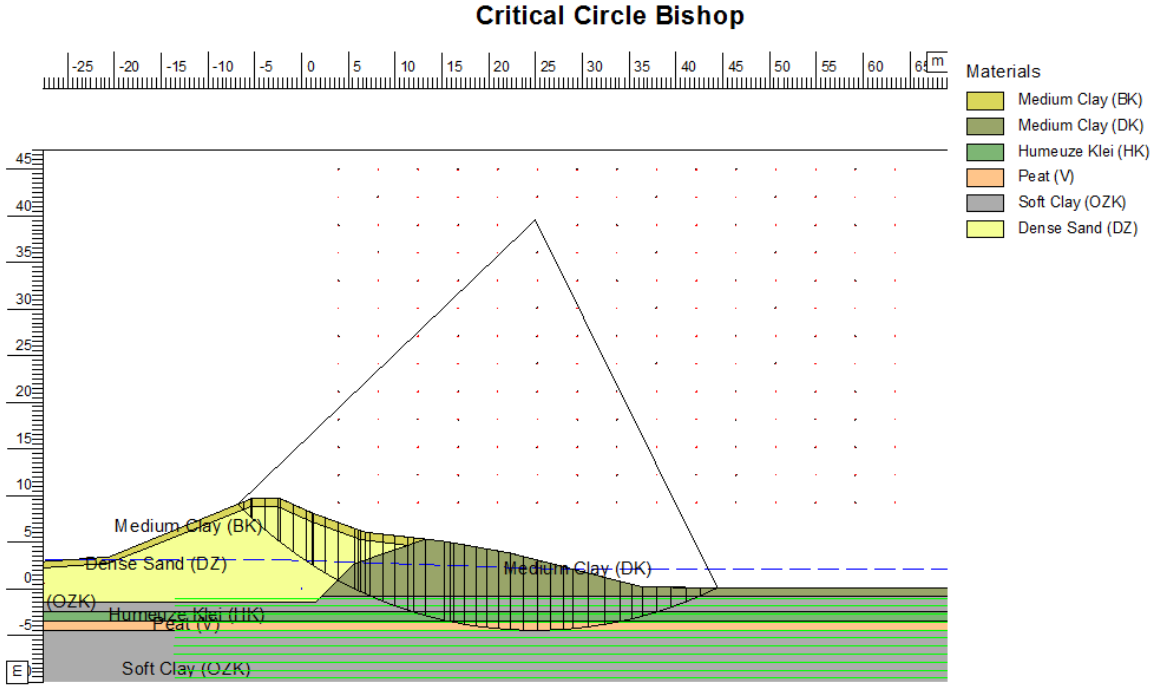
Safety : 1,19

Resultaten STBU, huidige normering



Safety : 1,35

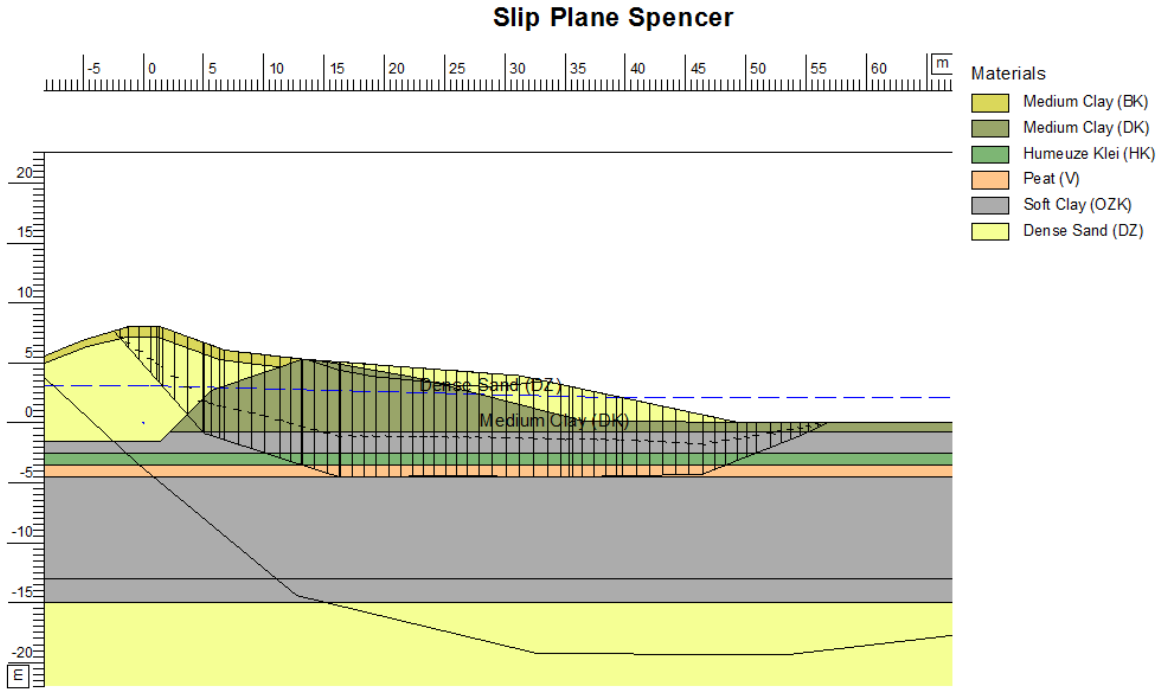
Resultaten STBU, nieuwe normering



Xm : 24,94 [m]
Ym : 39,56 [m]

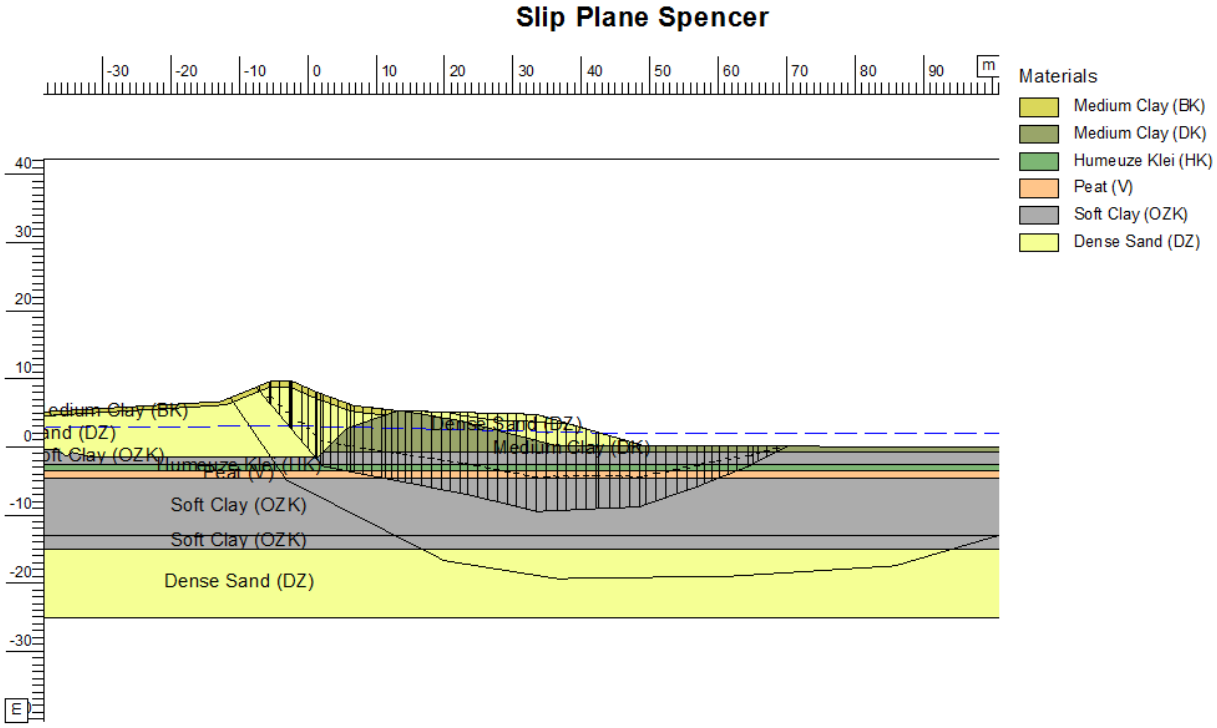
Radius : 44,00 [m]
Safety : 1,37

Resultaten STBU, incl. aardbeving, huidige normering



Safety : 1,12

Resultaten STBU, incl. aardbeving, nieuwe normering



Safety : 1,19

Bijlage 2.5 Memo Samenvatting

NOTITIE 1212-0075-003.M06v4concept

Aan	:	Bert de Wolff (NZV), Jan Willem Nieuwenhuis (NZV), Ate Wijnstra (NZV), Marcel Visschedijk (Deltares), Huub de Bruijn (Deltares), Hans Niemeijer (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)
Van	:	Ben Rijneveld (Fugro), Martin Arends (Arcadis)
Controle	:	-
Ref	:	1212-0075-003.M06v4concept
Versie	:	4 (concept)
Datum	:	12 december 2014
Betreft	:	Samenvatting berekeningen Ommelanderzeedijk

1. INLEIDING

In deze notitie worden de uitgangspunten voor de bepaling van het benodigd ruimtegebruik voor de dijkversterking van de Ommelanderzeedijk gegeven. Het ontwerp betreft een schetsontwerp voor 5 raaien, namelijk raai 6, 41, 61, 86, 106. Deze raaien worden representatief geacht voor het hele traject.

Figuur 1: Locaties raaien

In het schetsontwerp worden 4 sporen onderscheiden:

- Spoor 1: Ontwerp volgens de huidige normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 2: Ontwerp volgens de huidige normering, inclusief aardbevingseffecten
- Spoor 3: Ontwerp volgens de nieuwe normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 4: Ontwerp volgens de nieuwe normering, inclusief aardbevingseffecten

2. SAMENVATTING

Voor de uitgangspunten voor de berekeningen wordt verwezen naar Fugro memo 1212-0075-003.M03v2concept, 19 november 2014.

In tabel 1 en tabel 2 zijn de berekeningsresultaten samengevat.

Tabel 1: Berekeningsresultaten ruimtebeslag zonder aardbeving

Raai	variant	extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	totaal extra ruimtebeslag [m]
6 (km 38.0)	Huidige normering	7 (incl. verplaatsing sloot) [1)]	(STBU voldoet)	7
	Nieuwe normering	9	(STBU voldoet)	9
41 (km 34.5)	Huidige normering	19	(STBU voldoet)	19
	Nieuwe normering	31	(STBU voldoet)	31
61 (km 32.5)	Huidige normering	8	(STBU voldoet)	8
	Nieuwe normering	14	(STBU voldoet)	14
86 (km 30.0)	Huidige normering	11	(STBU voldoet)	11
	Nieuwe normering	20	(STBU voldoet)	20
106 (km 28.0)	Huidige normering	20	(STBU voldoet)	20
	Nieuwe normering	32	(STBU voldoet)	32

[1)] In tegenstelling tot de overige berekeningen is hier de kwelsloot wel opnieuw geschematiseerd. Bij het niet schematiseren van de kwelsloot zou geen berm meer nodig zijn.

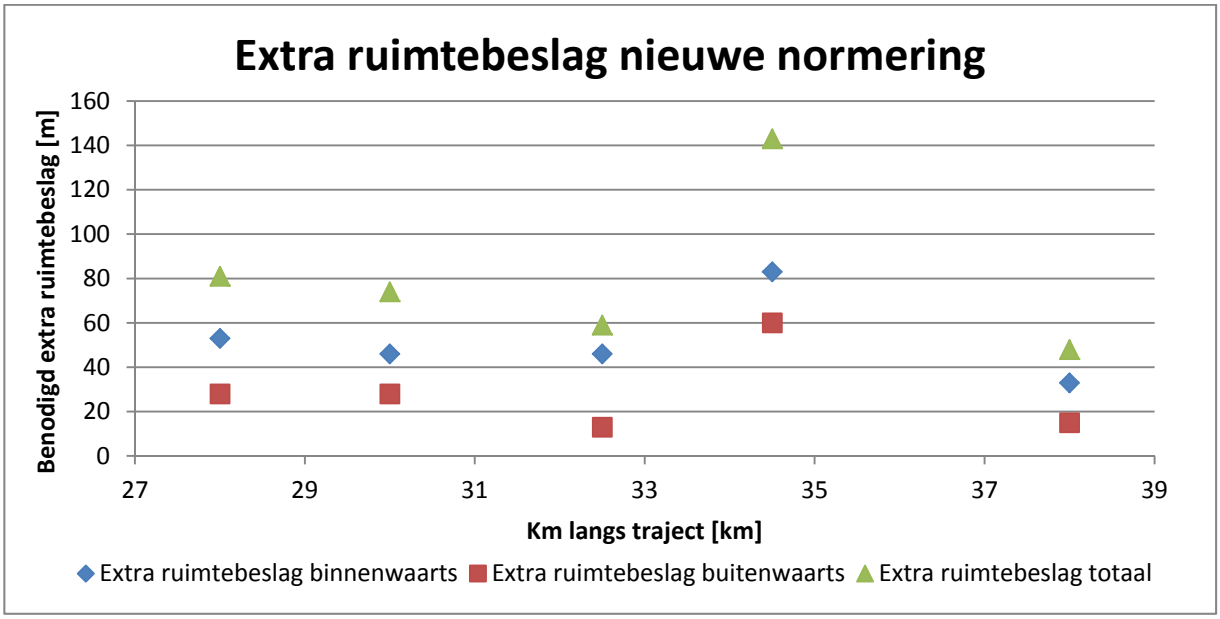
Uit tabel 1 blijkt dat zonder aardbevingsbelasting de versterking binnen de beschikbare ruimte is in te passen, met uitzondering van raai 106.

Tabel 2: Berekeningsresultaten ruimtebeslag met aardbeving

Raai	variant	extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	totaal extra ruimtebeslag [m]
6 (km 38.0)	Huidige normering	25	10	35
	Nieuwe normering	33	15	48
41 (km 34.5)	Huidige normering	69 [1)]	46 [1)]	115 [1)]
	Nieuwe normering	83 [1)]	60 [1)]	143 [1)]
61 (km 32.5)	Huidige normering	33	13	46
	Nieuwe normering	46	13	59
86 (km 30.0)	Huidige normering	30	18	48
	Nieuwe normering	46	28	74
106 (km 28.0)	Huidige normering	35	15	50
	Nieuwe normering	53	28	81

[1)] Het benodigd ruimtebeslag bij raai 41 is relatief groot vergeleken met de andere raai. Belangrijkste reden hiervoor is een relatief dikke humeuze kleilaag, waarvoor vooralsnog de eigenschappen van veen zijn toegepast. Dit kan mogelijk o.b.v. de nieuwe proevenverzameling worden aangescherpt.

In figuur 2 zijn de resultaten uit tabel 2 voor de nieuwe normering grafisch weergegeven.



Figuur 2: Berekend benodigd extra ruimtebeslag o.b.v. nieuwe normering

Indien het effect van de aardbevingsbelasting wordt meegenomen is de versterking niet overal inpasbaar meer in beschikbare ruimte. Een optie kan zijn om een constructieve oplossing toe te passen om binnen het beschikbare ruimtebeslag een oplossing te realiseren.

3. ONZEKERHEDEN EN KANTTEKENINGEN

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op een aantal relevante onzekerheden welke een belangrijke invloed op de berekeningsresultaten kunnen hebben.

3.1. Uitsluiten verweking

In de huidige analyses is ervan uitgegaan dat verweking uitgesloten wordt door grondverbetering en/of drainage. Hierbij is er van uit gegaan dat deze maatregelen geen ruimtebeslag innemen.

Geadviseerd wordt om de omvang van de verwekingsgevoelige gebieden en dikte van de verwekingsgevoelige lagen in gebiedsdekkend in kaart te brengen. Daarnaast dient nader onderzoek naar de haalbaarheid van dit uitgangspunt te worden uitgevoerd.

3.2. Onzekerheid in aardbevingsbelasting

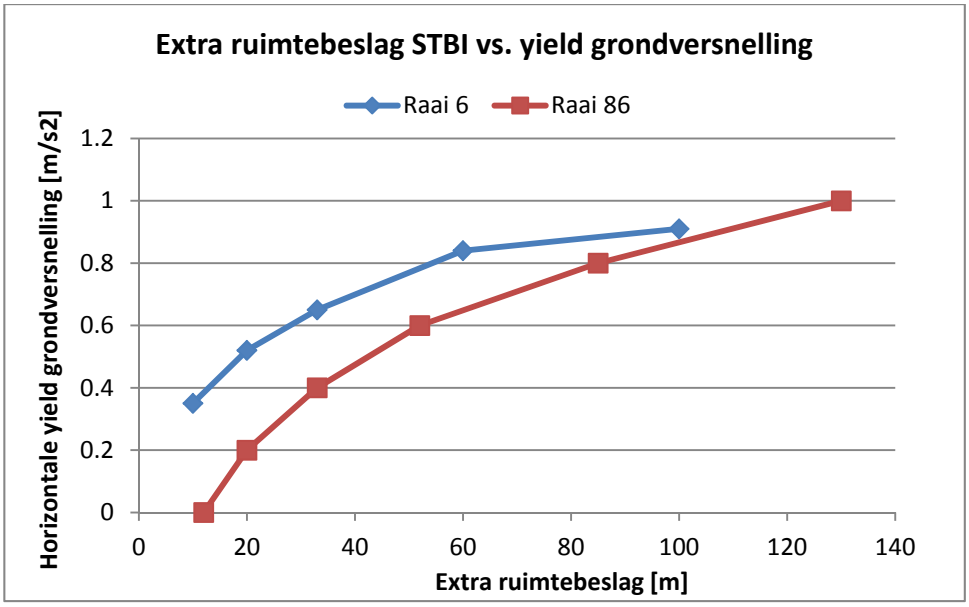
Twee belangrijke parameters in de bepaling van de aardbevingsbelasting zijn de invloedsfactor van deze belasting en de beschikbare faalkansruimte. Daarnaast speelt ook de vraag of de door het KNMI opgegeven zeer grote grondversnellingen (tot 10 m/s^2) fysisch wel mogelijk zijn. Voor de twee eerste parameters is de invloed in tabel 2 aangegeven. Het in de berekeningen toegepaste scenario is dik weergegeven.

Tabel 3: Verband tussen invloedsfactor, faalkansruimte en bijbehorende piek en yield grondversnellingen

Invloedsfactor	faalkansruimte	Terugkeertijd	Piek grondversnelling [1)]	Yield grondversnelling [2)]
[-]	[-]	[jaar]	[m/s2]	[m/s2]
0.9	0.04	19385	8.3	3.1
0.9	0.24	4470	6	1.6
0.7 [3)]	**0.04** [3)]	**790** [3)]	**3.7** [3)]	**0.6** [3)]
0.7	0.24	347	2.8	0.33

[1] Piek grondversnelling volgens gegevens KNMI
[2] Yield grondversnelling o.b.v. Newmark Sliding Block berekeningen uitgevoerd door Deltares. Dit is de ontwerpwaarde van de versnelling welke in de stabiliteitsanalyse moet worden toegepast waarbij voldaan moet worden aan de macrostabiliteitseisen. Weliswaar treden tijdens de ontwerpaardbeving hogere versnellingen op, maar de vervormingen die bij overschrijding van de yield grondversnelling optreden blijven voldoende laag.
[3] Toegepaste scenario bij de resultaten in tabel 1 en tabel 2

Het effect van de grondversnelling op het benodigd extra ruimtebeslag is voor raai 6 en 86 indicatief bepaald en in figuur 3 weergegeven. Let op, in deze grafiek is op de verticale as de *yield* grondversnelling weergegeven.



Figuur 3: Berekend benodigd extra ruimtebeslag bij verschillende horizontale grondversnellingen STBI raai 6 en 86

Conclusie is dat een yield grondversnelling van ca. 0,85 m/s^2 (piek grondversnelling ca. 4,5 m/s^2) het ruimtebeslag met een factor 2 toeneemt en bij een yield grondversnelling van ca. 0,3 m/s2 (piek grondversnelling ca. 3 m/s^2) deze halveert. De bermlengte is dus zeer gevoelig voor de gehanteerde ontwerpversnelling. Bij een yield grondversnelling groter dan ca. 0,85 m/s^2, of een piek grondversnelling ca. 4,5 m/s^2, neemt het ruimtebeslag dermate veel toe dat een oplossing in grond niet realistisch meer lijkt. Als oplossing kan dan gedacht worden aan een constructieve oplossing. Deze wordt echter naar verwachting wel erg zwaar.

Geadviseerd wordt om meer inzicht in de te hanteren aardbevingsbelastingen te verkrijgen.

3.3. Onzekerheid in grondparameters

Voor niet alle grondlagen zijn door Deltares grondparameters afgeleid. Met name het volumiek gewicht van de humeuze kleilaag is nu naar verwachting conservatief ingeschat. De resultaten dienen opnieuw beschouwd te worden als de nieuwe proevenverzameling gereed is. Met name voor raai 41 lijkt de invloed groot te zijn.

3.4. Onzekerheid in geohydrologie

Er zijn nauwelijks peilbuismetingen in de diepere zandlagen beschikbaar. Geadviseerd wordt om diepe peilbuizen te plaatsen om de respons in de diepere zandlagen te bepalen. In verband met diepe glijcirkels bij de aardbevingsberekeningen wordt de respons in deze laag mogelijk relevant.

Ter plaatse van raai 6 is relatief veel onzekerheid over het verloop van de freatische waterstand in verband met een afwijkende bodemopbouw. De oude kleidijk ligt hier aan de binnenzijde van de

waterkering. Ook hier wordt geadviseerd aanvullende peilbuizen/waterspanningsmeters te plaatsen.

4. OPLOSSINGEN

4.1. Versterking met grond

In de huidige analyses is er van uitgegaan dat het tekort aan binnenwaartste stabiliteit aan de binnenzijde wordt opgelost en het tekort aan buitenwaartse stabiliteit aan de buitenzijde. Als alternatief kan gekozen worden om de versterking geheel binnen- of geheel buitenwaarts uit te voeren. Bedacht moet worden dat hierbij de kruin van de dijk verschoven moet worden wat tot grote ophogingen en dientengevolge zettingen en uitvoeringsstabiliteitsproblemen kan leiden. Vanuit dit oogpunt lijkt de gekozen aanpak aantrekkelijker.

Belangrijk is om meer inzicht in de eigenschappen van de humeuze kleilaag te verkrijgen. Met name voor raai 41 zijn deze bepalend voor het benodigd ruimtebeslag. Ook wordt geadviseerd om meer inzicht in de respons in de diepe zandlagen op de buitenwaterstand te verkrijgen. Ter plaatse van raai 6 geldt dit ook voor de freatische waterstand.

Bij een horizontale piek grondversnelling hoger dan ca. 4,5 m/s^2 lijkt een grondoplossing niet meer haalbaar in verband met zeer grote bermbreedtes.

4.2. Constructieve oplossing

Indien voor een constructieve oplossing wordt gekozen dient aandacht te worden besteedt aan de volgende punten:

- Mogelijk kan de constructieve oplossing ook verweking voorkomen door het opsluiten van de verwekingsgevoelige lagen. Aan de andere kant kan verweking buiten de constructieve oplossing tot een sterke afname van de passieve weerstand leiden en dus tot zware damwandprofielen
- Bij hoge versnellingen zijn zeer flauwe taluds nodig om tot te voldoen aan macrostabiliteit. Een enkele damwand of onverankerde damwand in de teen of berm leidt dus alsnog tot een aanzienlijk ruimtebeslag. Een constructieve oplossing kan de benodigde ruimte wel sterk verminderen.
- De kerende hoogte van de wand wordt hierdoor wel aanzienlijk (orde 8 m, afhankelijk van in rekening te brengen restprofiel bij aardbevingsbelasting door verweking/versnelling), waardoor naar verwachting ook een zware constructie nodig zal zijn.

Geadviseerd wordt om de constructieve oplossing in ieder geval voor één doorsnede uit te werken om te kijken of een constructieve oplossing inderdaad ‘altijd’ een oplossing is als er geen berm kan worden toegepast.

Ook voor de constructieve oplossing is inzicht in de locatie en omvang van de verwekingsgevoelige lagen van belang.

Bijlage 2.6 Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode MEMO

ARCADIS NEDERLAND BV
Hanzelaan 286
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Tel +31 38 7777 700
Fax +31 38 7777 710
www.arcadis.nl

MEMO

Onderwerp:
Benodigde kruinhoogte halve zichtperiode

Zwolle,
19 januari 2015

Projectnummer:
C03011.000330.0100

Van:
Michiel van Reen

Opgesteld door:
Diederik Baron van Hogendorp

DIVISIE WATER & MILIEU

Afdeling:
Divisie Water & Milieu Zwolle

Ons kenmerk:
078297511:A

Aan:
Waterschap Noorderzijlvest, Bert de Wolff

Kopieën aan:
Kennisplatform

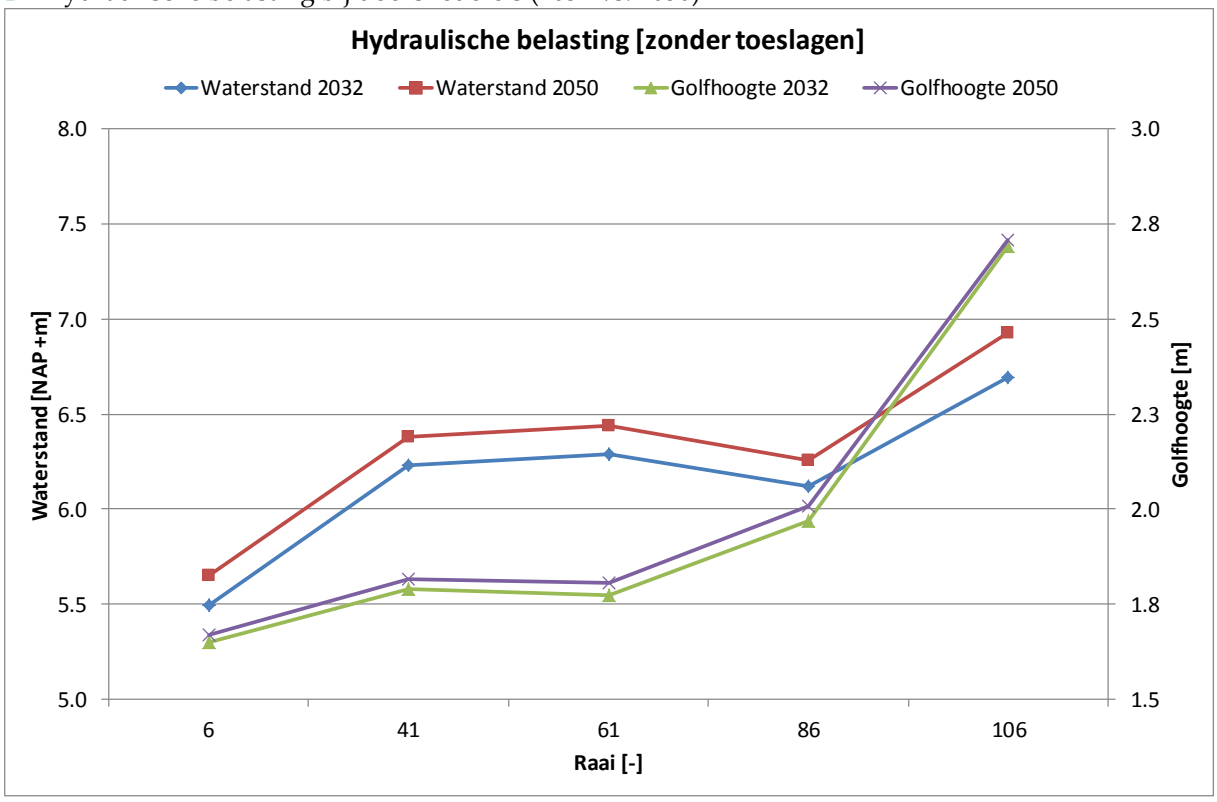
- Hydraulische belasting voor halve zichtperiode (±2030, periode tussen 2015-2050)
- Halvering zeespiegelstijging. Warm+ voor 2050 = 35 cm. Voor 2030 = 20 cm.
- Overslagdebiet: 1, 5 en 10 l/m/s
- Originele dijkprofielen
- Waterstanden bij afkeurkans (1/1.500 en 1/5.000)
- Benodigde kruinhoogte bij doorsnede eis. Gerekend met 10% toeslag op golfhoogte en golfperiode
- Geen overige toeslagen in benodigde kruinhoogte verwerkt

Resultaten

- Waterstand geotechnische faalmechanisme (afkeurkans)

WIn Afkeurkans	6	41	61	86	106
2032	5,03	5,75	5,65	5,77	6,18

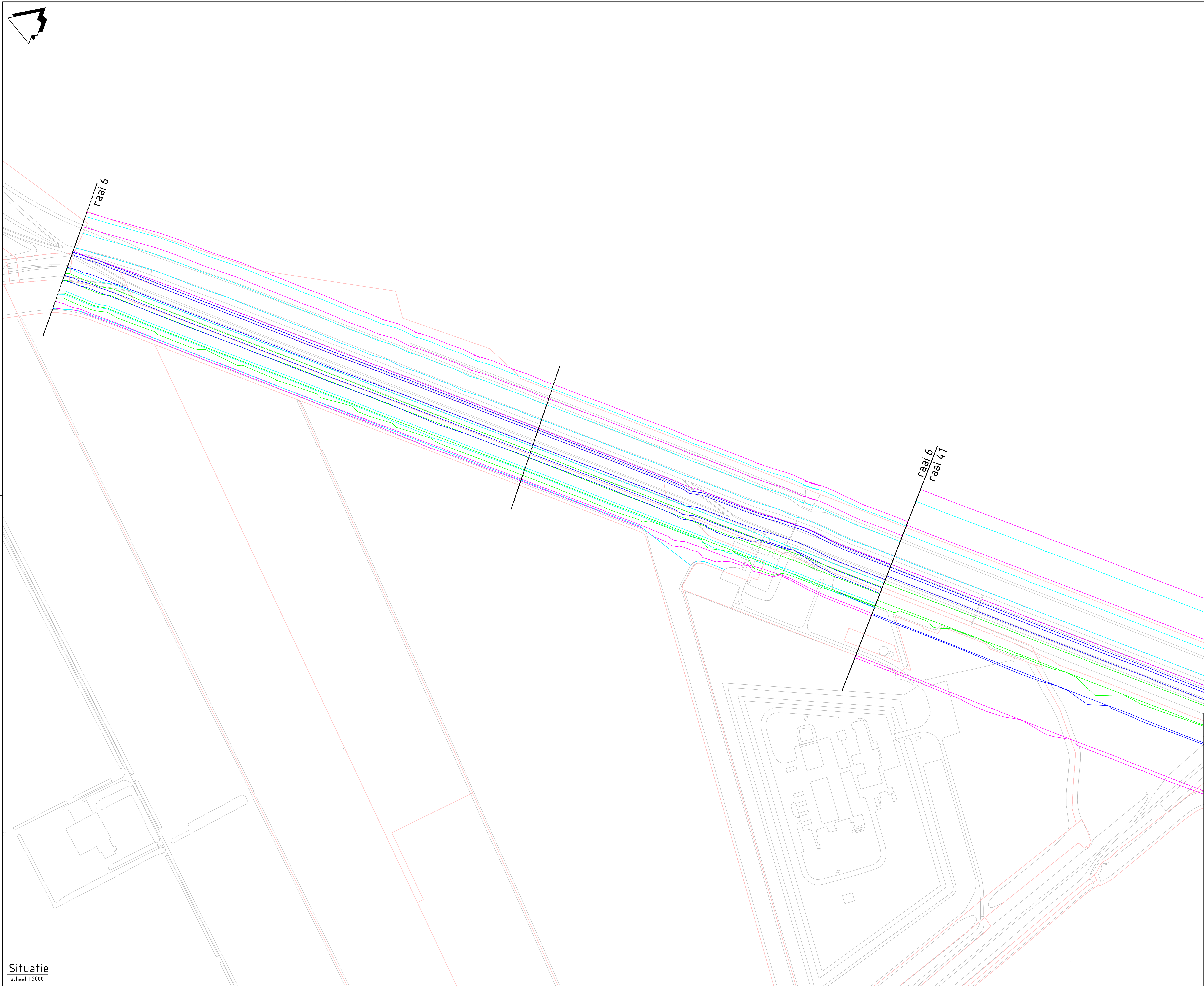
- Hydraulische belasting bij doorsnede-eis (2032 vs. 2050)



- Benodigde kruinhoogte berekend met PC-overslag

Kruinhoogte	1 l/m/s	5 l/m/s	10 l/m/s
RAAI 6	7.28	6.76	6.55
RAAI 41	8.33	7.77	7.54
RAAI 61	8.55	7.93	7.68
RAAI 86	8.23	7.70	7.48
RAAI 106	10.48	9.57	9.18

Bijlage 2.7 Ontwerp tekeningen

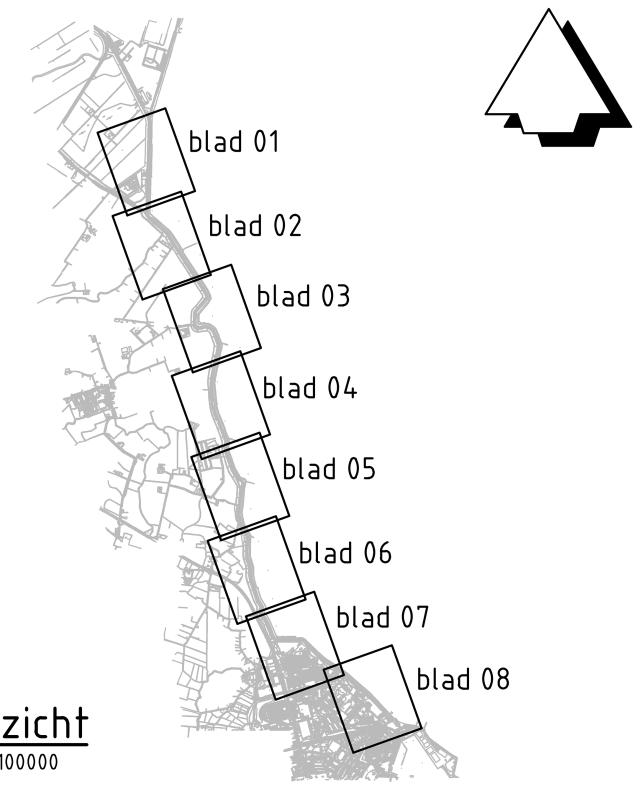


Situatie

schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht

schaal 1:100000

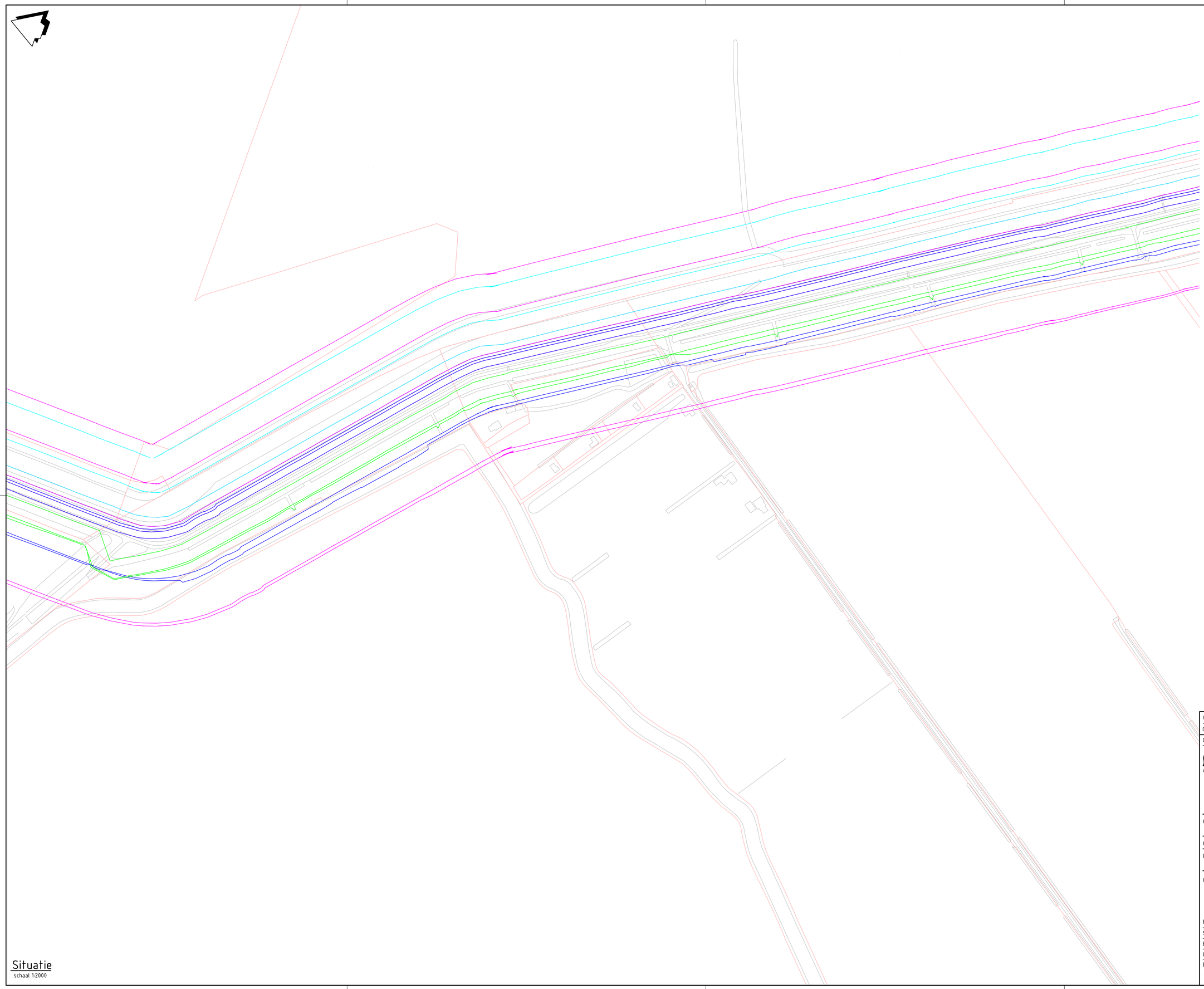
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl Iimpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer :		Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		01	A

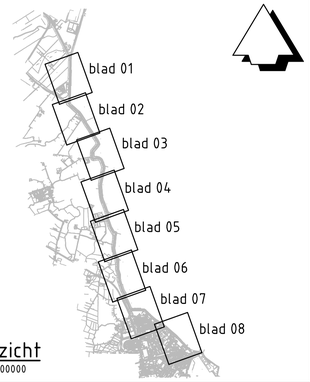
DocId: 078220169 : 4



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

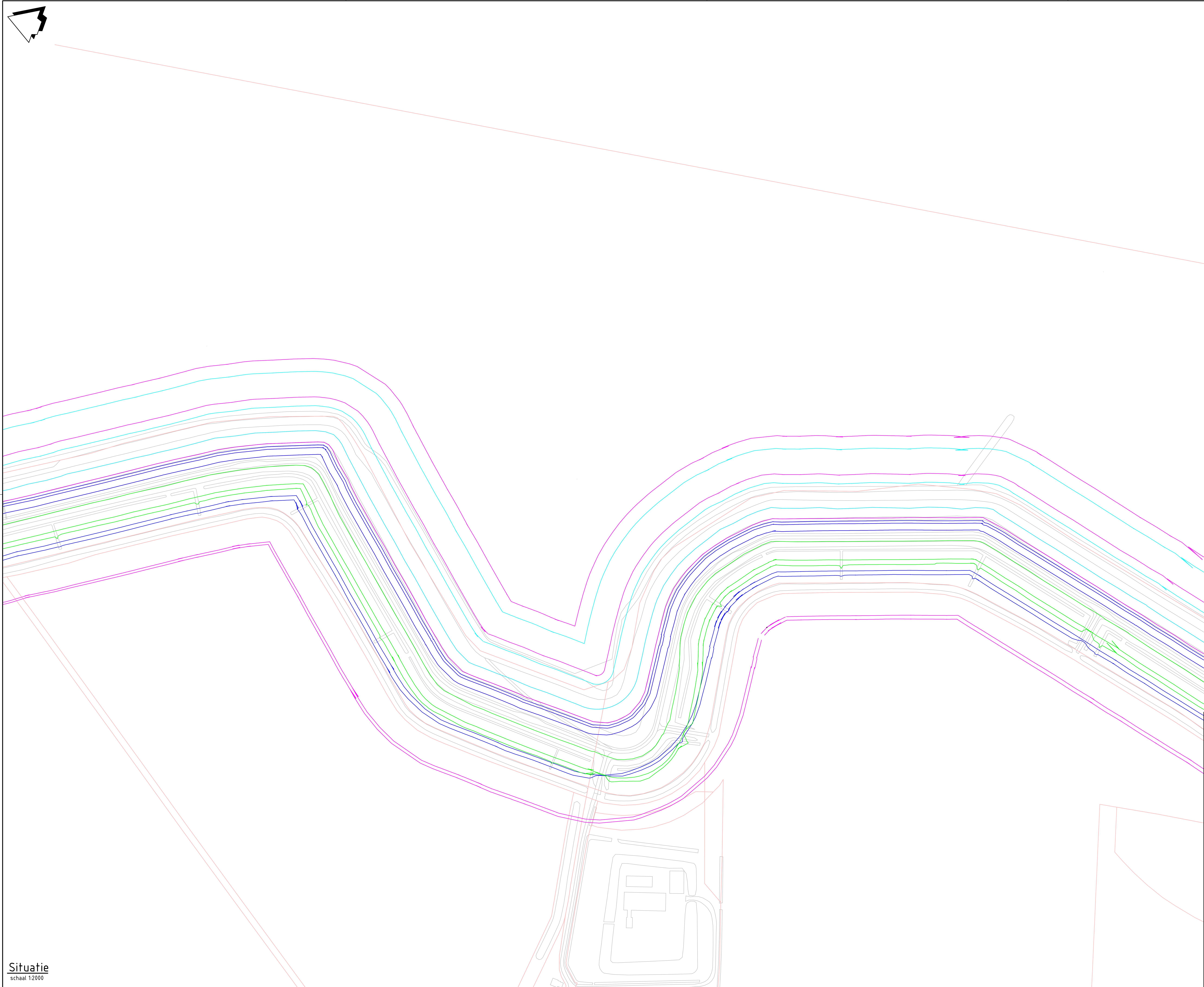
Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		02	A

Docid: 078220169 : 4

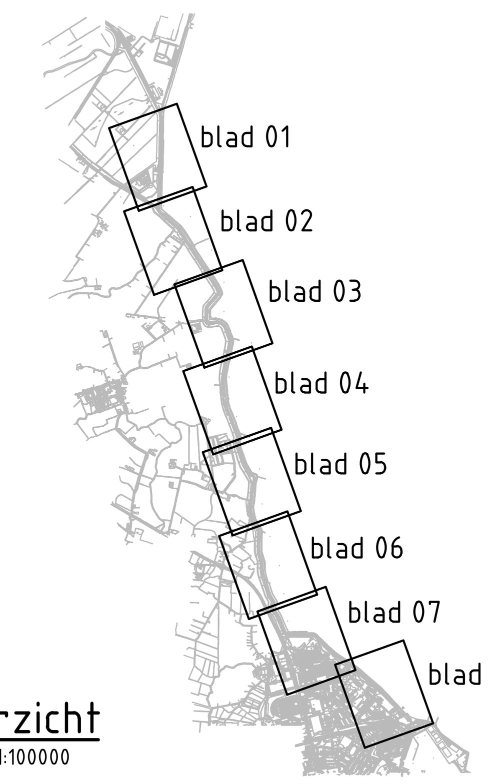


Situatie

schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht

schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

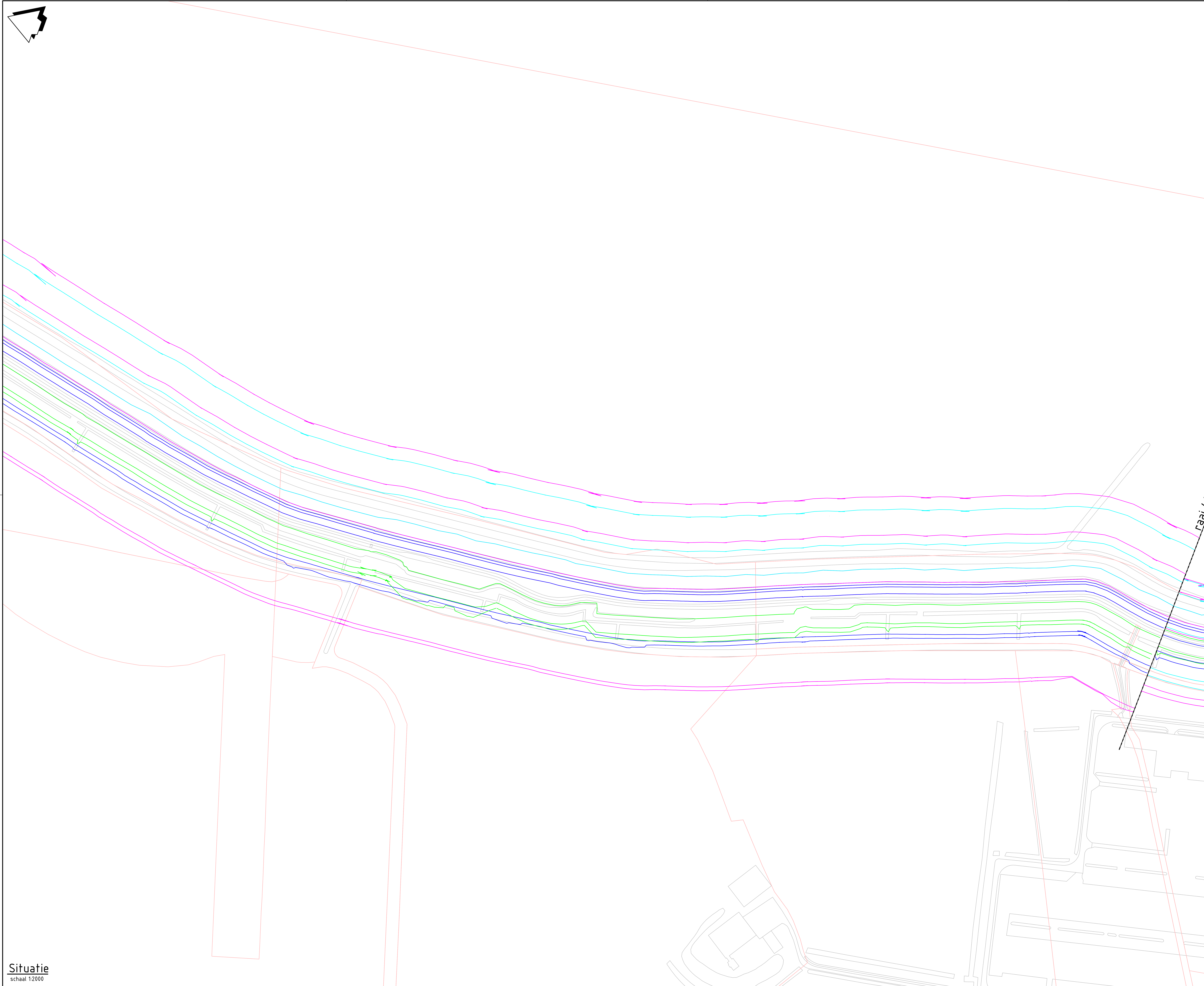
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie
Fase	: Voorontwerp

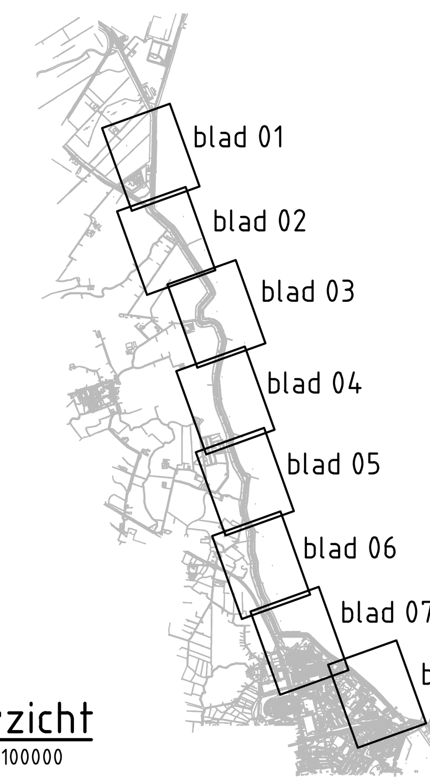
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer : C03011.000330.0100		Tekeningnummer : 03	Versie : A

DocId: 078220169 : 4



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
bestaande situatie
kadastrale grenzen
ontwerp spoor 1
ontwerp spoor 2
ontwerp spoor 3
ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

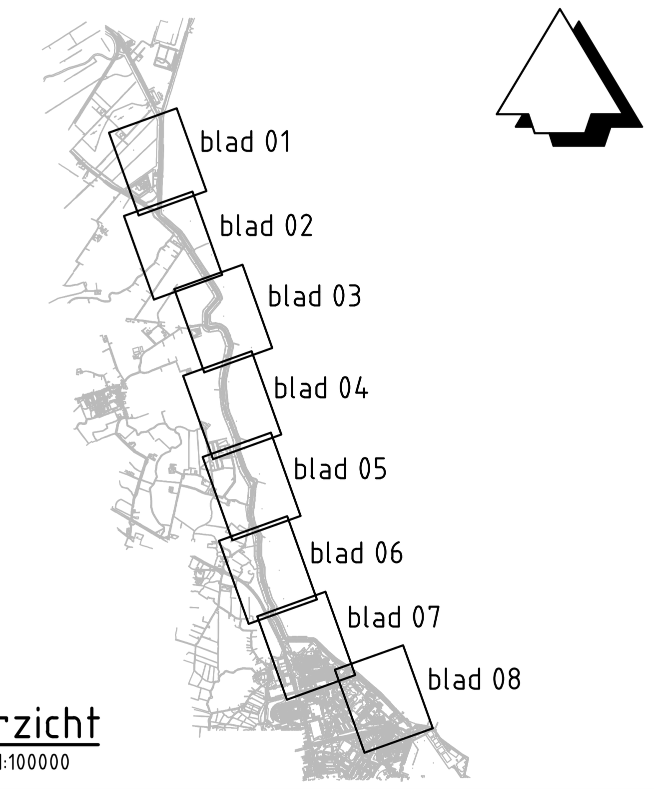
Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest		
Ontwerp	:		
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning		
Onderwerp	: Situatie		
Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		04	A

DocId: 078220169 : 4

Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl Iimpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie
Fase	: Voorontwerp

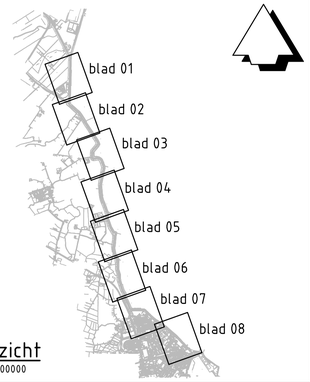
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		05	A

DocId: 078220169 : 4

Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Geconfroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

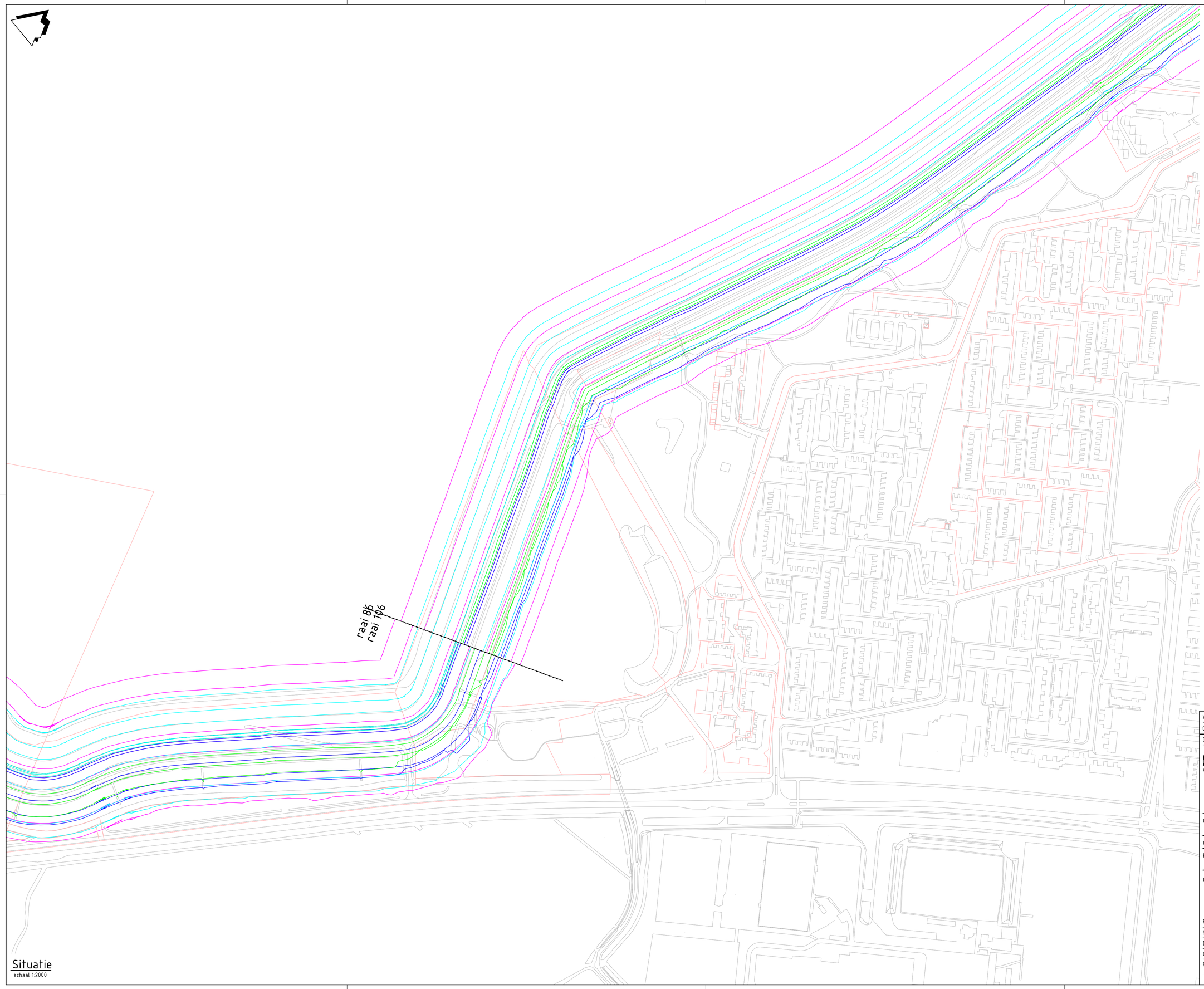
Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	: C03011.000330.0100	Tekeningnummer	: 06
Versie	: A		

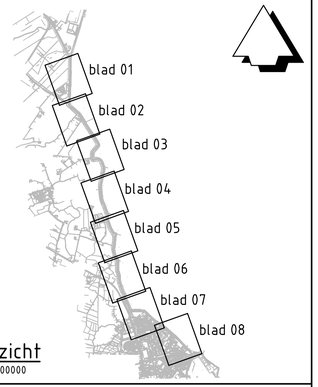
Docid: 07822016 9 4



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

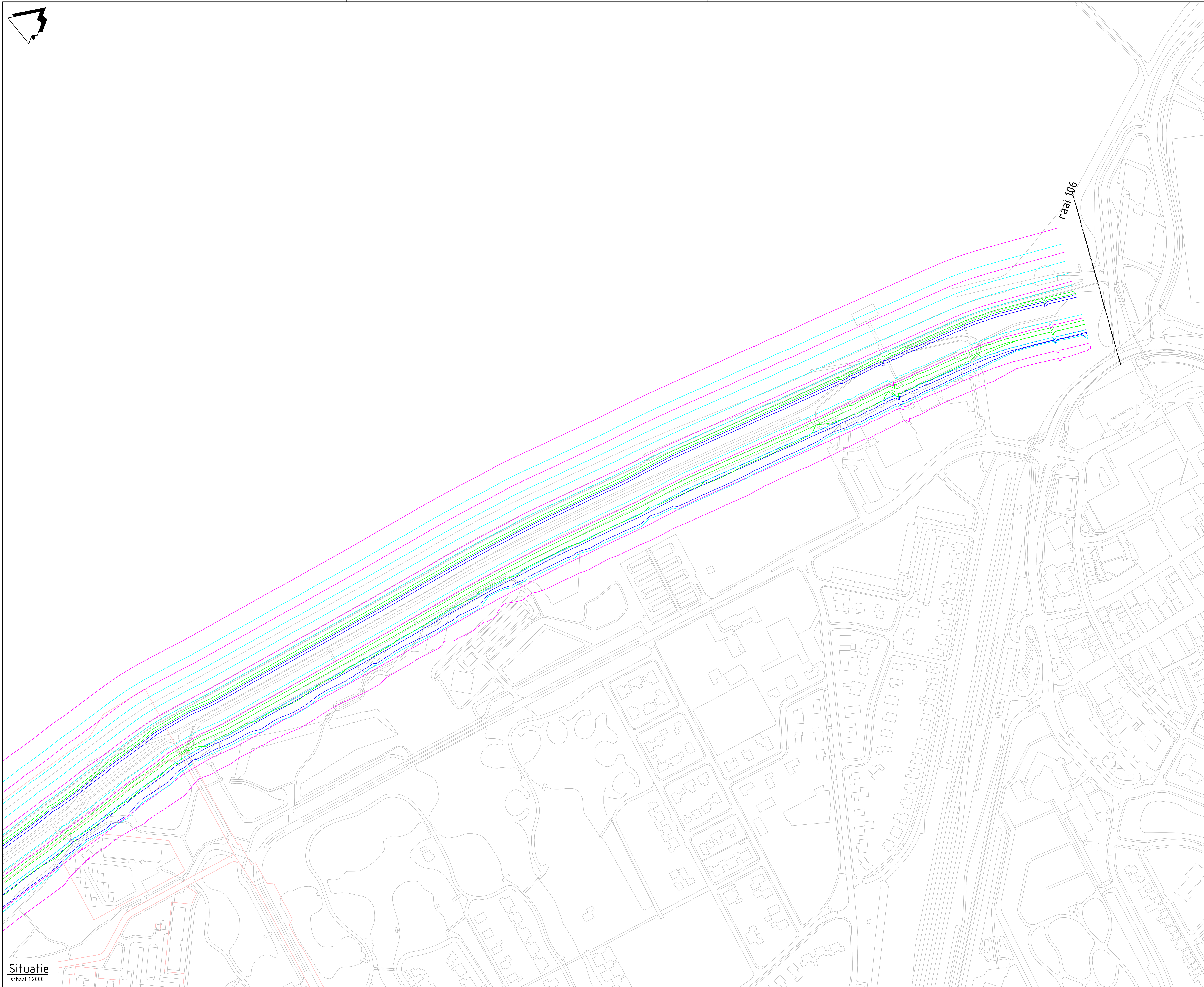
Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		07	A

Doc#: 078220169 : 4

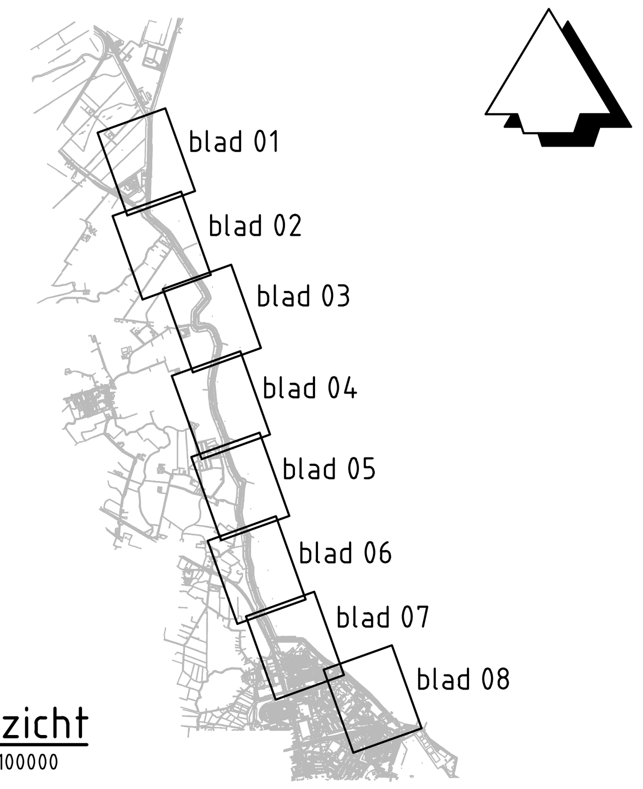


Situatie

schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht

schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer :	C03011.000330.0100	Tekeningnummer : 08	Versie : A

DocId: 078220169 : 4

binnenzijde

buitenzijde

Dwarsprofiel raai 6 spoor 1

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
1.38	-77.46
1.37	-63.20
0.22	-62.41
0.14	-61.62
0.01	-60.78
-0.03	-60.01
-2.19	-56.32
-2.24	-55.60
-2.43	-54.68
-2.48	-52.03
-2.30	-48.51
-2.30	-46.98
-2.31	-43.53
-1.98	-41.51
-1.57	-38.81
-0.79	-36.23
-0.42	-35.41
0.26	-33.90
1.14	-31.58
1.49	-27.72
2.62	-24.50
2.83	-23.90
3.84	-21.06
3.92	-19.87
4.05	-18.20
4.05	-16.40
4.06	-14.83
4.15	-13.98
4.25	-12.88
4.77	-11.16
5.33	-9.30
5.85	-7.53
6.65	-5.08
7.26	-2.59
7.60	-1.13
7.66	0.00
7.62	0.93
6.81	3.46
6.44	4.44
5.72	6.43
5.52	9.85
5.43	11.83
5.15	13.83
4.45	17.89
3.56	22.20
3.06	24.48
2.61	26.54
1.83	30.11
0.82	34.91
0.49	36.52
0.20	38.22
0.15	38.84
-0.11	43.83
-0.13	45.49
-0.18	54.51
-0.18	55.05
-0.18	56.12
-0.19	59.27

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 41 spoor 1

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.50	-125.83
0.50	-97.23
0.50	-94.26
0.50	-93.06
0.50	-92.02
0.50	-90.78
0.50	-85.15
0.00	-83.29
-0.44	-81.72
-1.26	-80.77
-1.79	-79.83
-1.84	-79.28
-1.16	-73.73
-0.36	-72.29
-0.35	-71.43
-0.41	-66.94
-0.37	-63.19
-0.28	-54.09
-0.24	-49.92
-0.16	-40.93
-0.20	-37.53
-0.36	-36.37
-1.13	-35.03
-0.57	-34.18
-0.24	-33.68
-0.01	-32.61
0.96	-28.82
1.76	-25.72
1.80	-25.21
1.95	-22.60
1.98	-21.86
2.04	-18.99
2.10	-18.08
2.22	-16.34
2.71	-15.12
3.97	-12.18
5.29	-8.95
6.71	-5.38
7.29	-3.55
7.98	-1.49
8.11	-0.51
8.14	0.00
8.04	1.30
7.36	2.94
6.35	5.75
5.73	9.82
5.27	13.23
4.66	16.28
4.25	18.35
3.58	21.94
2.07	29.72
0.44	36.13
0.34	38.22
0.13	51.44
0.09	53.47
-0.02	61.93

binnenzijde

buitenzijde

Dwarsprofiel raai 61 spoor 1

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.52	-96.67
0.49	-88.18
0.44	-83.09
0.17	-81.56
-0.20	-79.58
-0.04	-78.01
-1.00	-76.73
-1.42	-75.97
-1.47	-71.34
-1.08	-69.91
-0.36	-68.58
-0.38	-63.20
-0.41	-57.82
-0.39	-53.87
-0.38	-46.65
-0.28	-39.73
-0.28	-36.64
-1.01	-35.85
-1.26	-35.08
-0.17	-33.62
0.08	-32.00
0.18	-31.32
0.93	-28.33
1.91	-24.87
2.05	-23.08
2.13	-21.77
2.15	-20.32
2.21	-18.06
2.33	-16.28
3.74	-13.03
4.06	-12.28
5.51	-8.61
6.70	-5.58
6.97	-4.81
8.03	-1.26
8.06	-0.70
8.07	0.00
8.08	1.26
7.18	3.50
6.95	4.16
6.07	6.76
5.09	15.24
3.82	22.34
3.28	24.64
2.38	28.42
1.91	30.12
0.18	36.45
0.04	46.73
0.03	47.98
0.03	48.51
0.03	52.08

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 86 spoor 1

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.11	-146.64
0.13	-139.59
0.19	-129.57
0.20	-128.04
0.21	-116.46
0.22	-113.50
0.26	-100.99
0.29	-96.88
0.29	-95.81
0.23	-94.19
-0.26	-79.22
-1.18	-77.48
-1.40	-71.62
-1.01	-70.89
-0.57	-69.98
-0.52	-68.32
-0.48	-66.58
-0.35	-55.80
-0.31	-51.94
-0.24	-40.61
-0.23	-38.98
-0.30	-37.27
-0.49	-35.49
-1.05	-34.69
-0.31	-33.77
-0.26	-33.21
-0.13	-30.68
0.41	-29.23
0.93	-27.68
1.57	-25.57
1.87	-24.58
1.97	-23.69
2.02	-22.97
2.05	-22.13
2.07	-20.06
2.09	-18.75
2.25	-16.74
2.97	-14.86
3.71	-12.74
4.28	-11.18
6.16	-6.02
6.84	-3.93
7.61	-1.41
7.59	0.00
7.61	1.41
7.15	2.78
6.83	3.78
6.27	5.31
6.11	5.89
5.66	9.59
5.55	10.39
5.40	11.27
4.79	15.67
4.63	16.41
3.29	22.40
3.10	23.42
2.55	26.71
2.30	31.07
1.87	36.99
1.72	41.84
1.69	43.13
1.74	44.07
1.45	44.68
0.20	47.46
0.15	50.21

binnenzijde

buitenzijde

Dwarsprofiel raai 106 spoor 1

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
1.18	-97.64
1.24	-94.95
1.22	-94.27
0.37	-88.71
-0.59	-84.69
-0.85	-74.72
-0.87	-74.10
-0.93	-48.52
-0.93	-47.58
-0.92	-45.50
-1.35	-44.06
-1.63	-43.30
-2.05	-42.76
-2.04	-39.05
-2.32	-37.71
-1.97	-36.79
-1.50	-35.80
-0.89	-34.63
1.81	-26.09
2.13	-25.09
2.36	-22.42
2.43	-19.35
2.64	-16.72
2.94	-15.97
6.35	-7.32
8.03	-1.55
8.08	-0.56
8.09	0.00
7.97	1.55
6.66	5.55
6.48	6.37
5.34	13.88
3.76	23.04
3.67	23.56
3.38	25.25
3.01	27.35
1.91	31.70
1.70	32.75
1.61	33.36
1.33	34.50
0.90	37.50
0.75	39.17
0.12	41.16
0.02	42.08
-0.07	46.49
-0.08	48.37
-0.11	53.19
-0.12	55.60
-0.14	56.48
-0.13	57.01
-0.15	57.61

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS

Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl Iimpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Dwarsprofielen spoor 1

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		09	A

Docid: 078220169 : 4

Dwarsprofiel raai 6 spoor 2

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	1.38	1.37	0.22	0.14	0.01	-0.03	-2.19	-2.24	-2.43	-2.48	-2.30	-2.30	-2.31	-1.98	-1.57	-0.79	-0.42	0.26	1.14	1.49	2.62	2.83	3.84	3.92	4.05	4.05	4.06	4.15	4.25	4.77	5.33	5.85	6.65	7.26	7.60	7.66	7.62	6.81	6.44	5.72	5.52	5.43	5.15	4.45	3.56	3.06	2.61	1.83	0.82	0.49	0.20	0.15	-0.11	-0.13	-0.18	-0.18	-0.18	-0.19
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-77.46	-63.20	-62.41	-61.62	-60.78	-60.01	-56.32	-55.60	-54.68	-52.03	-48.51	-46.98	-43.53	-41.51	-38.81	-36.23	-35.41	-33.90	-31.58	-27.72	-24.50	-23.90	-21.06	-19.87	-18.20	-16.40	-14.83	-13.98	-12.88	-11.16	-9.30	-7.53	-5.08	-2.59	-1.13	0.00	0.93	3.46	4.44	6.43	9.85	11.83	13.83	17.89	22.20	24.48	26.54	30.11	34.91	36.52	38.22	38.84	43.83	45.49	54.51	55.05	56.12	59.27

Dwarsprofiel raai 41 spoor 2

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	-0.44	-1.26	-1.79	-1.84	-1.16	-0.36	-0.35	-0.41	-0.37	-0.28	-0.24	-0.16	-0.20	-0.36	-1.13	-0.57	-0.24	-0.01	0.96	1.76	1.80	1.95	1.98	2.04	2.10	2.22	2.71	3.97	5.29	6.71	7.29	7.98	8.11	8.14	8.04	7.36	6.35	5.73	5.27	4.66	4.25	3.58	2.07	0.44	0.34	0.13	0.09	-0.02	-0.20	-0.34	-0.37
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-125.83	-97.23	-94.26	-93.06	-92.02	-90.78	-85.15	-83.29	-81.72	-80.77	-79.83	-79.28	-73.73	-72.29	-71.43	-66.94	-63.19	-54.09	-49.92	-40.93	-37.53	-36.37	-35.03	-34.18	-33.68	-32.61	-28.82	-25.72	-25.21	-22.60	-21.86	-18.99	-18.08	-16.34	-15.12	-12.18	-8.95	-5.38	-3.55	-1.49	-0.51	0.00	1.30	2.94	5.75	9.82	13.23	16.28	18.35	21.94	29.72	36.13	38.22	51.44	53.47	61.93	75.54	77.02	78.14

Dwarsprofiel raai 61 spoor 2

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	0.52	0.49	0.44	0.17	-0.20	-0.04	-1.00	-1.42	-1.47	-1.08	-0.36	-0.38	-0.41	-0.39	-0.38	-0.28	-0.28	-1.01	-1.26	-0.17	0.08	0.18	0.93	1.91	2.05	2.13	2.15	2.21	2.33	3.74	4.06	5.51	6.70	6.97	8.03	8.06	8.07	8.08	7.18	6.95	6.07	5.09	3.82	3.28	2.38	1.91	0.18	0.04	0.03	0.03	0.03
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-96.67	-88.18	-83.09	-81.56	-79.58	-78.01	-76.73	-75.97	-71.34	-69.91	-68.58	-63.20	-57.82	-53.87	-46.65	-39.73	-36.64	-35.85	-35.08	-33.62	-32.00	-31.32	-28.33	-24.87	-23.08	-21.77	-20.32	-18.06	-16.28	-13.03	-12.28	-8.61	-5.58	-4.81	-1.26	-0.70	0.00	1.26	3.50	4.16	6.76	15.24	22.34	24.64	28.42	30.12	36.45	46.73	47.98	48.51	52.08

Dwarsprofiel raai 86 spoor 2

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	0.11	0.13	0.19	0.20	0.21	0.22	0.26	0.29	0.29	0.23	-0.26	-1.18	-1.40	-1.01	-0.57	-0.52	-0.48	-0.35	-0.31	-0.24	-0.23	-0.30	-0.49	-1.05	-0.31	-0.26	-0.13	0.41	0.93	1.57	1.87	1.97	2.02	2.05	2.07	2.09	2.25	2.97	3.71	4.28	6.16	6.84	7.61	7.59	7.61	7.15	6.83	6.27	6.11	5.66	5.55	5.40	4.79	4.63	3.29	3.10	2.55	2.30	1.87	1.72	1.69	1.74	1.45	0.20	0.15
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-146.64	-139.59	-129.57	-128.04	-116.46	-113.50	-100.99	-96.88	-95.81	-94.19	-79.22	-77.48	-71.62	-70.89	-69.98	-68.32	-66.58	-55.80	-51.94	-40.61	-38.98	-37.27	-35.49	-34.69	-33.77	-33.21	-30.68	-29.23	-27.68	-25.57	-24.58	-23.69	-22.97	-22.13	-20.06	-18.75	-16.74	-14.86	-12.74	-11.18	-6.02	-3.93	-1.41	0.00	1.41	2.78	3.78	5.31	5.89	9.59	10.39	11.27	15.67	16.41	22.40	23.42	26.71	31.07	36.99	41.84	43.13	44.07	44.68	47.46	50.21

Dwarsprofiel raai 106 spoor 2

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	1.18	1.24	1.22	0.37	-0.59	-0.85	-0.87	-0.93	-0.93	-0.92	-1.35	-1.63	-2.05	-2.04	-2.32	-1.97	-1.50	-0.89	1.81	2.13	2.36	2.43	2.64	2.94	6.35	8.03	8.08	8.09	7.97	6.66	6.48	5.34	3.76	3.67	3.38	3.01	1.91	1.70	1.61	1.33	0.90	0.75	0.12	0.02	-0.07	-0.08	-0.11	-0.12	-0.14	-0.13	-0.15
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-97.64	-94.95	-94.27	-88.71	-84.69	-74.72	-74.10	-48.52	-47.58	-45.50	-44.06	-43.30	-42.76	-39.05	-37.71	-36.79	-35.80	-34.63	-26.09	-25.09	-22.42	-19.35	-16.72	-15.97	-7.32	-1.55	-0.56	0.00	1.55	5.55	6.37	13.88	23.04	23.56	25.25	27.35	31.70	32.75	33.36	34.50	37.50	39.17	41.16	42.08	46.49	48.37	53.19	55.60	56.48	57.01	57.61

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Dwarsprofielen spoor 2

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		10	A

Docid: 078220169 : 4

binnenzijde

buitenzijde

Dwarsprofiel raai 6 spoor 3

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
1.38	-77.46
1.37	-63.20
0.22	-62.41
0.14	-61.62
0.01	-60.78
-0.03	-60.01
-2.19	-56.32
-2.24	-55.60
-2.43	-54.68
-2.48	-52.03
-2.30	-48.51
-2.30	-46.98
-2.31	-43.53
-1.98	-41.51
-1.57	-38.81
-0.79	-36.23
-0.42	-35.41
0.26	-33.90
1.14	-31.58
1.49	-27.72
2.62	-24.50
2.83	-23.90
3.84	-21.06
3.92	-19.87
4.05	-18.20
4.05	-16.40
4.06	-14.83
4.15	-13.98
4.25	-12.88
4.77	-11.16
5.33	-9.30
5.85	-7.53
6.65	-5.08
7.26	-2.59
7.60	-1.13
7.66	0.00
7.62	0.93
6.81	3.46
6.44	4.44
5.72	6.43
5.52	9.85
5.43	11.83
5.15	13.83
4.45	17.89
3.56	22.20
3.06	24.48
2.61	26.54
1.83	30.11
0.82	34.91
0.49	36.52
0.20	38.22
0.15	38.84
-0.11	43.83
-0.13	45.49
-0.18	54.51
-0.18	55.05
-0.18	56.12
-0.19	59.27

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 41 spoor 3

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.50	-125.83
0.50	-97.23
0.50	-94.26
0.50	-93.06
0.50	-92.02
0.50	-90.78
0.50	-85.15
0.00	-83.29
-0.44	-81.72
-1.26	-80.77
-1.79	-79.83
-1.84	-79.28
-1.16	-73.73
-0.36	-72.29
-0.35	-71.43
-0.41	-66.94
-0.37	-63.19
-0.28	-54.09
-0.24	-49.92
-0.16	-40.93
-0.20	-37.53
-0.36	-36.37
-1.13	-35.03
-0.57	-34.18
-0.24	-33.68
-0.01	-32.61
0.96	-28.82
1.76	-25.72
1.80	-25.21
1.95	-22.60
1.98	-21.86
2.04	-18.99
2.10	-18.08
2.22	-16.34
2.71	-15.12
3.97	-12.18
5.29	-8.95
6.71	-5.38
7.29	-3.55
7.98	-1.49
8.11	-0.51
8.14	0.00
8.04	1.30
7.36	2.94
6.35	5.75
5.73	9.82
5.27	13.23
4.66	16.28
4.25	18.35
3.58	21.94
2.07	29.72
0.44	36.13
0.34	38.22
0.13	51.44
0.09	53.47
-0.02	61.93

binnenzijde

buitenzijde

Dwarsprofiel raai 61 spoor 3

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.52	-96.67
0.49	-88.18
0.44	-83.09
0.17	-81.56
-0.20	-79.58
-0.04	-78.01
-1.00	-76.73
-1.42	-75.97
-1.47	-71.34
-1.08	-69.91
-0.36	-68.58
-0.38	-63.20
-0.41	-57.82
-0.39	-53.87
-0.38	-46.65
-0.28	-39.73
-0.28	-36.64
-1.01	-35.85
-1.26	-35.08
-0.17	-33.62
0.08	-32.00
0.18	-31.32
0.93	-28.33
1.91	-24.87
2.05	-23.08
2.13	-21.77
2.15	-20.32
2.21	-18.06
2.33	-16.28
3.74	-13.03
4.06	-12.28
5.51	-8.61
6.70	-5.58
6.97	-4.81
8.03	-1.26
8.06	-0.70
8.07	0.00
8.08	1.26
7.18	3.50
6.95	4.16
6.07	6.76
5.09	15.24
3.82	22.34
3.28	24.64
2.38	28.42
1.91	30.12
0.18	36.45
0.04	46.73
0.03	47.98
0.03	48.51
0.03	52.08

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 86 spoor 3

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.11	-146.64
0.13	-139.59
0.19	-129.57
0.20	-128.04
0.21	-116.46
0.22	-113.50
0.26	-100.99
0.29	-96.88
0.29	-95.81
0.23	-94.19
-0.26	-79.22
-1.18	-77.48
-1.40	-71.62
-1.01	-70.89
-0.57	-69.98
-0.52	-68.32
-0.48	-66.58
-0.35	-55.80
-0.31	-51.94
-0.24	-40.61
-0.23	-38.98
-0.30	-37.27
-0.49	-35.49
-1.05	-34.69
-0.31	-33.77
-0.26	-33.21
-0.13	-30.68
0.41	-29.23
0.93	-27.68
1.57	-25.57
1.87	-24.58
1.97	-23.69
2.02	-22.97
2.05	-22.13
2.07	-20.06
2.09	-18.75
2.25	-16.74
2.97	-14.86
3.71	-12.74
4.28	-11.18
6.16	-6.02
6.84	-3.93
7.61	-1.41
7.59	0.00
7.61	1.41
7.15	2.78
6.83	3.78
6.27	5.31
6.11	5.89
5.66	9.59
5.55	10.39
5.40	11.27
4.79	15.67
4.63	16.41
3.29	22.40
3.10	23.42
2.55	26.71
2.30	31.07
1.87	36.99
1.72	41.84
1.69	43.13
1.74	44.07
1.45	44.68
0.20	47.46
0.15	50.21

binnenzijde

buitenzijde

Dwarsprofiel raai 106 spoor 3

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
1.18	-97.64
1.24	-94.95
1.22	-94.27
0.37	-88.71
-0.59	-84.69
-0.85	-74.72
-0.87	-74.10
-0.93	-48.52
-0.93	-47.58
-0.92	-45.50
-1.35	-44.06
-1.63	-43.30
-2.05	-42.76
-2.04	-39.05
-2.32	-37.71
-1.97	-36.79
-1.50	-35.80
-0.89	-34.63
1.81	-26.09
2.13	-25.09
2.36	-22.42
2.43	-19.35
2.64	-16.72
2.94	-15.97
6.35	-7.32
8.03	-1.55
8.08	-0.56
8.09	0.00
7.97	1.55
6.66	5.55
6.48	6.37
5.34	13.88
3.76	23.04
3.67	23.56
3.38	25.25
3.01	27.35
1.91	31.70
1.70	32.75
1.61	33.36
1.33	34.50
0.90	37.50
0.75	39.17
0.12	41.16
0.02	42.08
-0.07	46.49
-0.08	48.37
-0.11	53.19
-0.12	55.60
-0.14	56.48
-0.13	57.01
-0.15	57.61

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl Iimpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Dwarsprofielen spoor 3

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		11	A

Docid: 078220169:4

Dwarsprofiel raai 6 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-77.46	1.38
-63.20	1.37
-62.41	0.22
-61.62	0.14
-60.78	0.01
-60.01	-0.03
-56.32	-2.19
-55.60	-2.24
-54.68	-2.43
-52.03	-2.48
-48.51	-2.30
-46.98	-2.30
-43.53	-2.31
-41.51	-1.98
-38.81	-1.57
-36.23	-0.79
-35.41	-0.42
-33.90	0.26
-31.58	1.14
-27.72	1.49
-24.50	2.62
-23.90	2.83
-21.06	3.84
-19.87	3.92
-18.20	4.05
-16.40	4.05
-14.83	4.06
-13.98	4.15
-12.88	4.25
-11.16	4.77
-9.30	5.33
-7.53	5.85
-5.08	6.65
-2.59	7.26
-1.13	7.60
0.00	7.66
0.93	7.62
3.46	6.81
4.44	6.44
6.43	5.72
9.85	5.52
11.83	5.43
13.83	5.15
17.89	4.45
22.20	3.56
24.48	3.06
26.54	2.61
30.11	1.83
34.91	0.82
36.52	0.49
38.22	0.20
38.84	0.15
43.83	-0.11
45.49	-0.13
54.51	-0.18
55.05	-0.18
56.12	-0.18
59.27	-0.19

Dwarsprofiel raai 41 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-125.83	0.50
-97.23	0.50
-94.26	0.50
-93.06	0.50
-92.02	0.50
-90.78	0.50
-85.15	0.50
-83.29	0.00
-81.72	-0.44
-80.77	-1.26
-79.83	-1.79
-79.28	-1.84
-73.73	-1.16
-72.29	-0.36
-71.43	-0.35
-66.94	-0.41
-63.19	-0.37
-54.09	-0.28
-49.92	-0.24
-40.93	-0.16
-37.53	-0.20
-36.37	-0.36
-35.03	-1.13
-34.18	-0.57
-33.68	-0.24
-32.61	-0.01
-28.82	0.96
-25.72	1.76
-25.21	1.80
-22.60	1.95
-21.86	1.98
-18.99	2.04
-18.08	2.10
-16.34	2.22
-15.12	2.71
-12.18	3.97
-8.95	5.29
-5.38	6.71
-3.55	7.29
-1.49	7.98
-0.51	8.11
0.00	8.14
1.30	8.04
2.94	7.36
5.75	6.35
9.82	5.73
13.23	5.27
16.28	4.66
18.35	4.25
21.94	3.58
29.72	2.07
36.13	0.44
38.22	0.34
51.44	0.13
53.47	0.09
61.93	-0.02
75.54	-0.20
77.02	-0.34
78.14	-0.37

Dwarsprofiel raai 61 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-96.67	0.52
-88.18	0.49
-83.09	0.44
-81.56	0.17
-79.58	-0.20
-78.01	-0.04
-76.73	-1.00
-75.97	-1.42
-71.34	-1.47
-69.91	-1.08
-68.58	-0.36
-63.20	-0.38
-57.82	-0.41
-53.87	-0.39
-46.65	-0.38
-39.73	-0.28
-36.64	-0.28
-35.85	-1.01
-35.08	-1.26
-33.62	-0.17
-32.00	0.08
-31.32	0.18
-28.33	0.93
-24.87	1.91
-23.08	2.05
-21.77	2.13
-20.32	2.15
-18.06	2.21
-16.28	2.33
-13.03	3.74
-12.28	4.06
-8.61	5.51
-5.58	6.70
-4.81	6.97
-1.26	8.03
-0.70	8.06
0.00	8.07
1.26	8.08
3.50	7.18
4.16	6.95
6.76	6.07
15.24	5.09
22.34	3.82
24.64	3.28
28.42	2.38
30.12	1.91
36.45	0.18
46.73	0.04
47.98	0.03
48.51	0.03
52.08	0.03

Dwarsprofiel raai 86 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-79.22	-0.26
-77.48	-1.18
-71.62	-1.40
-70.89	-1.01
-69.98	-0.57
-68.32	-0.52
-66.58	-0.48
-55.80	-0.35
-51.94	-0.31
-40.61	-0.24
-38.98	-0.23
-37.27	-0.30
-35.49	-0.49
-34.69	-1.05
-33.77	-0.31
-33.21	-0.26
-30.68	-0.13
-29.23	0.41
-27.68	0.93
-25.57	1.57
-24.58	1.87
-23.69	1.97
-22.97	2.02
-22.13	2.05
-20.06	2.07
-18.75	2.09
-16.74	2.25
-14.86	2.97
-12.74	3.71
-11.18	4.28
-6.02	6.16
-3.93	6.84
-1.41	7.61
0.00	7.59
1.41	7.61
2.78	7.15
3.78	6.83
5.31	6.27
5.89	6.11
9.59	5.66
10.39	5.55
11.27	5.40
15.67	4.79
16.41	4.63
22.40	3.29
23.42	3.10
26.71	2.55
31.07	2.30
36.99	1.87
41.84	1.72
43.13	1.69
44.07	1.74
44.68	1.45
47.46	0.20
50.21	0.15
62.73	-0.01

Dwarsprofiel raai 106 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-97.64	1.18
-94.95	1.24
-94.27	1.22
-88.71	0.37
-84.69	-0.59
-74.72	-0.85
-74.10	-0.87
-48.52	-0.93
-47.58	-0.93
-45.50	-0.92
-44.06	-1.35
-43.30	-1.63
-42.76	-2.05
-39.05	-2.04
-37.71	-2.32
-36.79	-1.97
-35.80	-1.50
-34.63	-0.89
-26.09	1.81
-25.09	2.13
-22.42	2.36
-19.35	2.43
-16.72	2.64
-15.97	2.94
-7.32	6.35
-1.55	8.03
-0.56	8.08
0.00	8.09
1.55	7.97
5.55	6.66
6.37	6.48
13.88	5.34
23.04	3.76
23.56	3.67
25.25	3.38
27.35	3.01
31.70	1.91
32.75	1.70
33.36	1.61
34.50	1.33
37.50	0.90
39.17	0.75
41.16	0.12
42.08	0.02
46.49	-0.07
48.37	-0.08
53.19	-0.11
55.60	-0.12
56.48	-0.14
57.01	-0.13
57.61	-0.15

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 1
- ontwerp spoor 2
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: arendsm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : **Dwarsprofielen spoor 4**

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer :		Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		12	A

Docid: 078220169 : 4

Bijlage 3 Gegevens rekenslag 2

NOTITIE 1212-0075-003.M03v4concept

Aan	:	Bert de Wolff (NZV), Jan Willem Nieuwenhuis (NZV), Ate Wijnstra (NZV), Marcel Visschedijk (Deltares), Huub de Bruijn (Deltares), Hans Niemeijer (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)
Van	:	Ben Rijneveld (Fugro), Martin Arends (Arcadis)
Controle	:	-
Ref	:	1212-0075-003.M03v4concept
Versie	:	4 (concept)
Datum	:	20 januari 2014
Betreft	:	Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk

1. INLEIDING

In deze notitie worden de uitgangspunten voor de bepaling van het benodigd ruimtegebruik voor de dijkversterking van de Ommelanderzeedijk gegeven. Het ontwerp betreft een schetsontwerp voor 5 raaien, namelijk raai 6, 41, 61, 86, 106. Deze raaien worden representatief geacht voor het hele traject. Daarnaast wordt voor deze 5 raaien een hertoets op basis van de huidige normen uitgevoerd.

Figuur 1: Locaties raaien

In het schetsontwerp worden 4 sporen onderscheiden:

- Spoor 1: Ontwerp volgens de huidige normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 2: Ontwerp volgens de huidige normering, inclusief aardbevingseffecten
- Spoor 3: Ontwerp volgens de nieuwe normering, zonder aardbevingseffecten

- Spoor 4: Ontwerp volgens de nieuwe normering, inclusief aardbevingseffecten

Voorlopig wordt ingegaan op het ontwerp op basis van spoor 3 en 4. Daarnaast wordt er een hertoets op basis van de huidige normering, zonder aardbevingseffecten, uitgevoerd.

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

Er wordt gebruik gemaakt van de volgende literatuur en rapporten:

[ARC 2014] Ontwerp kruinhoogte waddenzeedijken impactanalyse aardbevingen, Arcadis rapport 078156292:0.5 – Concept, 25 november 2014
[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007
[DEL 2014_1] Ondergrondmodel Delfzijl-Eemshaven: met aangepaste schematisatie, Deltares memo 1210009-002-GEO-0001, 12 november 2014
[DEL 2014_2] Ontwerpaanpak Eemshaven Delfzijl, Deltares rapport 1210009-005-GEO-0001, versie werkversie, 1 oktober 2014, concept
[DEL 2014_3] Proevenverzameling Klei en veenlagen Eemshaven Delfzijl, Deltares memo 1210009-002-GEO-0002, 11 november 2014
[DTM] Digitaal Terrein Model Dijkverbetering Eemshaven
[WNZ 2010] Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk, primaire waterkeringen dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest, rapport 9V2113.B0, 27 mei 2010
[BEST] Bestekstekeningen dijkversterking gedateerd op 1965-1977
[TRW 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004
[RWS 2012] Handreiking Toetsen Gasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 25-10-2012

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. Planperiode

In het ontwerp wordt uitgegaan van een planperiode van 25 jaar.

3.2. Definitie ruimtebeslag

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

3.3. Faalmechanismen

De beschouwde mechanismen zijn:

- Hoogte
- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts
- Piping
- Microstabiliteit

De overige mechanismen, zoals voorlandstabiliteit, worden vooralsnog niet beschouwd.

3.4. Kruinhoogte

De benodigde kruinhoogte voor verschillende overslagdebieten in weergegeven in tabel 1. Dit is de benodigde kruinhoogte inclusief compensatie voor bodemdaling (0,2 m in 25 jaar) en robuustheidstoeslag (0,4m).

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte nieuwe normering [1)]

	Overslagdebiet [l/m/s]		
	1	5	10
RAAI 6	7,88 (7,28)	7,36 (6,76)	7,15 (6,55)
RAAI 41	8,93 (8,33)	8,37 (7,77)	8,14 (7,54)
RAAI 61	9,15 (8,55)	8,53 (7,93)	8,28 (7,68)
RAAI 86	8,83 (8,23)	8,30 (7,70)	8,08 (7,48)
RAAI 106	11,08 (10,48)	10,17 (9,57)	9,78 (9,18)

[1)] Waarden tussen haakjes exclusief compensatie bodemdaling en robuustheidstoeslag

3.5. Normering en partiële factoren macrostabiliteit

Hertoets
Voor de hertoets dienen formeel de partiële factoren uit [VTV 2006] te worden toegepast. Vanuit praktisch oogpunt worden de combinatie van schade- en materiaalfactoren uit [ATRWG 2001] toegepast in plaats van de combinatie van schade- en materiaalfactoren uit [VTV 2006]. Op deze wijze wordt echter dezelfde basisveiligheid aangetoond.

Daarnaast wordt de schematiseringsfactor niet in rekening gebracht, aangezien deze in [VTV 2006] niet van toepassing is.

De normfrequentie voor dijkring 6 bedraagt 1/4.000. Op basis van een standaardlengte van 66 km, kan op basis van het [ATRWG] een schadefactor voor STBI van $\gamma_{n;HW}$ = 1,11 en voor STBU (uitgaande van een faalkanseis die 10 maal lager is) van $\gamma_{n;HW}$ = 1,05 worden bepaald. Deze waarde is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 1,0 en voor het model Spencer van een modelfactor van γ_d = 0,95.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor de hertoets te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBI:
- F.S. ≥ 1,11 (= 1,11 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,05 (= 1,11 x 0,95) bij het model Spencer.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor de hertoets te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBU:
- F.S. ≥ 1,05 (= 1,05 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,00 (= 1,05 x 0,95) bij het model Spencer.

Spoor 3 en 4
Voor spoor 3 en 4 wordt uitgegaan van de nieuwe normering, gebaseerd op overstromingskansen en niet op overschrijdingskansen.

De overstromingskanseis voor raaien 41, 61, 86 en 106 bedraagt 1/10.000. Voor raai 6 is dit 1/3.000, welke mogelijk nog verhoogd wordt naar 1/10.000. Voor nu is voor alle secties uitgegaan van een eis van 1/10.000. Hierbij kan volgens [DELT 2014_2] met een afkeurgrens welke een factor 2 groter is worden gerekend, ofwel 1/5.000. De invloed hiervan op de schadefactor is overigens beperkt (afname van ca. 0,01).

Op basis van een standaardlengte van 66 km, kan op basis van het [DELT 2014_2] een schadefactor voor STBI van $\gamma_{n;HW}$ = 1,14 en voor STBU (uitgaande van een faalkanseis die 10

maal lager is) van $\gamma_{n;HW}$ = 1,09 worden bepaald. Hierbij is conform [DELT 2014_2] uitgegaan van een faalkansruimtefactor van 0,04. Deze waarde is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen. Ook een ander faalkansverdeling, waarbij bijvoorbeeld faalkansbudget van Piping wordt gebruikt is wellicht nog mogelijk.

Voor de schematiseringsfactor is uitgegaan van een waarde van γ_b = 1,1. Deze waarde is (nog niet) rekenkundig onderbouwd. Dit dient in een later stadium nog wel te worden gedaan.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 1,0 en voor het model Spencer van een modelfactor van γ_d = 0,95.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBI:
- F.S. ≥ 1,25 (= 1,14 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,19 (= 1,14 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

Bij de bovenstaande uitgangspunten dient voor het ontwerp te worden voldaan aan een stabiliteitsfactor voor STBU:
- F.S. ≥ 1,20 (= 1,09 x 1,1 x 1,0) bij het model Bishop
- F.S. ≥ 1,14 (= 1,09 x 1,1 x 0,95) bij het model Spencer.

Deze eisen aan de stabiliteitsfactor zijn voor zowel de maatgevende hoogwatersituatie, als de aardbevingssituatie gehanteerd. In feite zou het faalkansbudget verdeeld moeten worden. Echter indien het faalkansbudget verdeeld wordt en er dus per berekening een twee keer strengere eis (2 maal lagere faalkansbudget) wordt toegepast heeft dit een effect van ca. 0,01 op de schadefactor. Achterwege laten van dit effect wordt in dit ontwerpstadium acceptabel geacht.

3.6. Modellen
In de berekeningen is gedraineerd (met wateroverspanningen) gerekend. In de stabiliteitsberekeningen is gerekend met het model Bishop. De maatgevende berekening wordt eveneens gecontroleerd met het model Spencer.

Omdat uit wordt gegaan van een overslagdebiet van 1 l/m/s wordt niet met zonering gerekend.

3.7. Geometrie
De geometrie wordt gebaseerd op de DTM tekeningen en AHN2 data.

De ontwerpkruinhoogte is gebaseerd op [ARC 2014], waarbij is uitgegaan van een overslagdebiet van 5 l/s/m. Er wordt uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,2 m. Deze bodemdaling wordt als toeslag op de ontwerpkruinhoogte toegepast.

Voor de versterking is uitgegaan van een vaste positie van de kruin. Voor de versterking is uitgegaan van:
- Talud binnenzijde (binnenteen-berm) 1v:5h
- Laagste niveau berm (binnenzijde) NAP +3,0 m
- Talud berm 1v:50h
- Talud binnenzijde (berm-kruin) 1v:4h
- Kruinbreedte 3 m
- Talud buitenzijde (kruin-berm) 1v:4h
- Hoogste niveau berm (buitenzijde) NAP +5,0 m
- Talud berm 1v:50h
- Talud buitenzijde (berm-buitenteen) 1v:4h

Het effect van de bodemdaling in het achterland is niet in de berekeningen meegenomen. Omdat het achterland min of meer meezakt met kruin, blijft de kerende hoogte namelijk in de loop van de tijd ongeveer gelijk. Omdat er al een verhoging van de kruin is meegenomen is deze aanpak te verantwoorden.

Het effect van een eventuele zettingscompensatie om de ontwerpkruinhoogte gedurende de levensduur van de waterkering te garanderen is niet meegenomen. Dit dient in het ontwerp nader uitgewerkt te worden.

3.8. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische belasting voor de geotechnische mechanismen is weergegeven in tabel 2. Dit zijn de waterstanden inclusief bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,2 m en robuustheidstoeslag van 0,4 m. In de berekeningen is de bodemdaling als toeslag op de waterstand meegenomen. Reden hiervoor is dat in de loop van de tijd de waterstand in de dijk relatief hoger wordt, omdat de dijk zakt. Omdat het zakken van de dijk niet expliciet gemodelleerd is, is dit op deze manier meegenomen.

Tabel 2: Hydraulische belasting geotechnische mechanismen [1)]

Raai	6	41	61	86	106
Waterstand [m NAP]	5,63 (5,03)	6,35 (5,75)	6,25 (5,65)	6,37 (5,77)	6,78 (6,18)

[1)] Waarden tussen haakjes exclusief compensatie bodemdaling en robuustheidstoeslag

Voor de maatgevende waterstand in combinatie met een aardbeving is door Deltares aangegeven dat met een combinatiewaterstand met een terugkeertijd van 10 jaar moet worden gerekend. Deze waarden zijn gegeven in [ARC 2014].

3.9. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw wordt gebaseerd op het stochastische ondergrondmodel SOS [DELT 2014_1], waarbij het segment waarin de raai is gelegen wordt beschouwd. Daarnaast worden het naastgelegen segment aan weerzijde van het betreffende segment beschouwd. Hieruit wordt op basis van expert judgement de maatgevende bodemopbouw, op basis van het scenario met de meeste slappe toplagen, geselecteerd. Deze aanname dient in een later stadium rekenkundig te worden onderbouwd.

Het SOS heeft betrekking op de bodemopbouw in het achterland. Ter plaatse van de dijk wordt de bodemopbouw geschematiseerd op basis van de beschikbare bestektekeningen [BEST] en het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.

Voor de grondparameters is uitgegaan van de proevenverzameling [DELT 2014_3]. Omdat de proevenverzameling slecht betrekking heeft op 2 lagen uit het ondergrondmodel, wordt voor de overige parameters en laagindeling welke in de toetsing [WNZ 2010] zijn gehanteerd. Hierbij is zijn de gehanteerde bodemlaagbeschrijvingen uit de toetsing omgezet naar de nieuwe geologische schematisatie uit [DEL 2014_1], zie tabel 3. Voor de potklei is gebruik gemaakt van de toegepaste rekenwaarden in de rapportage van Grontmij voor de Eemskanaaldijk.

Geadviseerd wordt om de proevenverzameling aan te vullen, zodat voor alle relevante grondlagen uit het SOS rekenwaarden beschikbaar zijn. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen Tfco, Pgcc en DK van belang.

Tabel 3: Gehanteerde grondparameters

Grondlaag toetsing	Grondlaag SOS	$\gamma_{dr;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{dr;d}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;d}$ [kN/m^3]	φ'_{rep} [°]	φ'_d [°]	c'_{rep} [kPa]	c'_d [kPa]
Natuurlijke grondslag									
Oude zeeklei (OZK) [1)]	*Tfcc*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*17,2*	*14,5*	*9,6*	*7,7*
Veen (V) [1)]	*Shpp*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Humeuze klei (HK) [1)]	*Tfco*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Zand (wadafzetting) (Z) [2)]	Tcsf/Tcsm	15,0	15,0	18,0	18,0	27,5	23,5	0,0	0,0
Klei zwak zandig (KZ/ZK) [2)]	Tfsc	14,0	14,0	16,5	16,5	25,0	21,2	1,0	0,7
Potklei (PK) [3)]	Pgcc	17,5	17,5	17,5	17,5	20,0	16,9	16,7	13,3
Dijklichaam									
Dijkzand (DZ) [2)]	Pfc1/pfc2	17,0	17,0	19,0	19,0	32,5	28,0	0,0	0,0
Dijkklei (DK) [4)]		16,5	16,5	16,5	16,5	26,4	22,5	3,75	3,0
Bekledingsklei (BK) [4)]		16,5	16,5	16,5	16,5	26,4	22,5	3,75	3,0
Opgespoten zand (OZ) [2)]		17,0	17,0	19,0	19,0	30,0	25,7	0,0	0,0

[1)] Cursieve waarden uit proevenverzameling Deltares
[2)] Waarden gebaseerd op toetsrapportage/tabel 2.b van NEN 9997-1
[3)] Waarden gebaseerd op door Grontmij toegepast waarden bij de Eemskanaaldijk
[4)] Waarden gebaseerd op praktijkervaringen met goed verdichte kleiophogingen in dijken

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de kleideklaag is een laagdikte van 0,6 m aan de binnenzijde aangehouden en op de kruin en het buitentalud van 1,0 m. Dit is een inschatting op basis van het lokaal uitgevoerde onderzoek en de bestekstekeningen [BEST].

Merk op dat de keuze van de ondergrondschematisatie is gebaseerd op de grondparameters uit tabel 3. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

Voor de versterking wordt uitgegaan van een kern van zand, welke aan de binnenzijde wordt afgedekt met 1,0 m klei en aan de buitenzijde met 1,0 m klei.

Voor spoor 4 is uitgegaan van dezelfde bodemopbouw als spoor 3. Indien verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn, waarin tijdens een aardbeving wateroverspanningen ontstaan, kan dit leiden tot een lagere stabiliteit dan in het geval van slappe lagen. Echter, het toepassen van een berm om verweking te mitigeren lijkt geen realistische/economische oplossing. Daarom is er van uitgegaan dat verweking wordt voorkomen door maatregelen die geen/nauwelijks ruimtebeslag kosten, zoals een grondverbetering en/of drainage. Het effect van verweking is dus niet nader beschouwd voor de bepaling van het ruimtebeslag. Derhalve wordt een ‘slappe bodem’ voor zowel spoor 3 als 4 als maatgevend aangenomen. Dit dient in een later stadium bij de rekenkundige controle van de schematiseringsfactor aangetoond te worden.

3.10. Geohydrologische schematisatie

Macrostabiliteit binnenwaarts
De freatische waterstand is voor de locaties waar de kleidijk aan de buitenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106) als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn volgt de binnenbekleding en verloopt vervolgens lineair naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Voor de freatische lijn in de kruin wordt uitgegaan van een niveau van NAP +4,7 m. Dit niveau is opgebouwd uit:

- Hoogst gemeten freatische waterstand in 2013 en 2014 voor het LiveDijkXL project van ca. NAP +1,75 m (freatische waterstand vertoont geen respons op buitenwater);
- Toeslag van 0,75 m voor het effect van instroom op het buitentalud bij 'inwendige overstroming' van de oude kleidijk;
- Toeslag van 0,2 m voor het effect van bodemdaling;
- Toeslag van 2,0 m voor het effect van infiltratie op de kruin en binnentalud bij een overslagdebiet van 1 l/s/m.

Daar waar de kleidijk aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 6), is deze als volgt geschematiseerd:

- Lineair verloop van de buitenwaterstand t.p.v. de buitentalud naar het niveau van de oude kleidijk
- Lineair verloop van het niveau van de kleidijk naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Bij raai 6/km38,0 is de kleikern aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig, dit geldt voor het hele traject van ca. 37.0-38.5. Bij de overige secties (ca. 27.0-37.0) is deze aan de buitenzijde aanwezig. De zandkern van de dijk wordt bedekt door een asfaltbekleding. Onbekend is hoe waterdoorlatend deze is. Daarnaast zijn hier geen peilbuizen of waterspanningsmeters aanwezig. Hierdoor is de onzekerheid in de geohydrologische schematisatie relatief groot en wordt aanvullend onderzoek geadviseerd.

Voor het polderpeil is ter plaatse van raai 41, 61, 86 en 106 uitgegaan van het winterpeil op NAP -1,3 m. Ter plaatse van raai 6 is uitgegaan van een polderpeil op NAP -0,7 m.

Ter plaatse van km 31.5 is voor de 3de toetsronde de respons van de tussenzandlaag gemeten. Hieruit bleek nauwelijks respons op de buitenwaterstand op te treden. Voor de tussenlagen is daarom vooralsnog uitgegaan van een hydrostatisch verloop.

Voor de stijghoogte in het pleistocene zand is uitgegaan van een respons op de buitenwaterstand ter plaatse van de huidige binnenteen van 50%. Deze waarde is gebaseerd op slechts 2 responsmetingen in het pleistoceen ter plaatse van km 29,9 (Livedijk op een diepte van NAP -25 m) en km 37 (3^{e} toetsronde op een diepte van NAP -15 m), waarbij een respons van ca. 30% en 15% kan worden afgeleid. Het verloop is lineair aangenomen vanaf MHW ter plaatse van de buitenteen tot een respons van 50% ter plaatse van de huidige binnenteen. Verder in het achterland is een constante respons van 50% gehanteerd. Voor de indringingslengte is uitgegaan van 2 m. Aan de bovenzijde van de indringingszone is conform [TRW 2004] de stijghoogterespons bij GHW gemodelleerd, waarbij voor de respons dezelfde waarden als in het pleistoceen zijn gehanteerd.

Macrostabiliteit buitenwaarts

Voor de buitenwaartse macrostabiliteit is uitgegaan van een val van MHW naar gemiddeld hoogwater. Het gemiddelde hoogwaterniveau is weergegeven in [ARC 2014]. Daar waar de kleidijk aan de buitenzijde aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106), wordt aangenomen dat de indringing van water zeer beperkt is, waardoor onder de buitenkruinlijn een opbolling van 1m wordt gemodelleerd ten opzichte van GHW.

Daar waar sprake is van een zanddijk (raai 6) wordt ter plaatse van de buitenkruinlijn uitgegaan van MHW en een lineair verloop naar GHW ter plaatse van het buitentalud.

3.11. Aardbevingsbelasting

Aardbevingen kunnen op twee wijzen invloed hebben op de stabiliteit van de waterkering. Allereerst kan verweking, en daardoor een sterke afname van de stabiliteit, van de waterkering optreden. Uitgangspunt is dat verweking door maatregelen die geen/nauwelijks ruimte kosten wordt ondervangen. Hierbij kan gedacht worden aan grondverbetering en/of drainage.

Het tweede effect is de versnelling die het grondmassief ondervindt tengevolge van de aardbeving. De ontwerpwaarde van de horizontale versnelling bedraagt volgens Deltares 3,7 m/s^2. Dit is echter een zeer kortdurende piekwaarde. Op basis van analyses van Deltares volgens de Newmark Sliding Block methode blijkt dat de ontwerpwaarde van de bijbehorende horizontale versnelling voor een statische analyse, waarbij de vervormingen acceptabel blijven, 0,6 m/s^2 bedragen.

Bovenstaande ontwerpversnelling is gebaseerd op een invloedsfactor van de aardbevingsbelasting van 0,7. Mogelijk dient deze hoger aangehouden te worden, tot maximaal 0,9. Vooralsnog lijkt de waarde 0,7 echter redelijk. Hierbij moet bedacht worden dat bij een hogere waarde van de invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting de materiaalfactoren voor de grond waarschijnlijk lager kunnen worden.

3.12. Verkeersbelasting

In het ontwerp is rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13,3 kN/m^2 over 2,5 m op het midden van de binnenberm. Er is geen rekening gehouden met een verkeersbelasting op de kruin. De verkeersbelasting wordt als ‘ongedraineerd’ gemodelleerd, waarbij in de cohesieve lagen een wateroverspanning van 80% wordt gemodelleerd.

4. ADVIES

Om tot definitieve uitgangspunten te komen wordt geadviseerd om aanvullend onderzoek uit te voeren:

- De proevenverzameling aan te vullen met parameters voor alle grondlagen uit het SOS. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen Tfco, Pgcc en DK van belang.
- Ter plaatse van raai 6 peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om meer inzicht in de geohydrologische situatie te verkrijgen.

Bijlage 3.1 Memo raai 6

Aan : Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)

Van : W.J. Leeuwdrent (Fugro)

Controle : Ben Rijneveld (Fugro)

Ref : 1212-0075-003.M02v5concept/BRV

Versie : 5 (concept)

Datum : 26 januari 2015

Betreft : Berekeningen versterking dp 38,0, raai 6

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 38,0 (raai 6) gegeven. Zowel de resultaten van de hertoets als de resultaten van het voorontwerp, uitgaande van de nieuwe normering, zijn beschreven.

2. UITGANGSPUNTEN

De hertoets is gericht op het toetsen van de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU), piping (STPH) en microstabiliteit (STMI).

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT). Daarnaast is het ontwerp gecontroleerd op de faalmechanismen piping (STPH) en microstabiliteit (STMI). Voor het ontwerp zijn zowel berekeningen met als zonder aardbevingsbelasting uitgevoerd.

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v4concept, 20 januari 2014.

Zoals in het uitgangspuntendocument is vermeld zijn voor het versterkingsontwerp alleen de sporen 3 en 4 (nieuwe normering) beschouwd.

De hydraulische randvoorwaarden voor de hertoets en voor het ontwerp met aardbevingsbelasting zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, impactanalyse aardbevingen, Waterschap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de genoemde literatuur in [1] is gebruik gemaakt van het volgende document:

[TRZ, 1999] Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), maart 1999.

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “Dwarsprofielen spoor 3”, Arcadis, tek nr 11, versie 0!2, dwarsprofiel raai 6 spoor 3.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dp 38,0 is de oude kleidijk aan de binnenzijde gelegen.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot/watergang wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

Bij doorsnede dp38,0 voldoet de dijk bij het ontwerp aan de benodigde hoogte, zie tabel 1. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] uitgegaan van een overslagdebiet van 5 l/m/s. De hoogte is bij de hertoets niet beoordeeld.

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte dp 38,0

Variant	Huidige kruinhoogte [m+NAP]	Benodigde kruinhoogte ontwerp [m+NAP]
Versterkt (5 l/m/s overslag)	7,66	7,36 (voldoet)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [1] en [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,20 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

Tabel 2: Hydraulische randvoorwaarden dp 38,0

	Hertoets	Spoor 3 en 4 [1)]
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +5,24 m	NAP +5,63 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	-	NAP +4,59 m

[1)] Inclusief bodemdaling over 25 jaar

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van een val van MHW onder de buitenkruinlijn naar het Gemiddeld Hoog water (GHW). Voor het GHW is voor spoor 3 en 4 een hoogte van NAP +1,95 m aangehouden en voor de hertoets een hoogte van NAP +1,35 m. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met een robuustheidstoeslag van 0,40 m en 0,20 m bodemdaling voor het ontwerp.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 6 (B620, DKP630, B640, DKP650, B660, DKP690 en B680), segment 1 en 2 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP 0,0 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 8 van segment 2 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief lage kans van voorkomen (2%), echter scenario 3 is vergelijkbaar en heeft ook een kans van 3%. De scenario's van sectie 1 tonen overigens minder

verschillen dan voor sectie 2. Verwacht wordt dat indien alleen sectie 1 wordt beschouwd de resultaten gunstiger zijn.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

Voor de binnenwaartse stabiliteit is de freatische waterstand als volgt geschematiseerd:

- Lineair verloop van de buitenwaterstand t.p.v. het buitentalud, naar de onderzijde van de kleibekleding ter plaatse van het knikpunt met de berm.
- Lineair verloop van het niveau van de onderzijde van de kleibekleding ter plaatse van het knikpunt met de berm, naar het polderpeil t.p.v. de binnenteen.

Er is geen nieuwe poldersloot geschematiseerd, waardoor ervan uitgegaan is dat het polderpeil aanwezig is ter plaatse van het uiteinde van de binnenteen.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgangspunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform de uitgangspunten verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW), bij een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen. Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW (respons van 50% t.p.v. binnenteen) en de freatische lijn.

2.5. Stabiliteitseis macrostabiliteit

De eis aan de stabiliteitsfactor bij rekenwaarden van de materiaalfactoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn afkomstig uit het uitgangspuntendocument [1] en samengevat in tabel 3. Voor de nieuwe normering zijn deze stabiliteitsfactoren afgeleid voor een overstromingsnorm van 1/10.000. Het verschil met een overstromingsnorm van 1/3.000 is echter klein (ca. 0,02) en wordt voor dit doel acceptabel geacht.

Tabel 3: Stabiliteitseis voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig (hertoets)	1,11	1,05
	Nieuw (versterking)	1,25	1,19
STBU	Huidig (hertoets)	1,05	1,00
	Nieuw (versterking)	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN HERTOETS

Van profiel dp 38,0 is een hertoets uitgevoerd. De faalmechanismen macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts), piping en microstabiliteit zijn getoetst.

3.1. STBI en STBU

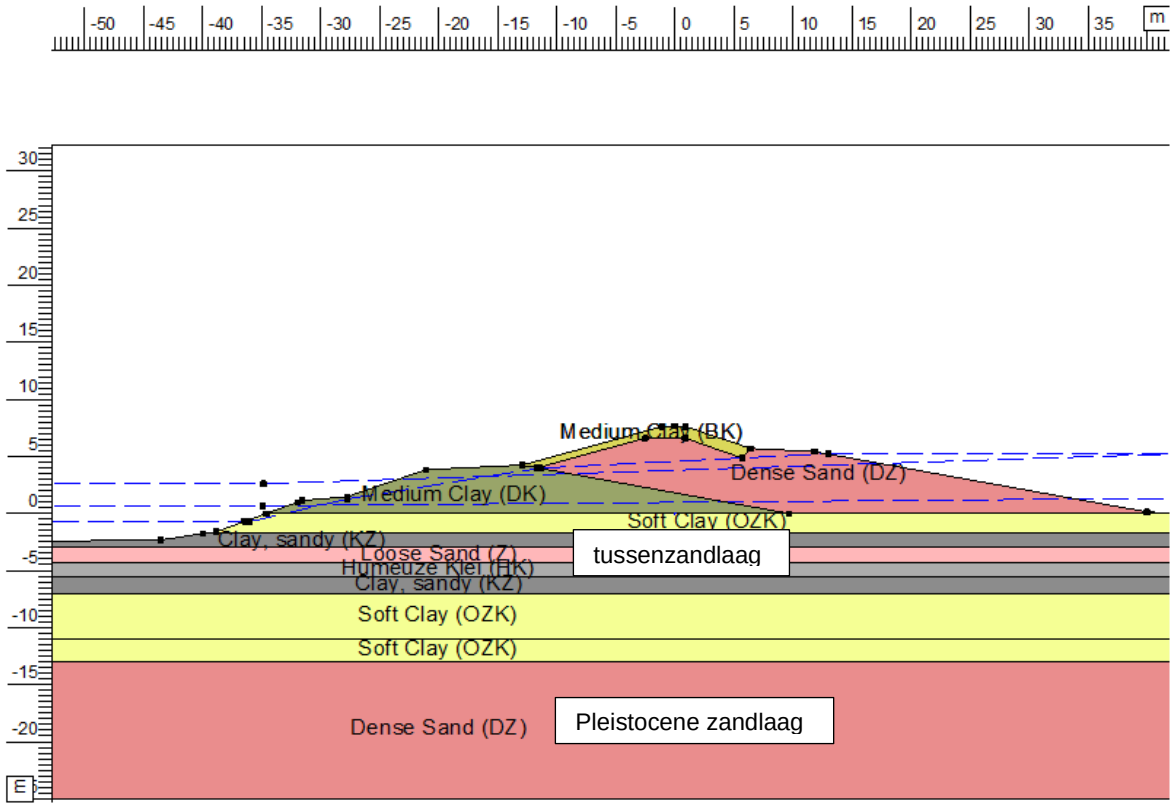
De berekende stabiliteitsfactoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Berekeningsresultaten hertoets binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 38,0

Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Voldoet?
STBI	0,93	0,94	nee
STBU	1,33	1,35	ja

3.2. Piping

Bij profiel dp 38,0 zijn twee zandlagen aanwezig die potentieel gevoelig voor piping kunnen zijn. De bovenste zandlaag betreft een tussenzandlaag. Uitgaande van het stochastische ondergrondmodel bedraagt de dikte van deze laag maximaal 5,0 m (scenario 1 en 2 van segment 2. De onderste zandlaag betreft een Pleistoceen pakket met een dikte van meer dan 10 m. De zandlagen zijn weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Overzicht zandlagen t.p.v. dp 38,0

<u>Tussenzandlaag</u>

Uit waterspanningssondering DKP650, die op de kruin van de dijk genomen is, blijkt dat boven de zandlaag een kleilaag met een dikte van ca. 0,5 m aanwezig is. Daarboven ligt de zanddijk. Voor de maatgevende ligging van het intredepunt wordt ervan uitgegaan dat deze aan de buitenteen van de oude kleidijk ligt. Hiermee wordt aangenomen dat de bekleding van het buitentalud (asfalt) zeer doorlatend is. De aanwezige kwelweglengte bedraagt daarmee ca. 45 m. Er wordt verder vanuit gegaan dat de freatische lijn in de zanddijk gelijk is aan het MHW-peil. Uit de waterspanningssonderingen en de boringen blijkt dat de zandlaag over het algemeen siltig is en dat ook dat tussenlaagjes van klei aanwezig zijn. Het betreft zeer fijn zand.

De benodigde kwelweglengte is berekend conform Bligh en Sellmeijer [TRZ, 1999]. Voor de formule van Bligh wordt uitgegaan van een creep-factor van 18 (-), geldig voor zeer fijn zand. Voor de formule van Sellmeijer wordt uitgegaan van een schatting van de k-waarde van 5 m/dag en een d_{70} van 200 mμ.

De benodigde kwelweglengte volgens beide formules bedraagt:
Bligh: 105,3 m
Sellmeijer: 38,2 m

De resultaten verschillen veel van elkaar. Dit komt met name omdat de formule van Bligh geen rekening houdt met de dikte van de zandlaag, de doorlatendheid en de korrelgrootte.

Omdat aannames zijn gedaan van doorlatendheid van de laag, de korrelgrootte en de ligging van het intredepunt kan geen definitief oordeel worden gegeven over de pipinggevoeligheid van de tussenzandlaag. Aanbevolen wordt om de respons van de freatische lijn in de tussenzandlaag en in de zanddijk op het buitenwaterpeil te bepalen met behulp van peilbuismetingen.

Pleistocene zandlaag
Om te controleren of piping op kan treden vanuit de Pleistocene zandlaag, is gecontroleerd of de dikte van de deklagen ter plaatse van de kwelsloot/watergang voldoende is om opbarsten te voorkomen. Boven de zandlaag is een deklaag met een dikte van ca. 10 m aanwezig. Het gewicht van deze deklaag bedraagt, inclusief het gewicht van water in de kwelsloot/watergang, ca. 190 kPa. De opwaartse druk vanuit de Pleistocene zandlaag bedraagt, uitgaande van een respons van 50% op het MHW ter plaatse van de binnenteen, 156 kPa. De opdrukveiligheid bedraagt hiermee 190/156 = 1,22 (-). Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van $\gamma = 1,2$ (-) gehanteerd. Hiermee wordt voldaan aan de eis voor opbarsten en voldoet het profiel op piping.

3.3. Microstabiliteit
Het profiel is niet gevoelig voor micro-instabiliteit, aangezien de oude kleidijk aan de binnenzijde gelegen is.

4. BEREKENINGSRESULTATEN ONTWERP

4.1. Benodigd ruimtebeslag
Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 4.

Tabel 5: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 38,0

Variant	Normering	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Nieuw	10	(STBU voldoet)	10
Versterkt + aardbeving	Nieuw	25	20*	45

* Uit berekeningen blijkt dat de buitenwaartse stabiliteit nog net voldoet als een horizontale grondversnelling van 0,35 m/s^2 wordt gehanteerd.

4.2. Piping

Zoals in paragraaf 3.2 is beschreven is de veiligheid ten aanzien van piping vanuit de tussenzandlaag niet definitief te bepalen. Hiervoor wordt aanbevolen peilbuismetingen uit te voeren.
Piping vanuit de Pleistocene zandlaag is mogelijk als de deklaag aan de binnenzijde onvoldoende dik blijkt om opbarsten te kunnen voorkomen. De opwaartse druk vanuit de Pleistocene zandlaag bedraagt, uitgaande van een respons van 50% op het MHW ter plaatse van de binnenteen, 158 kPa. De opdrukveiligheid bedraagt hiermee 190/158 = 1,20 (-). Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van $\gamma = 1,2$ (-) gehanteerd. Hiermee wordt voldaan aan de eis voor opbarsten en voldoet het profiel op piping.

4.3. Microstabiliteit

Het profiel is niet gevoelig voor micro-instabiliteit, aangezien de oude kleidijk aan de binnenzijde gelegen is.

5. CONCLUSIES

Van profiel dp 38,0 is zowel een hertoets uitgevoerd als een ontwerp bepaald voor de versterkingsmaatregel, uitgaande van de nieuwe normering.

Uit de resultaten van de hertoets blijkt dat de dijk niet voldoet ten aanzien van binnenwaartse stabiliteit. Op de buitenwaartse stabiliteit voldoet de dijk wel. Er kan geen definitief oordeel gegeven worden over de weerstand tegen piping. Onder de dijk is een tussenzandlaag aanwezig, waarvoor gegevens over de doorlatendheid en de ligging van het intredepunt benodigd zijn. Aanbevolen wordt om de respons van de freatische lijn in de zanddijk en in de tussenzandlaag te bepalen met behulp van peilbuismetingen. De dijk voldoet ten aanzien van microstabiliteit.

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Uitgaande van de nieuwe normering hoeft de dijk niet te worden verhoogd.
Om te kunnen voldoen aan de stabiliteitseisen is aan de binnenzijde een extra ruimtebeslag van 10 m benodigd. Aan de buitenzijde is geen extra ruimtebeslag benodigd. Als rekening wordt gehouden met aardbevingen bedraagt het extra ruimtebeslag aan de binnenzijde 25 m. Aan de buitenzijde is dan 20 m extra ruimtebeslag benodigd.

De dijk voldoet, ook bij het ontwerp, op microstabiliteit. Evenals voor de hertoets kan geen definitief oordeel gegeven worden ten aanzien van de gevoeligheid voor piping.

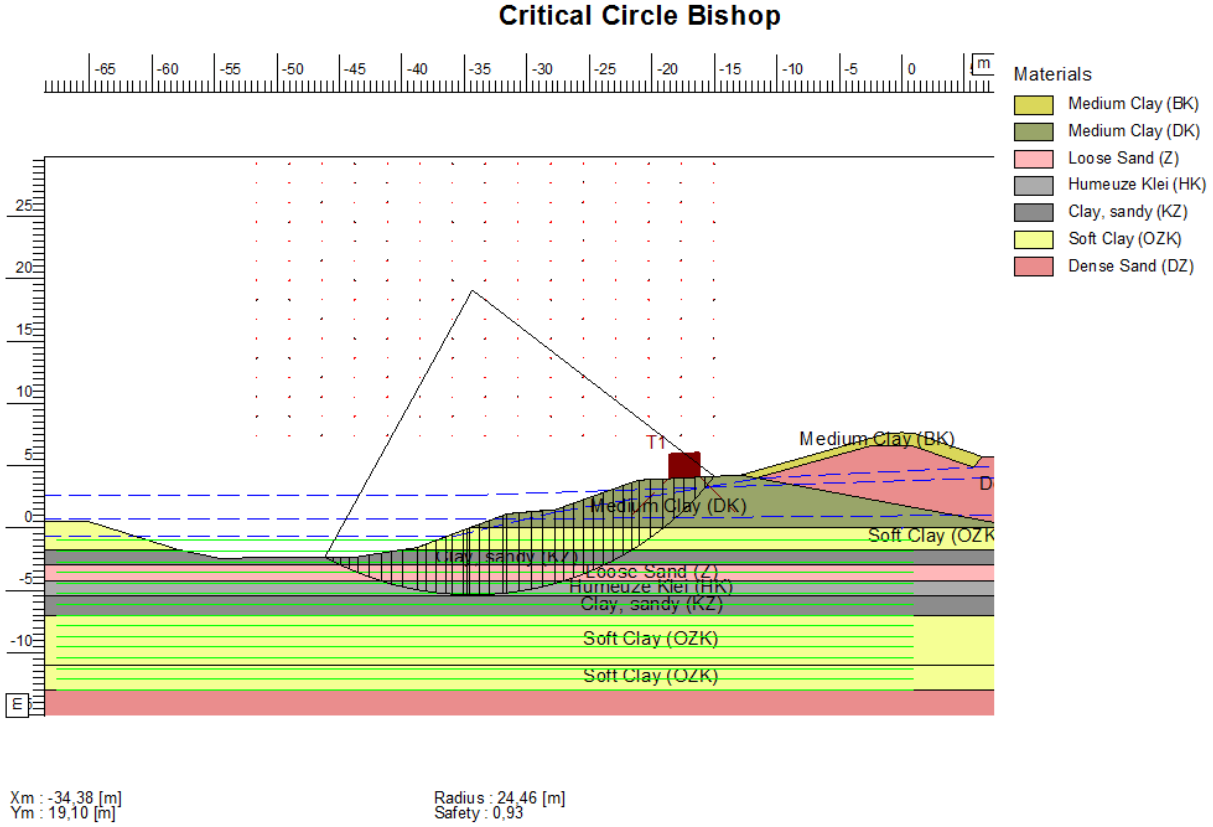
Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende (tussen)zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot/watergang ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot/watergang geschematiseerd. Het ruimtebeslag inclusief verplaatsing van de kwelsloot/watergang is dus groter dan het ruimtebeslag wat hier is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.

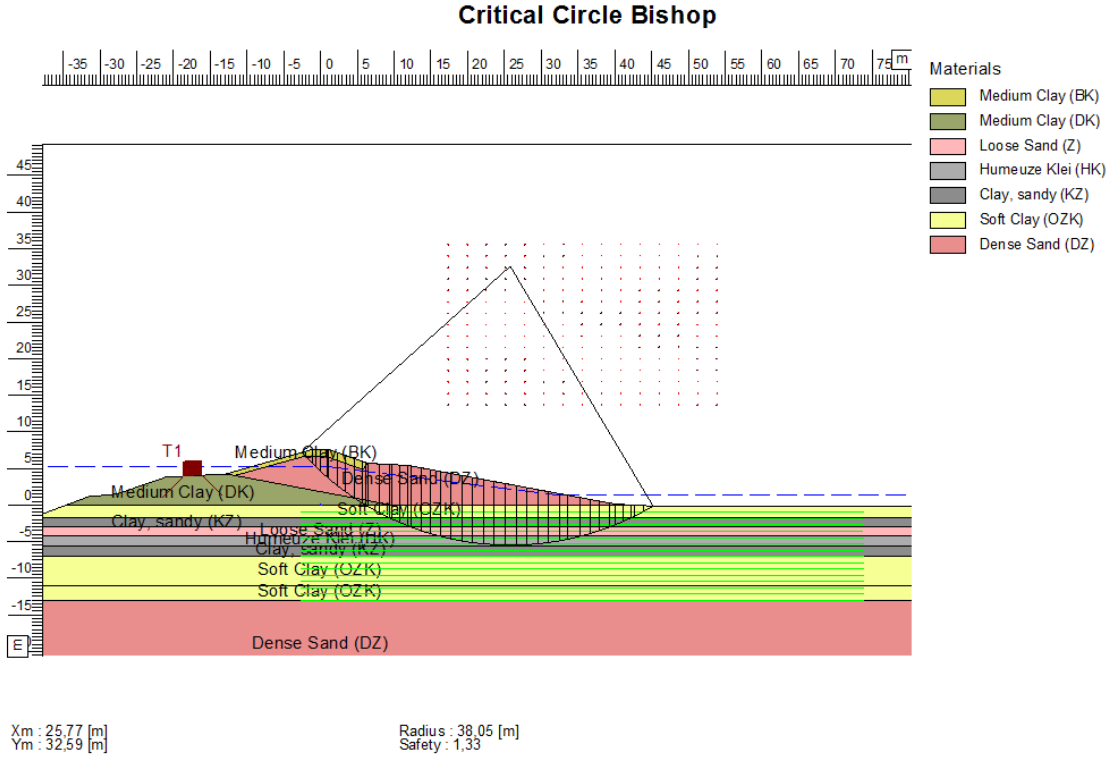
Bijlagen:
Berekeningsresultaten 1

BIJLAGE 1

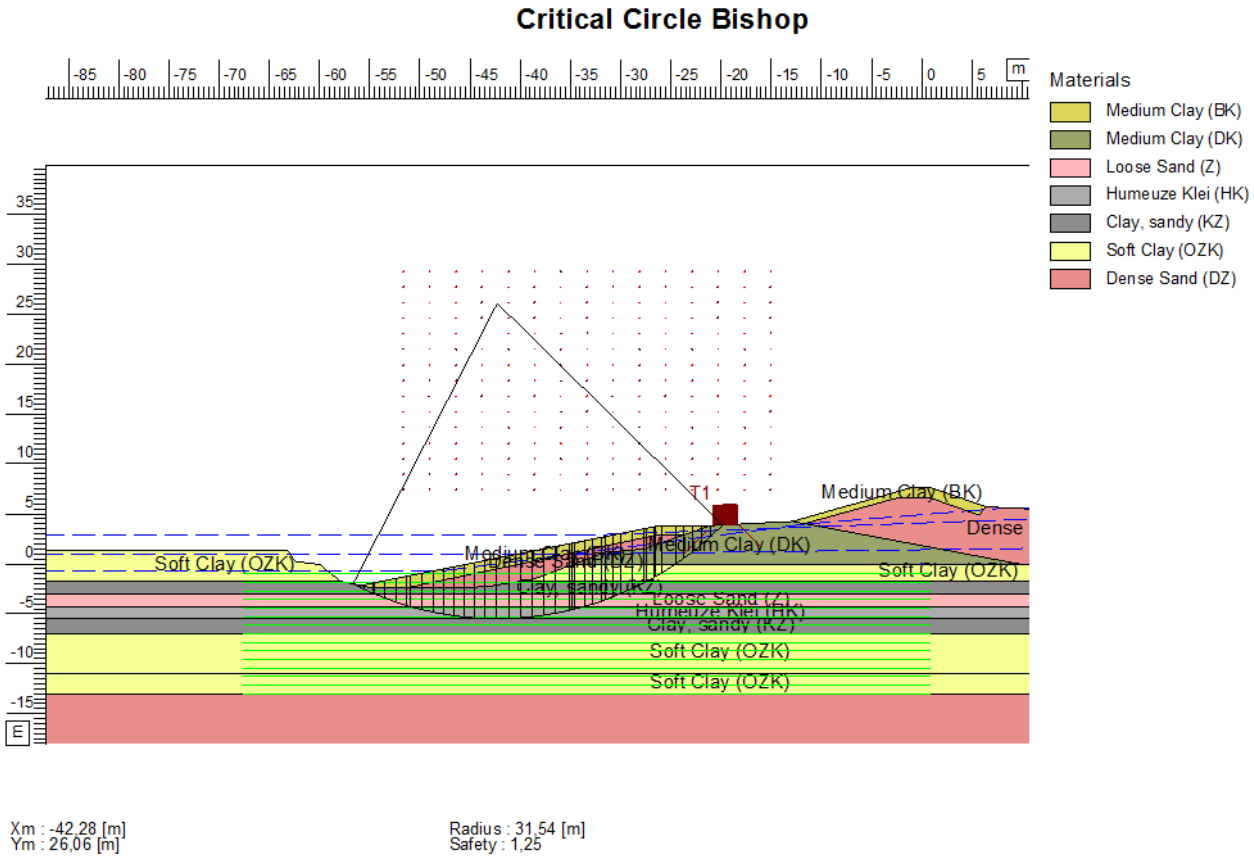
Resultaten STBI hertoets



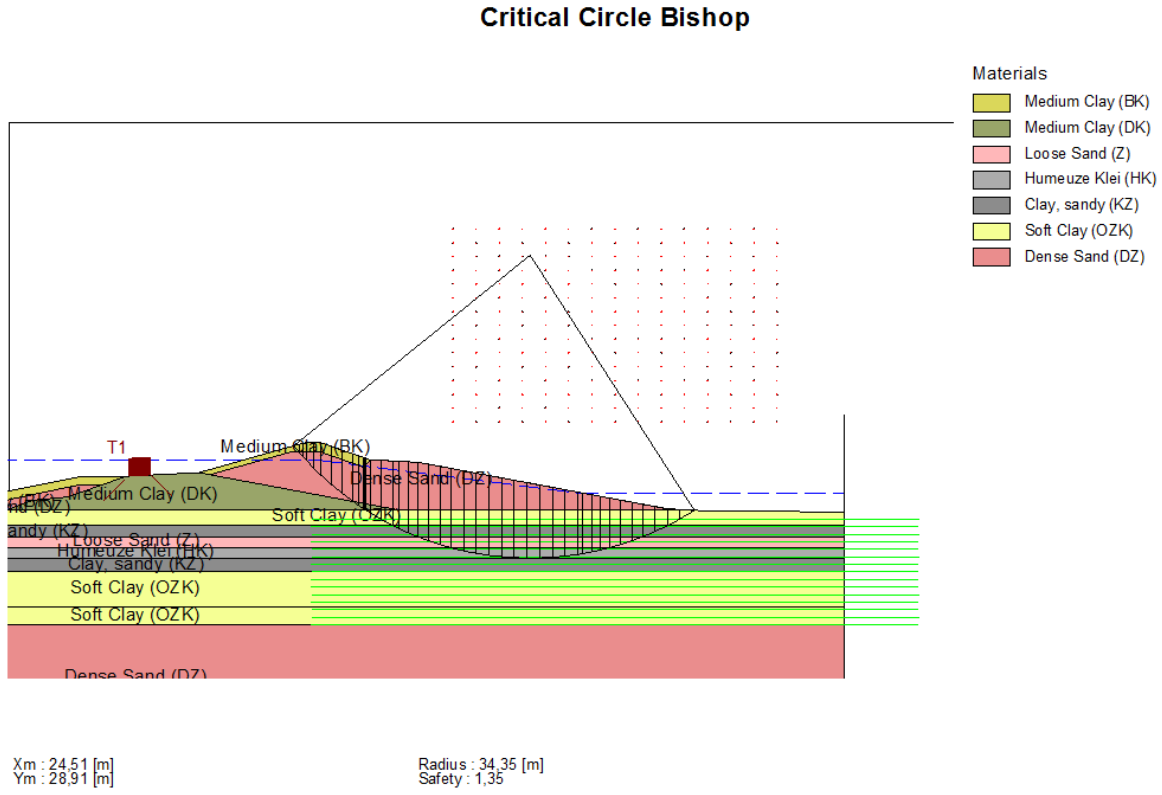
Resultaten STBU hertoets



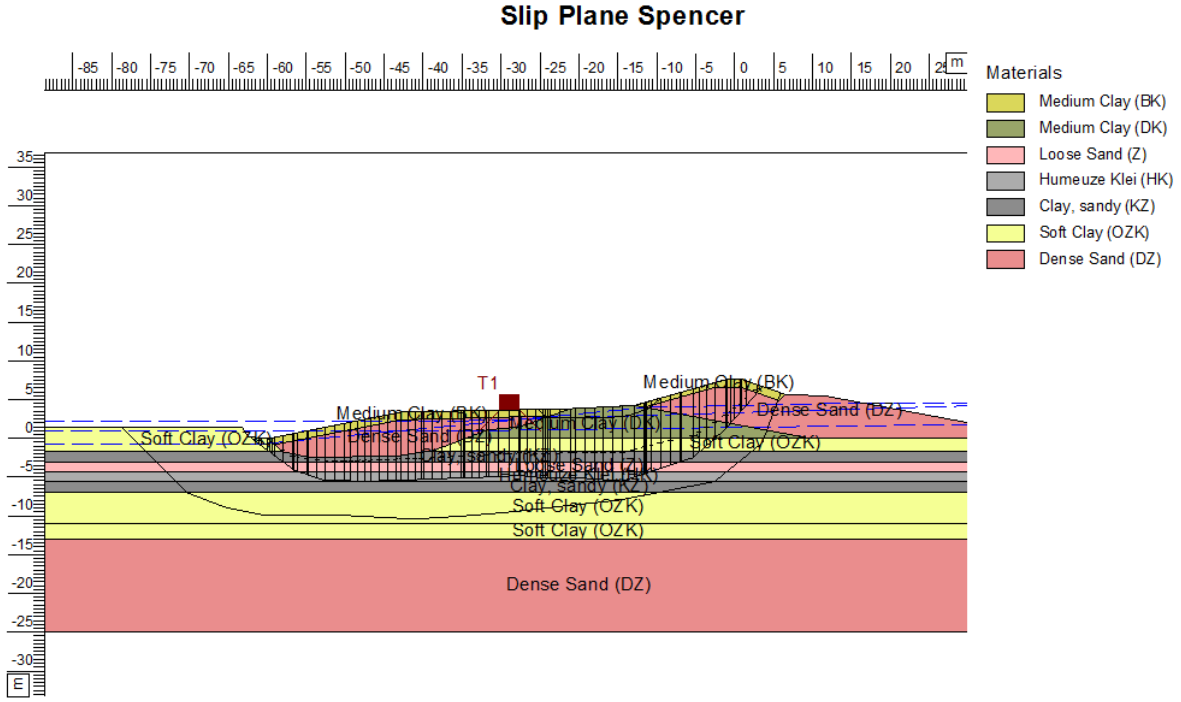
Resultaten STBI, ontwerp nieuwe normering



Resultaten STBU, ontwerp nieuwe normering

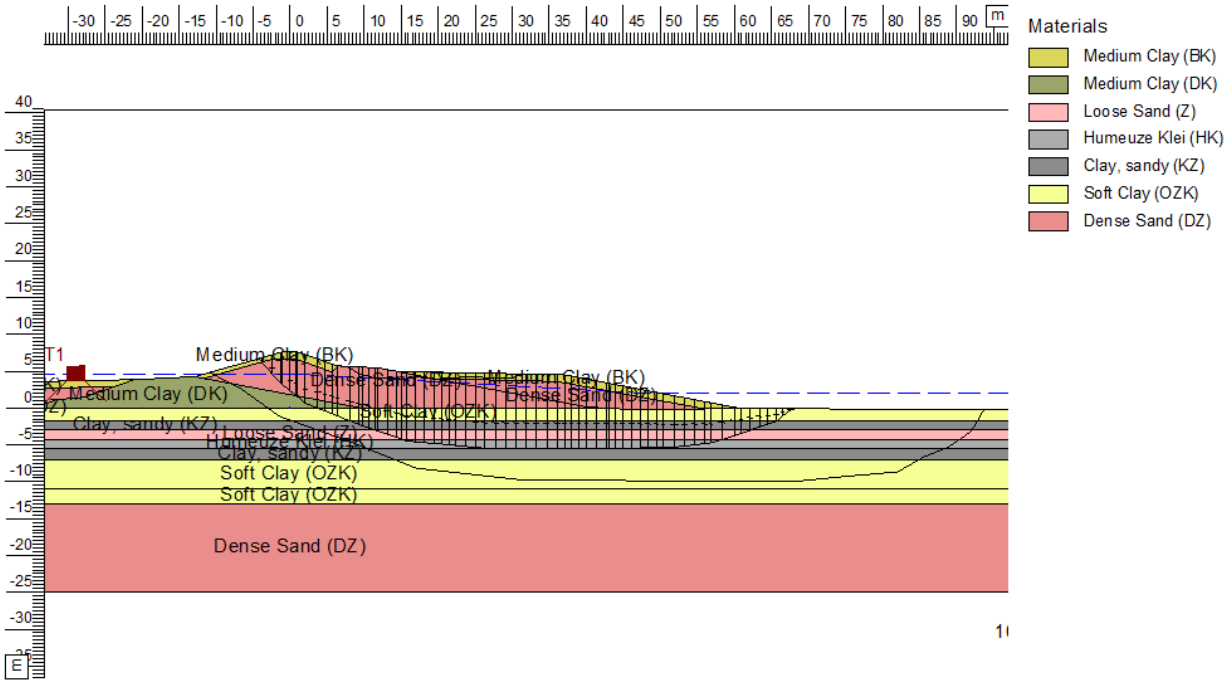


Resultaten STBI, ontwerp nieuwe normering, incl. aardbeving



Safety : 1,21

Resultaten STBU, ontwerp nieuwe normering, incl. aardbeving



Safety : 1,17

Bijlage 3.2 Memo raai 41

Aan	:	Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)
Van	:	W.J. Leeuwdrent (Fugro)
Controle	:	Ben Rijneveld (Fugro)
Ref	:	1212-0075-003.M04v2concept/BRV
Versie	:	2 (concept)
Datum	:	27 januari 2015
Betreft	:	Berekeningen versterking dp 34,5, raai 41

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 34,5 (raai 41) gegeven. Zowel de resultaten van de hertoets als de resultaten van het voorontwerp, uitgaande van de nieuwe normering, zijn beschreven.

2. UITGANGSPUNTEN

De hertoets is gericht op het toetsen van de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU), piping (STPH) en microstabiliteit (STMI).

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT). Daarnaast is het ontwerp gecontroleerd op de faalmechanismen piping (STPH) en microstabiliteit (STMI). Voor het ontwerp zijn zowel berekeningen met als zonder aardbevingsbelasting uitgevoerd.

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v4concept, 20 januari 2014.

Zoals in het uitgangspuntendocument is vermeld zijn voor het versterkingsontwerp alleen de sporen 3 en 4 (nieuwe normering) beschouwd.

De hydraulische randvoorwaarden zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, impactanalyse aardbevingen, Wtercshap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de genoemde literatuur in [1] is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

[TRZ, 1999] Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), maart 1999.

[TRWG, 2001] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), juni 2001.

[DEL 2014] Ontwerpaanpak Eemshaven Delfzijl, Deltares rapport 1210009-005-GEO-0001, versie werkversie, 1 oktober 2014, concept

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “Dwarsprofielen spoor 3”, Arcadis, tek nr 11, versie 0!2, dwarsprofiel raai 41 spoor 3.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dit dwarsprofiel is de oude kleidijk aan de buitenzijde gelegen. Merk op dat de nieuwe zanddijk destijds in twee slagen is opgehoogd, waardoor ook twee tekeningen beschikbaar zijn. Voor het bepalen van de ligging van de oude kleidijk ten opzichte van het huidige dijkprofiel is hiervan gebruik gemaakt.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van de benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

Bij doorsnede dp34,5 voldoet de dijk bij het ontwerp net niet aan de benodigde hoogte, zie tabel 1. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] uitgegaan van een overslagdebiet van 5 l/m/s. Bij het ontwerp is rekening gehouden met de benodigde ophoging van de dijk.
De hoogte is bij de hertoets niet beoordeeld.

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte dp 34,5

Variant	Huidige kruinhoogte [m+NAP]	Benodigde kruinhoogte ontwerp [m+NAP]
Versterkt (5 l/m/s overslag)	8,15	8,37 (voldoet niet)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [1] en [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,20 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

Tabel 2: Hydraulische randvoorwaarden dp 34,5

	Hertoets	Spoor 3 en 4 [1)]
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +5,84 m	NAP +6,35 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	-	NAP +4,72 m

[1)] Inclusief bodemdaling over 25 jaar

Voor het GHW is voor spoor 3 en 4 een hoogte van NAP +1,95 m aangehouden en voor de hertoets een hoogte van NAP +1,35 m. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met een robuustheidstoeslag van 0,40 m en 0,20 m bodemdaling voor het ontwerp.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 41 (B4120, B4140, DKP 4130, B4160, DKP4150, B4180, DKP4190), segment 5, 6 en 7 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP -1,5 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 7 van segment 6 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief hoge kans van voorkomen (ca. 40%) en hier zijn tevens relatief slappe lagen aanwezig in de toplagen.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

De schematisatie van de freatische lijn en stijghoogten zijn beschreven in de uitgangspunten [1]. Aanvullend hierop zijn de gehanteerde waarden voor dit profiel beschreven.

Voor het bepalen van de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) is voor de freatische lijn in de kruin bij de hertoets uitgegaan van NAP +2,5 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project van ca. NAP +1,75 m, met een toeslag van 0,75 m voor het effect van instroom op het buitentalud bij ‘inwendige overstroming’ van de oude kleidijk.
Bij het ontwerp is conform de uitgangspunten [1] uitgegaan van een niveau van NAP +4,7 m. Bij aardbevingsbelasting is uitgegaan van een niveau van NAP +1,95 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project van ca. NAP +1,75 m, met een toeslag van 0,2 m voor het effect van bodemdaling.

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van een val van hoog water (veroorzaakt door MHW) onder de buitenkruinlijn naar het Gemiddeld Hoog water (GHW). Bij de hertoets is uitgegaan van 1 m opbolling onder de buitenkruinlijn. Bij het ontwerp is uitgegaan van NAP +5,0 m onder de buitenkruinlijn, veroorzaakt door infiltratie door overslag en infiltratie door de kleideklaag aan de buitenzijde. Bij de aardbevingsbelasting is uitgegaan van 1 m opbolling onder de buitenkruinlijn.

Er is geen nieuwe poldersloot geschematiseerd, waardoor ervan uitgegaan is dat het polderpeil aanwezig is ter plaatse van de binnenteen.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgangspunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform de uitgangspunten verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW), bij een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen. Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW (respons van 50% t.p.v. binnenteen) en de freatische lijn.

2.5. Stabiliteitseis macrostabiliteit

De eis aan de stabiliteitsfactor bij rekenwaarden van de materiaalfactoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn afkomstig uit het uitgangspuntendocument [1] en samengevat in tabel 3.

Tabel 3: Stabiliteitseis voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig (hertoets)	1,11	1,05
	Nieuw (versterking)	1,25	1,19
STBU	Huidig (hertoets)	1,05	1,00
	Nieuw (versterking)	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN HERTOETS

Van profiel dp 34,5 is een hertoets uitgevoerd. De faalmechanismen macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts), piping en microstabiliteit zijn getoetst.

3.1. STBI en STBU

De berekende stabiliteitsfactoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) zijn weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**.

Tabel 4: Berekeningsresultaten hertoets binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 34,5

Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Voldoet?
STBI	1,01	0,94	nee
STBU	1,23	1,21	ja

3.2. Piping

Bij profiel dp 34,5 is overal een kleideklaag aanwezig. Daaronder bevindt zich een Pleistocene zandlaag.

Voor de toetsing op piping zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Dikte deklaag: minimaal 11,5 m (onder de kwelsloot)
- MHW: NAP +5,84 m
- Polderpeil: NAP -1,3 m
- Verval: 7,14 m
- Maaiveldhoogte achterland: NAP -1,13 m

Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de Pleistocene zandlaag snijdt. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar. Uitgaande van het beschikbare dwarsprofiel bedraagt de aanwezige kwelweglengte minimaal 96 m (dit punt bevindt zich op een afstand van ca. 25 van de buitenteen).

Om te controleren of piping op kan treden vanuit de Pleistocene zandlaag, is gecontroleerd of de dikte van de deklagen ter plaatse van de kwelsloot voldoende is om opbarsten te voorkomen. Het gewicht van de deklaag van klei/veen bedraagt ca. 162 kPa. De opwaartse druk vanuit de Pleistocene zandlaag bedraagt, uitgaande van een respons van 50% op het MHW ter plaatse van de binnenteen, 154 kPa. De opdrukveiligheid bedraagt hiermee 162/154 = 1,05 (-). Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van $\gamma = 1,2$ (-) gehanteerd. Hiermee wordt niet voldaan aan de eis voor opbarsten en wordt de weerstand tegen piping gecontroleerd met behulp van de rekenregel van Bligh [TRZ, 1999]. Voor de formule van Bligh wordt uitgegaan van een creep-factor van 18 (-), geldig voor zeer fijn zand.

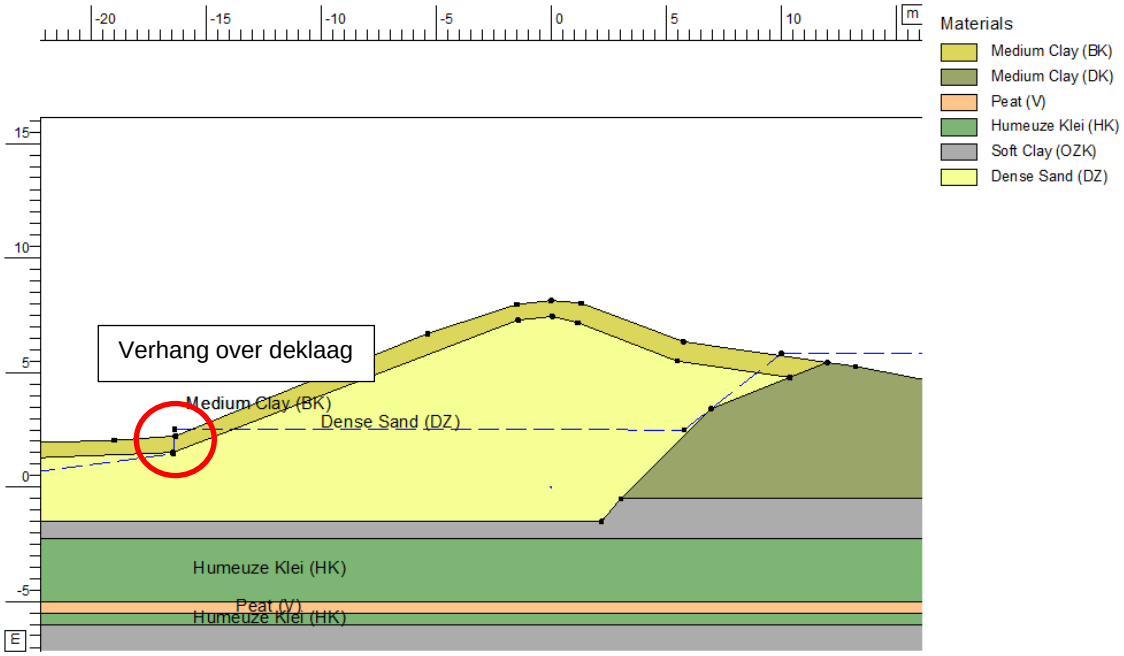
De benodigde kwelweglengte volgens de formule van Bligh bedraagt 66 m. Hiermee voldoet het profiel op piping.

3.3. Microstabiliteit

De microstabiliteit van de dijk dient gecontroleerd te worden voor de kleideklaag aan de binnenzijde van de dijk. Door instroom op het buitentalud bij ‘inwendige overstroming’ van de oude kleidijk, kan bij hoge waterstanden het niveau van de freatische lijn onder de kruin stijgen. Op basis van een eenvoudige berekening, waarbij de dikte van de deklaag, de lengte waarover infiltratie optreedt en het bergend volume van de zanddijk in beschouwing is genomen, is berekend dat de huidige freatische lijn met ca. 0,75 m kan stijgen. Tijdens het LivedijkXL project bedroeg de hoogst gemeten waterstand onder de kruin ca. NAP +1,75 m. Hiermee bedraagt de waterstand onder de kruin tijdens MHW-omstandigheden NAP +2,5 m. Door deze waterstand kan de kleideklaag worden afgedrukt. Dit is weergegeven in figuur 1. Het verhang onder de deklaag bedraagt in dit geval 1,0 m (de onderzijde van de kleideklaag ligt op een niveau van NAP +1,5 m).

De weerstand tegen opdrukken is gecontroleerd conform [TRWG, 2001], formule 5.4.1 (eenvoudige formule) en formule 5.4.2 (gedetailleerde formule). De eenvoudige formule betreft een evenwichtsberekening, waarbij de verhouding tussen het gewicht van de deklaag en de opwaartse waterdruk is berekend. De gedetailleerde formule neemt tevens de sterkte van de deklaag in beschouwing, die gemobiliseerd wordt als sprake is van opdrukken.

Voor de dikte van de deklaag is een waarde van 0,6 m aangehouden. Het volumiek gewicht van de deklaag bedraagt conform de uitgangspunten [1] 16,5 kN/m^3. De hoek van inwendige wrijving bedraagt φ'_{rep} = 26,4° en de cohesie bedraagt c'_{rep} = 3,75 kPa.
In tegenstelling tot wat is aangehouden in [TRWG, 2001] is voor de totale veiligheidsfactor conform het antwoord op helpdesk water vraag 428 γ_d γ_n = 1,2 (-) aangehouden.



Figuur 1: Waterstand onder de kruin bij MHW-omstandigheden

De veiligheidsfactor tegen opdrukken bedraagt voor beide formules:

Eenvoudige formule: FS = 0,76 (-)
Gedetailleerde formule: FS = 1,50 (-)

Op basis van de gedetailleerde berekening volgt dat de dijk voldoet op microstabiliteit.

4. BEREKENINGSRESULTATEN ONTWERP

4.1. Benodigd ruimtebeslag

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**.

Tabel 5: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 34,5

Variant	Normering	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Nieuw	29	7	36
Versterkt + aardbeving	Nieuw	50	39	89

4.2. Piping

Aangezien de stijghoogten ongeveer gelijk zijn aan de stijghoogte bij de hertoets (paragraaf 3.2) is de opbarstveiligheid onvoldoende. Daarom wordt de benodigde kwelweglengte bepaald. Bij toepassing van de nieuwe normering volgens het voorlopig OI2014 dient de benodigde kwelweglengte bepaald te worden met de aangepaste formule van Sellmeijer.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- MHW: NAP +6,35 m
- Polderpeil: NAP -1,3 m
- Verval: 7,65 m
- Dikte zandlaag: 50 m
- Doorlatendheid zandlaag: k= 10 m/dag
- Korrelgrootte zand: d_{70} = 200 µm

Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de Pleistocene zandlaag snijdt. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar. Uitgaande van het beschikbare dwarsprofiel bedraagt de aanwezige kwelweglengte minimaal 137 m (dit punt bevindt zich op een afstand van ca. 39 m vanaf de huidige buitenteen).

Voor de sterktefactor voor piping is niet de in [DEL 2014] aanbevolen waarde van γ_{mp} = 1,46 (-) toegepast, maar is de sterktefactor aan de hand van [DEL 2014] bepaald uitgaande van een faalkansruimte van ω = 0,04 (-). De sterktefactor bedraagt in dat geval γ_{mp} = 1,66 (-). Voor de schematiseringsfactor is een waarde van γ_b = 1,1 (-) toegepast.

De benodigde kwelweglengte bedraagt volgens de aangepaste formule van Sellmeijer 136 m. Hiermee voldoet het profiel op piping.

Aanbevolen wordt om de dikte van de watervoerende laag met meer nauwkeurigheid te bepalen, bijvoorbeeld met behulp van DINO-grondonderzoek dat tot grotere diepte reikt. Daarnaast wordt aanbevolen om de doorlatendheid van de zandlaag met meer nauwkeurigheid te bepalen.

4.3. Microstabiliteit

Op dezelfde wijze als bij de hertoets (paragraaf 3.3) is de weerstand tegen micro-instabiliteit bepaald. Bij de nieuwe normering is uitgegaan van een hoogte van de freatische lijn onder de kruin van NAP +4,7 m. Hiermee bedraagt het verval 4,7 -1,5 = 3,2 m. Het binnentalud heeft een helling van 1v:4h. De dikte van de deklaag bedraagt 1,0 m.

De veiligheidsfactor tegen opdrukken bedraagt voor beide formules:

Eenvoudige formule: FS = 0,42 (-)
Gedetailleerde formule: FS = 0,58 (-)

Uit zowel de eenvoudige als de gedetailleerde berekening volgt dat de dijk niet voldoet op microstabiliteit.

De benodigde deklaagdikte is bepaald aan de hand van de gedetailleerde formule. Hieruit volgt dat een minimale deklaagdikte van 1,7 m benodigd is.

Aanbevolen wordt om een meer gedetailleerde berekening te maken van het verloop van de freatische lijn tijdens MHW, met bijvoorbeeld grondwaterstromingsmodellen. Hierbij is het van belang om meer inzicht te verkrijgen in de doorlatendheid van de deklaag aan de buitenzijde van de dijk en in de mate waarin de teensloot fungeert als drain voor de freatische lijn in het zandlichaam. Hiermee kan het verloop van de freatische lijn, en daarmee de microstabiliteit van de dijk met meer zekerheid worden bepaald. Daarnaast mag voor de geotechnische mechanismen met een lagere waterstand en dus lagere overslag worden gerekend dan voor de dimensionering van de kruinhoogte. Derhalve is de aangehouden infiltratie bij 5 l/m/s conservatief. Het overslagdebiet waarmee rekening dient te worden gehouden voor macrostabiliteit zal lager zijn.

5. CONCLUSIES

Van profiel dp 34,5 is zowel een hertoets uitgevoerd als een ontwerp bepaald voor de versterkingsmaatregel, uitgaande van de nieuwe normering.

Uit de resultaten van de hertoets blijkt dat de dijk niet voldoet ten aanzien van binnenwaartse stabiliteit. Op de buitenwaartse stabiliteit voldoet de dijk wel. Ook voldoet de dijk ten aanzien van piping en microstabiliteit.

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Uitgaande van de nieuwe normering dient de dijk met ca. 20 cm te worden verhoogd. Om te kunnen voldoen aan de stabiliteitseisen is aan de binnenzijde een extra ruimtebeslag van 29 m benodigd. Aan de buitenzijde is een extra ruimtebeslag van 7 m benodigd. Als rekening wordt gehouden met aardbevingen bedraagt het extra ruimtebeslag aan de binnenzijde 50 m. Aan de buitenzijde is dan 39 m extra ruimtebeslag benodigd.

De dijk voldoet bij het standaardontwerp met een kleilaag van 1 m op het binnentalud niet ten aanzien van microstabiliteit. Bij een dikte van de deklaag van 1,7 m voldoet de dijk wel ten aanzien van microstabiliteit. Aanbevolen wordt om een meer gedetailleerde berekening te maken van het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam tijdens MHW, met bijvoorbeeld grondwaterstromingsmodellen. Hiermee kan het verloop van de freatische lijn, en daarmee de microstabiliteit van de dijk met meer zekerheid worden bepaald. Tevens wordt aanbevolen om het infiltratiedebiet bij overslag op basis van de waterstand die geldig is voor microstabiliteit te bepalen. Nu is gerekend met de waterstand voor geotechnische faalmechanismen, waardoor het overslagdebiet groter is.
Uit berekeningen blijkt dat de dijk ook bij het ontwerp voldoet op piping.

Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

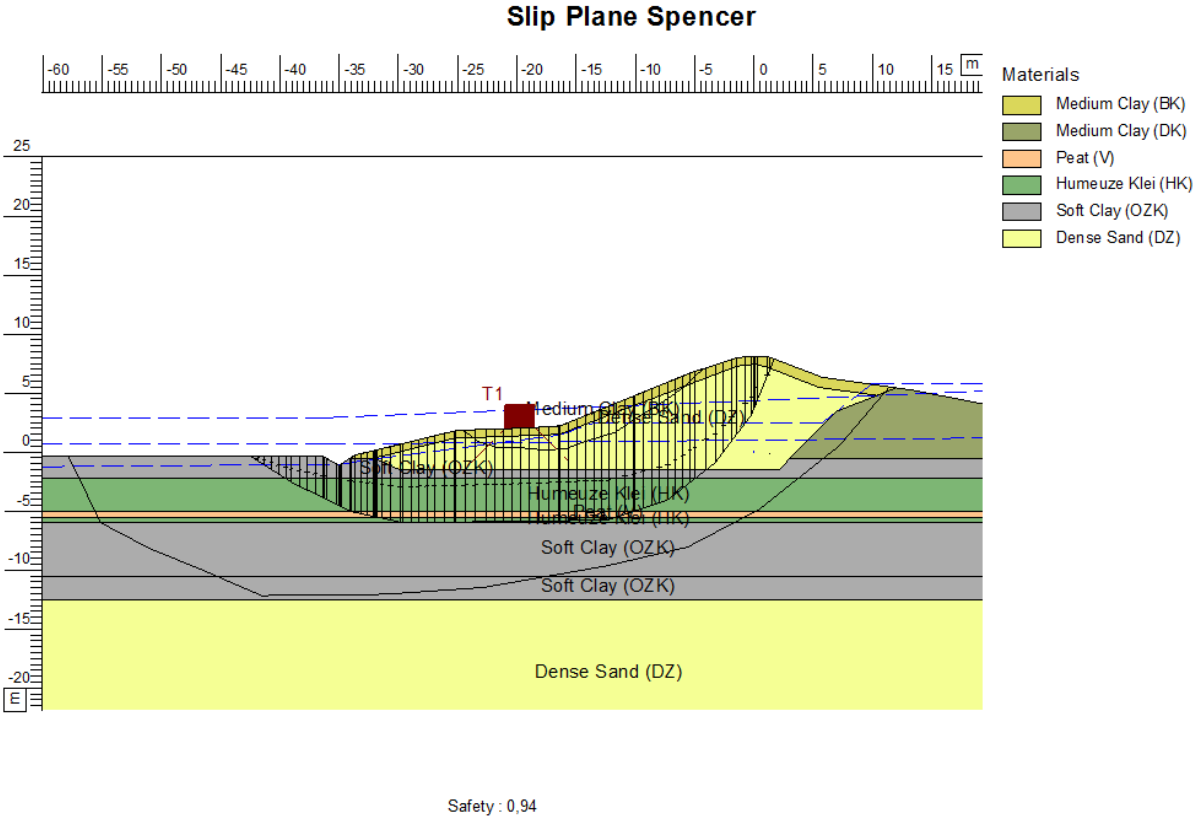
- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Aanbevolen wordt om het verloop van de freatische lijn met grondwaterstromingsmodellen te bepalen. Hiermee kan de freatische lijn mogelijk geoptimaliseerd worden.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot/watergang ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot/watergang geschematiseerd. Het ruimtebeslag inclusief verplaatsing van de kwelsloot/watergang is dus groter dan het ruimtebeslag wat hier is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.

Bijlagen:

Berekeningsresultaten	1

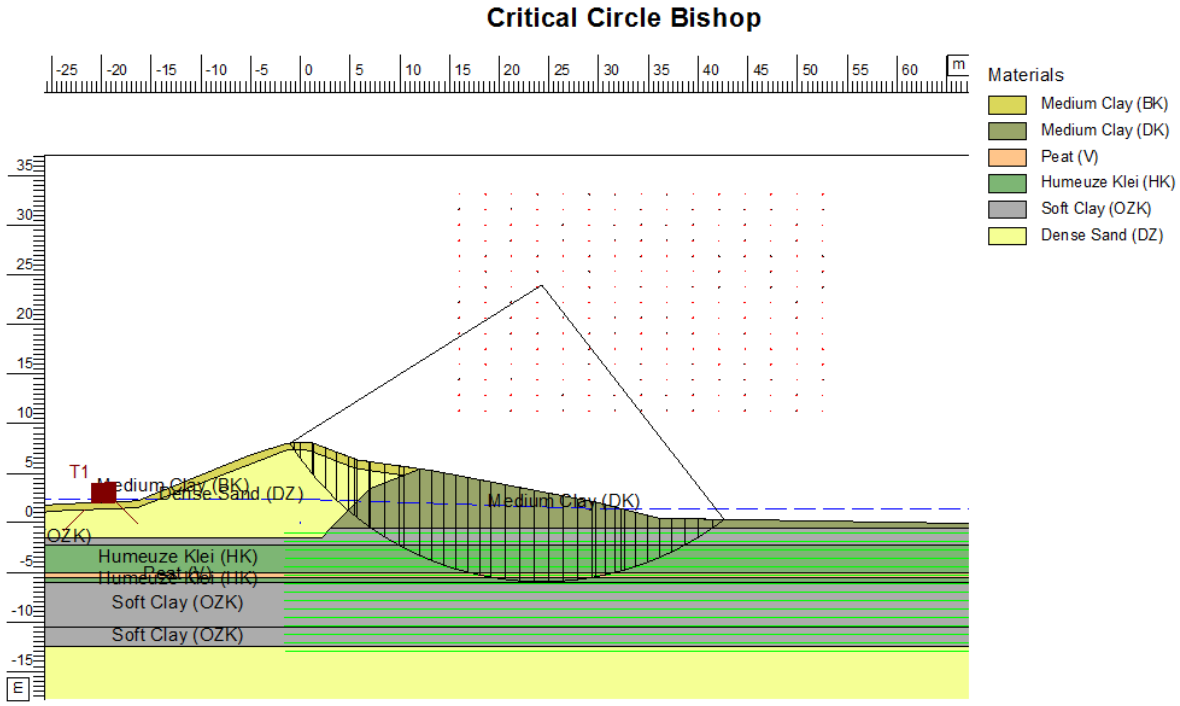
BIJLAGE 1

Resultaten STBI hertoets



Safety : 0,94

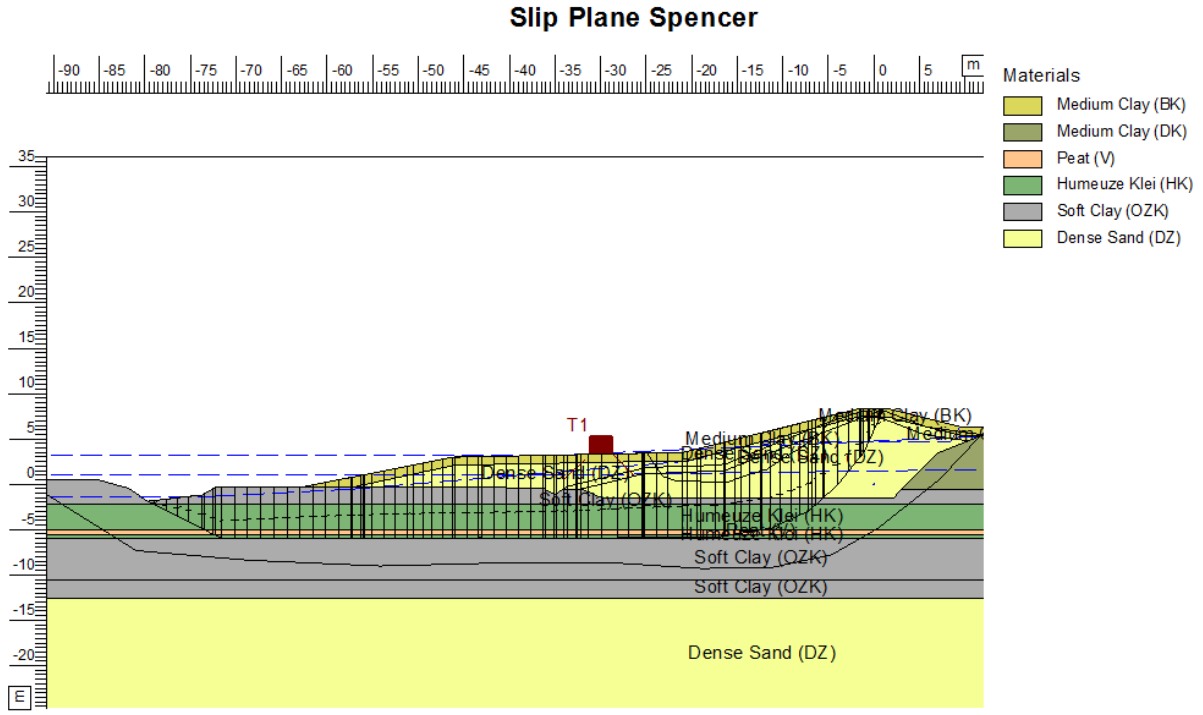
Resultaten STBU hertoets



Xm : 24,28 [m]
Ym : 24,00 [m]

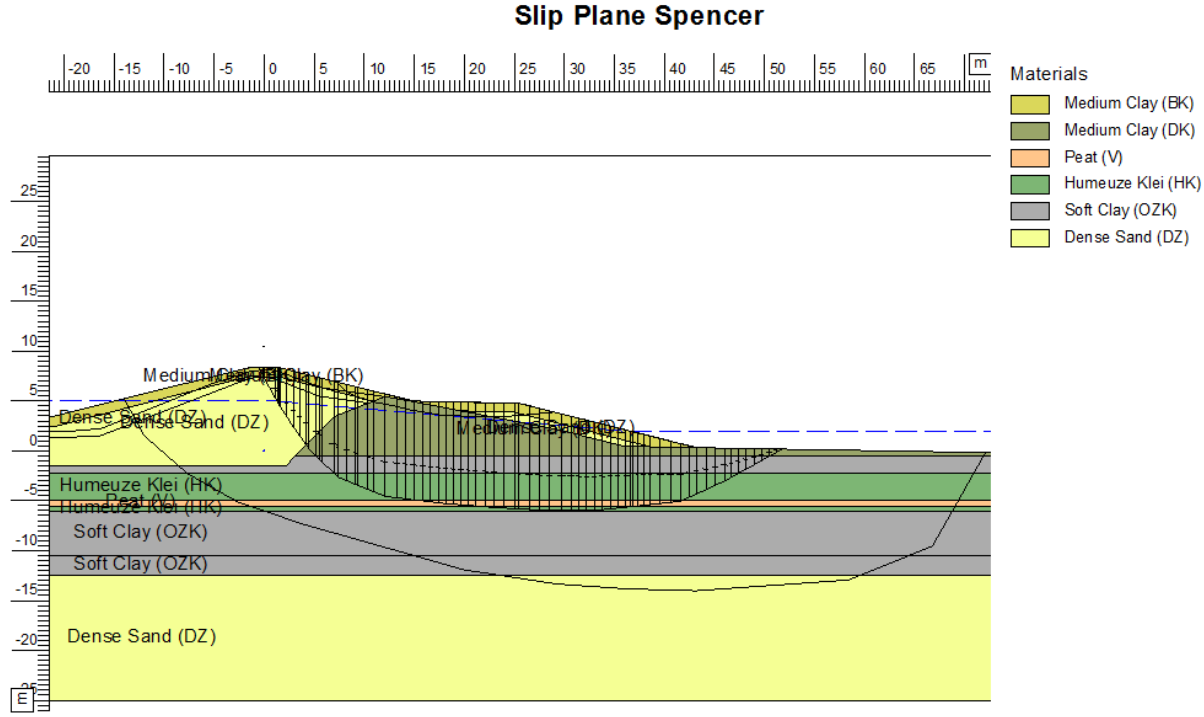
Radius : 29,94 [m]
Safety : 1,23

Resultaten STBI, nieuwe normering



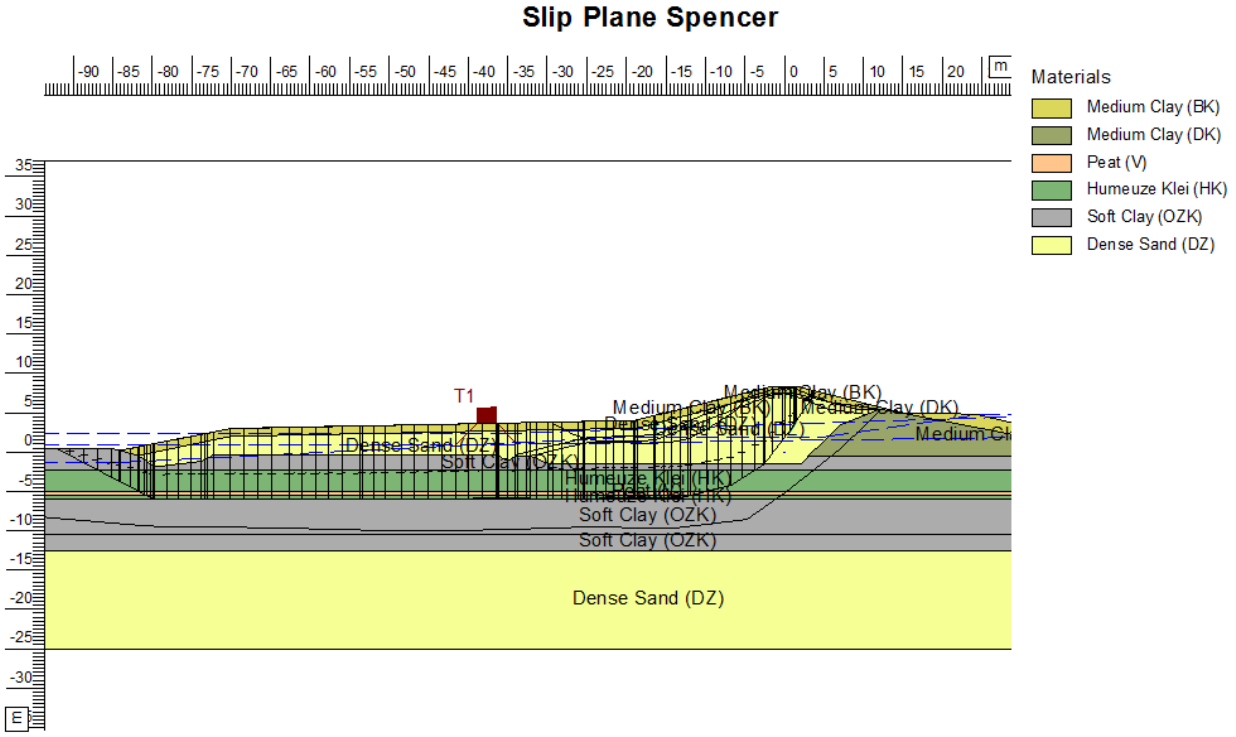
Safety : 1,19

Resultaten STBU, nieuwe normering



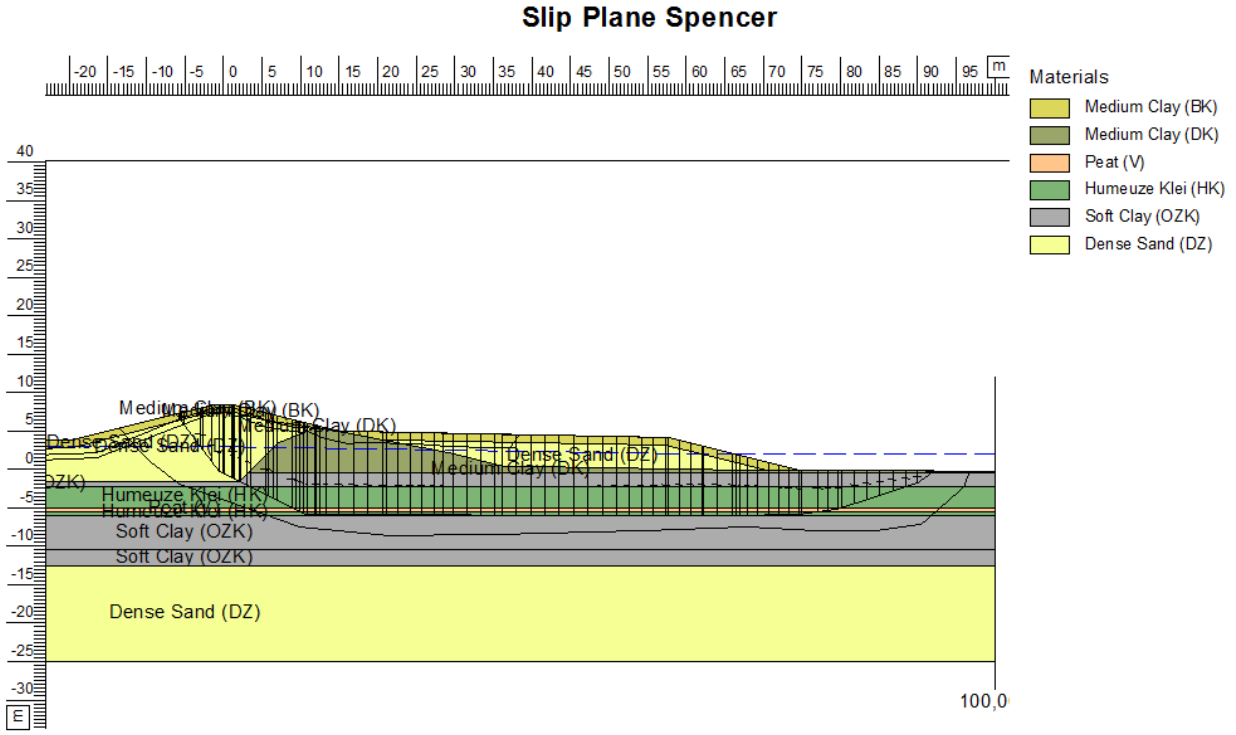
Safety : 1,14

Resultaten STBI, nieuwe normering, incl. aardbeving



Safety : 1,21

Resultaten STBU, nieuwe normering, incl. aardbeving



Safety : 1,15

Bijlage 3.3 Memo raai 61

Aan : Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)

Van : W.J. Leeuwdrent (Fugro)

Controle : Ben Rijneveld (Fugro)

Ref : 1212-0075-003.M05v3concept/BRV

Versie : 3

Datum : 9 januari 2015

Betreft : Berekeningen benodigd ruimtebeslag dp 32,5, raai 61

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 32,5 (raai 61) gegeven.

2. UITGANGSPUNTEN

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT).

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v2concept, 19 november 2014.

Bij dit dwarsprofiel zijn de ruimtebeslagen voor alle vier sporen (oude en nieuwe normering, met en zonder aardbeving) berekend.

De hydraulische randvoorwaarden zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, inpactanalyse aardbevingen, Waterschap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de gehanteerde literatuur genoemd in de uitgangspunten [1] is gebruik gemaakt van het volgende document:

[TRW, 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004.

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “77804_DTM_Dijk_(140905PW)-32000 - 34000”, dwarsprofiel DWP-12 bij metrering 32500.000.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dit dwarsprofiel is de oude kleidijk aan de buitenzijde gelegen. Merk op dat de dijk destijds in twee slagen is opgehoogd, waardoor ook twee tekeningen beschikbaar zijn. Voor het bepalen van de ligging van de oude kleidijk ten opzichte van het huidige dijkprofiel is hiervan gebruik gemaakt.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

Bij doorsnede dp32, dient de dijk bij de nieuwe normering ca. 1,6 m opgehoogd te worden, zie tabel 2-1. Bij de huidige normering hoeft de dijk niet opgehoogd te worden.

Tabel 2-1: Benodigde kruinhoogte dp 32,5

Huidige hoogte kruin dijk [m+NAP]	Benodigde hoogte o.b.v. huidige norm [m+NAP]	Benodigde hoogte o.b.v. nieuwe norm [m+NAP]
8,08	8,02	9,69 (kruinhoogte ca. 1,6 m opgehoogd)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2-2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,40 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

Tabel 2-2: Hydraulische randvoorwaarden dp 32,5

	Huidige normering	Nieuwe normering (1/10.000)
Kruinhoogte bij 1 l/s/m overslag	NAP +8,02 m	NAP +9,69 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +6,24 m	NAP +6,60 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	NAP +4,70 m	NAP +5,00 m

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van 1 m opbolling in het talud ten opzichte van het Gemiddeld Hoog Water (GHW). Voor het GHW is een hoogte van NAP +2,10 m aangehouden. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met 0,35 m zeespiegelstijging over de planperiode en 0,40 m bodemdaling.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 61 (B6120, B6140, DKP 6130, B6160, DKP6150, B6180, DKP6190), segment 8, 9 en 10 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP -1,5 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 11 van segment 10 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief hoge kans van voorkomen (ca. 20%) en hier zijn tevens relatief slappe lagen aanwezig in de toplagen. Tevens hebben de toplagen een relatief grote dikte.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

Voor de binnenwaartse stabiliteit is de freatische waterstand is als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin (NAP +3,0 m)
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn verloopt lineair naar de binnenteen (polderpeil)
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Omdat geen nieuwe kwelsloot is geschematiseerd is ervan uitgegaan dat ter plaatse van het uiteinde van de binnenteen het polderpeil aanwezig is.

De freatische waterstand in de kruin is gebaseerd op de hoogst gemeten grondwaterstand in de kruin bij het LiveDijkXL project op ca. NAP +1,85 m, vermeerderd met 0,75 m respons op de buitenwaterstand en 0,4 m compensatie van de bodemdaling.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgangspunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform [TRW, 2004] verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW). Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW en de freatische lijn.

2.5. Partiële factoren macrostabiliteit

De partiële factoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn onderbouwd weergegeven in het uitgangspuntendocument [1]. In tabel 2-3 zijn deze samengevat weergegeven.

Tabel 2-3: Partiële factoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig	1,22	1,16
	Nieuw	1,25	1,19
STBU	Huidig	1,16	1,11
	Nieuw	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

3.1. Benodigd ruimtebeslag

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 3-1.

Tabel 3-1: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 32,5

Variant	Normering	Extra ruimte beslag binnenzijde [m]	Extra ruimte beslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Huidig	8	(STBU voldoet)	8
	Nieuw	14	(STBU voldoet)	14
Versterkt + aardbeving	Huidig	33	13	46
	Nieuw	46	13	59

3.2. Invloed grondparameters oude kleidijk

De parameters van de oude kleidijk zijn vooralsnog overgenomen uit de toetsing die in 2010 is uitgevoerd. Deze zijn weer gebaseerd op tabel 1 van NEN 6740 en dus niet op laboratoriumonderzoek. Door het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse met betrekking tot de eigenschappen van de klei in de oude dijk wordt meer inzicht gekregen in het effect van de aannames ten aanzien van de eigenschappen van deze kleilaag en of het nuttig is om aanvullend (laboratorium)onderzoek naar de eigenschappen van deze laag te doen.

Om de invloed van de grondparameters van de oude kleidijk op de berekeningsresultaten inzichtelijk te krijgen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de grondparameters zijn gevarieerd. De invloed op de buitenwaartse stabiliteit is onderzocht, omdat de binnenwaartse stabiliteit nauwelijks beïnvloed wordt door de sterkte van de grond van de oude kleidijk. Tevens is uitgegaan van de nieuwe normering. De gehanteerde grondparameters zijn weergegeven in tabel 3-2. Hierbij is bij de basisvariant uitgegaan van de grondparameters uit het uitgangspuntendocument [1]. Deze zijn afkomstig uit de uitgevoerde toetsing in 2010. Daarnaast is een berekening gemaakt waarbij uitgegaan is van sterkteparameters welke zijn overgenomen van in andere projecten opgedane praktijkervaringen voor een goed verdichte kleiophoging. Daarnaast is de invloed onderzocht van het verlagen van de cohesie van de oude kleidijk, aangezien de in de toetsing van 2010 gehanteerde waarde relatief hoog is indien deze wordt vergeleken met de ervaringsgetallen uit andere projecten.

Tabel 3-2: Gehanteerde grondparameters oude kleidijk

berekening	γ / γ_{sat} [kN/m^3]	φ'_d [°]	c'_d [kN/m^2]
basis	15,0 / 17,5	14,7	6,7
Praktijkwaarden goed verdichte klei	16,5 / 16,5	22,5	3,0
Lagere cohesie	15,0 / 15,0	14,7	2,5

De benodigde ruimtebeslagen zijn weergegeven in tabel 3-3.

Tabel 3-3: Berekeningsresultaten gevoeligheidsanalyse

Variant	berekening	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]
Geen aardbeving	Alle berekeningen	(STBU voldoet)
Versterkt + aardbeving	basis	13
	Praktijkwaarden goed verdichte klei	29
	Lagere cohesie	38

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat vooral de gehanteerde cohesie van invloed is op het berekeningsresultaat. Tussen de basisberekening (c = 6,7 kN/m^2) en berekening met lage cohesie (c = 2,5 kN/m^2) bedraagt het verschil in ruimtebeslag ca. 25 m. Opgemerkt dient te worden dat ook de volumegewichten tussen de berekeningen verschillen, echter dit heeft relatief weinig invloed op het resultaat. Het verschil in veiligheidsfactor bedraagt ca. 1/100). De gehanteerde waarden voor het volumegewicht en de hoek van inwendige wrijving hebben minder invloed op het benodigde ruimtebeslag.

4. CONCLUSIES

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Bij de huidige normering is het niet nodig de dijk te verhogen. Bij de nieuwe normering (overstromingskans 1/10.000) dient de dijk met ca. 1,6 m te worden verhoogd, wat tevens effect heeft op het ruimtebeslag aan de binnen- en buitenzijde.

Hieruit volgt dat bij de genoemde uitgangspunten met een extra ruimtebeslag aan de binnenzijde van orde 10 m tot een veilig ontwerp kan worden gekomen, uitgaande van de huidige normering. Bij de nieuwe normering is een extra ruimtebeslag van orde 15 m benodigd. Als rekening wordt gehouden met het effect van aardbevingen is bij de huidige normering orde 30 m extra ruimte benodigd. Bij de nieuwe normering is orde 50 m extra ruimte benodigd.
Aan de buitenzijde is geen extra ruimtebeslag benodigd. Als echter rekening wordt gehouden met aardbevingen is voor zowel de huidige als de nieuwe normering een extra ruimtebeslag van orde 15 m benodigd.

Om de invloed van de gehanteerde grondparameters van de oude kleidijk op het benodigde ruimtebeslag inzichtelijk te maken, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De invloed op de buitenwaartse stabiliteit is onderzocht, omdat de binnenwaartse stabiliteit nauwelijks beïnvloed wordt door de sterkte van de grond van de oude kleidijk. Uit de berekeningen blijkt dat vooral de waarde van de cohesie een relatief grote invloed heeft op het benodigde ruimtebeslag. De gehanteerde cohesie voor de oude kleidijk is relatief hoog in vergelijking met op praktijkervaringen vastgestelde waarden voor kleiophogingen. Geadviseerd wordt om aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek naar de oude kleidijk uit te voeren.

Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

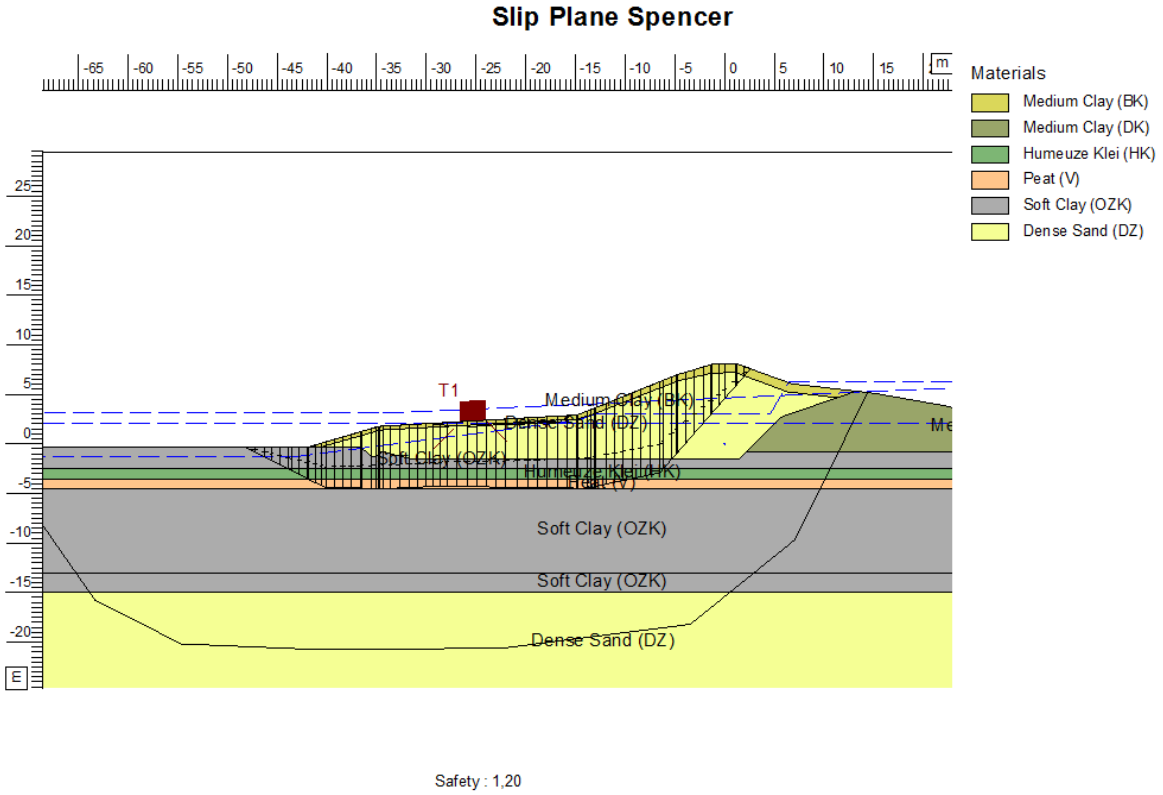
- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende (tussen)zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot geschematiseerd. Hierdoor kan het ruimtebeslag groter zijn dan is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.

Bijlagen:

Berekeningsresultaten 1

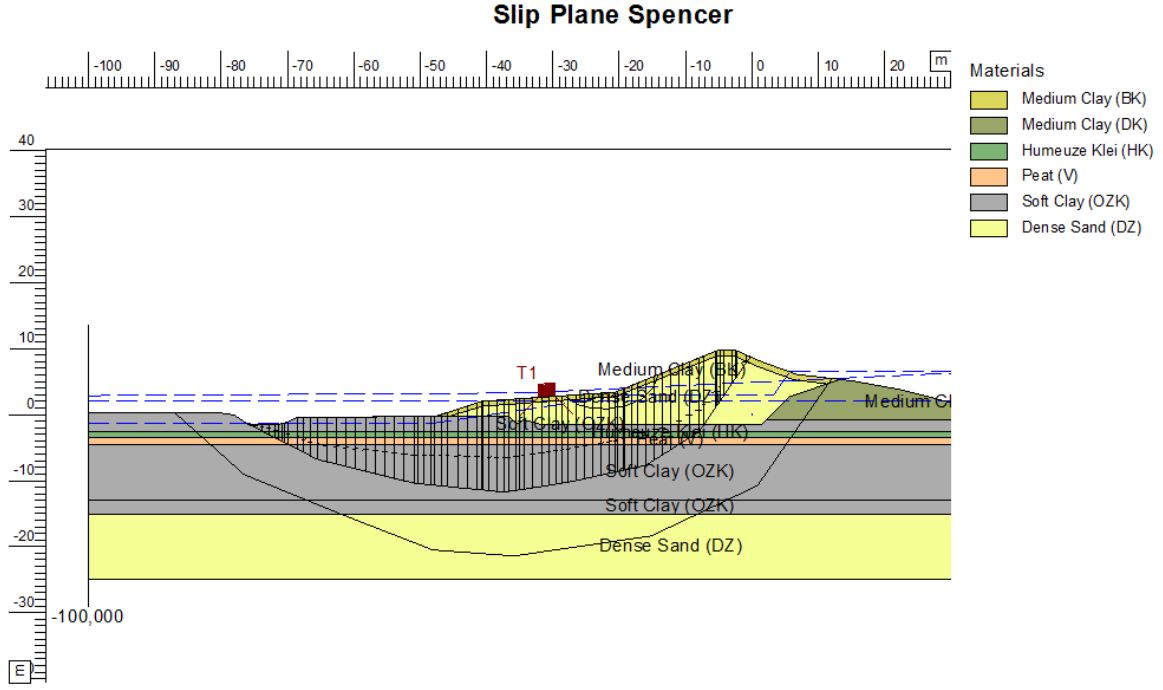
BIJLAGE 1

Resultaten STBI huidige normering



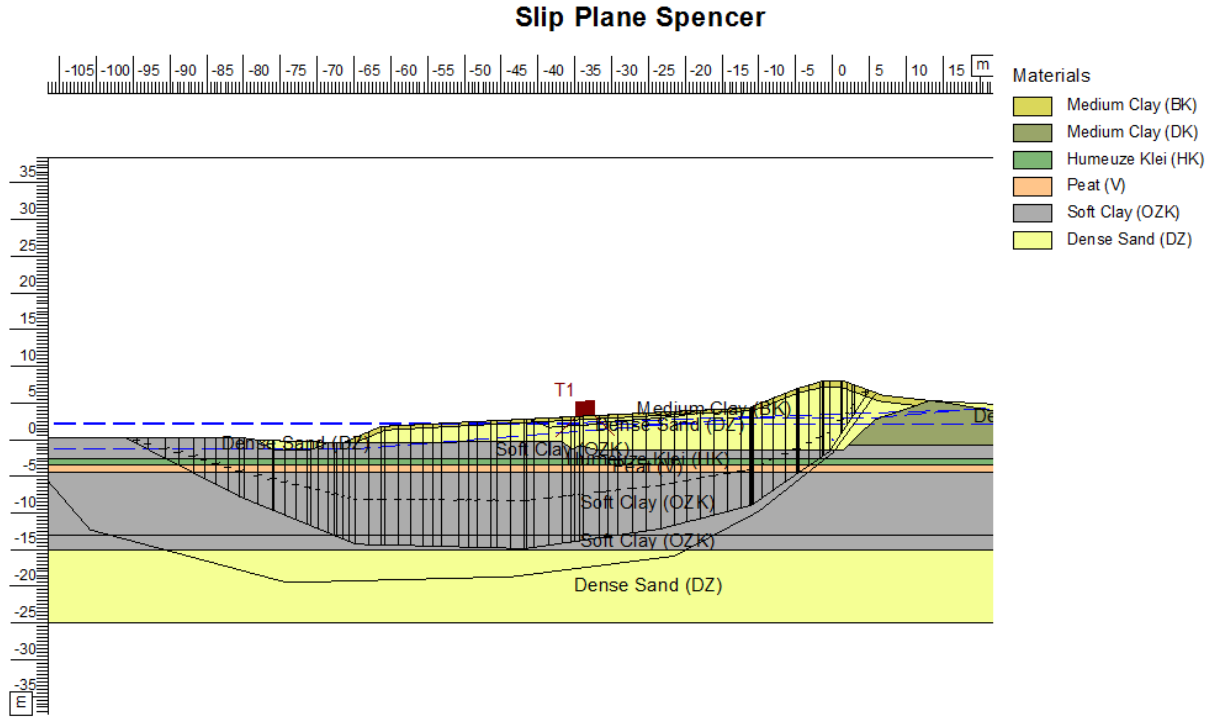
Safety : 1,20

Resultaten STBI nieuwe normering



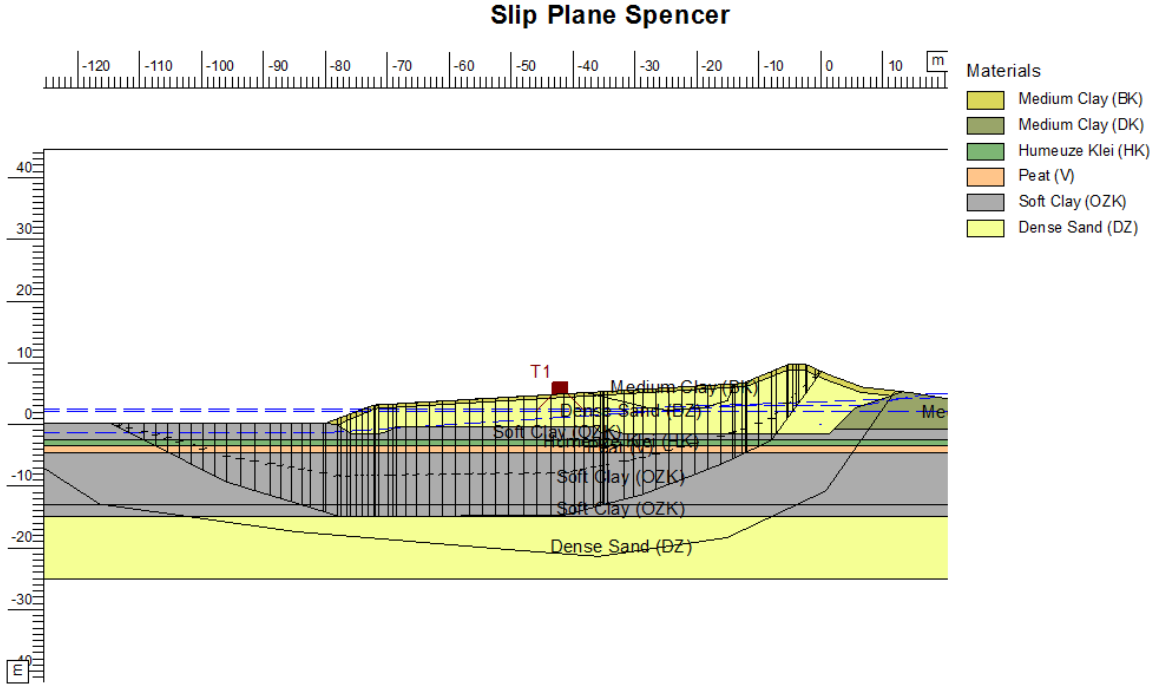
Safety : 1,22

Resultaten STBI, incl. aardbeving, huidige normering



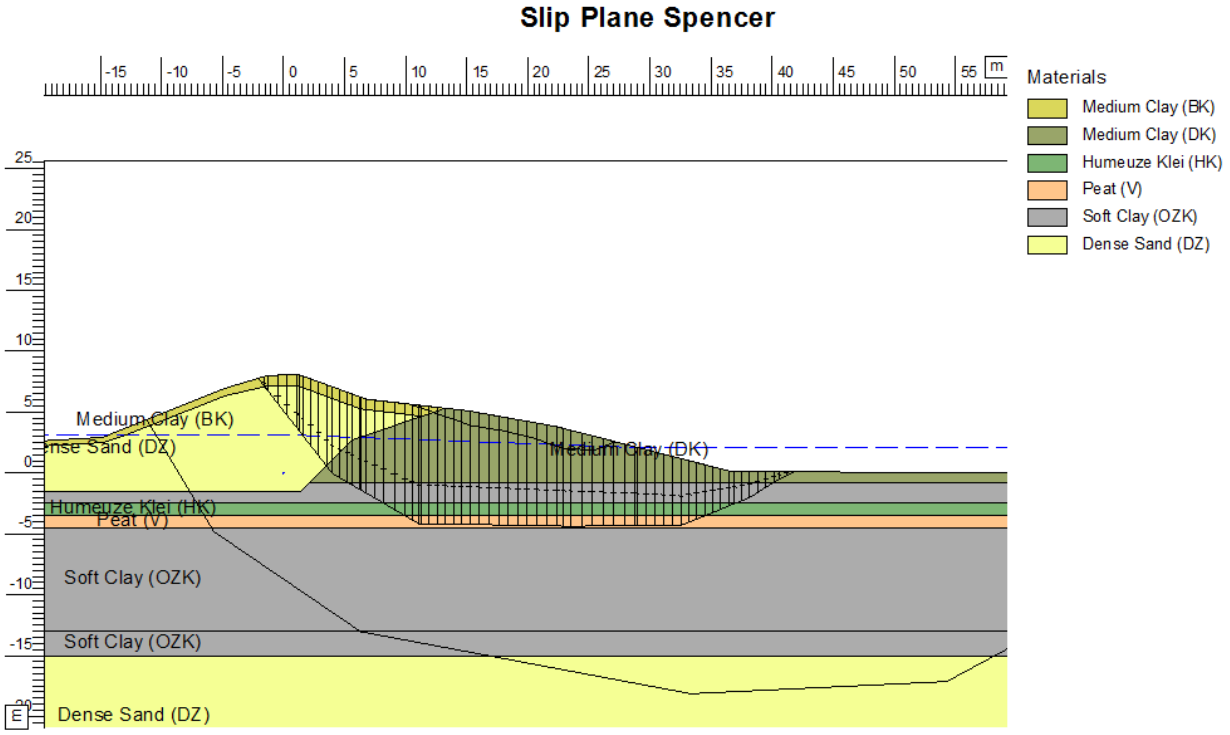
Safety : 1,18

Resultaten STBI, incl. aardbeving, nieuwe normering



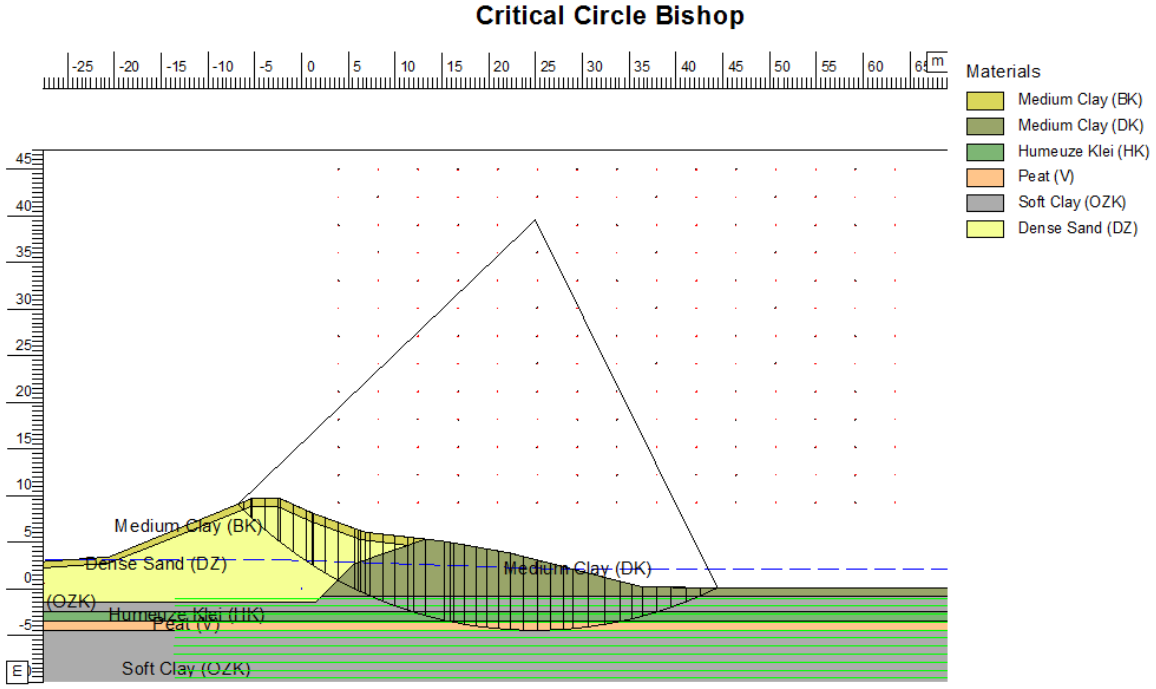
Safety : 1,19

Resultaten STBU, huidige normering



Safety : 1,35

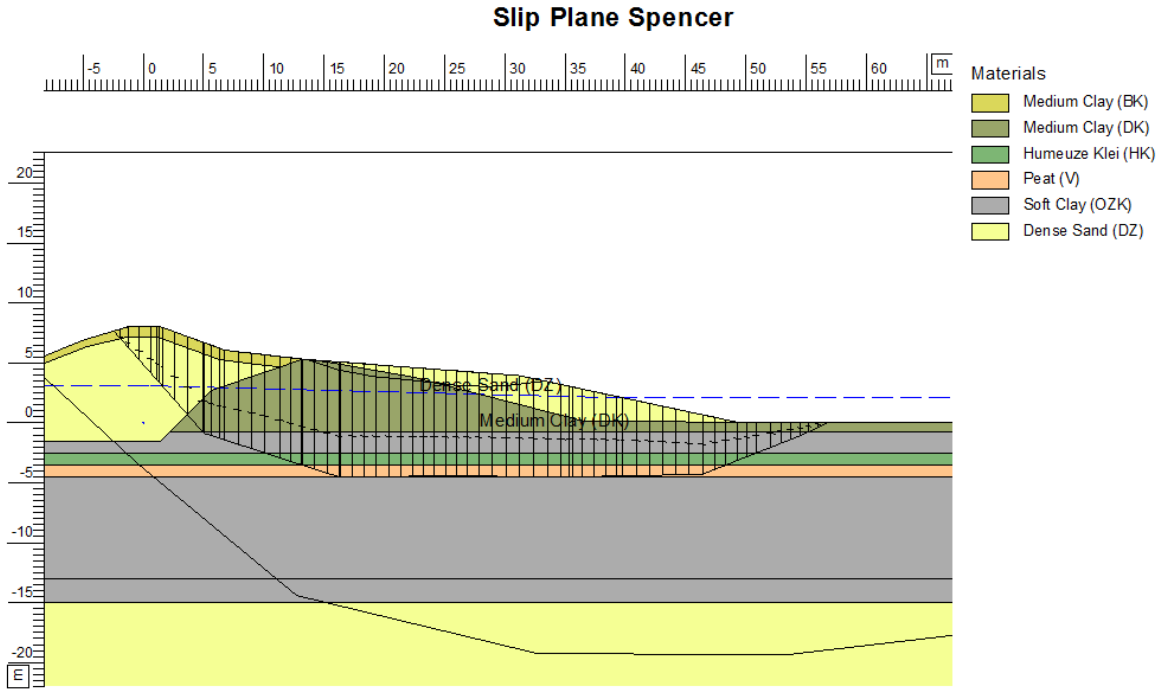
Resultaten STBU, nieuwe normering



Xm : 24,94 [m]
Ym : 39,56 [m]

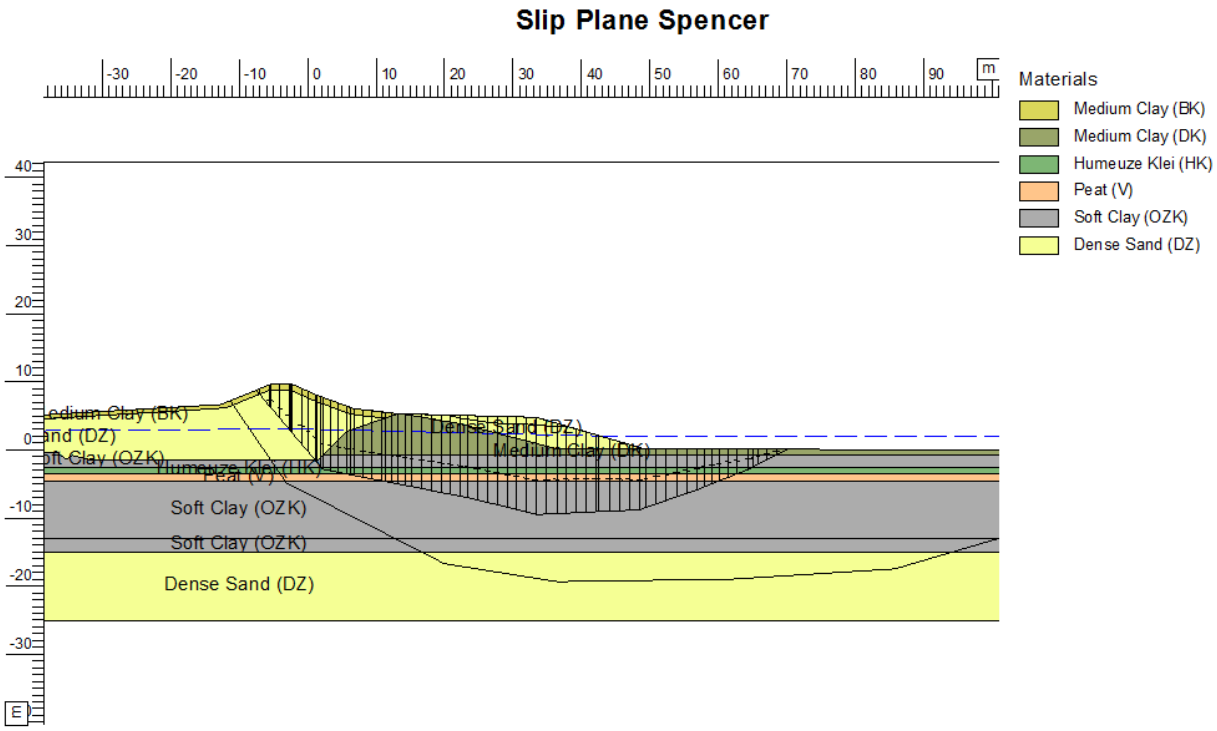
Radius : 44,00 [m]
Safety : 1,37

Resultaten STBU, incl. aardbeving, huidige normering



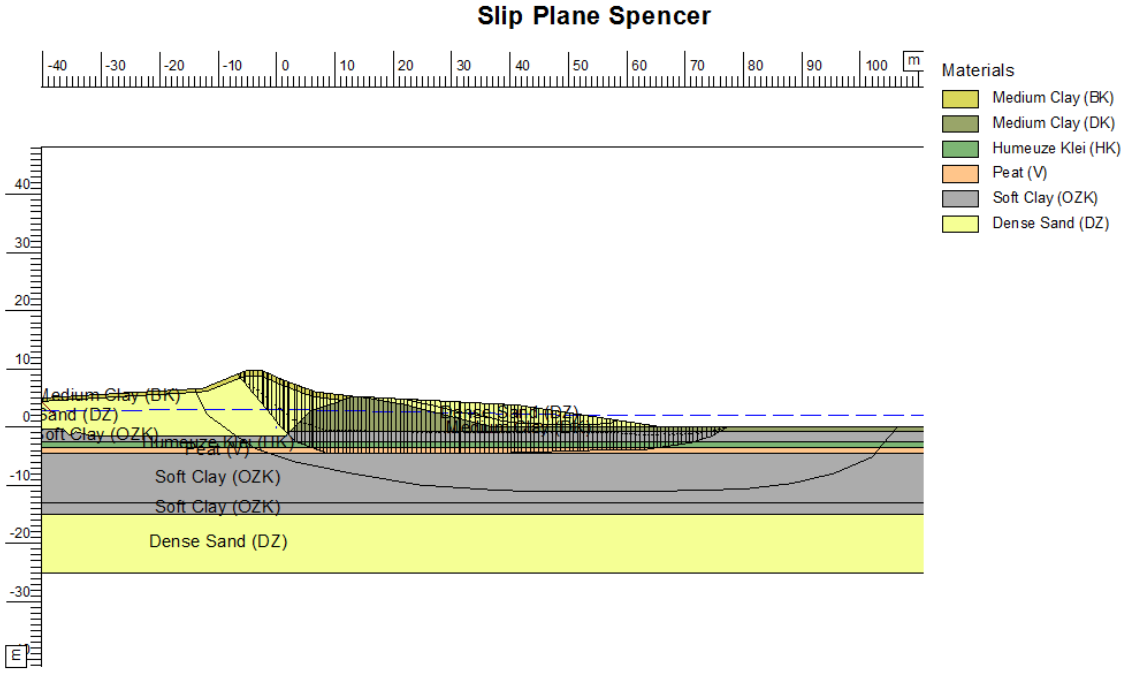
Safety : 1,12

Resultaten STBU, incl. aardbeving, nieuwe normering



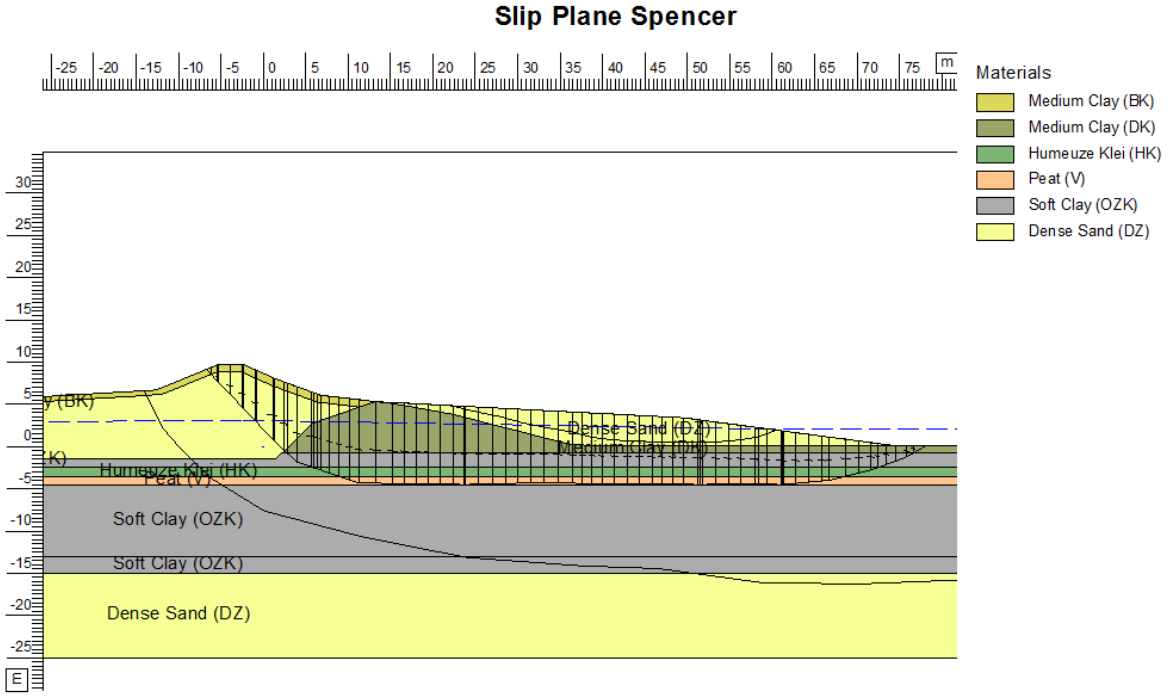
Safety : 1,19

Resultaten STBU, incl. aardbeving, nieuwe normering
Bij vaak gehanteerde kleiparameters van de oude kleidijk



Safety : 1,14

Resultaten STBU, incl. aardbeving, nieuwe normering
Lage cohesie van oude kleidijk



Safety : 1,15

Bijlage 3.4 Memo raai 61

Aan : Martin Arends (Arcadis), Martin van der Meer (Fugro)

Van : W.J. Leeuwdrent (Fugro)

Controle : Ben Rijneveld (Fugro)

Ref : 1212-0075-003.M05v7concept/BRV

Versie : 7

Datum : 18 februari 2015

Betreft : Berekeningen benodigd ruimtebeslag dp 32,5, raai 61

1. INLEIDING

In deze notitie worden de eerste berekeningsresultaten voor de dijkversterking ter plaatse van dp 32,5 (raai 61) gegeven. Zowel de resultaten van de hertoets als de resultaten van het voorontwerp, uitgaande van de nieuwe normering, zijn beschreven.

2. UITGANGSPUNTEN

De hertoets is gericht op het toetsen van de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU), piping (STPH) en microstabiliteit (STMI).

De ontwerpberekeningen zijn gericht op het bepalen van het ruimtebeslag als rekening gehouden wordt met de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en hoogte (HT). Daarnaast is het ontwerp gecontroleerd op de faalmechanismen piping (STPH) en microstabiliteit (STMI). Voor het ontwerp zijn zowel berekeningen met als zonder aardbevingsbelasting uitgevoerd.

De uitgangspunten zijn in een eerdere fase van het project opgesteld en beschreven in het volgende document:

[1] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, notitie 1212-0075-003.M03v4concept, 20 januari 2014.

Zoals in het uitgangspuntendocument is vermeld zijn voor het versterkingsontwerp alleen de sporen 3 en 4 (nieuwe normering) beschouwd.

De hydraulische randvoorwaarden voor de hertoets en voor het ontwerp met aardbevingsbelasting zijn beschreven in het volgende document:

[2] Ontwerp kruinhoogte Waddenzeedijken, impactanalyse aardbevingen, Waterschap Noorderzijlvest, Arcadis-rapport C03011.000330.0100, 20 november 2014

Naast de genoemde literatuur in [1] is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

[TRZ, 1999] Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), maart 1999.

[TRWG, 2001] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), juni 2001.

[DEL 2014] Ontwerpaanpak Eemshaven Delfzijl, Deltares rapport 1210009-005-GEO-0001, versie werkversie, 1 oktober 2014, concept

2.1. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op tekening “Dwarsprofielen spoor 3”, Arcadis, tek nr 11, versie 0!2, dwarsprofiel raai 61 spoor 3.

De ligging van de oude kleidijk is gebaseerd op de archieftekeningen. Bij dit dwarsprofiel is de oude kleidijk aan de buitenzijde gelegen. Merk op dat de nieuwe zanddijk destijds in twee slagen is opgehoogd, waardoor ook twee tekeningen beschikbaar zijn. Voor het bepalen van de ligging van de oude kleidijk ten opzichte van het huidige dijkprofiel is hiervan gebruik gemaakt.

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van de benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

Bij doorsnede dp32,5 voldoet de dijk bij het ontwerp niet aan de benodigde hoogte, zie tabel 1. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] uitgegaan van een overslagdebiet van 5 l/m/s. Bij het ontwerp is rekening gehouden met de benodigde ophoging van de dijk.
De hoogte is bij de hertoets niet beoordeeld.

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte dp 32,5

Variant	Huidige kruinhoogte [m+NAP]	Benodigde kruinhoogte ontwerp [m+NAP]
Versterkt (5 l/m/s overslag)	8,08	8,53 (voldoet niet)

2.2. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in [1] en [2]. Voor dit profiel zijn de gehanteerde waarden in tabel 2 weergegeven. Hierbij is conform de uitgangspunten [1] 0,20 m bij de genoemde waarden in [2] opgeteld, om rekening te houden met bodemdaling tijdens de planperiode.

Tabel 2: Hydraulische randvoorwaarden dp 32,5

	Hertoets	Spoor 3 en 4 [1)]
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanismen	NAP +5,74 m	NAP +6,25 m
Waterstand t.b.v. geotechnische faalmechanisme, rekening houdend met aardbeving	-	NAP +4,80 m

[1)] Inclusief bodemdaling over 25 jaar

Voor het GHW is voor spoor 3 en 4 een hoogte van NAP +1,95 m aangehouden en voor de hertoets een hoogte van NAP +1,35 m. Deze waterstand is bepaald op basis van het huidige GHW van NAP +1,35 m bij Delfzijl (Waternormalen), rekening houdend met een robuustheidstoeslag van 0,40 m en 0,20 m bodemdaling voor het ontwerp.

2.3. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van raai 61 (B6120, B6140, DKP 6130, B6160, DKP6150, B6180, DKP6190), segment 8, 9 en 10 van het stochastisch ondergrondmodel en de bestekstekeningen.

De gehanteerde grondparameters zijn beschreven in het uitgangspuntendocument [1].

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de hoogte van de onderzijde van het zandcunet van de dijk is een niveau van NAP -1,5 m aangehouden.

Voor de maatgevende grondopbouw is op basis van expert judgement scenario 11 van segment 10 gehanteerd. Dit scenario heeft een relatief hoge kans van voorkomen (ca. 20%) en hier zijn tevens relatief slappe lagen aanwezig in de toplagen. Tevens hebben de toplagen een relatief grote dikte.

Merk op dat de keuze van het ondergrondscenario is gebaseerd op de grondparameters uit [1]. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

2.4. Geohydrologische schematisatie

De schematisatie van de freatische lijn en stijghoogten zijn beschreven in de uitgangspunten [1]. Aanvullend hierop zijn de gehanteerde waarden voor dit profiel beschreven.

Voor het bepalen van de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) is voor de freatische lijn in de kruin bij de hertoets uitgegaan van NAP +2,5 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project van ca. NAP +1,75 m, met een toeslag van 0,75 m voor het effect van instroom op het buitentalud bij ‘inwendige overstroming’ van de oude kleidijk.
Bij het ontwerp is conform de uitgangspunten [1] uitgegaan van een niveau van NAP +4,7 m. Bij aardbevingsbelasting is uitgegaan van een niveau van NAP +1,95 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project van ca. NAP +1,75 m, met een toeslag van 0,2 m voor het effect van bodemdaling.

Voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) is uitgegaan van een val van hoog water (veroorzaakt door MHW) onder de buitenkruinlijn naar het Gemiddeld Hoog water (GHW). Bij de hertoets is uitgegaan van 1 m opbolling onder de buitenkruinlijn. Bij het ontwerp is uitgegaan van NAP +5,0 m onder de buitenkruinlijn, veroorzaakt door infiltratie door overslag en infiltratie door de kleideklaag aan de buitenzijde. Bij de aardbevingsbelasting is uitgegaan van 1 m opbolling onder de buitenkruinlijn.

Er is geen nieuwe poldersloot geschematiseerd, waardoor ervan uitgegaan is dat het polderpeil aanwezig is ter plaatse van de binnenteen.

Voor de stijghoogte in de Pleistocene zandlaag is conform de uitgangspunten [1] een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen gehanteerd. Voor de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is op basis van stijghoogtemetingen ten bate van het project LivedijkXL een waarde van NAP 0,0 m gehanteerd. De stijghoogte verloopt lineair van de buitenwaterstand ter plaatse van de buitenteen, naar de stijghoogte die geldt bij 50% respons ter plaatse van de huidige binnenteen.

Conform de uitgangspunten verloopt de stijghoogte in de indringingslaag van de stijghoogte in het Pleistoceen naar de Gemiddelde Hoog waterstand (GHW), bij een respons van 50% ter plaatse van de binnenteen. Voor de stijghoogte in de slappe lagen boven de indringslagen is lineair geïnterpoleerd tussen GHW (respons van 50% t.p.v. binnenteen) en de freatische lijn.

2.5. Stabiliteitseis macrostabiliteit

De eis aan de stabiliteitsfactor bij rekenwaarden van de materiaalfactoren voor zowel de binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit zijn afkomstig uit het uitgangspuntendocument [1] en samengevat in tabel 3.

Tabel 3: Stabiliteitseis voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig (hertoets)	1,11	1,05
	Nieuw (versterking)	1,25	1,19
STBU	Huidig (hertoets)	1,05	1,00
	Nieuw (versterking)	1,20	1,14

3. BEREKENINGSRESULTATEN HERTOETS

Van profiel dp 32,5 is een hertoets uitgevoerd. De faalmechanismen macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts), piping en microstabiliteit zijn getoetst.

3.1. STBI en STBU

De berekende stabiliteitsfactoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Berekeningsresultaten hertoets binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 32,5

Normering	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Voldoet?
STBI	1,15	1,02	nee
STBU	1,36	1,33	ja

3.2. Piping

Om de gevoeligheid voor piping te toetsen is de bodemopbouw uit het stochastische ondergrondmodel beschouwd van de segmenten 8, 9 en 10. Hieruit zijn twee zandlagen, een tussenzandlaag en een Pleistocene zandlaag, naar voren gekomen die potentieel gevoelig voor piping kunnen zijn. Het maatgevende profiel voor de tussenzandlaag betreffen scenario 11 en 12 van segment 9. Het maatgevende profiel voor de Pleistocene zandlaag betreffen scenario 7 t/m 10 van segment 10.

<u>Tussenzandlaag</u>

Voor de toetsing op piping zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Dikte deklaag: minimaal 3,75 m (onder de kwelsloot)
- Bovenzijde tussenzandlaag: NAP -5,0 m
- Dikte tussenzandlaag: 5,0 m (uit stochastisch ondergrondmodel)
- MHW: NAP +5,74 m
- Polderpeil: NAP -1,3 m
- Verval: 7,04 m
- Maaiveldhoogte achterland: NAP -0,3 m

Op basis van de boringen en sonderingen blijkt dat de deklaag boven de tussenzandlaag overal is aangetroffen is. Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de tussenzandlaag snijdt. Van de ligging van de geul zijn geen gegevens beschikbaar, deze valt buiten het ingemeten profiel. Uitgaande van het beschikbare dwarsprofiel bedraagt de aanwezige kwelweglengte minimaal 111 m (dit punt bevindt zich op een afstand van ca. 39 m van de buitenteen).

Om te controleren of piping op kan treden vanuit de tussenzandlaag, is gecontroleerd of de dikte van de deklagen ter plaatse van de kwelsloot voldoende is om opbarsten te voorkomen. Het

gewicht van de deklaag van klei/veen bedraagt ca. 67 kPa. De opwaartse druk vanuit de tussenzandlaag bedraagt, uitgaande van een respons van 50% op het MHW ter plaatse van de binnenteen, 79 kPa. De opdrukveiligheid bedraagt hiermee 67/79 = 0,85 (-). Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van γ = 1,2 (-) gehanteerd. Hiermee wordt niet voldaan aan de eis voor opbarsten en wordt de weerstand tegen piping gecontroleerd met behulp van de rekenregel van Bligh [TRZ, 1999]. Voor de formule van Bligh wordt uitgegaan van een creep-factor van 18 (-), geldig voor zeer fijn zand.

De benodigde kwelweglengte volgens de formule van Bligh bedraagt 107 m. Hiermee voldoet de tussenzandlaag ten aanzien van piping.

Pleistocene zandlaag
Voor de toetsing op piping zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:
- Dikte deklaag: minimaal 8,75 m (onder de kwelsloot)
- Bovenzijde Pleistocene zandlaag: NAP -10,0 m
- Dikte zandlaag: 50 m
- MHW: NAP +5,74 m
- Polderpeil: NAP -1,3 m
- Verval: 7,04 m
- Maaiveldhoogte achterland: NAP -0,3 m

Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de tussenzandlaag snijdt. Van de ligging van de geul zijn geen gegevens beschikbaar, deze valt buiten het ingemeten profiel. Uitgaande van het beschikbare dwarsprofiel bedraagt de aanwezige kwelweglengte minimaal 111 m (dit punt bevindt zich op een afstand van ca. 39 m van de buitenteen).

Om te controleren of piping op kan treden vanuit de tussenzandlaag, is gecontroleerd of de dikte van de deklagen ter plaatse van de kwelsloot voldoende is om opbarsten te voorkomen. Het gewicht van de deklaag van klei/veen bedraagt ca. 148 kPa. De opwaartse druk vanuit de tussenzandlaag bedraagt, uitgaande van een respons van 50% op het MHW ter plaatse van de binnenteen, 128 kPa. De opdrukveiligheid bedraagt hiermee 148/128 = 1,16 (-). Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van γ = 1,2 (-) gehanteerd. Hiermee wordt niet voldaan aan de eis voor opbarsten en wordt de weerstand tegen piping gecontroleerd met behulp van de rekenregel van Bligh [TRZ, 1999]. Voor de formule van Bligh wordt uitgegaan van een creep-factor van 18 (-), geldig voor zeer fijn zand.

De benodigde kwelweglengte volgens de formule van Bligh bedraagt 80 m. Hiermee voldoet de Pleistocene zandlaag ten aanzien van piping.

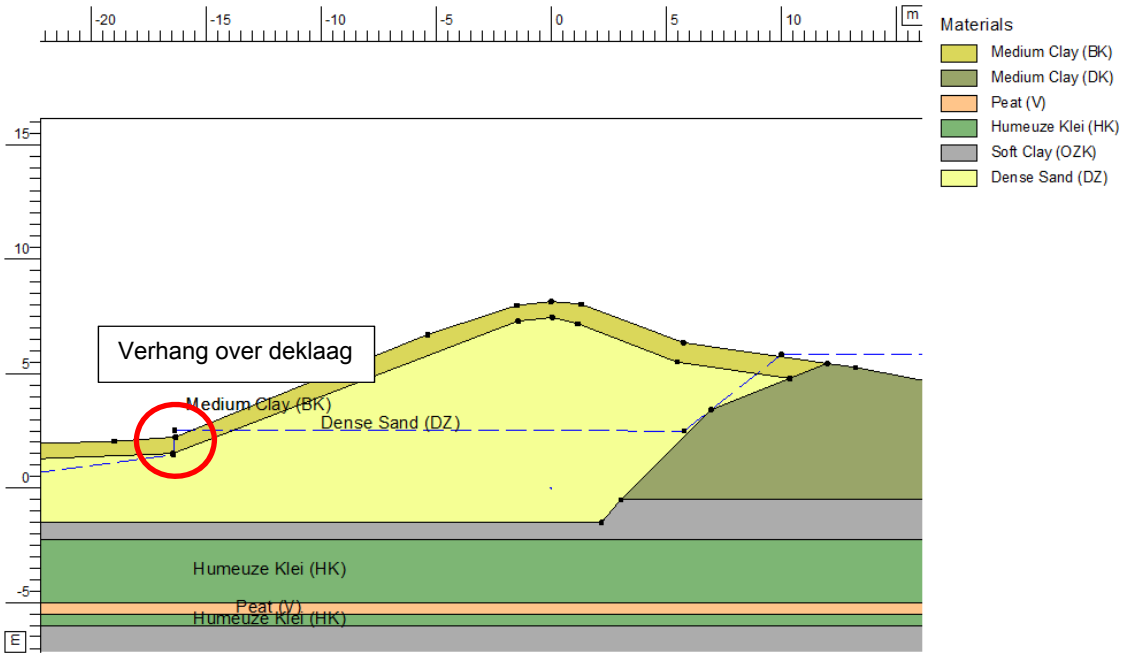
3.3. Microstabiliteit

De microstabiliteit van de dijk dient gecontroleerd te worden voor de kleideklaag aan de binnenzijde van de dijk. Door instroom op het buitentalud bij ‘inwendige overstroming’ van de oude kleidijk, kan bij hoge waterstanden het niveau van de freatische lijn onder de kruin stijgen. Op basis van een eenvoudige berekening, waarbij de dikte van de deklaag, de lengte waarover infiltratie optreedt en het bergend volume van de zanddijk in beschouwing is genomen, is berekend dat de huidige freatische lijn met ca. 0,75 m kan stijgen. Tijdens het LivedijkXL project bedroeg de hoogst gemeten waterstand onder de kruin ca. NAP +1,75 m. Hiermee bedraagt de waterstand onder de kruin tijdens MHW-omstandigheden NAP +2,5 m. Door deze waterstand kan de kleideklaag worden afgedrukt. Dit is weergegeven in figuur 3-1. Het verhang onder de deklaag bedraagt in dit geval 0,75 m (de onderzijde van de kleideklaag ligt op een niveau van NAP +1,75 m).

De weerstand tegen opdrukken is gecontroleerd conform [TRWG, 2001], formule 5.4.1 (eenvoudige formule) en formule 5.4.2 (gedetailleerde formule). De eenvoudige formule betreft een

evenwichtsberekening, waarbij de verhouding tussen het gewicht van de deklaag en de opwaartse waterdruk is berekend. De gedetailleerde formule neemt tevens de sterkte van de deklaag in beschouwing, die gemobiliseerd wordt als sprake is van opdrukken.

Voor de dikte van de deklaag is een waarde van 0,6 m aangehouden. Het volumiek gewicht van de deklaag bedraagt conform de uitgangspunten [1] 16,5 kN/m^3. De hoek van inwendige wrijving bedraagt φ'_{rep} = 26,4° en de cohesie bedraagt c'_{rep} = 3,75 kPa.
In tegenstelling tot wat is aangehouden in [TRWG, 2001] is voor de totale veiligheidsfactor conform het antwoord op helpdesk water vraag 428 γ_d γ_n = 1,2 (-) aangehouden.



Figuur 3-1: Waterstand onder de kruin bij MHW-omstandigheden

De veiligheidsfactor tegen opdrukken bedraagt voor beide formules:

Eenvoudige formule: FS = 1,02 (-)
Gedetailleerde formule: FS = 2,16 (-)

Op basis van zowel de eenvoudige als de gedetailleerde berekening volgt dat de dijk voldoet op microstabiliteit.

4. BEREKENINGSRESULTATEN ONTWERP

4.1. Benodigd ruimtebeslag

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 5.

Tabel 5: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit dp 34,5

Variant	Normering	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Geen aardbeving	Nieuw	18	STBU voldoet	18
Versterkt + aardbeving	Nieuw	40	25*	65

* als geen berm zou worden toegepast is er geen ruimte meer voor een aardbevingsbelasting, de buitenwaartse stabiliteit voldoet zonder aardbeving precies aan de stabiliteitseis

4.2. Piping

Aangezien de stijghoogten ongeveer gelijk zijn aan de stijghoogte bij de hertoets (paragraaf 3.2) is de opbarstveiligheid voor beide zandlagen onvoldoende. Daarom wordt de benodigde kwelweglengte bepaald. Bij toepassing van de nieuwe normering volgens het voorlopig OI2014 dient de benodigde kwelweglengte bepaald te worden met de aangepaste formule van Sellmeijer.

<u>Tussenzandlaag</u>

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Dikte deklaag: minimaal 3,75 m
- Bovenzijde tussenzandlaag: NAP -5,0 m
- Dikte zandlaag: 5,0 m (uit stochastisch ondergrondmodel)
- MHW: NAP +6,25 m
- Polderpeil: NAP -1,3 m
- Verval: 7,55 m
- Doorlatendheid zandlaag: k= 10 m/dag
- Korrelgrootte zand: d_{70} = 200 µm

Op basis van de boringen en sonderingen blijkt dat de deklaag boven de tussenzandlaag overal aanwezig is. Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de tussenzandlaag snijdt. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar. Uitgaande van het versterkte profiel bedraagt de aanwezige kwelweglengte minimaal 126 m (dit punt bevindt zich op een afstand van ca. 39 m vanaf de huidige buitenteen).

Voor de sterktefactor voor piping is niet de in [DEL 2014] aanbevolen waarde van γ_{mp} = 1,46 (-) toegepast, maar is de sterktefactor aan de hand van [DEL 2014] bepaald uitgaande van een faalkansruimte van ω = 0,04 (-). De sterktefactor bedraagt in dat geval γ_{mp} = 1,66 (-). Voor de schematiseringsfactor is een waarde van γ_b = 1,1 (-) toegepast.

De benodigde kwelweglengte bedraagt volgens de aangepaste formule van Sellmeijer 120 m. Hiermee voldoet het profiel op piping.

<u>Pleistocene zandlaag</u>

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Dikte deklaag: minimaal 8,75 m
- Bovenzijde zandlaag: NAP -10,0 m
- Dikte zandlaag: 50 m
- MHW: NAP +6,25 m
- Polderpeil: NAP -1,3 m
- Verval: 7,55 m
- Doorlatendheid zandlaag: k= 10 m/dag

- Korrelgrootte zand: d_{70} = 200 µm

Op basis van de boringen en sonderingen blijkt dat de deklaag boven de tussenzandlaag overal aanwezig is. Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de tussenzandlaag snijdt. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar. Uitgaande van het versterkte profiel bedraagt de aanwezige kwelweglengte minimaal 126 m (dit punt bevindt zich op een afstand van ca. 39 m vanaf de huidige buitenteen).

Voor de sterktefactor voor piping is niet de in [DEL 2014] aanbevolen waarde van γ_{mp} = 1,46 (-) toegepast, maar is de sterktefactor aan de hand van [DEL 2014] bepaald uitgaande van een faalkansruimte van ω = 0,04 (-). De sterktefactor bedraagt in dat geval γ_{mp} = 1,66 (-). Voor de schematiseringsfactor is een waarde van γ_b = 1,1 (-) toegepast.

De benodigde kwelweglengte bedraagt volgens de aangepaste formule van Sellmeijer 163 m. Hiermee zou het profiel op basis van de beschikbare gegevens niet voldoen op piping.

Gecontroleerd is daarom of het opbarstkanaal voldoet aan het heave-criterium. Dit criterium is onderstaand weergegeven (overgenomen uit SBW Piping HP.9 Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, Herziene versie 2011).

$$i_{c;rep} = \frac{\Delta H}{d} < 0,5 \qquad (7.1)$$

waarin:

$i_{c;rep}$:	representatieve waarde van het kritieke verticale uittreeverhang [-]
ΔH:	stijghoogteverschil over het afdekkende pakket slecht doorlatende lagen bij het uittredepunt [m]
d:	minimummaat van de dikte van het afdekkende pakket slecht doorlatende lagen nabij het uittredepunt [m]

Uitgaande van een respons op het buitenwater van 50% bedraagt de stijghoogte in de zandlaag NAP +3,1 m. Het polderpeil bedraagt NAP -1,3 m, waarmee het stijghoogteverschil 3,1 + 1,3 = 4,4 m bedraagt. Bij een deklaagdikte van 8,75 m bedraagt het uitreeverhang 4,4 / 8,75 = 0,50 (-). Hiermee wordt precies aan het heave-criterium voldaan, en voldoet het profiel dus op piping en heave.

Aanbevolen wordt om responsmetingen in de Pleistocene zandlaag uit te voeren, om de respons met meer nauwkeurigheid te kunnen bepalen. Deze metingen kunnen ook toegepast worden in de macrostabiliteitsanalyses.

4.3. Microstabiliteit

Op dezelfde wijze als bij de hertoets (paragraaf 3.3) is de weerstand tegen micro-instabiliteit bepaald. Bij de nieuwe normering is uitgegaan van een hoogte van de freatische lijn onder de kruin van NAP +4,7 m. Hiermee bedraagt het verval 4,7 -2,16 = 2,5 m. Het binnentalud heeft een helling van 1v:4h. De dikte van de deklaag bedraagt 1,0 m.

De veiligheidsfactor tegen opdrukken bedraagt voor beide formules:

Eenvoudige formule: FS = 0,53 (-)
Gedetailleerde formule: FS = 0,77 (-)

Uit zowel de eenvoudige als de gedetailleerde berekening volgt dat de dijk niet voldoet op microstabiliteit.

De benodigde deklaagdikte is bepaald aan de hand van de gedetailleerde formule. Hieruit volgt dat een minimale deklaagdikte van 1,75 m benodigd is.

Aanbevolen wordt om een meer gedetailleerde berekening te maken van het verloop van de freatische lijn tijdens MHW, met bijvoorbeeld grondwaterstromingsmodellen. Hierbij is het van belang om meer inzicht te verkrijgen in de doorlatendheid van de deklaag aan de buitenzijde van de dijk en in de mate waarin de teensloot fungeert als drain voor de freatische lijn in het zandlichaam. Hiermee kan het verloop van de freatische lijn, en daarmee de microstabiliteit van de dijk met meer zekerheid worden bepaald. Daarnaast mag voor de geotechnische mechanismen met een lagere waterstand en dus lagere overslag worden gerekend dan voor de dimensionering van de kruinhoogte. Derhalve is de aangehouden infiltratie bij 5 l/m/s conservatief. Het overslagdebiet waarmee rekening dient te worden gehouden voor macrostabiliteit zal lager zijn.

4.4. Invloed schadefactor op ruimtebeslag buitenwaarts

De invloed van aardbevingen is niet in de huidige veiligheidsfilosofie voor macrostabiliteit binnenwaarts meegenomen. Mogelijk kan een lagere schadefactor worden gehanteerd, omdat de onzekerheid in de aardbevingsbelasting dominanter is dan de onzekerheid overige parameters.

Om de invloed van de toe te passen schadefactor op het benodigde ruimtebeslag te bepalen zijn berekeningen gemaakt voor de buitenwaartse stabiliteit. Met betrekking tot de hoogte van de dijk en de gehanteerde (grond)waterstanden is uitgegaan van de nieuwe normering. De situatie met aardbevingsbelasting is beschouwd. Er zijn alleen berekeningen met het rekenmodel Spencer uitgevoerd.

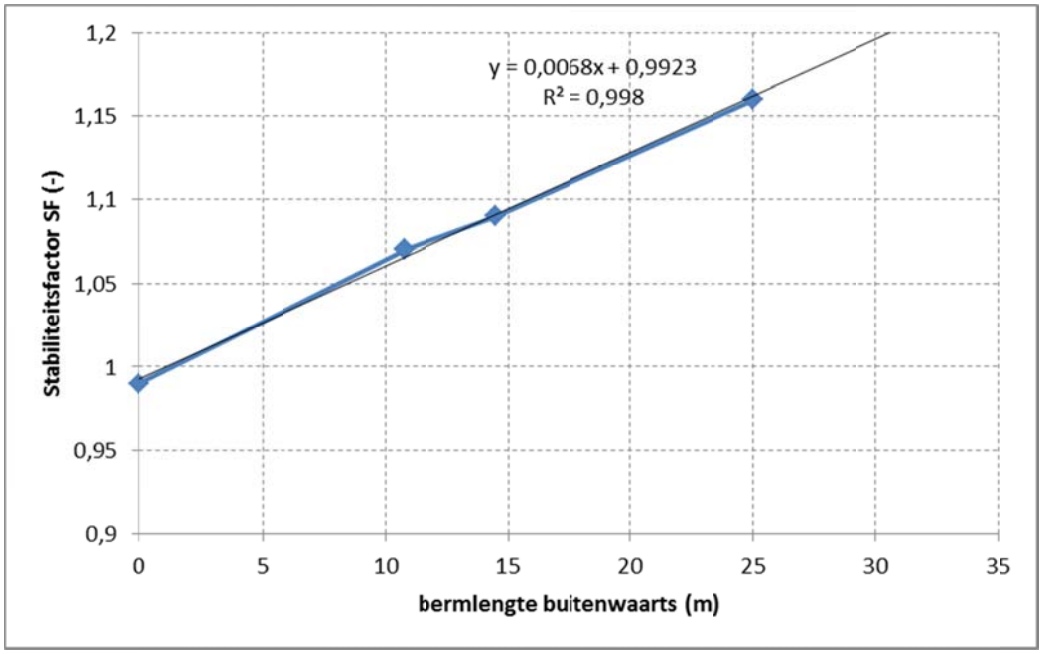
Het benodigde ruimtebeslag is bepaald bij vier vereiste stabiliteitsfactoren. Hierbij is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 0,95 (Spencer) en een schematiseringsfactor van γ_b = 1,1:

- SF = 0,99 (γ_n = 0,95)
- SF = 1,07 (γ_n = 1,02)
- SF = 1,09 (γ_n = 1,04)
- SF = 1,16 (γ_n = 1,11)

De benodigde ruimtebeslagen zijn weergegeven in tabel 4-6. Uit de berekeningen blijkt dat de te hanteren stabiliteitsfactor een grote invloed heeft op het benodigde ruimtebeslag. Uit de berekeningen blijkt dat een verlaging van de stabiliteitsfactor met 0,1 globaal leidt tot 15 m minder ruimtebeslag. Hetzelfde geldt ongeveer voor de schadefactor. In figuur 4-1 is dit grafisch weergegeven.

Tabel 4-6: berekeningsresultaten gevoeligheid toegepaste schadefactor

Toegepaste stabiliteitsfactor SF (-)	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]
1,16	25
1,09	14,5
1,07	10,8
0,99	0



Figuur 4-1: Invloed stabiliteitsfactor op benodigde bermlengte buitenwaarts

5. CONCLUSIES

Van profiel dp 32,5 is zowel een hertoets uitgevoerd als een ontwerp bepaald voor de versterkingsmaatregel, uitgaande van de nieuwe normering.

Uit de resultaten van de hertoets blijkt dat de dijk niet voldoet ten aanzien van binnenwaartse stabiliteit. Op de buitenwaartse stabiliteit voldoet de dijk wel. Ook voldoet de dijk ten aanzien van piping en microstabiliteit.

Op basis van oriënterende berekeningen is de omvang van de benodigde versterkingsmaatregel bepaald. Uitgaande van de nieuwe normering dient de dijk met ca. 45 cm te worden verhoogd. Om te kunnen voldoen aan de stabiliteitseisen is aan de binnenzijde een extra ruimtebeslag van 18 m benodigd. Aan de buitenzijde is geen extra ruimtebeslag benodigd. Als rekening wordt gehouden met aardbevingen bedraagt het extra ruimtebeslag aan de binnenzijde 40 m. Aan de buitenzijde is dan 25 m extra ruimtebeslag benodigd.

De dijk voldoet bij het standaardontwerp met een kleilaag van 1 m op het binnentalud niet ten aanzien van microstabiliteit. Bij een dikte van de deklaag van 1,75 m voldoet de dijk wel ten aanzien van microstabiliteit. Aanbevolen wordt om een meer gedetailleerde berekening te maken van het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam tijdens MHW, met bijvoorbeeld grondwaterstromingsmodellen. Hiermee kan het verloop van de freatische lijn, en daarmee de microstabiliteit van de dijk met meer zekerheid worden bepaald. Tevens wordt aanbevolen om het infiltratiedebiet bij overslag op basis van de waterstand die geldig is voor microstabiliteit te bepalen. Nu is gerekend met de waterstand voor geotechnische faalmechanismen, waardoor het overslagdebiet groter is.

Uit berekeningen blijkt dat de dijk goedgekeurd kan worden op piping. Uit de nieuwe rekenregel van Sellmeijer blijkt dat de benodigde kwelweglengte 163 m bedraagt. Niet precies bekend is waar het intredepunt zich bevindt. Uit de beschikbare gegevens blijkt dat ten minste 126 m kwelweg aanwezig is. Dit is minder dan de benodigde kwelweglengte. Daarom is gecontroleerd of wordt voldaan aan het heavecriterium. Bij een stijghoogterepons bij 50% op het buitenwater wordt

voldaan aan het heave-criterium. Aanbevolen wordt om de stijghoogterespons in het pleistocene zandpakket met meer nauwkeurigheid te bepalen.

De invloed van aardbevingen is niet in de huidige veiligheidsfilosofie voor macrostabiliteit binnenwaarts meegenomen. Mogelijk kan een lagere schadefactor worden gehanteerd, omdat de onzekerheid in de aardbevingsbelasting dominanter is dan de onzekerheid overige parameters. Uit berekeningen blijkt dat een verlaging van de stabiliteitsfactor met 0,1 globaal leidt tot 15 m minder ruimtebeslag. Dit kan vertaald worden naar ca. 15 minder ruimtebeslag bij een verlaging van de schadefactor met 0,1.

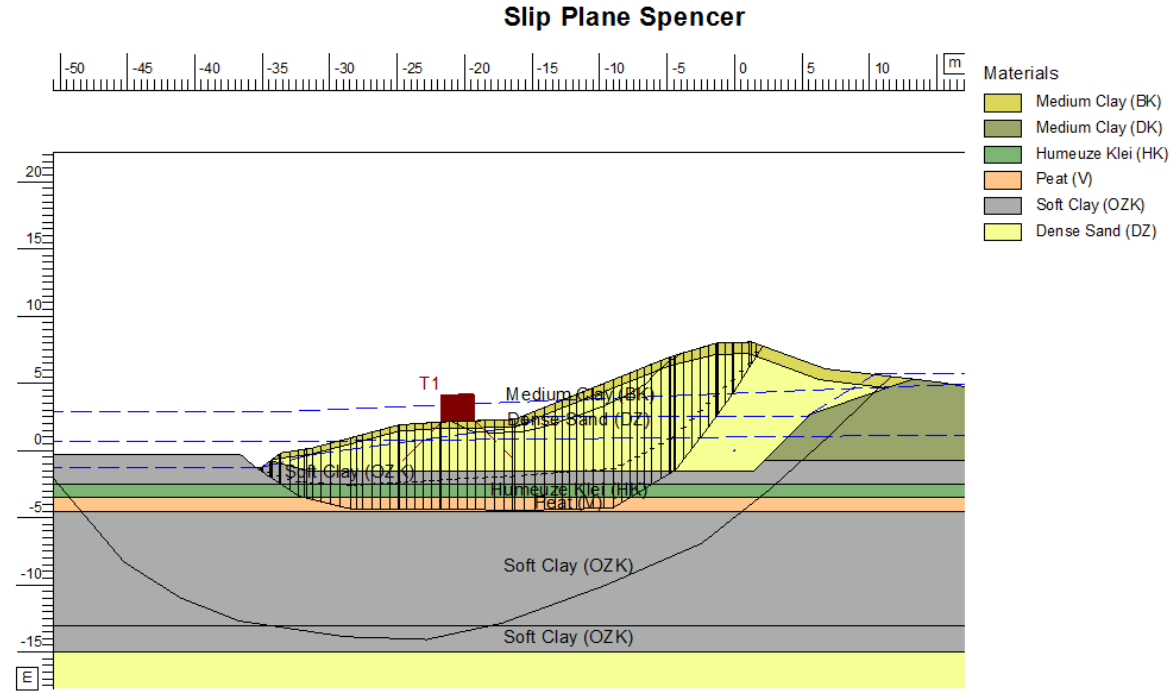
Bij deze resultaten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De ligging van de stijghoogte in de watervoerende zandlagen is naar verwachting te optimaliseren indien hiervan meer metingen beschikbaar zijn. Geadviseerd wordt om peilbuizen en/of waterspanningsmeters te plaatsen om hier meer inzicht in te verkrijgen.
- Aanbevolen wordt om het verloop van de freatische lijn in de dijk met grondwaterstromingsmodellen en waterspanningsmetingen te bepalen. Hiermee kan de freatische lijn mogelijk geoptimaliseerd worden.
- Bij de binnenwaartse versterking is, indien de huidige kwelsloot/watergang ter plaatse van de versterking dient te worden gedempt, geen nieuwe kwelsloot/watergang geschematiseerd. Het ruimtebeslag inclusief verplaatsing van de kwelsloot/watergang is dus groter dan het ruimtebeslag wat hier is gepresenteerd.
- Het SOS en de proevenverzameling worden nog aangepast. Het effect hiervan op de resultaten is nog onduidelijk.

Bijlagen:
Berekeningsresultaten 1

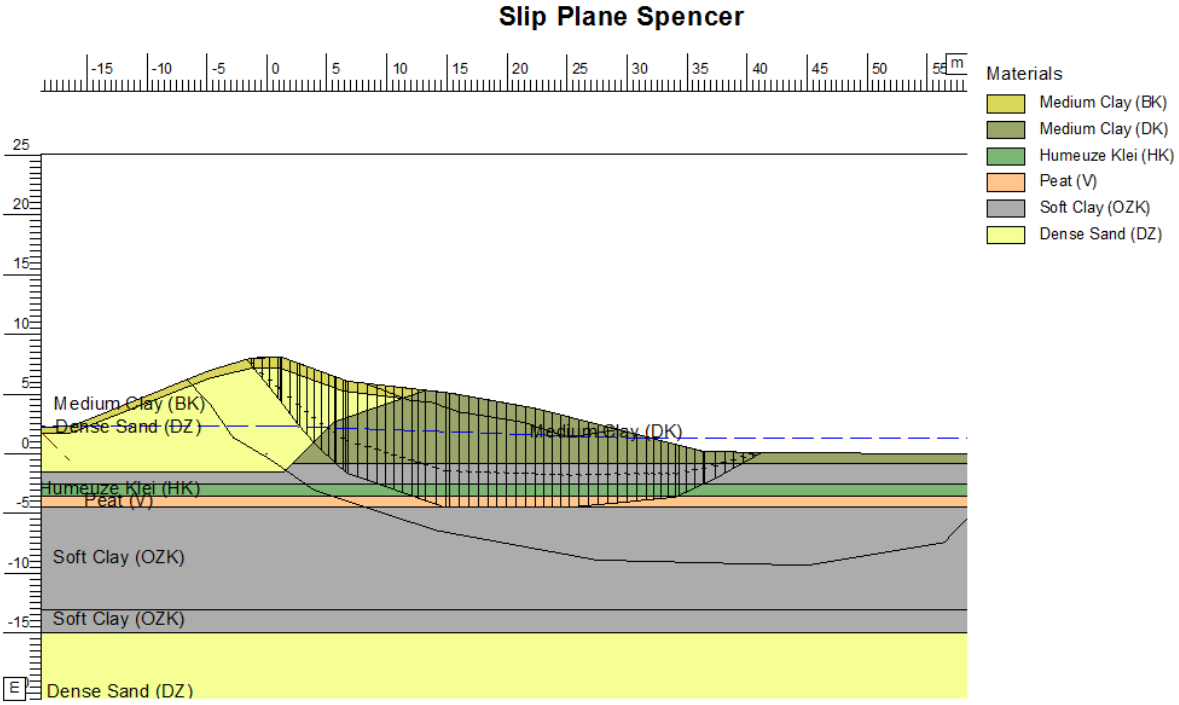
BIJLAGE 1

Resultaten STBI hertoets



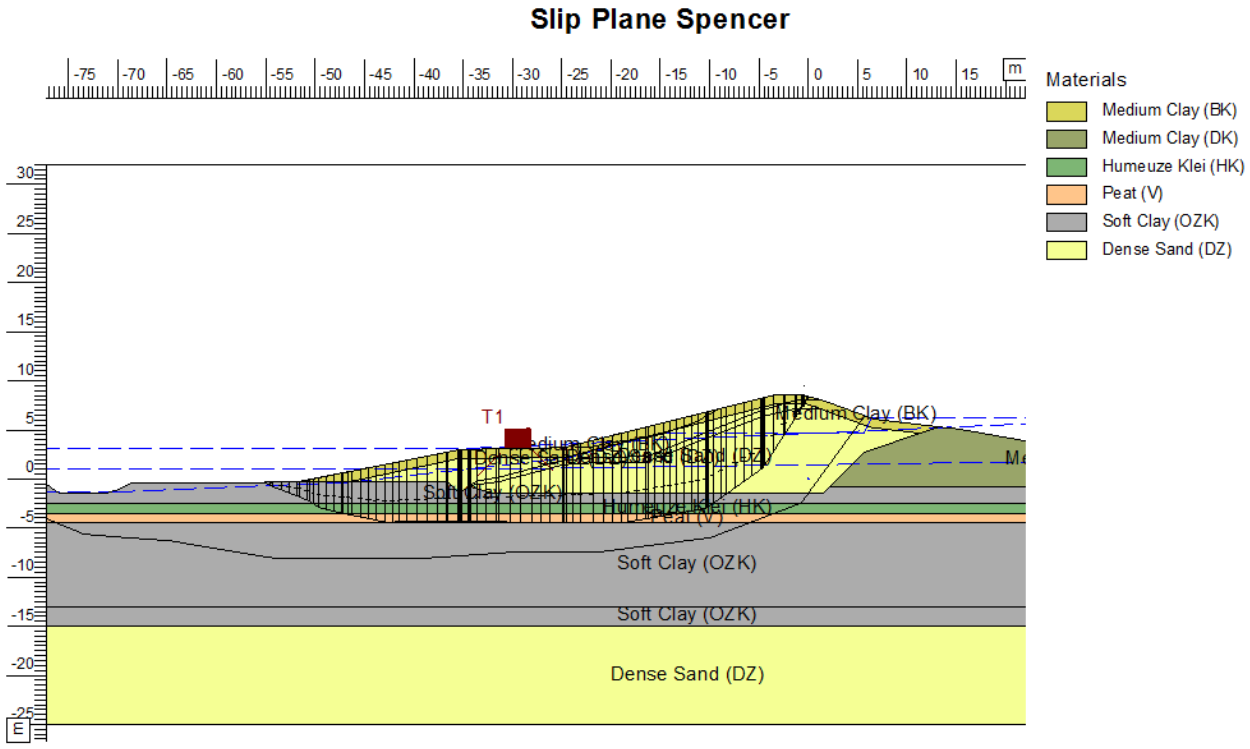
Safety : 1,02

Resultaten STBU hertoets



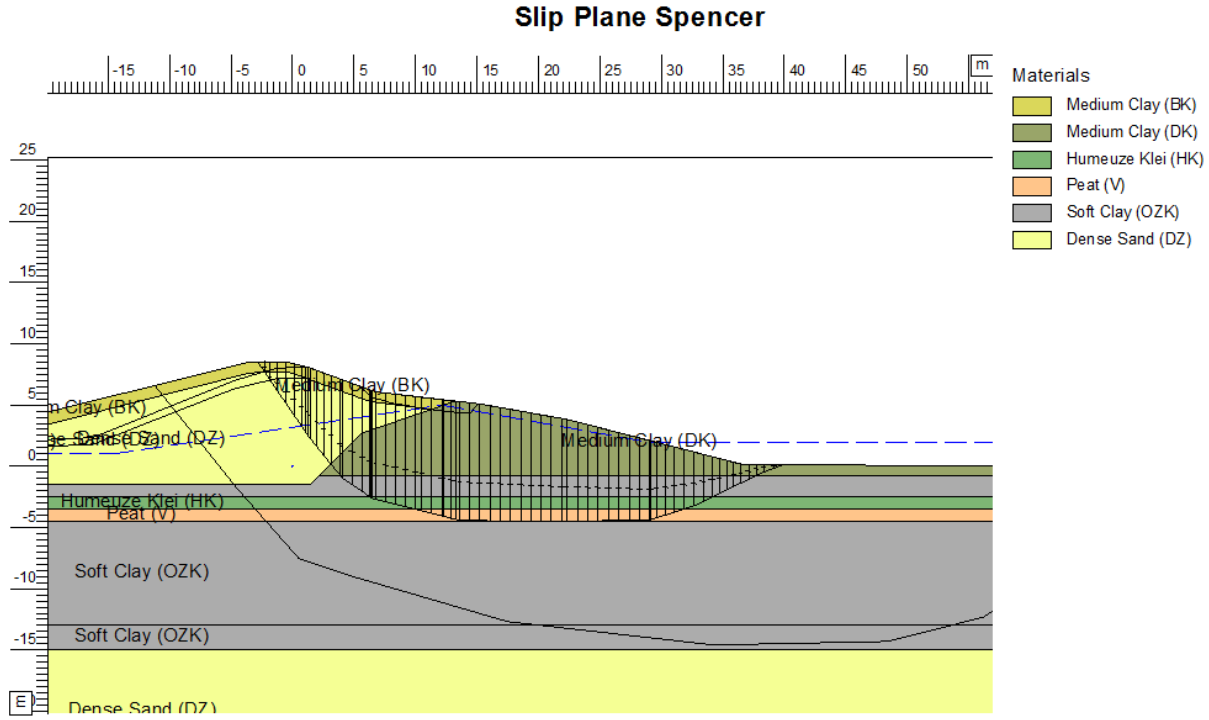
Safety : 1,33

Resultaten STBI, nieuwe normering



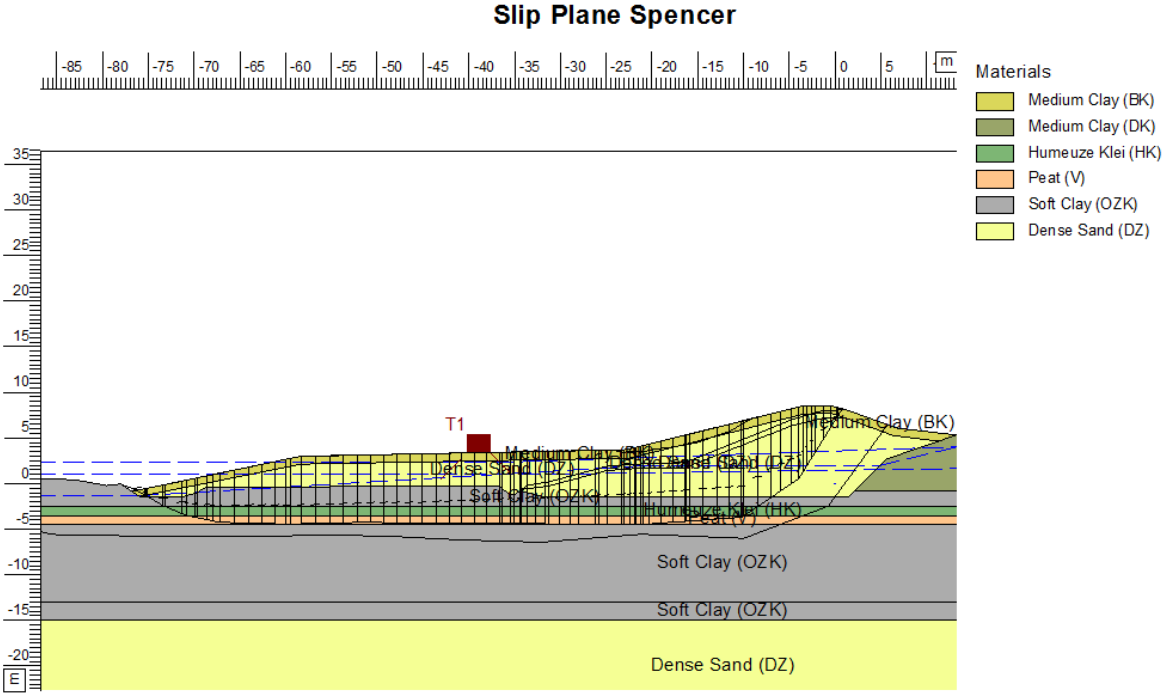
Safety : 1,21

Resultaten STBU, nieuwe normering



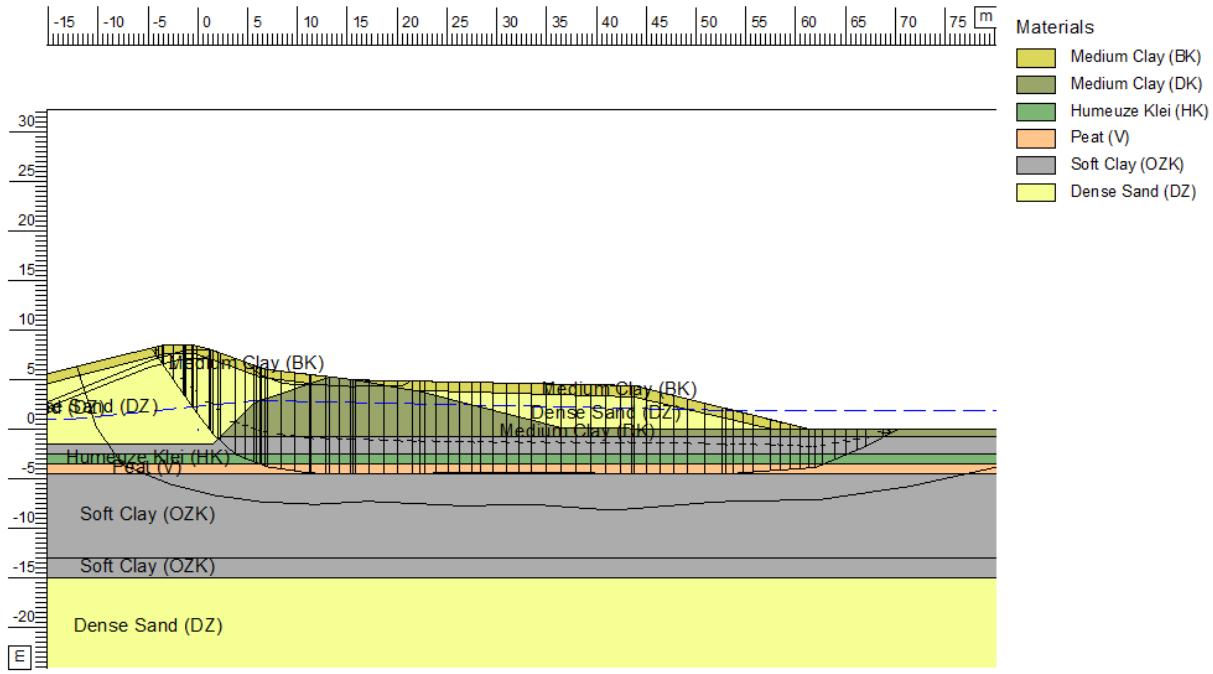
Safety : 1,14

Resultaten STBI, nieuwe normering, incl. aardbeving



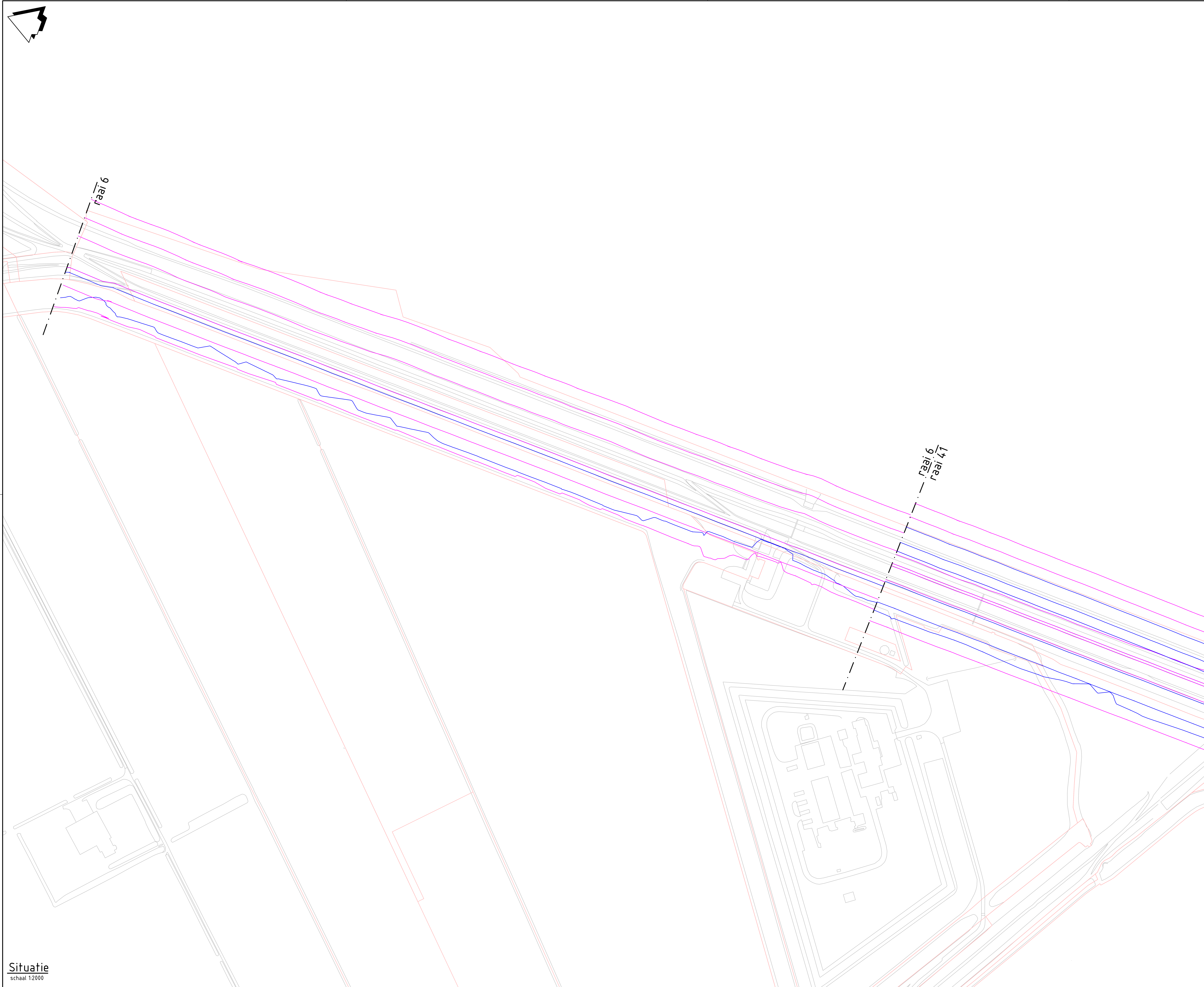
Safety : 1,20

Resultaten STBU, nieuwe normering, incl. aardbeving



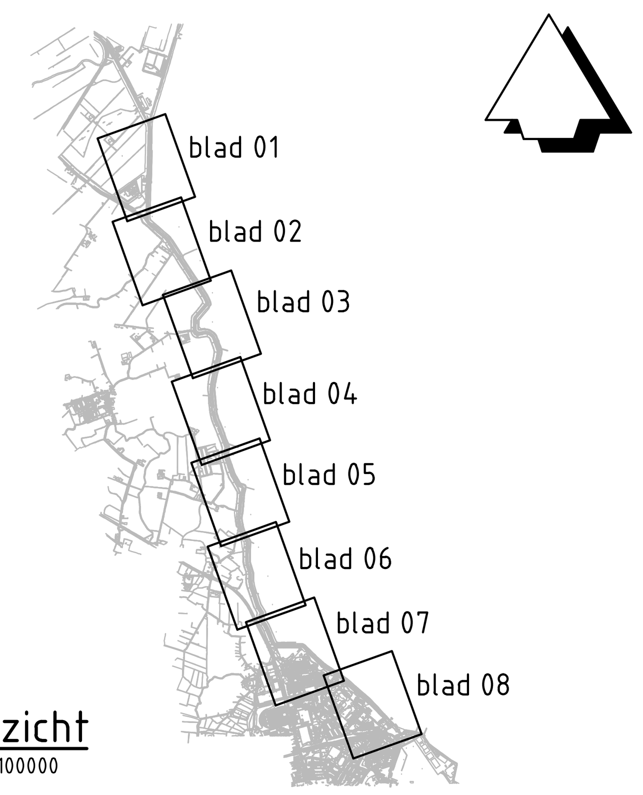
Safety : 1,16

Bijlage 3.5 Ontwerp tekeningen



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
bestaande situatie
kadastrale grenzen
ontwerp spoor 3
ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

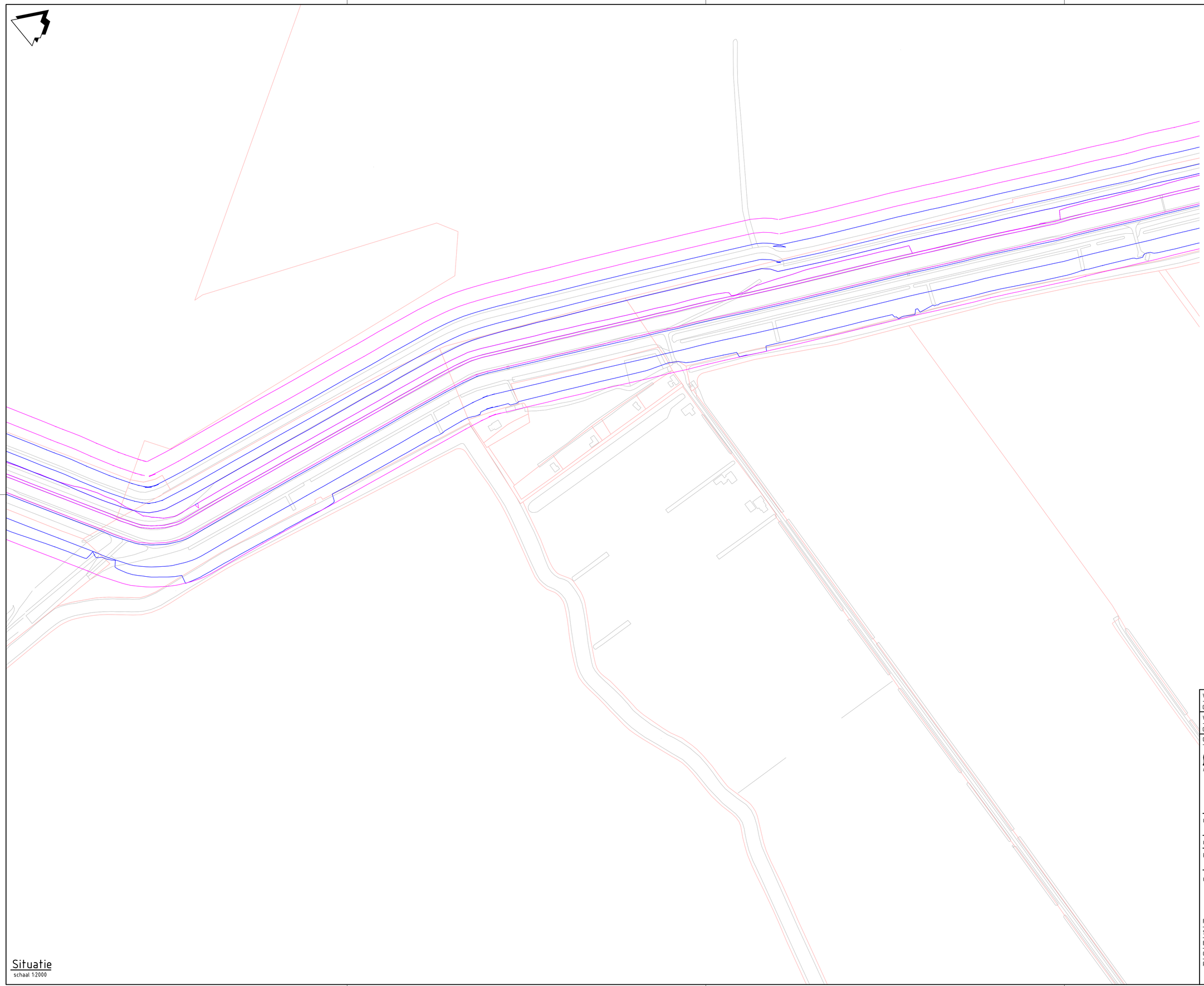
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie raai 6 - 41
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		01	B

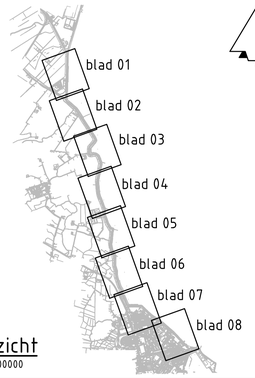
DocId: 078220169 : 7



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

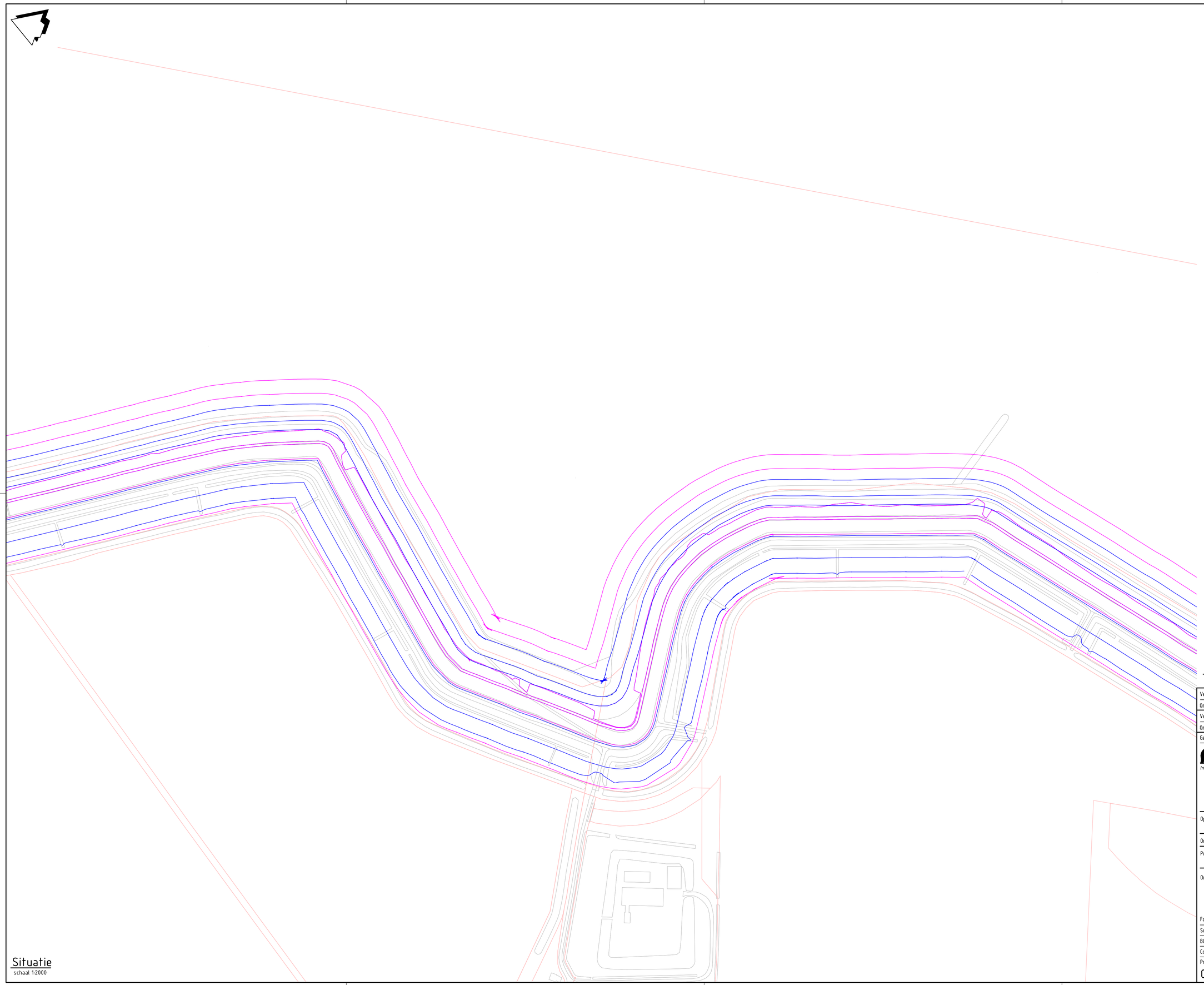
Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 41

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		02	B

Docid: 078220169 : 7



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

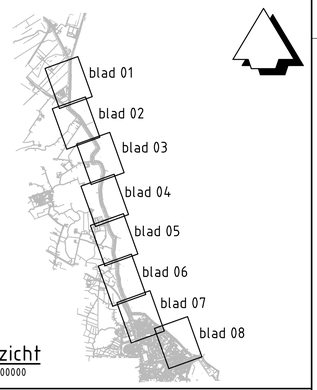
Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie raai 41
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Nieneijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		03	B

Docid: 17822693 7

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

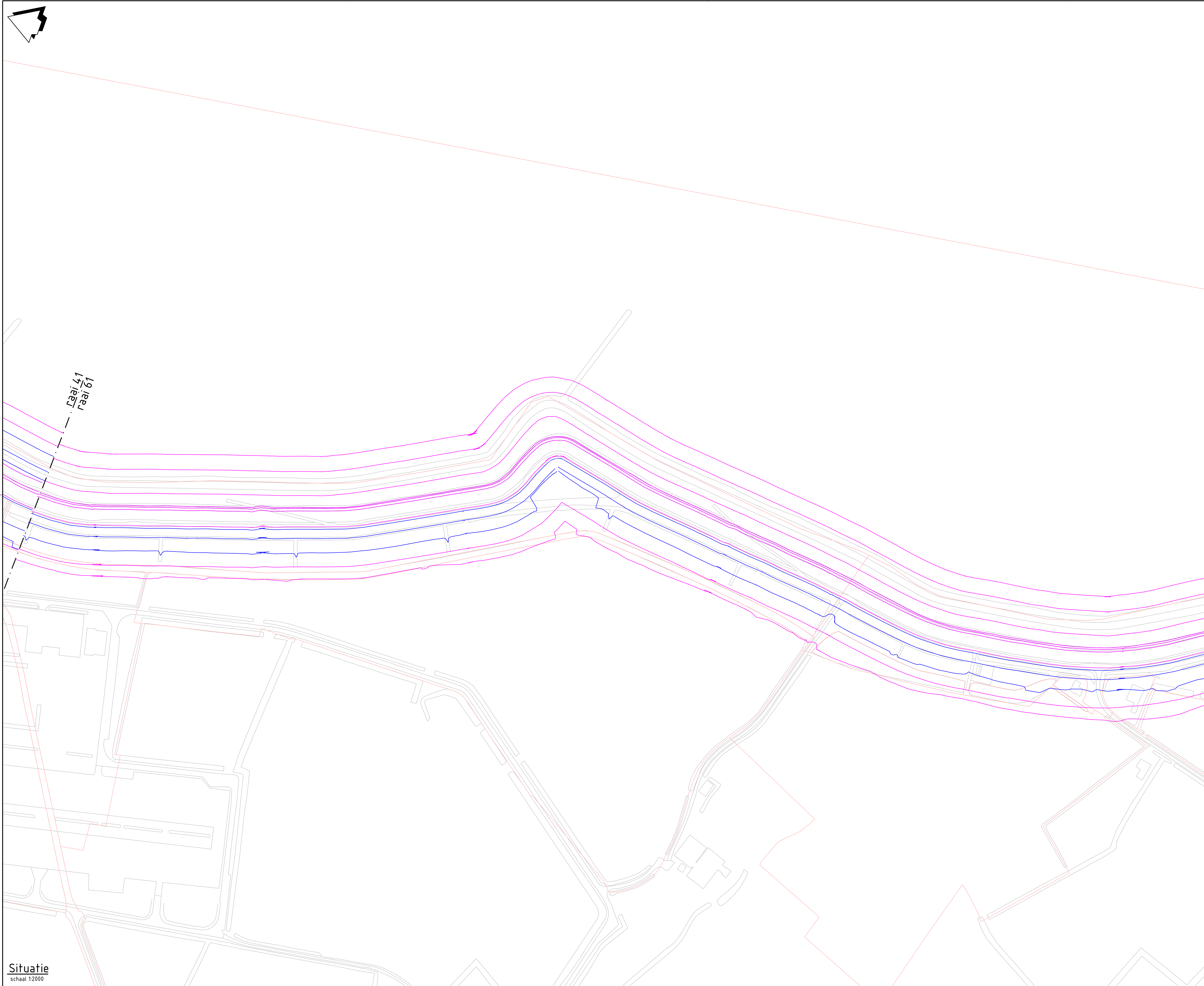
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie raai 41
Fase	: Voorontwerp

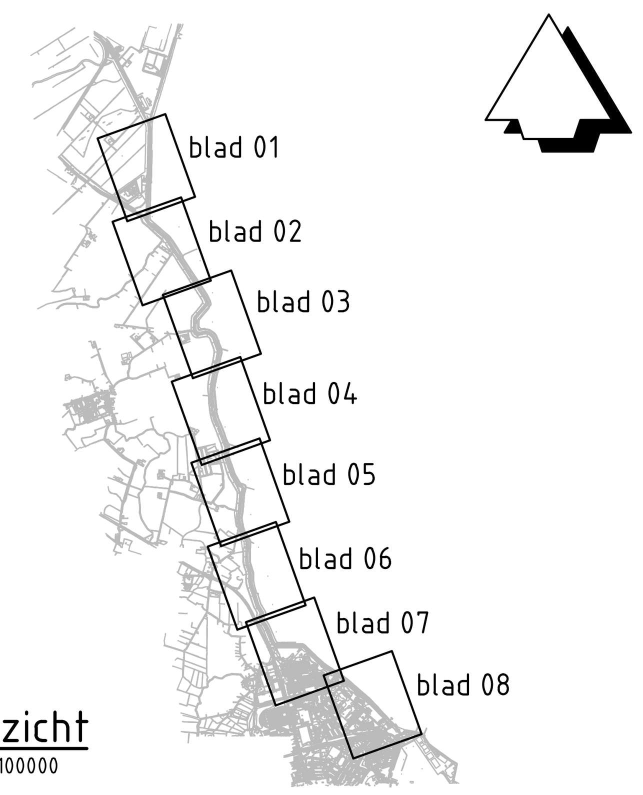
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		04	B

Docid: 018220697 7



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
bestaande situatie
kadastrale grenzen
ontwerp spoor 3
ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

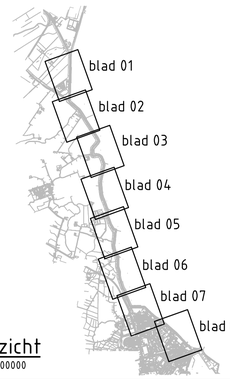
Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest		
Ontwerp	:		
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning		
Onderwerp	: Situatie raai 41 - 61		
Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	: C03011.000330.0100	Tekeningnummer	: 05
		Versie :	B

DocId: 078220169 : 7

raai 61
raai 86

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

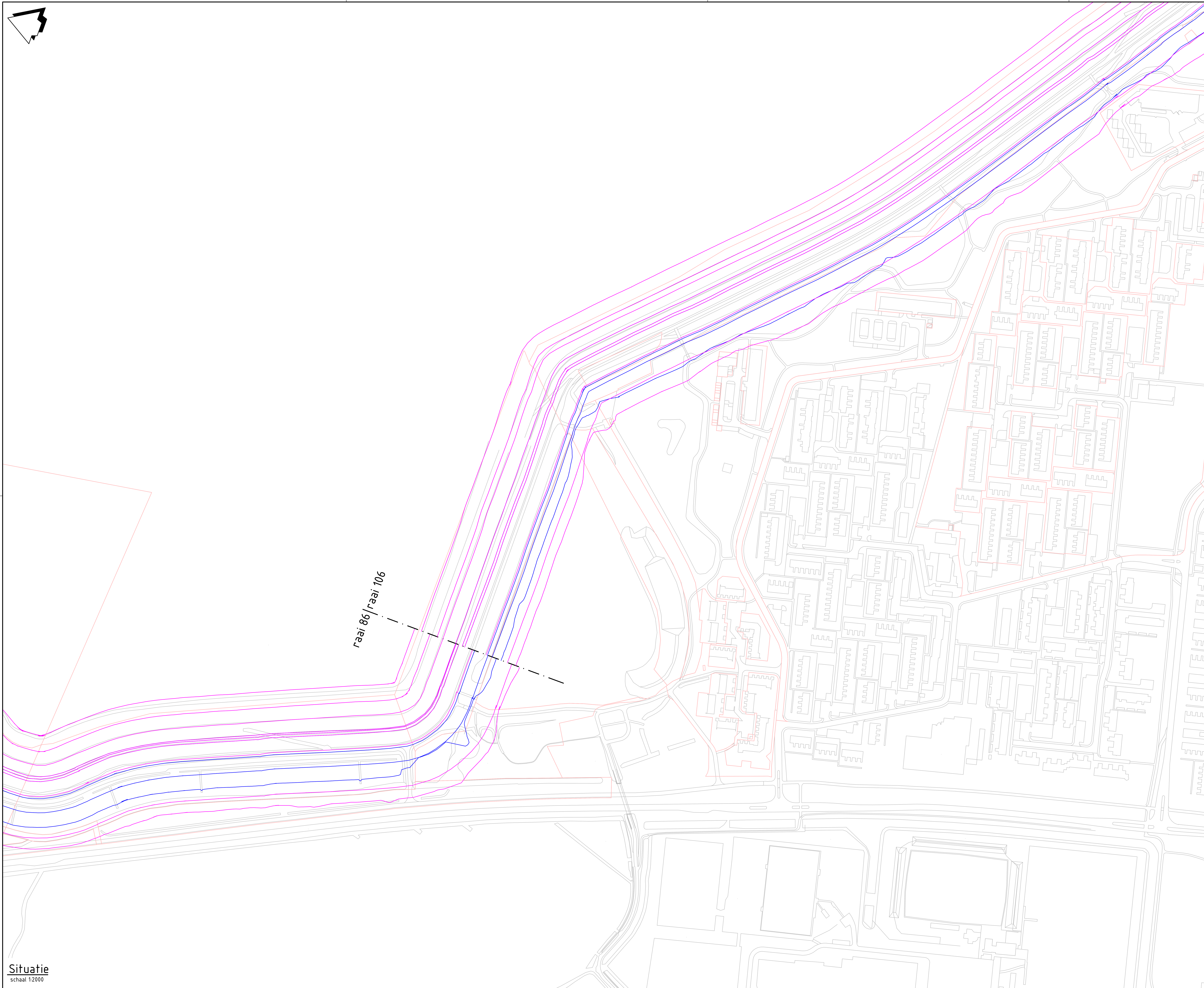
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie raai 61 - 86
Fase	: Vooronteerp

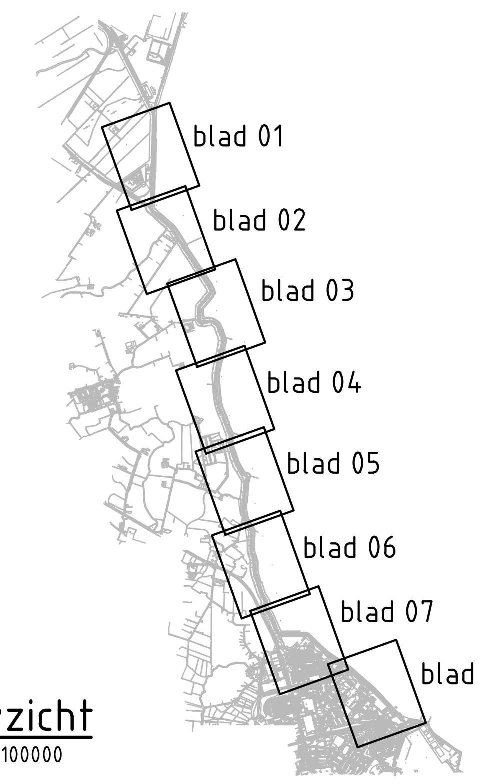
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Nieneijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		06	B

Docid: 17622697 7



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

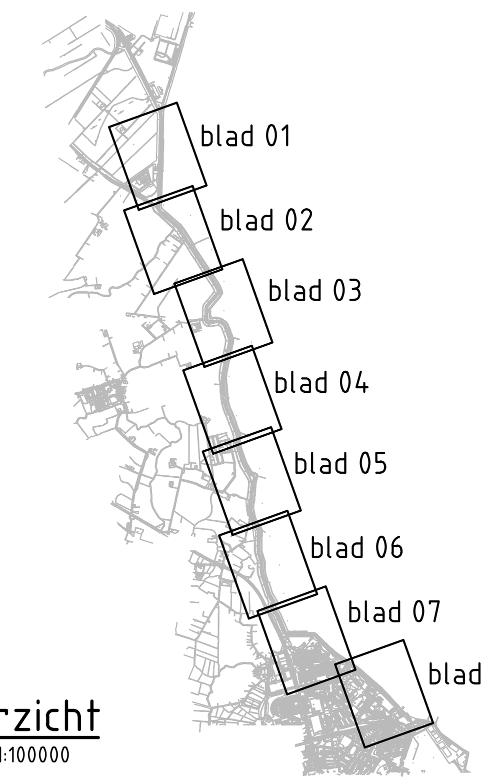
Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest		
Ontwerp	:		
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning		
Onderwerp	: Situatie raai 86 - 106		
Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		07	B

DocId: 078220169 : 7

Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : **Situatie raai 106**

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer :	C03011.000330.0100	Tekeningnummer : 08	Versie : B

DocId: 078220169 :7

Dwarsprofiel raai 6 spoor 3

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-69.15	-0.23
-60.61	-0.20
-59.33	-0.19
-56.12	-0.18
-54.51	-0.18
-45.49	-0.13
-43.83	-0.11
-38.22	0.20
-36.52	0.49
-34.91	0.82
-30.11	1.83
-26.54	2.61
-24.48	3.06
-22.20	3.56
-17.89	4.45
-13.83	5.15
-11.83	5.43
-9.85	5.52
-6.43	5.72
-3.46	6.81
-1.16	7.60
0.00	7.66
1.13	7.60
2.59	7.26
5.08	6.65
7.53	5.85
9.30	5.33
11.16	4.77
12.88	4.25
13.98	4.15
16.40	4.05
18.20	4.05
19.87	3.92
21.06	3.84
23.90	2.83
27.72	1.49
31.58	1.14
33.90	0.26
35.41	-0.42
38.81	-1.57
41.51	-1.98
43.53	-2.31
46.98	-2.30
48.51	-2.30
52.03	-2.48
54.68	-2.43
56.32	-2.19
60.01	-0.03
61.62	0.14
63.20	1.37
84.59	1.39
89.85	1.38
93.09	1.37
98.89	1.36
100.00	1.36

Dwarsprofiel raai 41 spoor 3

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-78.14	-0.37
-77.02	-0.34
-75.54	-0.20
-61.93	-0.02
-53.47	0.09
-51.44	0.13
-38.22	0.34
-36.13	0.44
-29.72	2.07
-21.94	3.58
-18.35	4.25
-16.28	4.66
-13.23	5.27
-9.82	5.73
-5.75	6.35
-2.94	7.36
-1.30	8.04
0.00	8.14
1.49	7.98
3.55	7.29
5.38	6.71
8.95	5.29
12.18	3.97
15.12	2.71
16.34	2.22
18.08	2.10
21.86	1.98
25.21	1.80
28.82	0.96
32.61	-0.01
33.68	-0.24
35.03	-1.13
36.37	-0.36
37.53	-0.20
40.93	-0.16
49.92	-0.24
54.09	-0.28
63.19	-0.37
66.94	-0.41
71.43	-0.35
73.73	-1.16
79.28	-1.84
80.77	-1.26
82.10	-0.32
83.29	0.00
85.15	0.50
90.78	0.50
92.02	0.50
93.06	0.50
94.26	0.50
97.23	0.50
100.00	0.50

Dwarsprofiel raai 61 spoor 3

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-52.08	0.03
-47.98	0.03
-46.73	0.04
-36.45	0.18
-30.12	1.91
-28.42	2.38
-24.64	3.28
-22.34	3.82
-15.24	5.09
-6.76	6.07
-3.50	7.18
-1.26	8.08
0.00	8.07
1.26	8.03
4.81	6.97
8.61	5.51
12.28	4.06
16.28	2.33
18.06	2.21
20.32	2.15
21.77	2.13
23.08	2.05
24.87	1.91
28.33	0.93
31.32	0.18
33.62	-0.17
35.08	-1.26
36.64	-0.28
39.73	-0.28
46.65	-0.38
53.87	-0.39
57.82	-0.41
63.20	-0.38
68.58	-0.36
69.91	-1.08
71.34	-1.47
75.97	-1.42
78.01	-0.04
79.58	-0.20
81.56	0.17
83.09	0.44
88.18	0.49
100.00	0.52

Dwarsprofiel raai 86 spoor 3

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-62.73	-0.01
-50.21	0.15
-47.46	0.20
-44.68	1.45
-43.13	1.69
-41.84	1.72
-36.99	1.87
-31.07	2.30
-26.71	2.55
-23.42	3.10
-22.40	3.29
-15.67	4.79
-11.27	5.40
-9.59	5.66
-5.31	6.27
-3.78	6.83
-2.78	7.15
-1.41	7.61
0.00	7.59
1.41	7.61
3.93	6.84
6.02	6.16
11.18	4.28
12.74	3.71
14.86	2.97
16.74	2.25
18.75	2.09
20.06	2.07
22.13	2.05
23.28	2.00
24.58	1.87
27.68	0.93
29.23	0.41
30.68	-0.13
33.21	-0.26
34.69	-1.05
37.27	-0.30
38.98	-0.23
40.61	-0.24
51.94	-0.31
55.80	-0.35
66.58	-0.48
68.32	-0.52
69.98	-0.57
71.21	-1.12
77.48	-1.18
79.22	-0.26
94.19	0.23
95.81	0.29
96.88	0.29
100.00	0.27

Dwarsprofiel raai 106 spoor 3

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-57.61	-0.15
-57.01	-0.13
-55.60	-0.12
-53.19	-0.11
-48.37	-0.08
-46.49	-0.07
-41.16	0.12
-39.17	0.75
-37.50	0.90
-34.50	1.33
-32.75	1.70
-31.70	1.91
-27.35	3.01
-25.25	3.38
-23.04	3.76
-13.88	5.34
-5.55	6.66
-1.55	7.97
0.00	8.09
1.04	8.06
7.32	6.35
15.97	2.94
19.35	2.43
22.42	2.36
25.09	2.13
34.63	-0.89
35.80	-1.50
37.12	-2.04
39.05	-2.04
42.76	-2.05
44.06	-1.35
45.50	-0.92
47.58	-0.93
74.10	-0.87
84.69	-0.59
88.71	0.37
94.27	1.22
100.00	1.13

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4

Overzicht

schaal 1:100000

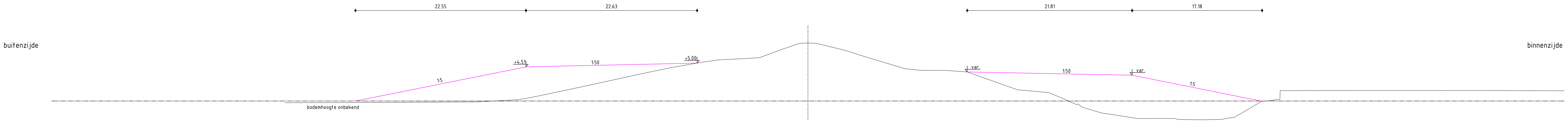
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Dwarsprofielen spoor 3

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 1189 x 841 (A0)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		09	B

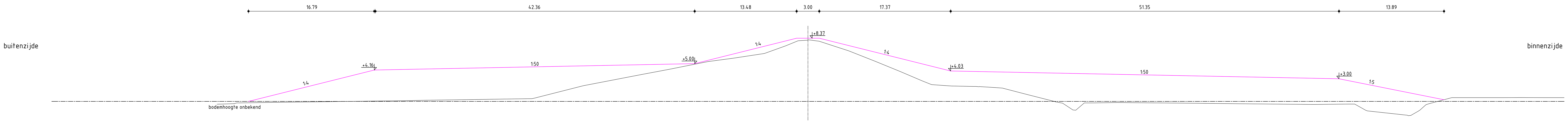
Docld: 078220169 : 7



Dwarsprofiel raai 6 spoor 4

schaal 1:200

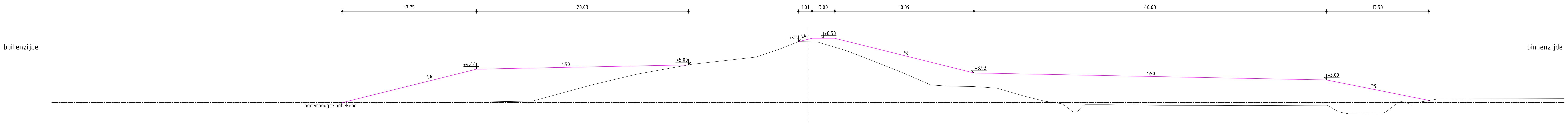
MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.23	-0.20	-0.19	-0.18	-0.18	-0.13	-0.11	0.20	0.49	0.82	1.83	2.61	3.06	3.56	4.45	5.15	5.43	5.52	5.72	6.81	7.60	7.66	7.60	7.26	6.65	5.85	5.33	4.77	4.25	4.15	4.05	4.05	3.92	3.84	2.83	1.49	1.14	0.26	-0.42	-1.57	-1.98	-2.31	-2.30	-2.30	-2.48	-2.43	-2.19	-0.03	0.14	1.37	1.39	1.38	1.37	1.36	1.36
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-69.15	-60.61	-59.33	-56.12	-54.51	-45.49	-43.83	-38.22	-36.52	-34.91	-30.11	-26.54	-24.48	-22.20	-17.89	-13.83	-11.83	-9.85	-6.43	-3.46	-1.16	0.00	1.13	2.59	5.08	7.53	9.30	11.16	12.88	13.98	16.40	18.20	19.87	21.06	23.90	27.72	31.58	33.90	35.41	38.81	41.51	43.53	46.98	48.51	52.03	54.68	56.32	60.01	61.62	63.20	84.59	89.85	93.09	98.89	100.00



Dwarsprofiel raai 41 spoor 4

schaal 1:200

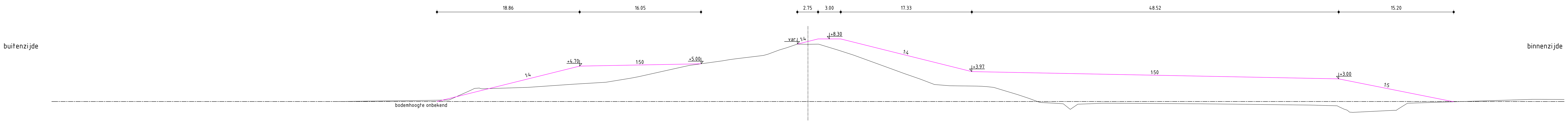
MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.37	-0.34	-0.20	-0.02	0.09	0.13	0.34	0.44	2.07	3.58	4.25	4.66	5.27	5.73	6.35	7.36	8.04	8.14	7.98	7.29	6.71	5.29	3.97	2.71	2.22	2.10	1.98	1.80	0.96	-0.01	-0.24	-1.13	-0.36	-0.20	-0.16	-0.24	-0.28	-0.37	-0.41	-0.35	-1.16	-1.84	-1.26	-0.32	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-78.14	-77.02	-75.54	-61.93	-53.47	-51.44	-38.22	-36.13	-29.72	-21.94	-18.35	-16.28	-13.23	-9.82	-5.75	-2.94	-1.30	0.00	1.49	3.55	5.38	8.95	12.18	15.12	16.34	18.08	21.86	25.21	28.82	32.61	33.68	35.03	36.37	37.53	40.93	49.92	54.09	63.19	66.94	71.43	73.73	79.28	80.77	82.10	83.29	85.15	90.78	92.02	93.06	94.26	97.23	100.00



Dwarsprofiel raai 61 spoor 4

schaal 1:200

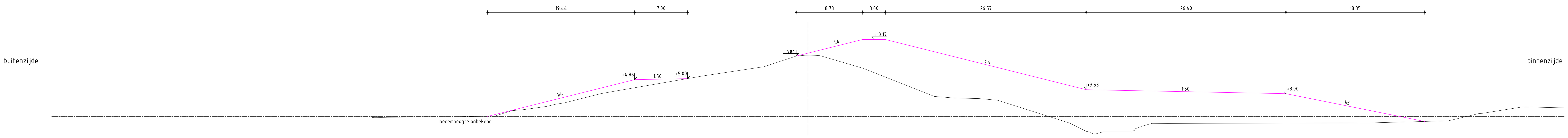
MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	0.03	0.03	0.04	0.18	1.91	2.38	3.28	3.82	5.09	6.07	7.18	8.08	8.07	8.03	6.97	5.51	4.06	2.33	2.21	2.15	2.13	2.05	1.91	0.93	0.18	-0.17	-1.26	-0.28	-0.28	-0.38	-0.39	-0.41	-0.38	-0.36	-1.08	-1.47	-1.42	-0.04	-0.20	0.17	0.44	0.49	0.52
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-52.08	-47.98	-46.73	-36.45	-30.12	-28.42	-24.64	-22.34	-15.24	-6.76	-3.50	-1.26	0.00	1.26	4.81	8.61	12.28	16.28	18.06	20.32	21.77	23.08	24.87	28.33	31.32	33.62	35.08	36.64	39.73	46.65	53.87	57.82	63.20	68.58	69.91	71.34	75.97	78.01	79.58	81.56	83.09	88.18	100.00



Dwarsprofiel raai 86 spoor 4

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.01	0.15	0.20	1.45	1.69	1.72	1.87	2.30	2.55	3.10	3.29	4.79	5.40	5.66	6.27	6.83	7.15	7.61	7.59	7.61	6.84	6.16	4.28	3.71	2.97	2.25	2.09	2.07	2.05	2.00	1.87	0.93	0.41	-0.13	-0.26	-1.05	-0.30	-0.23	-0.24	-0.31	-0.35	-0.48	-0.52	-0.57	-1.12	-1.18	-0.26	0.23	0.29	0.29	0.27
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-62.73	-50.21	-47.46	-44.68	-43.13	-41.84	-36.99	-31.07	-26.71	-23.42	-22.40	-15.67	-11.27	-9.59	-5.31	-3.78	-2.78	-1.41	0.00	1.41	3.93	6.02	11.18	12.74	14.86	16.74	18.75	20.06	22.13	23.28	24.58	27.68	29.23	30.68	33.21	34.69	37.27	38.98	40.61	51.94	55.80	66.58	68.32	69.98	71.21	77.48	79.22	94.19	95.81	96.88	100.00



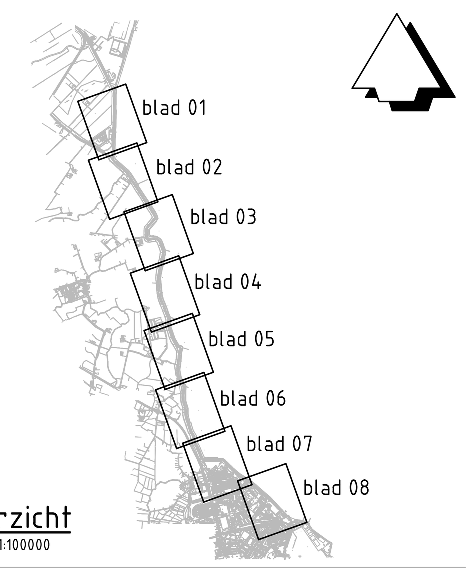
Dwarsprofiel raai 106 spoor 4

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.15	-0.13	-0.12	-0.11	-0.08	-0.07	0.12	0.75	0.90	1.33	1.70	1.91	3.01	3.38	3.76	5.34	6.66	7.97	8.09	8.06	6.35	2.94	2.43	2.36	2.13	-0.89	-1.50	-2.04	-2.04	-2.05	-1.35	-0.92	-0.93	-0.87	-0.59	0.37	1.22	1.13
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-57.61	-57.01	-55.60	-53.19	-48.37	-46.49	-41.16	-39.17	-37.50	-34.50	-32.75	-31.70	-27.35	-25.25	-23.04	-13.88	-5.55	-1.55	0.00	1.04	7.32	15.97	19.35	22.42	25.09	34.63	35.80	37.12	39.65	42.76	44.06	45.50	47.58	74.10	84.69	88.71	94.27	100.00

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4



Overzicht

schaal 1:100000

Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: fuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: fuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur · Water · Milieu · Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Dwarsprofielen spoor 4

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 1189 x 841 (A0)	Status	: Definitief
Contractnummer	: ---	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer		Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		10	B

Bijlage 4 Gegevens rekenslag 3

Bijlage 4.1 Memo optimistisch scenario

NOTITIE 1212-0075-003.M08v2concept

Aan : Martin van der Meer (Fugro), Mirjam Molen (Arcadis), Willem Leeuwdrent (Fugro), Marcel Visschedijk (Deltares), Bert de Wolff (Noorderzijlvest)

Van : Ben Rijneveld (Fugro)

Controle : -

Ref : 1212-0075-003.M08v1concept

Versie : 2 (concept)

Datum : 18 februari 2015

Betreft : 'Optimistisch' scenario dijkversterking Ommelanderzeedijk

1. INLEIDING

De dijkversterking van Ommelanderzeedijk dient aardbevingsbestendig te worden uitgevoerd. De uitgangspunten voor het aardbevingsbestendig ontwerp staan echter nog ter discussie. In een eerdere fase is een set berekeningen uitgevoerd met 'geoptimaliseerde' uitgangspunten. Om de mogelijke winst uit het nog verder optimaliseren van de uitgangspunten te bepalen worden in deze memo de resultaten van een 'optimistisch' scenario gepresenteerd. Op basis hiervan kan meer inzicht worden verkregen of verdere optimalisatie van de uitgangspunten nog tot een grote winst zou kunnen leiden.

Benadrukt wordt dat de gepresenteerde resultaten een optimistisch scenario betreffen. Vooralsnog wordt dit scenario nog niet als voldoende veilig gezien.

Er is gebruik gemaakt van de volgende beschikbare informatie:

[ATRWG 2007] Addendum Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007

[DELT 2015] Definitie ontwerpscenario's, Deltares memo 1220173-002-GEO-0002, 12 februari 2015

[FUG 2015a] Uitgangspunten berekeningen Ommelanderzeedijk, Fugro memo 1212-0075-003.M03v4concept, 20 januari 2015

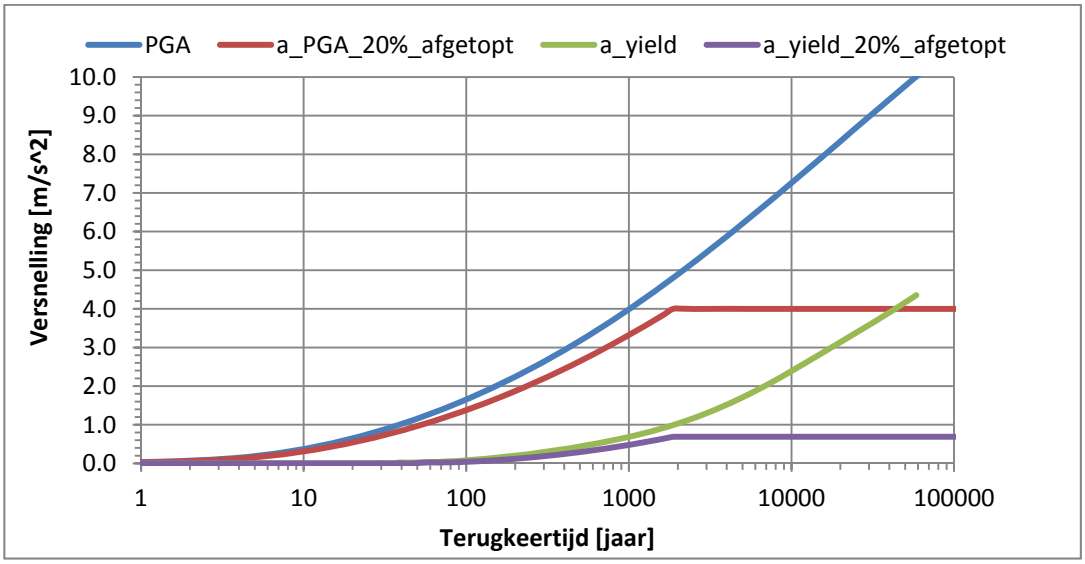
[FUG 2015b] Schadefactor STBI Ommelanderzeedijk, Fugro memo 1212-0075-003.M07v1concept, 16 januari 2015

2. UITGANGSPUNTEN

Voor de uitgangspunten van de berekeningen wordt verwezen naar [FUG 2015a]. In dit hoofdstuk worden alleen de afwijkingen van de uitgangspunten ten opzichte van [FUG 2015a] aangegeven:

1) Yield aardbevingsversnelling van 0,7 m/s^2
2) Bij aardbevingscondities wordt gerekend met een schadefactor van γ_n = 0,8.
3) Kruinhoogte bij 10 l/s/m (inclusief bodemdaling en robuustheidstoeslag)

Ad 1) Er wordt conform [DELT 2015] voor de aardbevingssituatie gerekend met een faalkansbudget van 34%, een invloedsfactor α = 0,9 en een afkeurkans van 1/3333. Dit leidt tot een terugkeertijd voor de ontwerp aardbevingsversnelling van ca. 2400 jaar. Daarnaast wordt het oorspronkelijke aardbevingssignaal van het KNMI met 20% gereduceerd en afgetopt op 4 m/s^2. Het aangepaste signaal is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Terugkeertijd aardbevingssignaal

Uit figuur 1 kan worden afgelezen dat bij een terugkeertijd van 2400 jaar nog (net) van de maximale, afgetopte waarde van het aardbevingssignaal uitgegaan moet worden.

Ad 2) Door het toevoegen van een aardbevingsbelasting aan de beoordeling van de macrostabiliteit kunnen mogelijk lagere materiaalfactoren worden toegepast.

Uitgaande van een invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting van $\alpha = 0,9$ kunnen de materiaalfactoren (of schadefactor) mogelijk met een factor 1,27 worden gereduceerd [FUG 2015b]. Indien wordt uitgegaan van een faalkansbudget van 34%, een afkeurkans van 1/3333 en een kans op falen, gegeven instabiliteit van 0,1 (overeen komend met een situatie waarbij instabiliteit niet samenhangt met het optreden van hoogwater [ATRWG 2007], bedraagt de benodigde schadefactor $\gamma_n = 1,01$.

Indien deze gereduceerd wordt met een factor 1,27 bedraagt de schadefactor $\gamma_n = 0,8$. Dit komt ongeveer overeen met representatieve waarden voor de grondparameters.

Inclusief schematiseringsfactor van $\gamma_b = 1,1$ en een modelfactor van $\gamma_d = 1,0$ (Bishop) of $\gamma_d = 0,95$ (Spencer) resulteert dit in een stabiliteitseis van F.S. ≥ 0,88 voor Bishop en F.S. ≥ 0,84 voor Spencer.

Ad 3) Er wordt gerekend met een kruinhoogte bij een overslagdebiet van 10 l/s/m. Dit leidt tot een wat lagere kruinhoogte, wat gunstig is voor de stabiliteit van de waterkering. De bijbehorende kruinhoogtes bedragen:

- Raai 6: NAP +7,15 m
- Raai 41: NAP +8,14 m
- Raai 61: NAP +8,28 m
- Raai 86: NAP +8,08 m
- Raai 106: NAP +9,78 m

3. BEREKENINGSRESULTATEN

De berekeningsresultaten van het benodigd (extra) ruimtebeslag voor het mechanisme STBI zijn weergegeven in bijlage 1 en samengevat in tabel 1.

Tabel 1: Berekeningsresultaten optimistisch scenario

Raai	Extra ruimtebeslag binnenzijde [2)] [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [2)] [m]	Extra ruimte beslag totaal [2)] [m]

Raai	Extra ruimtebeslag binnenzijde [2] [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [2] [m]	Extra ruimte beslag totaal [2] [m]
6 [3]	10 (10-25)	0 (0-20)	10 (10-45)
41	22,5 (29-50)	0 (7-39)	22,5 (36-89)
61	2 [1] (18-48)	0 (0-25)	2 (18-73)

[1] Geometrie wijkt af van de uitgangspunten. Er is een steiler binnentalud boven de berm aangehouden, aangezien verflauwing naar 1v:4h hier niet nodig is.
[2] Waarden tussen haakjes zijn de berekeningsresultaten o.b.v. [FUG 2015a] voor (ontwerp zonderaardbeving-ontwerp met aardbeving)
[3] Ruimtebeslag berekend op het niveau van de huidige teen. De aanvulling in de waterpartij onder dit niveau wordt niet meegerekend.

Uit tabel 1 blijkt dat het benodigde (extra) ruimtebeslag significant afneemt op basis van het optimistische scenario. Voor alle raaien wordt de hoogwatersituatie maatgevend voor het ontwerp.

4. GEVOELIGHEIDSANALYSES

Faalkansbudget macrostabiliteit

Om het effect van een aangepast faalkansbudget voor macrostabiliteit te onderzoeken is ook een berekening uitgevoerd waarbij is uitgegaan van een faalkansbudget van 4% in plaats van 34 %. Dit heeft als gevolg dat de volgende uitgangspunten afwijken ten opzichte van het in hoofdstuk 2 gepresenteerde optimistische scenario:

1) Yield aardbevingsversnelling van 0,7 m/s^2
2) Bij aardbevingscondities wordt gerekend met een schadefactor van γ_n = 0,84.
3) Kruinhoogte bij 10 l/s/m (inclusief bodemdaling en robuustheidstoeslag)

Ad1) Een verlaging van het faalkansbudget heeft geen invloed op de yield aardbevingsversnelling, aangezien al wordt uitgegaan van de maximale, afgetopte waarde.

Ad 2) Uitgaande van een invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting van α = 0,9 kunnen de materiaalfactoren (of schadefactor) mogelijk met een factor 1,27 worden gereduceerd [FUG 2015b]. Indien wordt uitgegaan van een faalkansbudget van 4%, een afkeurkans van 1/3333 en een kans op falen, gegeven instabiliteit van 0,1 (overeen komend met een situatie waarbij instabiliteit niet samenhangt met het optreden van hoogwater [ATRWG 2007], bedraagt de benodigde schadefactor 1,07. Indien deze gereduceerd wordt met een factor 1,27 bedraagt de schadefactor γ_n = 0,84. Inclusief schematiseringsfactor van γ_b = 1,1 en een modelfactor van γ_d = 1,0 (Bishop) of γ_d = 0,95 (Spencer) resulteert dit in een stabiliteitseis van F.S. ≥ 0,92 voor Bishop en F.S. ≥ 0,88 voor Spencer.

Ad 3) Een verlaging van het faalkansbudget voor macrostabiliteit heeft geen invloed op de benodigde kruinhoogte.

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor raai 61. De berekeningsresultaten zijn gepresenteerd in tabel 2.

Tabel 2: Berekeningsresultaten faalkansbudget macrostabiliteit 4%

Raai	Extra ruimtebeslag binnenzijde [2] [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [2] [m]	Extra ruimte beslag totaal [2] [m]
6 [3]	12 (10)	0 (0)	12 (10)
41	33 (22,5)	0 (0)	33 (22,5)
61 [1]	6 (2)	0 (0)	6 (2)

[1)] Geometrie wijkt af van de uitgangspunten. Er is een steiler binnentalud boven de berm aangehouden, aangezien verflauwing naar 1v:4h hier niet nodig is.
[2)] Waarden tussen haakjes zijn de berekeningsresultaten o.b.v. tabel 1 (faalkansbudget 34%)
[3)] Ruimtebeslag berekend op het niveau van de huidige teen. De aanvulling in de waterpartij onder dit niveau wordt niet meegerekend.

Uit de resultaten blijkt dat een verhoging van de stabiliteitseis van F.S. = 0,84 naar 0,88 (ofwel een verhoging van 0,04) voor de raaien 6, 41 en 61 leidt tot ca. 2 tot 11 m extra ruimtebeslag. Aan de buitenzijde is (nog net) geen extra ruimtebeslag benodigd.

Invloedsfactor aardbevingsbelasting
Om het effect van een lagere invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting te onderzoeken is ook een berekening uitgevoerd waarbij is uitgegaan van een invloedsfactor van $\alpha = 0,7$ in plaats van $\alpha = 0,9$. Dit heeft als gevolg dat de volgende afwijkende uitgangspunten worden gehanteerd ten opzichte van [FUG 2015] aangegeven:

1) Yield aardbevingsversnelling van 0,13 m/s^2
2) Bij aardbevingscondities wordt gerekend met een schadefactor van $\gamma_n = 0,89$.
3) Kruinhoogte bij 10 l/s/m (inclusief bodemdaling en robuustheidstoeslag)

Ad 1) Er wordt conform [DELT 2015] voor de aardbevingssituatie gerekend met een faalkansbudget van 34%, een invloedsfactor $\alpha = 0,7$ en een afkeurkans van 1/3333. Dit leidt tot een terugkeertijd voor de ontwerp aardbevingsversnelling van ca. 215 jaar. Daarnaast wordt het oorspronkelijke aardbevingssignaal van het KNMI met 20% gereduceerd en afgetopt op 4 m/s^2. In dat geval bedraagt de yield grondversnelling 0,13 m/s^2.

Ad 2) Uitgaande van een invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting van $\alpha = 0,7$ kunnen de materiaalfactoren (of schadefactor) mogelijk met een factor 1,13 worden gereduceerd [FUG 2015b]. Indien wordt uitgegaan van een faalkansbudget van 34%, een afkeurkans van 1/3333 en een kans op falen, gegeven instabiliteit van 0,1 (overeen komend met een situatie waarbij instabiliteit niet samenhangt met het optreden van hoogwater [ATRWG 2007], bedraagt de benodigde schadefactor 1,01. Indien deze gereduceerd wordt met een factor 1,13 bedraagt de schadefactor $\gamma_n = 0,89$. Inclusief schematiseringsfactor van $\gamma_b = 1,1$ en een modelfactor van $\gamma_d = 1,0$ (Bishop) of $\gamma_d = 0,95$ (Spencer) resulteert dit in een stabiliteitseis van F.S. ≥ 0,98 voor Bishop en F.S. ≥ 0,93 voor Spencer.

Ad 3) Een verlaging van het faalkansbudget voor macrostabiliteit heeft geen invloed op de benodigde kruinhoogte.

De binnenwaartse stabiliteit is berekend bij de eerder berekende bermbreedtes in hoofdstuk 3. Uitgegaan is van het model Spencer. De resultaten van zowel de eerder berekende aardbevingsversnelling van 0,7 m/s^2 als de aardbevingsversnelling van 0,13 m/s^2 zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Berekeningsresultaten stabiliteitsfactor bij invloedscoëfficiënt 0,7 en 0,9

Raai	a_{yield} = 0,7 m/s^2 ($\alpha_{aardbeving}$ = 0,9) [-]	a_{yield} = 0,13 m/s^2 ($\alpha_{aardbeving}$ = 0,7) [-]
6 [1)]	0,85 (eis 0,84)	1,16 (eis 0,93)
41	0,84 (eis 0,84)	1,16 (eis 0,93)
61 [2)]	0,84 (eis 0,84)	1,06 (eis 0,93)

[1)] Ruimtebeslag berekend op het niveau van de huidige teen. De aanvulling in de waterpartij onder dit niveau wordt niet meegerekend.
[2)] Geometrie wijkt af van de uitgangspunten. Er is een steiler binnentalud boven de berm aangehouden, aangezien verflauwing naar 1v:4h hier niet nodig is.

Uit tabel 3 blijkt dat de berekende stabiliteitsfactoren bij een invloedscoefficient voor de aardbevingsbelasting van α = 0,9 vrijwel precies voldoen aan de eis. Dit is logisch, omdat de bermbreedte hier in hoofdstuk 3 op is ontworpen. Indien bij dezelfde bermbreedte de stabiliteit wordt berekend bij de *lagere aardbevingsbelasting* behorend bij een invloedscoëfficiënt van α = 0,7 en een bijbehorende *hogere eis aan de stabiliteitsfactor* blijkt dat de berekende stabiliteitsfactor ruim boven de eis ligt. Dit betekent dat de berm voor deze situatie gereduceerd zou kunnen worden. Hieruit blijkt dat de situatie met een invloedsfactor van 0,9 voor de aardbevingsbelasting maatgevend is. Derhalve kan geconcludeerd worden dat het ontwerppunt voor deze situatie beter benaderd wordt bij een invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting van α = 0,9 dan α = 0,7. Deze resultaten ondersteunen dus het uitgangspunt om uit te gaan van een invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting van α = 0,9.

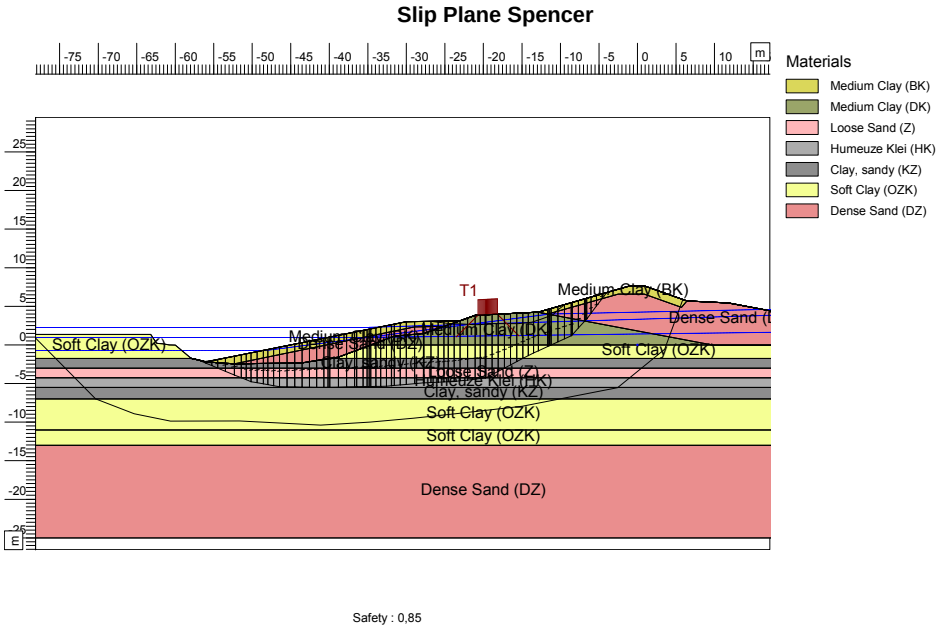
5. CONCLUSIE

De uitgangspunten voor het aardbevingsbestendig dijkontwerp van de Ommelanderzeedijk zijn nog niet definitief vastgesteld. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de omvang van de versterking voor de ontwerpuitgangspunten is een ‘optimistisch scenario’ doorgerekend. Hierbij worden aanzienlijk kortere bermen aan de binnenzijde berekend, variërend van enkele tot ca. 25 m. Aan de buitenzijde is geen versterking nodig bij het optimistische scenario. Voor de drie beschouwde raaien blijkt dat de hoogwatersituatie maatgevend wordt voor het ontwerp. Hierbij is er van uitgegaan dat verweking wordt voorkomen door bijvoorbeeld een grondverbetering. Het nauwkeuriger bepalen van de uitgangspunten is dus van groot belang voor het komen tot een optimaal ontwerp.

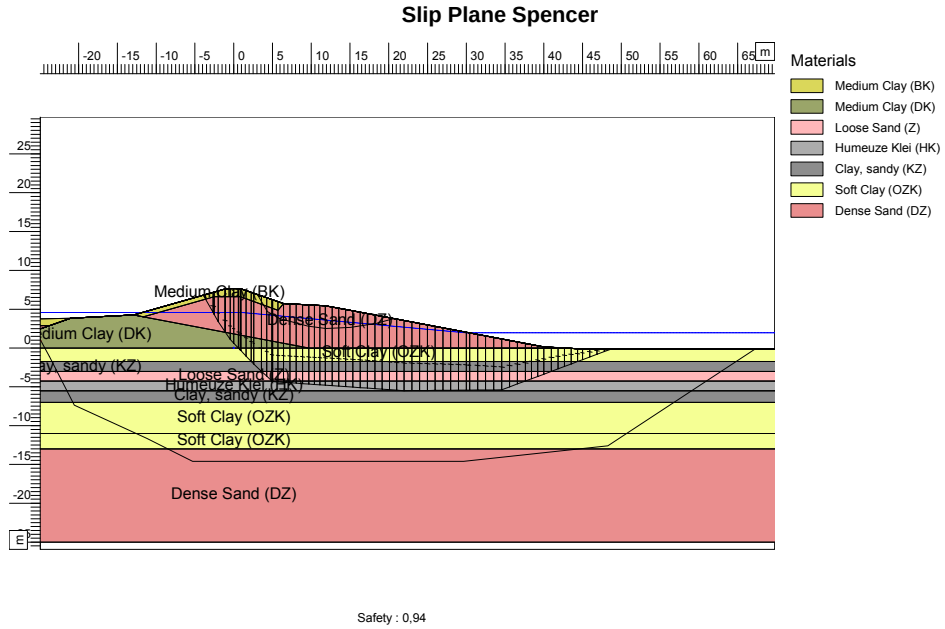
Uit een gevoeligheidsanalyse voor raai 6, 41 en 61 blijkt dat het effect van een kleiner faalkansbudget tot ca. 2 tot 11 m extra ruimtebeslag aan de binnenzijde leidt. Aan de buitenzijde is (nog net) geen extra ruimtebeslag benodigd ten opzichte van het optimistische scenario.

BIJLAGE 1

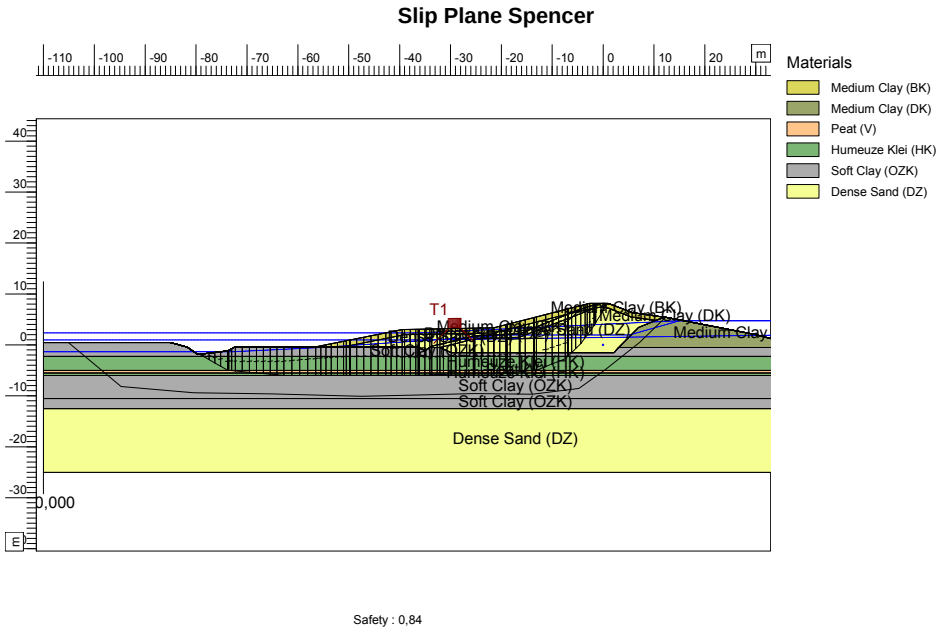
Raai 6, STBI



Raai 6, STBU

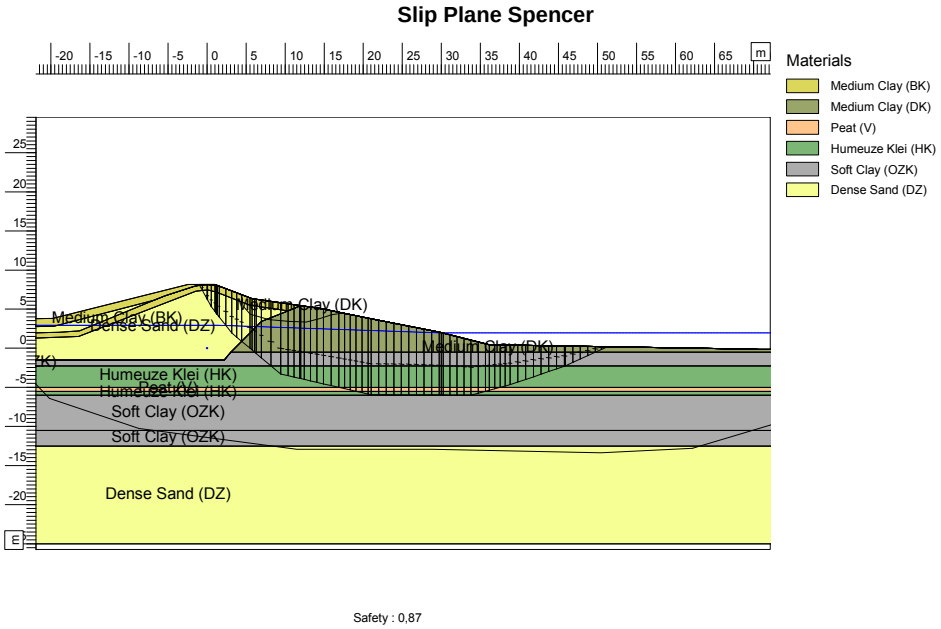


Raai 41, STBI



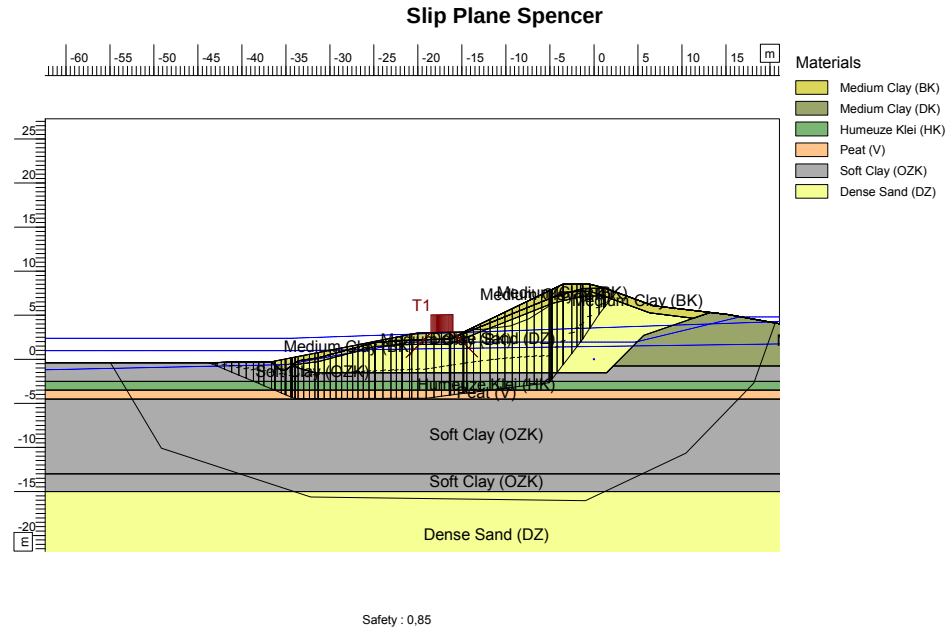
Safety : 0,84

Raai 41, STBU



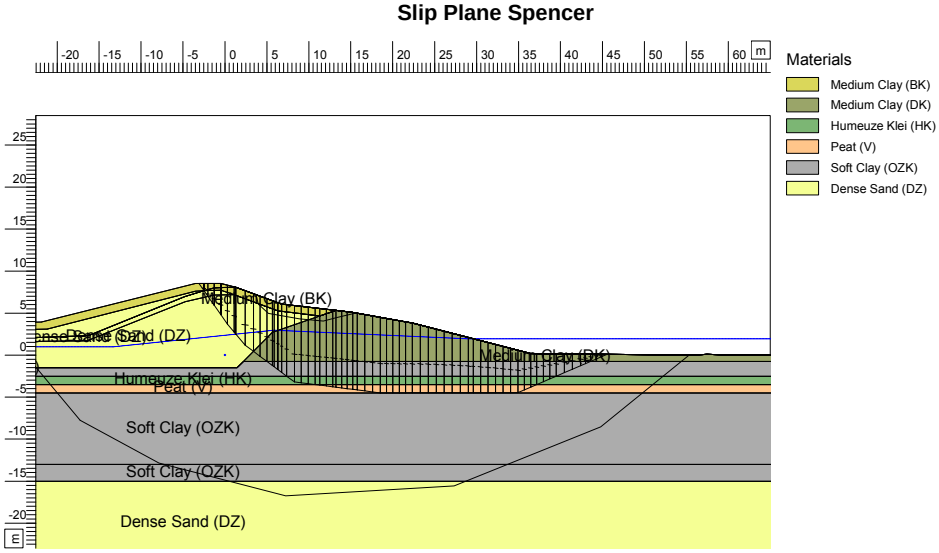
Safety : 0,87

Raai 61, STBI



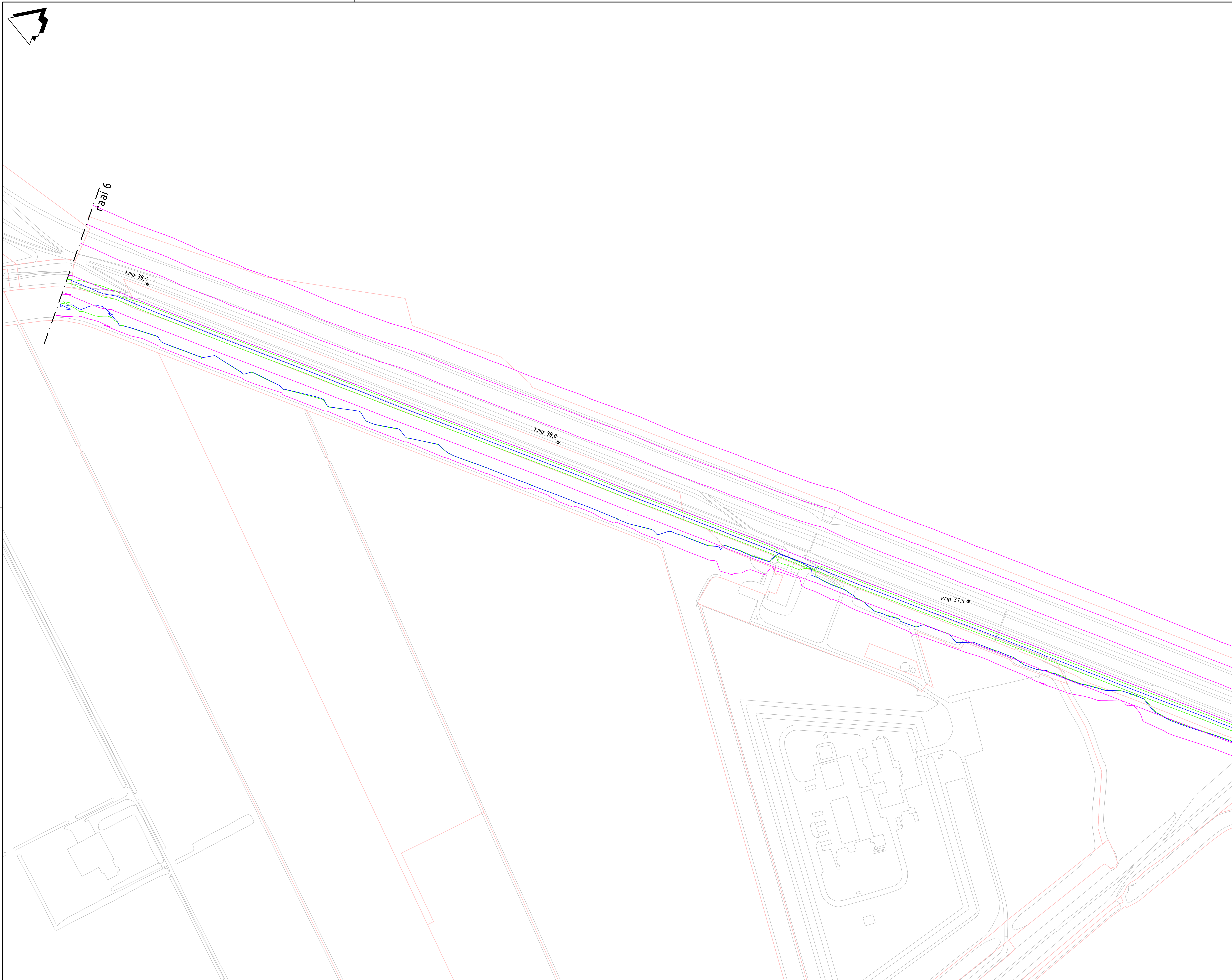
Safety : 0,85

Raai 61, STBU



Safety : 0,93

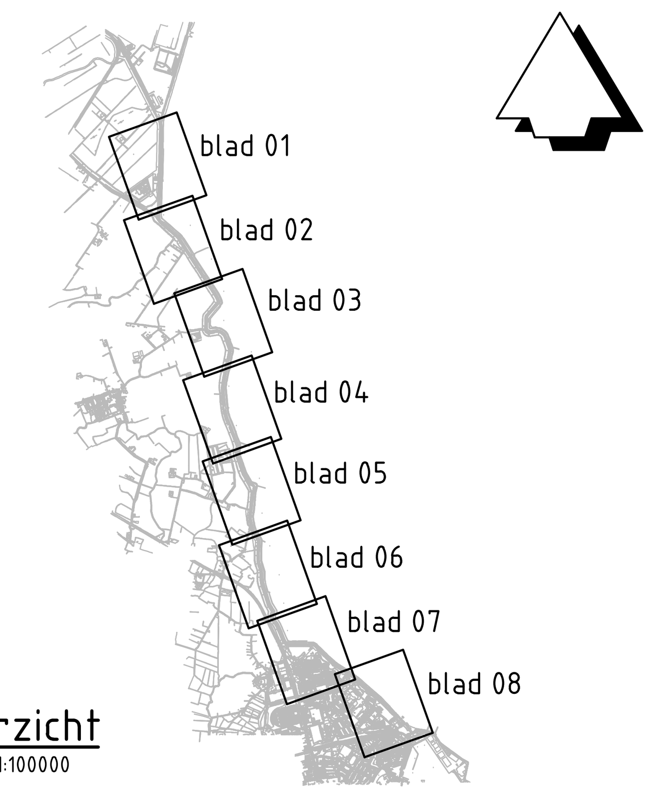
Bijlage 4.2 Tekeningen



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl Iimpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 6

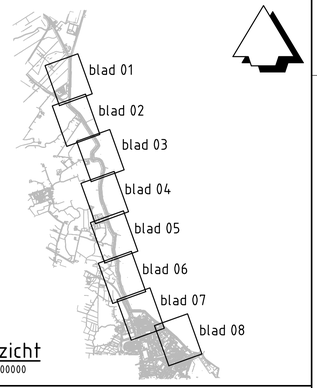
Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer :		Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		01	C

DocId: 078220169:12

Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

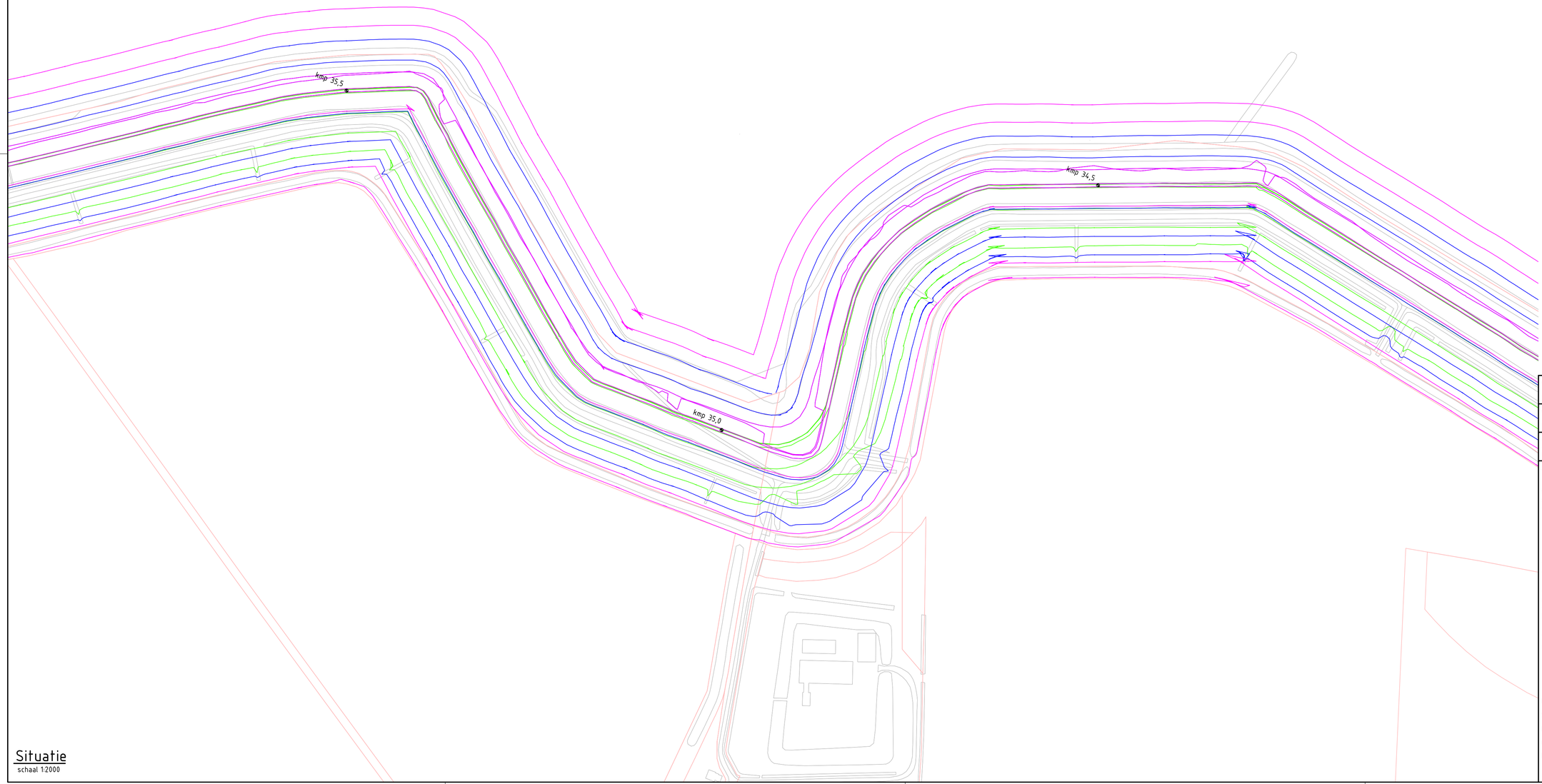
Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 6-41

Fase : Voorontwerp

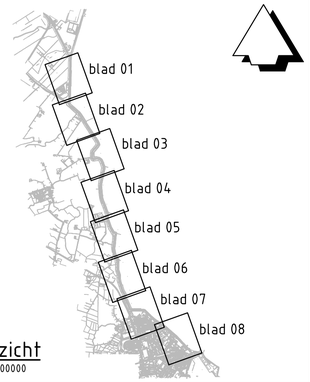
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		02	C

Dockd: 07822016 9 : 12



Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie raai 41
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Nieneijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		03	C

Docid: 21690228A

kmp 34,0

kmp 33,5

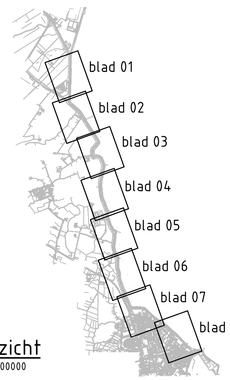
kmp 33,0

raai 41

raai 61

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht

schaal 1:100000

Situatie

schaal 1:2000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

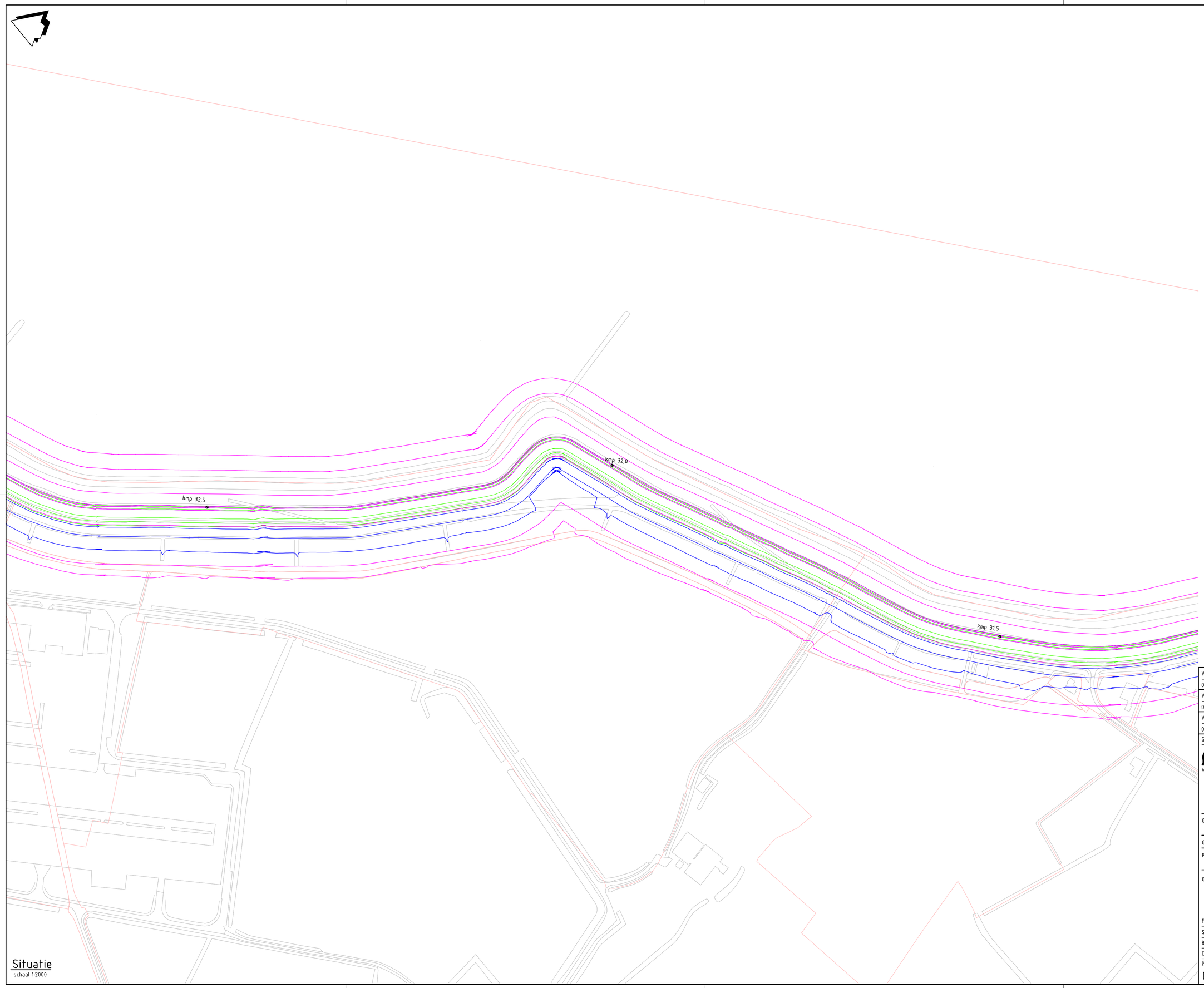
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning
Onderwerp	: Situatie raai 41-61
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Nieneijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		04	C

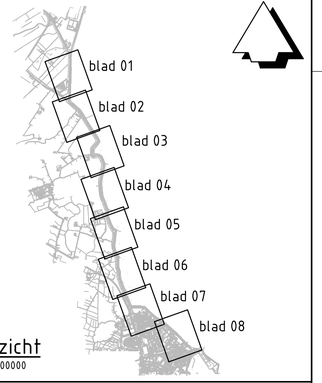
Docid: 21690228A



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

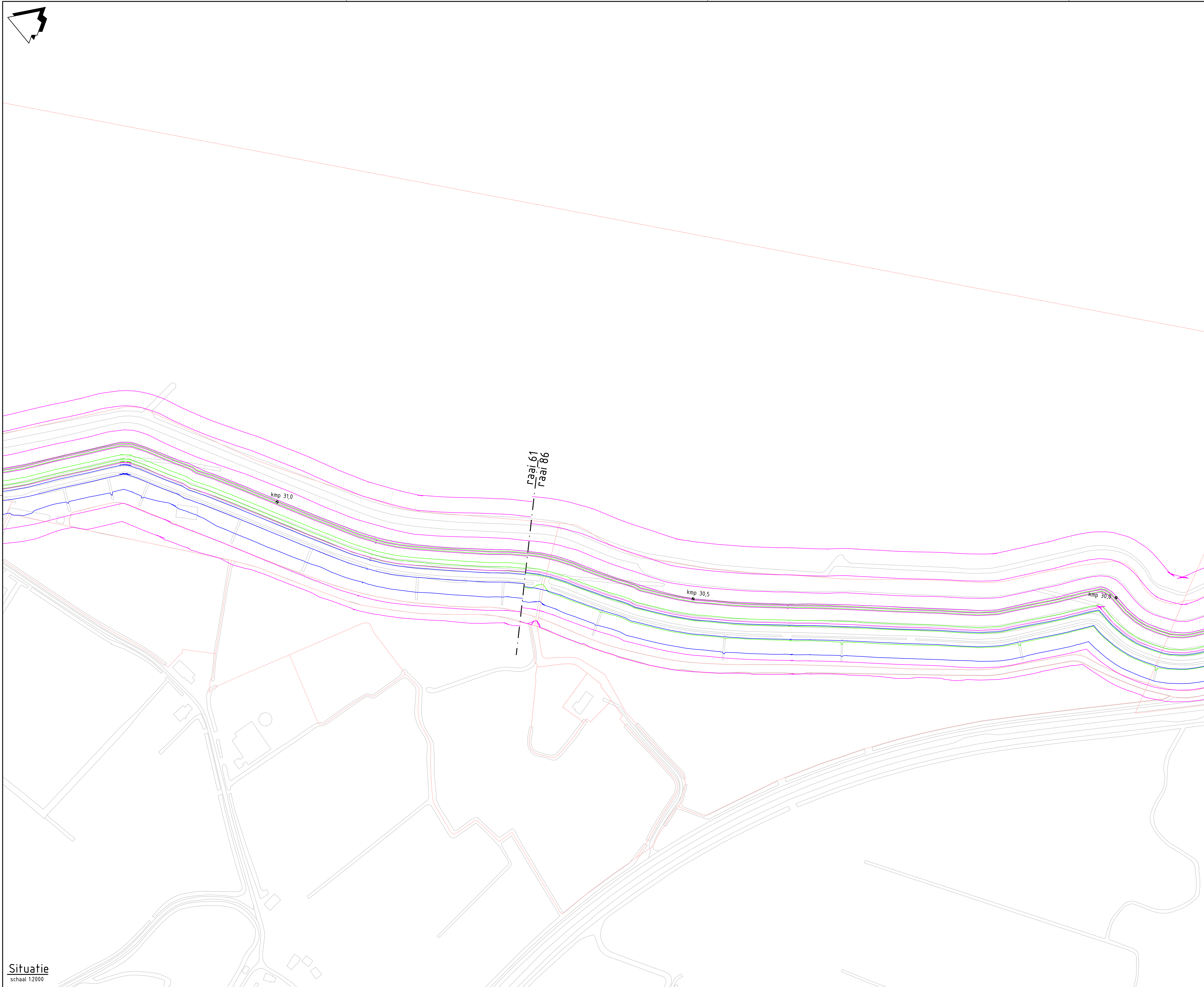
Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 61

Fase : Voorontwerp

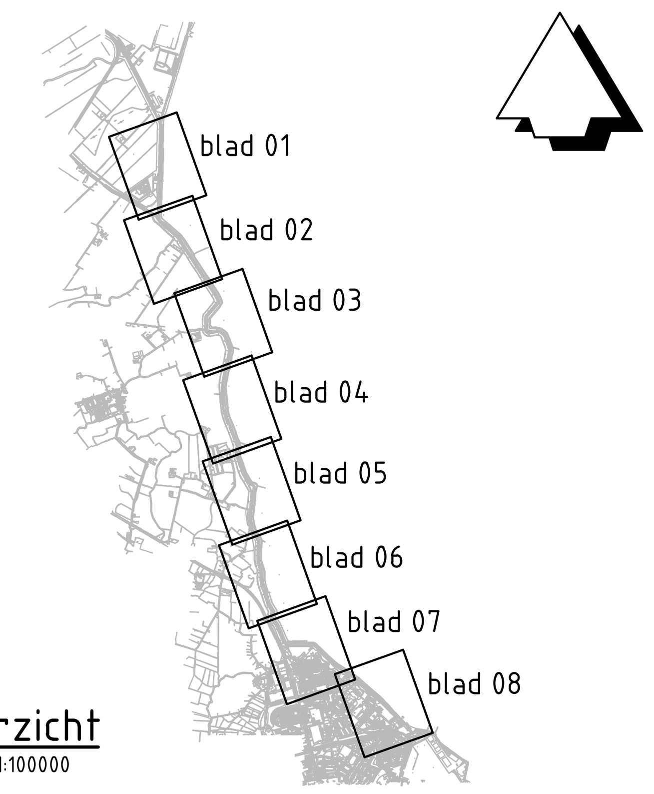
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	: C03011.000330.0100	Tekeningnummer	: 05
Versie	: C		

Doc.Id: 078220169.12



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

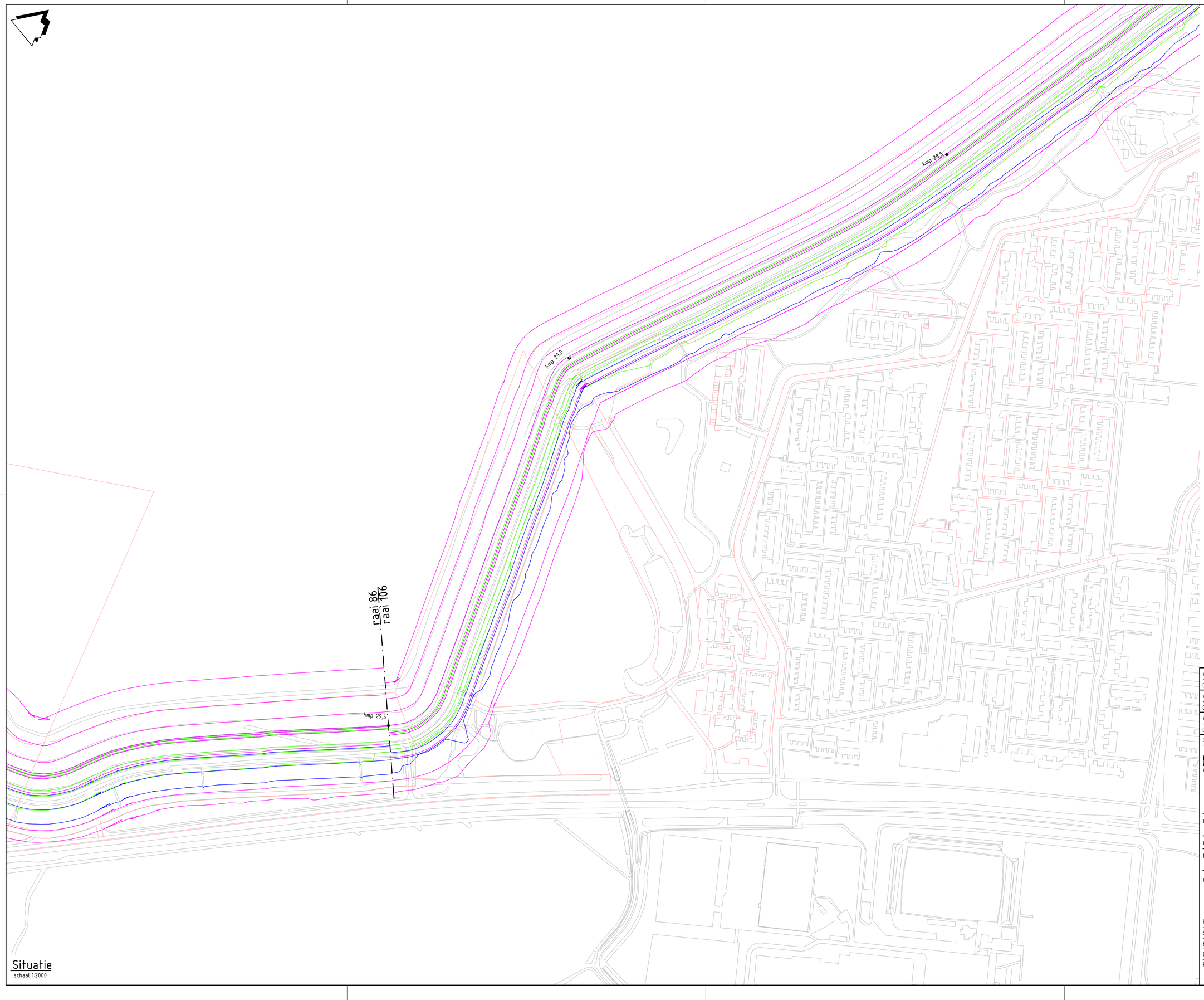
Ontwerp :

Project : Noorderzijl Iimpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 61 - 86

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		06	C

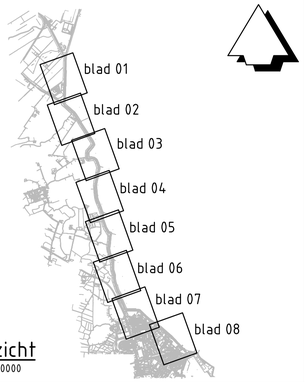
DocId: 078220149-12



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

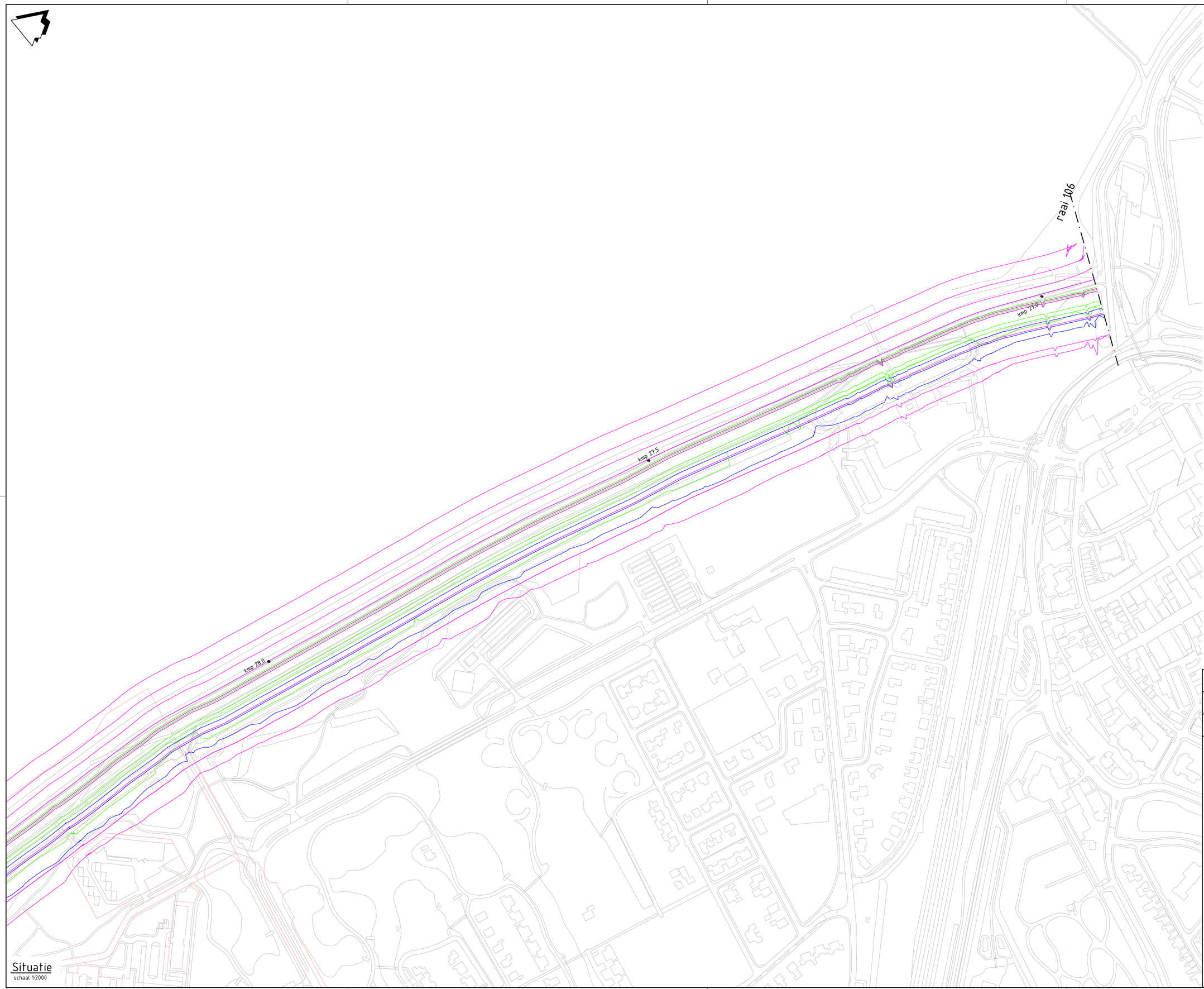
Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 86 - 106

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		07	C

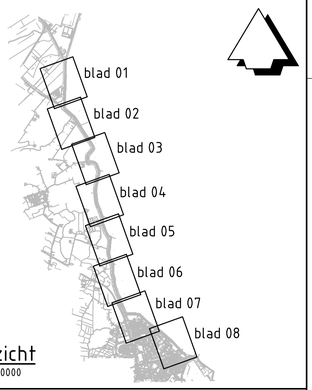
Dcld: 078220169.12



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Situatie raai 106

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		08	C

Docid: 078220169.12

Dwarsprofiel raai 6 spoor 3
schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-69.15	-0.23
-60.61	-0.20
-59.33	-0.19
-56.12	-0.18
-54.51	-0.18
-45.49	-0.13
-43.83	-0.11
-38.22	0.20
-36.52	0.49
-34.91	0.82
-30.11	1.83
-26.54	2.61
-24.48	3.06
-22.20	3.56
-17.89	4.45
-13.83	5.15
-11.83	5.43
-9.85	5.52
-6.43	5.72
-3.46	6.81
-1.16	7.60
0.00	7.66
1.13	7.60
2.59	7.26
5.08	6.65
7.53	5.85
9.30	5.33
11.16	4.77
12.88	4.25
13.98	4.15
16.40	4.05
18.20	4.05
19.87	3.92
21.06	3.84
23.90	2.83
27.72	1.49
31.58	1.14
33.90	0.26
35.41	-0.42
38.81	-1.57
41.51	-1.98
43.53	-2.31
46.98	-2.30
48.51	-2.30
52.03	-2.48
54.68	-2.43
56.32	-2.19
60.01	-0.03
61.62	0.14
63.20	1.37
84.59	1.39
89.85	1.38
93.09	1.37
98.89	1.36
100.00	1.36

Dwarsprofiel raai 41 spoor 3
schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-78.14	-0.37
-77.02	-0.34
-75.54	-0.20
-61.93	-0.02
-53.47	0.09
-51.44	0.13
-38.22	0.34
-36.13	0.44
-29.72	2.07
-21.94	3.58
-18.35	4.25
-16.28	4.66
-13.23	5.27
-9.82	5.73
-5.75	6.35
-2.94	7.36
-1.30	8.04
0.00	8.14
1.49	7.98
3.55	7.29
5.38	6.71
8.95	5.29
12.18	3.97
15.12	2.71
16.34	2.22
18.08	2.10
21.86	1.98
25.21	1.80
28.82	0.96
32.61	-0.01
33.68	-0.24
35.03	-1.13
36.37	-0.36
37.53	-0.20
40.93	-0.16
49.92	-0.24
54.09	-0.28
63.19	-0.37
66.94	-0.41
71.43	-0.35
73.73	-1.16
79.28	-1.84
80.77	-1.26
82.10	-0.32
83.29	0.00
85.15	0.50
90.78	0.50
92.02	0.50
93.06	0.50
94.26	0.50
97.23	0.50
100.00	0.50

Dwarsprofiel raai 61 spoor 3
schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-52.08	0.03
-47.98	0.03
-46.73	0.04
-36.45	0.18
-30.12	1.91
-28.42	2.38
-24.64	3.28
-22.34	3.82
-15.24	5.09
-6.76	6.07
-3.50	7.18
-1.26	8.08
0.00	8.07
1.26	8.03
4.81	6.97
8.61	5.51
12.28	4.06
16.28	2.33
18.06	2.21
20.32	2.15
21.77	2.13
23.08	2.05
24.87	1.91
28.33	0.93
31.32	0.18
33.62	-0.17
35.08	-1.26
36.64	-0.28
39.73	-0.28
46.65	-0.38
53.87	-0.39
57.82	-0.41
63.20	-0.38
68.58	-0.36
69.91	-1.08
71.34	-1.47
75.97	-1.42
78.01	-0.04
79.58	-0.20
81.56	0.17
83.09	0.44
88.18	0.49
100.00	0.52

Dwarsprofiel raai 86 spoor 3
schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-62.73	-0.01
-50.21	0.15
-47.46	0.20
-44.68	1.45
-43.13	1.69
-41.84	1.72
-36.99	1.87
-31.07	2.30
-26.71	2.55
-23.42	3.10
-22.40	3.29
-15.67	4.79
-11.27	5.40
-9.59	5.66
-5.31	6.27
-3.78	6.83
-2.78	7.15
-1.41	7.61
0.00	7.59
1.41	7.61
3.93	6.84
6.02	6.16
11.18	4.28
12.74	3.71
14.86	2.97
16.74	2.25
18.75	2.09
20.06	2.07
22.13	2.05
23.28	2.00
24.58	1.87
27.68	0.93
29.23	0.41
30.68	-0.13
33.21	-0.26
34.69	-1.05
37.27	-0.30
38.98	-0.23
40.61	-0.24
51.94	-0.31
55.80	-0.35
66.58	-0.48
68.32	-0.52
69.98	-0.57
71.21	-1.12
77.48	-1.18
79.22	-0.26
94.19	0.23
95.81	0.29
96.88	0.29
100.00	0.27

Dwarsprofiel raai 106 spoor 3
schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-57.61	-0.15
-57.01	-0.13
-55.60	-0.12
-53.19	-0.11
-48.37	-0.08
-46.49	-0.07
-41.16	0.12
-39.17	0.75
-37.50	0.90
-34.50	1.33
-32.75	1.70
-31.70	1.91
-27.35	3.01
-25.25	3.38
-23.04	3.76
-13.88	5.34
-5.55	6.66
-1.55	7.97
0.00	8.09
1.04	8.06
7.32	6.35
15.97	2.94
19.35	2.43
22.42	2.36
25.09	2.13
34.63	-0.89
35.80	-1.50
37.12	-2.04
39.05	-2.04
42.76	-2.05
44.06	-1.35
45.50	-0.92
47.58	-0.93
74.10	-0.87
84.69	-0.59
88.71	0.37
94.27	1.22

Legenda
- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering

Overzicht
schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : **Dwarsprofielen spoor 3**

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		09	C

Docld: 078220169 : 12

Dwarsprofiel raai 6 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-69.15	-0.23
-60.61	-0.20
-59.33	-0.19
-56.12	-0.18
-54.51	-0.18
-45.49	-0.13
-43.83	-0.11
-38.22	0.20
-36.52	0.49
-34.91	0.82
-30.11	1.83
-26.54	2.61
-24.48	3.06
-22.20	3.56
-17.89	4.45
-13.83	5.15
-11.83	5.43
-9.85	5.52
-6.43	5.72
-3.46	6.81
-1.16	7.60
0.00	7.66
1.13	7.60
2.59	7.26
5.08	6.65
7.53	5.85
9.30	5.33
11.16	4.77
12.88	4.25
13.98	4.15
16.40	4.05
18.20	4.05
19.87	3.92
21.06	3.84
23.90	2.83
27.72	1.49
31.58	1.14
33.90	0.26
35.41	-0.42
38.81	-1.57
41.51	-1.98
43.53	-2.31
46.98	-2.30
48.51	-2.30
52.03	-2.48
54.68	-2.43
56.32	-2.19
60.01	-0.03
61.62	0.14
63.20	1.37
84.59	1.39
89.85	1.38
93.09	1.37
98.89	1.36
100.00	1.36

Dwarsprofiel raai 41 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-78.14	-0.37
-77.02	-0.34
-75.54	-0.20
-61.93	-0.02
-53.47	0.09
-51.44	0.13
-38.22	0.34
-36.13	0.44
-29.72	2.07
-21.94	3.58
-18.35	4.25
-16.28	4.66
-13.23	5.27
-9.82	5.73
-5.75	6.35
-2.94	7.36
-1.30	8.04
0.00	8.14
1.49	7.98
3.55	7.29
5.38	6.71
8.95	5.29
12.18	3.97
15.12	2.71
16.34	2.22
18.08	2.10
21.86	1.98
25.21	1.80
28.82	0.96
32.61	-0.01
33.68	-0.24
35.03	-1.13
36.37	-0.36
37.53	-0.20
40.93	-0.16
49.92	-0.24
54.09	-0.28
63.19	-0.37
66.94	-0.41
71.43	-0.35
73.73	-1.16
79.28	-1.84
80.77	-1.26
82.10	-0.32
83.29	0.00
85.15	0.50
90.78	0.50
92.02	0.50
93.06	0.50
94.26	0.50
97.23	0.50
100.00	0.50

Dwarsprofiel raai 61 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-52.08	0.03
-47.98	0.03
-46.73	0.04
-36.45	0.18
-30.12	1.91
-28.42	2.38
-24.64	3.28
-22.34	3.82
-15.24	5.09
-6.76	6.07
-3.50	7.18
-1.26	8.08
0.00	8.07
1.26	8.03
4.81	6.97
8.61	5.51
12.28	4.06
16.28	2.33
18.06	2.21
20.32	2.15
21.77	2.13
23.08	2.05
24.87	1.91
28.33	0.93
31.32	0.18
33.62	-0.17
35.08	-1.26
36.64	-0.28
39.73	-0.28
46.65	-0.38
53.87	-0.39
57.82	-0.41
63.20	-0.38
68.58	-0.36
69.91	-1.08
71.34	-1.47
75.97	-1.42
78.01	-0.04
79.58	-0.20
81.56	0.17
83.09	0.44
88.18	0.49
100.00	0.52

Dwarsprofiel raai 86 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-66.92	0.06
-63.96	0.05
-60.75	0.08
-58.05	0.11
-51.52	0.22
-50.03	0.26
-48.16	1.12
-46.72	1.77
-45.71	1.60
-42.79	1.71
-39.87	1.80
-33.83	2.08
-30.10	2.28
-25.65	3.19
-22.17	3.85
-18.66	4.49
-16.90	4.85
-14.77	5.12
-11.30	5.57
-8.84	5.85
-6.63	6.14
-4.97	6.63
-3.92	6.95
-2.08	7.44
-1.06	7.77
0.00	7.76
1.81	7.70
3.66	7.17
6.36	6.36
10.72	4.65
13.10	3.72
15.39	2.89
17.20	2.23
18.28	2.11
20.84	2.07
22.48	2.06
23.68	2.07
25.21	1.95
26.37	1.58
27.45	1.25
29.22	0.71
30.53	0.27
33.01	0.03
34.18	-0.58
36.97	0.11
40.50	0.05
44.94	-0.03
49.10	-0.20
53.06	-0.32
60.94	-0.51
62.34	-0.54
65.53	-1.14
68.53	-1.16
70.62	-1.14
71.98	-0.59
76.11	-0.03
78.55	0.04
81.80	0.13
84.46	0.25
86.43	0.27
87.56	0.33
89.83	0.36

Dwarsprofiel raai 106 spoor 4

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-57.61	-0.15
-57.01	-0.13
-55.60	-0.12
-53.19	-0.11
-48.37	-0.08
-46.49	-0.07
-41.16	0.12
-39.17	0.75
-37.50	0.90
-34.50	1.33
-32.75	1.70
-31.70	1.91
-27.35	3.01
-25.25	3.38
-23.04	3.76
-13.88	5.34
-5.55	6.66
-1.55	7.97
0.00	8.09
1.04	8.06
7.32	6.35
15.97	2.94
19.35	2.43
22.42	2.36
25.09	2.13
34.63	-0.89
35.80	-1.50
37.12	-2.04
39.05	-2.04
42.76	-2.05
44.06	-1.35
45.50	-0.92
47.58	-0.93
74.10	-0.87
84.69	-0.59
88.71	0.37
94.27	1.22

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Dwarsprofielen spoor 4

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		10	C

DocId: 078220169 : 12

Dwarsprofiel raai 6 spoor 4 - optimistische benadering

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-69.15	-0.23
-60.61	-0.20
-59.33	-0.19
-56.12	-0.18
-54.51	-0.18
-45.49	-0.13
-43.83	-0.11
-38.22	0.20
-36.52	0.49
-34.91	0.82
-30.11	1.83
-26.54	2.61
-24.48	3.06
-22.20	3.56
-17.89	4.45
-13.83	5.15
-11.83	5.43
-9.85	5.52
-6.43	5.72
-3.46	6.81
-1.16	7.60
0.00	7.66
1.13	7.60
2.59	7.26
5.08	6.65
7.53	5.85
9.30	5.33
11.16	4.77
12.88	4.25
13.98	4.15
16.40	4.05
18.20	4.05
19.87	3.92
21.06	3.84
23.90	2.83
27.72	1.49
31.58	1.14
33.90	0.26
35.41	-0.42
38.81	-1.57
41.51	-1.98
43.53	-2.31
46.98	-2.30
48.51	-2.30
52.03	-2.48
54.68	-2.43
56.32	-2.19
60.01	-0.03
61.62	0.14
63.20	1.37
84.59	1.39
89.85	1.38
93.09	1.37

Dwarsprofiel raai 41 spoor 4 - optimistische benadering

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-78.14	-0.37
-77.02	-0.34
-75.54	-0.20
-61.93	-0.02
-53.47	0.09
-51.44	0.13
-38.22	0.34
-36.13	0.44
-29.72	2.07
-21.94	3.58
-18.35	4.25
-16.28	4.66
-13.23	5.27
-9.82	5.73
-5.75	6.35
-2.94	7.36
-1.30	8.04
0.00	8.14
1.49	7.98
3.55	7.29
5.38	6.71
8.95	5.29
12.18	3.97
15.12	2.71
16.34	2.22
18.08	2.10
21.86	1.98
25.21	1.80
28.82	0.96
32.61	-0.01
33.68	-0.24
35.03	-1.13
36.37	-0.36
37.53	-0.20
40.93	-0.16
49.92	-0.24
54.09	-0.28
63.19	-0.37
66.94	-0.41
71.43	-0.35
73.73	-1.16
79.28	-1.84
80.77	-1.26
82.10	-0.32
83.29	0.00
85.15	0.50
90.78	0.50
92.02	0.50
93.06	0.50
94.26	0.50
97.23	0.50

Dwarsprofiel raai 61 spoor 4 - optimistische benadering

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-52.08	0.03
-47.98	0.03
-46.73	0.04
-36.45	0.18
-30.12	1.91
-28.42	2.38
-24.64	3.28
-22.34	3.82
-15.24	5.09
-6.76	6.07
-3.50	7.18
-1.26	8.08
0.00	8.07
1.26	8.03
4.81	6.97
8.61	5.51
12.28	4.06
16.28	2.33
18.06	2.21
20.32	2.15
21.77	2.13
23.08	2.05
24.87	1.91
28.33	0.93
31.32	0.18
33.62	-0.17
35.08	-1.26
36.64	-0.28
39.73	-0.28
46.65	-0.38
53.87	-0.39
57.82	-0.41
63.20	-0.38
68.58	-0.36
69.91	-1.08
71.34	-1.47
75.97	-1.42
78.01	-0.04
79.58	-0.20
81.56	0.17
83.09	0.44
88.18	0.49

Dwarsprofiel raai 86 spoor 4 - optimistische benadering

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-62.73	-0.01
-50.21	0.15
-47.46	0.20
-44.68	1.45
-43.13	1.69
-41.84	1.72
-36.99	1.87
-31.07	2.30
-26.71	2.55
-23.42	3.10
-22.40	3.29
-15.67	4.79
-11.27	5.40
-9.59	5.66
-5.31	6.27
-3.78	6.83
-2.78	7.15
-1.41	7.61
0.00	7.59
1.41	7.61
3.93	6.84
6.02	6.16
11.18	4.28
12.74	3.71
14.86	2.97
16.74	2.25
18.75	2.09
20.06	2.07
22.13	2.05
23.28	2.00
24.58	1.87
27.68	0.93
29.23	0.41
30.68	-0.13
33.21	-0.26
34.69	-1.05
37.27	-0.30
38.98	-0.23
40.61	-0.24
51.94	-0.31
55.80	-0.35
66.58	-0.48
68.32	-0.52
69.98	-0.57
71.21	-1.12
77.48	-1.18
79.22	-0.26
94.19	0.23
95.81	0.29
96.88	0.29

Dwarsprofiel raai 106 spoor 4 - optimistische benadering

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-57.61	-0.15
-57.01	-0.13
-55.60	-0.12
-53.19	-0.11
-48.37	-0.08
-46.49	-0.07
-41.16	0.12
-39.17	0.75
-37.50	0.90
-34.50	1.33
-32.75	1.70
-31.70	1.91
-27.35	3.01
-25.25	3.38
-23.04	3.76
-13.88	5.34
-5.55	6.66
-1.55	7.97
0.00	8.09
1.04	8.06
7.32	6.35
15.97	2.94
19.35	2.43
22.42	2.36
25.09	2.13
34.63	-0.89
35.80	-1.50
37.12	-2.04
39.05	-2.04
42.76	-2.05
44.06	-1.35
45.50	-0.92
47.58	-0.93
74.10	-0.87
84.69	-0.59
88.71	0.37
94.27	1.22

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3
- ontwerp spoor 4
- ontwerp spoor 4 - optimistische benadering

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : C	Datum : 27-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl limpact aardbev dijk Groning

Onderwerp : Dwarsprofielen spoor 4
Optimistische benadering

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		11	C

Docid: 078220169 : 12

Bijlage 5 Gegevens rekenslag 4

Bijlage 5.1 Memo rekenslag 4A

NOTITIE 1212-0075-003.M09v2concept

Aan	:	Bert de Wolff (NZV), Marcel Visschedijk (Deltares), Martin van der Meer (Fugro), Mirjam Molen (Arcadis)
Van	:	Willem Leeuwdrent (Fugro)
Controle	:	Ben Rijneveld (Fugro)
Ref	:	1212-0075-003.M09v2concept
Versie	:	2 (concept)
Datum	:	10 maart 2014
Betreft	:	Berekeningen benodigd ruimtegebruik Eemshaven-Delfzijl o.b.v. uitgangspunten 26-02-2015

1. INLEIDING

In deze notitie worden de uitgangspunten en de resultaten voor de bepaling van het benodigd ruimtegebruik voor de dijkversterking Eemshaven-Delfzijl gepresenteerd. Het ontwerp betreft een schetsontwerp voor 5 raaien, namelijk raai 6, 41, 61, 86, 106. Deze raaien worden representatief geacht voor het hele traject. Daarnaast wordt voor deze 5 raaien een hertoets op basis van de huidige normen uitgevoerd.

In een eerdere fase van dit project zijn meerdere berekeningen gemaakt, met verschillende uitgangspunten. De berekeningen die in deze rekenslag zijn gemaakt zijn een synthese van de berekeningen die in eerdere fasen zijn uitgevoerd.

Figuur 1: Locaties raaien

In het schetsontwerp worden 4 sporen onderscheiden:
- Spoor 1: Ontwerp volgens de huidige normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 2: Ontwerp volgens de huidige normering, inclusief aardbevingseffecten
- Spoor 3: Ontwerp volgens de nieuwe normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 4: Ontwerp volgens de nieuwe normering, inclusief aardbevingseffecten

Voorlopig is ingegaan op het ontwerp op basis van spoor 3 en 4. Daarnaast is een hertoets op basis van de huidige normering, zonder aardbevingseffecten, uitgevoerd.

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

Er wordt gebruik gemaakt van de volgende literatuur en rapporten:

[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007
[BEST] Bestekstekeningen dijkversterking gedateerd op 1965-1977
[DEL 2014_1] Ondergrondmodel Delfzijl-Eemshaven: met aangepaste schematisatie, Deltares memo 1210009-002-GEO-0001, 12 november 2014
[DEL 2014_2] Ontwerpaanpak Eemshaven Delfzijl, Deltares rapport 1210009-005-GEO-0001, versie werkversie, 1 oktober 2014, concept
[DEL 2014_3] Proevenverzameling Klei en veenlagen Eemshaven Delfzijl, Deltares memo 1210009-002-GEO-0002, 11 november 2014
[DTM] Digitaal Terrein Model Dijkverbetering Eemshaven
[FUG 2015] Uitgangspunten Technisch VoorkeursAlternatief dijkversterking Eemshaven-Delfzijl, Fugro memo 1221-0075-003v3, 4 maart 2015.
[TRW 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004
[WNZ 2010] Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk, primaire waterkeringen dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest, rapport 9V2113.B0, 27 mei 2010

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. Planperiode

In het ontwerp wordt uitgegaan van een planperiode van 25 jaar [FUG 2015].

3.2. Definitie ruimtebeslag

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

3.3. Faalmechanismen

De beschouwde mechanismen zijn:
- Hoogte
- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts
- Piping
- Microstabiliteit

De overige mechanismen, zoals voorlandstabiliteit, worden vooralsnog niet beschouwd.

3.4. Kruinhoogte

De benodigde kruinhoogte voor verschillende overslagdebieten in weergegeven in tabel 1. Dit is de benodigde kruinhoogte inclusief compensatie voor bodemdaling (0,2 m in 25 jaar) en robuustheidstoeslag (0,4 m).

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte nieuwe normering [1)]

	Overslagdebiet [l/m/s]		
	1	5	10
RAAI 6	7,70 (7,10)	7,19 (6,59)	6,99 (6,39)
RAAI 41	8,76 (8,16)	8,22 (7,62)	8,00 (7,40)
RAAI 61	9,02 (8,42)	8,41 (7,81)	8,16 (7,56)
RAAI 86	8,69 (8,09)	8,17 (7,57)	7,92 (7,32)
RAAI 106	10,86 (10,26)	9,98 (9,38)	9,62 (9,02)

[1)] Waarden tussen haakjes exclusief compensatie voor bodemdaling en robuustheidstoeslag

3.5. Normering en partiële factoren macrostabiliteit

Hertoets
Voor de hertoets dienen formeel de partiële factoren uit [VTV 2006] te worden toegepast. Vanuit praktisch oogpunt worden de combinatie van schade- en materiaalfactoren uit [ATRWG 2001] toegepast in plaats van de combinatie van schade- en materiaalfactoren uit [VTV 2006]. Op deze wijze wordt echter dezelfde basisveiligheid aangetoond.

Daarnaast wordt de schematiseringsfactor niet in rekening gebracht, aangezien deze in [VTV 2006] niet van toepassing is.

De normfrequentie voor dijkring 6 bedraagt 1/4.000. Op basis van een standaardlengte van 60 km, is op basis van het [ATRWG] de schadefactor voor STBI en voor STBU (uitgaande van een faalkanseis die 10 maal lager is) bepaald. Deze waarde is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 1,0 en voor het model Spencer van een modelfactor van γ_d = 0,95.

Spoor 3 en 4
Voor spoor 3 en 4 wordt uitgegaan van de nieuwe normering, gebaseerd op overstromingskansen en niet op overschrijdingskansen.

De overstromingsnorm voor raaien 41, 61, 86 en 106 bedraagt 1/10.000. Voor raai 6 is dit 1/3.000, welke mogelijk nog verhoogd wordt naar 1/10.000. Voor nu is voor raai 6 uitgegaan van een overstromingsnorm van 1/3.000. Er is uitgegaan van een afkeurkans welke een factor 3 groter is. Voor raai 41, 61, 86 en 106 wordt uitgegaan van een afkeurkans van 1/3.333 en voor raai 6 van 1/1.000.

Op basis van een standaardlengte van 60 km, is de schadefactor voor STBI en STBU bepaald [FUG 2015]. Hierbij is uitgegaan van een faalkansruimtefactor van 0,24. De schadefactor is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen.

Voor de schematiseringsfactor is uitgegaan van een waarde van γ_b = 1,1. Deze waarde is (nog niet) rekenkundig onderbouwd. Dit dient in een later stadium nog wel te worden gedaan.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van γ_d = 1,0 en voor het model Spencer van een modelfactor van γ_d = 0,95.

Voor de aardbevingssituatie is uitgegaan van een kans op falen, gegeven een instabiliteit ten gevolge van een aardbeving, van 0,33 (zowel bij STBI als STBU) [FUG 2015].

De aardbevingsversnelling (zie paragraaf 3.11) is bepaald bij een invloedsfactor van 0,9, wat inhoudt dat de onzekerheid in de aardbevingsbelasting dominant is ten opzichte van de onzekerheid in bijvoorbeeld grondparameters. Daarom kan uitgegaan worden van lagere materiaalfactoren. Bij een invloedsfactor van α = 0,9 voor de aardbevingsbelasting kan een reductie van $\gamma_{m;red}$ = 0,89 [FUG 2015] op de materiaalfactoren worden toegepast. Deze wordt in dit geval toegepast als aanpassing van de stabiliteitseis F.S. ≥ $\gamma_n \cdot \gamma_b \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m;red}$.

De vereiste stabiliteitsfactoren zijn voor de relevante situaties weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Stabiliteitseis voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Raai 6		Raai 41, 61, 86 en 106	
		Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig (hertoets)	1,11 x 1,0 = **1,11**	1,11 x 0,95 = **1,05**	1,11 x 1,0 = **1,11**	1,11 x 0,95 = **1,05**
	Nieuw (versterking)	1,05 x 1,1 x 1,0 = **1,16**	1,05 x 1,1 x 0,95 = **1,10**	1,08 x 1,1 x 1,0 = **1,19**	1,08 x 1,1 x 0,95 = **1,13**
	Nieuw (versterking incl. aardbeving)	1,01 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **0,99**	1,01 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,94**	1,04 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **1,01**	1,04 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,97**
STBU	Huidig (hertoets)	1,05 x 1,0 = **1,05**	1,05 x 0,95 = **1,00**	1,05 x 1,0 = **1,05**	1,05 x 0,95 = **1,00**
	Nieuw (versterking)	0,99 x 1,1 x 1,0 = **1,09**	0,99 x 1,1 x 0,95 = **1,03**	1,02 x 1,1 x 1,0 = **1,12**	1,02 x 1,1 x 0,95 = **1,07**
	Nieuw (versterking incl. aardbeving)	1,01 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **0,99**	1,01 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,94**	1,04 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **1,01**	1,04 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,97**

3.6. Modellen

In de berekeningen is gedraineerd (met wateroverspanningen) gerekend. In de stabiliteitsberekeningen is gerekend met het model Bishop en het model Spencer [FUG 2015].

Er is niet met zonering gerekend [FUG 2015].

3.7. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op de DTM tekeningen en AHN2 data.

De ontwerpkruinhoogte is gebaseerd op [ARC 2014], waarbij is uitgegaan van een overslagdebiet van 5 l/s/m. Er wordt uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,2 m. Deze bodemdaling wordt als toeslag op de ontwerpkruinhoogte toegepast.

Voor de versterking is uitgegaan van een vaste positie van de buitenteen. Bij een kruinverhoging wordt het buitentalud onder de aanwezige helling doorgetrokken. Voor de versterking is uitgegaan van:

- Talud binnenzijde (binnenteen-berm) 1v:5h
- Laagste niveau berm (aan zijde teen) NAP +3,0 m

- Talud berm 1v:50h
- Talud binnenzijde (berm-kruin) 1v:4h à 1v:3h
- Kruinbreedte 3 m
- Talud buitenzijde (kruin-berm) 1v:4h
- Hoogste niveau berm (bij kruin) NAP +5,0 m
- Talud berm 1v:50h
- Talud buitenzijde (berm-buitenteen) 1v:4h

Het effect van de bodemdaling in het achterland is impliciet in de berekeningen meegenomen door uit te gaan van een verhoging van de kruin met de bodemdaling. Omdat het achterland min of meer meezakt met kruin, blijft de kerende hoogte namelijk in de loop van de tijd ongeveer gelijk.

Het effect van een eventuele zettingscompensatie om de ontwerpkruinhoogte gedurende de levensduur van de waterkering te garanderen is niet meegenomen. Dit dient in het (uitvoerings)ontwerp nader uitgewerkt te worden.

3.8. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische belasting voor de geotechnische mechanismen is weergegeven in tabel 3. Dit zijn de waterstanden inclusief bodemdaling. In de berekeningen is de bodemdaling als toeslag op de waterstand meegenomen. Reden hiervoor is dat in de loop van de tijd de waterstand in de dijk relatief hoger wordt, omdat de dijk zakt. Omdat het zakken van de dijk niet expliciet gemodelleerd is, is dit op deze manier meegenomen. Er is uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,2 m en een robuustheidstoeslag van 0,4 m.

Tabel 3: Hydraulische belasting geotechnische mechanismen spoor 3 [1)]

Raai	6	41	61	86	106
Waterstand [m NAP]	5,52 (4,92)	6,25 (5,65)	6,15 (5,55)	6,24 (5,64)	6,67 (6,07)

[1)] Waarden tussen haakjes exclusief compensatie bodemdaling en robuustheidstoeslag

Voor de combinatiewaarde van de waterstand bij een dominante aardbevingsbelasting wordt met een terugkeertijd van 1 jaar gerekend. De waterstand met een terugkeertijd van 1 jaar in de huidige situatie bedraagt NAP +3,25 m (bron: waternormalen, locatie Delfzijl). Rekening houdend met bodemdaling (0,2 m) en zeespiegelstijging (0,2 m) wordt uitgegaan van een waterstand van NAP +3,65 m. Er is geen robuustheidstoeslag toegepast, omdat de onzekerheid in de voorspelling van de waterstand met een terugkeertijd van 1/jaar klein is.

Voor de hertoets zijn de te hanteren waterstanden weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Hydraulische belasting geotechnische mechanismen hertoets

Raai	6	41	61	86	106
Waterstand [m NAP]	5,00	5,50	5,40	5,49	5,91

3.9. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het stochastische ondergrondmodel SOS [DELT 2014_1], waarbij het segment waarin de raai is gelegen wordt beschouwd. Daarnaast worden het naastgelegen segment aan weerzijde van het betreffende segment beschouwd. Hieruit wordt op basis van expert judgement de maatgevende bodemopbouw, op basis van het scenario met de meeste slappe toplagen, geselecteerd. Deze aanname dient in een later stadium rekenkundig te worden onderbouwd.

Het SOS heeft betrekking op de bodemopbouw in het achterland. Ter plaatse van de dijk wordt de bodemopbouw geschematiseerd op basis van de beschikbare bestektekeningen [BEST] en het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.

Voor de grondparameters is uitgegaan van de proevenverzameling [DELT 2014_3]. Omdat de proevenverzameling slecht betrekking heeft op 2 lagen uit het ondergrondmodel, wordt voor de overige parameters en laagindeling welke in de toetsing [WNZ 2010] zijn gehanteerd. Hierbij is zijn de gehanteerde bodemlaagbeschrijvingen uit de toetsing omgezet naar de nieuwe geologische schematisatie uit [DEL 2014_1], zie tabel 5. Voor de potklei is gebruik gemaakt van de toegepaste rekenwaarden in de rapportage van Grontmij voor de Eemskanaaldijk.

Geadviseerd wordt om de proevenverzameling aan te vullen, zodat voor alle relevante grondlagen uit het SOS rekenwaarden beschikbaar zijn. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen Tfco, Pgcc en DK van belang.

Tabel 5: Gehanteerde grondparameters

Grondlaag toetsing	Grondlaag SOS	$\gamma_{dr;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{dr;d}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;d}$ [kN/m^3]	φ'_{rep} [°]	φ'_{d} [°]	c'_{rep} [kPa]	c'_{d} [kPa]
Natuurlijke grondslag									
Oude zeeklei (OZK) [1)]	*Tfcc*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*17,2*	*14,5*	*9,6*	*7,7*
Veen (V) [1)]	*Shpp*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Humeuze klei (HK) [1)]	*Tfco*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Zand (wadafzetting) (Z) [2)]	Tcsf/Tcsm	15,0	15,0	18,0	18,0	27,5	23,5	0,0	0,0
Klei zwak zandig (KZ/ZK) [2)]	Tfsc	14,0	14,0	16,5	16,5	25,0	21,2	1,0	0,7
Potklei (PK) [3)]	Pgcc	17,5	17,5	17,5	17,5	20,0	16,9	16,7	13,3
Dijklichaam									
Dijkzand (DZ) [2)]	Pfc1/pfc2	17,0	17,0	19,0	19,0	32,5	28,0	0,0	0,0
Dijkklei (DK) [4)]		16,5	16,5	16,5	16,5	26,4	22,5	3,75	3,0
Bekledingsklei (BK) [4)]		16,5	16,5	16,5	16,5	26,4	22,5	3,75	3,0
Opgespoten zand (OZ) [2)]		17,0	17,0	19,0	19,0	30,0	25,7	0,0	0,0

[1)] Cursieve waarden uit proevenverzameling Deltares
[2)] Waarden gebaseerd op toetsrapportage/tabel 2.b van NEN 9997-1
[3)] Waarden gebaseerd op door Grontmij toegepast waarden bij de Eemskanaaldijk
[4)] Waarden gebaseerd op praktijkervaringen met goed verdichte kleiophogingen in dijken

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Voor de kleideklaag is een laagdikte van 0,6 m aan de binnenzijde aangehouden en op de kruin en het buitentalud van 1,0 m. Dit is een inschatting op basis van het lokaal uitgevoerde onderzoek en de bestekstekeningen [BEST].

Merk op dat de keuze van de ondergrondschematisatie is gebaseerd op de grondparameters uit tabel 5. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

Voor de versterking wordt uitgegaan van een kern van zand, welke aan de binnenzijde wordt afgedekt met 0,6 m klei en aan de buitenzijde met 1,0 m klei.

Voor spoor 4 is uitgegaan van dezelfde bodemopbouw als spoor 3. Indien verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn, waarin tijdens een aardbeving wateroverspanningen ontstaan, kan dit leiden tot een lagere stabiliteit dan in het geval van slappe lagen. Echter, het toepassen van een berm om verweking te mitigeren lijkt geen realistische/economische oplossing. Daarom is er van uitgegaan

dat verweking wordt voorkomen door maatregelen die geen/nauwelijks ruimtebeslag kosten, zoals een grondverbetering en/of drainage. Het effect van verweking is dus niet nader beschouwd voor de bepaling van het ruimtebeslag. Derhalve wordt een ‘slappe bodem’ voor zowel spoor 3 als 4 als maatgevend aangenomen. Dit dient in een later stadium bij de rekenkundige controle van de schematiseringsfactor aangetoond te worden.

3.10. Geohydrologische schematisatie

Macrostabiliteit binnenwaarts

De freatische waterstand is voor de locaties waar de kleidijk aan de buitenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106) als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn volgt de binnenbekleding en verloopt vervolgens lineair naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Voor de freatische lijn in de kruin wordt voor spoor 3 (zonder aardbeving) uitgegaan van een niveau van NAP +2,7 m. Dit niveau is opgebouwd uit:

- Hoogst gemeten freatische waterstand in 2013 en 2014 voor het LiveDijkXL project van ca. NAP +1,75 m (freatische waterstand vertoont geen respons op buitenwater);
- Toeslag van 0,75 m voor het effect van instroom op het buitentalud bij ‘inwendige overstroming’ van de oude kleidijk;
- Toeslag van 0,2 m voor het effect van bodemdaling;

Er is geen toeslag tengevolge van infiltratie door overslag gerekend omdat bij de hydraulische randvoorwaarden bij de afkeurkans het overslagdebiet in de orde van 0,1 l/s/m ligt.

Voor de hertoets wordt voor de freatische lijn in de kruin uitgegaan van een waarde van NAP +2,5 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project en het effect van het inwendig overstromen van de oude kleidijk, maar zonder het effect van bodemdaling.

Voor spoor 4 (met aardbeving) kan gerekend worden met een lagere waterstand, waardoor de instroom op het buitentalud als gevolg van ‘inwendige overstroming’ van de oude kleidijk niet meegenomen hoeft te worden. Daarom wordt uitgegaan van een waterstand in de kruin van NAP +1,95 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project vermeerderd met de bodemdaling.

Daar waar de kleidijk aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 6), is deze als volgt geschematiseerd:

- Lineair verloop van de buitenwaterstand t.p.v. de buitentalud naar het niveau van de oude kleidijk
- Lineair verloop van het niveau van de kleidijk naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Bij raai 6/km38,0 is de kleikern aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig, dit geldt voor het hele traject van ca. 37.0-38.5. Bij de overige secties (ca. 27.0-37.0) is deze aan de buitenzijde aanwezig. De zandkern van de dijk wordt bedekt door een asfaltbekleding. Onbekend is hoe waterdoorlatend deze is. Daarnaast zijn hier geen peilbuizen of waterspanningsmeters aanwezig. Hierdoor is de onzekerheid in de geohydrologische schematisatie relatief groot en wordt aanvullend onderzoek geadviseerd.

Voor het polderpeil is ter plaatse van raai 41, 61, 86 en 106 uitgegaan van het winterpeil op NAP -1,3 m. Ter plaatse van raai 6 is uitgegaan van een polderpeil op NAP -0,7 m.

Ter plaatse van km 31.5 is voor de 3de toetsronde de respons van de tussenzandlaag gemeten. Hieruit bleek nauwelijks respons op de buitenwaterstand op te treden. Voor de tussenlagen is daarom vooralsnog uitgegaan van een hydrostatisch verloop.

Voor de stijghoogte in het pleistocene zand is uitgegaan van een respons op de buitenwaterstand ter plaatse van de huidige binnenteen van 50%. Deze waarde is gebaseerd op slechts 2 responsmetingen in het pleistoceen ter plaatse van km 29,9 (Livedijk op een diepte van NAP -25 m) en km 37 (3e toetsronde op een diepte van NAP -15 m), waarbij een respons van ca. 30% en 15% kan worden afgeleid. Het verloop is lineair aangenomen vanaf MHW ter plaatse van de buitenteen tot een respons van 50% ter plaatse van de huidige binnenteen. Verder in het achterland is een constante respons van 50% gehanteerd. Voor de indringingslengte is uitgegaan van 2 m. Aan de bovenzijde van de indringingszone is conform [TRW 2004] de stijghoogterespons bij GHW gemodelleerd, waarbij voor de respons dezelfde waarden als in het pleistoceen zijn gehanteerd.

Macrostabiliteit buitenwaarts
Voor de buitenwaartse macrostabiliteit is voor de situatie waar de waterbelasting dominant is uitgegaan van een val van MHW naar gemiddeld hoogwater (GHW). Het GWH in de huidige situatie bedraagt NAP +1,35 m (bron: waternormalen, locatie Delfzijl). Rekening houdend met bodemdaling (0,2 m) en zeespiegelstijging (0,2 m) wordt uitgegaan van een waterstand van NAP +1,75 m. Er is geen robuustheidstoeslag toegepast, omdat de onzekerheid in de voorspelling van het GHW klein is.

Daar waar de kleidijk aan de buitenzijde aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106), wordt aangenomen dat de indringing van water zeer beperkt is, waardoor onder de buitenkruinlijn een opbolling van 1m wordt gemodelleerd ten opzichte van GHW.

Daar waar sprake is van een zanddijk (raai 6) wordt ter plaatse van de buitenkruinlijn uitgegaan van MHW en een lineair verloop naar GHW ter plaatse van het buitentalud.

Voor de situatie met een dominante aardbevingsbelasting is voor de freatische grondwaterstand uitgegaan van de gemeten waarde in de dijk op NAP +1,75 m, vermeerderd met 0,2 m bodemdaling. Mogelijk kan deze waarde geoptimaliseerd worden door locatiespecifiek onderzoek. Voor de buitenwaterstand is uitgegaan van het niveau van de buitenteen op ca. NAP.

3.11. Aardbevingsbelasting
Aardbevingen kunnen op twee wijzen invloed hebben op de stabiliteit van de waterkering. Allereerst kan verweking, en daardoor een sterke afname van de stabiliteit, van de waterkering optreden. Uitgangspunt is dat verweking door maatregelen die geen/nauwelijks ruimte kosten wordt ondervangen. Hierbij kan gedacht worden aan grondverbetering en/of drainage.

Het tweede effect is de versnelling die het grondmassief ondervindt tengevolge van de aardbeving. Op basis van analyses van Deltares volgens de Newmark Sliding Block methode blijkt dat de ontwerpwaarde van de horizontale versnelling voor een statische analyse, waarbij de vervormingen acceptabel blijven, 0,57 m/s^2 [FUG 2015] bedraagt (voor raai 41, 61, 86 en 106). Omdat de afkeurkans van raai 6 kleiner is, kan voor deze raai gerekend worden met een aardbeving die een grotere kans op voorkomen heeft. De ontwerpwaarde bedraagt, volgens de Newmark Sliding Block methode 0,28 m/s^2 [FUG 2015].

3.12. Verkeersbelasting
In het ontwerp is rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13,3 kN/m^2 over 2,5 m op het midden van de binnenberm. Er is geen rekening gehouden met een verkeersbelasting op de kruin.

De verkeersbelasting wordt als ‘ongedraineerd’ gemodelleerd, waarbij in de cohesieve lagen een wateroverspanning van 80% wordt gemodelleerd.

4. BEREKENINGSRESULTATEN HERTOETS

Van alle profielen is een hertoets uitgevoerd. De faalmechanismen macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts), piping en microstabiliteit zijn getoetst.

4.1. STBI en STBU

De berekende stabiliteitsfactoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Berekeningsresultaten hertoets binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Raai	faalmechanisme	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Voldoet?
6	STBI	0,93	0,95	nee
	STBU	1,35	1,36	ja
41	STBI	1,02	0,94	nee
	STBU	1,23	1,21	ja
61	STBI	1,15	1,02	nee
	STBU	1,36	1,33	ja
86	STBI	1,23	1,13	ja
	STBU	1,67	1,61	ja
106	STBI	1,15	1,07	ja
	STBU	1,62	1,59	ja

4.2. Piping

De ondergrond bestaat over het algemeen uit een dikke laag klei- en veen pakketten, met een dikte variërend van ca. 10 à 15 m. Daaronder bevindt zich een Pleistocene zandlaag.
De aanwezige kwelweglengte is over het algemeen lang, op basis van het [DTM] is minimaal ca. 80 à 120 m kwelweg aanwezig. Omdat de locatie van geul niet precies bekend is kan niet worden bepaald waar het intredepunt voor de Pleistocene zandlaag ligt.

In de buurt van raai 6, raai 61, raai 86 en raai 106 is een tussenzandlaag aanwezig. Indien deze zandlaag watervoerend is kan piping niet worden uitgesloten. Aangezien niet bekend is of deze watervoerend is, wordt deze tussenzandlaag ook getoetst op piping.

De gegevens voor de berekening voor piping zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Gegevens voor piping-berekening

	Raai 6		Raai 41	Raai 61		Raai 86		Raai 106	
	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag
Bovenzijde zandlaag [m NAP]	-13	-3	-12,5	-10	-5	-12	-8	-7	-7

	Raai 6		Raai 41	Raai 61		Raai 86		Raai 106	
	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag
Dikte zandlaag [m]	> 10 [2)]	5	50[2)]	50[2)]	5	50[2)]	2	50[2)]	4
Maaiveld-hoogte achterland [m NAP]	-2,40	-2,40	-1,13	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-1,9	-1,9
Dikte deklaag [m]	10	0,5	11,5	8,75	3,75	11,5	7,5	5,1	5,1
MHW [m NAP]	5,00	5,00	5,50	5,40	5,40	5,49	5,49	5,91	5,91
Polderpeil [m NAP]	-0,7	-0,7	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
Verval [m]	5,7	5,7	6,8	6,7	6,7	6,79	6,79	7,21	7,21
Aanwezige kwelweg-lengte [m]	> 100 [1)]	45	> 96 [1)]	> 111[1)]	> 111[1)]	> 90[1)]	> 90[1)]	> 95[1)]	> 95[1)]
Stijghoogte ter plaatse van sloot [m NAP]	2,50	2,50	2,75	2,70	2,70	2,75	2,75	2,96	2,96

[1)] Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de Pleistocene zandlaag snijdt. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar. Voor de kwelweglengte is daarom uitgegaan van de het punt waar nog gegevens [DTM] beschikbaar zijn
[2)] De dikte van de zandlaag is geschat, omdat de sonderingen niet diep genoeg reikten.

Voor de formule van Bligh wordt uitgegaan van een creep-factor van 18 (-), geldig voor zeer fijn zand. Voor de formule van Sellmeijer wordt uitgegaan van een schatting van de k-waarde van 5 m/dag en een d_{70} van 200 mμ.

Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van $\gamma = 1,2$ (-) gehanteerd.

De resultaten van de toets op piping zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Resultaten toets op piping

	Raai 6		Raai 41	Raai 61		Raai 86		Raai 106	
	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag
Opbarst-veiligheid [-]	1,23	0,15	1,06	1,17	0,87	0,97	0,97	0,60	0,60

	Raai 6		Raai 41	Raai 61		Raai 86		Raai 106	
	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag
Opbarsten voldoet?	ja	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	Nee
Benodigde kwelweg-lengte Bligh [m]	nvt	100	60	73	100	60	82	102	102
Benodigde kwelweg-lengte Sellmeijer [m]	nvt	36	36	45	36	36	23	67	35
Piping voldoet?	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

De resultaten van de berekeningen van Bligh en Sellmeijer verschillen, vooral bij een dunne tussenzandlaag, veel van elkaar. Dit komt met name omdat de formule van Bligh geen rekening houdt met de dikte van de zandlaag, de doorlatendheid en de korrelgrootte.

Omdat aannames zijn gedaan van doorlatendheid van de laag, de korrelgrootte en de ligging van het intredepunt kan geen definitief oordeel worden gegeven over de pipinggevoeligheid van de tussenzandlaag bij raai 6. Aanbevolen wordt om de respons van de freatische lijn in de tussenzandlaag en in de zanddijk op het buitenwaterpeil te bepalen met behulp van peilbuismetingen.

4.3. Microstabiliteit

Bij de raaien 41, 61, 86 en 106 wordt de zanddijk afgedekt door een kleilaag met een dikte van ca. 0,6 m. Bij MHW kan infiltratie plaatsvinden door het buitentalud, doordat de oude kleidijk inwendig overstroomt. Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat hierdoor de waterstand in de zandkern van de dijk met 0,75 m verhoogd kan worden. Door deze verhoging kan een verval over de kleideklaag ontstaan. Of dit gebeurt is onder andere afhankelijk van de aanwezigheid en werking van drainage ter plaatse van de binnenteen. Gezien het beperkte oppervlak waarover water binnen kan dringen (alleen boven de oude kleidijk) en dat de bekleding aan de buitenzijde dikker is dan aan de binnenzijde, blijft de opbouw van waterspanningen onder de kleilaag ter plaatse van de binnenteen beperkt en is de veiligheid ten aanzien van microstabiliteit voldoende.

5. BEREKENINGSRESULTATEN ONTWERP

5.1. Hoogte

De huidige kruinhoogte, de benodigde kruinhoogte en de benodigde ophoging voor spoor 3 en 4 zijn weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Kruinhoogtes

Raai	Huidige hoogte [m NAP]	Benodigde hoogte [m NAP]	Benodigde (netto) ophoging [m]

Raai	Huidige hoogte [m NAP]	Benodigde hoogte [m NAP]	Benodigde (netto) ophoging [m]
6	7,66	7,19	n.v.t.
41	8,15	8,22	0,07
61	8,08	8,41	0,33
86	7,72	8,17	0,45
106	8,03	9,98	1,95

5.2. Benodigd ruimtebeslag (spoor 3 en 4)

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen, als gevolg van de benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 10.

Tabel 10: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit

	Variant	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Raai 6	Waterbelasting dominant	12 [4)]	STBU voldoet	12
	Aardbevingsbelasting dominant	6 [4)]	STBU voldoet	6
Raai 41	Waterbelasting dominant	14 [3)]	STBU voldoet	14
	Aardbevingsbelasting dominant	26 [1)]	6 [2)]	32
Raai 61	Waterbelasting dominant	6 [3)]	STBU voldoet	6
	Aardbevingsbelasting dominant	8 [3)]	STBU voldoet	8
Raai 86	Waterbelasting dominant	7	STBU voldoet	7
	Aardbevingsbelasting dominant	14	STBU voldoet	14
Raai 106	Waterbelasting dominant	15 [3)]	STBU voldoet	15
	Aardbevingsbelasting dominant	18 [3)]	STBU voldoet	18

[1)] Bij de Bishop methode voldoet STBI niet aan de rand van de berm, omdat ernaast een sloot ligt. Als maatregel is daarom de sloot gedempt, omdat anders een veel langere berm nodig zou zijn. In de praktijk zal een nieuwe sloot op enige afstand van de berm moeten worden aangelegd.
[2)] Om te voldaan aan de stabiliteitseis is een maximale yield-versnelling van 0,44 m/s^2 (terugkeertijd ca. 700 jaar) toelaatbaar
[3)] In afwijking van de uitgangspunten is een steiler binnentalud gehanteerd, omdat dit een gunstiger profiel oplevert
[4)] In afwijking van de uitgangspunten is een steilere berm gehanteerd, omdat dit een gunstiger profiel oplevert

5.3. Piping en Microstabiliteit

Voor piping geldt in principe hetzelfde als voor de resultaten van de hertoets. Wel dient de nieuwe pipingregel te worden gehanteerd, waardoor de benodigde kwelweglengte over het algemeen toeneemt. Bij de nieuwe pipingregel mag echter ook op heave worden beoordeeld. Dit houdt in dat wanneer het verval over een opgebarsten deklaag voldoende klein is, heave kan worden uitgesloten, waardoor niet of nauwelijks zandtransport kan ontstaan. Het heave criterium luidt:

$$i_{optr} = \left(\frac{\varphi_0 - h_p}{D}\right)_{optr} \leq i_{toel}$$

Waarin:

i_{optr}	= optredende verhang	[-]
φ_0	= stijghoogte aan de onderzijde van de deklaag	[-]
h_p	= polderpeil (vrije waterspiegel of maaiveld)	[m NAP]
D	= dikte deklaag	[m NAP]
i_{toel}	= toelaatbaar verhang	[-]

In tabel 11 zijn de resultaten van de beoordeling van het heave criterium weergegeven.

Tabel 11: Berekeningsresultaten heave vanuit pleistoceen

Raai	Ontwerppeil [m NAP]	Stijghoogte binnenzijde [1)] [m NAP]	Polderpeil [m NAP]	Verval [m]	Dikte deklaag [m NAP]	Verhang (eis < 0,5) [m]
Raai 6	5,5	2,8	-0,7	3,5	-13,0 - -2,4 = 10,6	0,33
Raai 41	6,3	3,2	-1,3	4,5	-12,5 - -1,9 = 11,5	0,39
Raai 61	6,2	3,1	-1,3	4,4	-10 - -1,4 = 8,6	0,51
Raai 86	6,2	3,1	-1,3	4,4	-12 - -1,4 =10,6	0,42
Raai 106	6,7	3,4	-1,3	4,7	-15 - -2,3 = 12,7	0,37

[1)] Uitgaande van 50% respons bij de binnenteen van de huidige waterkering

Uit tabel 11 blijkt dat alleen ter plaatse van raai 61 net niet aan het heave criterium wordt voldaan. In de berekening is echter voor de berekening van het verval uitgegaan van polderpeil. Indien uit wordt gegaan van het maaiveldniveau wordt wel voldaan aan het heave criterium.

Op diverse locaties, maar net name in de buurt van raai 6, zijn tussenzandlagen aanwezig. Op basis van de huidige beschikbare informatie lijken deze niet watervoerend te zijn. Geadviseerd wordt om meer onderzoek naar het al dan niet watervoerend zijn van deze tussenzandlagen te doen. Indien deze wel watervoerend zijn dient hier in het ontwerp rekening mee te worden gehouden, bijvoorbeeld door deze lagen af te sluiten.

Evenals voor de resultaten van de hertoets op microstabiliteit kan een verhoging van de waterstand in de kruin, als gevolg van het inwendig overstromen van de oude kleidijk, ontstaan. Hierdoor kan een verval over de aanwezige kleideklaag ontstaan. Of dit gebeurt is onder andere afhankelijk van de aanwezigheid en werking van drainage ter plaatse van de binnenteen. Geadviseerd wordt in het ontwerp de kleideklaag te dimensioneren op microstabiliteit of te zorgen voor voldoende drainage bij de binnenteen van de dijk.

6. CONCLUSIES

In deze memo zijn voor raai 6, 41, 61, 86 en 106 de resultaten van een hertoets en ontwerp (niveau schetsontwerp) gepresenteerd. Het doel van de berekeningen is om het benodigd ruimtebeslag te bepalen.

Op basis van de berekeningen varieert het benodigd extra ruimtebeslag aan de binnenzijde voor de situatie waarbij de waterbelasting dominant is (spoor 3) tussen ca. 5 en 15 m. Voor de situatie waarbij de aardbevingsbelasting dominant is (spoor 4) varieert het benodigd extra ruimtebeslag tussen ca. 5 en 25 m.

Aan de buitenzijde is alleen voor raai 41 voor de aardbevingssituatie extra ruimtebeslag van ca. 6 m benodigd. Zonder versterking is de stabiliteit bij een aardbevingsbelasting met een terugkeertijd van ca. 700 jaar (eis 1300 jaar) voldoende.

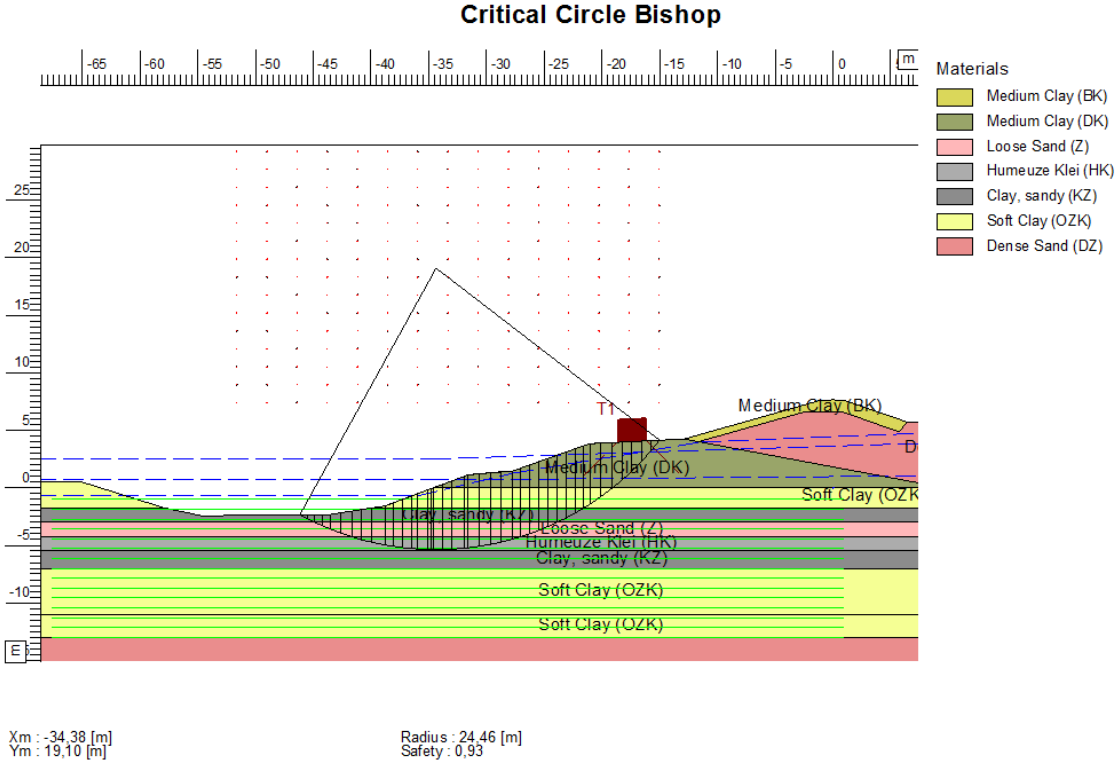
Ter plaatse van raai 6 is het ontwerp voor de waterbelasting maatgevend ten opzichte van de aardbevingsbelasting. Reden hiervoor is met name de lagere norm die voor dit dijktraject geldt, waardoor de aardbevingsbelasting significant afneemt. Het effect van een afwijkende norm heeft dus een grotere invloed op het effect van de aardbevingsbelasting dan op het effect van de waterbelasting.

Bijlagen:

Berekeningsresultaten 1

BIJLAGE 1

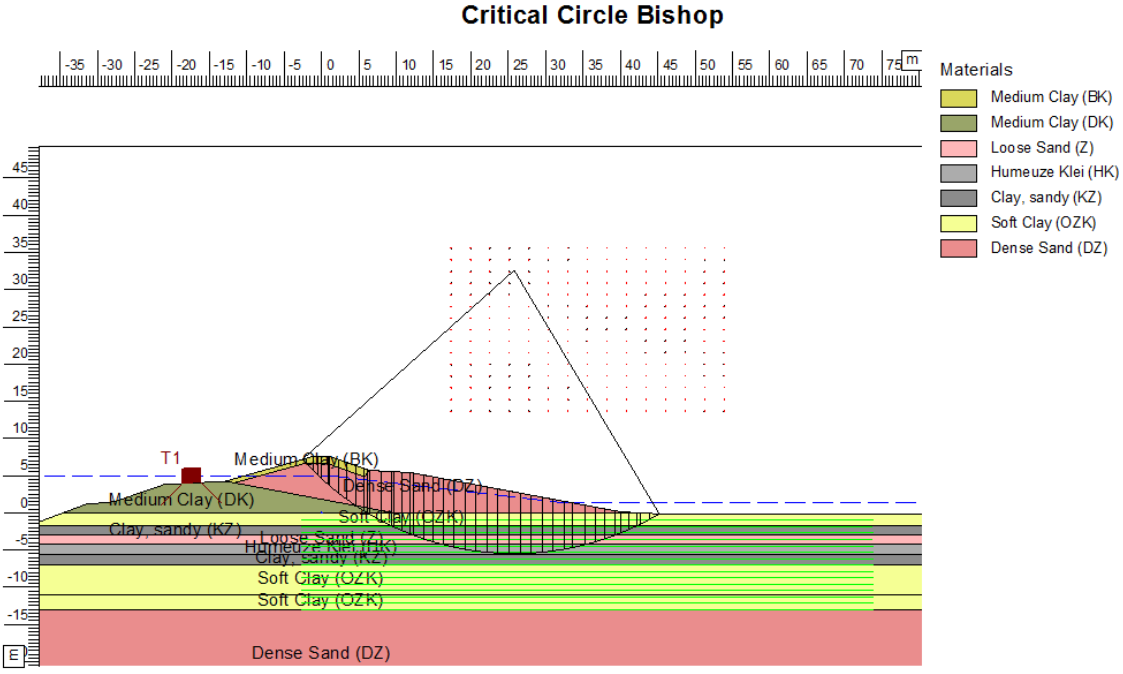
Resultaten STBI hertoets raai 6



Xm : -34,38 [m]
Ym : 19,10 [m]

Radius : 24,46 [m]
Safety : 0,93

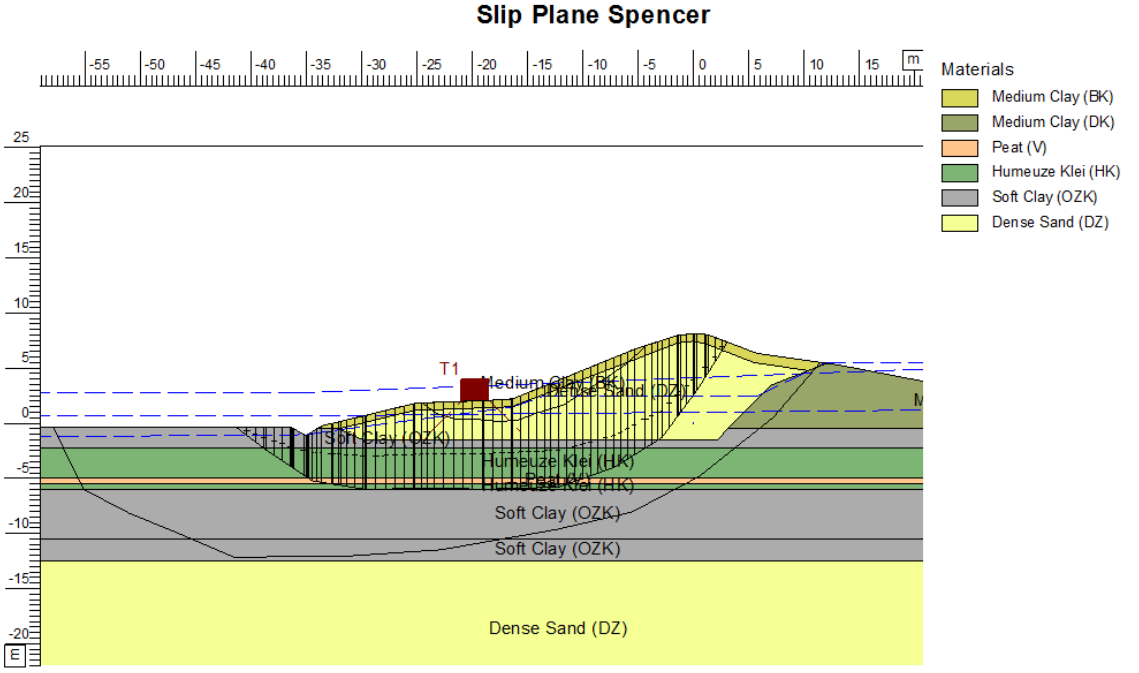
Resultaten STBU hertoets raai 6



Xm : 25,77 [m]
Ym : 32,59 [m]

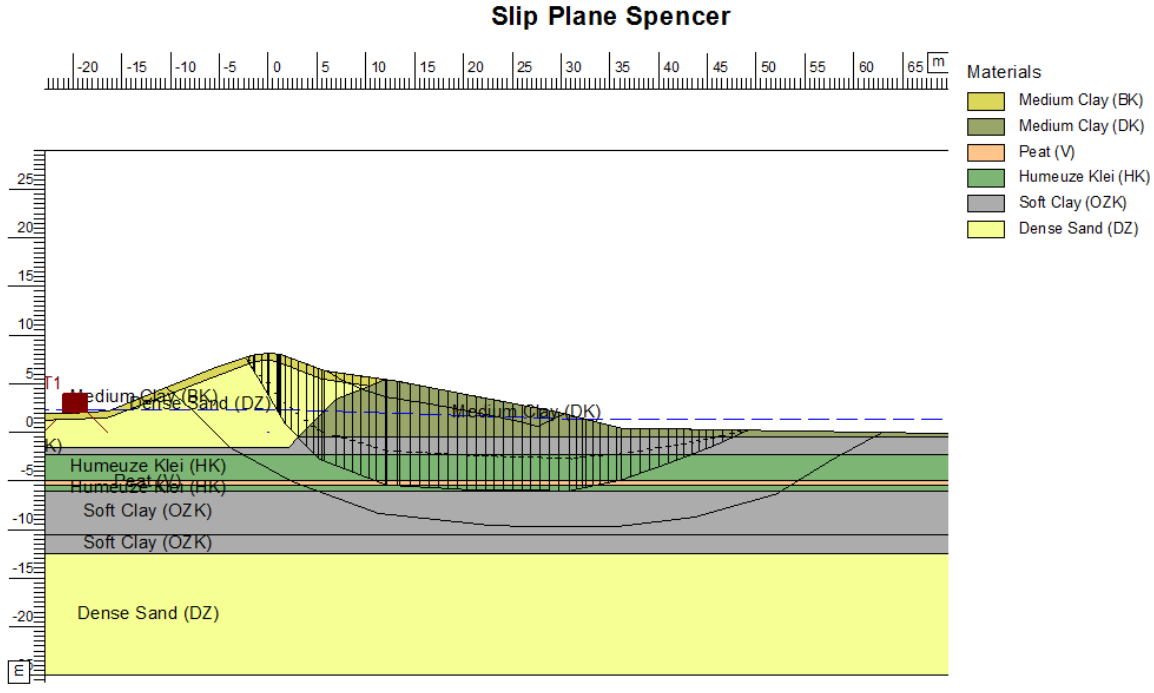
Radius : 38,05 [m]
Safety : 1,35

Resultaten STBl hertoets raai 41



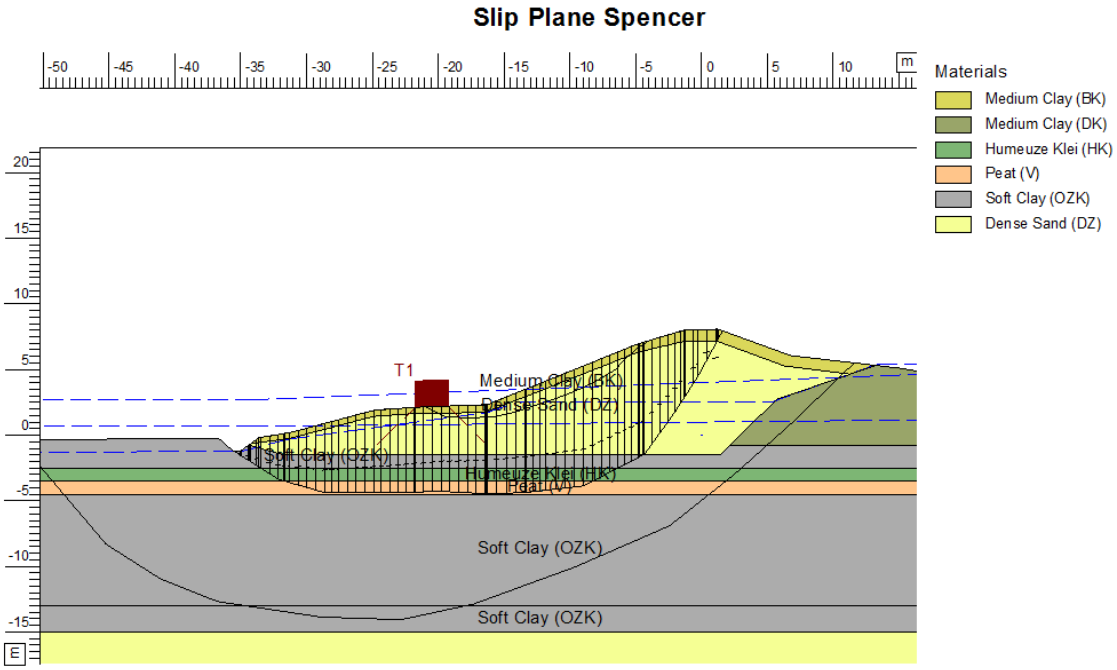
Safety : 0.94

Resultaten STBU hertoets raai 41



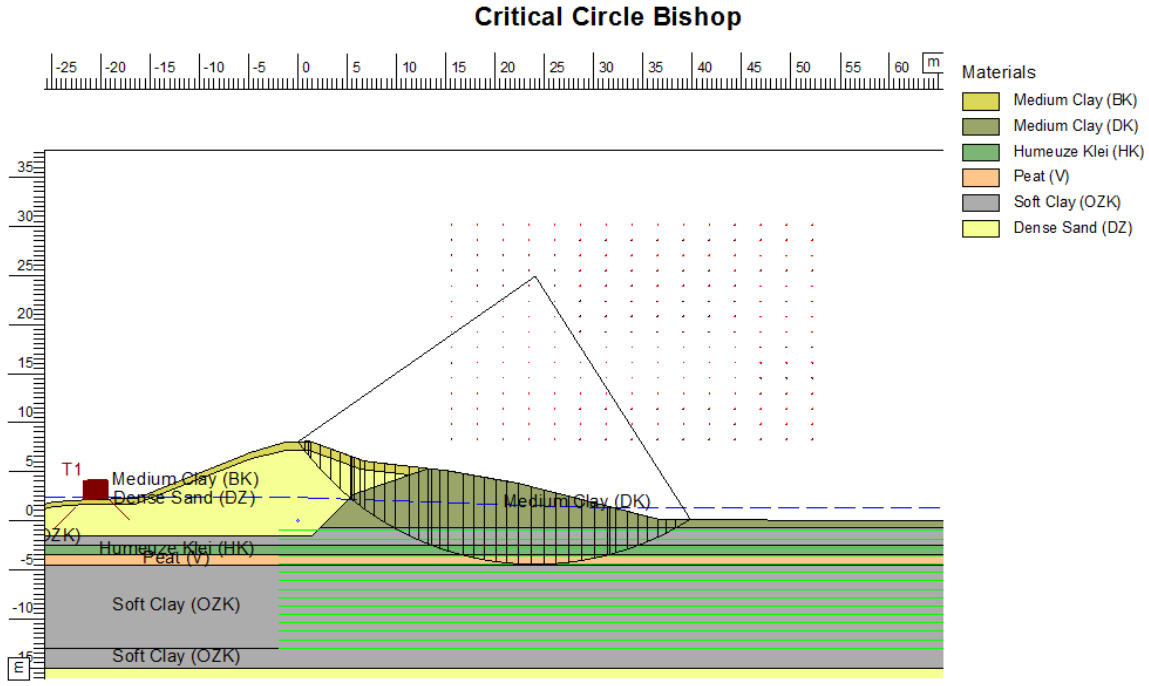
Safety : 1,21

Resultaten STBI hertoets raai 61



Safety : 1,02

Resultaten STBU hertoets raai 61

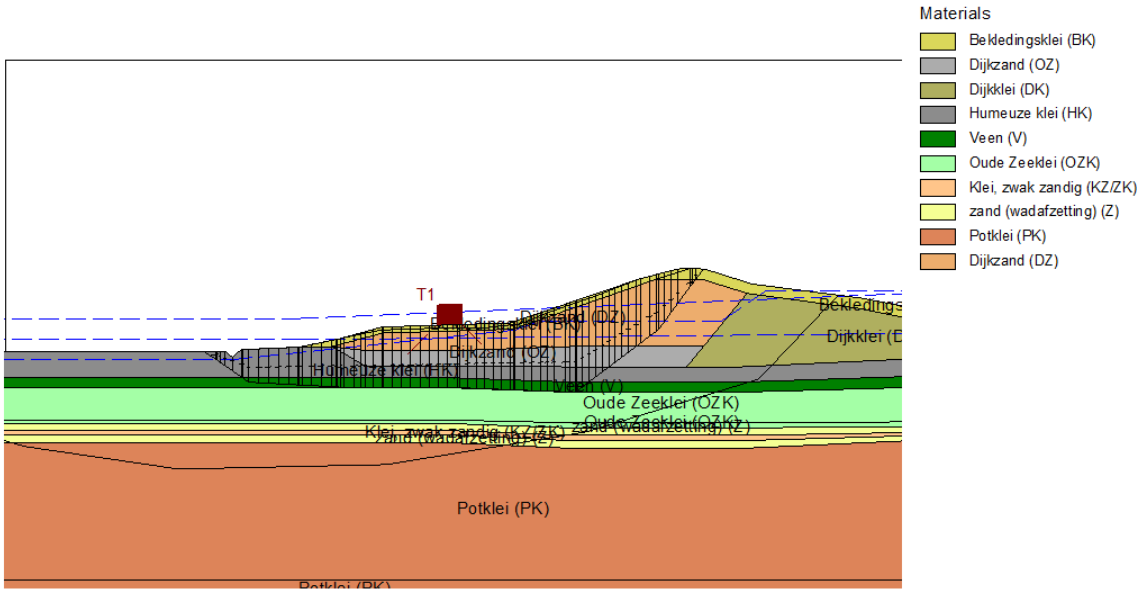


Xm : 24,05 [m]
Ym : 24,92 [m]

Radius : 29,36 [m]
Safety : 1,36

Resultaten STBl hertoets raai 86

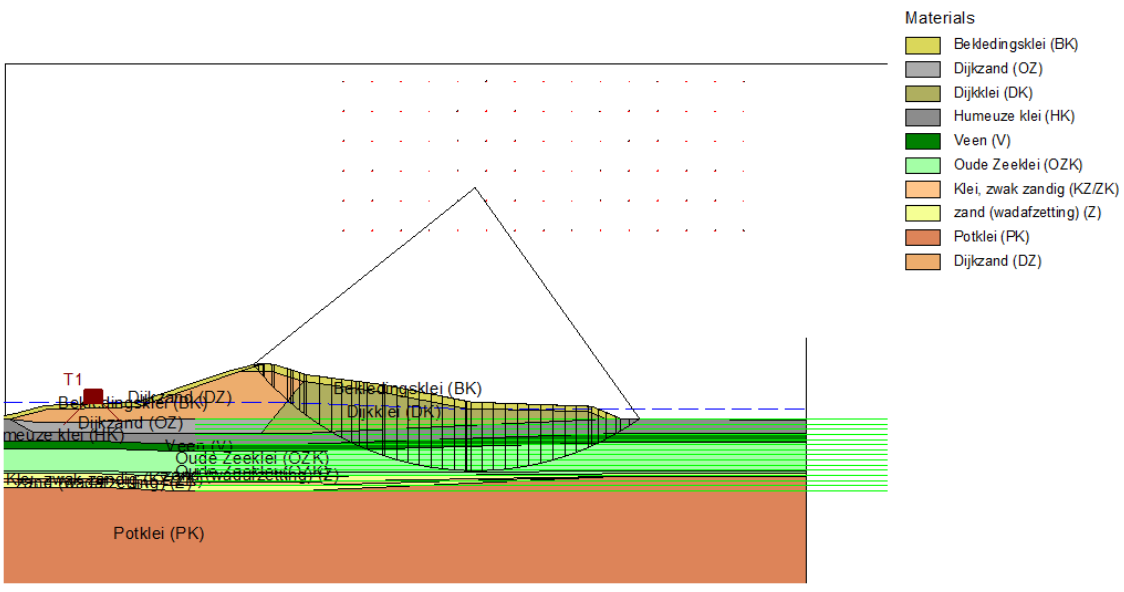
Slip Plane Spencer



Safety : 1,13

Resultaten STBU hertoets raai 86

Critical Circle Bishop

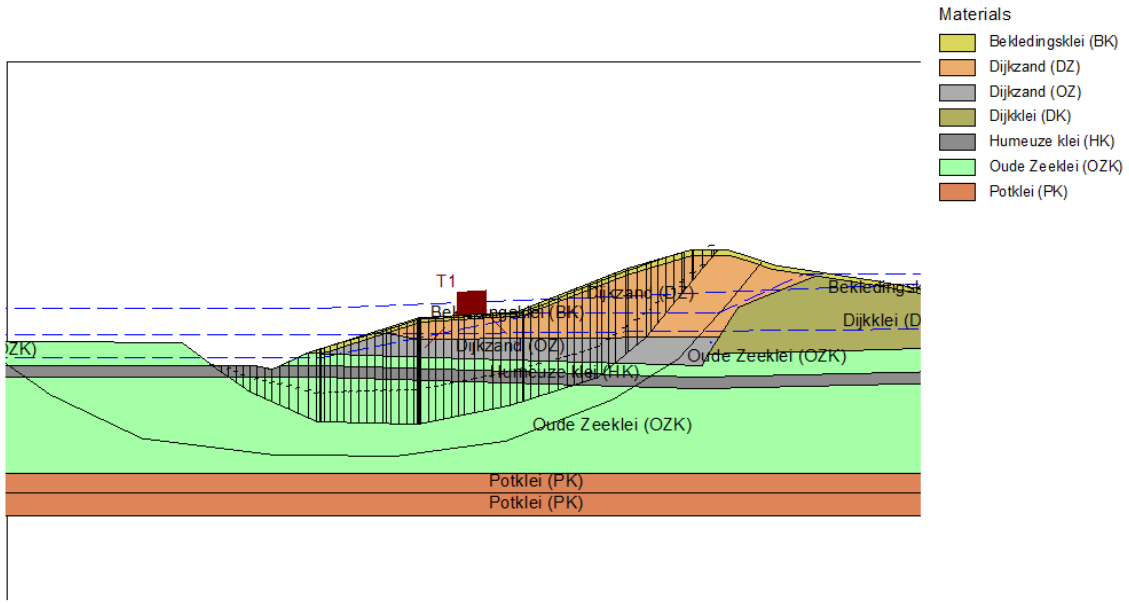


Xm : 139,20 [m]
Ym : 32,19 [m]

Radius : 39,39 [m]
Safety : 1,67

Resultaten STBI hertoets raai 106

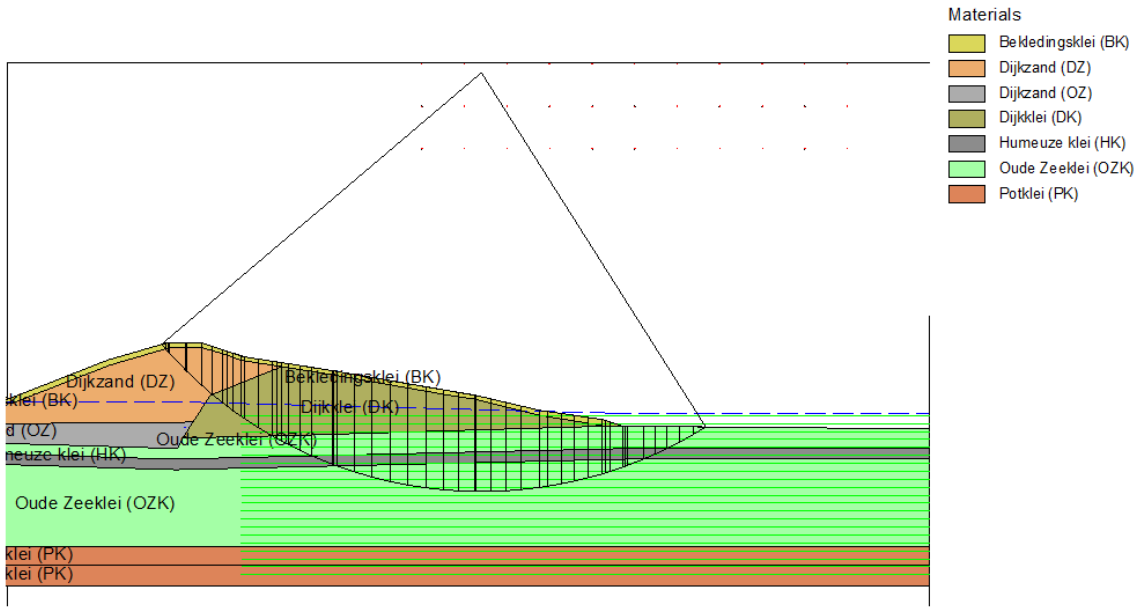
Slip Plane Spencer



Safety : 1,07

Resultaten STBU hertoets raai 106

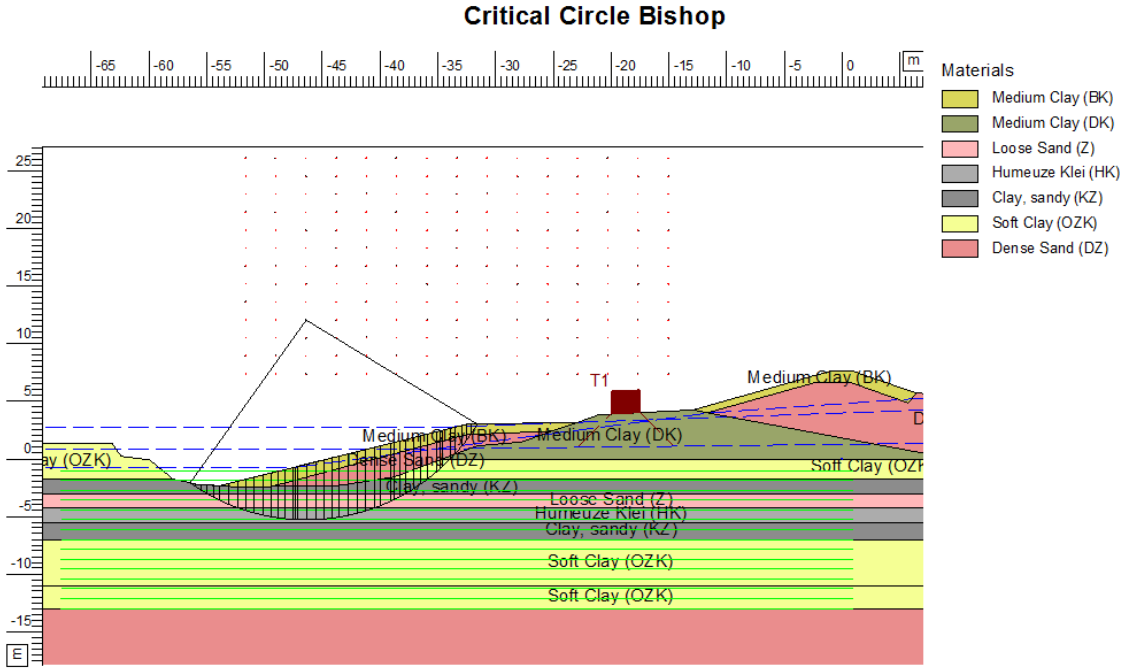
Critical Circle Bishop



Xm : 27,85 [m]
Ym : 33,47 [m]

Radius : 39,52 [m]
Safety : 1,62

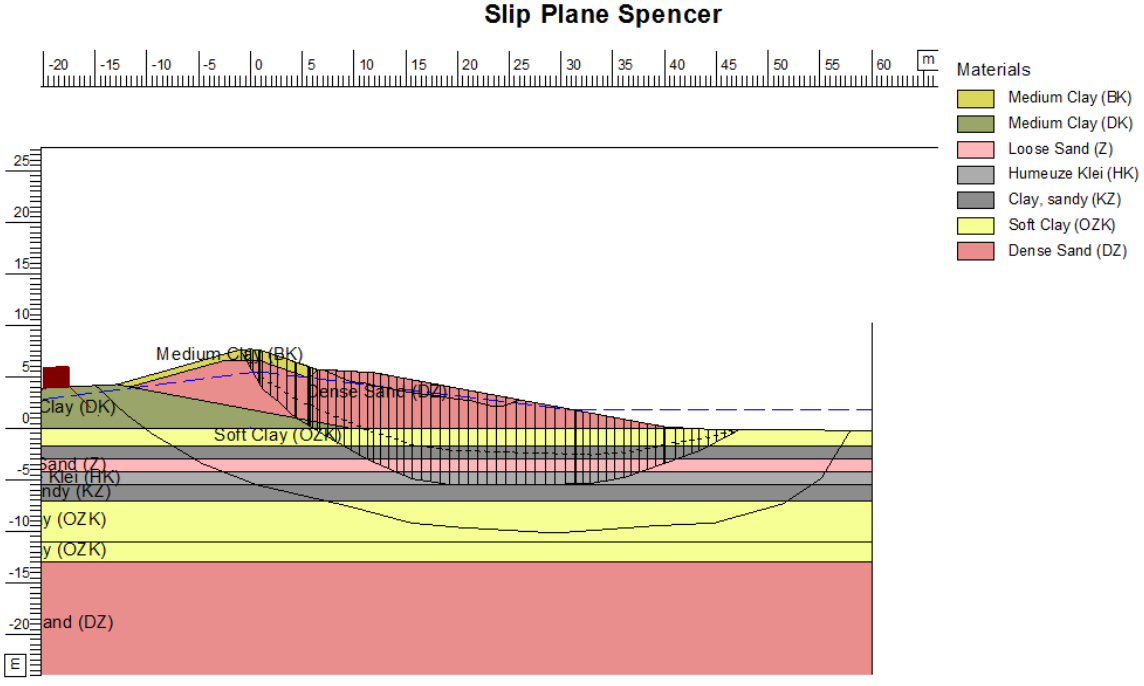
Resultaten STBI spoor 3 raai 6



Xm : -46,39 [m]
Ym : 12,07 [m]

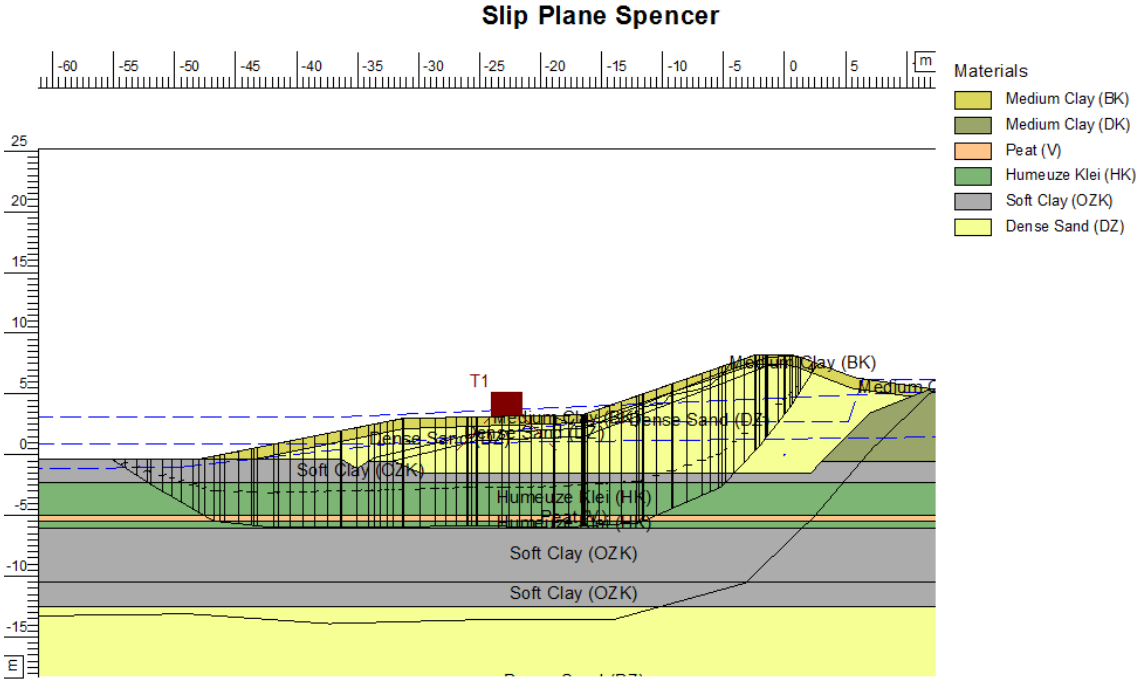
Radius : 17,36 [m]
Safety : 1,16

Resultaten STBU spoor 3 raai 6



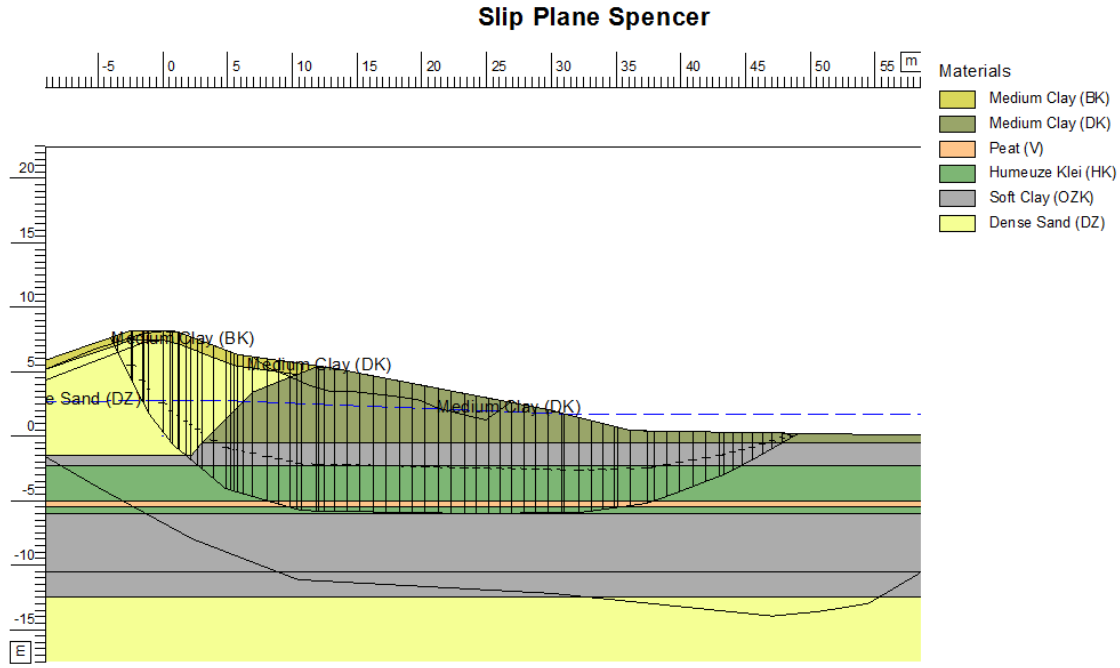
Safety : 1,29

Resultaten STBl spoor 3 raai 41



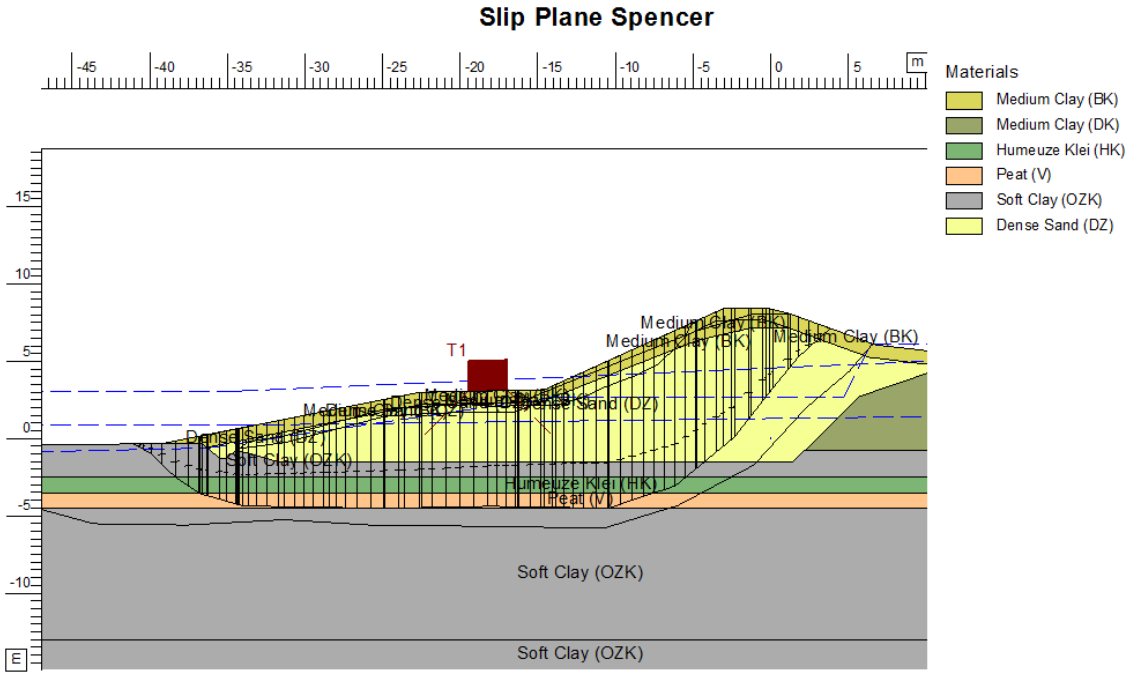
Safety : 1,14

Resultaten STBU spoor 3 raai 41



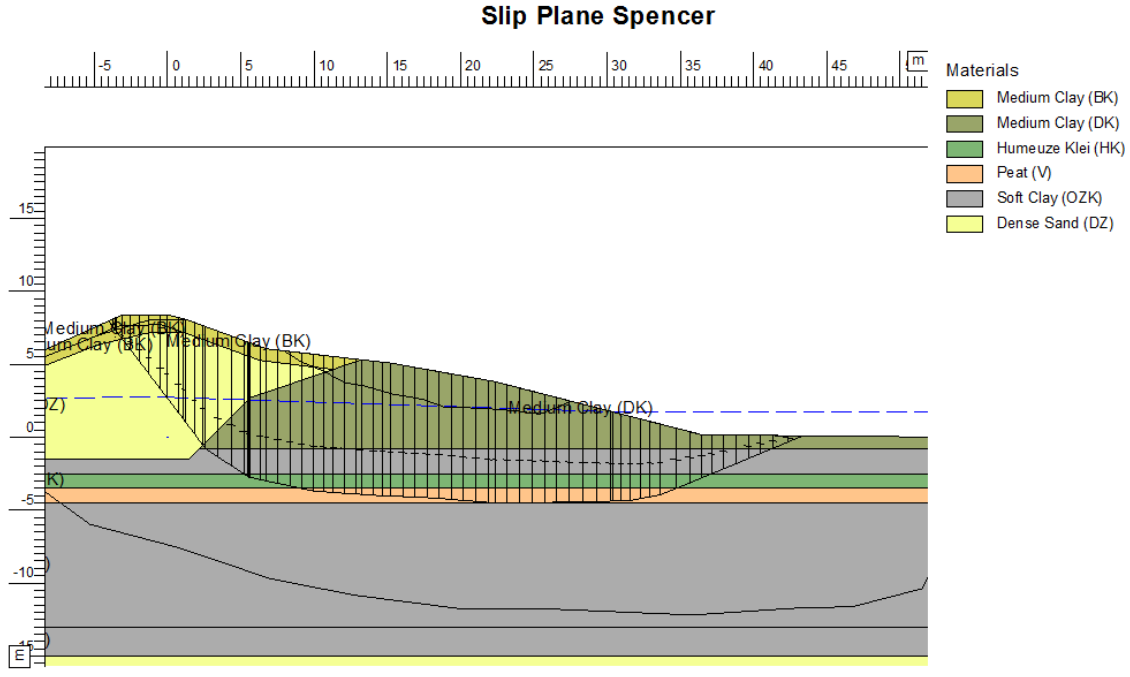
Safety : 1,21

Resultaten STBl spoor 3 raai 61



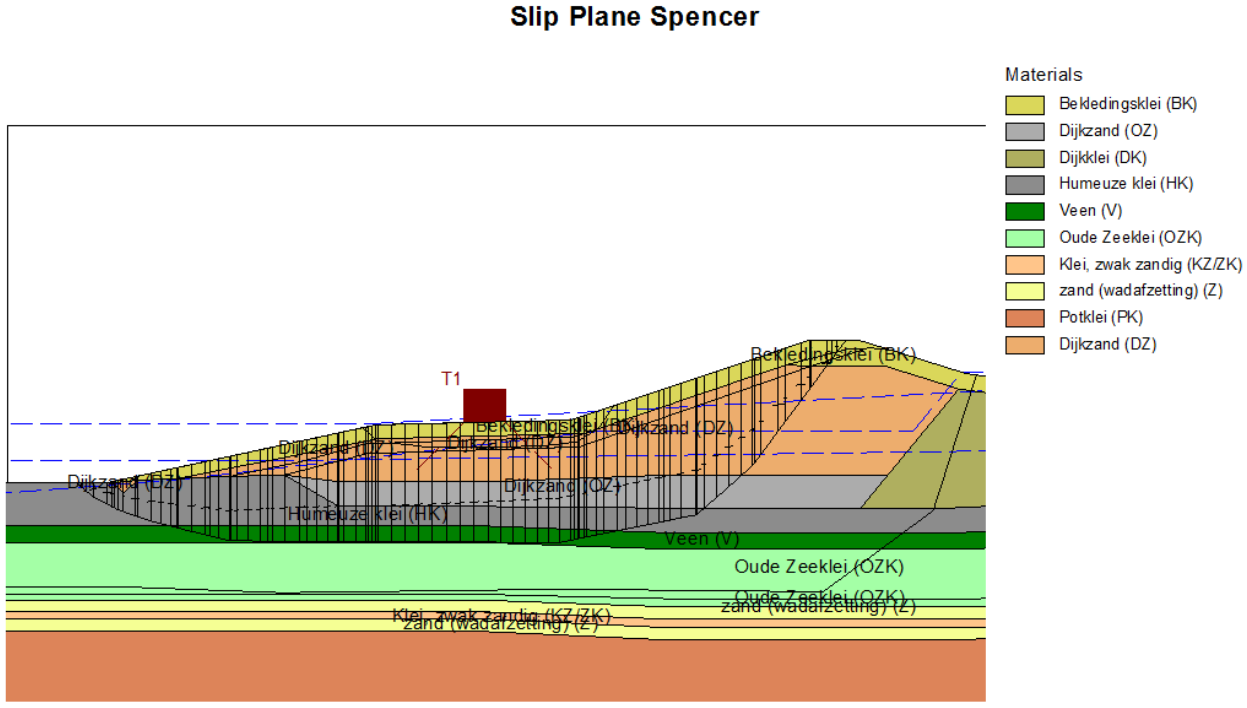
Safety : 1,13

Resultaten STBU spoor 3 raai 61



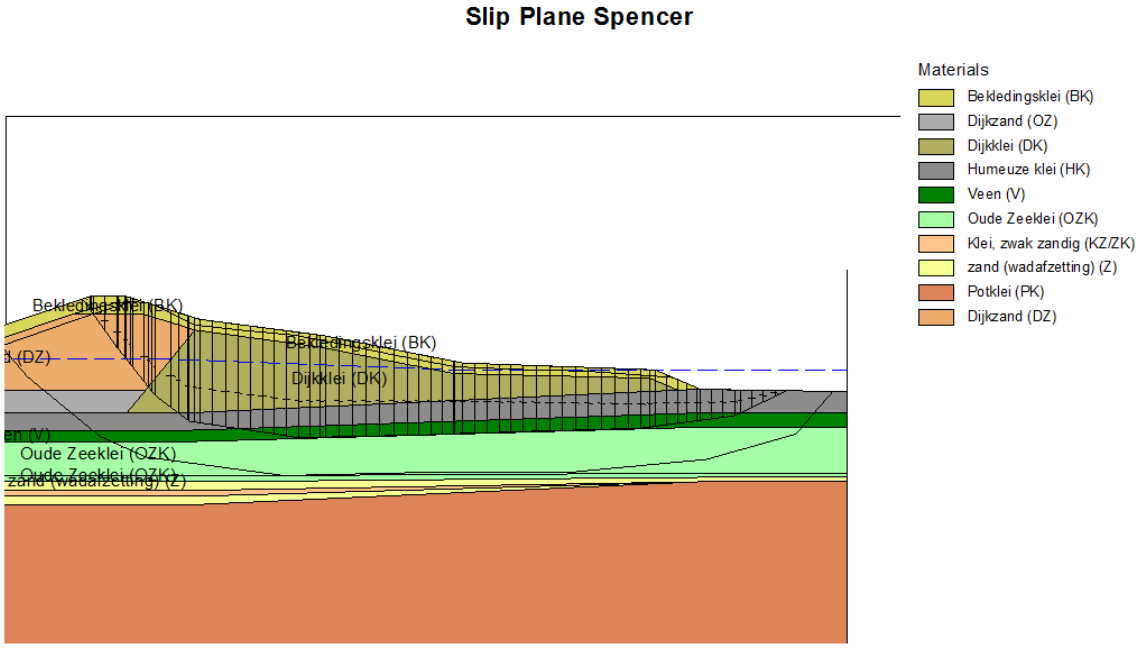
Safety : 1,29

Resultaten STBl spoor 3 raai 86



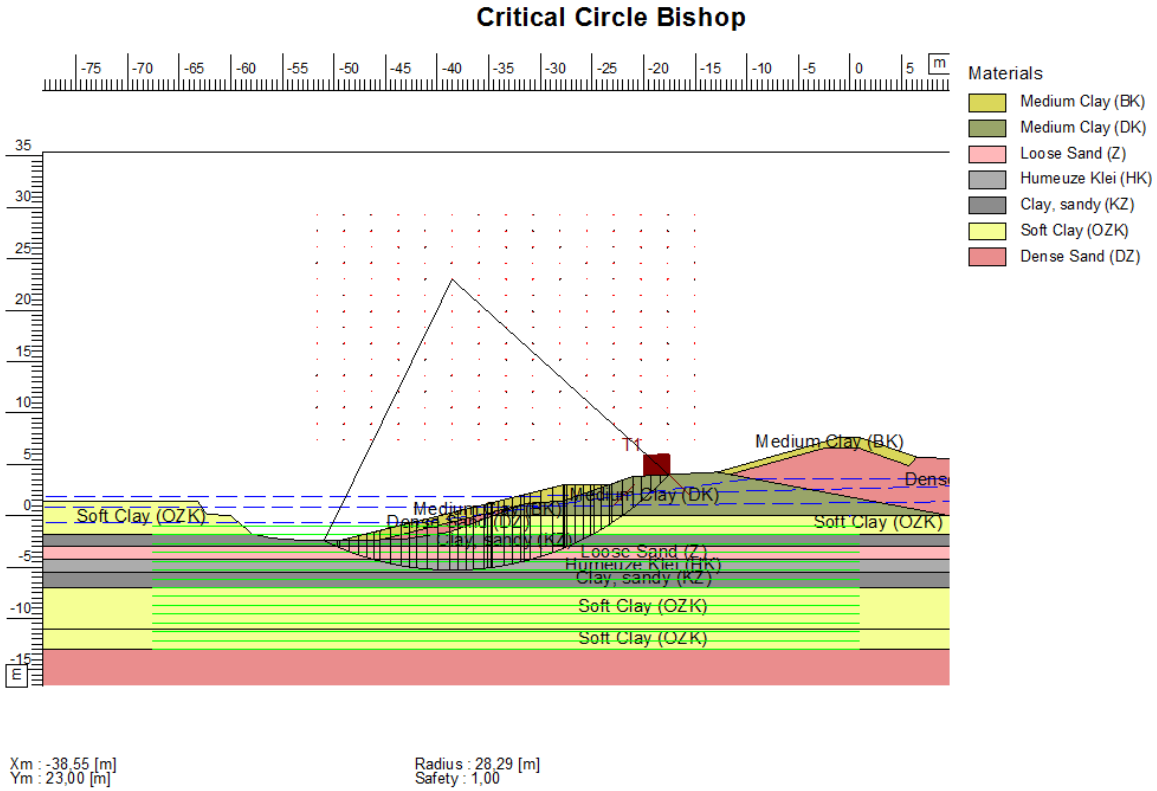
Safety : 1,13

Resultaten STBU spoor 3 raai 106

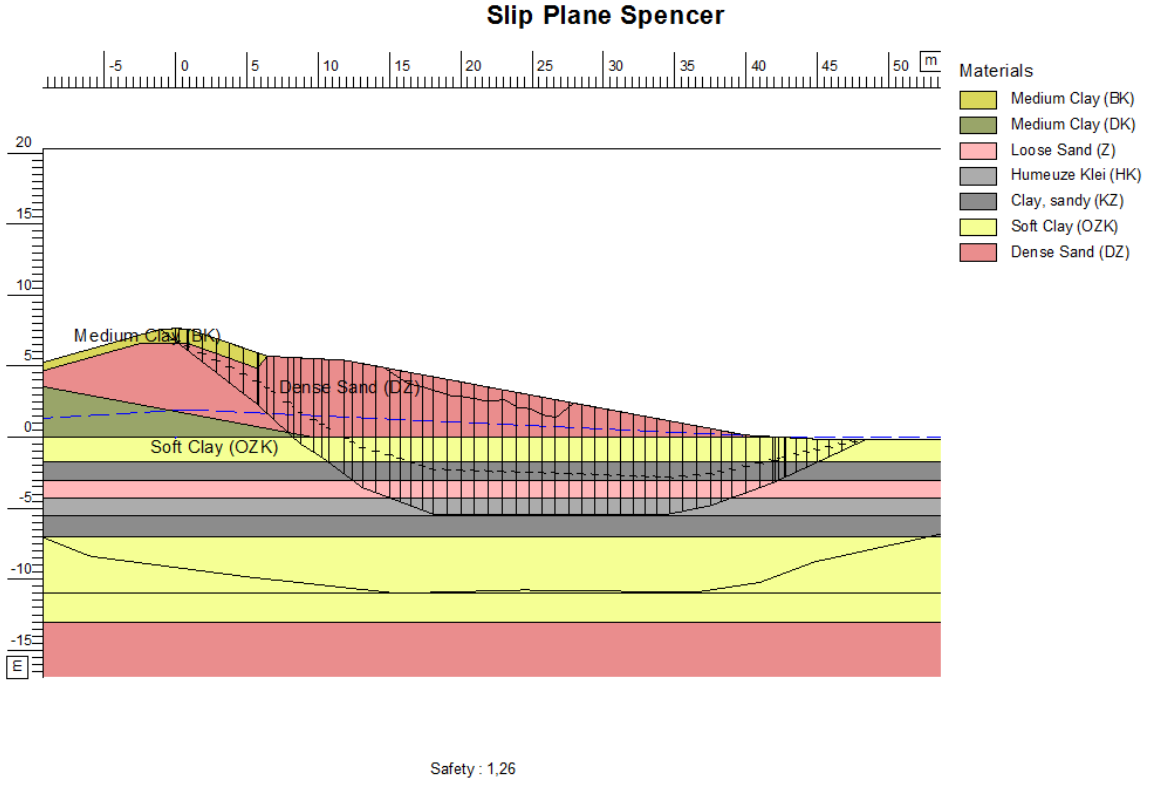


Safety : 1,38

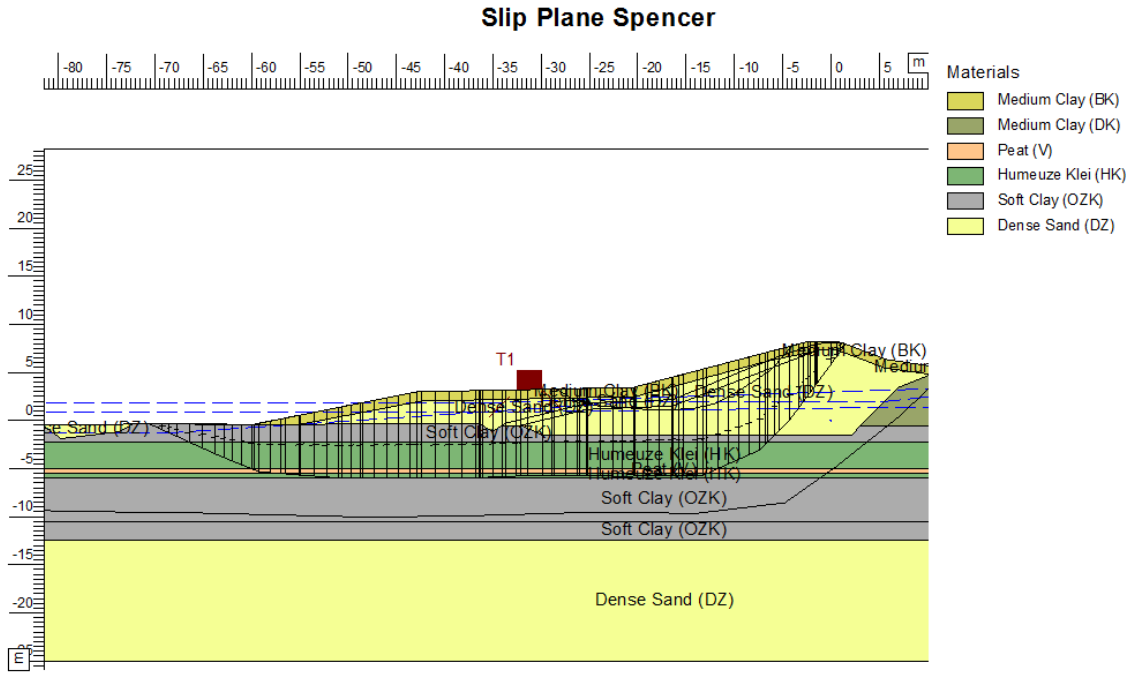
Resultaten STBI spoor 4 raai 6



Resultaten STBU spoor 4 raai 6

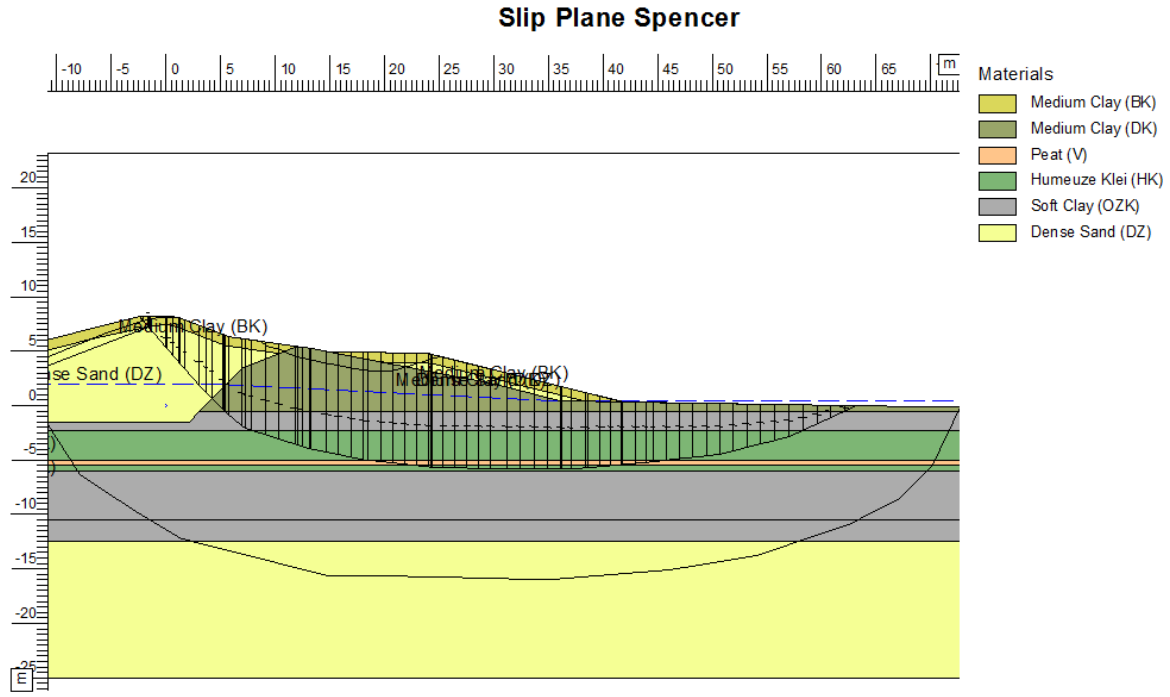


Resultaten STBl spoor 4 raai 41



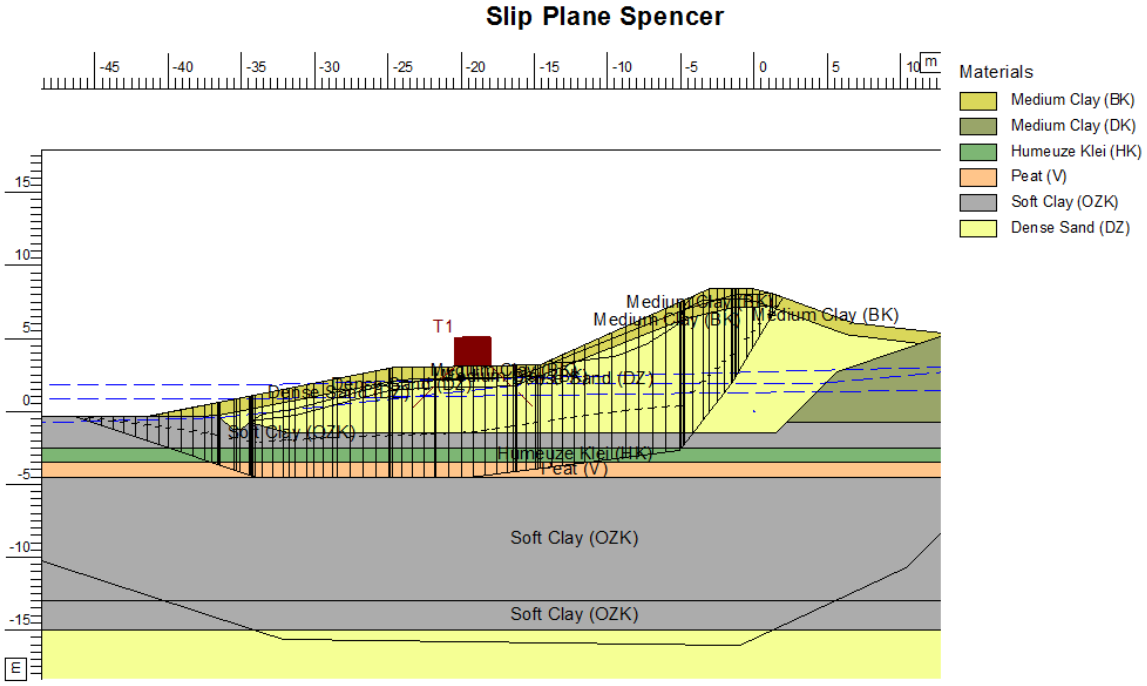
Safety : 0,97

Resultaten STBU spoor 4 raai 41



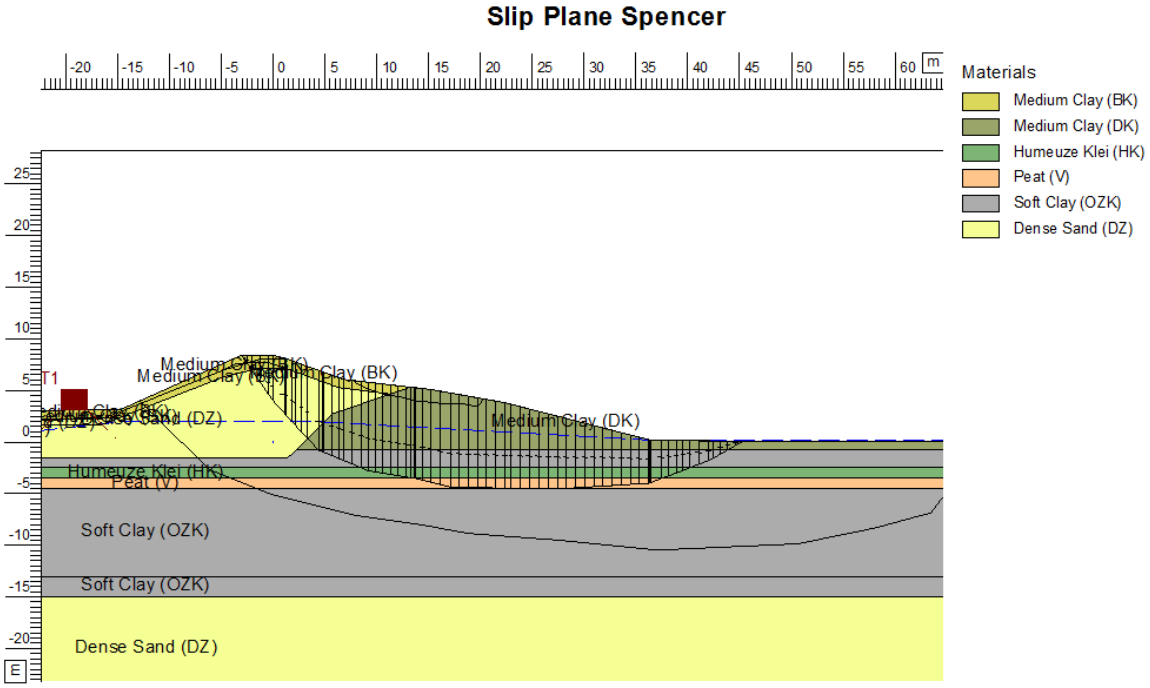
Safety : 0,99

Resultaten STBl spoor 4 raai 61



Safety : 0,97

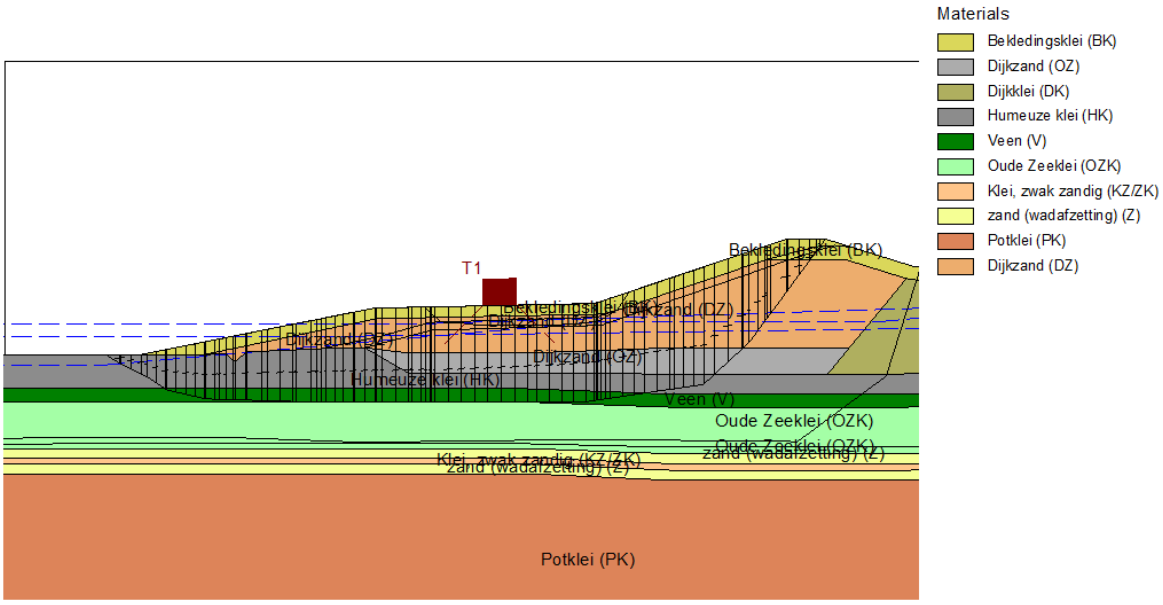
Resultaten STBU spoor 4 raai 61



Safety : 0,98

Resultaten STBl spoor 4 raai 86

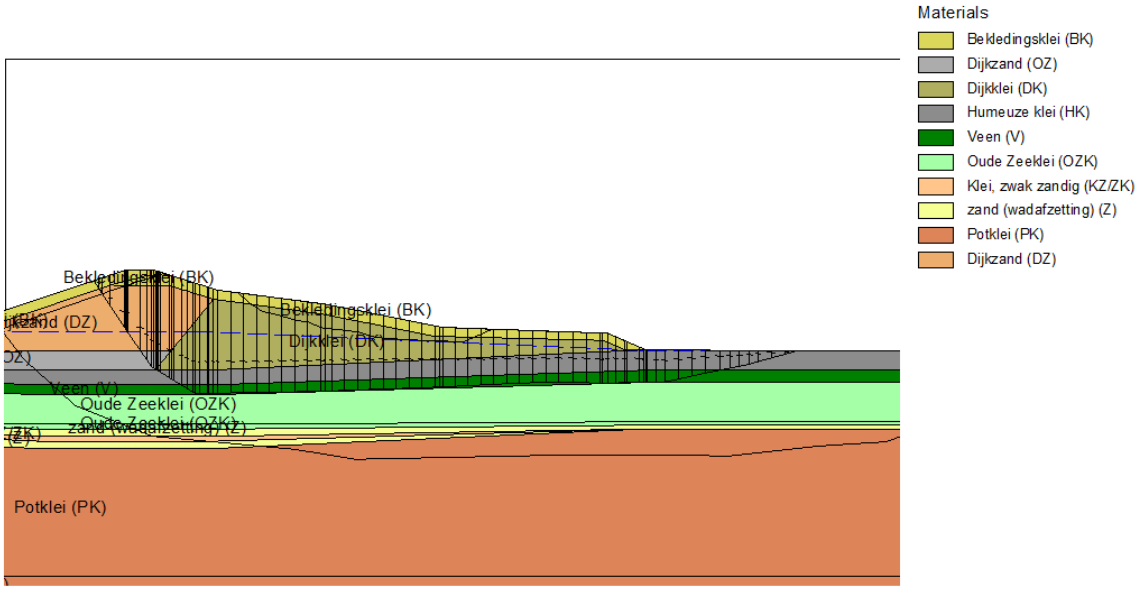
Slip Plane Spencer



Safety : 0,97

Resultaten STBU spoor 4 raai 86

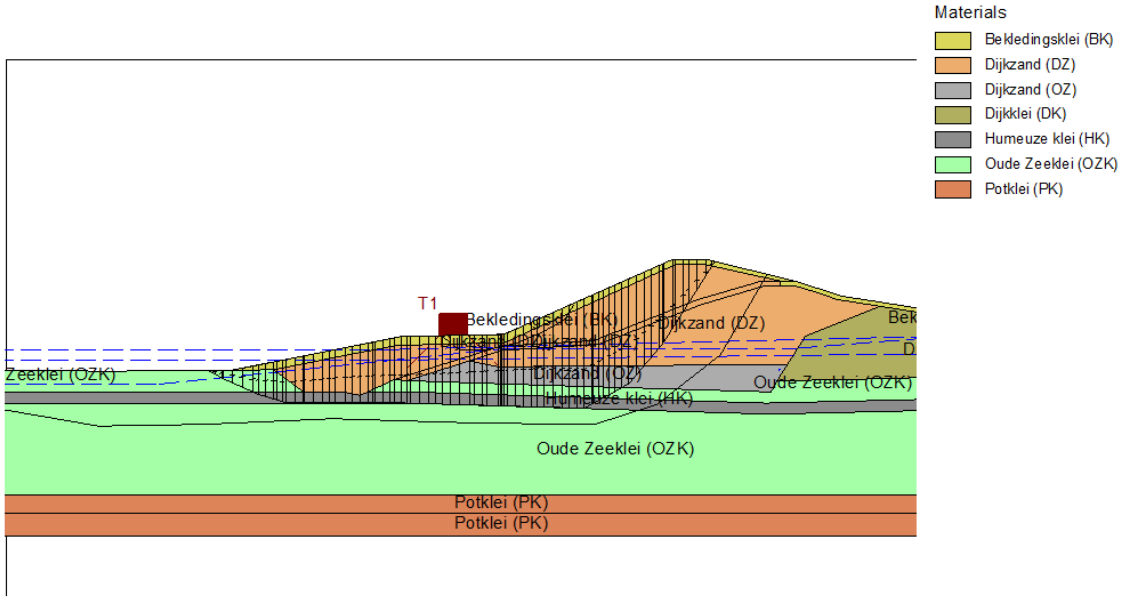
Slip Plane Spencer



Safety : 1,08

Resultaten STBl spoor 4 raai 106

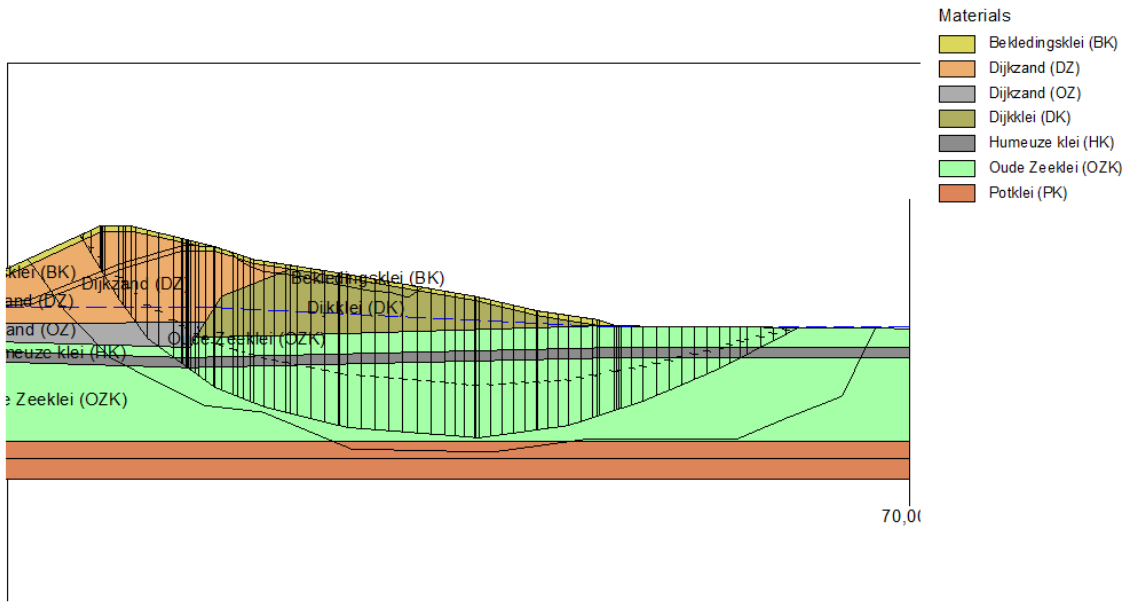
Slip Plane Spencer



Safety : 0,97

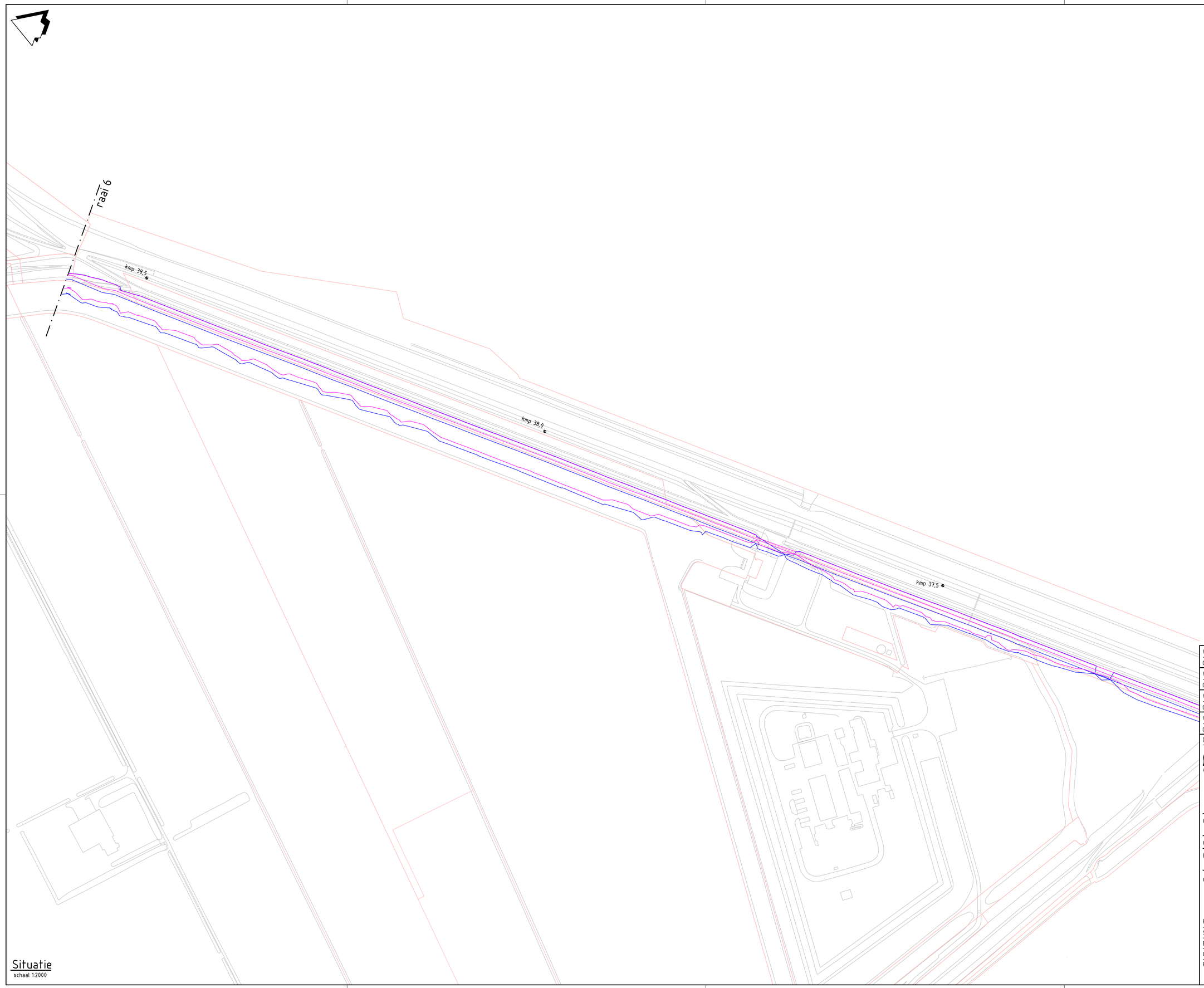
Resultaten STBU spoor 4 raai 106

Slip Plane Spencer



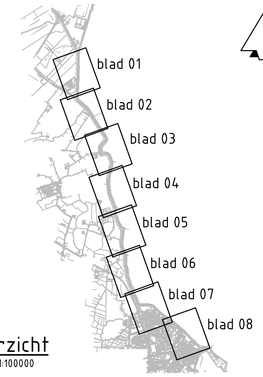
Safety : 1,09

Bijlage 5.2 Ontwerp tekeningen 4A



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 6

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		01	D

Dodd: 07822016 9 . 5

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering

Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

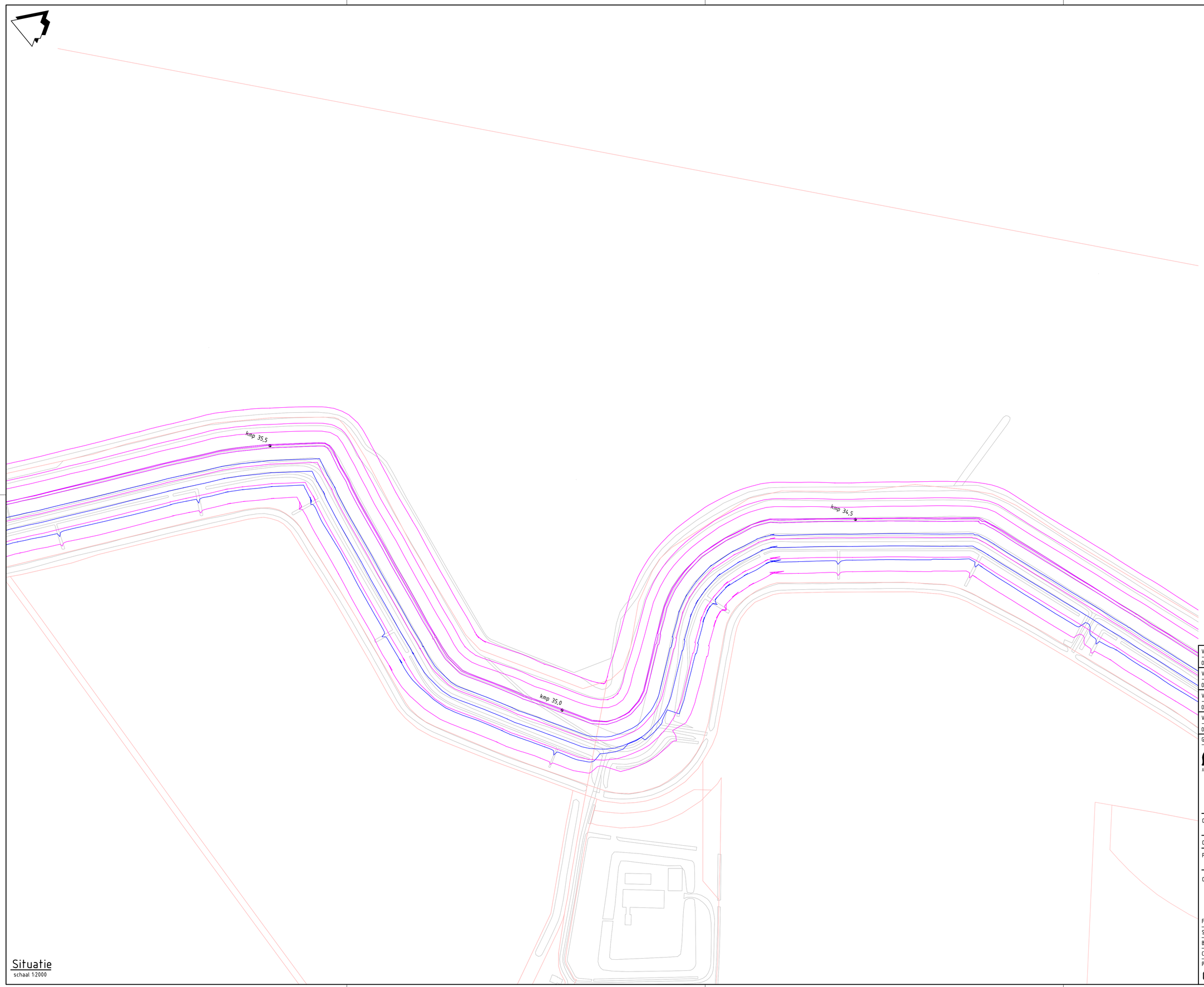
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen
Onderwerp	: Situatie raai 6-41
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Nieneijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		02	D

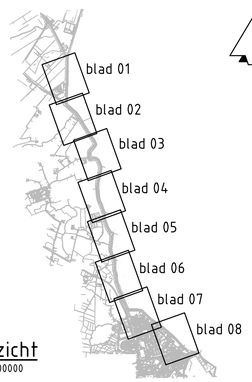
Docid: 078220869:5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

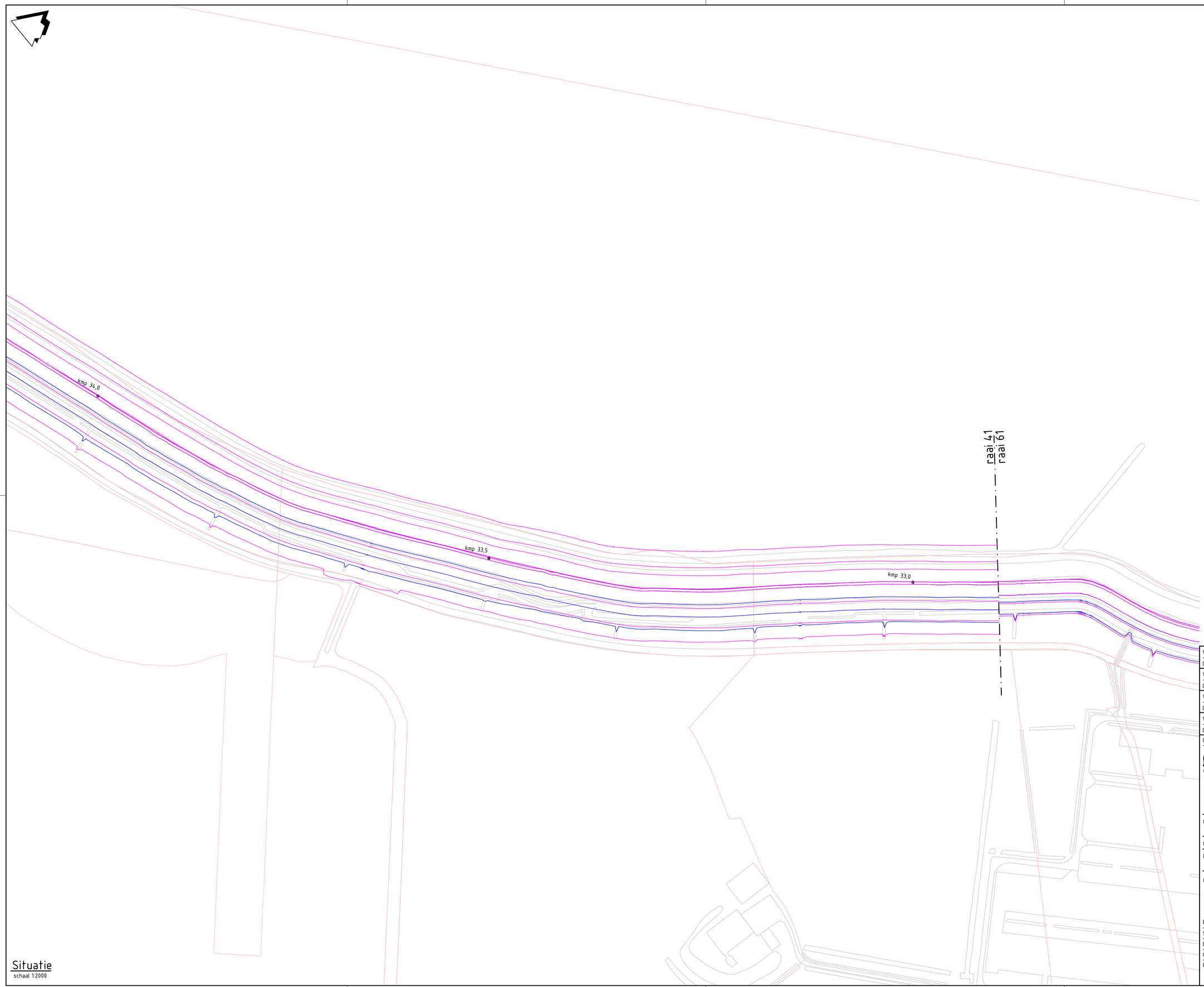
Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 41

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		03	D

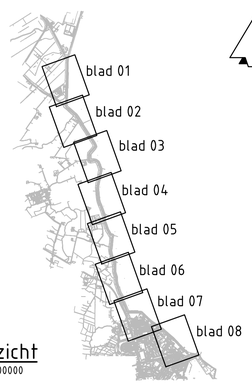
Dockt: 07822016 9 . 5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

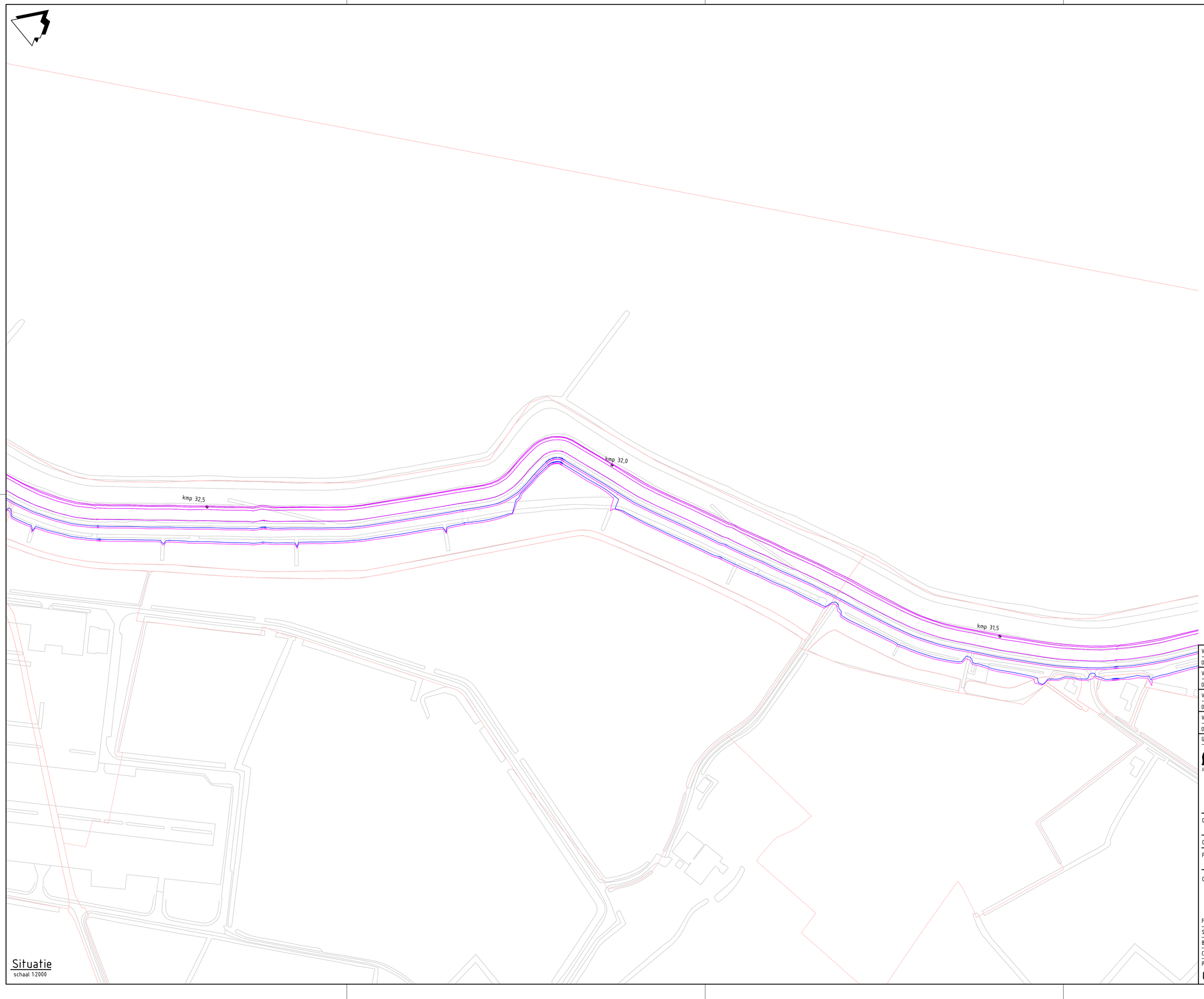
Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 41-61

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		04	D

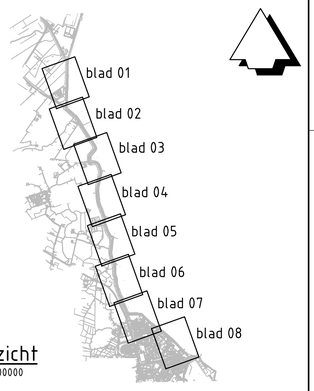
Dockd: 07822016 9 - 5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

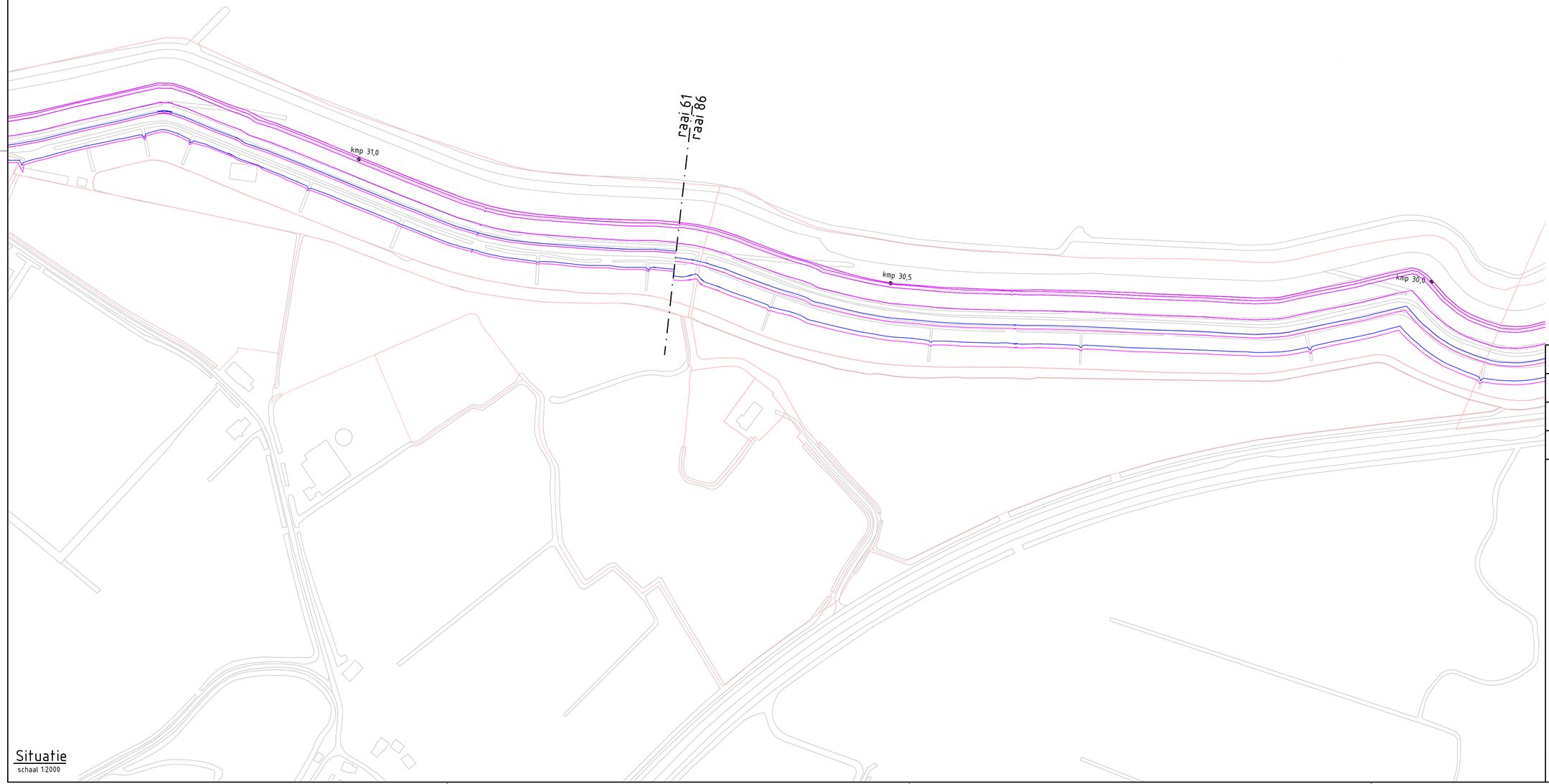
Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 61

Fase : Voorontwerp

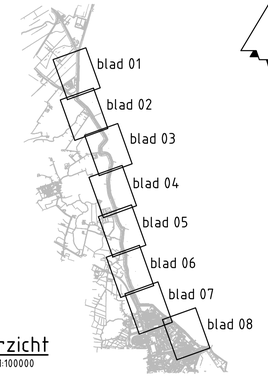
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		05	D

Docid: 07822016 9 5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda
- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

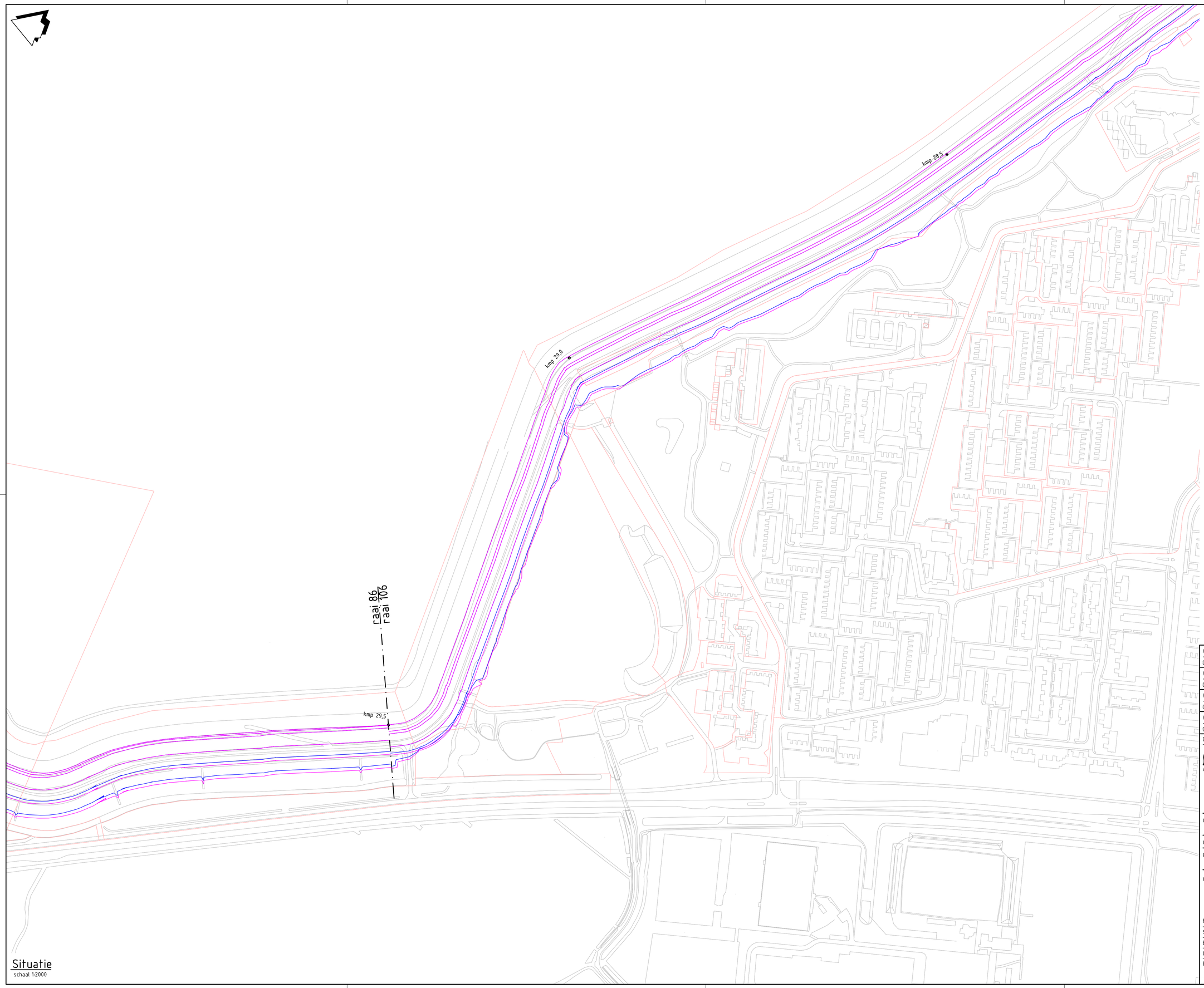
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen
Onderwerp	: Situatie raai 61 - 86
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		06	D

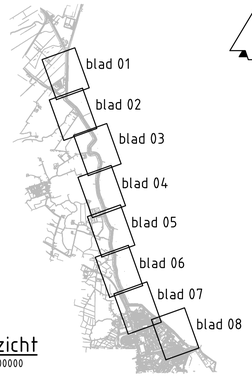
Docid: 19822069 5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 86 - 106

Fase : Voorontwerp

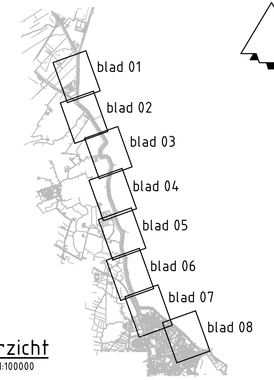
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		07	D

Doc.Id: 078220169.1-S

Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 106

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		08	D

Docid: 078220169 : 5

buitenzijde

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 6 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-69.15	-0.23
-60.61	-0.20
-59.33	-0.19
-56.12	-0.18
-54.51	-0.18
-45.49	-0.13
-43.83	-0.11
-38.22	0.20
-36.52	0.49
-34.91	0.82
-30.11	1.83
-26.54	2.61
-24.48	3.06
-22.20	3.56
-17.89	4.45
-13.83	5.15
-11.83	5.43
-9.85	5.52
-6.43	5.72
-3.46	6.81
-1.16	7.60
0.00	7.66
1.13	7.60
2.59	7.26
5.08	6.65
7.53	5.85
9.30	5.33
11.16	4.77
12.88	4.25
13.98	4.15
16.40	4.05
18.20	4.05
19.87	3.92
21.06	3.84
23.90	2.83
27.72	1.49
31.58	1.14
33.90	0.26
35.41	-0.42
38.81	-1.57
41.51	-1.98
43.53	-2.31
46.98	-2.30
48.51	-2.30
52.03	-2.48
54.68	-2.43
56.32	-2.19
60.01	-0.03
61.62	0.14
63.20	1.37
84.59	1.39
89.85	1.38
93.09	1.37

buitenzijde

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 41 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-78.14	-0.37
-77.02	-0.34
-75.54	-0.20
-61.93	-0.02
-53.47	0.09
-51.44	0.13
-38.22	0.34
-36.13	0.44
-29.72	2.07
-21.94	3.58
-18.35	4.25
-16.28	4.66
-13.23	5.27
-9.82	5.73
-5.75	6.35
-2.94	7.36
-1.30	8.04
0.00	8.14
1.49	7.98
3.55	7.29
5.38	6.71
8.95	5.29
12.18	3.97
15.12	2.71
16.34	2.22
18.08	2.10
21.86	1.98
25.21	1.80
28.82	0.96
32.61	-0.01
33.68	-0.24
35.03	-1.13
36.37	-0.36
37.53	-0.20
40.93	-0.16
49.92	-0.24
54.09	-0.28
63.19	-0.37
66.94	-0.41
71.43	-0.35
73.73	-1.16
79.28	-1.84
80.77	-1.26
82.10	-0.32
83.29	0.00
85.15	0.50
90.78	0.50
92.02	0.50
93.06	0.50
94.26	0.50
97.23	0.50

buitenzijde

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 61 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-52.08	0.03
-47.98	0.03
-46.73	0.04
-36.45	0.18
-30.12	1.91
-28.42	2.38
-24.64	3.28
-22.34	3.82
-15.24	5.09
-6.76	6.07
-3.50	7.18
-1.26	8.08
0.00	8.07
1.26	8.03
4.81	6.97
8.61	5.51
12.28	4.06
16.28	2.33
18.06	2.21
20.32	2.15
21.77	2.13
23.08	2.05
24.87	1.91
28.33	0.93
31.32	0.18
33.62	-0.17
35.08	-1.26
36.64	-0.28
39.73	-0.28
46.65	-0.38
53.87	-0.39
57.82	-0.41
63.20	-0.38
68.58	-0.36
69.91	-1.08
71.34	-1.47
75.97	-1.42
78.01	-0.04
79.58	-0.20
81.56	0.17
83.09	0.44
88.18	0.49

buitenzijde

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 86 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-62.73	-0.01
-50.21	0.15
-47.46	0.20
-44.68	1.45
-43.13	1.69
-41.84	1.72
-36.99	1.87
-31.07	2.30
-26.71	2.55
-23.42	3.10
-22.40	3.29
-15.67	4.79
-11.27	5.40
-9.59	5.66
-5.31	6.27
-3.78	6.83
-2.78	7.15
-1.41	7.61
0.00	7.59
1.41	7.61
3.93	6.84
6.02	6.16
11.18	4.28
12.74	3.71
14.86	2.97
16.74	2.25
18.75	2.09
20.06	2.07
22.13	2.05
23.28	2.00
24.58	1.87
27.68	0.93
29.23	0.41
30.68	-0.13
33.21	-0.26
34.69	-1.05
37.27	-0.30
38.98	-0.23
40.61	-0.24
51.94	-0.31
55.80	-0.35
66.58	-0.48
68.32	-0.52
69.98	-0.57
71.21	-1.12
77.48	-1.18
79.22	-0.26
94.19	0.23
95.81	0.29
96.88	0.29

buitenzijde

binnenzijde

Dwarsprofiel raai 106 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-57.61	-0.15
-57.01	-0.13
-55.60	-0.12
-53.19	-0.11
-48.37	-0.08
-46.49	-0.07
-41.16	0.12
-39.17	0.75
-37.50	0.90
-34.50	1.33
-32.75	1.70
-31.70	1.91
-27.35	3.01
-25.25	3.38
-23.04	3.76
-13.88	5.34
-5.55	6.66
-1.55	7.97
0.00	8.09
1.04	8.06
7.32	6.35
15.97	2.94
19.35	2.43
22.42	2.36
25.09	2.13
34.63	-0.89
35.80	-1.50
37.12	-2.04
39.05	-2.04
42.76	-2.05
44.06	-1.35
45.50	-0.92
47.58	-0.93
74.10	-0.87
84.69	-0.59
88.71	0.37
94.27	1.22

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Dwarsprofielen spoor 3 Hoogwater

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 1181 x 841 (A0)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		09	D

Docid: 078220169 : 5

Dwarsprofiel raai 6 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.23	-0.20	-0.19	-0.18	-0.18	-0.13	-0.11	0.20	0.49	0.82	1.83	2.61	3.06	3.56	4.45	5.15	5.43	5.52	5.72	6.81	7.60	7.66	7.60	7.26	6.65	5.85	5.33	4.77	4.25	4.15	4.05	4.05	3.92	3.84	2.83	1.49	1.14	0.26	-0.42	-1.57	-1.98	-2.31	-2.30	-2.30	-2.48	-2.43	-2.19	-0.03	0.14	1.37	1.39	1.38	1.37	1.36
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-69.15	-60.61	-59.33	-56.12	-54.51	-45.49	-43.83	-38.22	-36.52	-34.91	-30.11	-26.54	-24.48	-22.20	-17.89	-13.83	-11.83	-9.85	-6.43	-3.46	-1.16	0.00	1.13	2.59	5.08	7.53	9.30	11.16	12.88	13.98	16.40	18.20	19.87	21.06	23.90	27.72	31.58	33.90	35.41	38.81	41.51	43.53	46.98	48.51	52.03	54.68	56.32	60.01	61.62	63.20	84.59	89.85	93.09	98.89

Dwarsprofiel raai 41 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.37	-0.34	-0.20	-0.02	0.09	0.13	0.34	0.44	2.07	3.58	4.25	4.66	5.27	5.73	6.35	7.36	8.04	8.14	7.98	7.29	6.71	5.29	3.97	2.71	2.22	2.10	1.98	1.80	0.96	-0.01	-0.24	-1.13	-0.36	-0.20	-0.16	-0.24	-0.28	-0.37	-0.41	-0.35	-1.16	-1.84	-1.26	-0.32	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-78.14	-77.02	-75.54	-61.93	-53.47	-51.44	-38.22	-36.13	-29.72	-21.94	-18.35	-16.28	-13.23	-9.82	-5.75	-2.94	-1.30	0.00	1.49	3.55	5.38	8.95	12.18	15.12	16.34	18.08	21.86	25.21	28.82	32.61	33.68	35.03	36.37	37.53	40.93	49.92	54.09	63.19	66.94	71.43	73.73	79.28	80.77	82.10	83.29	85.15	90.78	92.02	93.06	94.26	97.23

Dwarsprofiel raai 61 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	0.03	0.03	0.04	0.18	1.91	2.38	3.28	3.82	5.09	6.07	7.18	8.08	8.07	8.03	6.97	5.51	4.06	2.33	2.21	2.15	2.13	2.05	1.91	0.93	0.18	-0.17	-1.26	-0.28	-0.28	-0.38	-0.39	-0.41	-0.38	-0.36	-1.08	-1.47	-1.42	-0.04	-0.20	0.17	0.44	0.49
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-52.08	-47.98	-46.73	-36.45	-30.12	-28.42	-24.64	-22.34	-15.24	-6.76	-3.50	-1.26	0.00	1.26	4.81	8.61	12.28	16.28	18.06	20.32	21.77	23.08	24.87	28.33	31.32	33.62	35.08	36.64	39.73	46.65	53.87	57.82	63.20	68.58	69.91	71.34	75.97	78.01	79.58	81.56	83.09	88.18

Dwarsprofiel raai 86 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.01	0.15	0.20	1.45	1.69	1.72	1.87	2.30	2.55	3.10	3.29	4.79	5.40	5.66	6.27	6.83	7.15	7.61	7.59	7.61	6.84	6.16	4.28	3.71	2.97	2.25	2.09	2.07	2.05	2.00	1.87	0.93	0.41	-0.13	-0.26	-1.05	-0.30	-0.23	-0.24	-0.31	-0.35	-0.48	-0.52	-0.57	-1.12	-1.18	-0.26	0.23	0.29	0.29
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-62.73	-50.21	-47.46	-44.68	-43.13	-41.84	-36.99	-31.07	-26.71	-23.42	-22.40	-15.67	-11.27	-9.59	-5.31	-3.78	-2.78	-1.41	0.00	1.41	3.93	6.02	11.18	12.74	14.86	16.74	18.75	20.06	22.13	23.28	24.58	27.68	29.23	30.68	33.21	34.69	37.27	38.98	40.61	51.94	55.80	66.58	68.32	69.98	71.21	77.48	79.22	94.19	95.81	96.88

Dwarsprofiel raai 106 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.15	-0.13	-0.12	-0.11	-0.08	-0.07	0.12	0.75	0.90	1.33	1.70	1.91	3.01	3.38	3.76	5.34	6.66	7.97	8.09	8.06	6.35	2.94	2.43	2.36	2.13	-0.89	-1.50	-2.04	-2.04	-2.05	-1.35	-0.92	-0.93	-0.87	-0.59	0.37	1.22
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-57.61	-57.01	-55.60	-53.19	-48.37	-46.49	-41.16	-39.17	-37.50	-34.50	-32.75	-31.70	-27.35	-25.25	-23.04	-13.88	-5.55	-1.55	0.00	1.04	7.32	15.97	19.35	22.42	25.09	34.63	35.80	37.12	39.05	42.76	44.06	45.50	47.58	74.10	84.69	88.71	94.27

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Dwarsprofielen spoor 4 Realistische benadering

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 1181 x 841 (A0)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer :	Versie :
C03011.000330.0100		10	D

Docid: 078220169 : 5

Bijlage 5.3 Memo rekenslag 4B

Aan	:	Bert de Wolff (NZV), Marcel Visschedijk (Deltares), Martin van der Meer (Fugro), Mirjam Molen (Arcadis)
Van	:	Willem Leeuwdrent (Fugro)
Controle	:	Ben Rijneveld (Fugro)
Ref	:	1212-0075-003.M09v3
Versie	:	3
Datum	:	2 april 2015
Betreft	:	Berekeningen benodigd ruimtegebruik Eemshaven-Delfzijl o.b.v. uitgangspunten 26-02-2015

1. INLEIDING

In deze notitie worden de uitgangspunten en de resultaten voor de bepaling van het benodigd ruimtegebruik voor de dijkversterking Eemshaven-Delfzijl gepresenteerd. Het ontwerp betreft een schetsontwerp voor 5 raaien, namelijk raai 6, 41, 61, 86, 106. Deze raaien worden representatief geacht voor het hele traject. Daarnaast is voor deze 5 raaien een hertoets op basis van de huidige normen uitgevoerd.

In een eerdere fase van dit project zijn meerdere berekeningen gemaakt, met verschillende uitgangspunten. De berekeningen die in deze rekenslag zijn gemaakt zijn een synthese van de berekeningen die in eerdere fasen zijn uitgevoerd.

Figuur 1: Locaties raaien

In het schetsontwerp worden 4 sporen onderscheiden:
- Spoor 1: Ontwerp volgens de huidige normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 2: Ontwerp volgens de huidige normering, inclusief aardbevingseffecten
- Spoor 3: Ontwerp volgens de nieuwe normering, zonder aardbevingseffecten
- Spoor 4: Ontwerp volgens de nieuwe normering, inclusief aardbevingseffecten

Voorlopig is ingegaan op het ontwerp op basis van spoor 3 en 4. Daarnaast is een hertoets op basis van de huidige normering, zonder aardbevingseffecten, uitgevoerd.

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

Er wordt gebruik gemaakt van de volgende literatuur en rapporten:

[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007

[BEST] Bestekstekeningen dijkversterking gedateerd op 1965-1977

[DEL 2014_1] Ondergrondmodel Delfzijl-Eemshaven: met aangepaste schematisatie, Deltares memo 1210009-002-GEO-0001, 12 november 2014

[DEL 2014_2] Ontwerpaanpak Eemshaven Delfzijl, Deltares rapport 1210009-005-GEO-0001, versie werkversie, 1 oktober 2014, concept

[DEL 2014_3] Proevenverzameling Klei en veenlagen Eemshaven Delfzijl, Deltares memo 1210009-002-GEO-0002, 11 november 2014

[DTM] Digitaal Terrein Model Dijkverbetering Eemshaven

[FUG 2015] Uitgangspunten Technisch VoorkeursAlternatief dijkversterking Eemshaven-Delfzijl, Fugro memo 1221-0075-003v3, 4 maart 2015.

[TRW 2004] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004

[WNZ 2010] Veiligheidstoetsing Waddenzeedijk, primaire waterkeringen dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest, rapport 9V2113.B0, 27 mei 2010

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. Planperiode

In het ontwerp wordt uitgegaan van een planperiode van 25 jaar [FUG 2015].

3.2. Definitie ruimtebeslag

Het ruimtebeslag is bepaald als de verschuiving van de binnenteen, als gevolg van benodigde taludverflauwing en/of bermverbreding. De eventueel benodigde verschuiving van de kwelsloot wordt niet in het ruimtebeslag meegenomen.

3.3. Faalmechanismen

De beschouwde mechanismen zijn:
- Hoogte
- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts
- Piping
- Microstabiliteit

De overige mechanismen, zoals voorlandstabiliteit, worden vooralsnog niet beschouwd.

3.4. Kruinhoogte

De benodigde kruinhoogte voor verschillende overslagdebieten in weergegeven in tabel 1. Dit is de benodigde kruinhoogte inclusief compensatie voor bodemdaling (0,2 m in 25 jaar) en robuustheidstoeslag (0,4 m).

Tabel 1: Benodigde kruinhoogte nieuwe normering [1)]

	Overslagdebiet [l/m/s]		
	1	5	10
RAAI 6	7,70 (7,10)	7,19 (6,59)	6,99 (6,39)
RAAI 41	8,76 (8,16)	8,22 (7,62)	8,00 (7,40)
RAAI 61	9,02 (8,42)	8,41 (7,81)	8,16 (7,56)
RAAI 86	8,69 (8,09)	8,17 (7,57)	7,92 (7,32)
RAAI 106	10,86 (10,26)	9,98 (9,38)	9,62 (9,02)

[1)] Waarden tussen haakjes exclusief compensatie voor bodemdaling en robuustheidstoeslag

3.5. Normering en partiële factoren macrostabiliteit

Hertoets
Voor de hertoets dienen formeel de partiële factoren uit [VTV 2006] te worden toegepast. Vanuit praktisch oogpunt worden de combinatie van schade- en materiaalfactoren uit [ATRWG 2001] toegepast in plaats van de combinatie van schade- en materiaalfactoren uit [VTV 2006]. Op deze wijze wordt echter dezelfde basisveiligheid aangetoond.

Daarnaast wordt de schematiseringsfactor niet in rekening gebracht, aangezien deze in [VTV 2006] niet van toepassing is.

De normfrequentie voor dijkring 6 bedraagt 1/4.000. Op basis van een standaardlengte van 60 km, is op basis van het [ATRWG] de schadefactor voor STBI en voor STBU (uitgaande van een faalkanseis die 10 maal lager is) bepaald. Deze waarde is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van $\gamma_d = 1,0$ en voor het model Spencer van een modelfactor van $\gamma_d = 0,95$.

Spoor 3 en 4
Voor spoor 3 en 4 wordt uitgegaan van de nieuwe normering, gebaseerd op overstromingskansen en niet op overschrijdingskansen.

De overstromingsnorm voor raaien 41, 61, 86 en 106 bedraagt 1/10.000. Voor raai 6 is dit 1/3.000, welke mogelijk nog verhoogd wordt naar 1/10.000. Voor nu is voor raai 6 uitgegaan van een overstromingsnorm van 1/3.000. Er is uitgegaan van een afkeurkans welke een factor 3 groter is. Voor raai 41, 61, 86 en 106 wordt uitgegaan van een afkeurkans van 1/3.333 en voor raai 6 van 1/1.000.

Op basis van een standaardlengte van 60 km, is de schadefactor voor STBI en STBU bepaald [FUG 2015]. Hierbij is uitgegaan van een faalkansruimtefactor van 0,24. De schadefactor is mogelijk nog te optimaliseren door de trajectlengte nauwkeuriger te bepalen.

Voor de schematiseringsfactor is uitgegaan van een waarde van $\gamma_b = 1,1$. Deze waarde is (nog niet) rekenkundig onderbouwd. Dit dient in een later stadium nog wel te worden gedaan.

Voor het model Bishop is uitgegaan van een modelfactor van $\gamma_d = 1,0$ en voor het model Spencer van een modelfactor van $\gamma_d = 0,95$.

Voor de aardbevingssituatie is uitgegaan van een kans op falen, gegeven een instabiliteit ten gevolge van een aardbeving, van 0,33 (zowel bij STBI als STBU) [FUG 2015].

De aardbevingsversnelling (zie paragraaf 3.11) is bepaald bij een invloedsfactor van 0,9, wat inhoudt dat de onzekerheid in de aardbevingsbelasting dominant is ten opzichte van de onzekerheid in bijvoorbeeld grondparameters. Daarom kan uitgegaan worden van lagere materiaalfactoren. Bij een invloedsfactor van $\alpha = 0,9$ voor de aardbevingsbelasting kan een reductie van $\gamma_{m;red} = 0,89$ [FUG 2015] op de materiaalfactoren worden toegepast. Deze wordt in dit geval toegepast als aanpassing van de stabiliteitseis $F.S. \geq \gamma_n \cdot \gamma_b \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m;red}$.

De vereiste stabiliteitsfactoren zijn voor de relevante situaties weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Stabiliteitseis voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Variant	Normering	Raai 6		Raai 41, 61, 86 en 106	
		Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)
STBI	Huidig (hertoets)	1,11 x 1,0 = **1,11**	1,11 x 0,95 = **1,05**	1,11 x 1,0 = **1,11**	1,11 x 0,95 = **1,05**
	Nieuw (versterking)	1,05 x 1,1 x 1,0 = **1,16**	1,05 x 1,1 x 0,95 = **1,10**	1,08 x 1,1 x 1,0 = **1,19**	1,08 x 1,1 x 0,95 = **1,13**
	Nieuw (versterking incl. aardbeving)	1,01 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **0,99**	1,01 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,94**	1,04 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **1,01**	1,04 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,97**
STBU	Huidig (hertoets)	1,05 x 1,0 = **1,05**	1,05 x 0,95 = **1,00**	1,05 x 1,0 = **1,05**	1,05 x 0,95 = **1,00**
	Nieuw (versterking)	0,99 x 1,1 x 1,0 = **1,09**	0,99 x 1,1 x 0,95 = **1,03**	1,02 x 1,1 x 1,0 = **1,12**	1,02 x 1,1 x 0,95 = **1,07**
	Nieuw (versterking incl. aardbeving)	1,01 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **0,99**	1,01 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,94**	1,04 x 1,1 x 1,0 x 0,89 = **1,01**	1,04 x 1,1 x 0,95 x 0,89 = **0,97**

3.6. Modellen

In de berekeningen is gedraineerd (met wateroverspanningen) gerekend. In de stabiliteitsberekeningen is gerekend met het model Bishop en het model Spencer [FUG 2015].

Er is niet met zonering gerekend [FUG 2015].

3.7. Geometrie

De geometrie is gebaseerd op de DTM tekeningen en AHN2 data.

De ontwerpkruinhoogte is gebaseerd op [ARC 2014], waarbij is uitgegaan van een overslagdebiet van 5 l/s/m. Er wordt uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,2 m. Deze bodemdaling wordt als toeslag op de ontwerpkruinhoogte toegepast.

Voor de versterking is uitgegaan van een vaste positie van de buitenteen. Bij een kruinverhoging wordt het buitentalud onder de aanwezige helling doorgetrokken. Voor de versterking is uitgegaan van:

- Talud binnenzijde (binnenteen-berm) 1v:5h
- Laagste niveau berm (aan zijde teen) NAP +3,0 m

- Talud berm 1v:50h
- Breedte berm minimaal 5 m (eis vanuit waterschap i.v.m. beheer en onderhoud)
- Talud binnenzijde (berm-kruin) 1v:4h (eis vanuit waterschap i.v.m. beheer en onderhoud)
- Kruinbreedte 3 m
- Talud buitenzijde (kruin-berm) 1v:4h
- Hoogste niveau berm (bij kruin) NAP +5,0 m
- Talud berm 1v:50h
- Talud buitenzijde (berm-buitenteen) 1v:4h

Het effect van de bodemdaling in het achterland is impliciet in de berekeningen meegenomen door uit te gaan van een verhoging van de kruin met de bodemdaling. Omdat het achterland min of meer meezakt met kruin, blijft de kerende hoogte namelijk in de loop van de tijd ongeveer gelijk.

Het effect van een eventuele zettingscompensatie om de ontwerpkruinhoogte gedurende de levensduur van de waterkering te garanderen is niet meegenomen. Dit dient in het (uitvoerings)ontwerp nader uitgewerkt te worden.

3.8. Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische belasting voor de geotechnische mechanismen is weergegeven in tabel 3. Dit zijn de waterstanden inclusief bodemdaling. In de berekeningen is de bodemdaling als toeslag op de waterstand meegenomen. Reden hiervoor is dat in de loop van de tijd de waterstand in de dijk relatief hoger wordt, omdat de dijk zakt. Omdat het zakken van de dijk niet expliciet gemodelleerd is, is dit op deze manier meegenomen. Er is uitgegaan van een autonome bodemdaling (inclusief effect aardgaswinning) van 0,2 m en een robuustheidstoeslag van 0,4 m.

Tabel 3: Hydraulische belasting geotechnische mechanismen spoor 3 [1)]

Raai	6	41	61	86	106
Waterstand [m NAP]	5,52 (4,92)	6,25 (5,65)	6,15 (5,55)	6,24 (5,64)	6,67 (6,07)

[1)] Waarden tussen haakjes exclusief compensatie bodemdaling en robuustheidstoeslag

Voor de combinatiewaarde van de waterstand bij een dominante aardbevingsbelasting wordt met een terugkeertijd van 1 jaar gerekend. De waterstand met een terugkeertijd van 1 jaar in de huidige situatie bedraagt NAP +3,25 m (bron: waternormalen, locatie Delfzijl). Rekening houdend met bodemdaling (0,2 m) en zeespiegelstijging (0,2 m) wordt uitgegaan van een waterstand van NAP +3,65 m. Er is geen robuustheidstoeslag toegepast, omdat de onzekerheid in de voorspelling van de waterstand met een terugkeertijd van 1/jaar klein is.

Voor de hertoets zijn de te hanteren waterstanden weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Hydraulische belasting geotechnische mechanismen hertoets

Raai	6	41	61	86	106
Waterstand [m NAP]	5,00	5,50	5,40	5,49	5,91

3.9. Bodemopbouw en grondparameters

De bodemopbouw is gebaseerd op het stochastische ondergrondmodel SOS [DELT 2014_1], waarbij het segment waarin de raai is gelegen wordt beschouwd. Daarnaast worden het naastgelegen segment aan weerzijde van het betreffende segment beschouwd. Hieruit wordt op basis van expert judgement de maatgevende bodemopbouw, op basis van het scenario met de meeste slappe toplagen, geselecteerd. Deze aanname dient in een later stadium rekenkundig te worden onderbouwd.

Het SOS heeft betrekking op de bodemopbouw in het achterland. Ter plaatse van de dijk wordt de bodemopbouw geschematiseerd op basis van de beschikbare bestektekeningen [BEST] en het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.

Voor de grondparameters is uitgegaan van de proevenverzameling [DELT 2014_3]. Omdat de proevenverzameling slechts betrekking heeft op 2 lagen uit het ondergrondmodel, wordt voor de overige parameters en laagindeling welke in de toetsing [WNZ 2010] zijn gehanteerd. Hierbij is zijn de gehanteerde bodemlaagbeschrijvingen uit de toetsing omgezet naar de nieuwe geologische schematisatie uit [DEL 2014_1], zie tabel 5. Voor de potklei is gebruik gemaakt van de toegepaste rekenwaarden in de rapportage van Grontmij voor de Eemskanaaldijk.

Geadviseerd wordt om de proevenverzameling aan te vullen, zodat voor alle relevante grondlagen uit het SOS rekenwaarden beschikbaar zijn. Hierbij zijn met name (aanvullende proeven op) de cohesieve lagen Tfco, Pgcc en DK van belang.

Tabel 5: Gehanteerde grondparameters

Grondlaag toetsing	Grondlaag SOS	$\gamma_{dr;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{dr;d}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma_{nat;d}$ [kN/m^3]	φ'_{rep} [°]	φ'_{d} [°]	c'_{rep} [kPa]	c'_{d} [kPa]
Natuurlijke grondslag									
Oude zeeklei (OZK) [1)]	*Tfcc*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*16,2*	*17,2*	*14,5*	*9,6*	*7,7*
Veen (V) [1)]	*Shpp*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Humeuze klei (HK) [1)]	*Tfco*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*10,5*	*13,5*	*10,9*	*8,0*	*5,3*
Zand (wadafzetting) (Z) [2)]	Tcsf/Tcsm	15,0	15,0	18,0	18,0	27,5	23,5	0,0	0,0
Klei zwak zandig (KZ/ZK) [2)]	Tfsc	14,0	14,0	16,5	16,5	25,0	21,2	1,0	0,7
Potklei (PK) [3)]	Pgcc	17,5	17,5	17,5	17,5	20,0	16,9	16,7	13,3
Dijklichaam									
Dijkzand (DZ) [2)]	Pfc1/pfc2	17,0	17,0	19,0	19,0	32,5	28,0	0,0	0,0
Dijkklei (DK) [4)]		16,5	16,5	16,5	16,5	26,4	22,5	3,75	3,0
Bekledingsklei (BK) [4)]		16,5	16,5	16,5	16,5	26,4	22,5	3,75	3,0
Opgespoten zand (OZ) [2)]		17,0	17,0	19,0	19,0	30,0	25,7	0,0	0,0

[1)] Cursieve waarden uit proevenverzameling Deltares
[2)] Waarden gebaseerd op toetsrapportage/tabel 2.b van NEN 9997-1
[3)] Waarden gebaseerd op door Grontmij toegepast waarden bij de Eemskanaaldijk
[4)] Waarden gebaseerd op praktijkervaringen met goed verdichte kleiophogingen in dijken

De opbouw van het dijklichaam is gebaseerd op het lokaal uitgevoerde grondonderzoek.
Bij de hertoets is voor de kleideklaag een laagdikte van 0,6 m aan de binnenzijde aangehouden en op de kruin en het buitentalud van 1,0 m. Dit is een inschatting op basis van het lokaal uitgevoerde onderzoek en de bestekstekeningen [BEST].

Merk op dat de keuze van de ondergrondschematisatie is gebaseerd op de grondparameters uit tabel 5. Deze keuze dient heroverwogen te worden als de nieuwe proevenverzameling beschikbaar is.

Voor de versterking wordt uitgegaan van een kern van zand, welke aan de binnen- en buitenzijde wordt afgedekt met 1,0 m klei.

Voor spoor 4 is uitgegaan van dezelfde bodemopbouw als spoor 3. Indien verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn, waarin tijdens een aardbeving wateroverspanningen ontstaan, kan dit leiden tot een lagere stabiliteit dan in het geval van slappe lagen. Echter, het toepassen van een berm om

verweking te mitigeren lijkt geen realistische/economische oplossing. Daarom is er van uitgegaan dat verweking wordt voorkomen door maatregelen die geen/nauwelijks ruimtebeslag kosten, zoals een grondverbetering en/of drainage. Het effect van verweking is dus niet nader beschouwd voor de bepaling van het ruimtebeslag. Derhalve wordt een 'slappe bodem' voor zowel spoor 3 als 4 als maatgevend aangenomen. Dit dient in een later stadium bij de rekenkundige controle van de schematiseringsfactor aangetoond te worden.

3.10. Geohydrologische schematisatie

Macrostabiliteit binnenwaarts

De freatische waterstand is voor de locaties waar de kleidijk aan de buitenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106) als volgt geschematiseerd:

- Val over de buitenbekleding van buitenwaterstand naar freatische lijn onder de kruin
- Horizontaal verloop in de kruin tot de binnenbekleding
- Freatische lijn volgt de binnenbekleding en verloopt vervolgens lineair naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Voor de freatische lijn in de kruin wordt voor spoor 3 (zonder aardbeving) uitgegaan van een niveau van NAP +2,7 m. Dit niveau is opgebouwd uit:

- Hoogst gemeten freatische waterstand in 2013 en 2014 voor het LiveDijkXL project van ca. NAP +1,75 m (freatische waterstand vertoont geen respons op buitenwater);
- Toeslag van 0,75 m voor het effect van instroom op het buitentalud bij 'inwendige overstroming' van de oude kleidijk;
- Toeslag van 0,2 m voor het effect van bodemdaling;

Er is geen toeslag tengevolge van infiltratie door overslag gerekend omdat bij de hydraulische randvoorwaarden bij de afkeurkans het overslagdebiet in de orde van 0,1 l/s/m ligt.

Voor de hertoets wordt voor de freatische lijn in de kruin uitgegaan van een waarde van NAP +2,5 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project en het effect van het inwendig overstromen van de oude kleidijk, maar zonder het effect van bodemdaling.

Voor spoor 4 (met aardbeving) kan gerekend worden met een lagere waterstand, waardoor de instroom op het buitentalud als gevolg van 'inwendige overstroming' van de oude kleidijk niet meegenomen hoeft te worden. Daarom wordt uitgegaan van een waterstand in de kruin van NAP +1,95 m, bestaande uit de hoogst gemeten waterstand tijdens het LivedijkXL project vermeerderd met de bodemdaling.

Daar waar de kleidijk aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig is (raai 6), is deze als volgt geschematiseerd:

- Lineair verloop van de buitenwaterstand t.p.v. de buitentalud naar het niveau van de oude kleidijk
- Lineair verloop van het niveau van de kleidijk naar de binnenteen
- Polderpeil ter plaatse van kwelsloot

Bij raai 6/km38,0 is de kleikern aan de binnenzijde van de waterkering aanwezig, dit geldt voor het hele traject van ca. 37.0-38.5. Bij de overige secties (ca. 27.0-37.0) is deze aan de buitenzijde aanwezig. De zandkern van de dijk wordt bedekt door een asfaltbekleding. Onbekend is hoe waterdoorlatend deze is. Daarnaast zijn hier geen peilbuizen of waterspanningsmeters aanwezig. Hierdoor is de onzekerheid in de geohydrologische schematisatie relatief groot en wordt aanvullend onderzoek geadviseerd.

Voor het polderpeil is ter plaatse van raai 41, 61, 86 en 106 uitgegaan van het winterpeil op NAP -1,3 m. Ter plaatse van raai 6 is uitgegaan van een polderpeil op NAP -0,7 m.

Ter plaatse van km 31.5 is voor de 3de toetsronde de respons van de tussenzandlaag gemeten. Hieruit bleek nauwelijks respons op de buitenwaterstand op te treden. Voor de tussenlagen is daarom vooralsnog uitgegaan van een hydrostatisch verloop.

Voor de stijghoogte in het pleistocene zand is uitgegaan van een respons op de buitenwaterstand ter plaatse van de huidige binnenteen van 50%. Deze waarde is gebaseerd op slechts 2 responsmetingen in het pleistoceen ter plaatse van km 29,9 (Livedijk op een diepte van NAP -25 m) en km 37 (3^{e} toetsronde op een diepte van NAP -15 m), waarbij een respons van ca. 30% en 15% kan worden afgeleid. Het verloop is lineair aangenomen vanaf MHW ter plaatse van de buitenteen tot een respons van 50% ter plaatse van de huidige binnenteen. Verder in het achterland is een constante respons van 50% gehanteerd. Voor de indringingslengte is uitgegaan van 2 m. Aan de bovenzijde van de indringingszone is conform [TRW 2004] de stijghoogterespons bij GHW gemodelleerd, waarbij voor de respons dezelfde waarden als in het pleistoceen zijn gehanteerd.

Macrostabiliteit buitenwaarts
Voor de buitenwaartse macrostabiliteit is voor de situatie waar de waterbelasting dominant is uitgegaan van een val van MHW naar gemiddeld hoogwater (GHW). Het GWH in de huidige situatie bedraagt NAP +1,35 m (bron: waternormalen, locatie Delfzijl). Rekening houdend met bodemdaling (0,2 m) en zeespiegelstijging (0,2 m) wordt uitgegaan van een waterstand van NAP +1,75 m. Er is geen robuustheidstoeslag toegepast, omdat de onzekerheid in de voorspelling van het GHW klein is.

Daar waar de kleidijk aan de buitenzijde aanwezig is (raai 41, 61, 86, 106), wordt aangenomen dat de indringing van water zeer beperkt is, waardoor onder de buitenkruinlijn een opbolling van 1m wordt gemodelleerd ten opzichte van GHW.

Daar waar sprake is van een zanddijk (raai 6) wordt ter plaatse van de buitenkruinlijn uitgegaan van MHW en een lineair verloop naar GHW ter plaatse van het buitentalud.

Voor de situatie met een dominante aardbevingsbelasting is voor de freatische grondwaterstand uitgegaan van de gemeten waarde in de dijk op NAP +1,75 m, vermeerderd met 0,2 m bodemdaling. Mogelijk kan deze waarde geoptimaliseerd worden door locatiespecifiek onderzoek. Voor de buitenwaterstand is uitgegaan van het niveau van de buitenteen op ca. NAP.

3.11. Aardbevingsbelasting
Aardbevingen kunnen op twee wijzen invloed hebben op de stabiliteit van de waterkering. Allereerst kan verweking, en daardoor een sterke afname van de stabiliteit, van de waterkering optreden. Uitgangspunt is dat verweking door maatregelen die geen/nauwelijks ruimte kosten wordt ondervangen. Hierbij kan gedacht worden aan grondverbetering en/of drainage.

Het tweede effect is de versnelling die het grondmassief ondervindt tengevolge van de aardbeving. Op basis van analyses van Deltares volgens de Newmark Sliding Block methode blijkt dat de ontwerpwaarde van de horizontale versnelling voor een statische analyse, waarbij de vervormingen acceptabel blijven, 0,57 m/s^2 [FUG 2015] bedraagt (voor raai 41, 61, 86 en 106). Omdat de afkeurkans van raai 6 kleiner is, kan voor deze raai gerekend worden met een aardbeving die een grotere kans op voorkomen heeft. De ontwerpwaarde bedraagt, volgens de Newmark Sliding Block methode 0,28 m/s^2 [FUG 2015].

3.12. Verkeersbelasting

In het ontwerp is rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13,3 kN/m^2 over 2,5 m op het midden van de binnenberm. Er is geen rekening gehouden met een verkeersbelasting op de kruin. De verkeersbelasting wordt als 'ongedraineerd' gemodelleerd, waarbij in de cohesieve lagen een wateroverspanning van 80% wordt gemodelleerd.

4. BEREKENINGSRESULTATEN HERTOETS

Van alle profielen is een hertoets uitgevoerd. De faalmechanismen macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts), piping en microstabiliteit zijn getoetst.

4.1. STBI en STBU

De berekende stabiliteitsfactoren voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Berekeningsresultaten hertoets binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Raai	faalmechanisme	Bishop SF (-)	Spencer SF (-)	Voldoet?
6	STBI	0,93	0,95	nee
	STBU	1,35	1,36	ja
41	STBI	1,02	0,94	nee
	STBU	1,23	1,21	ja
61	STBI	1,15	1,02	nee
	STBU	1,36	1,33	ja
86	STBI	1,23	1,13	ja
	STBU	1,67	1,61	ja
106	STBI	1,15	1,07	ja
	STBU	1,62	1,59	ja

4.2. Piping

De ondergrond bestaat over het algemeen uit een dikke laag klei- en veen pakketten, met een dikte variërend van ca. 10 à 15 m. Daaronder bevindt zich een Pleistocene zandlaag.
De aanwezige kwelweglengte is over het algemeen lang, op basis van het [DTM] is minimaal ca. 80 à 120 m kwelweg aanwezig. Omdat de locatie van geul niet precies bekend is kan niet worden bepaald waar het intredepunt voor de Pleistocene zandlaag ligt.

In de buurt van raai 6, raai 61, raai 86 en raai 106 is een tussenzandlaag aanwezig. Indien deze zandlaag watervoerend is kan piping niet worden uitgesloten. Aangezien niet bekend is of deze watervoerend is, wordt deze tussenzandlaag ook getoetst op piping.

De gegevens voor de berekening voor piping zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Gegevens voor piping-berekening

	Raai 6		Raai 41	Raai 61		Raai 86		Raai 106	
	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag
Bovenzijde zandlaag [m NAP]	-13	-3	-12,5	-10	-5	-12	-8	-7	-7
Dikte zandlaag [m]	> 10 [2)]	5	50 [2)]	50 [2)]	5	50 [2)]	2	50 [2)]	4
Maaiveld-hoogte achterland [m NAP]	-2,40	-2,40	-1,13	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-1,9	-1,9
Dikte deklaag [m]	10	0,5	11,5	8,75	3,75	11,5	7,5	5,1	5,1
MHW [m NAP]	5,00	5,00	5,50	5,40	5,40	5,49	5,49	5,91	5,91
Polderpeil [m NAP]	-0,7	-0,7	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
Verval [m]	5,7	5,7	6,8	6,7	6,7	6,79	6,79	7,21	7,21
Aanwezige kwelweg-lengte [m]	> 100 [1)]	45	> 96 [1)]	> 111 [1)]	> 111 [1)]	> 90 [1)]	> 90 [1)]	> 95 [1)]	> 95 [1)]
Stijghoogte ter plaatse van sloot [m NAP]	2,50	2,50	2,75	2,70	2,70	2,75	2,75	2,96	2,96

[1)] Het intredepunt bevindt zich daar waar de geul de Pleistocene zandlaag snijdt. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar. Voor de kwelweglengte is daarom uitgegaan van de het punt waar nog gegevens [DTM] beschikbaar zijn
[2)] De dikte van de zandlaag is geschat, omdat de sonderingen niet diep genoeg reikten.

Voor de formule van Bligh wordt uitgegaan van een creep-factor van 18 (-), geldig voor zeer fijn zand. Voor de formule van Sellmeijer wordt uitgegaan van een schatting van de k-waarde van 5 m/dag en een d_{70} van 200 mμ.

Conform [TRZ, 1999] wordt als eis voor opdrijven en opbarsten een veiligheidsfactor van $\gamma = 1,2$ (-) gehanteerd.

De resultaten van de toets op piping zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Resultaten toets op piping

	Raai 6		Raai 41	Raai 61		Raai 86		Raai 106	
	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag	Pleist. zandlaag	Tussen-zandlaag
Opbarst-veiligheid [-]	1,23	0,15	1,06	1,17	0,87	0,97	0,97	0,60	0,60
Opbarsten voldoet?	ja	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	Nee
Benodigde kwelweg-lengte Bligh [m]	nvt	100	60	73	100	60	82	102	102
Benodigde kwelweg-lengte Sellmeijer [m]	nvt	36	36	45	36	36	23	67	35
Piping voldoet?	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

De resultaten van de berekeningen van Bligh en Sellmeijer verschillen, vooral bij een dunne tussenzandlaag, veel van elkaar. Dit komt met name omdat de formule van Bligh geen rekening houdt met de dikte van de zandlaag, de doorlatendheid en de korrelgrootte.

Omdat aannames zijn gedaan van doorlatendheid van de laag, de korrelgrootte en de ligging van het intredepunt kan geen definitief oordeel worden gegeven over de pipinggevoeligheid van de tussenzandlaag bij raai 6. Aanbevolen wordt om de respons van de freatische lijn in de tussenzandlaag en in de zanddijk op het buitenwaterpeil te bepalen met behulp van peilbuismetingen.

4.3. Microstabiliteit

Bij de raaien 41, 61, 86 en 106 wordt de zanddijk afgedekt door een kleilaag met een dikte van ca. 0,6 m. Bij MHW kan infiltratie plaatsvinden door het buitentalud, doordat de oude kleidijk inwendig overstroomt. Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat hierdoor de waterstand in de zandkern van de dijk met 0,75 m verhoogd kan worden. Door deze verhoging kan een verval over de kleideklaag ontstaan. Of dit gebeurt is onder andere afhankelijk van de aanwezigheid en werking van drainage ter plaatse van de binnenteen. Gezien het beperkte oppervlak waarover water binnen kan dringen (alleen boven de oude kleidijk) en dat de bekleding aan de buitenzijde dikker is dan aan de binnenzijde, blijft de opbouw van waterspanningen onder de kleilaag ter plaatse van de binnenteen beperkt en is de veiligheid ten aanzien van microstabiliteit voldoende.

5. BEREKENINGSRESULTATEN ONTWERP

5.1. Hoogte

De huidige kruinhoogte, de benodigde kruinhoogte en de benodigde ophoging voor spoor 3 en 4 zijn weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Kruinhoogtes

Raai	Huidige hoogte [m NAP]	Benodigde hoogte [m NAP]	Benodigde (netto) ophoging [m]
6	7,66	7,19	n.v.t. [1)]
41	8,15	8,22	0,07
61	8,08	8,41	0,33
86	7,72	8,17	0,45
106	8,03	9,98	1,95

[1)] Er is van uitgegaan dat de huidige kruin niet verlaagd wordt.

5.2. Benodigd ruimtebeslag (spoor 3 en 4)

Het ruimtebeslag voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit (STBI en STBU) is bepaald als de verschuiving van respectievelijk de binnenteen en de buitenteen op het niveau van de huidige teen, als gevolg van de benodigde taludverflauwing en bermverbreding.

De berekeningsresultaten voor de binnen- en buitenwaartse stabiliteit zijn gepresenteerd in tabel 10. In de bijlage zijn de berekeningsresultaten weergegeven.

Tabel 10: Berekeningsresultaten binnen- en buitenwaartse stabiliteit

	Variant	Extra ruimtebeslag binnenzijde [m]	Extra ruimtebeslag buitenzijde [m]	Extra ruimte beslag totaal [m]
Raai 6	Waterbelasting dominant	12 [1)]	STBU voldoet	12
	Aardbevingsbelasting dominant	6 [1)]	STBU voldoet	6
Raai 41	Waterbelasting dominant	14 [2)]	STBU voldoet	14
	Aardbevingsbelasting dominant	26 [2)]	6 [3)]	32
Raai 61	Waterbelasting dominant	12 [4)]	STBU voldoet	12
	Aardbevingsbelasting dominant	12 [4)]	STBU voldoet	12
Raai 86	Waterbelasting dominant	15 [4)]	STBU voldoet	15
	Aardbevingsbelasting dominant	15 [4)]	STBU voldoet	15
Raai 106	Waterbelasting dominant	23 [4)]	STBU voldoet	23
	Aardbevingsbelasting dominant	23 [4)]	STBU voldoet	23

[1)] In afwijking van de uitgangspunten is een steiler binnentalud (binnenteen-berm) van 1v:4h gehanteerd, omdat hiermee aan de stabiliteitseis wordt voldaan bij een kleiner ruimtebeslag

[2)] Bij de Bishop methode voldoet STBI niet aan de rand van de berm, omdat ernaast een sloot ligt. Als maatregel is daarom de sloot gedempt, omdat anders een veel langere berm nodig zou zijn. In de praktijk zal een nieuwe sloot op enige afstand van de berm moeten worden aangelegd.

[3] Om te voldoen aan de stabiliteitseis voor STBU is een maximale yield-versnelling van 0,42 m/s^2 (terugkeertijd ca. 700 jaar) toelaatbaar
[4] Het ruimtebeslag wordt bepaald door de eisen ten aanzien van de geometrie en niet door eisen ten aanzien van de stabiliteit.

Te zien is dat bij raai 61, 86 en 106 hetzelfde ruimtebeslag benodigd is voor spoor 3 (waterbelasting dominant) als spoor 4 (aardbevingsbelasting dominant). Dit wordt veroorzaakt doordat het talud aan de binnenzijde (berm-kruin) 1v:4h dient te bedragen en de bermbreedte minimaal 5 m (eis vanuit het waterschap i.v.m. beheer en onderhoud). Bij deze raaien bepalen de eisen ten aanzien van de geometrie het benodigde ruimtebeslag en niet de minimaal benodigde stabiliteitsfactor.

5.3. Piping en Microstabiliteit

Voor piping geldt in principe hetzelfde als voor de resultaten van de hertoets. Wel dient de nieuwe pipingregel te worden gehanteerd, waardoor de benodigde kwelweglengte over het algemeen toeneemt. Bij de nieuwe pipingregel mag echter ook op heave worden beoordeeld. Dit houdt in dat wanneer het verval over een opgebarsten deklaag voldoende klein is, heave kan worden uitgesloten, waardoor niet of nauwelijks zandtransport kan ontstaan. Het heave criterium luidt:

$$i_{optr} = \left(\frac{\varphi_0 - h_p}{D}\right)_{optr} \leq i_{toel}$$

Waarin:

i_{optr}	= optredende verhang	[-]
φ_0	= stijghoogte aan de onderzijde van de deklaag	[-]
h_p	= polderpeil (vrije waterspiegel of maaiveld)	[m NAP]
D	= dikte deklaag	[m NAP]
i_{toel}	= toelaatbaar verhang	[-]

In tabel 11 zijn de resultaten van de beoordeling van het heave criterium weergegeven.

Tabel 11: Berekeningsresultaten heave vanuit pleistoceen

Raai	Ontwerppeil [m NAP]	Stijghoogte binnenzijde [1] [m NAP]	Polderpeil [m NAP]	Verval [m]	Dikte deklaag [m NAP]	Verhang (eis < 0,5) [m]
Raai 6	5,5	2,8	-0,7	3,5	-13,0 - -2,4 = 10,6	0,33
Raai 41	6,3	3,2	-1,3	4,5	-12,5 - -1,9 = 11,5	0,39
Raai 61	6,2	3,1	-1,3	4,4	-10 - -1,4 = 8,6	0,51
Raai 86	6,2	3,1	-1,3	4,4	-12 - -1,4 =10,6	0,42
Raai 106	6,7	3,4	-1,3	4,7	-15 - -2,3 = 12,7	0,37

[1] Uitgaande van 50% respons bij de binnenteen van de huidige waterkering

Uit tabel 11 blijkt dat alleen ter plaatse van raai 61 net niet aan het heave criterium wordt voldaan. In de berekening is echter voor de berekening van het verval uitgegaan van polderpeil. Indien uit wordt gegaan van het maaiveldniveau wordt wel voldaan aan het heave criterium.

Op diverse locaties, maar net name in de buurt van raai 6, zijn tussenzandlagen aanwezig. Op basis van de huidige beschikbare informatie lijken deze niet watervoerend te zijn. Geadviseerd

wordt om meer onderzoek naar het al dan niet watervoerend zijn van deze tussenzandlagen te doen. Indien deze wel watervoerend zijn dient hier in het ontwerp rekening mee te worden gehouden, bijvoorbeeld door deze lagen af te sluiten.

Evenals voor de resultaten van de hertoets op microstabiliteit kan een verhoging van de waterstand in de kruin, als gevolg van het inwendig overstromen van de oude kleidijk, ontstaan. Hierdoor kan een verval over de aanwezige kleideklaag ontstaan. Of dit gebeurt is onder andere afhankelijk van de aanwezigheid en werking van drainage ter plaatse van de binnenteen. Geadviseerd wordt in het ontwerp de kleideklaag te dimensioneren op microstabiliteit of te zorgen voor voldoende drainage bij de binnenteen van de dijk.

6. CONCLUSIES

In deze memo zijn voor raai 6, 41, 61, 86 en 106 de resultaten van een hertoets en ontwerp (niveau schetsontwerp) gepresenteerd. Het doel van de berekeningen is om het benodigd ruimtebeslag te bepalen.

Op basis van de berekeningen varieert het benodigd extra ruimtebeslag aan de binnenzijde voor de situatie waarbij de waterbelasting dominant is (spoor 3) tussen ca. 10 en 25 m. Voor de situatie waarbij de aardbevingsbelasting dominant is (spoor 4) varieert het benodigd extra ruimtebeslag tussen ca. 5 en 25 m. Bij raai 61, 86 en 106 wordt het ruimtebeslag voor zowel spoor 3 (waterbelasting dominant) als spoor 4 (aardbevingsbelasting dominant) bepaald door de eisen aan de geometrie en niet door de eisen ten aanzien van de stabiliteit. Hierdoor is het ruimtebeslag voor spoor 3 en 4 voor deze raaien hetzelfde.

Aan de buitenzijde is alleen voor raai 41 voor de aardbevingssituatie extra ruimtebeslag van ca. 6 m benodigd. Zonder versterking is de stabiliteit bij een aardbevingsbelasting met een terugkeertijd van ca. 700 jaar (eis 1300 jaar) voldoende.

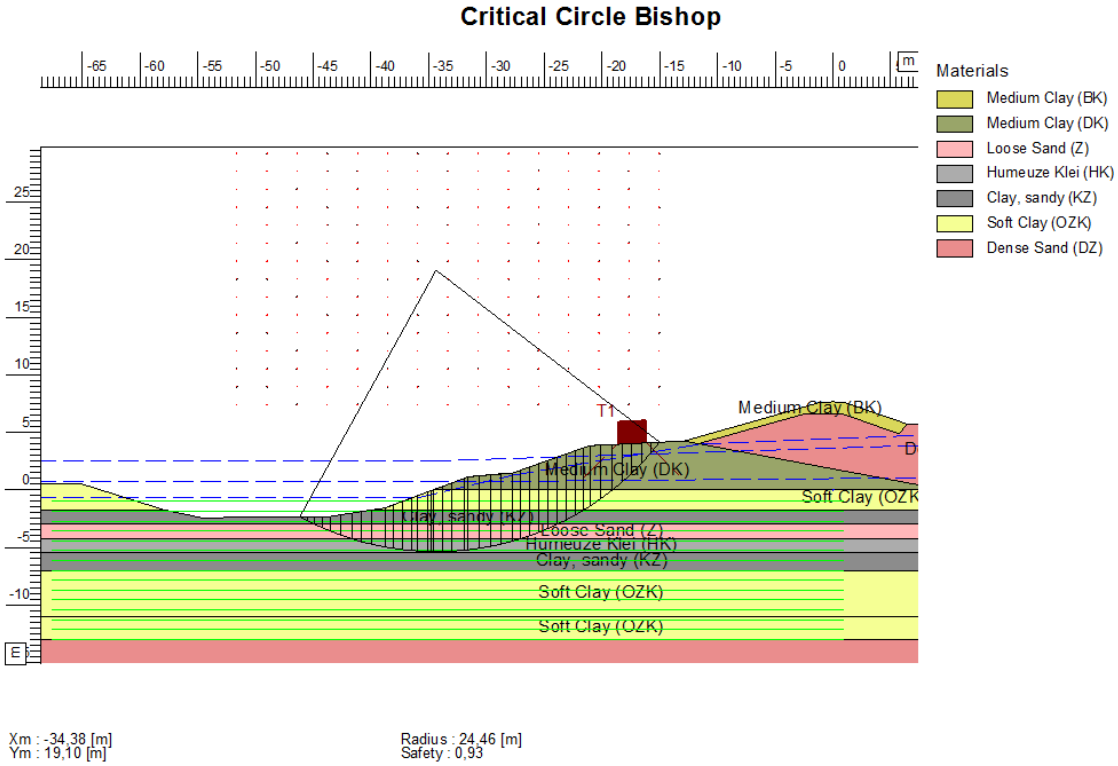
Ter plaatse van raai 6 is het ontwerp voor de waterbelasting maatgevend ten opzichte van de aardbevingsbelasting. Reden hiervoor is met name de lagere norm die voor dit dijktraject geldt, waardoor de aardbevingsbelasting significant afneemt. Het effect van een afwijkende norm heeft dus een grotere invloed op het effect van de aardbevingsbelasting dan op het effect van de waterbelasting.

Bijlagen:

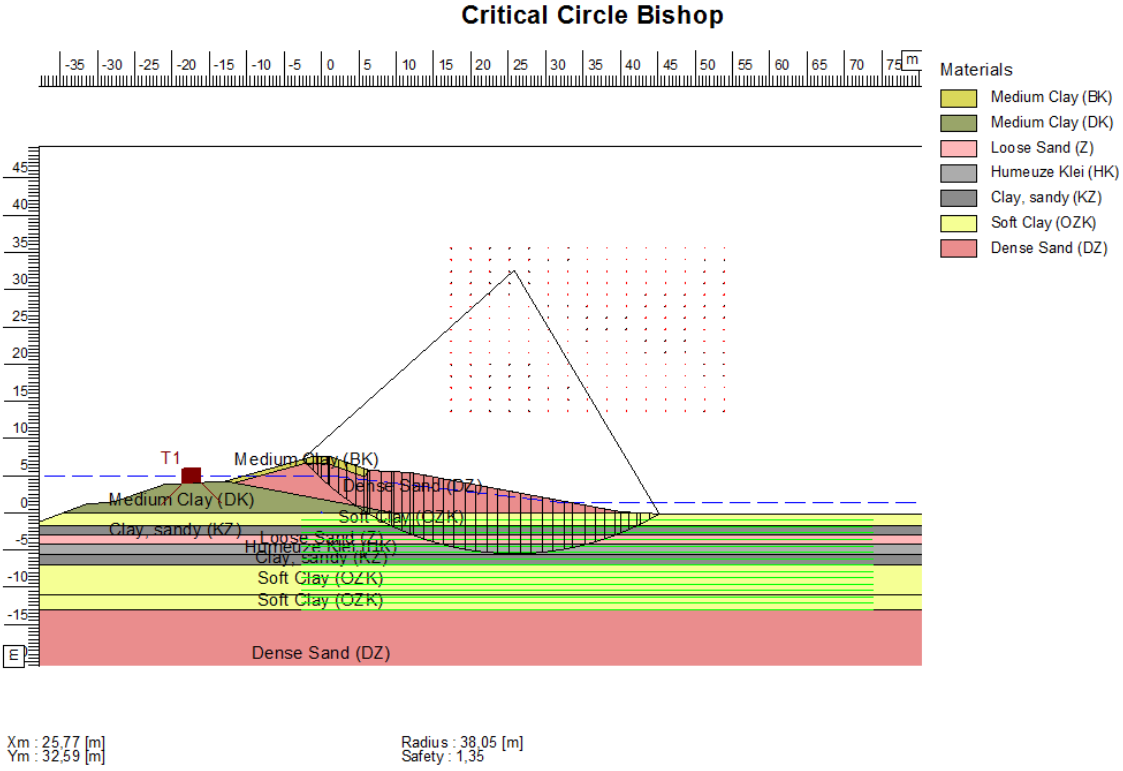
Berekeningsresultaten 1

BIJLAGE 1

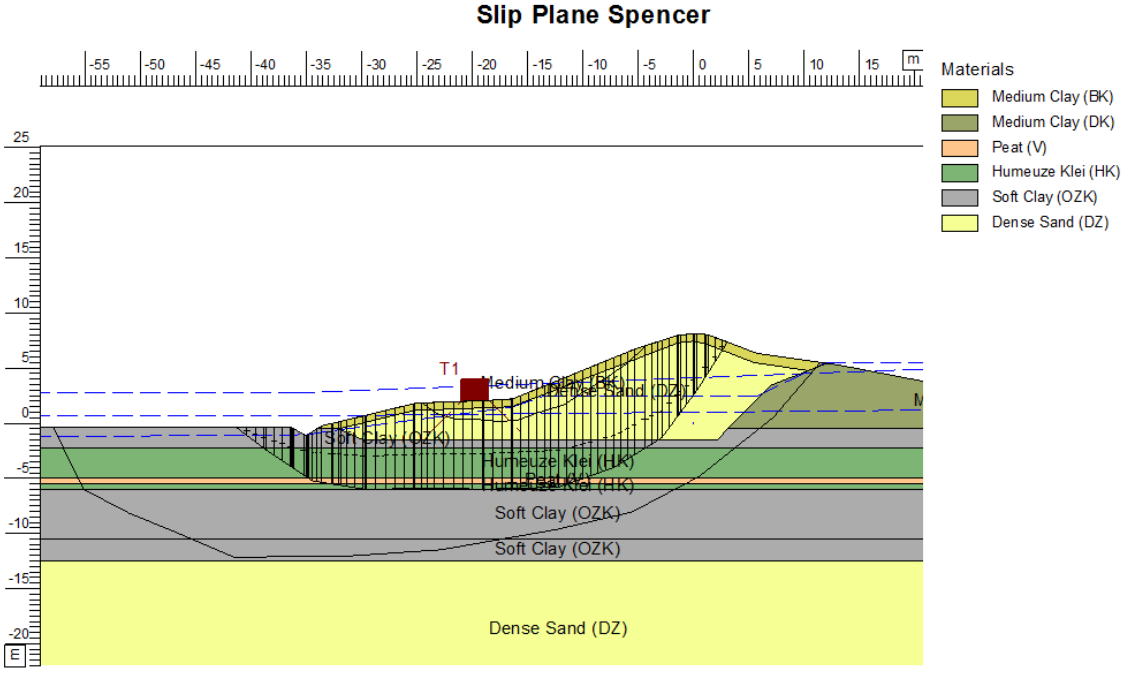
Resultaten STBI hertoets raai 6



Resultaten STBU hertoets raai 6

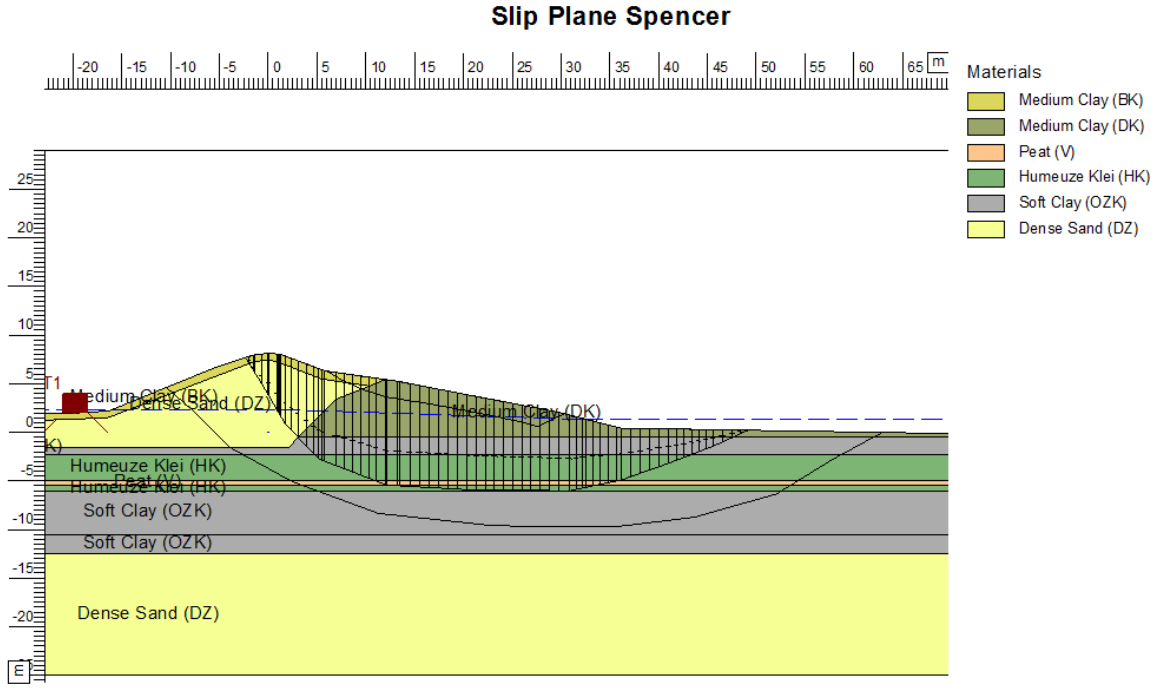


Resultaten STBI hertoets raai 41



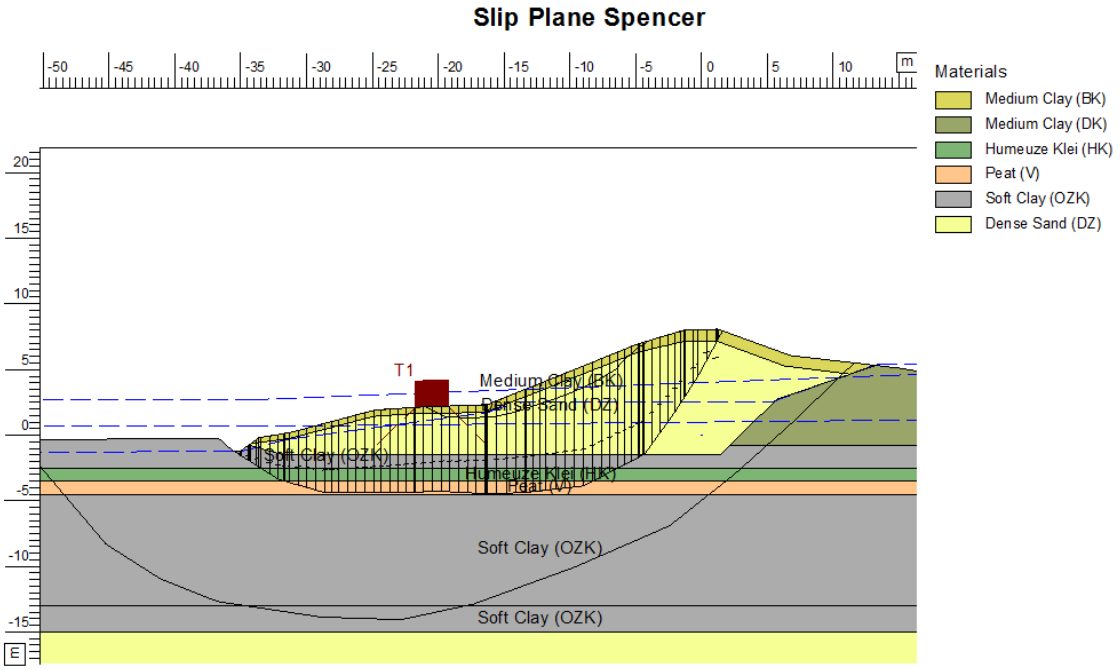
Safety : 0.94

Resultaten STBU hertoets raai 41



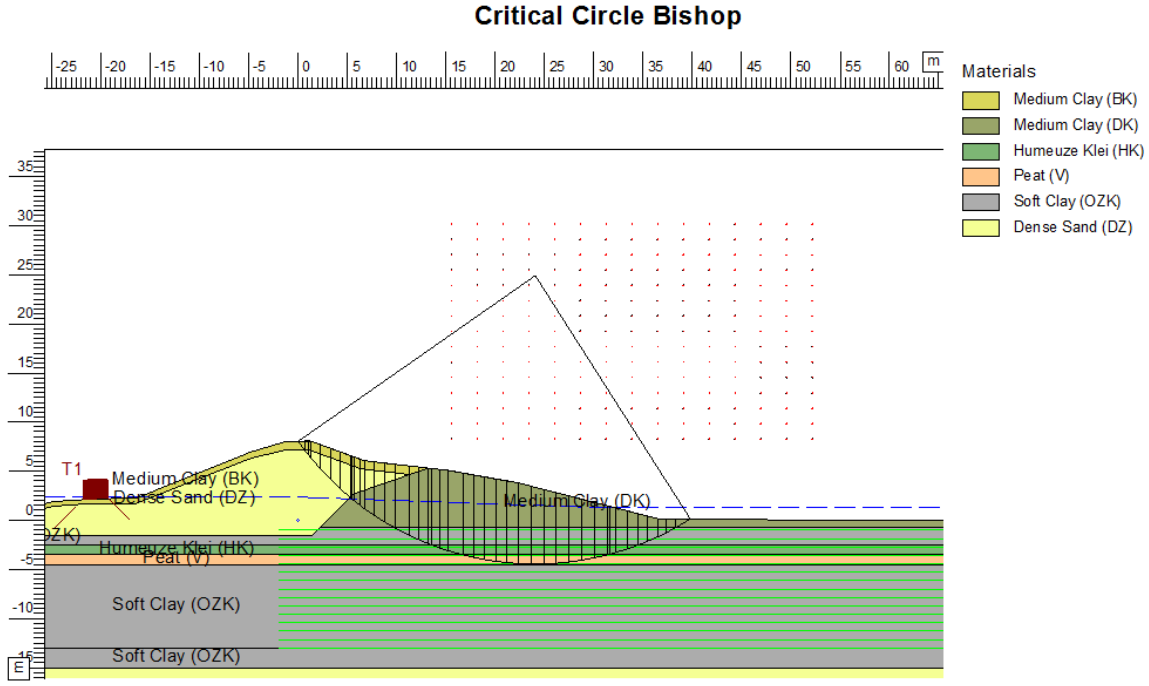
Safety : 1,21

Resultaten STBI hertoets raai 61



Safety : 1,02

Resultaten STBU hertoets raai 61

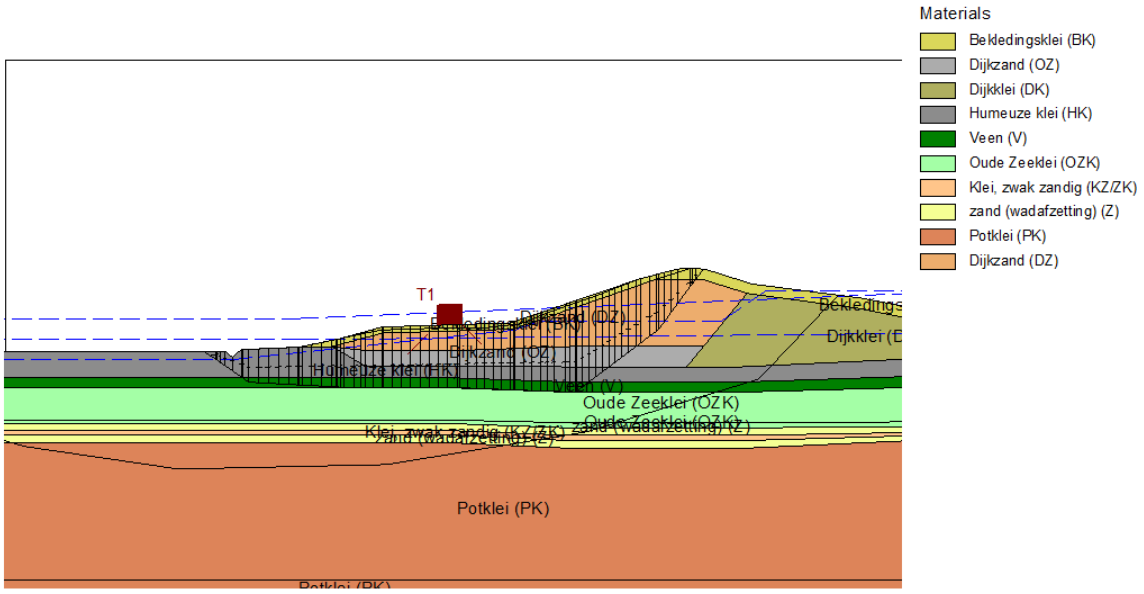


Xm : 24,05 [m]
Ym : 24,92 [m]

Radius : 29,36 [m]
Safety : 1,36

Resultaten STBI hertoets raai 86

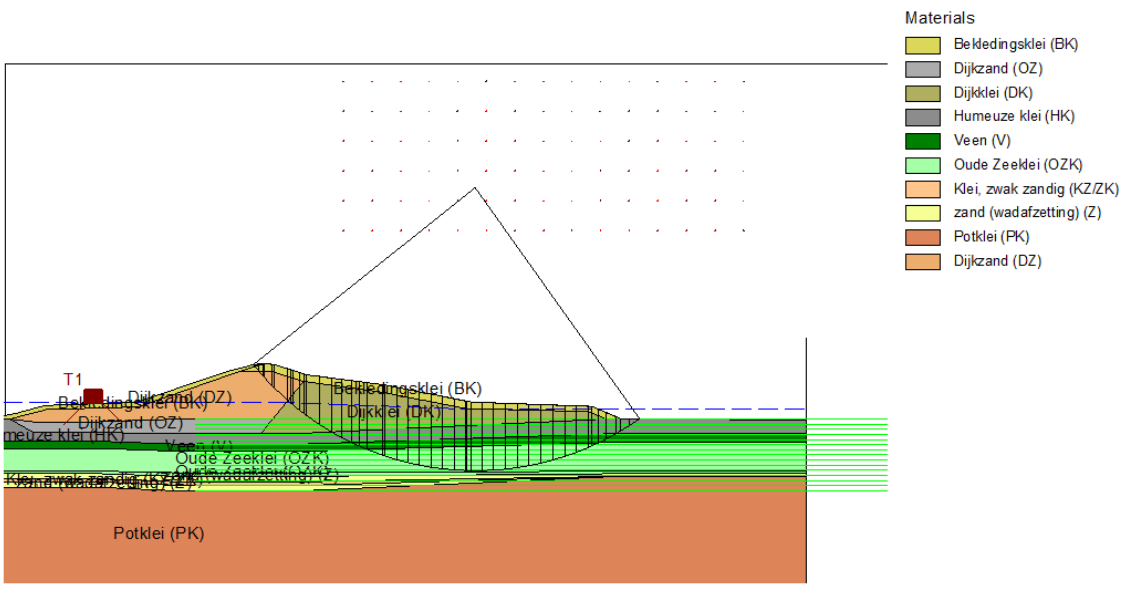
Slip Plane Spencer



Safety : 1,13

Resultaten STBU hertoets raai 86

Critical Circle Bishop

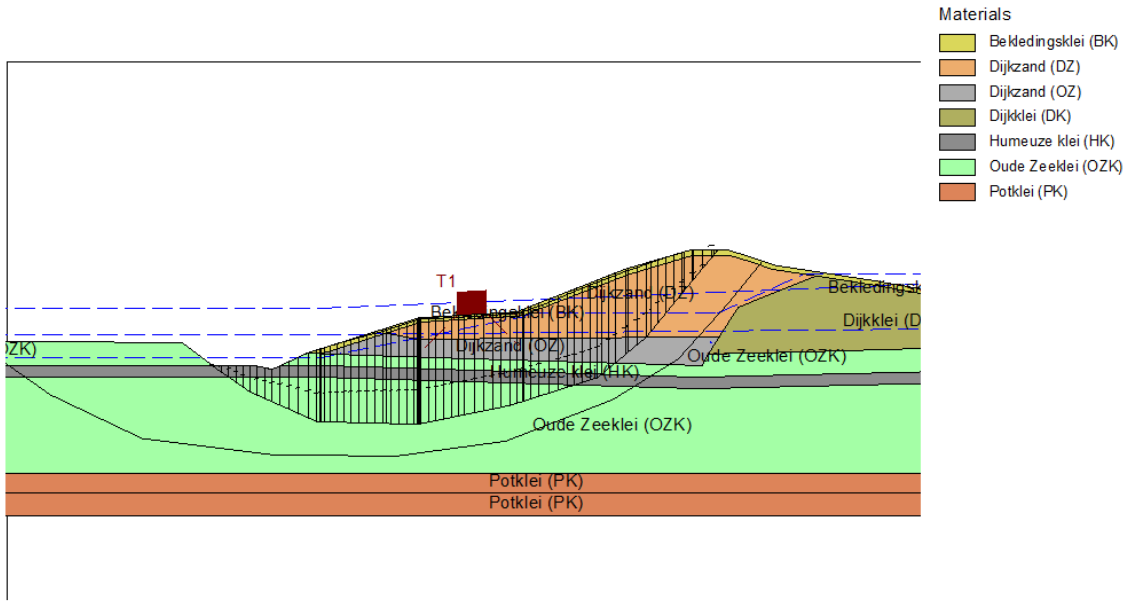


Xm : 139,20 [m]
Ym : 32,19 [m]

Radius : 39,39 [m]
Safety : 1,67

Resultaten STBI hertoets raai 106

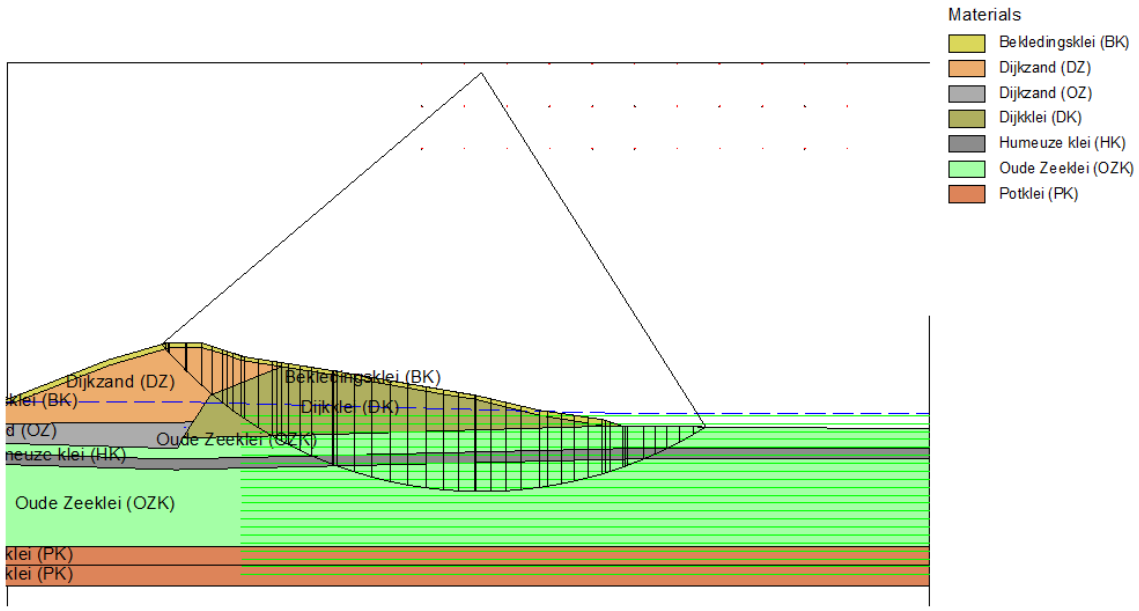
Slip Plane Spencer



Safety : 1,07

Resultaten STBU hertoets raai 106

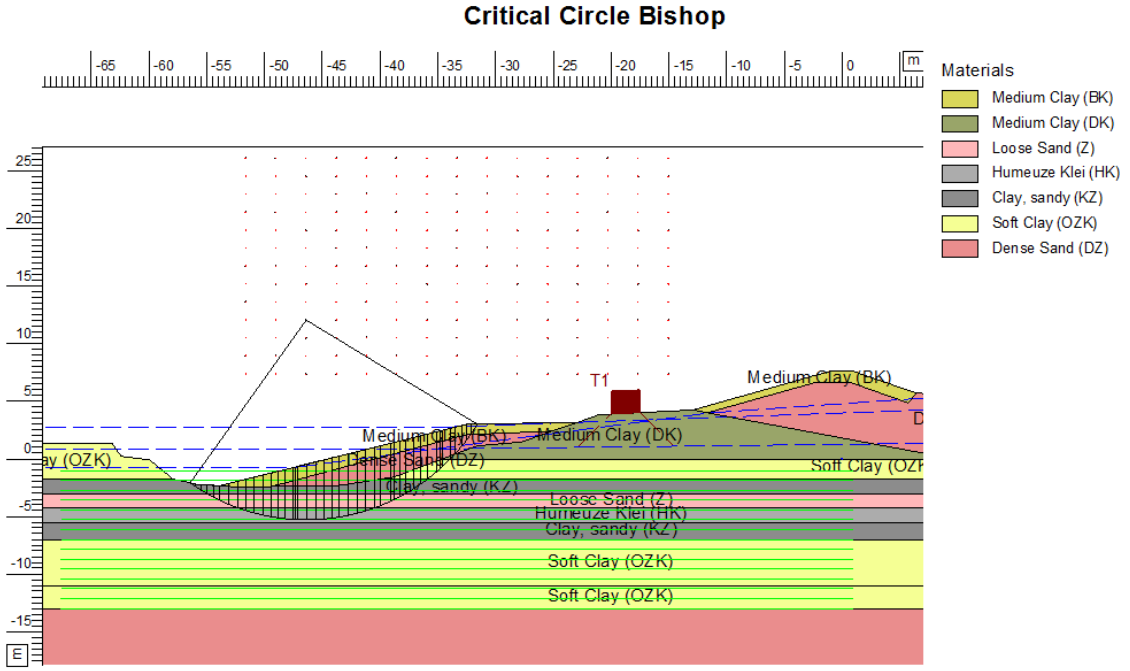
Critical Circle Bishop



Xm : 27,85 [m]
Ym : 33,47 [m]

Radius : 39,52 [m]
Safety : 1,62

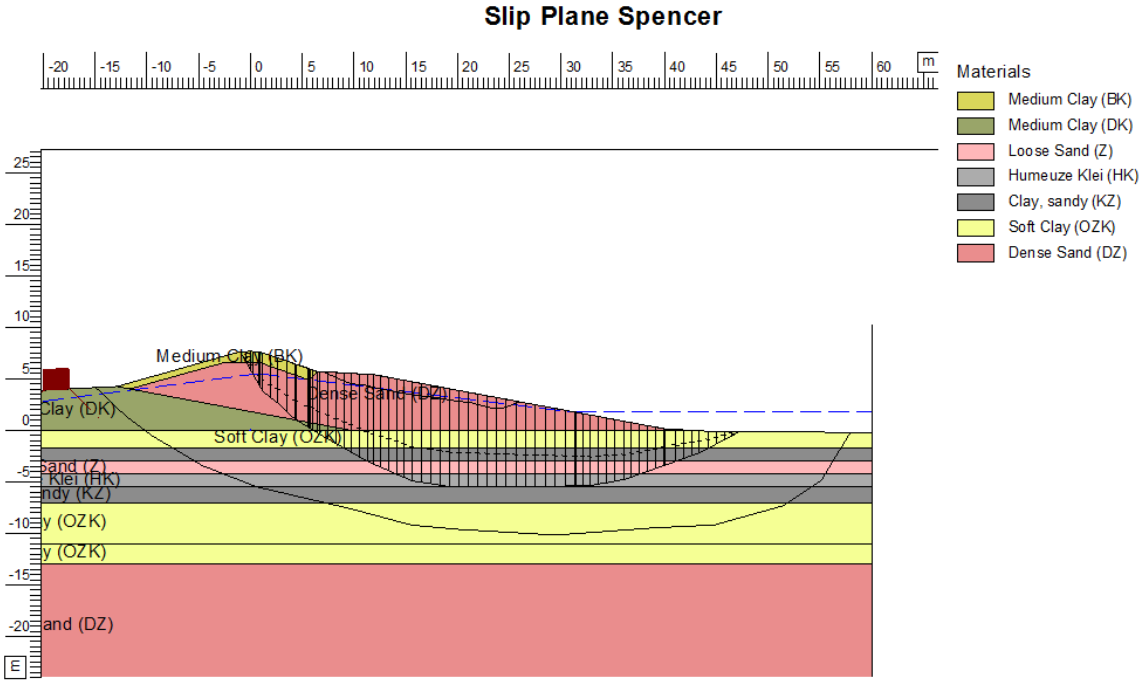
Resultaten STBI spoor 3 raai 6



Xm : -46,39 [m]
Ym : 12,07 [m]

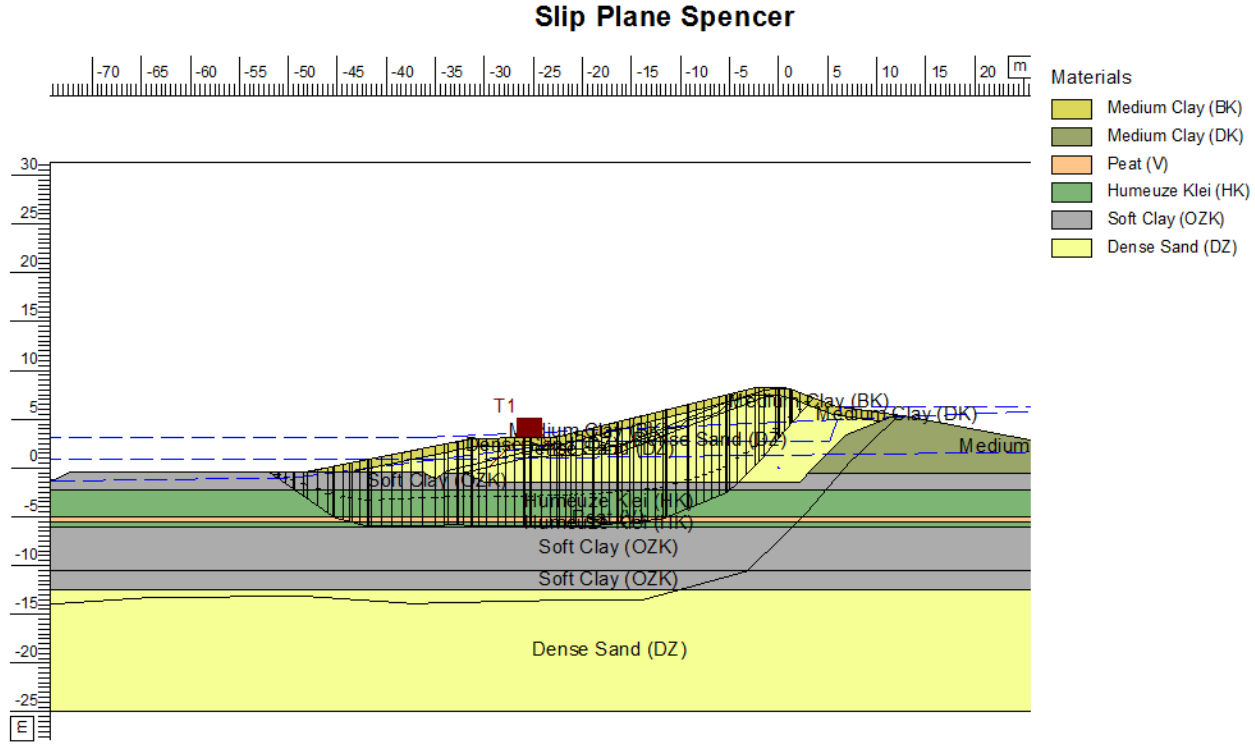
Radius : 17,36 [m]
Safety : 1,16

Resultaten STBU spoor 3 raai 6



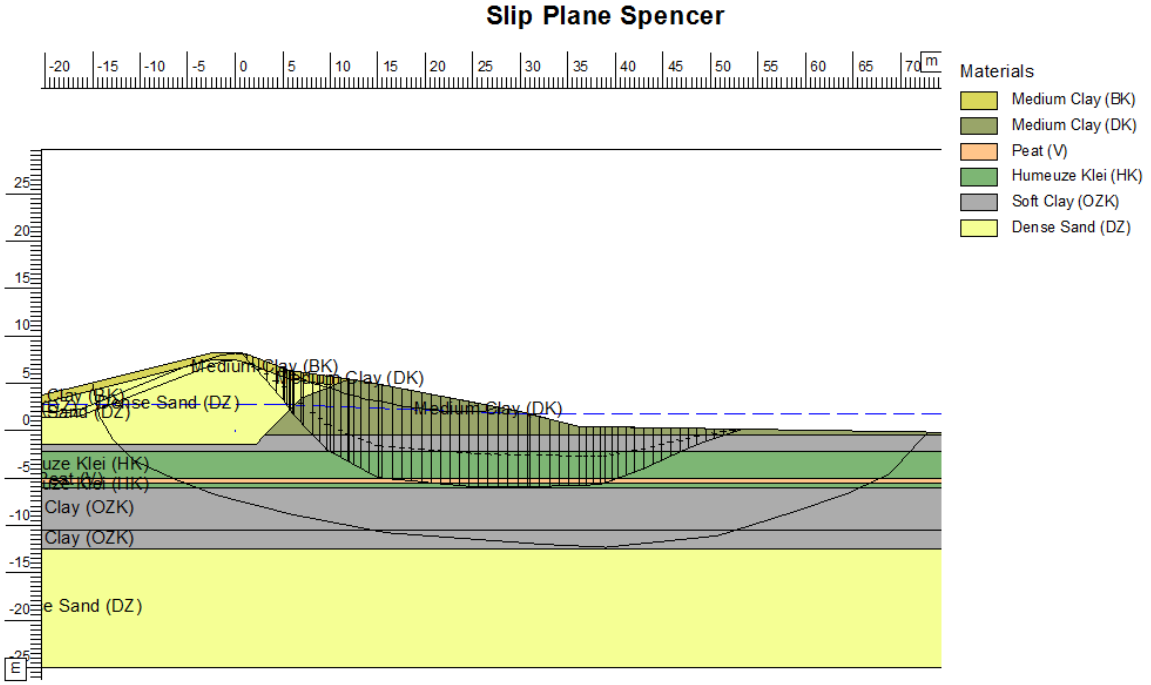
Safety : 1,29

Resultaten STBI spoor 3 raai 41



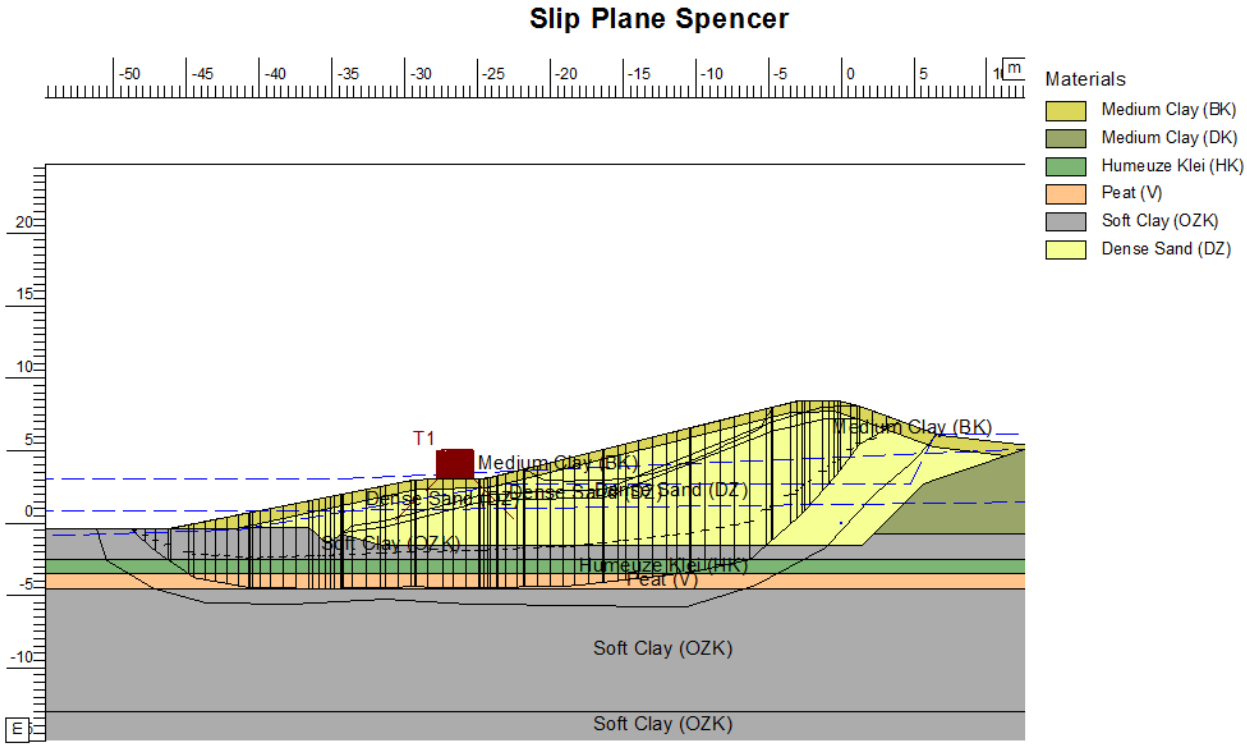
Safety : 1,15

Resultaten STBU spoor 3 raai 41



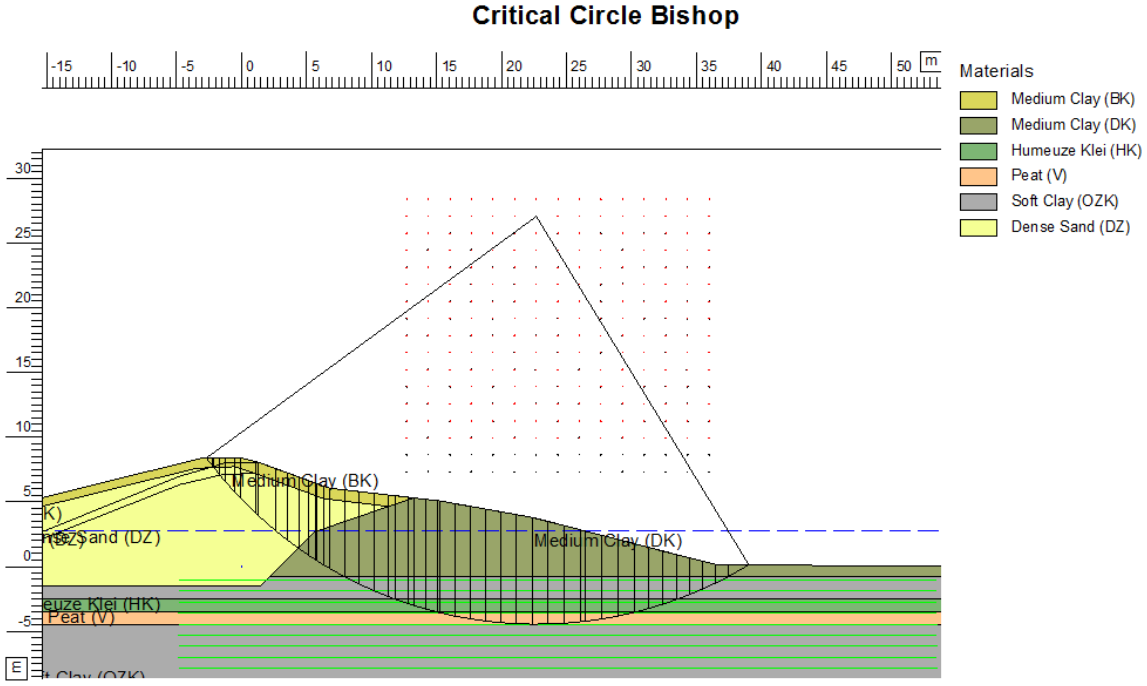
Safety : 1,32

Resultaten STBI spoor 3 raai 61



Safety : 1,26

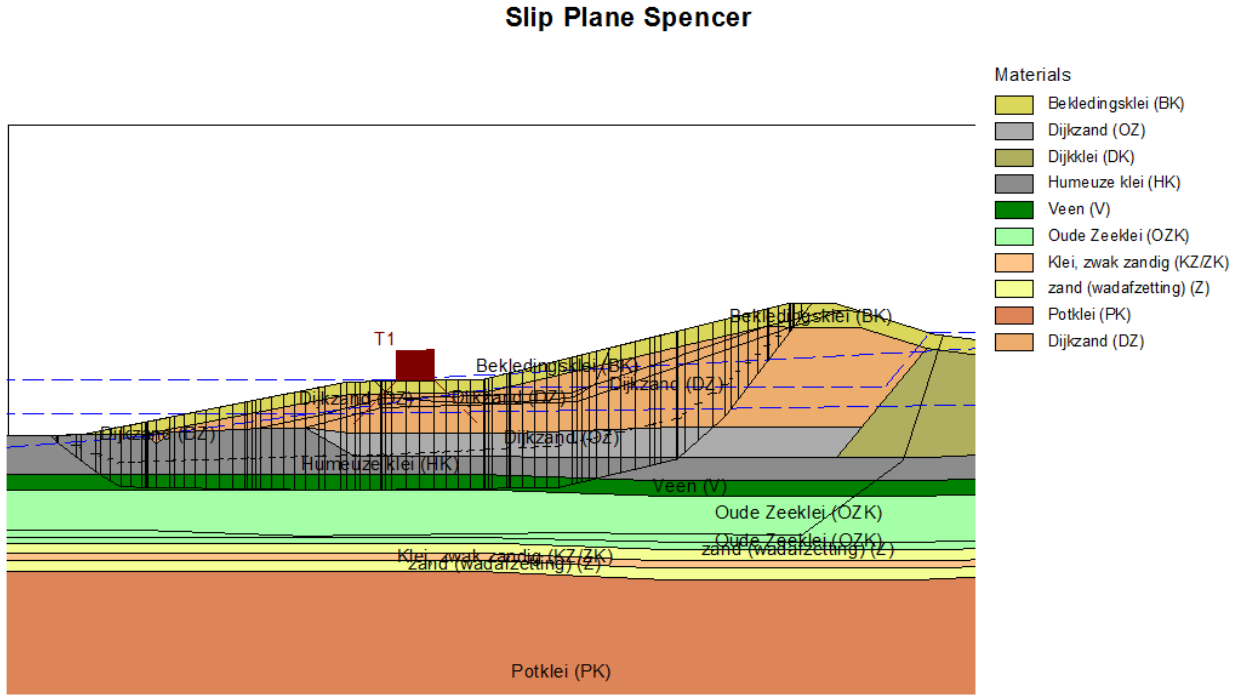
Resultaten STBU spoor 3 raai 61



Xm : 22,67 [m]
Ym : 27,07 [m]

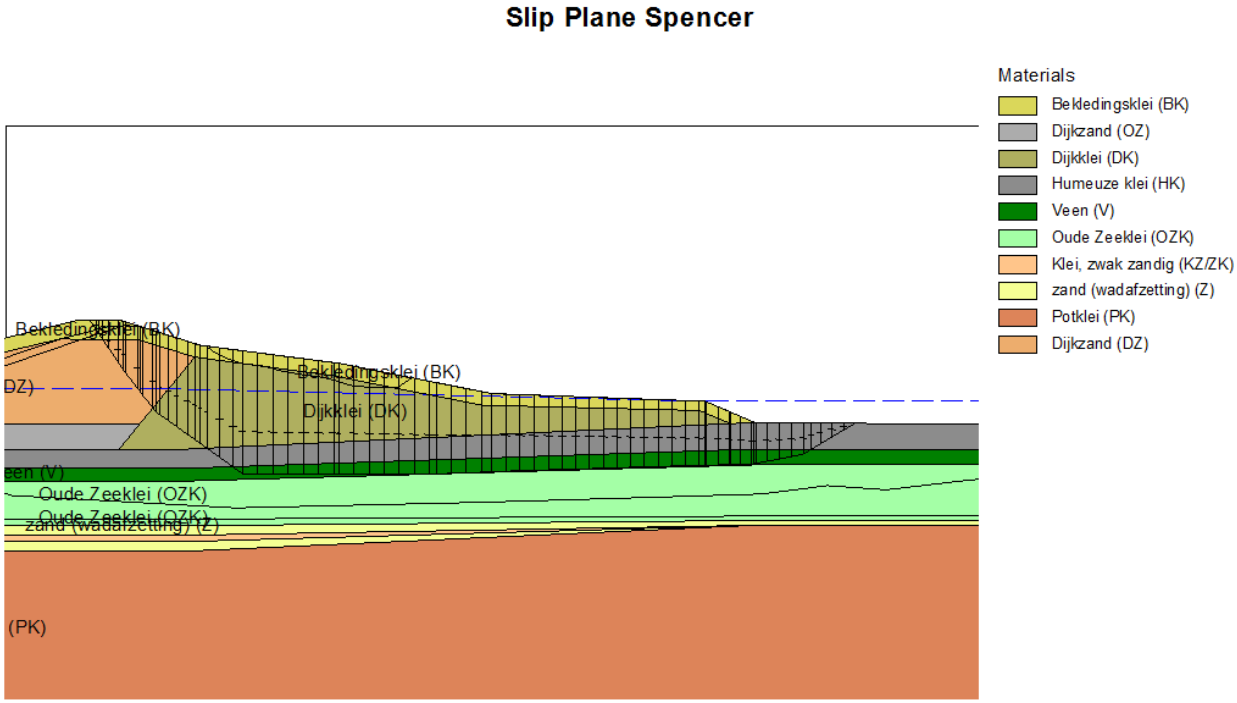
Radius : 31,50 [m]
Safety : 1,44

Resultaten STBI spoor 3 raai 86



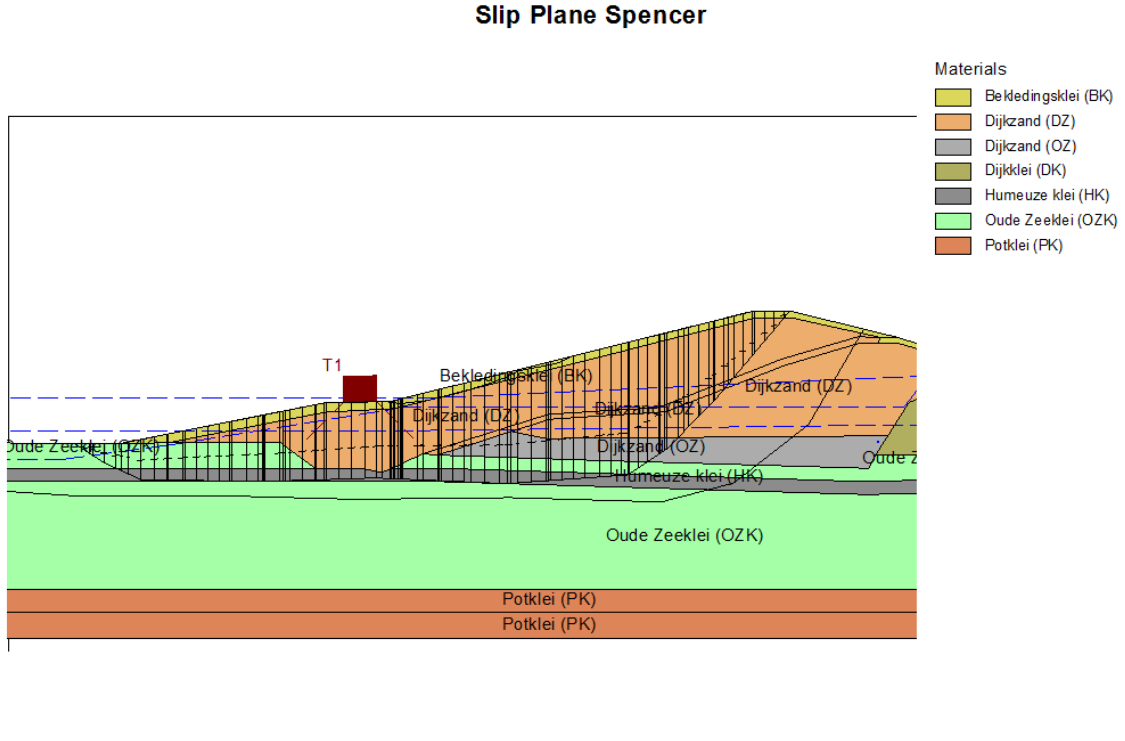
Safety : 1,16

Resultaten STBU spoor 3 raai 86



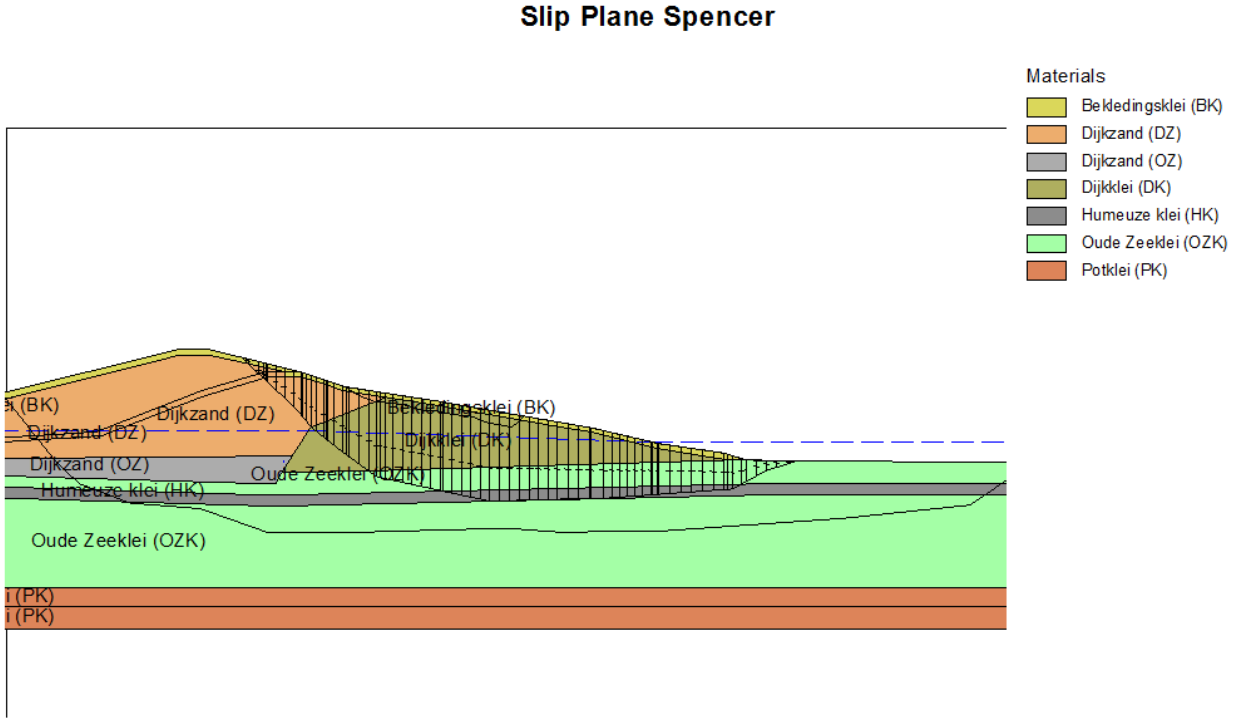
Safety : 1,40

Resultaten STBI spoor 3 raai 106



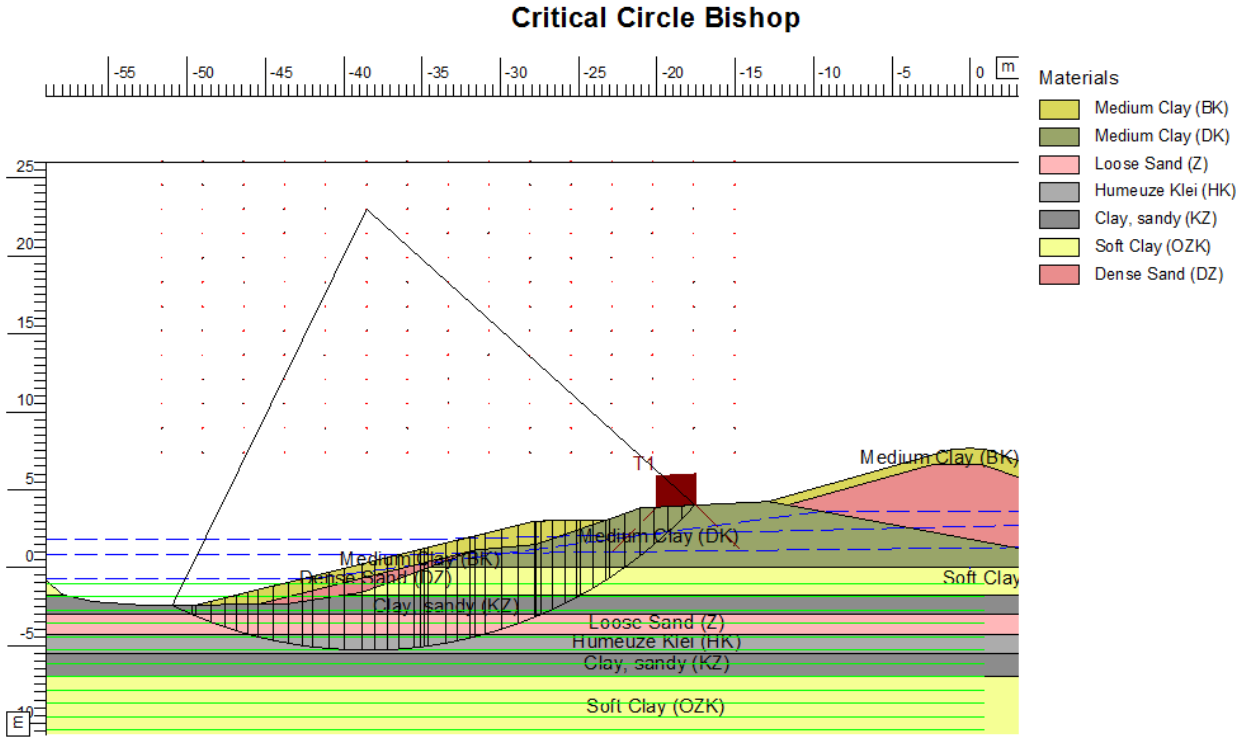
Safety : 1,33

Resultaten STBU spoor 3 raai 106



Safety : 1,49

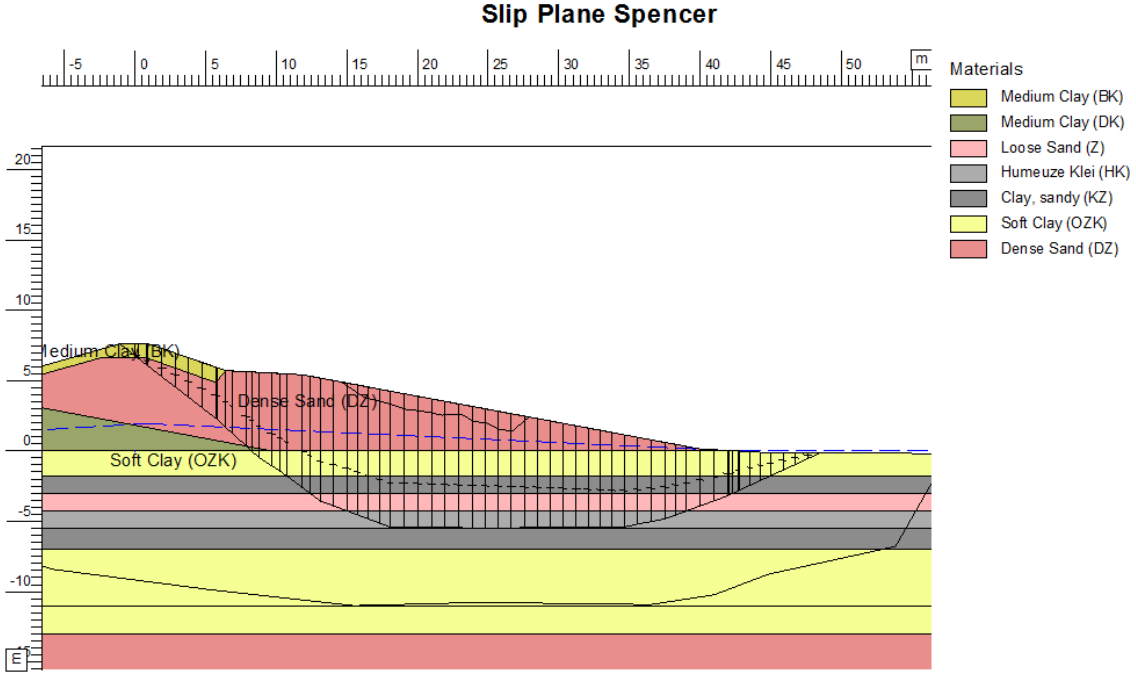
Resultaten STBI spoor 4 raai 6



Xm : -38,55 [m]
Ym : 23,00 [m]

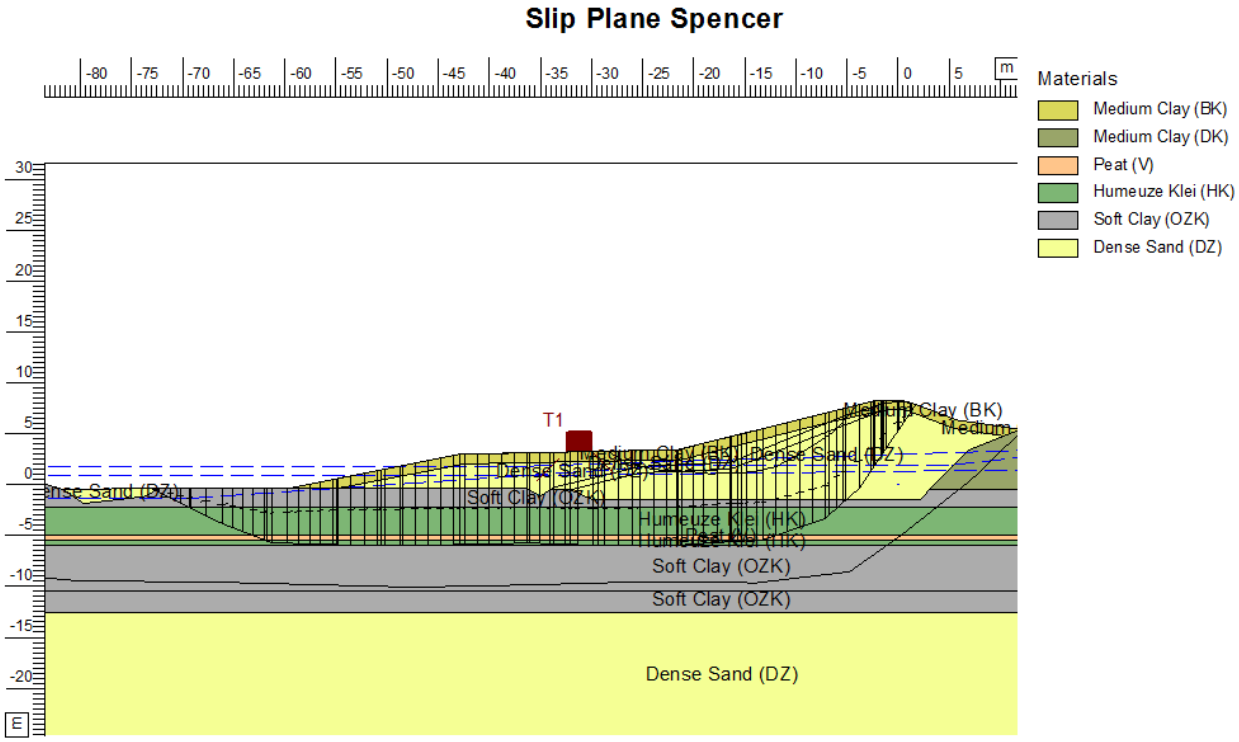
Radius : 28,29 [m]
Safety : 1,00

Resultaten STBU spoor 4 raai 6



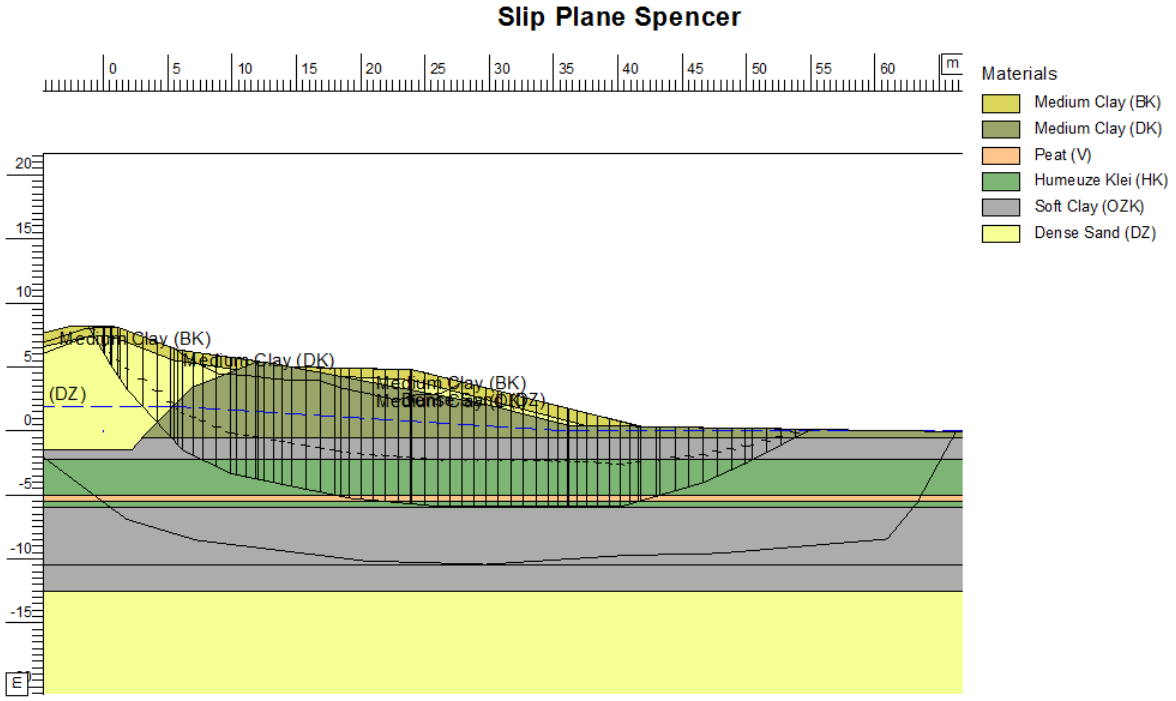
Safety : 1,26

Resultaten STBI spoor 4 raai 41



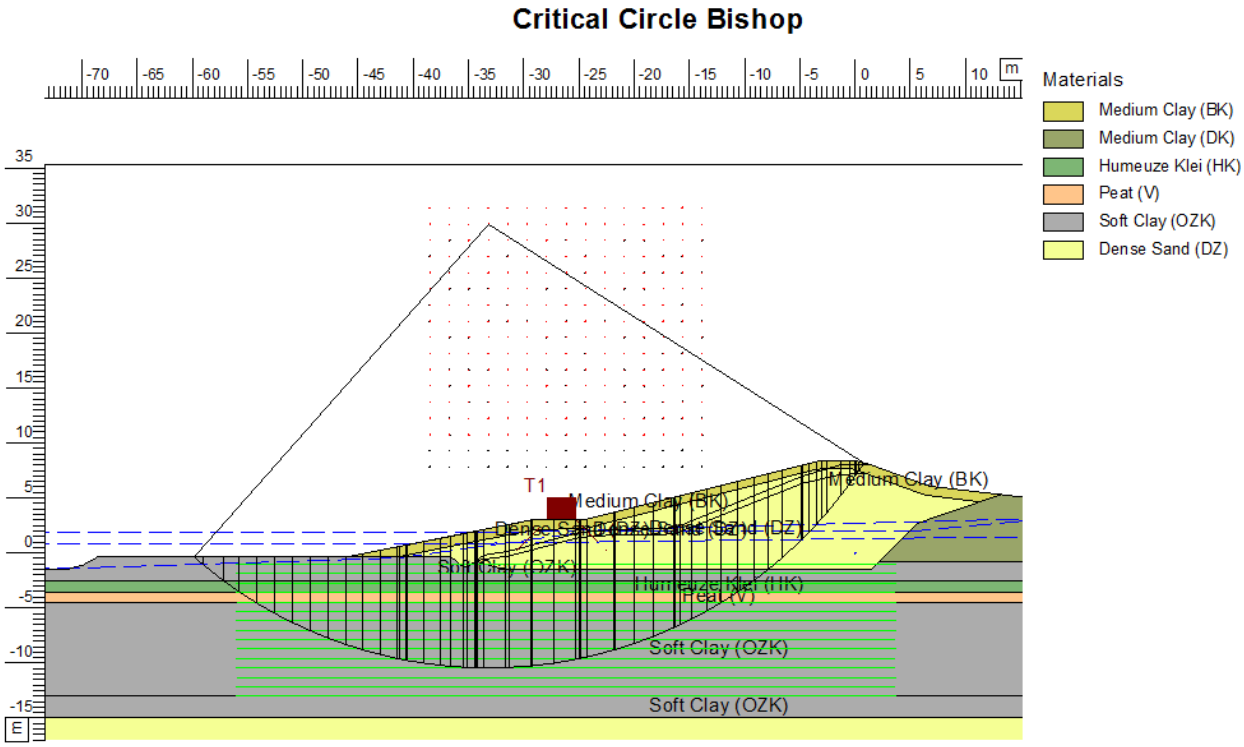
Safety : 0,98

Resultaten STBU spoor 4 raai 41



Safety : 0,98

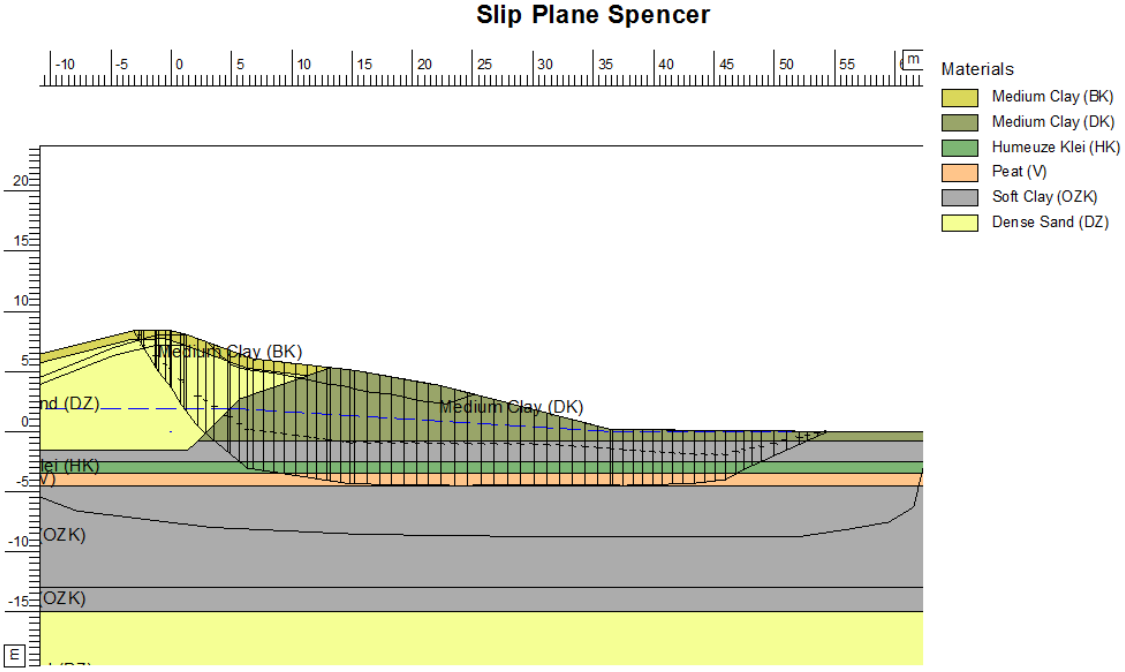
Resultaten STBI spoor 4 raai 61



Xm : -33,19 [m]
Ym : 29,88 [m]

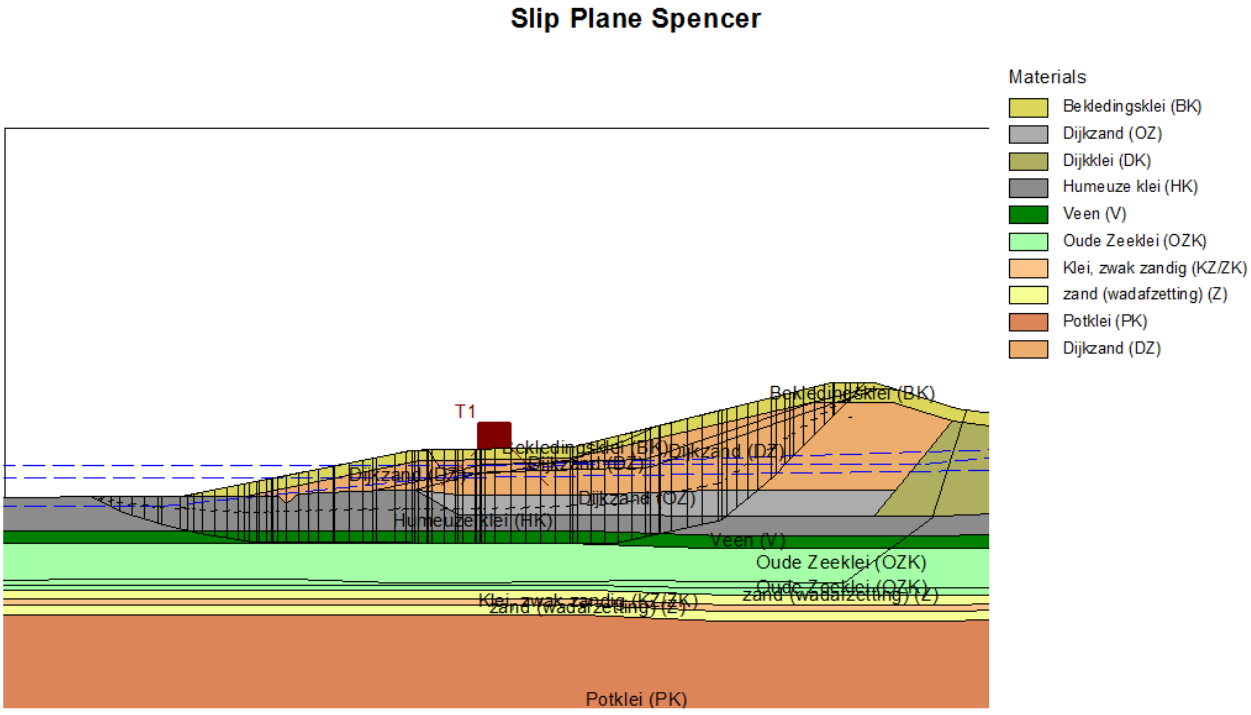
Radius : 40,31 [m]
Safety : 1,02

Resultaten STBU spoor 4 raai 61



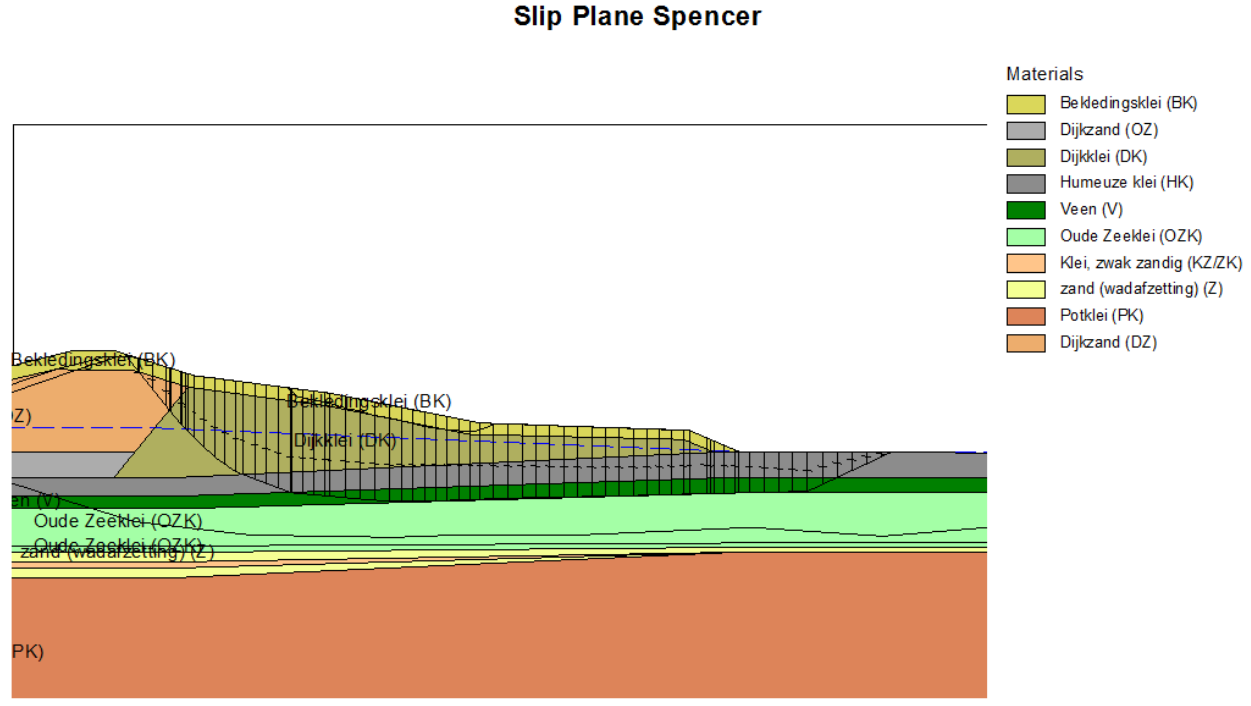
Safety : 1,00

Resultaten STBI spoor 4 raai 86



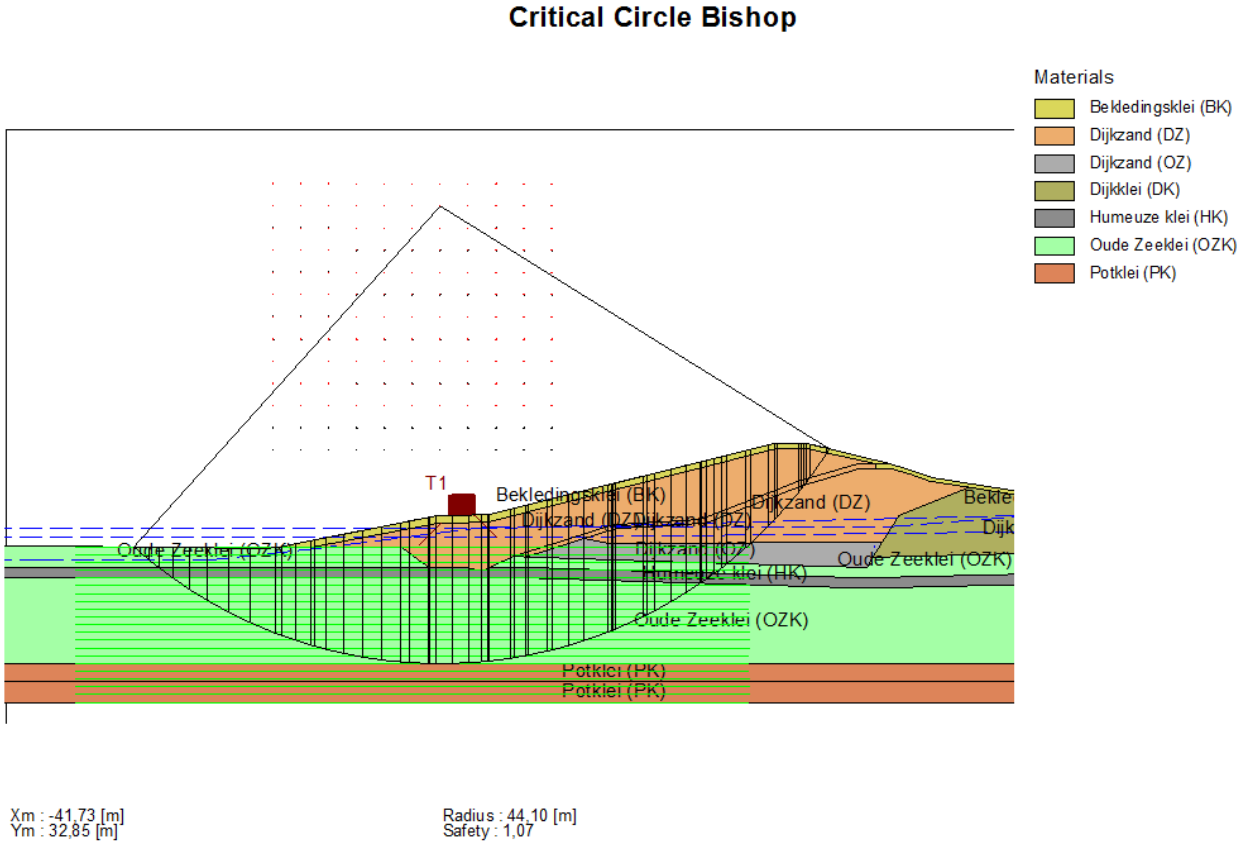
Safety : 0,97

Resultaten STBU spoor 4 raai 86



Safety : 1,07

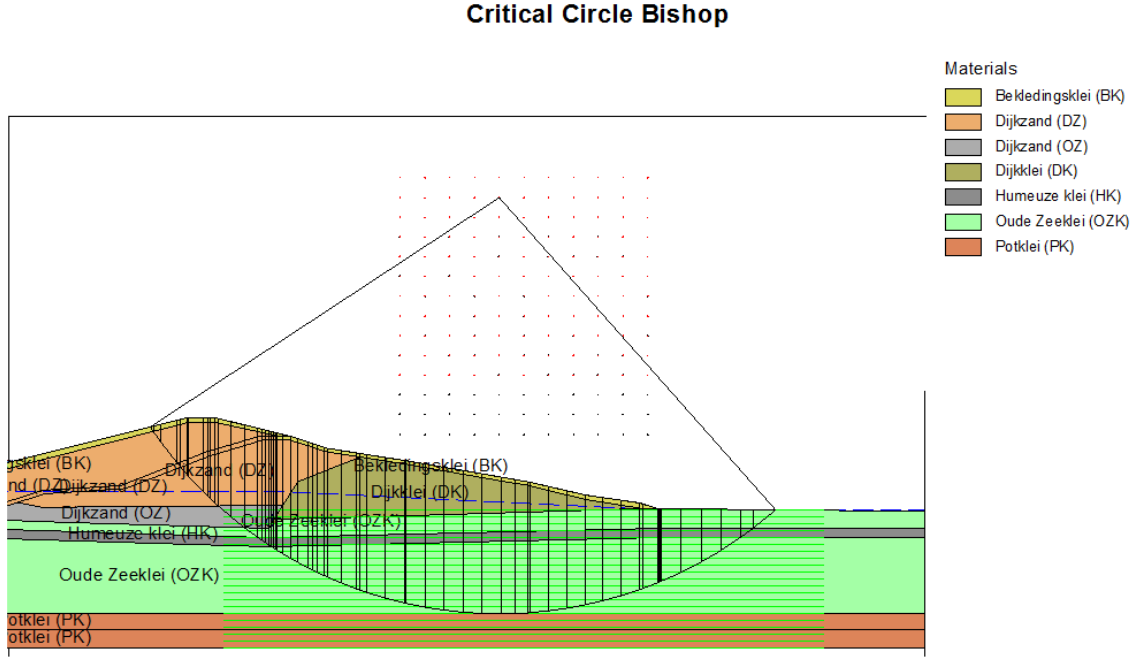
Resultaten STBI spoor 4 raai 106



Xm : -41,73 [m]
Ym : 32,85 [m]

Radius : 44,10 [m]
Safety : 1,07

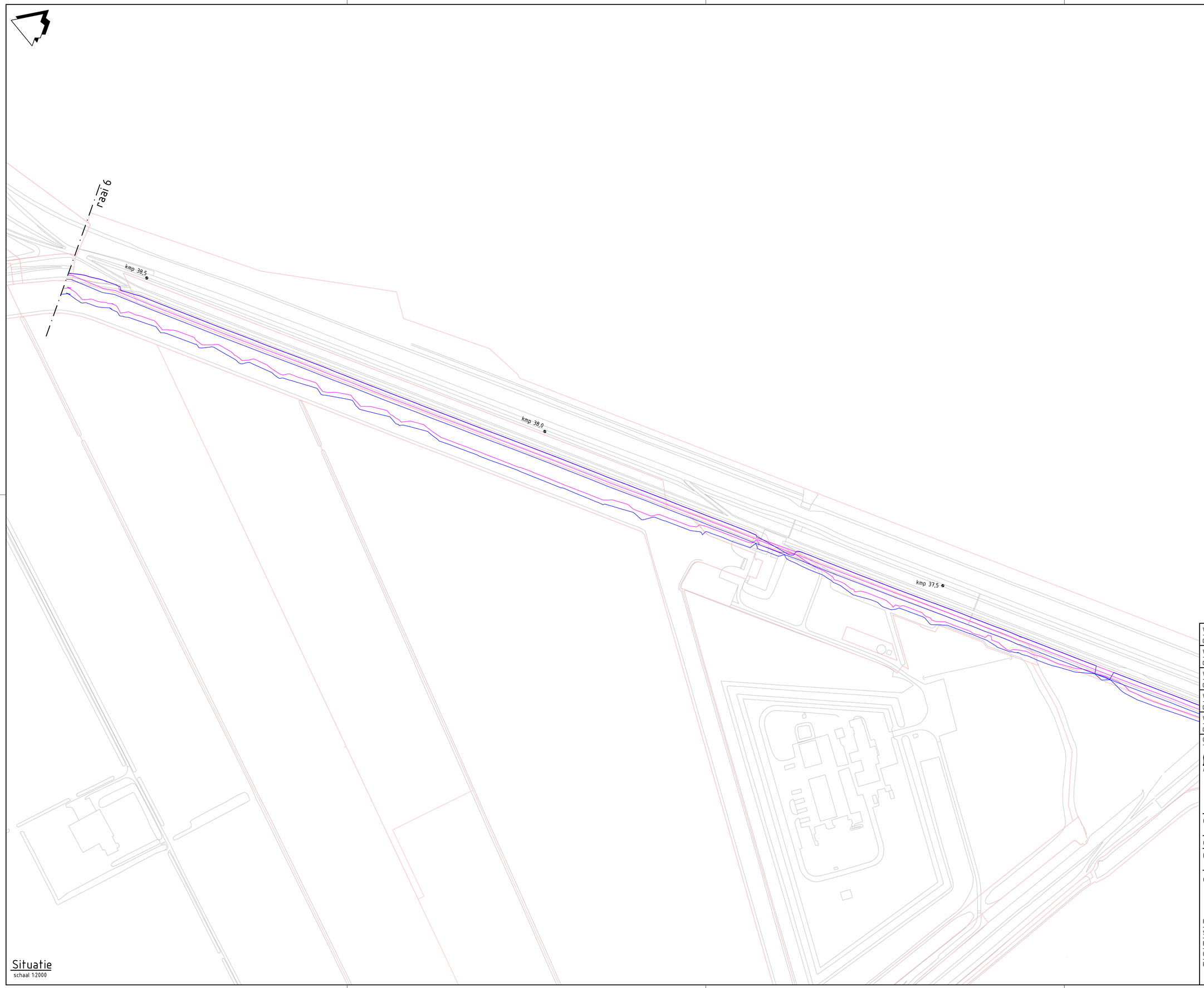
Resultaten STBU spoor 4 raai 106



Xm : 24,07 [m]
Ym : 33,83 [m]

Radius : 45,09 [m]
Safety : 1,10

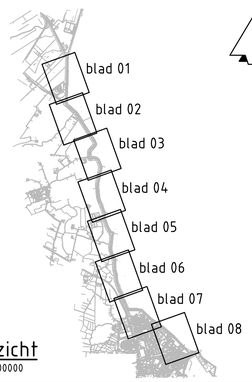
Bijlage 5.4 Ontwerp tekeningen 4B



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 6

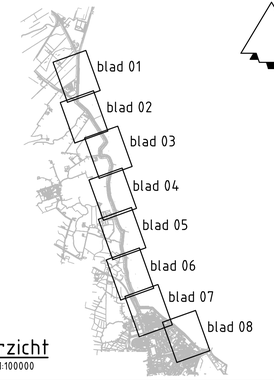
Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		01	E

Docld: 078220169.5

Situatie
schaal 1:2000

Legenda
- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen
Onderwerp	: Situatie raai 6-41
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Nieneijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		02	E

Docid: 078220869.5

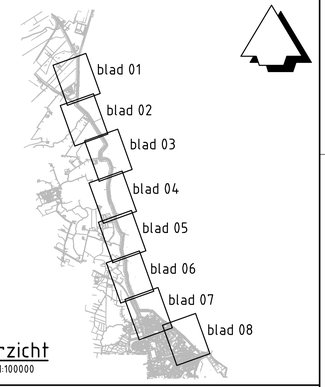
kmp 35,5

kmp 35,0

kmp 34,5

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

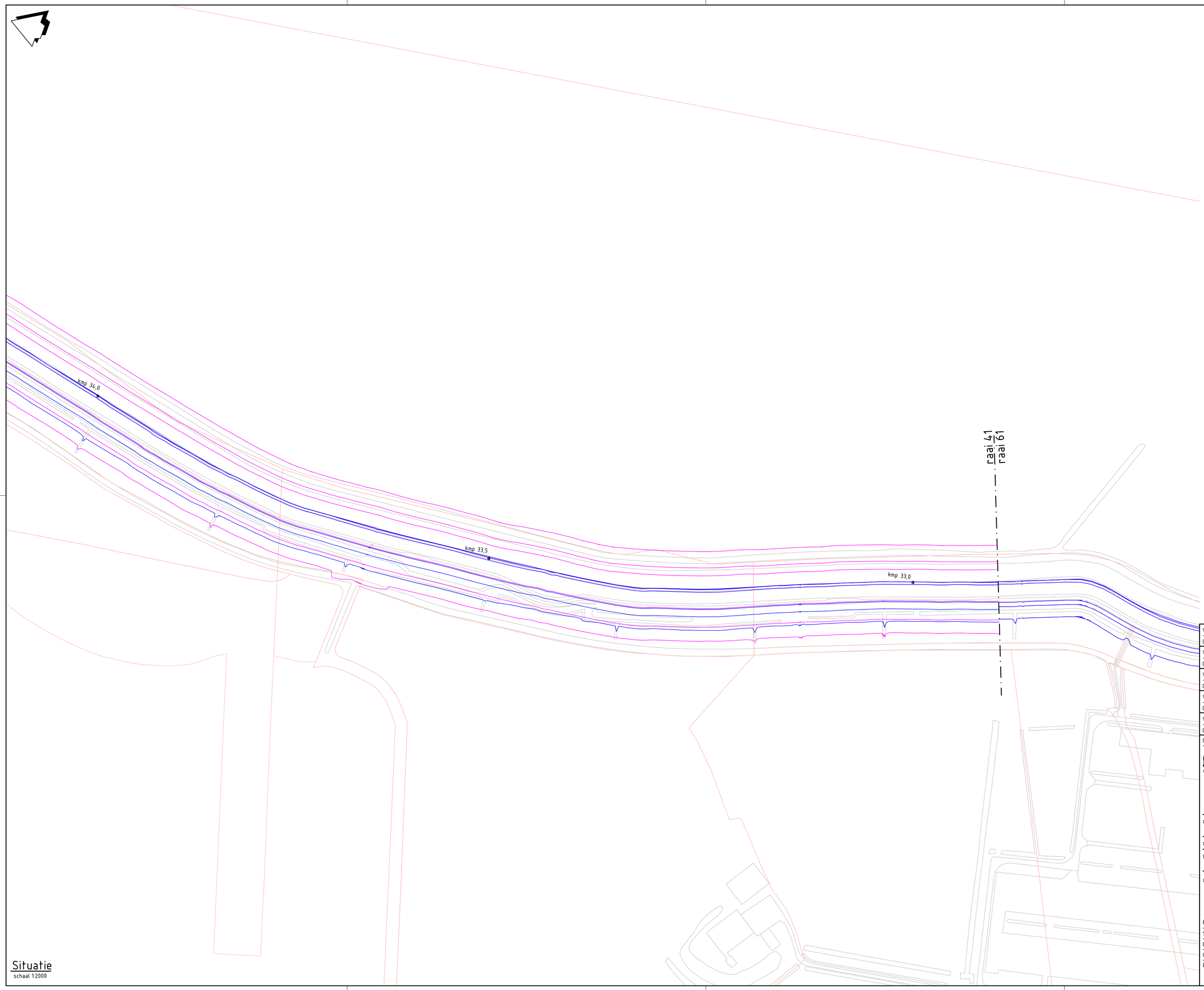
ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen
Onderwerp	: Situatie raai 41
Fase	: Voorontwerp
Schaal	: zie tek.
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)
Contractnummer	: --
Projectnummer	: C03011.000330.0100

Divisie	: Water & Milieu
Status	: Definitief
Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Tekeningnummer	: 03
Versie	: E

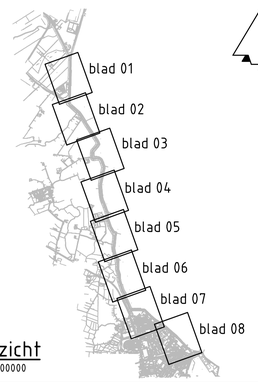
Docid: 19822069 5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

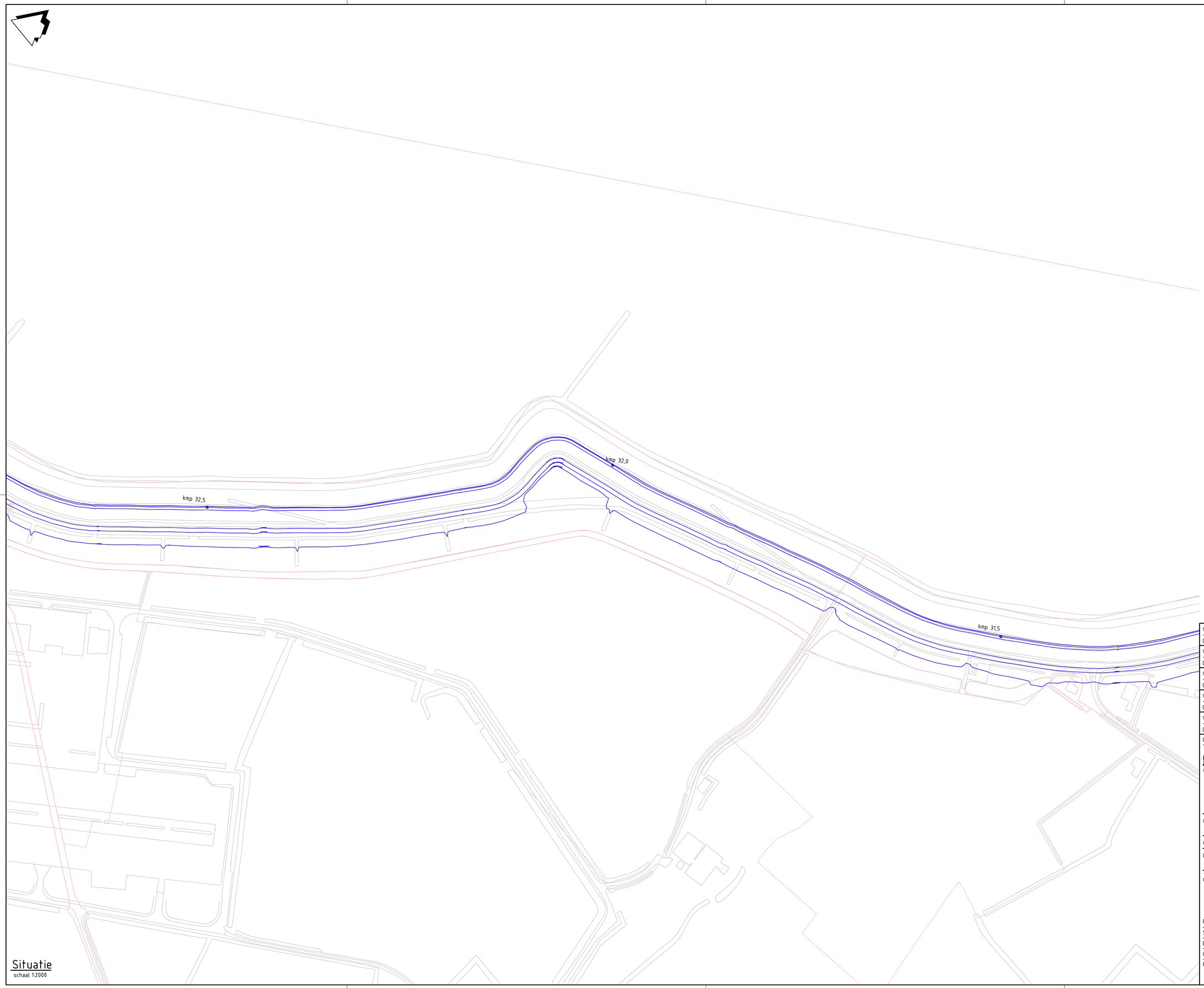
Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 41-61

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		04	E

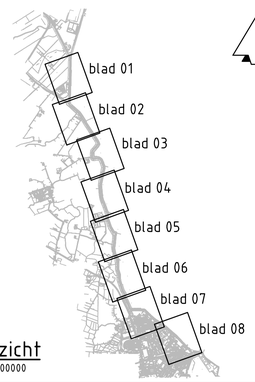
Dcld: 07822016 9 - 5



Situatie
schaal 1:2000

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

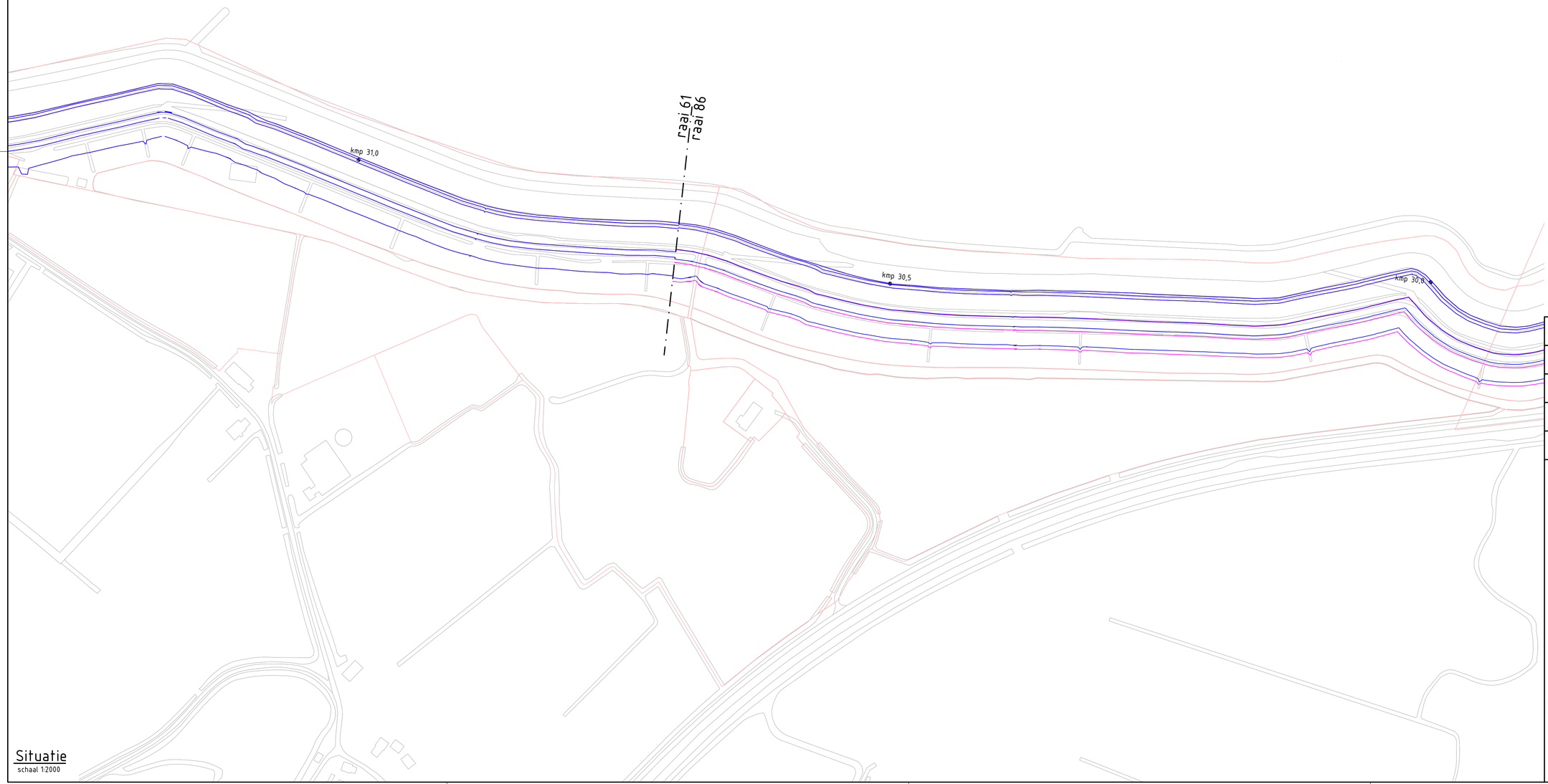
Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Situatie raai 61

Fase : Voorontwerp

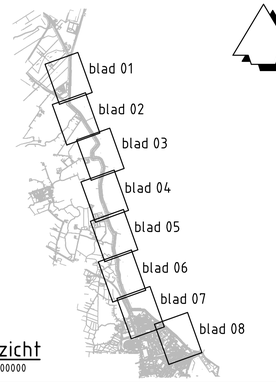
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		05	E

Doc6: 0782201691 5



Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen
Onderwerp	: Situatie raai 61 - 86
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		06	E

Docid: 078220869:5

kmp 28,5

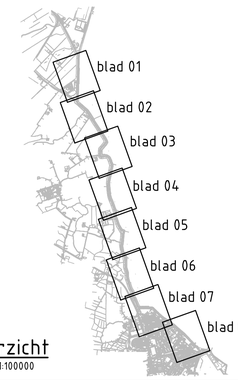
kmp 29,0

raai 86
raai 106

kmp 29,5

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : E	Datum : 25-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

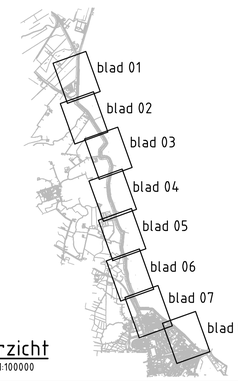
Onderwerp : Situatie raai 86 - 106

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		07	E

Docid: 19822069 5

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering



Overzicht
schaal 1:100000

Situatie
schaal 1:2000

Versie : E	Datum : 25-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-03-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 04-02-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen

La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Ontwerp	:
Project	: Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen
Onderwerp	: Situatie raai 106
Fase	: Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 841 x 594 (A1)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		08	E

Docid: 19822069 5

Dwarsprofiel raai 6 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-0.23	-69.15
-0.20	-60.61
-0.19	-59.33
-0.18	-56.12
-0.18	-54.51
-0.13	-45.49
-0.11	-43.83
0.20	-38.22
0.49	-36.52
0.82	-34.91
1.83	-30.11
2.61	-26.54
3.06	-24.48
3.56	-22.20
4.45	-17.89
5.15	-13.83
5.43	-11.83
5.52	-9.85
5.72	-6.43
6.81	-3.46
7.60	-1.16
7.66	0.00
7.60	1.13
7.26	2.59
6.65	5.08
5.85	7.53
5.33	9.30
4.77	11.16
4.25	12.88
4.15	13.98
4.05	16.40
4.05	18.20
3.92	19.87
3.84	21.06
2.83	23.90
1.49	27.72
1.14	31.58
0.26	33.90
-0.42	35.41
-1.57	38.81
-1.98	41.51
-2.31	43.53
-2.30	46.98
-2.30	48.51
-2.48	52.03
-2.43	54.68
-2.19	56.32
-0.03	60.01
0.14	61.62
1.37	63.20
1.39	84.59
1.38	89.85
1.37	93.09

Dwarsprofiel raai 41 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-0.37	-78.14
-0.34	-77.02
-0.20	-75.54
-0.02	-61.93
0.09	-53.47
0.13	-51.44
0.34	-38.22
0.44	-36.13
2.07	-29.72
3.58	-21.94
4.25	-18.35
4.66	-16.28
5.27	-13.23
5.73	-9.82
6.35	-5.75
7.36	-2.94
8.04	-1.30
8.14	0.00
7.98	1.49
7.29	3.55
6.71	5.38
5.29	8.95
3.97	12.18
2.71	15.12
2.22	16.34
2.10	18.08
1.98	21.86
1.80	25.21
0.96	28.82
-0.01	32.61
-0.24	33.68
-1.13	35.03
-0.36	36.37
-0.20	37.53
-0.16	40.93
-0.24	49.92
-0.28	54.09
-0.37	63.19
-0.41	66.94
-0.35	71.43
-1.16	73.73
-1.84	79.28
-1.26	80.77
-0.32	82.10
0.00	83.29
0.50	85.15
0.50	90.78
0.50	92.02
0.50	93.06
0.50	94.26
0.50	97.23

Dwarsprofiel raai 61 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
0.03	-52.08
0.03	-47.98
0.04	-46.73
0.18	-36.45
1.91	-30.12
2.38	-28.42
3.28	-24.64
3.82	-22.34
5.09	-15.24
6.07	-6.76
7.18	-3.50
8.08	-1.26
8.07	0.00
8.03	1.26
6.97	4.81
5.51	8.61
4.06	12.28
2.33	16.28
2.21	18.06
2.15	20.32
2.13	21.77
2.05	23.08
1.91	24.87
0.93	28.33
0.18	31.32
-0.17	33.62
-1.26	35.08
-0.28	36.64
-0.28	39.73
-0.38	46.65
-0.39	53.87
-0.41	57.82
-0.38	63.20
-0.36	68.58
-1.08	69.91
-1.47	71.34
-1.42	75.97
-0.04	78.01
-0.20	79.58
0.17	81.56
0.44	83.09
0.49	88.18

Dwarsprofiel raai 86 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-0.01	-62.73
0.15	-50.21
0.20	-47.46
1.45	-44.68
1.69	-43.13
1.72	-41.84
1.87	-36.99
2.30	-31.07
2.55	-26.71
3.10	-23.42
3.29	-22.40
4.79	-15.67
5.40	-11.27
5.66	-9.59
6.27	-5.31
6.83	-3.78
7.15	-2.78
7.61	-1.41
7.59	0.00
7.61	1.41
6.84	3.93
6.16	6.02
4.28	11.18
3.71	12.74
2.97	14.86
2.25	16.74
2.09	18.75
2.07	20.06
2.05	22.13
2.00	23.28
1.87	24.58
0.93	27.68
0.41	29.23
-0.13	30.68
-0.26	33.21
-1.05	34.69
-0.30	37.27
-0.23	38.98
-0.24	40.61
-0.31	51.94
-0.35	55.80
-0.48	66.58
-0.52	68.32
-0.57	69.98
-1.12	71.21
-1.18	77.48
-0.26	79.22
0.23	94.19
0.29	95.81
0.29	96.88

Dwarsprofiel raai 106 spoor 3 - hoogwater

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE
-0.15	-57.61
-0.13	-57.01
-0.12	-55.60
-0.11	-53.19
-0.08	-48.37
-0.07	-46.49
0.12	-41.16
0.75	-39.17
0.90	-37.50
1.33	-34.50
1.70	-32.75
1.91	-31.70
3.01	-27.35
3.38	-25.25
3.76	-23.04
5.34	-13.88
6.66	-5.55
7.97	-1.55
8.09	0.00
8.06	1.04
6.35	7.32
2.94	15.97
2.43	19.35
2.36	22.42
2.13	25.09
-0.89	34.63
-1.50	35.80
-2.04	37.12
-2.04	39.05
-2.05	42.76
-1.35	44.06
-0.92	45.50
-0.93	47.58
-0.87	74.10
-0.59	84.69
0.37	88.71
1.22	94.27

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering

Overzicht

schaal 1:100000

Versie	Datum	Getekend	Omschrijving
E	25-3-2015	tuijna	Definitief
D	12-3-2015	tuijna	Definitief
C	26-2-2015	tuijna	Definitief
B	4-2-2015	tuijna	Definitief
A	16-12-2014	tuijna	Definitief

Gecontroleerd : Molenm — Vrijgegeven : Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : **Dwarsprofielen spoor 3 Hoogwater**

Fase : Voorontwerp

Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 1181 x 841 (A0)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	: C03011.000330.0100	Tekeningnummer	: 09
		Versie	: E

Docid: 078220169:5

Dwarsprofiel raai 6 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.23	-0.20	-0.19	-0.18	-0.18	-0.13	-0.11	0.20	0.49	0.82	1.83	2.61	3.06	3.56	4.45	5.15	5.43	5.52	5.72	6.81	7.60	7.66	7.60	7.26	6.65	5.85	5.33	4.77	4.25	4.15	4.05	4.05	3.92	3.84	2.83	1.49	1.14	0.26	-0.42	-1.57	-1.98	-2.31	-2.30	-2.30	-2.48	-2.43	-2.19	-0.03	0.14	1.37	1.39	1.38	1.37	1.36
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-69.15	-60.61	-59.33	-56.12	-54.51	-45.49	-43.83	-38.22	-36.52	-34.91	-30.11	-26.54	-24.48	-22.20	-17.89	-13.83	-11.83	-9.85	-6.43	-3.46	-1.16	0.00	1.13	2.59	5.08	7.53	9.30	11.16	12.88	13.98	16.40	18.20	19.87	21.06	23.90	27.72	31.58	33.90	35.41	38.81	41.51	43.53	46.98	48.51	52.03	54.68	56.32	60.01	61.62	63.20	84.59	89.85	93.09	98.89

Dwarsprofiel raai 41 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.37	-0.34	-0.20	-0.02	0.09	0.13	0.34	0.44	2.07	3.58	4.25	4.66	5.27	5.73	6.35	7.36	8.04	8.14	7.98	7.29	6.71	5.29	3.97	2.71	2.22	2.10	1.98	1.80	0.96	-0.01	-0.24	-1.13	-0.36	-0.20	-0.16	-0.24	-0.28	-0.37	-0.41	-0.35	-1.16	-1.84	-1.26	-0.32	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-78.14	-77.02	-75.54	-61.93	-53.47	-51.44	-38.22	-36.13	-29.72	-21.94	-18.35	-16.28	-13.23	-9.82	-5.75	-2.94	-1.30	0.00	1.49	3.55	5.38	8.95	12.18	15.12	16.34	18.08	21.86	25.21	28.82	32.61	33.68	35.03	36.37	37.53	40.93	49.92	54.09	63.19	66.94	71.43	73.73	79.28	80.77	82.10	83.29	85.15	90.78	92.02	93.06	94.26	97.23

Dwarsprofiel raai 61 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	0.03	0.03	0.04	0.18	1.91	2.38	3.28	3.82	5.09	6.07	7.18	8.08	8.07	8.03	6.97	5.51	4.06	2.33	2.21	2.15	2.13	2.05	1.91	0.93	0.18	-0.17	-1.26	-0.28	-0.28	-0.38	-0.39	-0.41	-0.38	-0.36	-1.08	-1.47	-1.42	-0.04	-0.20	0.17	0.44	0.49
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-52.08	-47.98	-46.73	-36.45	-30.12	-28.42	-24.64	-22.34	-15.24	-6.76	-3.50	-1.26	0.00	1.26	4.81	8.61	12.28	16.28	18.06	20.32	21.77	23.08	24.87	28.33	31.32	33.62	35.08	36.64	39.73	46.65	53.87	57.82	63.20	68.58	69.91	71.34	75.97	78.01	79.58	81.56	83.09	88.18

Dwarsprofiel raai 86 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.01	0.15	0.20	1.45	1.69	1.72	1.87	2.30	2.55	3.10	3.29	4.79	5.40	5.66	6.27	6.83	7.15	7.61	7.59	7.61	6.84	6.16	4.28	3.71	2.97	2.25	2.09	2.07	2.05	2.00	1.87	0.93	0.41	-0.13	-0.26	-1.05	-0.30	-0.23	-0.24	-0.31	-0.35	-0.48	-0.52	-0.57	-1.12	-1.18	-0.26	0.23	0.29	0.29
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-62.73	-50.21	-47.46	-44.68	-43.13	-41.84	-36.99	-31.07	-26.71	-23.42	-22.40	-15.67	-11.27	-9.59	-5.31	-3.78	-2.78	-1.41	0.00	1.41	3.93	6.02	11.18	12.74	14.86	16.74	18.75	20.06	22.13	23.28	24.58	27.68	29.23	30.68	33.21	34.69	37.27	38.98	40.61	51.94	55.80	66.58	68.32	69.98	71.21	77.48	79.22	94.19	95.81	96.88

Dwarsprofiel raai 106 spoor 4 - realistisch

schaal 1:200

MAAIVELDHOOGTE IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-0.15	-0.13	-0.12	-0.11	-0.08	-0.07	0.12	0.75	0.90	1.33	1.70	1.91	3.01	3.38	3.76	5.34	6.66	7.97	8.09	8.06	6.35	2.94	2.43	2.36	2.13	-0.89	-1.50	-2.04	-2.04	-2.05	-1.35	-0.92	-0.93	-0.87	-0.59	0.37	1.22
AFSTAND UIT AS IN METERS BESTAANDE SITUATIE	-57.61	-57.01	-55.60	-53.19	-48.37	-46.49	-41.16	-39.17	-37.50	-34.50	-32.75	-31.70	-27.35	-25.25	-23.04	-13.88	-5.55	-1.55	0.00	1.04	7.32	15.97	19.35	22.42	25.09	34.63	35.80	37.12	39.05	42.76	44.06	45.50	47.58	74.10	84.69	88.71	94.27

Legenda

- bestaande situatie
- kadastrale grenzen
- ontwerp spoor 3 - hoogwater
- ontwerp spoor 4 - realistische benadering

Overzicht

schaal 1:100000

Versie : E	Datum : 25-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : D	Datum : 12-3-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : C	Datum : 26-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : B	Datum : 4-2-2015	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Versie : A	Datum : 16-12-2014	Getekend	: tuijna
Omschrijving	: Definitief		
Gecontroleerd	: Molenm	Vrijgegeven	: Molenm

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
La Guardiaweg 36-66 (1043 DJ)
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam (NL)
Tel +31(0)88 4 261 261
www.arcadis.nl
info@arcadis.nl

Opdrachtgever : Waterschap Noorderzijlvest

Ontwerp :

Project : Noorderzijl impact aardbeving dijk Groningen

Onderwerp : Dwarsprofielen spoor 4 Realistische benadering

Fase	: Voorontwerp		
Schaal	: zie tek.	Divisie	: Water & Milieu
Bladformaat	: 1181 x 841 (A0)	Status	: Definitief
Contractnummer	: --	Projectleider	: Niemeijer, J (Hans)
Projectnummer	:	Tekeningnummer	: Versie :
C03011.000330.0100		10	E

Docid: 078220169 : 5

Bijlage 5.5 Uitgangspunten TVKA

NOTITIE 1212-0075-003.M10v1concept

Aan	:	Bert de Wolff (Noorderzijlvest), Mirjam Molen (Arcadis), Raymond van der Meij (Deltares), Geeralt van den Ham (Deltares), Jeroen van Mechelen (Grontmij), Martin van der Meer (Fugro)
Van	:	Ben Rijneveld (Fugro)
Controle	:	Nog niet uitgevoerd
Ref	:	1212-0075-003.M10v1concept
Versie	:	1 CONCEPT
Datum	:	20 april 2015
Betreft	:	Scenario's gevoeligheidsanalyse TVKA dijkversterking Eemshaven-Delfzijl

1. INLEIDING

Het dijktraject tussen Eemshaven en Delfzijl is in de derde toetsronde over ca. 11,7 km afgekeurd op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Daarnaast is de steenbekleding over ca. 3 km en de grasbekleding over ca. 8,5 km afgekeurd. Daarom is een dijkversterking voorzien om het veiligheidsniveau op het gewenste niveau volgens de nieuwe normering te brengen. Daarnaast dient de dijkversterking aardbevingsbestendig te worden. De projectlocatie is weergegeven in figuur 1-1.

Figuur 1-1: Locaties raaien

In dit stadium wordt het Technisch Voorkeursalternatief vastgesteld. Om de gevoeligheid van het TVKA voor onzekerheden te verkennen is door het Waterschap voorgesteld om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren.

In deze memo wordt een voorstel voor de te beschouwen scenario's gegeven.

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

In deze memo wordt gebruik gemaakt van de volgende beschikbare informatie en literatuur:

[ATRWG 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007
[DELT 2015] Handleiding AAD AardbevingsAnalyse Dijken, Deltares conceptrapport 1210009-011-GEO-0002, 28 maart 2015
[FUG 2015a] Uitgangspunten Technisch Voorkeursalternatief dijkversterking Eemshaven-Delfzijl, Fugro memo 1212-0075-003.M07v3, 4 maart 2015
[FUG 2015b] Berekeningen benodigd ruimtegebruik Eemshaven-Delfzijl o.b.v. uitgangspunten 26-02-2015, Fugro memo 1212-0075-003.M09v3, 2 april 2015
[LOR2 1989] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken Deel 2 – Benedenrivierengebied, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 1989
[NPR 9998] Ontwerp Praktijkrichtlijn Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren, NPR 9998, februari 2015
[TEC 2003] Consideration of external events in the design of nuclear facilities other than nuclear power plants, with emphasis on earthquakes, IAEA-TECDOC-1347, International Atomic Energy Agency (IAEA), 2003

3. RISICOANALYSE

In de loop van het project zijn op basis van overleg tussen Noorderzijlvest, Deltares, Grontmij, Arcadis/Fugro de belangrijkste onzekerheden omtrent het aardbevingsbestendig ontwerp benoemd [FUG 2015a] welke een belangrijke invloed op het TVKA kunnen hebben. Deze zijn in tabel 1 zijn weergegeven, waarbij het punt 'lengte-effect onder aardbevingsbelasting' is toegevoegd.

In tabel 1 is ook aangegeven wie de eigenaar van het uitgangspunt is, welke keuze er is gemaakt over de toe te passen waarde voor dit project en wat de status is.

Tabel 1: Onzekerheden aardbevingsbestendig ontwerp

Opmerking [B.R.1]: Deze tabel te verifiëren door NZV, DELT, GRONT

Uitgangspunt	Eigenaar	Keuze	Status
Aardbevingsbelasting			
Kansverdeling aardbevingsbelasting	EZ	KNMI 'ongewijzigd' – KNMI 'met reducties' en niet lineaire overdrachtsfunctie	Lopend
Invloedsfactor aardbevingsbelasting	Deltares	0,7 - 0,9	Lopend
Rekenmodellen aardbevingen			
Verwekingsmodellen	Deltares	Rekenvoorbeeld/ontwerpvrijheid	AAD software + verificatie internationale experts
Rekenmodellen dynamische effecten	Deltares	Rekenvoorbeeld/ontwerpvrijheid	AAD software + verificatie internationale experts
Normering/faalkanseis			
Faalkansbudget	NZV/Hunze en Aa's	STB(I): 0,24	Vastgezet

Omrekening middenkans naar afkeurkans	I&M	3	Vastgezet
Kans op overstroming, gegeven instabiliteit door beving	I&M	0,1 - 1,0	Te verifiëren bij expertsessie
Lengte-effect ($P_{toel;traj}/P_{toel;drsn}$)	I&M	1 – 35 (traject 6_6) / 20 (traject6_7)	Nader uitzoeken. Input experts en Deltares
WTI 2017			
grondmodel macrostabiliteit (gedraineerd/ongedraineerd)	I&M	Gedraineerd met consequentie analyse CSSM	Nog uit te voeren.
Overige/ontwerpkeuzes			
Overslagdebiet	NZV	5 l/s/m	Vastgezet
Zonering	NZV	ontwerpvrijheid	Vastgezet
Ontwerplevensduur	NZV	Ontwerpvrijheid	Vastgezet
Hydraulische randvoorwaarden	I&M	HR2011	Vastgezet

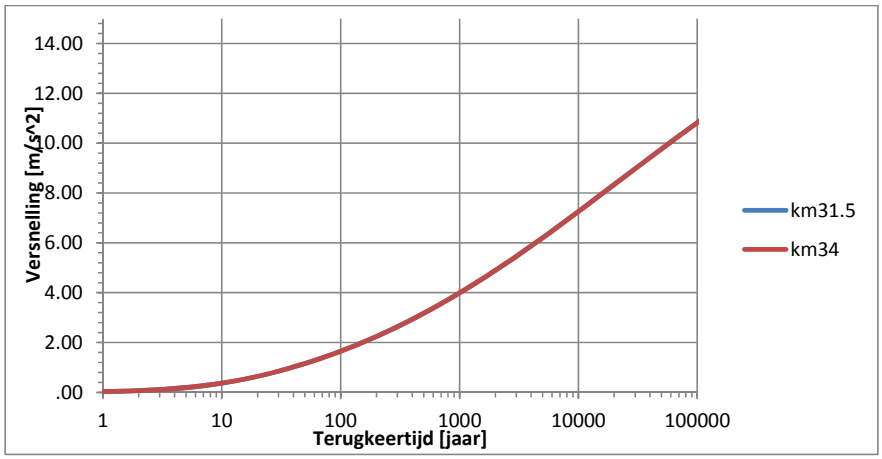
In onderstaand hoofdstuk worden bovenstaande punten toegelicht.

4. AARDBEVINGENSBELASTING

Uitgangspunt voor het aardbevingsbestendig ontwerp is de in rekening te brengen aardbevingsbelasting. Op dit moment is er veel discussie over de in rekening te brengen aardbevingsbelasting. Zowel qua grootte (bijv. uitgedrukt in PGA en magnitude) als de kansverdeling en invloedsfactor voor semi probabilistische berekeningen (bijv. uitgedrukt in terugkeertijd).

Aspecten die hiermee samenhangen zijn:

- De kansverdeling die is gegeven door het KNMI geeft Peak Ground Accelations, zie figuur 4-1. Door Deltares is aangegeven dat de invloed van slappe lagen, waardoor bij lage intensiteiten opslingering en bij hoge intensiteiten demping optreedt, hierbij niet uitgebreid is meegenomen. Het meenemen van niet lineaire site respons leidt tot een andere (vlakkere) kansverdeling. Het meenemen van dit aspect leidt met name bij grotere terugkeertijden tot lagere PGA's
- Deltares heeft aangegeven dat het aantal significante bevingen en magnitude welke nu gehanteerd worden bij het afleiden van de aardbevingsbelasting gereduceerd kunnen worden. Hierdoor daalt de aardbevingsbelasting.
- De invloedsfactor voor aardbevingsbelastingen bij de huidige kansverdeling van het KNMI, zie figuur 4-1, is nog niet eenduidig bepaald, maar lijkt ca. 0,9 te bedragen. Bij het aanpassen van de kansverdeling op bovenstaande punten kan deze afnemen tot bijv. 0,7.



Figuur 4-1: Terugkeertijd PGA

In de berekeningen die uitgevoerd zijn om een indicatie van het benodigd ruimtebeslag te bepalen [FUG 2015b] is vooralsnog uitgegaan van een aftopping van het aardbevingssignaal op een PGA van 4 m/s^2 en a_{yield} = 0,57 m/s^2 om het niet lineaire effect mee te nemen. Daarnaast is gerekend met een invloedsfactor van 0,9.

Bovenstaande aanpak is niet perse conservatief voor situaties met een grote terugkeertijd (groter dan ca. 1000 jaar). In [FUG 2015b] is gerekend met een terugkeertijd van maximaal 1300 jaar, waardoor deze aanpak voldoet. Het ligt echter in de verwachting dat de terugkeertijd hoger zal uitvallen, zie hoofdstuk 6, waardoor bovenstaande aspecten belangrijker worden.

Vooralsnog is de beschikbare AAD software beperkt geschikt om het niet lineaire effect mee te nemen. Deltares heeft aangegeven dat de modellering in de AAD software conservatief is. Hoe conservatief is op dit moment niet rekenkundig vast te stellen met de beschikbare AAD software.

Daarnaast is het effect van de aangepaste magnitude en aantal significante bevingen nog niet inzichtelijk. De aanpassingen leiden volgens Deltares tot lagere aardbevingsbelastingen.

Uit bovenstaande blijkt dat de in rekening te brengen aardbevingsbelasting onzeker is. Op basis van bovenstaande kan worden aangenomen dat de beschikbare kansverdeling van het KNMI conservatief is. Hoe conservatief is nog niet gekwantificeerd.

De volgende opties zijn beschikbaar:

- Toepassen van de ongewijzigde KNMI kansverdeling. Dit leidt tot een erg conservatief ontwerp. Bij terugkeertijden groter dan ca. 1500 jaar is een oplossing in grond naar verwachting niet meer mogelijk.
- Toepassen van de KNMI kansverdeling met aftopping in AAD. Dit leidt naar verwachting tot een vergelijkbaar ontwerp als bij de ongewijzigde kansverdeling. Bij terugkeertijden groter dan ca. 1500 jaar is een oplossing in grond naar verwachting niet meer mogelijk.
- Modelleren site respons met EEM berekeningen om meer inzicht te krijgen in het effect van de niet-lineaire site respons.
- Afleiden nieuwe kansverdeling rekening houdend met minder significante bevingen en maximale aardbevingsmagnitude

De invloed van de onzekerheid in aardbevingsbelasting is groot. Voor de gevoeligheidsanalyse wordt geadviseerd om (EEM) berekeningen uit te voeren om het effect van een niet lineaire overdrachtsfunctie te bepalen. Bij deze aangepaste respons wordt geadviseerd om een controleberekening bij zowel een invloedsfactor van 0,9 als 0,7 voor de aardbevingsbelasting (en bijbehorende materiaalfactoren) uit te voeren.

Geadviseerd wordt om de expertsessie te gebruiken om te verifiëren of de manier waarop in de AAD software afgetopt wordt verantwoord is.

5. REKENMODELLEN AARDBEVINGEN

Aardbevingsbelastingen waren in Nederland over het algemeen geen maatgevende belasting in het ontwerp. Daarom zijn de normen en richtlijnen hoe met deze belasting om moet worden gegaan hier niet op afgestemd. De enige beschikbare rekenregels zijn vooralsnog gegeven in de ontwerp Nationale Praktijkrichtlijn [NPR 9998]. Deze is nog niet officieel vastgesteld. Daarnaast geeft deze wat betreft rekenmodellen slechts informatieve informatie. De toe te passen rekenmodellen voor bijv. verwekingsanalyses en dynamische analyses zijn dus niet vastgelegd.

De kennis omtrent de beschikbare rekenmodellen ontwikkeld zich op dit moment in hoog tempo. Op dit moment worden door o.a. Deltares rekenmodellen opgesteld en software beschikbaar gesteld voor het aardbevingsbestendig ontwerpen van waterkeringen, namelijk de AAD software [DELT 2015]. Ook bij (internationale) ingenieursbureaus en aannemers is veel internationale kennis aanwezig.

Omdat de kennis zich in hoog tempo ontwikkeld is er een grote kans dat over een aantal jaren blijkt dat het ontwerp te optimistische of te conservatief is. De verwachting is dat de gehanteerde criteria voor verweking (bepalen of verweking al dan niet optreedt) aan de conservatieve kant is omdat de effecten van ‘fines’ en de relatief korte belasting (single pulse) conservatief zijn meegenomen. Wat betreft de huidige aanpak om de situatie tijdens verweking (bijv. beoordelen situatie bij 50% verweking) in een dynamische analyse te oordelen is minder consensus of dit conservatief is.

Het TVKA wordt uitgevoerd met de AAD software en wordt met (naar verwachting) conservatieve uitgangspunten voor verwekings- en dynamische modellen uitgevoerd. Geadviseerd wordt om de expertsessie te gebruiken om dit te verifiëren. Hiervoor moet de beschrijving van de rekenmodellen in het engels beschikbaar zijn. Bij de modellen voor het ontwerp moet ook aandacht besteed worden aan de vraag hoe maatregelen van de aannemers beoordeeld worden. Hierbij kan wellicht gebruik worden gemaakt van dezelfde groep internationale experts.

Na gunning moeten aannemerscombinaties het TVKA naar een DO en UO brengen. Geadviseerd wordt om bij aanbesteding een geaccepteerde ontwerpmethode beschikbaar te stellen, maar dat er in het contract een opening wordt geboden om internationaal (gevalideerde) methoden toe te passen. Hierbij kan de beschikbare (internationale) kennis en ontwikkelde kennis in Nederland optimaal benut worden.

Een gevoeligheidsanalyse voor het rekenmodel lijkt vooralsnog niet goed mogelijk, omdat het hier gaat om ‘unknown unknowns’. Er wordt nu gewerkt met de laatste stand van beschikbare kennis voor dit project.

6. NORMERING/FAALKANSEIS

Wat betreft de normering/faalkanseis zijn een aantal aspecten van belang:

- Faalkansbudget
- Omrekening van middenkans naar afkeurkans
- Kans op overstroming, gegeven instabiliteit door een aardbeving

- Lengte effect bij aardbevingsbelasting

6.1. Faalkansbudget

In [OI2014] wordt voor macrostabiliteit binnenwaarts een standaard faalkansbudget van ω = 4% gehanteerd. Voor opbarsten en piping is dit ω = 24%. Voor een dijktraject mag deze faalkansverdeling naar inzicht worden aangepast. Uit oriënterende berekeningen en een hertoets voor het mechanisme Opbarsten en piping blijkt dat dit mechanisme niet kritisch is voor dit dijktraject. Daarom wordt voorgesteld om het faalkansbudget voor macrostabiliteit binnenwaarts aan te passen naar ω = 24% en voor opbarsten en piping naar 4%. Op deze wijze wordt de eis voor het beoordelen van het mechanisme Opbarsten en piping strenger, maar hoeven deze mechanismen niet te worden uitgesloten.

In [FUG 2015a] is een faalkansbudget van 24% als uitgangspunt gehanteerd in het geoptimaliseerde scenario. Dit wordt nu als vast uitgangspunt gehanteerd.

6.2. Omrekening middenkans naar afkeurkans

In [OI2014] wordt onderscheid gemaakt in de middenkans en afkeurkans. De normen zijn uitgedrukt als middenkans. De ontwerpeis wordt bepaald door te stellen dat de overstromingskans aan het einde van de levensduur de afkeurgrens niet mag overschrijden. In [OI 2014] wordt een factor 2 tussen de middenkans en afkeurkans gehanteerd. Deze waarde wordt naar verwachting in de volgende versie van het ontwerpinstrumentarium bijgesteld naar een factor 3.

In [FUG 2015a] is een factor 3 als uitgangspunt gehanteerd in het geoptimaliseerde scenario. Dit wordt nu als vast uitgangspunt gehanteerd.

6.3. Kans op overstroming, gegeven instabiliteit

In [FUG 2015a] is een kans op falen, gegeven instabiliteit door een aardbeving van $P_{f|inst}$ = 1/3 gehanteerd in het geoptimaliseerde scenario. Deze factor is afhankelijk van het schadeprofiel en hersteltijd welke verwacht kan worden bij een instabiliteit door een aardbeving.

Uit de expertsessie kan meer informatie over het schadeprofiel en benodigde hersteltijd worden verkregen. Vooralsnog wordt uitgegaan van de waarde $P_{f|inst}$ = 1/3.

6.4. Lengte effect

Het lengte effect brengt in rekening dat de kans dat een dijk op een bepaalde plaats doorbreekt groter wordt naarmate het dijktraject langer wordt. Het vertalen van de toelaatbare kans op instabiliteit van een dijktraject naar een doorsnede kan de volgende formule worden gehanteerd [LOR2 1989]:

$$P_{loc;toel} = P_{traj;toel} / (1+ \alpha_1 . \alpha_2 . L / l . P_{f|inst})$$

Hierin is:

$P_{loc;toel}$	= Toelaatbare kans op instabiliteit in de doorsnede	[-/jaar]
$P_{traj;toel}$	= Toelaatbare kans op instabiliteit voor het dijktraject	[-/jaar]
α_1	= Factor om het effect dat een beperkt deel van de dijkvakken significant bijdraagt aan de totale kans op instabiliteit (standaardwaarde 1/10)	[-/jaar]
α_2	= Factor om het effect van correlatie tussen de verschillende dijkvakken mee te nemen (standaardwaarde 1/3)	
L	= lengte van het dijktraject, in dit geval 46,3 km voor traject 6_6 en 23,3 km voor traject 6_7	[m]
l	= representatieve lengte voor analyse in een doorsnede (standaardwaarde 50 m)	
$P_{f|inst}$	= Kans op falen, gegeven instabiliteit	[-]

Voor het afleiden van de ontwerpwaarden voor de belastingen en sterkte in een doorsnede kan deze toelaatbare faalkans worden toegepast.

In tabel 2 is de toelaatbare instabiliteitskans op doorsnedeniveau bepaald voor de belastingcombinatie waar de waterbelasting dominant is.

Tabel 2: Doorsnede eis macrostabiliteit, waterbelasting dominant

Parameter	STBI Traject 6_7	STBI Traject 6_6	STBU Traject 6_7	STBU Traject 6_6	Eenheid
Norm	1/10.000	1/3.000	1/10.000	1/3.000	[-/jaar]
N-factor	3	3	3	3	[-]
Faalkansbudget	0,24	0,24	0,24	0,24	[-]
L	23200	46300	23200	46300	[m]
$P_{f\|inst}$	1	1	0,1	0,1	[-]
α_1	1/10	1/10	1/10	1/10	[-]
α_2	1/3	1/3	1/3	1/3	[-]
l	50	50	50	50	[m]
$P_{loc;toel}$	4,4E-6	7,5E-6	2,8E-5	5,9E-5	[-/jaar]
$\beta_{loc;toel}$	4,5	4,3	4,0	3,9	[-/jaar]
$P_{traj;toel}/P_{loc;toel}$	17	32	25	40	[-]
γ_n	1,06	1,04	1,00	0,98	[-]

Uit tabel 2 blijkt dat de doorsnede eis tussen de 15 en 40 maal hoger (strenger) is dan de eis op trajectniveau.

In tabel 3 is de toelaatbare instabiliteitskans op doorsnedeniveau bepaald voor de belastingcombinatie waar de aardbevingsbelasting dominant is.

Beargumenteerd kan worden dat het lengte effect kleiner is dan bij een hoogwaterbelasting omdat de invloedsfactor van de ruimtelijk sterk gecorreleerde belasting groter is en dus ook de correlatie tussen de dijkvakken sterker is, ofwel α_2 wordt kleiner. Ook is de representatieve breedte van een afschuiving wellicht hoger, ofwel l wordt groter. Daarentegen kan worden gesteld dat het aandeel relevante dijkvakken ook groter wordt doordat de correlatie groter wordt. Daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met de volgende waarden:

- α_1 = 1/2 in plaats van 1/10. Ofwel in plaats van 10% draagt 50% van de dijkvakken significant bij aan de totale kans op instabiliteit
- α_2 = 1/10 in plaats van 1/3. Ofwel een driemaal groter effect van correlatie tussen de verschillende dijkvakken
- l = 250 in plaats van 50 m. Ofwel een 5 maal grotere representatieve lengte voor analyse in een doorsnede

Benadrukt wordt dat bovenstaande getallen illustratief bedoeld zijn om gevoel te krijgen voor de invloed van deze parameters.

Tabel 3: Doorsnede eis macrostabiliteit, aardbevingsbelasting dominant

	Basis		Gevoeligheid		Eenheid
Parameter	STBI Traject 6_7	STBI Traject 6_6	STBU Traject 6_7	STBU Traject 6_6	Eenheid

Norm	1/10.000	1/3.000	1/10.000	1/3.000	[-/jaar]
N-factor	3	3	3	3	[-]
Faalkansbudget	0,24	0,24	0,24	0,24	[-]
L	23200	46300	23200	46300	[m]
P_{fljnst}	1/3	1/3	1/3	1/3	[-]
α_1	1/10	1/10	1/2	1/2	[-]
α_2	1/3	1/3	1/10	1/10	[-]
l	50	50	250	250	[m]
$P_{loc;toel}$	1,1E-5	2,1E-5	2,8E-5	5,9E-5	[-/jaar]
$\beta_{loc;toel}$	4,2	4,1	4,0	3,9	[-/jaar]
$P_{traj;toel}/P_{loc;toel}$	18	34	8	12	[-]
α_M/α_{M0}	0,76	0,76	0,76	0,76	[-]
γ_n	1,02	1,01	1,0	0,99	[-]
α_{beving}	0,9	0,9	0,9	0,9	[-]
T_{beving}	14200	8700	6900	3800	[jaar]

Uit tabel 3 blijkt dat de terugkeertijd van de aardbevingsbelasting ca. een factor 10 toeneemt ten opzichte van [FUG 2015a]. Het effect op de schadefactor is beperkt.

Op basis van bovenstaande analyses zou een terugkeertijd in de orde van 9.000 tot 14.000 jaar toegepast moeten worden. Deze waarden zijn significant hoger dan de terugkeertijden uit [NPR 9998]. Deze bedragen voor RC3 bijvoorbeeld 3.600 jaar. Voor nucleaire installaties zijn, afhankelijk van de veiligheidsklasse, terugkeertijden tussen de 500 en 10.000 jaar gangbaar [TEC 2003].

Uit eerder berekeningen blijkt dat bij gebruik van de KNMI kansverdeling bij een terugkeertijd van ca. 10.000 jaar de PGA ca. 7 m/s^2 bedraagt. Hierbij worden zeer zware ontwerpen berekend en zijn oplossingen in grond in veel gevallen niet mogelijk.

Het negeren van het lengte effect leidt tot een te optimistisch ontwerp. De terugkeertijden zoals berekend in tabel 3 geven een veilige bovengrens voor de terugkeertijd. Deze waarde voor de terugkeertijd kan mogelijk nog geoptimaliseerd worden. Overwogen kan worden om als tussenwaarde voor het TVKA aan te sluiten bij de terugkeertijd van 3.600 behorend bij veiligheidsklasse RC3 uit [NPR 9998]. Deze waarde ligt tussen de bovengrens zoals bepaald in tabel 3 en de tot dusver gehanteerde waarde voor de bepaling van het ruimtebeslag in. Deze waarde is echter niet perse conservatief, zodat bijstelling naar boven in de toekomst niet uitgesloten is.

7. CCSM MODEL

In het WTI2017 wordt overgestapt op het CSSM voor het uitvoeren van stabiliteitsberekeningen. Op dit moment is hier nog geen ontwerpmethodiek voor vastgesteld. Wel wordt al in enkele projecten al met deze methodiek gerekend. Geadviseerd wordt om de werkwijze zoals vastgesteld in een dergelijk project, bijvoorbeeld het Markermeerdijkproject, toe te passen voor ca. 5 doorsneden.

Belangrijk aandachtspunt is dat door de hoge invloedsfactor voor de aardbevingsbelasting de correcties op materiaalfactoren etc. ook opnieuw bepaald moeten worden.

8. OVERIGE/ONTWERPKEUZES

Naast de in de voorgaande hoofdstukken genoemde punten zijn er nog diverse ontwerpkeuzes en overige uitgangspunten die al dan niet worden vastgezet in het contract. Dit zijn bijvoorbeeld het maximaal kritiek overslagdebiet, het al dan niet toepassen van zonering, de toe te passen ontwerplevensduur en de hydraulische randvoorwaarden. Hier wordt verder niet op ingegaan.

9. CONCLUSIES

Op basis van de vastgestelde onzekerheden voor het ontwerp van de dijkversterking Eemshaven-Delfzijl zijn de volgende onzekerheden benoemd:

Een belangrijke onzekerheid is de kansverdeling van de aardbevingsbelasting. Met name het effect van niet lineaire opslingering lijkt een belangrijk effect op deze kansverdeling te hebben. Geadviseerd wordt om dit effect in de kansverdeling op te nemen. Inschatting van het effect is niet goed mogelijk zonder (EEM) berekeningen om dit effect te kwantificeren. Wellicht dat het internationale expertteam ook nog bij kan dragen aan dit aspect.

Een andere onzekerheid in het project zijn de toe te passen verwekingsmodellen en dynamische rekenmodellen en het beoordelen van de oplossingen die de aannemers indienen. Het inschakelen van een internationaal expert team om de toegepaste en toe te passen rekenmodellen en beoordelingsmethoden te beoordelen kan dit risico reduceren.

Op het gebied van normering is met name hoe om te gaan met het lengte effect van belang. Door dit effect mee te nemen worden significant hogere terugkeertijden berekend als in eerdere analyses voor dit project is toegepast. De terugkeertijd neemt dan toe van ca. 1.300 naar ca. 14.000 jaar. Bij deze terugkeertijden wordt goed inzicht in de kansverdeling van de aardbevingsbelasting nog belangrijker.

In het WTI 2017 wordt overgestapt op het CSSM model. Geadviseerd wordt om op basis van een ontwerpmethodiek die in een lopend project al wordt toegepast een consequentie analyse uit te voeren voor ca. 5 doorsneden. Zo kan meer inzicht in het effect van de toepassing van het CSSM worden verkregen.

Naast de in de voorgaande hoofdstukken genoemde punten zijn er nog diverse ontwerpkeuzes en overige uitgangspunten die al dan niet worden vastgezet in het contract. Dit zijn bijvoorbeeld het maximaal kritiek overslagdebiet, het al dan niet toepassen van zonering, de toe te passen ontwerplevensduur en de hydraulische randvoorwaarden. Deze zijn in een eerder stadium al vastgezet of behorend tot de ontwerpvrijheid van de aannemer.

Bijlage 5.6 Presentatie HWBP

Project Eemshaven - Delfzijl

Dijkverbetering incl aardbeving belasting

Mirjam Molen en Ben Rijneveld

Groningen, 6 maart 2015

24 april laatste gegevens verwerkt

Imagine the result

FUGRO ARCADIS

Inhouds opgave

- Inleiding
- Aanpak
- Proces en resultaten
- Stand van zaken en laatste resultaten
- Vervolgacties

Doel stellingen

Doelstelling dijkverbetering

De doelstelling is het zodanig uitvoeren van de dijkverbetering dat deze voldoet aan de nieuwe normering en waarbij de dijkverbetering voldoende veiligheid bied tegen aardbevingen.

Onze opdracht

Bepalen van het ruimtebeslag, in beeld brengen van de verschillen van het ruimtebeslag bij de oude en de nieuwe normering, formuleren realistische set ontwerpuitgangspunten tbv VKA en D&C-contract

“onze” opdracht, wie is ons?

ontwerpteam voor de verkenningsfase bestaat uit Arcadis/Fugro/Deltares

Consultatie van TNO/ENW en het kennisplatform

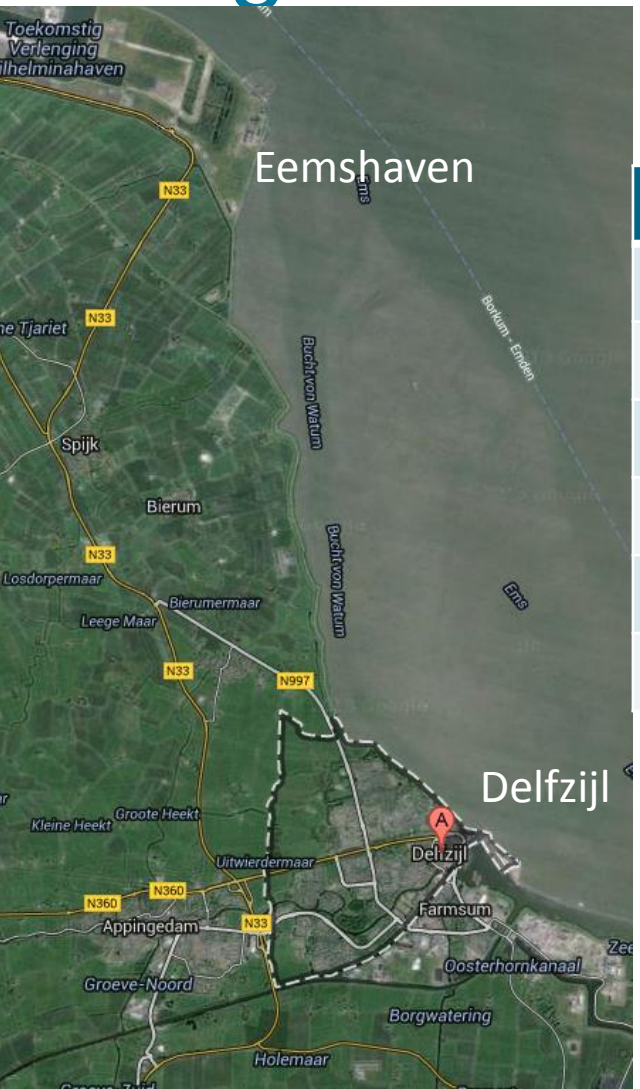
Volgende week memo in ENW

Doel stellingen

Doel van vandaag

Presenteren van de reële aannames voor Ontwerp instrumentarium 2014 en HR 2011, en de aardbeving belasting

Algemeen



Versterking tussen Eemshaven en Delfzijl
Dijkringgebied 6, beheerd door Waterschap Noorderzijlvest
Traject van 11,7 kilometer

Afgekeurd in de derde toetsronde
Faalmechanismen:

Dijktraject/leiding	Afgekeurd onderdeel
Km 27,00 – 29,20	Grasbekleding onder toetspeil
Km 27,00 – 30,00	Koperslakblokken
Km 27,00 – 38,50	Macrostabiliteit binnenwaarts
Km 29,80 – 30,30	Grasbekleding onder toetspeil
Km 30,90 – 36,30	Grasbekleding onder toetspeil
Km 38,30 – 38,70	Grasbekleding onder toetspeil

Aanvullend: aardbeving belasting meenemen
Aanvullend: uitgaan van de nieuwe normering
Aanvullend: meekoppelkansen

FUGRO ARCADIS

Traject indeling

Versterking van het traject

- Tussen km 27 en 38,7
- Verdeeld in 5 trajecten, per traject 1 maatgevende raai benoemd

Maatgevende profielen voor stabiliteit sommen

• Raai 6	km 38	38,5-37,1
• Raai 41	km 34,5	37,1-32,9
• Raai 61	km 32,5	32,9-30,7
• Raai 86	km 30	30,7-29,5
• Raai 106	km 28	29,5-27

Eemshaven
Delfzijl
km 38
RAAI 6
6-6
km 37
6-7
km 36
km 35
RAAI 41
km 34
km 33
RAAI 61
km 32
km 31
km 30
RAAI 86
km 29
km 28
RAAI 106
Gemeente Delfzijl
Gemeente
Loppersum
Gem
Delfzijl
Gemeente
Loppersum
Loppersum
Delfzijl

Aanpak

4 sporen:

Spoor 1: Huidige norm zonder aardbeving

Spoor 2: Huidige norm met aardbeving

Spoor 3: Nieuwe norm zonder aardbeving

Spoor 4: Nieuwe norm met aardbeving

Daarnaast een hertoets o.b.v. huidige norm, HR2011, zonder aardbeving

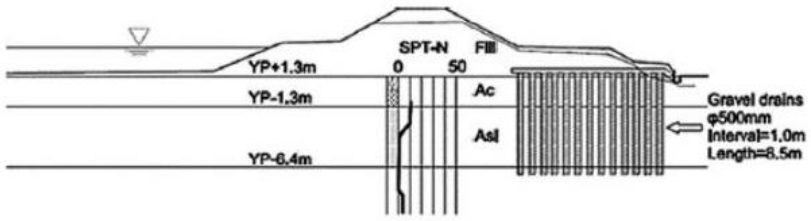
Huidige norm = 1/4.000 overschrijdingskans

Nieuwe norm = 1/3.000 of 1/10.000 overstromingskans

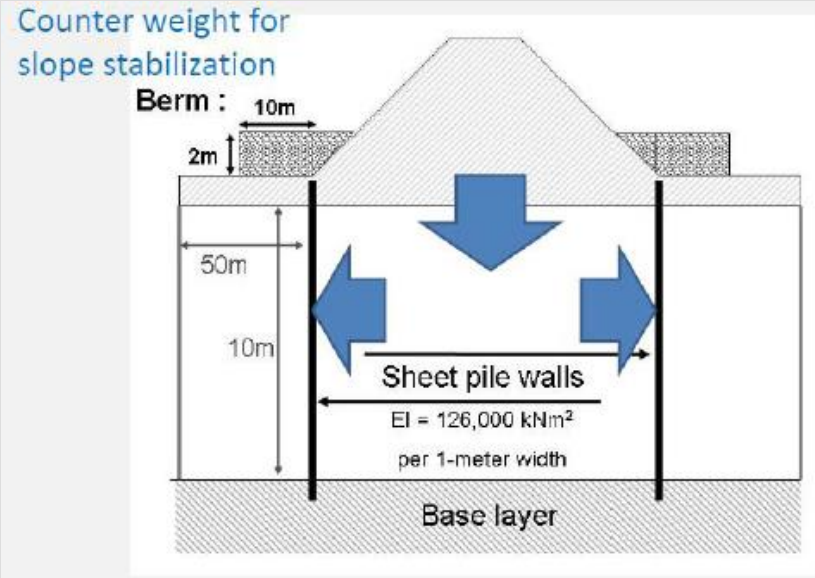
Aanpak

Belangrijk uitgangspunt: Verweking wordt door een maatregel uitgesloten. Bijvoorbeeld:

- Grondverbetering
- Drainage
- Constructieve oplossing



All pictures from: Y. Sasaki et al. / Soils and Foundations 52 (2012) 1016–1032



All pictures from: Presentation of Ikuo Towhata, at the Second International Conference on Performance-Based design in Earthquake Geotechnical Engineering, Taormina, Italy on May 29, 2012

Resultaten hertoets

Resultaten stabiliteitsberekeningen hertoets

Bestaande situatie met huidige normering
Exclusief verweking (aardbeving)

raai	huidige situatie binnen			huidige situatie buiten		
	Bishop	Spencer	Voldoet?	Bishop	Spencer	Voldoet?
6	0,93	0,95	Nee	1,35	1,36	Ja
41	1,02	0,94	Nee	1,23	1,21	Ja
61	1,15	1,02	Nee	1,36	1,33	Ja
86	1,23	1,13	Ja	1,67	1,61	Ja
106	1,15	1,07	Ja	1,62	1,59	Ja

Stabiliteitseis:

STBI: 1,11 (Bishop), 1,05 (Spencer)

STBU: 1,05 (Bishop), 1,00 (Spencer)

Gevolgde proces

12-2014 Oude + nieuwe norm Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe normering Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe norm, met beving, optimistisch	03-2015 Nieuwe norm, met/zonder beving
Overslag 1 l/m/s PP 50 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI kansverdeling	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 10 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 34% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,79 Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 24% Midden-/afkeur = 3 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,89 Reststerkte 1/3 KNMI met aftopping

Gevolgde proces

12-2014
Oude + nieuwe norm
Met/zonder beving

Overslag 1 l/m/s
PP 50 jaar
Budget STB 4%
Midden-/afkeur = 2
$\alpha_{beving} = 0,7$
Geen verlaging γ_m
Geen reststerkte
KNMI kansverdeling

Uitgangs-punten hoogte december

Belangrijkste uitgangspunten kruinhoogte:

- Hydraulische randvoorwaarden (CR2011): swan_waddenzee_oost.mdb (behorend bij Hydra K)
- Huidige normering dijkring 6 (1/4.000 per jaar)
- Nieuwe normering op basis van het synthesedocument deelprogramma Veiligheid
- KNMI'06 W+ scenario (KNMI, 2006), dit komt overeen met de deltascenario's Stoom en Warm (Deltares, 2011) en betreft zeespiegelstijging 0,35 m in 2050
- **Overslagdebiet van 0,1 – 1 – 2 – 10 en 50 l/s/m**
- **Planperiode 50 jaar**
- Robuustheidstoeslag 0,1 m (2009) en 0,4 m (nieuwe robuustheidstoeslag voor 50 jaar)
- Golfhoogte en golfperiode toeslag 10%
- Hydra K versie 3.6.5 Extra

Benodigde kruin-hoogten

Resultaten kruinhoogteberekeningen

ontwerphoogte aanwezig na 50 jaar – geen aanleghoogte

- Huidige normering
- Inclusief zeespiegelstijging (planperiode 50 jaar), robuustheidstoeslag en toeslagen
- Exclusief bodemdaling (0,4 m in 50 jaar)

Raai	Bestaande kruinhoogte	Norm [1/... p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 2 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
Raai 6	7,6	4.000	7,56	6,89	6,68	6,43	6,26	5,91
Raai 41	8,1	4.000	7,95	7,36	7,18	6,96	6,80	6,44
Raai 61	8,1	4.000	8,34	7,62	7,39	7,11	6,91	6,46
Raai 86	7,7	4.000	8,02	7,44	7,27	7,05	6,88	6,51
Raai 106	8,1	4.000	10,39	9,37	9,04	8,61	8,30	7,62

ARCADIS

Benodigde kruin-hoogten

Resultaten kruinhoogteberekeningen: ontwerphoogte aanwezig na 50 jaar – geen aanleghoogte

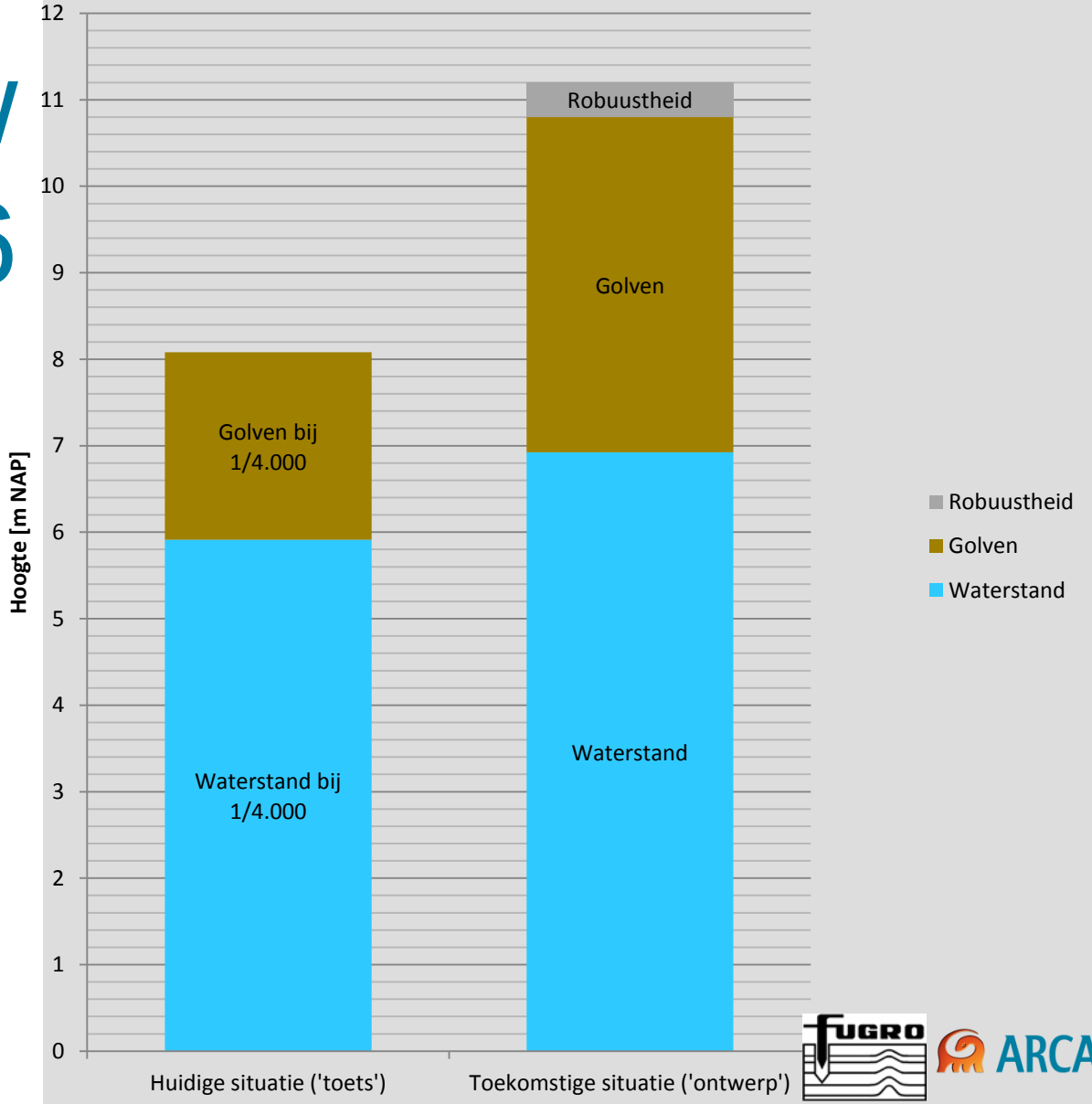
- Nieuwe normering
- Inclusief zeespiegelstijging (planperiode 50 jaar), robuustheidstoeslag en toeslagen
- Exclusief bodemdaling (0,4 m in 50 jaar)

Raai	Bestaande kruin hoogte	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 0,1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 2 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 50 [l/s/m]
Raai 6	7,6	3.000	18.750	8,67	7,93	7,71	7,41	7,19	6,71
Raai 6*	7,6	10.000	62.500	9,32	8,51	8,26	7,94	7,71	7,16
Raai 41	8,1	10.000	62.500	9,81	8,99	8,74	8,41	8,17	7,64
Raai 61	8,1	10.000	62.500	10,19	9,29	9,00	8,63	8,36	7,77
Raai 86	7,7	10.000	62.500	9,66	8,88	8,64	8,33	8,10	7,58
Raai 106	8,1	10.000	62.500	12,44	11,21	10,80	10,27	9,88	9,02

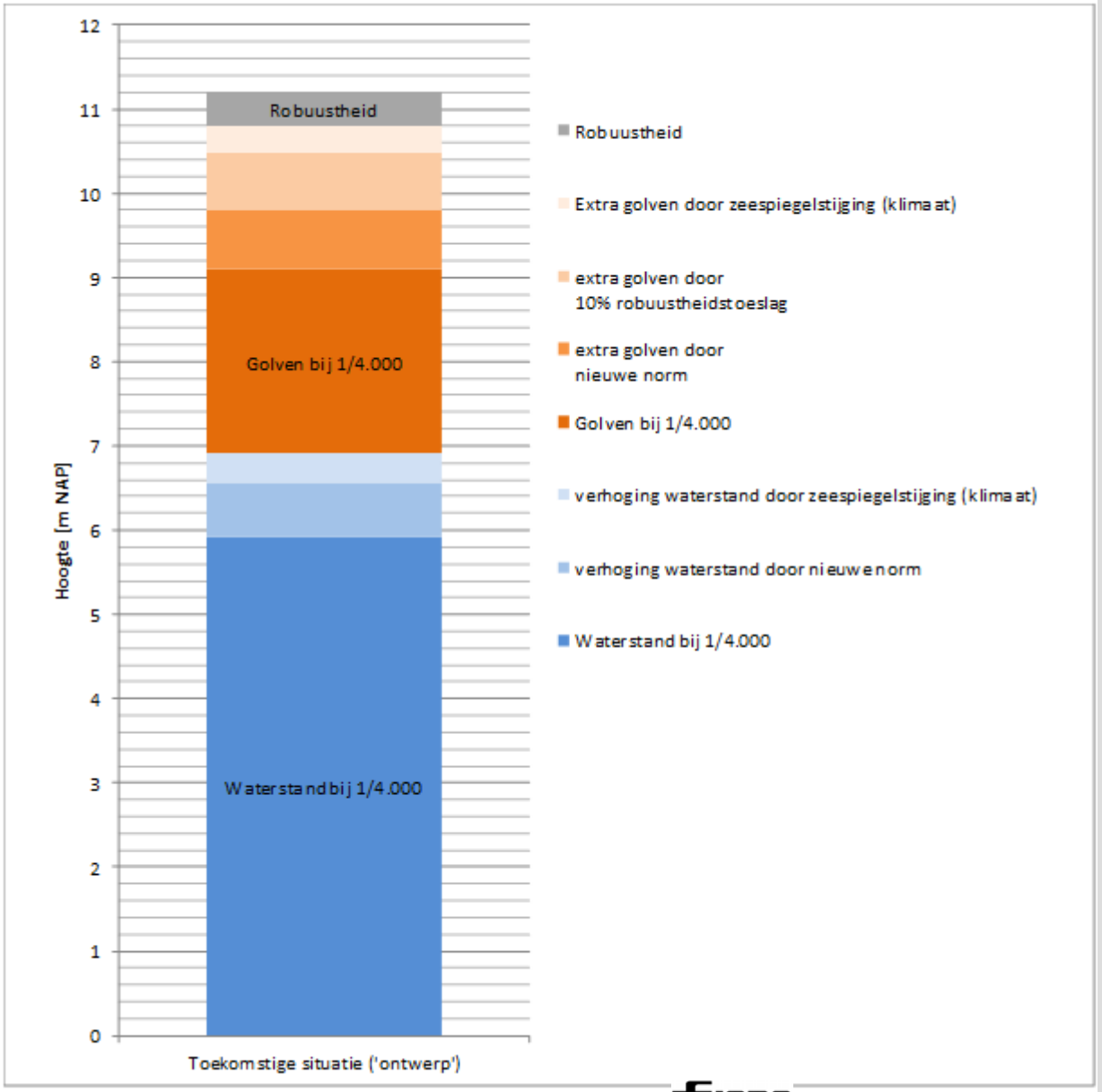
* Raai 6 o.b.v. 1/10.000 per jaar frequentie om extra inzicht te bieden in de benodigde ontwerphoogte

Opbouw raai 106

Rapportage ligt nu ter beoordeling bij kennisplatform



Opbouw raai 106



Figuur 7: Opbouw kruinhoogte toekomstige situatie

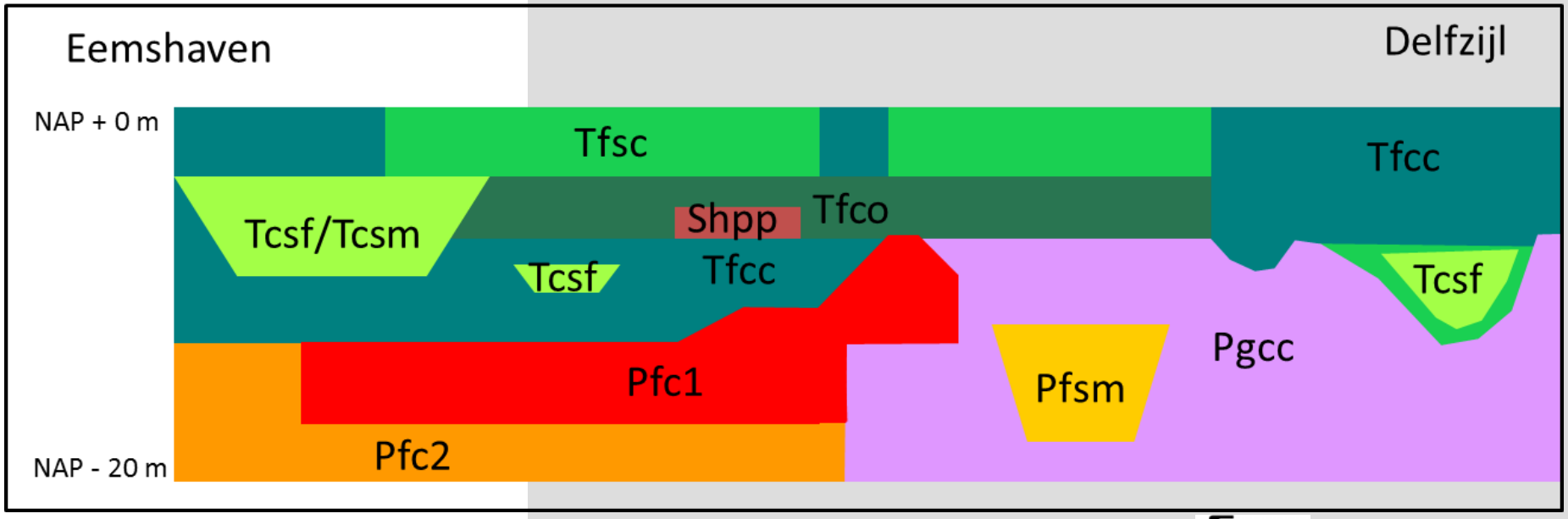
Uitgangspunten stabiliteit december

Uitgangspunten stabiliteitsberekeningen
12-12-2014

- Verweking wordt met maatregel voorkomen
- **Planperiode 50 jaar**
- Kruinhoogte bij kritiek overslagdebiet 1 l/s/m
- **Faalkansbudget 4%**
- **Factor middenkans/afkeurkans 2**
- Geen reststerkte na instabiliteit door beving
- Invloedsfactor aardbeving 0,7
- Ongewijzigde kansverdeling beving KNMI
- PGA = 3,7 m/s^2, a_{yield} = 0,6 m/s^2
- Bodemopbouw op basis van S.O.S. (natuurlijke ondergrond), sonderingen (dijklichaam) en bestekstekeningen (ligging oude kleidijk)
- Grondeigenschappen deels uit toetsing deels uit nieuwe proeven
- Ophoging met zand
- Buitenteen blijft op zelfde locatie

Lengte profiel

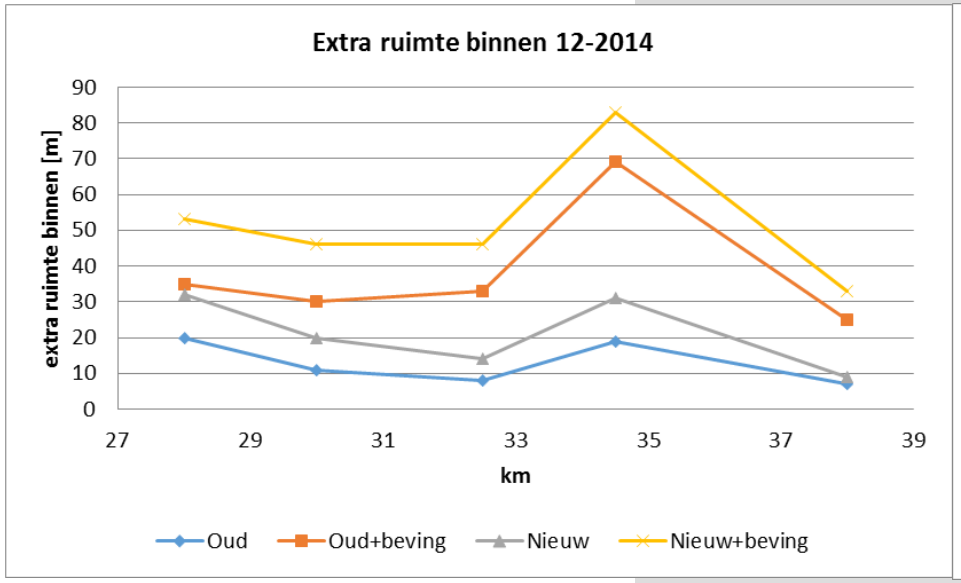
Code	Geologische/geotechnische betekenis
Pgcc	Potklei. Zeer stevige klei, met zandinsluitingen 0.5 -2 m dik. Fs 3-8%, qc 1 -2.5 MPa, oplopend met de diepte.
Pfsm	Fijn tot matig grof rivier/beekzand. Matig dicht tot dicht zand. Fs < 1%, qc meestal 10-15 MPa
Pfc1	Matig grof tot grof rivier/beekzand. Dicht zand. Fs < 1%, qc >30 MPa.
Pfc2	Matig grof tot grof rivier/beekzand. Dicht zand. Fs < 1%, qc 15-30 MPa
Shpp	Veen, slap. Fs meestal groter dan 5% met uitschieters naar 10%, conus < 1 MPa.
Tfco	Organische klei. Zacht met dunne veenlagen van 0.1- 0.3 m dik, fs 4-6% met uitschieters naar 8%. qc meestal < 1 MPa.
Tfcc	Getijdenplaatklei. geen - weinig mm cm dikke zand/siltlaagjes, meest matig stevig, weinig plantenresten, fs ca. 1 - 3 %, qc <2 MPa, Pakket bestaat meest uit meerdere lagen met verschil in gehalte aan zandlaagjes.
Tfsc	Getijdengeultjes en -platen. Zand en klei, soms zandige klei. mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 20 - 50 % in < 1 m dikke sublagen minder dan 20 m breed binnen één pakket, los - matig vast, fs 0.5 - 2 %, conus 2 -4 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 1 -2 MPa.
Tcsf	Getijdengeul. Zand, fijn, kleiig , mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 10 - 30 % met uitschieters tot 40 %, in 0.5 - 2 m dikke sublagen minder dan 30 m breed binnen één pakket, zeer los tot los, kleef ~ 1 - 2 %, conus 1 - 5 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 1 -3 MPa en met uitschieters naar 10 MPa
Tcsm	Getijdengeul. Zand, matig fijn tot matig grof, weinig mm-cm smalle klei/siltlaagjes, soms met 0.5-2 m dikke sublagen. Los tot matig vast, fs ~0.5-1.5%, qc meestal 5-10 MPa

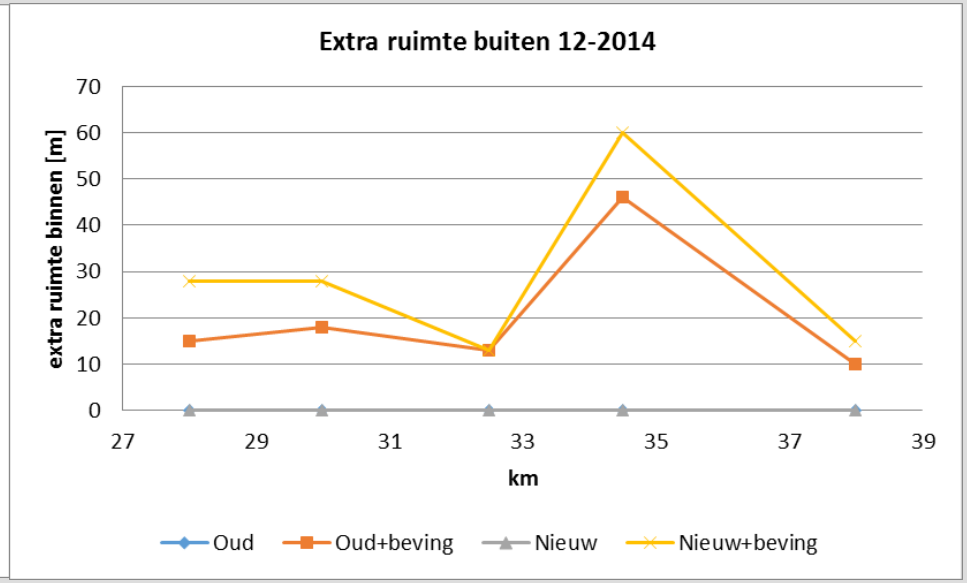


Resultaten stabiliteit

Resultaten stabiliteitsberekeningen 12-12-2014

- Extra ruimte binnen: 10-30m
- Extra ruimte binnen met beving: 30-80m
- Extra ruimte buiten: huidig voldoet
- Extra ruimte buiten met beving: 10-60m





Conclusie

nieuwe normering en aardbeving belasting

Aardbevingen hebben een zeer forse impact op ruimtebeslag en kosten

→ geen haalbaar en betaalbaar ontwerp

→ dus optimaliseren uitgangspunten

Gevolgde proces

12-2014 Oude + nieuwe norm Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe normering Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe norm, met beving, optimistisch	03-2015 Nieuwe norm, met/zonder beving
Overslag 1 l/m/s PP 50 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI kansverdeling	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 10 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 34% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,79 Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 24% Midden-/afkeur = 3 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,89 Reststerkte 1/3 KNMI met aftopping

Gevolgde proces

02-2015
Nieuwe normering
Met/zonder beving

Overslag 5 l/m/s
PP 25 jaar
Budget STB 4%
Midden-/afkeur = 2
$\alpha_{beving} = 0,7$
Geen verlaging γ_m
Geen reststerkte
KNMI met aftopping

Advies Kennisplatform risicobenadering

Bevestigd door Helpdesk water

- Gebruikte waarden akkoord
- Conclusie en aandachtspunten

- **Overslagdebiet van 10 l/s/m is haalbaar (gebruikt 5 l/m/s)**
- Overstromingskans heeft betrekking op falen van de dijk, niet op begaanbaarheid
- Ten aanzien van uitgangspunten OI2014 weinig ruimte tot optimalisatie kruinhoogte (geen wijzigingen doorgevoerd)
- Van faalkansbegroting mag gemotiveerd worden afgeweken
- Optimalisatie wordt vooral gevonden in overslagdebiet
- Dus geen optimalisatie HR met toeslagen

Uitgangs punten februari

Uitgangspunten stabiliteitsberekeningen

Februari 2015

- Verweking wordt met maatregel voorkomen
- **Planperiode 25 jaar**
- **Kruinhoogte bij kritiek overslagdebiet 5 l/s/m**
- Faalkansbudget 4%
- Factor middenkans/afkeurkans 2
- Geen reststerkte na instabiliteit door beving
- Invloedsfactor aardbeving 0,7
- Ongewijzigde kansverdeling beving KNMI
- PGA = 3,7 m/s^2, a_{yield} = 0,6 m/s^2
- **Geometrie en stijghoogterespons aangescherpt**

Benodigde kruin-hoogten

Resultaten kruinhoogteberekeningen

ontwerphoogte aanwezig na 25 jaar – geen aanleghoogte

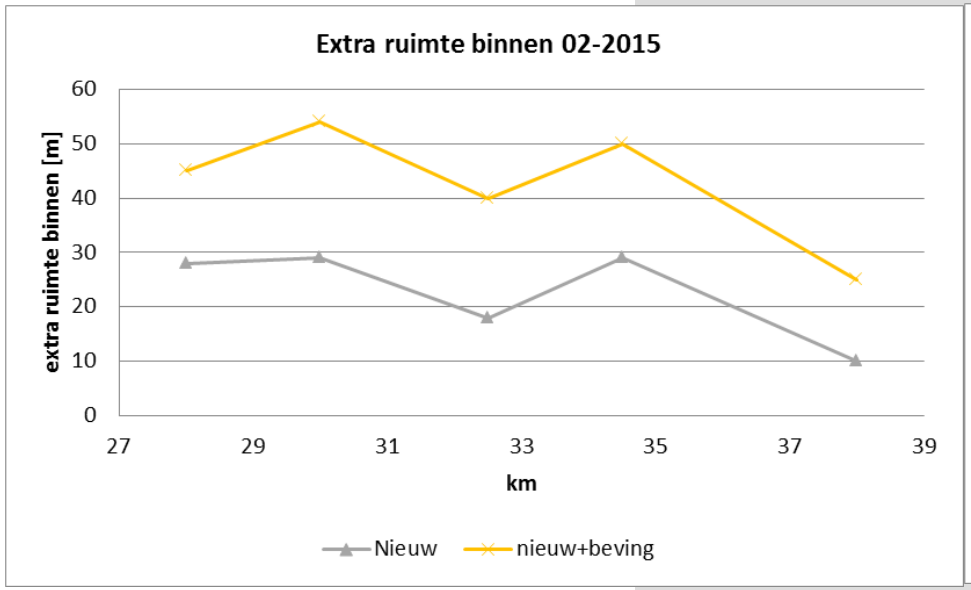
- Nieuwe normering
- Inclusief zeespiegelstijging (planperiode 25 jaar), robuustheidstoeslag en toeslagen
- Exclusief bodemdaling (0,2 m in 25 jaar)

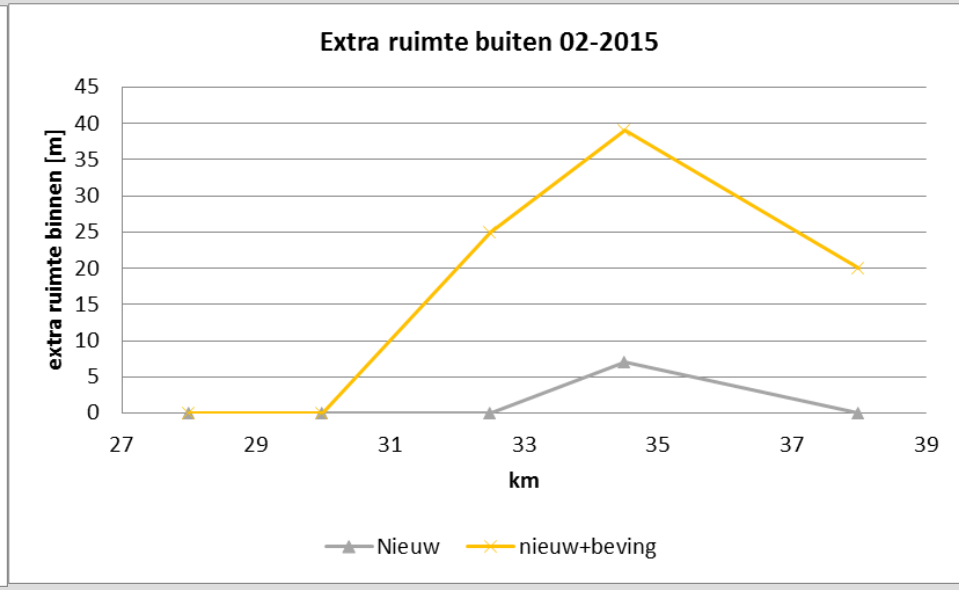
Raai	Bestaande kruin hoogte	Norm [1/… p/j]	$P_{eis,\ i}$ [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 1 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Kruinhoogte [NAP+ m] 10 [l/s/m]
Raai 6	7,6	3.000	18.750	7,28	6,76	6,55
Raai 6*	7,6	10.000	62.500			
Raai 41	8,1	10.000	62.500	8,33	7,77	7,54
Raai 61	8,1	10.000	62.500	8,55	7,93	7,68
Raai 86	7,7	10.000	62.500	8,23	7,70	7,48
Raai 106	8,1	10.000	62.500	10,48	9,57	9,18

Resultaten stabiliteit

Resultaten stabiliteitsberekeningen (nieuwe norm)
Februari 2014

- Extra ruimte binnen: 10-30m
- Extra ruimte binnen met beving: 25-55m
- Extra ruimte buiten: 0-5m
- Extra ruimte buiten met beving: 0-40m





Gevolgde proces

12-2014 Oude + nieuwe norm Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe normering Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe norm, met beving, optimistisch	03-2015 Nieuwe norm, met/zonder beving
Overslag 1 l/m/s PP 50 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI kansverdeling	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 10 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 34% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,79 Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 24% Midden-/afkeur = 3 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,89 Reststerkte 1/3 KNMI met aftopping

Gevolgde proces

02-2015
Nieuwe norm, met beving, optimistisch

Overslag 10 l/m/s
PP 25 jaar
Budget STB 34%
Midden-/afkeur = 2
α_{beving} = 0,9
Verlaging γ_m = 0,79
Geen reststerkte
KNMI met aftopping

Uitgangs punten februari
optimistische benadering

Uitgangspunten stabiliteitsberekeningen

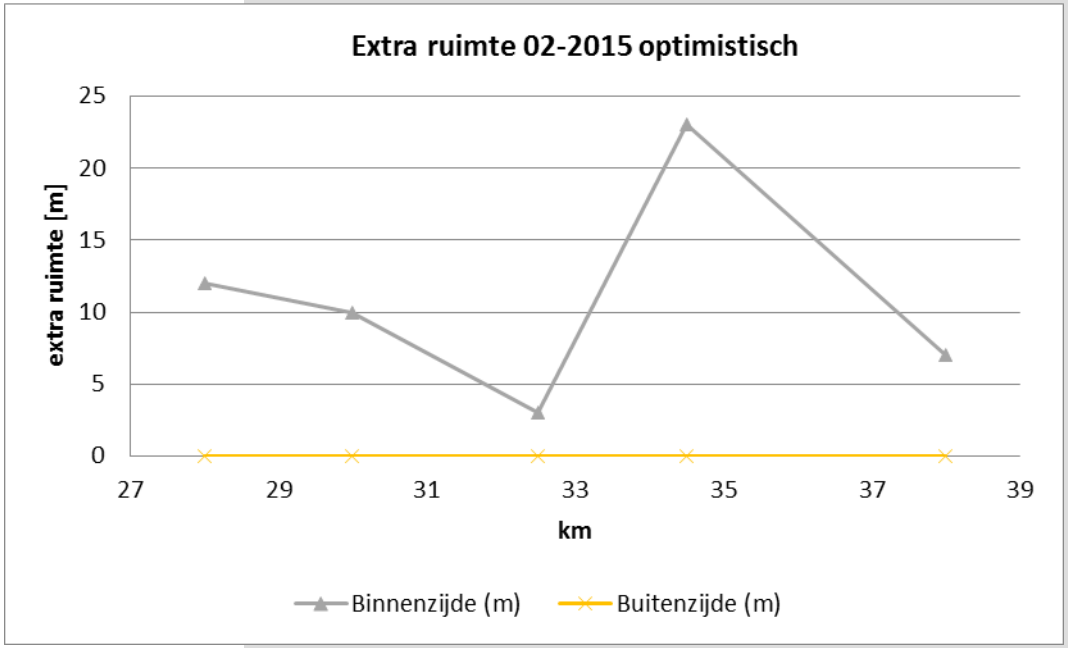
Februari 2015 (optimistisch)

- Verweking wordt met maatregel voorkomen
- Planperiode 25 jaar
- **Kruinhoogte bij kritiek overslagdebiet 10 l/s/m**
- **Faalkansbudget 34%**
- Factor middenkans/afkeurkans 2
- Geen reststerkte na instabiliteit door beving
- Invloedsfactor aardbeving 0,9
- **Gereduceerde materiaalfactor en schadefactor bij aardbeving (o.a. reststerkte en verdisconteren hoge invloedsfactor beving)**
- **Afgetopte kansverdeling beving KNMI**
- PGA = 4,0 m/s^2, a_{yield} = 0,7 m/s^2

Resultaten stabiliteit

Resultaten stabiliteitsberekeningen (nieuwe norm)
Februari 2014: Optimistische uitgangspunten

- Extra ruimte binnen: n.b.
- Extra ruimte binnen met beving: 5-25m
- Extra ruimte buiten: n.b.
- Extra ruimte buiten met beving: voldoet



Conclusie
optimistische benadering

- → Voorkomen buitenwaartse versterking niet uitgesloten
- → De moeite waard om verder te optimaliseren

Gevolgde proces

12-2014 Oude + nieuwe norm Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe normering Met/zonder beving	02-2015 Nieuwe norm, met beving, optimistisch	03-2015 Nieuwe norm, met/zonder beving
Overslag 1 l/m/s PP 50 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI kansverdeling	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 4% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,7 Geen verlaging γ_m Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 10 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 34% Midden-/afkeur = 2 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,79 Geen reststerkte KNMI met aftopping	Overslag 5 l/m/s PP 25 jaar Budget STB 24% Midden-/afkeur = 3 α_{beving} = 0,9 Verlaging γ_m = 0,89 Reststerkte 1/3 KNMI met aftopping

Gevolgde proces

03-2015
Nieuwe norm,
met/zonder beving

Overslag 5 l/m/s
PP 25 jaar
Budget STB 24%
Midden-/afkeur = 3
α_{beving} = 0,9
Verlaging γ_m = 0,89
Reststerkte 1/3
KNMI met aftopping

	Conservatief	Geoptimaliseerd	Optimistisch	VOORSTEL VOOR HWBP meest reële uitgangspunten
Faalkansverdeling	STB(I): 4% STPH: 24% HT: 24% Overig: 30%	STB(I): 24% STPH: 4% HT: 24% Overig: 30%	STB(I): 24% STPH: 4% HT: 24% Overig: 30%	STB(I): 24% STPH: 4% HT: 24% Overig: 30%
Omrekening middenkans afkeurkans	Factor 2	Factor 3	Factor 3	Factor 3
Reststerkte (kans op overstroming, gegeven instabiliteit door beving)	1	0,33	0,1	0,33
Kansverdeling aardbevingen	KNMI 'ongewijzigd'	KNMI met $\lambda = 27$ en aftopping op 4 m/s^2	KNMI met reductie M_{max}, $\lambda = 27$ en niet lineaire overdrachtsfunctie	KNMI met $\lambda = 27$ en aftopping op 4 m/s^2
Invloedsfactor aardbevingen	>0,9	0,9	0,7	0,9
Kruinhoogte	1 l/s/m	5 l/s/m	10 l/s/m	5 l/m/s

	Conservatief	Geoptimaliseerd	Optimistisch	VOORSTEL VOOR HWBP meest reële uitgangspunten
(On)gedraineerd rekenen	Gedraineerd en ongedraineerd	gedraineerd	gedraineerd	gedraineerd, komende maanden gevoeligheidsanalyses om ongedraineerd te onderbouwen.
Zonering (met aardbeving)/ optimalisatie van reststerkte.	Geen zonering	Geen zonering	Wel zonering	geen zonering, kan als optimalisatie in later stadium alsnog worden uitgewerkt
Ontwerplevensduur	50 jaar	25 jaar	25 jaar	25 jaar, ook op basis van LCC, dus makkelijk uitbreidbaar
HR				HR2011
ruwheid bekleding				uitgangspunt 0,9, hier zit wel een optimalisatie
optimalisatie grondonderzoek	noodzakelijk uit te voeren	noodzakelijk uit te voeren	noodzakelijk uit te voeren	noodzakelijk uit te voeren

Uitgangspunt is dat verweking voorkomen wordt door een aanvullende maatregel.

Uitgangspunten maart 2015

Geoptimaliseerd scenario

Uitgangspunten stabiliteitsberekeningen
Maart 2015

- Verweking wordt met maatregel voorkomen
- Planperiode 25 jaar
- **Kruinhoogte bij kritiek overslagdebiet 5 l/s/m**
- **Faalkansbudget 24%**
- **Factor middenkans/afkeurkans 3**
- Kans op overstroming gegeven instabiliteit door beving van 1/3 (reststerkte)
- Invloedsfactor aardbeving 0,9
- Gereduceerde materiaalfactor (factor) 0,89 door lagere invloed materiaalonzekerheid
- Afgetopte kansverdeling beving KNMI met 27 significante bevingen
- PGA = 4,0 m/s^2, a_{yield} = 0,57 m/s^2

Benodigde kruinhoogte

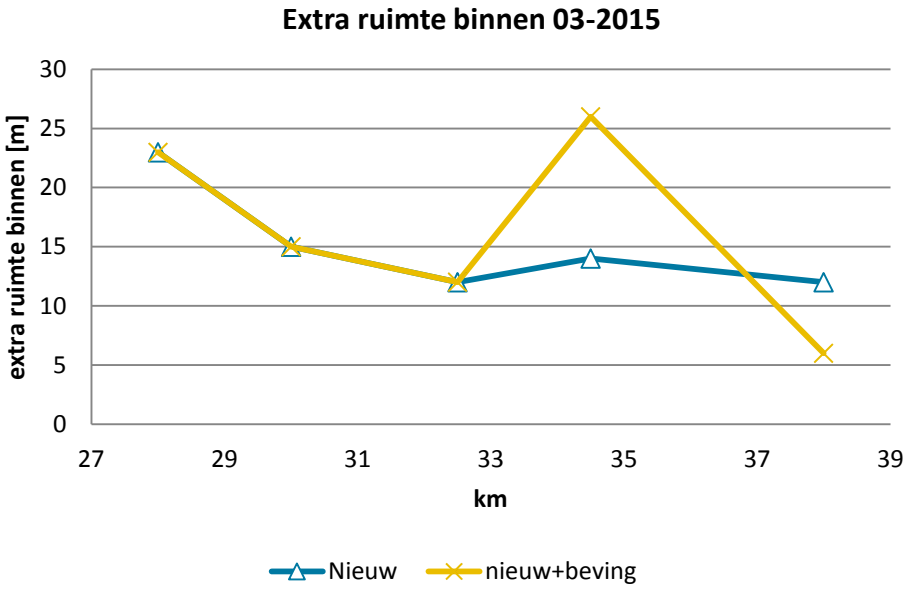
Raai	Bestaande kruin Hoogte [m NAP]	Norm [1/… p/j]	Kruinhoogte [NAP+ m] 5 [l/s/m]	Verschil [m]
Raai 6	7,6	3.000	7,19 (6,59)	0,4
Raai 41	8,1	10.000	8,22 (7,62)	0,1
Raai 61	8,1	10.000	8,41 (7,81)	0,3
Raai 86	7,7	10.000	8,17 (7,57)	0,4
Raai 106	8,1	10.000	9,98 (9,38)	1,9

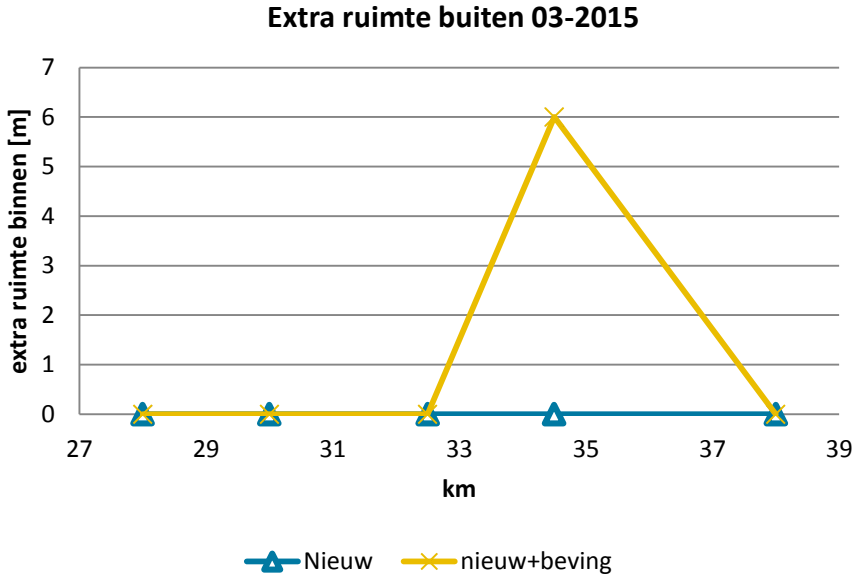
Waarden tussen haakjes exclusief compensatie voor bodemdaling en robuustheidstoeslag

Resultaten stabiliteit

Resultaten stabiliteitsberekeningen
Maart 2014

- Extra ruimte binnen: 5-15
- Extra ruimte binnen met beving: 5-25m
- Extra ruimte buiten: voldoet
- Extra ruimte buiten met beving: 0-10
- Resultaten voor water- en aardbevingsbelasting liggen veel dichter bij elkaar

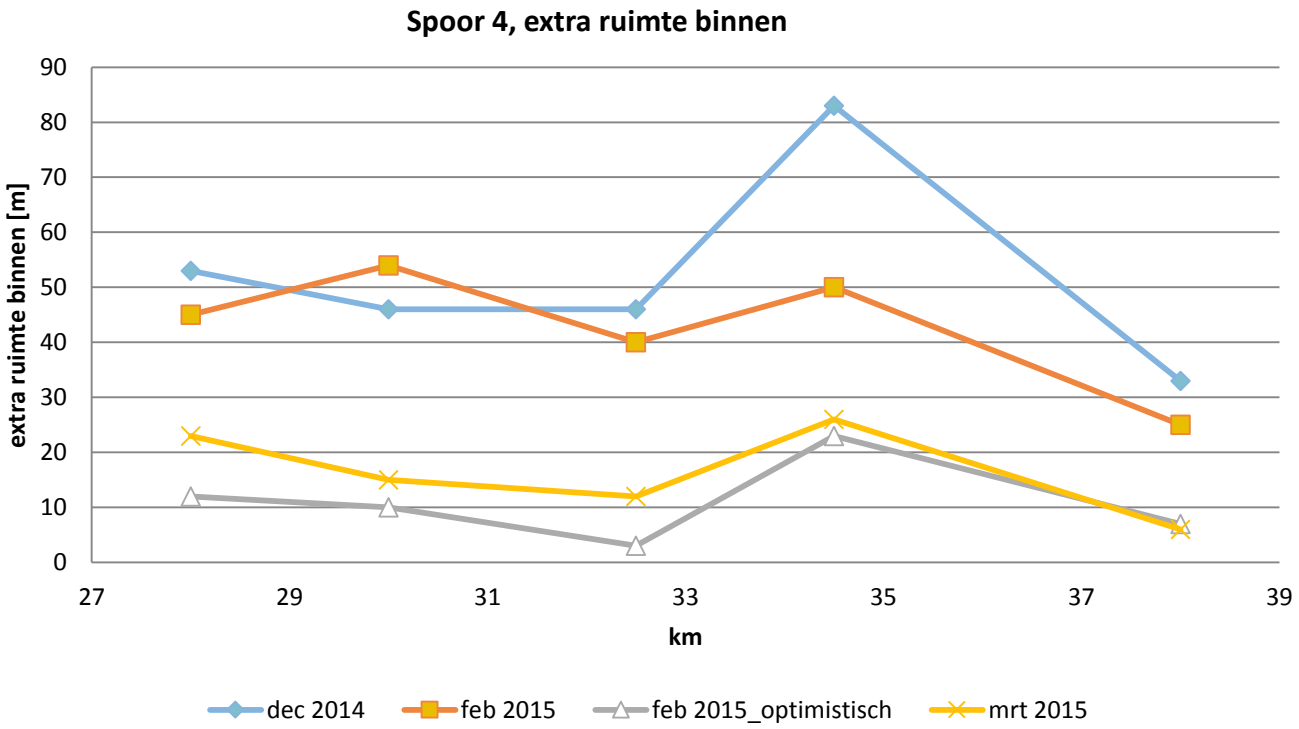




Resultaten stabiliteit

Overzicht proces

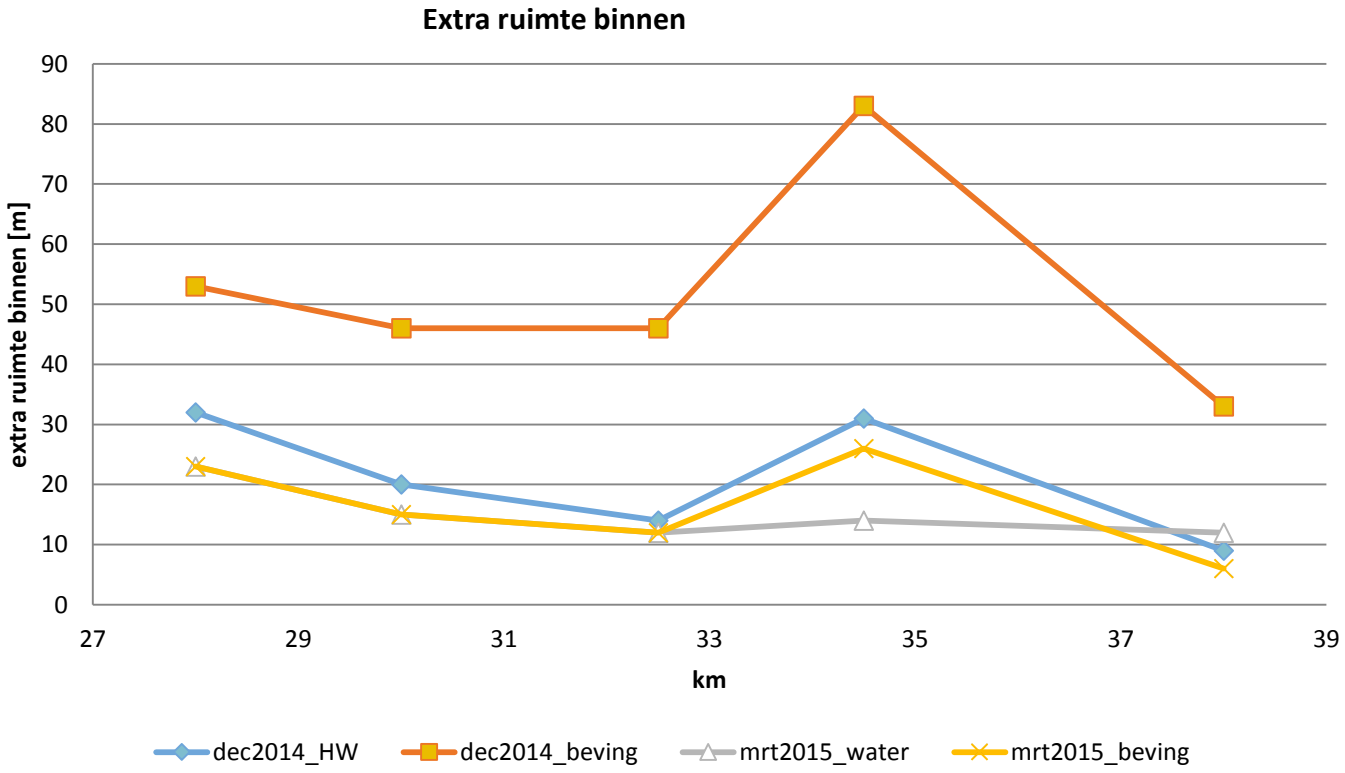
- Nieuwe normering, met aardbeving
- Ruimtebeslag binnenzijde afgenomen van 40 tot 80m naar 5 tot 25 m



Resultaten stabiliteit

Overzicht proces

- Ruimtebeslag waterbelasting ook afgenomen (o.a. door faalkansbudget)
- Bij raai 6 waterbelasting maatgevend



Vervolg acties

t.b.v. valideren en eventueel aanpassen uitgangspunten t.b.v. D&C-contract

- Expertsessie met buitenlandse aardbeving experts o.a. voor verwekingsproblematiek
- Niet lineaire overdrachtsfunctie aardbevingsbelasting toepassen
- Vaststellen faalkansbudget
- Vaststellen reststerkte aanpak
- Overnemen factor middenkans/afkeurkans
- Proevenverzameling voor alle ontbrekende lagen uit SOS (aanvulling cohesieve lagen)
- Onderzoek ligging en eigenschappen oude kleidijk
- Geotechnisch lengteprofiel
- Respons tussenzandlagen meten/afleiden, freatische waterstand gedeelte met kleidijk aan binnenzijde meten, stijghoogte 1e wvp bepalen.

Imagine the result

Colofon

RESULTATEN VERDIEPINGSSLAG AARDBEVINGBELASTING OP WATERKERING EEMSHAVEN DELFZIJL

OPDRACHTGEVER:

Waterschap Noorderzijlvest

STATUS:

ConceptConcept

AUTEUR:

J.J. van Loon
M. Arends
B. Rijneveld (Fugro)
W. Leeuwdrent (Fugro)

GECONTROLEERD DOOR:

M. Arends

VRIJGEGEVEN DOOR:

M. Molen

22 april 2015
078278720:A

ARCADIS NEDERLAND BV
Het Rietveld 59a
Postbus 673
7300 AR Apeldoorn
Tel 055 5815 999
Fax 055 5815 599
www.arcadis.nl
Handelsregister 09036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.