

# Prioritaire Dijkversterking 1

## Achtergronddocument Geotechniek

Waterschap Peel en Maasvallei

december 2015  
Definitief



# Prioritaire Dijkversterking 1

## Achtergronddocument Geotechniek

dossier : 9X4447

registratienummer : RDC\_9x4447\_R\_20151210\_NL85691\_d4.0

versie : 4.0

classificatie : Klant vertrouwelijk

Waterschap Peel en Maasvallei

december 2015

Definitief





<b>INHOUD</b>	<b>BLAD</b>	
1	INLEIDING	5
1.1	Projectomschrijving	5
1.2	Doel en reikwijdte van het document	5
1.3	Leeswijzer	5
2	RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Technisch kader	6
2.2.1	Normen en richtlijnen	6
2.2.2	Projectdocumenten	7
2.3	Veiligheid	7
2.3.1	Veiligheidsniveau / normfrequentie	7
2.3.2	Uitbreidbaarheid / robuustheid	7
2.3.3	Partiële veiligheidsfactoren	8
2.4	Duurzaamheid	8
2.5	Vormgeving	9
2.5.1	Huidige situatie	9
2.5.2	Algemene eisen geometrie	9
2.5.3	Kruinhoogte	9
2.5.4	Kruinbreedte	10
2.5.5	Taludhellingen	10
2.5.6	Voorlandverbetering	10
2.5.7	Bekleding	10
2.6	Hydraulische randvoorwaarden	10
2.7	Grondparameters	10
2.8	Rekenmodellen	11
2.9	Verkeersbelasting	12
2.10	Dijkpalen	12
3	ONTWERPAANPAK GROENE KERINGEN	17
3.1	Scope	17
3.2	Zetting en klink	21
3.3	Zandmeevoerende wellen (STPH)	21
3.4	Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)	23
3.5	Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)	24
3.6	Microstabieliteit (STMI)	24
3.7	Voorlandstabieliteit (STVL)	24
3.8	Niet waterkerende objecten	24
3.8.1	Kabels en leidingen	24
3.8.2	Kelders	25
3.8.3	Bomen / vegetatie	25
3.8.4	Eisen / wensen die niet worden gehonoreerd in geotechnisch ontwerp	26
3.9	Lokale hoogtes zonder versterkingsopgave	26
3.9.1	Aanduiding lokale hoogtes	26
3.9.2	Aansluiting op lokale hoogtes	29

3.10	Aansluitingen op aangrenzende waterkeringen	30
4	DO GROENE KERINGEN DR54	31
4.1	Zandmeevoerende wellen (STPH)	31
4.2	Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)	32
4.3	Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)	35
4.4	Microstabieliteit (STMI)	41
4.5	Stabiliteit voorland (STVL)	41
4.6	Zettingen	42
4.7	NWO's	42
4.8	Inpassing ter plaatse van woningen	42
4.8.1	Kanaalweg (DP54.169-54.172)	42
4.8.2	Kleppermanstraatje (DP54.172-54.173)	44
4.8.3	Maasstaete (DP54.181-54.183)	46
4.9	Lokale hoogtes	47
4.9.1	Ven-Zelderheide (DP54.032-54.049)	47
4.9.2	Bloemenstraat Oost (DP54.096-54.103)	48
4.9.3	Bloemenstraat West (DP54.110-54.123)	48
5	DO GROENE KERINGEN DR56A	50
5.1	Algemeen	50
5.2	Locatie specifieke uitgangspunten en randvoorwaarden	50
5.2.1	Bodemopbouw	50
5.2.2	Hydraulische belastingen	52
5.2.3	Aanwezigheid bomen	55
5.3	Hoogte (HT)	56
5.4	Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)	56
5.5	Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)	65
5.6	Zandmeevoerende wellen (STPH)	67
5.7	Microstabieliteit (STMI)	67
5.8	Stabiliteit voorland (STVL)	68
5.9	Bekleding (STBK)	68
5.9.1	Bekleding buitentalud	68
5.9.2	Bekleding kruin en binnentalud	69
5.9.3	Bekleding rondom bomen	69
5.10	NWO's	72
5.11	Inpassing ter plaatse van woningen	72
5.12	Zettingen	72
5.13	Aansluitingen	73
6	DO GROENE KERINGEN DR56B	74
6.1	Zandmeevoerende wellen (STPH)	74
6.2	Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)	74
6.3	Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)	75
6.4	Microstabieliteit (STMI)	75
6.5	Stabiliteit voorland (STVL)	75
6.6	Zettingen	75
6.7	NWO's	75
6.8	Inpassing ter plaatse van woningen	75

6.8.1	Hengeland 1a (DP56.051)	75
6.8.2	Hengeland 3a (DP56.053)	76
6.8.3	Hengeland 5 (DP56.053)	77
6.8.4	Hengeland 7 (DP56.058)	78
7	DO GROENE KERINGEN DR59	79
7.1	Zandmeevoerende wellen (STPH)	79
7.2	Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)	81
7.3	Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)	86
7.4	Microstabieliteit (STMI)	91
7.5	Stabiliteit voorland (STVL)	91
7.6	Zettingen	92
7.7	NWO's	98
7.8	Inpassing ter plaatse van woningen	98
7.8.1	Aijenseweg 24B (DP59.003)	98
7.8.2	Aijenseweg 22 (DP59.004)	98
7.8.3	Aijenseweg 16 (DP59.006)	99
7.8.4	Maasstraat 10 (DP59.021)	99
7.8.5	Aijen 2 (DP59.062)	100
7.9	Bergbezinkbassins	101
7.9.1	BBB Oud Bergen (DP59.024)	101
7.9.2	BBB Aijen (DP59.063)	101
8	CULTUURTECHNISCHE INPASSING VOORLANDVERBETERING	102
8.1	Situatie	102
8.2	Gegevens per dijkkring	102
8.3	Gevolgen voorlandverbetering	103
8.4	Maatregelen om de negatieve gevolgen te beperken	103
8.5	Uitgangspunten voor de uitvoering	103

## Bijlage

1. Kelderinventarisatie
2. Aanvullend kleidikte onderzoek DR59
3. Piping en kwelschermen
4. Macrostabieliteit binnenwaarts
5. Macrostabieliteit buitenwaarts
6. Microstabieliteit
7. Stabiliteit voorland
8. Zettingen
9. Erosieschermen
10. Aanvullend geotechnisch onderzoek DR56A
11. Aanvullend boomtechnisch onderzoek DR56A
12. Berekening stroomsnelheid DR56A
13. Grondwaterstroming Plaxis DR56A
14. Specificaties Secumat



## 1 INLEIDING

### 1.1 Projectomschrijving

Rijkswaterstaat Maaswerken heeft de opdracht om namens de Staat de hoogwaterbescherming voor de Limburgse Maas te realiseren, op een zodanige wijze dat de bevolking achter de dijken van de Maas een beschermingsniveau wordt geboden van 1:250<sup>ste</sup> per jaar in 2015. Hierbij hoort een maatgevende afvoer van 3.275 m<sup>3</sup>/s. Om het toegezegde beschermingsniveau te bereiken worden rivierversuimende maatregelen uitgevoerd in combinatie met de aanleg en/of versterking van waterkeringen. Een deel van deze versterkingsopgave wordt opgepakt binnen het project “Sluitstukkaden”.

Op dit moment hebben de waterkeringen een beschermingsniveau van rond de 1:50<sup>ste</sup> per jaar. Het binnen de Waterwet vereiste beschermingsniveau binnen de dijkgebieden langs de Maas bedraagt 1:250<sup>ste</sup> per jaar.

In de brief van 25 februari 2010 hebben de Limburgse waterschappen en de provincie Limburg een aantal dijkringen, die nog niet voldoen aan het 1:250<sup>ste</sup> beschermingsniveau, aangewezen als prioritaire dijkringen. De aangewezen prioritaire dijkringen zijn:

**Tabel 1-1: Prioritaire dijkringen**

Nr.	Gemeente	Dijkring	Dijkvak
1.	Mook en Middelaar	54	Mook
2.	Bergen	56	Afferden
3.		59	Eiland van Bergen
4.	Horst aan de Maas	66	Lottum
5.		67	Grubbenvorst
6.	Venlo	68	Gelissensingel
7.	Leudal	74	Neer

### 1.2 Doel en reikwijdte van het document

Dit rapport is geschreven om de uitgangspunten en het definitief ontwerp van de groene keringen voor de dijkringen 54, 56 en 59 vast te leggen.

### 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de geldende documenten, normen, richtlijnen en ontwerputgangspunten benoemd. Hoofdstuk 3 betreft de ontwerpaanpak per faalmechanisme. In de hoofdstukken 4 tot en met 7 is het DO uitgewerkt voor de afzonderlijke dijkringen. Hoofdstuk 8 betreft de cultuurtechnische inpassing van de voorlandverbetering.

## 2 RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is beschreven welke randvoorwaarden en uitgangspunten van toepassing zijn voor het ontwerp van de groene keringen. Ook de systeemeisen uit de KES en SES zijn toegevoegd, indien van toepassing.

### 2.2 Technisch kader

In deze paragraaf zijn de relevante documenten voor het ontwerpproces overgenomen. Daarnaast zijn informatieve documenten door de opdrachtgever ter beschikking gesteld.

Voor dit project zijn de volgende documenten van toepassing:

#### 2.2.1 Normen en richtlijnen

- [1] Waterwet, Staatsblad 2009 490, 's Gravenhage, 20 november 2009.
- [2] Bouwbesluit 2012, 17 juni 2014.
- [3] NEN-EN (Eurocode) serie inclusief laatste wijzigingsblad en nationale bijlage
- [4] ENW, Leidraad Rivieren, ISBN 978-90-369-1408-6, 's -Gravenhage, juli 2007.
- [5] ENW, Addendum I bij de Leidraad Rivieren t.b.v. het ontwerpen van rivierdijken.
- [6] ENW, Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied, ISBN 978-90-369-1409-3 's -Gravenhage, juli 2007.
- [7] Leidraad kunstwerken 2003
- [8] CUR 166, 6e druk;
- [9] Deltares, Ontwerp stabiliteitsschermen in primaire waterkeringen, ontwerprichtlijn, kenmerk 1205887-000-GEO-0005, mei 2012.
- [10] Deltares, Ontwerp stabiliteitsschermen in primaire waterkeringen, achtergronddocument bij ontwerprichtlijn, kenmerk 1205887-000-GEO-0006, mei 2012.
- [11] TAW, Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, ISBN 90-369-3776-0, kernmerk P-DWW-2001-035, Delft, juni 2001.
- [12] TAW, Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken, ISBN 90-369-5565-3, kenmerk DWW-2004-057, Delft, september 2004.
- [13] TAW, Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, Delft, maart 1999.
- [14] Rijkswaterstaat – Waterdienst en Arcadis, “Stappenplan schematiseringsfactor” nr. 074497336:A, d.d. 11 juni 2010.
- [15] TAW, Technisch Rapport Actuele Sterkte van dijken, Delft, 27 maart 2009. Ministerie van Verkeer en Waterstaat,
- [16] Voorschrift toetsen op veiligheid, september 2007.
- [17] T.C. Raaijmakers - Submarine slope development of dredged trenches and channels - TU Delft juni 2005
- [18] ENW, Advies hanteren nieuwe waarden corrosietoets, kenmerk RWS2014/24729, 26 mei 2014
- [19] Golfoverslag en sterkte binnentaluds van dijken, Predictiespoor SBW, versie 2.1, fase D, Geodelft e.a., 2007

	Uitgangspunten voor het ontwerp zijn gebaseerd op 'Ontwerpkader nog aan te leggen Maaskaden', en de vigerende relevante ontwerpkeidraden zoals deze door het ministerie beschikbaar zijn gesteld.
S-Alg-02	De waterkeringen moeten voldoen aan de eisen uit het VTV2006 ten aanzien van sterkte en stabiliteit

## 2.2.2 Projectdocumenten

- [20] Ontwerpkader nog aan te Leggen Maaskaden – Het ontwerpen van overstroombare waterkeringen met een norm van 1/250 per jaar, binnen het project Maaswerken met kenmerk VenW/DGW-2010/1187, definitief d.d. 27 september 2010;
- [21] Achtergronddocument Waterbouw, RHDHV, d.d. 10-12-2015
- [22] Achtergronddocument Constructies, RHDHV, d.d. 10-12-2015
- [23] Definitief ontwerp kabels en leidingen (3x), RHDHV, d.d. 10-12-2015
- [24] Varianten afweging (3x), RHDHV, d.d. 22-06-2015 (DR54) en 04-04-2014 (DR56 + DR 59)
- [25] Basisprojectplan Deel 2: Beschikbare informatie en gebiedsbeschrijvingen;
- [26] Grondonderzoek, MOS 1203439 (zie ook aanvullend kleionderzoek DR59 in bijlage 2)
- [27] Milieukundig onderzoek RHDHV, mei 2014
- [28] Archeologisch onderzoek, RAAP DIJKV2, projectnr 14024, d.d. januari 2014
- [29] Ingemeten profiel DR54, 56 en 59, Kempkes Landmeten, d.d. 10-04-2013
- [30] Document KES en SES eisen DO Fase 301014 v02.4. d.d. 30-10-2014
- [31] Rivierkundige effecten van de voorkeursvariant, RHDHV, d.d. 31 januari 2014
- [32] Beoordeling bomen dijkkring 56, Fugro, d.d. maart 2014

## 2.3 Veiligheid

### 2.3.1 Veiligheidsniveau / normfrequentie

S-Alg-01	De waterkeringen dienen versterkt te worden tot een beschermingsniveau van 1:250 <sub>ste</sub> per jaar.
S-Alg-03 K-Alg-12	De waterkeringen moeten overstroombaar zijn bij waterstanden boven de ontwerpkruihoogte. Plotselinge bresvorming / bezwijken mag pas optreden na instromen.  Concreet betekent dit voor het geotechnisch ontwerp van de sterkte van groene keringen rekenen met een waterstand tot kruinniveau / MHW +0,5 m.

### 2.3.2 Uitbreidbaarheid / robuustheid

S-Alg-13 K-Alg-17 S-Alg-53	Harde waterkeringen en waterkerende kunstwerken dienen constructief (sterkte) ontworpen te worden zodanig dat ze toekomstig uitbreidbaar zijn met 0,5 m d.m.v. een verhoging van de constructie zonder aanpassingen beneden maaiveld.
----------------------------------	---

### 2.3.3 Partiële veiligheidsfactoren

**Tabel 2-1: Partiële veiligheidsfactoren**

Partiële veiligheidsfactoren Macrostabiliteit:	
– Schematiseringsfactor	$\gamma_b=1,1$ (zie par 3.4)
– Modelfactor	$\gamma_d=1,0$ (bij cirkelvormige glijvlakken) $\gamma_d=1,05$ (bij langgerekte glijvlakken)
– Materiaalfactor	$\gamma_m$ = variabel Er is gebruik gemaakt van de partiële materiaalfactoren uit tabel 5.3.1 Addendum TRWG. De materiaalfactoren zijn verwerkt in de rekenwaarden voor de sterkte, zie grondparameters.
– Schadefactor hoogwater gecorreleerd	$\gamma_{n;HW}=1,004$ De schadefactor is bepaald aan de hand van de formules 5.3.8 en 5.3.9 uit Addendum TRWG uitgaande van: <ul style="list-style-type: none"> <li>dijkringlengte = 20,0 km</li> <li>normfrequentie = 1/250 per jaar.</li> <li><math>P_{f_{inst}} = 1,0</math></li> <li><math>\beta = 4,03</math></li> </ul> Indien het optreden van de instabiliteit samenhangt met het optreden van hoogwater is $P_{f_{inst}} = 1,0$ aangehouden.
– Schadefactor niet hoogwater-gecorrleerd (buitenwaarts)	$\gamma_{n;HW}=0,928$ De schadefactor is bepaald aan de hand van de formules 5.3.8 en 5.3.9 uit Addendum TRWG uitgaande van: <ul style="list-style-type: none"> <li>dijkringlengte = 20,0 km</li> <li>normfrequentie = 1/250 per jaar.</li> <li><math>P_{f_{inst}} = 0,1</math></li> <li><math>\beta = 3,45</math></li> </ul> Indien het optreden van een instabiliteit niet samenhangt met het optreden van hoogwater is $P_{f_{inst}} = 0,1$ aangehouden.
– Veiligheidsfactor van de sterkte ( $SF_{eis}$ )	$\gamma_R = \gamma_b \times \gamma_d \times \gamma_m \times \gamma_n$ STBI (Bishop) : 1,10 STBI (Uplift Van) : 1,16 STBU : 1,02
– Veiligheidsfactor Sellmeijer	$\gamma=1,2$

### 2.4 Duurzaamheid

S-Alg-05	Voor aanpassing en/of aanleg van de groene keringen wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van vrijkomende grond.
----------	--



## 2.5 Vormgeving

Het ontwerp van de groene keringen wordt grotendeels bepaald door de eisen die gesteld zijn aan de geometrie van de dijk. De richting van de versterking is vastgelegd in het VKA [24]. Waar de 'standaard dijk' niet voldoet of niet ingepast kan worden, worden in het DO andere maatregelen ontworpen.

### 2.5.1 Huidige situatie

De huidige situatie is bepaald op basis van metingen van Kempkes [29] en AHN2.

### 2.5.2 Algemene eisen geometrie

	De versterkingsconfiguraties zoals weergegeven in het VKA vormen de basis voor het DO. Varianten of alternatieven worden niet meer beschouwd met uitzondering van kleine afwijkingen ten behoeve van de lokale inpassing.
K-Alg-06 K-Alg-18	Dijkvakken en langsconstructies dienen zo uniform en homogeen mogelijk te worden uitgevoerd.
S-Alg-26	Een eventuele tuimeldijk wordt alleen toegepast als de rijbaan/inspectiepad minder dan 1,0m onder de toekomstige kruin komt te liggen. In dit geval wordt een kruinbreedte van 3,0 m gehanteerd en geen verkeersbelasting op de kruin.

### 2.5.3 Kruinhoogte

S-Alg-15 P-021	<p>Bij het vertalen van ontwerpwaterstand op de as van de rivier naar kruinhoogte zijn waakhoogten bepaald. Er wordt dus geen expliciet rekening gehouden met wind, golven en bochtwerking. In het Ontwerpkader nog aan te leggen Maaskaden wordt de volgende afleiding voor de waakhoogte gegeven:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aspect</th> <th>Waakhoogte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Onnauwkeurigheden Waqua</td> <td>0,2 m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Golfoploop</td> <td>Groene kaden in de luwte</td> <td>0,1 m</td> </tr> <tr> <td>Overige groene kaden</td> <td>0,2 m</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Berijdbaarheid</td> <td>0,1 m</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAAL</td> <td>0,4 à 05, m</td> </tr> </tbody> </table> <p>Voor groene kaden wordt er dus een onderscheid gemaakt tussen kaden in de luwte en overige groene kaden voor het aspect golfoploop. De kades in dit project liggen niet in de luwte, zoals beschreven in [21]. De kruinhoogte groene keringen dient dus te voldoen aan MHW +0,5 m.</p>	Aspect		Waakhoogte	Onnauwkeurigheden Waqua		0,2 m	Golfoploop	Groene kaden in de luwte	0,1 m	Overige groene kaden	0,2 m	Berijdbaarheid		0,1 m	TOTAAL		0,4 à 05, m
Aspect		Waakhoogte																
Onnauwkeurigheden Waqua		0,2 m																
Golfoploop	Groene kaden in de luwte	0,1 m																
	Overige groene kaden	0,2 m																
Berijdbaarheid		0,1 m																
TOTAAL		0,4 à 05, m																
Mail 26/03/2014	De minimale kruinhoogte van lokale hoogtes is MHW +0,2 m over een breedte van 25 m. (zie par. 3.9)																	
S-Alg-18	Keringen die nu hoger zijn dan benodigd worden niet verlaagd. Alleen als een harde kering afgebroken moet worden omdat deze niet voldoet, dan wordt deze op de nieuwe hoogte aangebracht. Dit geldt eveneens voor groene keringen, dus daar waar werkzaamheden gaan plaatsvinden aan de kruin van de dijk, wordt deze op de nieuwe hoogte aangebracht.																	

## 2.5.4 Kruinbreedte

S-Alg-23	De standaard kruinbreedte van een groene dijk inclusief inspectie/onderhoudspad is 4,5 meter.
S-Alg-22	De minimale kruinbreedte van een groene dijk bedraagt 3 meter (indien nodig voor inpassing)

## 2.5.5 Taludhellingen

S-Alg-32 S-Alg-04 K-Alg-01 K-59-7	De helling van zowel het binnentalud als het buitentalud dient gelijk aan of flauwer te zijn dan 1V:3H.
S-Alg-04	Helling stabiliteitsberm in verband met afwatering 1:10.

## 2.5.6 Voorlandverbetering

De minimaal aan te houden dekking/leeflaag op de voorlandverbetering bedraagt  $\geq 0,5$  m. De dikte van de klei voor voorlandverbetering dient minimaal 1,0 m te bedragen conform [16].

S-Alg-34	De voorlandverbetering dient opgebouwd te zijn uit een kleilaag met daarboven terugplaatsing van de reeds aanwezige leeflaag van 0,5 m dik. Voor de kleilaag gelden de volgende eisen: zandgehalte < 35%, lutumgehalte > 20%.
----------	---

Zie hoofdstuk 8 voor de cultuurtechnische inpassing van de voorlandverbetering.

## 2.5.7 Bekleding

Zie Achtergronddocument Waterbouw [21].

## 2.6 Hydraulische randvoorwaarden

Zie Achtergronddocument Waterbouw [21].

## 2.7 Grondparameters

P-003	De schuifsterkte parameters worden overgenomen uit de ontwerpen van Maaswerken in de periode 2005 – 2010. De parameters zijn opgenomen in de rapportage van Arcadis: <i>De proevenverzameling van "De Zandmaas"</i> met kenmerk 0757399991:A, 9 november 2011.
P-004	De parameters voor piping zijn afgeleid uit het voor dit project uitgevoerde grondonderzoek [26].

De bodemopbouw is geschematiseerd op basis van lokaal onderzoek [26][27][28].

**Tabel 2-2: Aangehouden schuifsterkte parameters (bron: proevenverzameling Zandmaas)**

Code	Grondsoort	Volume gewicht		Representatieve waarde		Materiaalfactor		Rekenwaarde	
		$\gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\phi$ [°]	$\gamma_{m,c}$ [-]	$\gamma_{m,\phi}$ [-]	c [kPa]	$\phi$ [°]

OA	zand dijk	18,0	20,0	0,0	30,0	1,25	1,20	0,0	25,7
OB	klei dijk	18,5	18,5	3,0	27,0	1,25	1,20	2,4	23,0
19	Klei	18,0	18,0	3,0 *)	25,0	1,25	1,20	2,4	21,2
19A	klei, zandig	18,5	18,5	3,0	27,0	1,25	1,20	2,4	23,0
4 - 19	klei, humeus	16,5	16,5	3,5	20,0	1,50	1,25	2,3	16,2
4	Veen	11,0 <sup>A</sup>	11,0 <sup>A</sup>	2,0	15,0	1,50	1,25	1,3	12,1
19 - 20	klei zand gelaagd	17,0	19,0	5,0	25,0	1,25	1,20	4,0	21,2
20	zand, matig grof	18,0	20,0	0,0	32,0	1,25	1,20	0,0	27,5
32	zand, grof / grind, fijn	19,0	20,0	0,0	35,0	1,25	1,20	0,0	30,3
31	Leem	20,0	20,0	2,0 <sup>B</sup>	27,5	1,25	1,20	1,6	23,5
<p>A) Op locaties waar het veen matig tot sterk zandig is, is een volumegewicht van 13 kN/m<sup>3</sup> toegepast.</p> <p>B) Parameters op basis van ervaring naar beneden toe bijgesteld. De aangehouden waarde komt overeen met de minimale waarde die gegeven is in tabel 2b uit EC7 [3] en is daarmee voldoende veilig.</p>									

Op basis van tabel 2b uit EC7 [3] zijn de volgende zettingsparameters afgeleid:

**Tabel 2-3: Zettingsparameters obv tabel 2b uit EC7**

Code	Grondsoort	$\gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C'p$ [-]	$Cp$ [-]	$C's$ [-]	$Cs$ [-]	$Cv$ [m <sup>2</sup> /s]
OA	zand dijk	18,0	20,0	600	3000	∞	∞	D
OB	klei dijk	18,5	18,5	15	75	160	800	1E <sup>-7</sup>
19	Klei	18,0	18,0	15	75	160	800	1E <sup>-7</sup>
19A	klei, zandig	18,5	18,5	20	100	240	1200	1E <sup>-6</sup>
4	Veen, voorbelast	13,0	13,0	10	50	40	200	1E <sup>-7</sup>
20	zand, matig grof	18,0	20,0	600	3000	∞	∞	D
32	zand, grof / grind	19,0	20,0	1000	5000	∞	∞	D
D = gedraineerd								

## 2.8 Rekenmodellen

De volgende rekenmodellen zijn gehanteerd:

**Tabel 2-4: Rekenmodellen**

Mechanisme	Rekenmodel	Programmatuur
Stabiliteit	Bishop (cirkelvormige glijkvlakken)	D-GeoStability
Piping	Sellmeijer	Spreadsheet

Eventuele stabiliteitsschermen worden ontworpen met D-Sheetpiling. Uitzondering hierop zijn stabiliteitsschermen in het binnentalud / de binnenteen; dergelijke schermen worden ontworpen met Plaxis conform ref [9]. Pipingsschermen worden ontworpen volgens de methode Lane.

## 2.9 Verkeersbelasting

Bij de bepaling van de macrostabiliteit wordt op de kruin van de waterkeringen een verkeersbelasting van 13,3 kN/m<sup>2</sup> (rekenwaarde) in rekening gebracht over een breedte van 2,5 m, 0,75 m uit rand kruinlijn (S-Alg-24). De verkeersbelasting wordt in de cohesieve lagen ongedraineerd (0%) aangebracht en in de zandkern wordt een aanpassingspercentage van 100% gehanteerd. De belasting wordt aangebracht met een spreidingshoek van 45°.

De verkeersbelasting wordt alleen in combinatie met een 1:250<sup>ste</sup> buitenwaterstand in rekening gebracht. Als de waterstand gelijk is aan de kruinhoogte is verkeer op de kruin niet meer mogelijk.

S-Alg-24	Op de kruin komt een inspectiepad van 3 meter breed met aan weerszijden een berm van 0,75 meter.
P-020	Verkeersbelasting op de kruin van de waterkering wordt alleen meegenomen in combinatie met 1:250 <sup>ste</sup> ontwerpwaterstand. Bij waterstand tot aan de kruin wordt geen verkeersbelasting in rekening gebracht.

## 2.10 Dijkpalen

Hoe is RHDHV omgegaan met oude en nieuwe dijkpaalnummering binnen dit project? RHDHV heeft over dit onderwerp overleg gehad met WPM (oktober / november 2014). Op basis van die gesprekken zijn bestanden (referentielijnen, oude en nieuwe dijkpalen etc.) onderling uitgewisseld.

Binnen de scope van de Prio 1-dijktrajecten (DR54, DR56 en DR59) onderscheiden wij de volgende bestaande situaties:

	Formele waterkering en opgenomen in legger?	Heeft traject nu een formele dijkpaalnummering ?	Heeft traject nu een informele 1) dijkpaalnummering ?	Wijzigt huidige dijkpaalnummering?	Toekomstige dijkpaalnummering
1	ja	ja	n.v.t.	neen	Bestaande nummering handhaven
2	ja	ja	n.v.t.	ja	Nieuwe dijkpaalnummering toepassen
3	neen	neen	neen	n.v.t.	Nieuwe dijkpaalnummering toepassen
4	neen	?	ja	neen	Nieuwe dijkpaalnummering toepassen
5	neen	?	ja	ja	Nieuwe dijkpaalnummering toepassen

1) Informele dijkpaalnummering = dijkpaalnummering in database WPM maar geen onderdeel van de legger.

**In het Achtergrondrapport Geotechniek is de oorspronkelijke (formele en informele) dijkpaalnummering conform database WPM gehanteerd.** Daarnaast wordt gerefereerd aan de nummering van de door Kempkens ingemeten profielen [29]. Doordat de waterkering op sommige plaatsen wordt verlegd en er op sommige locaties ook lokale hoogten worden voorzien van dijkpalen,

wordt na de realisatie van nieuwe waterkering op sommige trajecten een nieuwe dijkpaalnummering (NW) van kracht voor DR54 en DR59. De nieuwe nummering sluit dan beter aan bij het traject van de primaire kering na versterking. In deze paragraaf zijn de conversietabellen weergegeven. Voor DR56 wijzigt de bestaande dijkpaalnummering niet en blijft bestaande dijkpaalnummering van kracht.

In de overzichtstabellen zoals weergegeven in hoofdstuk 3 zijn de verschillende nummeringen aan elkaar gekoppeld.

#### Dijkpalen op lokale hoogtes in dijkkring 54:

De dijkversterkingen in dijkkring 54 maakt regelmatig gebruik van zogenaamde "lokale hoogtes". Paragraaf 3.9 beschrijft aan welke eisen "lokale hoogtes" voldoen. Op dit moment loopt de referentielijn van de waterkering (en de daaraan gekoppelde dijkpaalnummering) niet in alle gevallen en niet op gelijke wijze over de lokale hoogtes. WPM onderzoekt welke status wordt toegekend aan de lokale hoogtes en welke zaken daarvoor geregeld moeten worden. Afhankelijk van de uitkomsten van dit onderzoek kan de definitieve toekomstige dijkpaalnummering worden vastgesteld.

Daarom wordt vooralsnog gebruik gemaakt van een voorlopige nieuwe dijkpaalnummering op trajecten waar de bestaande dijkpaalnummering niet voldoet of alleen een informele dijkpaalnummering aanwezig is.

#### Dijkpaalnummering in dijkkring 54:

\*) Bestaande "informele" dijkpaalnummering in database van WPM maar geen onderdeel van de huidige legger.

#### Kern Ottersum

<b>Nieuw Dijkpaalnr</b>	<b>Bestaand Dijkpaalnr.</b>	<b>Nieuw Dijkpaalnr.</b>	<b>Bestaand Dijkpaalnr.</b>
.	.	.	.
54.028	54.028	54.039 Nw	54.039 *)
54.029	54.029	54.040 Nw	54.040 *)
54.030	54.030	54.041 Nw	54.041 *)
54.031	54.031	54.042 Nw	54.042 *)
54.032	54.032	54.043 Nw	54.043 *)
54.033 Nw	54.033 *)	54.044 Nw	54.044 *)
54.034 Nw	54.034 *)	54.045 Nw	54.045 *)
54.035 Nw	54.035 *)	54.046 Nw	54.046 *)
54.036 Nw	54.036 *)	54.047 Nw	54.047 *)
54.037 Nw	54.037 *)	54.048 Nw	54.048 *)
54.038 Nw	54.038 *)	54.049	54.049

#### Kern Milsbeek (dijkvakken 54d en 54e)

<b>Nieuw Dijkpaalnr</b>	<b>Bestaand Dijkpaalnr.</b>	<b>Nieuw Dijkpaalnr.</b>	<b>Bestaand Dijkpaalnr.</b>
.	.	.	.
54.087	54.087	54.096 Nw	54.096 *)
54.088	54.088	54.097 Nw	54.097 *)
54.089	54.089	54.098 Nw	54.098 *)
54.090	54.090	54.099 Nw	54.099 *)

54.091	54.091	54.100 Nw	54.100 *)
54.092 Nw	54.092 *)	54.101 Nw	54.101 *)
54.093 Nw	54.093 Nw *)	54.102 Nw	54.102 *)
54.094 Nw	54.094 Nw *)	54.103	54.103
54.095 Nw	54.095 Nw *)		

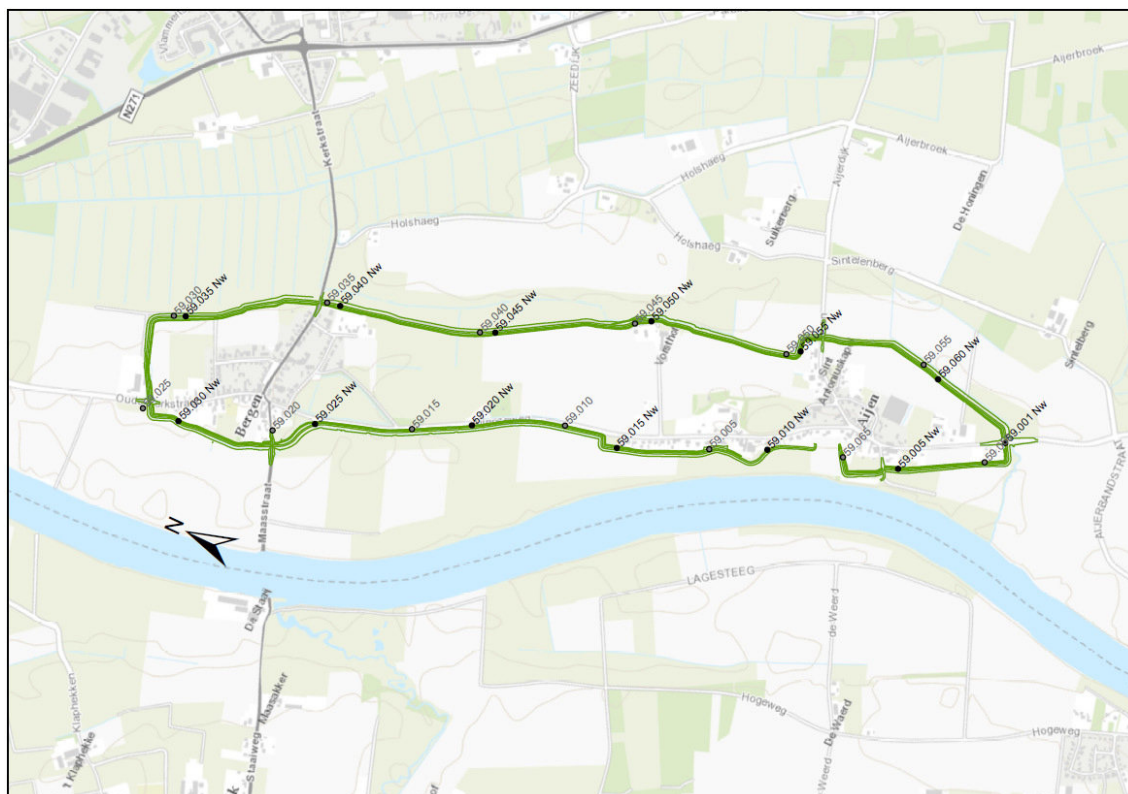
Kern Milsbeek (dijkvakken 54f en 54g)

Nieuw Dijkpaalnr.	Bestaand Dijkpaalnr.	Nieuw Dijkpaalnr.	Bestaand Dijkpaalnr.
54.112	54.112	54.118 Nw	54.118 *)
54.113 Nw	54.113 *)	54.119 Nw	54.119 *)
54.114 Nw	54.114 *)	54.120 Nw	54.120 *)
54.115 Nw	54.115 *)	54.121 Nw	54.121 *)
54.116 Nw	54.116 *)	54.122 Nw	54.122 *)
54.117 Nw	54.117 *)	54.123	54.123

**Tabel 2-5: Conversietabel dijkpaalnummering DR54 (kern Mook)**

Dp nr NW	DP oorspronkelijk + afstand [m]	Dp nr NW	DP oorspronkelijk + afstand [m]
54.169	54.169 + 0	54.179 Nw	54.178 + 23
54.170 Nw	54.169 + 90	54.180 Nw	54.179 + 23
54.171 Nw	54.170 + 90	54.181 Nw	54.180 + 33
54.172 Nw	54.172 *) + 27	54.182 Nw	54.181 + 25
54.173 Nw	54.173 + 3	54.183 Nw	54.182 *) + 25
54.174 Nw	54.174 + 15	54.184 Nw	54.183 *) + 25
54.175 Nw	54.175 + 16	54.185 Nw	54.184 *) + 25
54.176 Nw	54.176 + 16	54.186 Nw	54.185 *) + 32
54.177 Nw	54.177 + 16	54.187 Nw	54.186 *) + 28
54.178 Nw	54.177 + 115		

Nieuwe dijksaalnummering Dijkkring 59:



**Figuur 2-1. Oorspronkelijke (grijs) en nieuwe (zwart) dijksaalnummering in DR59**

**Tabel 2-6: Conversietabel dijksaalnummering DR59 (Eiland van Bergen)**

Nieuw Dp nr.	DP oorspronkelijk + afstand [m]	Nieuw Dp nr	DP oorspronkelijk + afstand [m]
59.001 Nw	59.058 + 76	59.032 Nw	59.024 + 184
59.002 Nw	59.059 + 76	59.033 Nw	59.028 + 25
59.003 Nw	59.060 + 76	59.034 Nw	59.029 + 38
59.004 Nw	59.061 + 77	59.035 Nw	59.030 + 38
59.005 Nw	59.062 + 78	59.036 Nw	59.031 + 39
59.006 Nw	59.063 + 81	59.037 Nw	59.032 + 38
59.007 Nw	59.064 + 86	59.038 Nw	59.033 + 39
59.008 Nw	59.065 + 86	59.039 Nw	59.034 + 40
59.009 Nw	59.065 + 172	59.040 Nw	59.035 + 44
59.010 Nw	59.065 + 274	59.041 Nw	59.036 + 45
59.011 Nw	59.003 + 84	59.042 Nw	59.037 + 46
59.012 Nw	59.004 + 96	59.043 Nw	59.038 + 47
59.013 Nw	59.005 + 95	59.044 Nw	59.039 + 48
59.014 Nw	59.006 + 96	59.045 Nw	59.040 + 49
59.015 Nw	59.007 + 97	59.046 Nw	59.041 + 50

**HaskoningDHV Nederland B.V.**

59.016 Nw	59.008	+	95	59.047 Nw	59.042	+	51
59.017 Nw	59.009	+	97	59.048 Nw	59.043	+	53
59.018 Nw	59.011	+	0	59.049 Nw	59.044	+	54
59.019 Nw	59.012	+	2	59.050 Nw	59.045	+	54
59.020 Nw	59.013	+	5	59.051 Nw	59.046	+	52
59.021 Nw	59.014	+	8	59.052 Nw	59.047	+	54
59.022 Nw	59.015	+	10	59.053 Nw	59.048	+	55
59.023 Nw	59.016	+	13	59.054 Nw	59.049	+	56
59.024 Nw	59.017	+	15	59.055 Nw	59.050	+	51
59.025 Nw	59.018	+	13	59.056 Nw	59.051	+	57
59.026 Nw	59.018	+	118	59.057 Nw	59.052	+	59
59.027 Nw	59.018	+	194	59.058 Nw	59.053	+	60
59.028 Nw	59.021	+	73	59.059 Nw	59.054	+	63
59.029 Nw	59.022	+	74	59.060 Nw	59.055	+	65
59.030 Nw	59.023	+	75	59.061 Nw	59.056	+	66
59.031 Nw	59.024	+	82	59.062 Nw	59.057	+	67



### 3 ONTWERPAANPAK GROENE KERINGEN

#### 3.1 Scope

Per dijkvak zullen de maatgevende geotechnische faalmechanismen worden gecontroleerd, tenzij geometrie en randvoorwaarden in overeenstemming zijn met andere dijkvakken. In dat geval wordt verwezen naar de betreffende vakken.

Voor een overzicht van de uitgevoerde geotechnische berekeningen in dit Achtergronddocument wordt verwezen naar de navolgende tabellen:

**Tabel 3-1: Overzichtstabel uitgevoerde berekeningen (DR54)**

**Tabel 3-2: Overzichtstabel uitgevoerde berekeningen (DR56)**

**Tabel 3-3: Overzichtstabel uitgevoerde berekeningen (DR59)**

Het ontwerp van de waterhuishouding op dijkkringniveau valt niet binnen de scope van dit werk. De waterhuishouding van aangrenzende percelen mag niet nadelig worden beïnvloed door de dijkversterking.

Tabel 3-1 Overzichtstabel uitgevoerde geotechnische berekeningen DR54

Dwarsprofiel			STPH		STBI				STBU				STMI		STVL	
oorspronkelijk	nr. Kempkens	DP nieuw	Piping mogelijk obv geometrie	Berekening	Hoogte	Talud 1:3	Deklaag	Berekening	Hoogte	Talud 1:3	Deklaag	Berekening	Kleidijk	Berekening	Geul nabij kering	Berekening
54.028	1	54.028	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 1	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
54.029	2	54.029	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 2	<3,0 m	Nee, keerwandje	<1 m	Restprofiel; fig 6 hoofdrapport	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
54.030	3	54.030	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 3	<3,0 m	Nee, keerwandje	<1 m	Restprofiel; fig 6 hoofdrapport	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	ja	Bijlage 7: 54A-S01
54.031	5	54.031	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 3	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
54.032		54.032	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.033	6	54.033 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.034		54.034 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.035		54.035 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.036		54.036 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.037		54.037 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.038		54.038 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.039		54.039 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.040		54.040 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.041	8	54.041 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.042	11	54.042 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.043	13	54.043 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.044	15	54.044 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.045	16	54.045 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.046		54.046 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.047		54.047 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.048		54.048 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.049		54.049	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.087	27	54.087	Nee, hoog weglichaam achter dijk	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt, Kleidijkje op breed zandlichaam	nee	nvt
54.088	28	54.088	Nee, hoog weglichaam achter dijk	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt, Kleidijkje op breed zandlichaam	nee	nvt
54.089	30	54.089	Nee, hoog weglichaam achter dijk	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt, Kleidijkje op breed zandlichaam	nee	nvt
54.090	33	54.090	Nee, hoog weglichaam achter dijk	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt, Kleidijkje op breed zandlichaam	nee	nvt
54.091	35	54.091	Nee, hoog weglichaam achter dijk	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.091-54.096	ja	nvt, Kleidijkje op breed zandlichaam	nee	nvt
54.092	36	54.092 Nw	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 36	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.091-54.096	ja	nvt	nee	nvt
54.093	38	54.093 Nw	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 38	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.091-54.096	ja	nvt	nee	nvt
54.094	40	54.094 Nw	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 40	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.091-54.096	ja	nvt	ja	Bijlage 7: 54E-S01
54.095	42	54.095 Nw	relatief laag achterland	Bijlage 3, profiel 42	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.091-54.096	ja	nvt	nee	nvt
54.096	44	54.096 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.097	46	54.097 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.098	48	54.098 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.099	50	54.099 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.100	52	54.100 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.101	54	54.101 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.102	56	54.102 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.103	57	54.103	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.112	117	54.112	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.113	116	54.113 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.114	114	54.114 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.115	112	54.115 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.116	110	54.116 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.117	109	54.117 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.118	106	54.118 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.119	104	54.119 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.120	103	54.120 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.121	101	54.121 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.122	98	54.122 Nw	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.123	97	54.123	nee, lokale hoogte		nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nvt	nvt	nvt	nvt; lokale hoogte	nee	nvt; lokale hoogte	nee	nvt
54.169	59	54.169	nee zanddijk met constructie; lang scherm ivm STBU	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Nee	<1 m	Bijlage 9: Keerscherm Kanaalweg I	nee	Bijlage 6	ja	Bijlage 7: 54H-S01
54.170	61	54.170 Nw	nee zanddijk met constructie; lang scherm ivm STBU	nvt	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Nee	<1 m	Bijlage 9: Keerscherm Kanaalweg I	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.171	64	54.171 Nw	nee zanddijk met constructie; lang scherm ivm STBU	nvt	<3,0 m	nee, 1,2,3	<1 m	Bijlage 4: STBI DP54.170-172	>3,0 m	Nee	<1 m	Bijlage 9: Keerscherm Kanaalweg II	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.172	65	54.172 Nw	nee zanddijk met constructie; lang scherm ivm STBU	nvt	<3,0 m	nee, 1,2,3	<1 m	Bijlage 4: STBI DP54.170-172	>3,0 m	Nee	<1 m	Bijlage 9: Keerscherm Kanaalweg II	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.172	AHN-profiel	54.172 Nw	nee, hoog achterland (Kleppermanstraatje)		<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	nvt	zeer beperkte kerende hoogte	nee	nvt
54.181	86	54.182 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	kelder	restprofiel	-	Bijlage 9: DR54 Maasstaete	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.181-54.185	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.182	87	54.183 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	kelder	restprofiel	-	Bijlage 9: DR54 Maasstaete	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.181-54.185	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.183	89	54.184 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	kelder	restprofiel	-	Bijlage 9: DR54 Maasstaete	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.181-54.185	nee	Bijlage 6	ja	Bijlage 7: 54O-S02
54.184	90	54.184 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	<3,0 m	hoog achterland	-	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.181-54.185	nee	Bijlage 6	ja	Bijlage 7: 54P-S01
54.185	93	54.186 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	<3,0 m	hoog achterland	-	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Ja	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.181-54.185	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.186	95	54.187 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	<3,0 m	hoog achterland	-	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Nee	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.185-54.187	nee	Bijlage 6	nee	nvt
54.187	96	54.187 Nw	nee, zanddijk, hoog achterland	nvt	<3,0 m	hoog achterland	-	Bijlage 4: basisberekening	>3,0 m	Nee	<1 m	Bijlage 5: STBU 54.185-54.187	nee	Bijlage 6	nee	nvt

Tabel 3-2 Overzichtstabel uitgevoerde geotechnische berekeningen DR56

Dwarsprofiel			STPH		STBI				STBU				STMI		STVL	
oorspronkelijk	nr. Kempkens	DP nieuw	Piping mogelijk obv geometrie	Berekening	Hoogte	Talud 1:3	Deklaag	Berekening	Hoogte	Talud 1:3	Deklaag	Berekening	Kleidijs	Berekening	Geul nabij kering	Berekening
56.030	182	56.030	nee, hoog achterland / grondwal	nvt	<3,0 m	nvt	<1 m	Grondwal achter kering	<3,0 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.031	180	56.031	nee, hoog achterland / grondwal	nvt	<3,0 m	nvt	<1 m	Grondwal achter kering	<3,0 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.032	178	56.032	nee, hoog achterland / grondwal	nvt	<3,0 m	nvt	<1 m	Grondwal achter kering	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.033	176	56.033	nee, hoog achterland / grondwal	nvt	<3,0 m	nvt	<1 m	Grondwal achter kering	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.034	174	56.034	-	Bijlage 3, profiel 173	<3,0 m	nee, 1:2,0 à 1:2,2	<1 m	DWP171; tabel 5-4 hoofdrapport (huidig talud, zonder bekleding)	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.035	172	56.035	-	Bijlage 3, profiel 173	<3,0 m	nee, 1:2,0 à 1:2,2	<1 m	DWP171; tabel 5-4 hoofdrapport (huidig talud, zonder bekleding)	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.036	170	56.036	nee, hoog achterland / grondwal	nvt	<3,0 m	nvt	<1 m	Grondwal / verhoogde tuin Dorpstraat 70 achter de kering	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.037	168	56.037	-	Bijlage 3, profiel 167	<3,0 m	ja	<1 m	DWP167; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	verhanglijn DWP167 in bijlage 13	nee	nvt
56.038	166	56.038	-	Bijlage 3, profiel 167	<3,0 m	ja	<1 m	DWP167; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 4,2 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.039	164	56.039	-	Bijlage 3, profiel 167	<3,0 m	ja	<1 m	DWP165; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 4,4 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.040	163	56.040	-	Bijlage 3, profiel 167	<3,0 m	ja	<1 m	DWP165; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 4,4 m	ja	2 à 2,5 m	DWP165; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.041	160	56.041	-	Bijlage 3, profiel 157	<3,0 m	ja	<1 m	DWP157; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 3,5 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.042	158	56.042	-	Bijlage 3, profiel 157	<3,0 m	ja	<1 m	DWP157; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 4,4 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.043	156	56.043	-	Bijlage 3, profiel 157	<3,0 m	ja	<1 m	DWP157; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	max. 3,4 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	obv verhanglijn DWP167 bijlage 13	nee	nvt
56.044	154	56.044	-	Bijlage 3, profiel 152	<3,0 m	ja	<1 m	DWP153; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 zonder bekleding)	<3,0 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	Bijlage 6	nee	nvt
56.045	152	56.045	-	Bijlage 3, profiel 151	<3,0 m	ja	<1 m	DWP151; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 met bekleding = basisberekening)	<3,0 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	Bijlage 6 en verhanglijn DWP151 in bijlage 13	nee	nvt
56.046	151	56.046	-	Bijlage 3, profiel 151	<3,0 m	ja	<1 m	DWP151; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 met bekleding = basisberekening)	<3,0 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	Bijlage 6	nee	nvt
56.047	149	56.047	-	Bijlage 3, profiel 151	<3,0 m	ja	<1 m	DWP151; tabel 5-4 hoofdrapport (1:3 met bekleding = basisberekening)	<3,0 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	Bijlage 6	nee	nvt
56.048	147	56.048	nee, zandijk op zand	nvt	<3,0 m	nee, 1:1,7 à 1:2,1	<1 m	DWP147; tabel 5-4 hoofdrapport (huidig talud, zonder bekleding)	<3,0 m	ja	<1 m	DWP159; tabel 5-8 hoofdrapport	nee	Bijlage 6	nee	nvt
56.049	143	56.049	-	Bijlage 3, profiel 142	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.050	141	56.050	-	Bijlage 3, profiel 140	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.051	139	56.051	-	Bijlage 3, profiel 140	zwembad	restprofiel	<1 m	Bijlage 9: Erosiescherm Hengeland 1A	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.052	137	56.052	-	Bijlage 3, profiel 137	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.053	135	56.053	-	Bijlage 3, profiel 134	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	kelder	restprofiel	<1 m	Bijlage 9: Erosiescherm Hengeland 3A	ja	nvt	nee	nvt
56.054	133	56.054	-	Bijlage 3, profiel 133	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.055	131	56.055	-	Bijlage 3, profiel 131	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.056	129	56.056	-	Bijlage 3, profiel 129	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.057	127	56.057	-	Bijlage 3, profiel 127	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.058	125	56.058	-	Bijlage 3, profiel 125	kelder	restprofiel	<1 m	Bijlage 4: STBI DP54.058	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.059	123	56.059	-	Bijlage 3, profiel 123	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt
56.060	121	56.060	-	Bijlage 3, profiel 123	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 4: basisberekening	<3,0 m	ja	<1 m	Bijlage 5: basisberekening	ja	nvt	nee	nvt



### 3.2 Zetting en klink

De ondergrond in het projectgebied kan beperkt zettingsgevoelig zijn, op een aantal locaties is klei, leem en/of veen in de ondergrond aangetroffen. Bij aanbrengen van een ophoging (dijk of berm) op een samendrukbare ondergrond kunnen zettingen optreden. Gezien de veelal beperkte dikte van deze samendrukbare lagen en de consistentie van de lagen (over het algemeen niet erg slap) zullen de zettingen meevallen.

Naast het (eventueel) optreden van zetting dient rekening te worden gehouden met het optreden van klink. Voor het bepalen van de hoeveelheden kan hiervoor, conform TRGC [11] een percentage van 5% (zand) en 10% (klei) worden aangehouden.

Zettingen in de ondergrond worden alleen berekend als de ophoging groter is dan 1 m en de samendrukbare laag dikker dan 0,5 m. Bij kleine ophogingen in combinatie met dunne stoorlagen, zijn de zettingen verwaarloosbaar. Bij grotere ophogingen zullen dunne stoorlagen snel consolideren door de geringe dikte waardoor de zetting in deze dunne lagen optreedt tijdens de uitvoering. De eventuele zettingen worden tijdens de uitvoering gecompenseerd door het aanbrengen van overhoogte (zettingscompensatie).

### 3.3 Zandmeevoerende wellen (STPH)

De benodigde kwelweglengte is berekend op basis van de formule van Sellmeijer conform het vigerende Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen (1999). Deze formule gaat uit van een afsluitende toplaag (deklaag) met daaronder een uniforme watervoerende laag met constante dikte en doorlatendheid. Onder de watervoerende laag is een hydrologisch gesloten basislaag aangenomen.

#### ***Bodemopbouw***

De ondergrond in het projectgebied bestaat voornamelijk uit zand en grind. In de bovenste 5 meter zijn soms cohesieve lagen aanwezig. Deze klei- of leemlagen bevinden zich voornamelijk in DR 59 aan buitendijkse zijde in lager gelegen delen. Aan binnendijkse zijde ligt het maaiveld veelal hoger en zijn deze cohesieve lagen afwezig of niet doorlopend. In de ondiepe ondergrond is naast de cohesieve lagen matig tot fijn zand aanwezig. Dit zand is vanwege de korrelgrootte erosiegevoelig.

De diepere ondergrond bestaat uit grof zand of grind met een hoge doorlatendheid. Deze laag is 20 tot 35 meter dik. Onder deze laag is een hydrologische basis aanwezig. Deze hydrologische basis bestaat uit de formatie van Breda en heeft een dikte van meer dan 100 m. Deze formatie bestaat uit fijn zand of klei en heeft een lage doorlatendheid.

De bodemopbouw is bepaald aan de hand van grondonderzoek (bovenste 10-15 m) en aan de hand van het landelijk model REGIS II wat is geraadpleegd via DINOloket.

**Dikte watervoerend pakket en doorlatendheid**

Het watervoerend pakket bestaat uit een systeem met meerdere watervoerende lagen. De bovenste laag bestaat uit matig tot fijn zand. De doorlatendheid van deze laag is bepaald met de formule van Den Rooijen (1992) uit TR Zandmeevoerende Wellen (1999). Als input voor deze formule zijn korrelverdelingen gebruikt. De dikte en doorlatendheid van de onderste watervoerende lagen zijn bepaald met het REGIS II model uit DINOloket.

Het is niet mogelijk om meerdere watervoerende lagen op te nemen in de formule van Sellmeijer. Daarom is er van alle watervoerende lagen één watervoerend pakket gemaakt met één dikte en één doorlatendheid. De doorlatendheid van de watervoerende laag is bepaald als gewogen gemiddelde volgens onderstaande formule (analoog aan de gemiddelde veerconstante van een parallel geschakeld veersysteem). Deze benadering wordt gezien als een veilige en robuuste benadering.

$$k_{gem} = \frac{\sum k_i D_i}{\sum D_i} = \frac{k_1 D_1 + k_2 D_2 + k_3 D_3}{D_1 + D_2 + D_3}$$

De doorlatendheid van het gewogen gemiddelde wordt begrensd door (mag niet kleiner zijn dan) de doorlatendheid van de piping gevoelige zandlaag (de laag waarin de zandkorrels kunnen eroderen).

**Parameterbepaling Sellmeijer analyse**

In onderstaande tabel zijn alle representatieve parameters weergegeven welke zijn toegepast in de piping analyse. Deze parameters zijn bepaald voor iedere dijkkring. Binnen de dijkringen is geen onderscheid gemaakt in parameters omdat de variatie binnen de dijkkring veelal klein is.

**Tabel 3-4: Parameters Sellmeijer analyse**

Parameter	Omschrijving	Type waarde	DR54	DR56	DR59
<b>Formule van Sellmeijer</b>					
ΔH	Maatgevend verval	n.v.t. [m]	n.v.t.		
D <sup>1</sup>	Dikte watervoerd pakket	h.r.w. [m]	27	28	37
θ	Rolweerstandshoek	norm: 41 [°]	41	41	41
η	Sleepkrachtfactor	norm: 0,25 [-]	0,25	0,25	0,25
γ <sub>p</sub>	Vol. gew. korrels onder water	norm: 17 kN/m <sup>3</sup>	17	17	17
γ <sub>w</sub>	Vol. gew. water	norm: 10 kN/m <sup>3</sup>	10	10	10
k <sub>gem</sub>	Doorlatendheid watervoerend pakket	h.r.w. [m/s]	4,9 * 10 <sup>-4</sup>	4,4 * 10 <sup>-4</sup>	5,8 * 10 <sup>-4</sup>
d <sub>70</sub> <sup>2</sup>	70 percentiel-waarde zand	l.r.w. [μm]	291	300	257
<b>Formule van Den Rooijen (doorlatendheid)</b>					
d <sub>60</sub> <sup>2</sup>	60 percentiel-waarde zand	h.r.w. [μm]	442	337	432
d <sub>10</sub> <sup>2</sup>	10 percentiel-waarde zand	h.r.w. [μm]	205	180	201
U (d <sub>60</sub> / d <sub>10</sub> )	Uniformiteit	n.v.t. [-]	2,2	1,9	2,1
C <sub>0</sub> <sup>3</sup>	Pakking van het zand	h.r.w. [-]	1,5 * 10 <sup>4</sup>	1,5 * 10 <sup>4</sup>	1,5 * 10 <sup>4</sup>
l.r.w. = laag representatieve waarde (95% ondergrens) h.r.w. = hoog representatieve waarde (95% bovengrens) 1) Is bepaald met een default variatiecoëfficiënt van 1,65. 2) Obv beschikbaar veld- en labonderzoek. Statistische bewerking mbv regionale gegevens. (zie bijlage 3). 3) Uitgegaan van losse pakking omdat een hoog representatieve waarde van de intrinsieke doorlatendheid genomen dient te worden. Een losse pakking betekent een hogere doorlatendheid.					

### ***Maatgevend verval ( $\Delta H$ )***

Het maatgevend verval bestaat uit het verschil tussen de ontwerpwaterstand (MHW +0,5 m) en de binnendijkse waterstand. De binnendijkse waterstand wordt gelijkgesteld aan de representatieve (lage) maaiveldhoogte. In deze aanname wordt er rekening gehouden met een grondwaterstand tot aan maaiveld. Als er aan binnendijkse zijde een sloot aanwezig is wordt aangenomen dat deze sloot zich tijdens hoogwater zal vullen met water. Daarom wordt hier niet de slootbodem als representatief maaiveldhoogte aangehouden maar het slootpeil tijdens hoog water.

### ***Kwelschermen***

De in de dijkringen aanwezige kwelschermen zijn niet met de formule van Sellmeijer ontworpen. Dit omdat verticale kwelcomponenten niet in de formule van Sellmeijer meegenomen kunnen worden. De aanwezige kwelschermen zijn ontworpen op basis van het Heave-criterium. Heave kan optreden wanneer er een verticale kwelstroom ontstaat. Door deze verticale stroming kunnen de korrelspanningen in het zand achter het scherm afnemen. In het uiterste geval vallen de korrelspanningen geheel weg, waardoor feitelijk een drijfzandsituatie ontstaat en de korrels worden opgetild. Deze drijfzandsituatie treedt op voordat de korrels uit zullen spoelen en het faalmechanisme piping optreedt. Als er geen Heave optreedt, zal het mechanisme piping dus nooit in werking kunnen treden.

In de toets op Heave dient het verhang dat optreedt kleiner te zijn dan een toelaatbaar verhang van 0,5. Deze waarde is bepaald op grond van praktijkervaringen. In deze aanname zit een veiligheidsfactor tussen de 1,16 en 2,32 [13].

## **3.4 Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)**

De bodem in het achterland is veelal zandig. Lokaal komen dunne stoorlaagjes voor.

In de dijkringen 54 en 56 speelt opdrijven geen rol omdat doorgaande deklagen waaronder een potentiaal opgebouwd kan worden niet voorkomen. Het binnenwaartse bezwijken wordt hierom gemodelleerd met cirkelvormige glijvlakken.

Vanwege de beperkte variatie in ondergrond en taludhelling wordt voor deze dijkringen een schematiseringsfactor van 1,1 gehanteerd. Bij gebrek aan reële afwijkende scenario's wordt de schematiseringsfactor voor deze dijkringen niet nader bepaald met een scenarioanalyse.

In dijkkring 59 komen lokaal dikkere slechtdoorlatende cohesieve lagen voor [zie bijlage 2]. Deze kleilagen zijn erg onregelmatig en kunnen veelal niet als doorgaande kleilagen worden aangemerkt. Het opbouwen van een verhoogde potentiaal waardoor de deklaag opdrijft is onwaarschijnlijk aangezien de gaten in de kleilagen zullen werken als ontlastventiel.

Op basis van beschikbaar geotechnisch, milieukundig en archeologisch onderzoek is een kleidiktekaart opgesteld voor dijkkring 59. Aan de hand van deze kaart zijn locaties geïdentificeerd waar significante cohesieve lagen voorkomen in de ondergrond. Voor de risicolocaties worden gebiedspecifieke analyses uitgevoerd.

Vanwege de beperkte variatie in taludhelling en het afzonderlijke modelleren van risicolocaties wordt ook voor dijkkring 59 een schematiseringsfactor van 1,1 gehanteerd zonder aanvullende scenarioanalyse.

### ***Aanpak risicolocaties met significante cohesieve lagen in DR 59***

In geval van opdrijven (opdrukveiligheid tussen 1,1 en 1,2) en bij aanwezigheid van veenlagen in de ondergrond wordt naast de berekening met methode Bishop ook een berekening met methode Uplift Van uitgevoerd.

In geval van opbarsten (opdrukveiligheid  $< 1,1$ ) wordt de sterkte van de deklaag in de opbarstzone gereduceerd naar een verwachte reststerkte van 1 kPa (cohesie), de hoek van inwendige wrijving wordt op nul gesteld. Bishop is dan het maatgevende faalmechanisme.

#### **Stabiliteitsberm DR59**

Een korte berm zorgt ervoor dat de opbarstzone niet direct achter de dijk optreedt maar net voorbij de teen van de berm, daarnaast verhoogd de berm het gewicht aan binnendijkse zijde.

Bijkomend voordeel bij het toepassen van een kleine berm is dat de aan te brengen kleibekleding niet ingegraven hoeft te worden en er minder grond vrijkomt. Binnen de projecten is een overschot aan uitkomende grond aangezien een groot deel van de versterking bestaat uit het vervangen van de huidige toplaag voor een erosiebestandige kleibekleding.

Het creëren van ontlastventielen door het lokaal vervangen van klei voor granulaire materiaal is niet nader beschouwd als oplossingsrichting aangezien dit mogelijk leidt tot kweltoename.

### **3.5 Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)**

Bij val van de buitenwaterstand wordt een peil gelijk aan maaiveld of GHW gehanteerd. De toplaag van de dijk zal in dagelijkse omstandigheden uitdrogen waardoor de doorlatendheid toeneemt. Om deze reden wordt een (zandigere) leeflaag van 30 cm op cat. 1 klei toegepast of 20 cm extra kleidikte in geval van cat. 2 klei. Hierdoor zal de toplaag draineren in de 10 dagen tussen MHW en de te hanteren val van na hoogwater. Hierom wordt de freatische lijn in de kering 0,2 m onder het talud gemodelleerd bij val van MHW.

### **3.6 Microstabieliteit (STMI)**

Bij dijken met een kleikern speelt microstabieliteit (opdrukken en afschuiven van de bekleding) niet. Voor dijken met een zandkern is de controle van opdrukken en afschuiven van de kleibekleding op het binnentalud uitgevoerd conform de rekenregels uit Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG).

### **3.7 Voorlandstabiliteit (STVL)**

De stabiliteit van het voorland ter hoogte van de geulen wordt beoordeeld op basis van het mechanisme afschuiving en zettingsvloeiing. De toets wordt uitgevoerd conform de VTV, katern 9 [16]. De verwekingsgevoeligheid van de ondergrond wordt onderzocht op basis van het beschikbare sondeonderzoek. Indien de toets op verwekingsgevoeligheid niet tot een bevredigend oordeel leidt, worden geometrische toetsen uitgevoerd (schadelijkheid en optredingscriteria). Hiervoor is informatie over de geometrie van de stroomgeul van de Maas / de Niers benodigd.

Maatregelen worden ontworpen als de toetsingen leiden tot het oordeel 'onvoldoende'.

### **3.8 Niet waterkerende objecten**

#### **3.8.1 Kabels en leidingen**

Zie DO kabels en leidingen [23]



### 3.8.2 Kelders

Binnen een afstand van ca. 15 m tot de teen waterkering zijn de kelders, zwembaden en bergbezinkbassins geïventariseerd. De uitkomsten hiervan zijn samengevat in bijlage 1.

Ter plaatse van kelders wordt een gat met 1:4 taluds gemodelleerd in de stabiliteitsberekeningen. Indien het maatgevende glijvlak het gemodelleerde gat doorsnijdt en er wordt niet voldaan aan de stabiliteitseis, wordt een maatregel ontworpen.

### 3.8.3 Bomen / vegetatie

Ten aanzien van bomen op de waterkeringen zijn de volgende eisen gesteld:

	<b>Algemeen</b>
S-Alg-47 K-Alg-03 K-56-9	<p>Alleen indien bestaande bomen en struiken een hoge waarde voor landschap en/of natuur hebben en geen consequenties hebben voor de waterkeringsveiligheid mogen deze blijven staan. Overige beplanting wordt niet toegestaan op de waterkering.</p> <p><i>Opm:</i> <i>Bomen zijn niet toegestaan in de kernzone van de kering. Tot de kernzone behoren in ieder geval de waterkering, de stabiliteitsberm en de lengte waarover de kleibekleding in het voor- en achterland worden doorgezet, inclusief voorlandverbetering.</i></p> <p><i>Indien er geen specifieke eisen (zie onder) zijn gesteld aan een boom, wordt deze verwijderd als de boom hoger is dan 5 m, een stamdiameter groter dan 15 cm heeft en binnen de invloedszone van de kering staat (&lt;5,5 m vanaf de ingegraven kleibekleding).</i></p>
	<b>Specifieke eisen</b>
K-56-11	<p>Vanuit regiovisie wordt veel waarde gehecht aan de laanbeplanting langs de N271. Grootschalig kappen van bomen is voor de Gemeente niet bespreekbaar.</p> <p><i>Opm: De mogelijkheid van het behoud van deze bomen is onderzocht volgens de BomenT methode</i></p>

Bomen zijn niet toegestaan in de kernzone van de kering. Tot de kernzone behoren in ieder geval de waterkering, de stabiliteitsberm en de lengte waarover de kleibekleding in het voor- en achterland wordt doorgezet.

De invloedszone (waar de boom invloed heeft op de waterkering) wordt bepaald door erosie na het ontstaan van een eventuele ontgrondingskuil. Zonder boomkundig onderzoek wordt er van uitgegaan dat elke boom hoger dan 5 m omwaait bij maatgevende omstandigheden en wordt uitgegaan van de standaarderosiekuil zoals beschreven in de VTV; 1 m diep en een diameter van 4 m.

De rand van de erosiekuil zal, door water dat over de dijk stroomt/gutst, eroderen onder een taludhelling 1:7 in geval van zand. Voor de resulterende erosiekuil wordt het volgende aangehouden:

- grond die erodeert zal de kuil ook weer deels opvullen. Aangenomen is dat het evenwichtstalud dat resteert ter hoogte van de rand van de ontgrondingskuil de helft van de kerende hoogte bedraagt.
- bij een zandige ondergrond dient zodoende de minimale afstand tot de kernzone (ingegraven kleibekleding):  $2\text{ m} + (0,5\text{ m} \times 7\text{ m}) = 5,5\text{ m}$  te bedragen.

Dus bestaande bomen op een afstand van minimaal (2,5 kleiïngraving +5,5 tot hart erosiekuil =) 8,0 m uit de binnenteen van de kering / begrenzing voorlandverbetering kunnen worden gehandhaafd.

### 3.8.4 Eisen / wensen die niet worden gehonoreerd in geotechnisch ontwerp

K-56-8	Bomen en struiken bij Hengeland 1a dienen te worden verwijderd tbv het uitzicht op de Maas <i>Opm: niet relevant voor het geotechnisch ontwerp</i>
K-59-2	De notenboom in de tuin van Aijenseweg 20c indien mogelijk behouden <i>Opm: De kering wordt hier buitenwaarts versterkt. In het voorland wordt klei ingegraven als pipingmaatregel. Dit betekent dat de boom aan de binnenzijde geen bedreiging vormt voor het faalmechanisme STPH. De invloed van een solitaire boom aan de binnenzijde is te verwaarlozen ten aanzien van het faalmechanisme STBI omdat een mogelijk ontgrondingskuil veel kleiner is dan de breedte van een mogelijke afschuifvlak dat berekend wordt in een 2D model. Als de boom echter een bedreiging vormt in verband met erosie, wordt de boom verwijderd.</i>
K-59-5	Houtwal (bomenrij) bij Kerkstraat 31 op 1,5 m uit de huidige binnenteen van de dijk moet indien mogelijk behouden blijven. <i>Opm: Deze bomenrij vormt in potentie een bedreiging ivm STBI, maar met name erosie. Deze bomenrij is mogelijk te redden door de dijk buitenwaarts ca. 6 m te verleggen. Een dergelijke verlegging past niet binnen het beleid van het Waterschap.</i>

## 3.9 Lokale hoogtes zonder versterkingsopgave

In het projectgebied wordt aangesloten op lokale hoogtes zonder versterkingsopgave. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op wanneer een hogere grond als zodanig aangemerkt kan worden en hoe de kering hierop aangesloten dient te worden.

### 3.9.1 Aanduiding lokale hoogtes

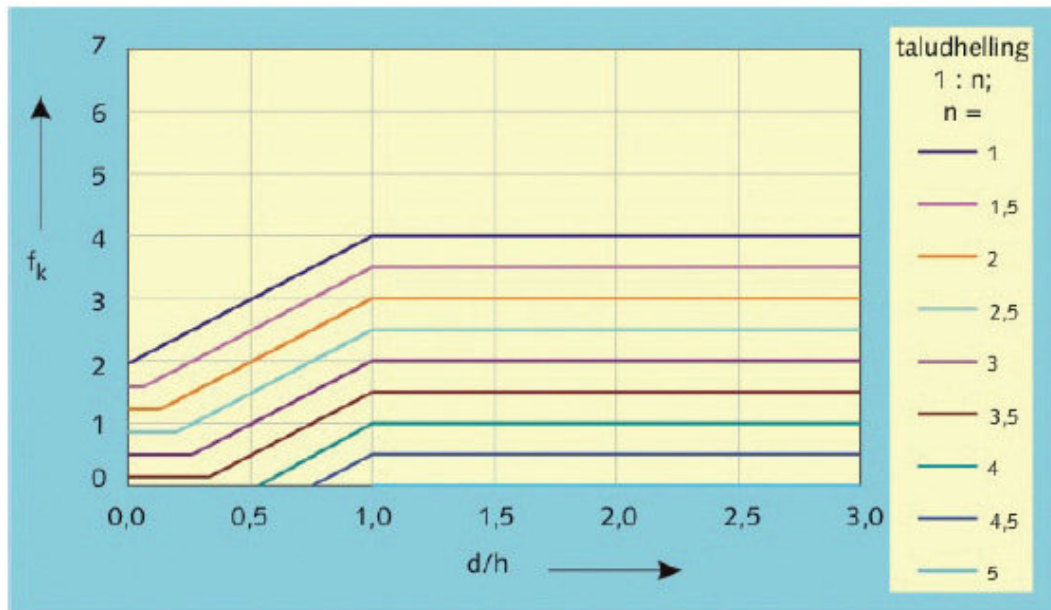
Een gebied kan aangeduid worden als hoge grond als het gebied als zodanig is aangegeven op bijlagen I en IA van de Wet op de waterkering. Dit is binnen het projectgebied niet altijd het geval. Hierom zijn twee praktische regels opgesteld om lokale hoogtes te definiëren waarbij de waterveiligheid wordt gegarandeerd.

#### **Op basis van de geometrische toets uit de VTV**

Uit de VTV is af te leiden dat indien het gebied voldoet aan de volgende eisen, het aan te merken is als kering:

- de kruinhoogte van de hoge grond is minimaal gelijk aan de kruinhoogte van de aansluitende kering (par 6.3.1 van de VTV);
- de geometrische toets zoals beschreven in paragraaf 4.2 van katern 5 van de VTV binnen de lokale hoogte past als verholen kering. Praktisch betekent dit een minimale breedte op kruinniveau die afhankelijk is van het verschil tussen de kruinhoogte en het achterland.

Omdat ter plaatse van de lokale hoogte vaak gedetailleerd grondonderzoek ontbreekt wordt uitgegaan van een conservatieve benadering met  $f_{k,max}$  volgens het onderstaand figuur.



**Figuur 3-1. Factor  $f_k$  als functie van de taludhelling ( $n$ ), kerende hoogte ( $h$ ) en dikte van de deklaag ( $d$ )**

De breedte van de lokale hoogte ( $b_{kr,min}$ ) dient minimaal gelijk te zijn aan de minimale kruinbreedte ( $k$ ) van 3 m plus  $f_{k,max}$  maal de kerende hoogte ( $h$ ) plus de horizontale lengte van het denkbeeldige binnentalud. In formulevorm:

$$b_{kr,min} = k + f_{k,max} * h + n * h$$

Omdat de minimale kruinbreedte een vaste waarde is en  $f_{k,max}$  plus  $n$  gelijk is aan 5, resulteert dit in de simpele relatie voor de minimale breedte van lokale hoogtes:

$$b_{kr,min} = 3 + 5h$$

Met het oog op de beperkte kerende hoogte in het projectgebied betekent dit veelal een kruinbreedte van 10 à 20 m.

***Praktische eis op basis van gereduceerde waakhoogte in combinatie met grotere kruinbreedte.***

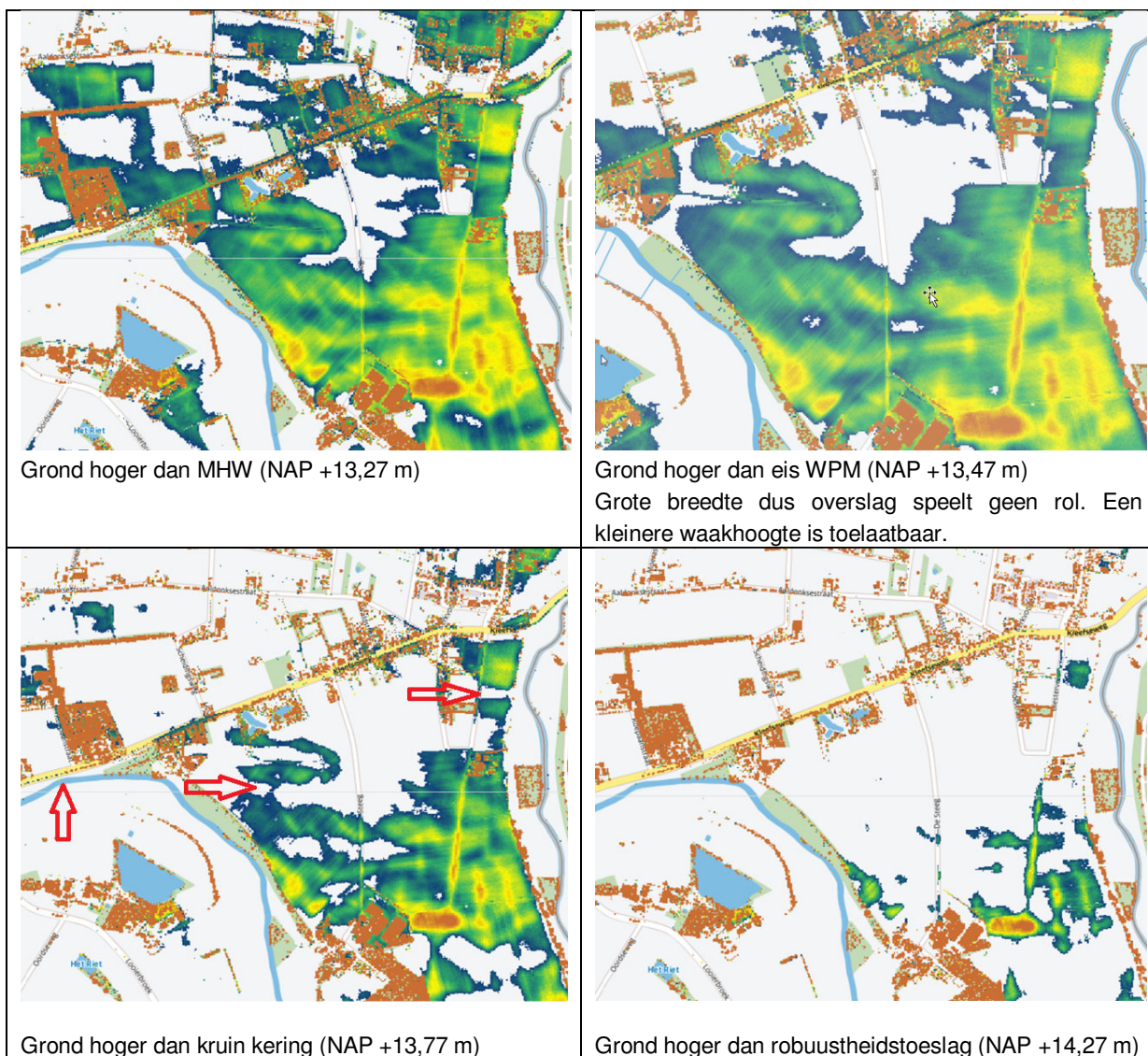
In het VO zijn eisen opgesteld voor de lokale hoogtes:

- Minimale kruinhoogte is MHW+0,2 m (dus 0,3 m lager dan aansluitende kering)
- Een minimale kruinbreedte van 25 m.

In tegenstelling tot groene keringen met een relatief smalle kruin in vergelijking met lokale hoogtes, worden in de waakhoogte van lokale hoogtes geen toeslagen voor golfoploop en berijdbaarheid in rekening gebracht. De toeslag van 0,2 m in verband met de onzekerheid in het Waqua-model wordt wel in rekening gebracht voor lokale hoogtes.

Voor de minimale breedte van lokale hoogtes wordt een praktische maat van 25 m gehanteerd. Dit komt grofweg overeen met de breedte van de maximale zate van de groene keringen in het projectgebied. Dit is breder dan de eisen die volgen uit de geometrische toets uit de VTV. De reden hiervoor is de lagere kruinhoogte.

Opgemerkt wordt dat deze eisen als voldoende worden aangemerkt met betrekking tot de waterveiligheid, maar een beperkte robuustheid hebben voor de toekomst. Ter illustratie is de situatie in DR54-b/c bij Ven-Zelderheide hieronder weergegeven. De locatie van de waterkering verandert in de tijd. Voor de huidige ontwerpwaterstand loopt de waterkering over hoge grond, voor de waterstand met robuustheidstoeslag is dat niet meer mogelijk. Tegen die tijd is de Kleefseweg wellicht een economischer keuze als waterkering.



**Figuur 3-2 Lokale hoogtes Ven-Zelderheide**

Lokale hoogtes worden als zodanig aangemerkt als:

- Aangegeven als hoge grond in bijlagen I en IA van de Wet op de waterkering  
OF
- voldoet aan de geometrische toets uit de VTV  
OF
- voldoet aan de eisen die gesteld zijn door WPM



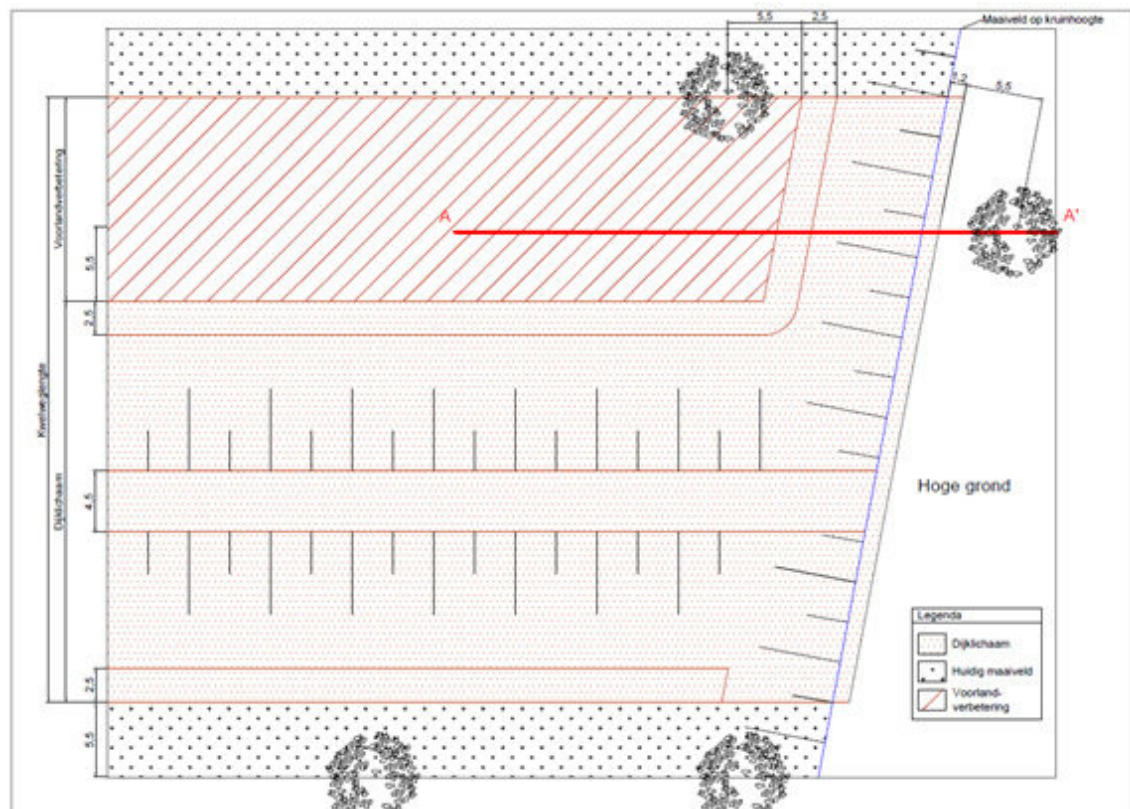
Indien bomen aanwezig zijn op de lokale hoogtes wordt een extra marge van 10 m op de breedte toegepast. Dit leidt tot een minimale breedte van 13+5h voor de afgeleide VTV-toets en een breedte van 35 m voor de praktische eis op basis van expert judgement.

### 3.9.2 Aansluiting op lokale hoogtes

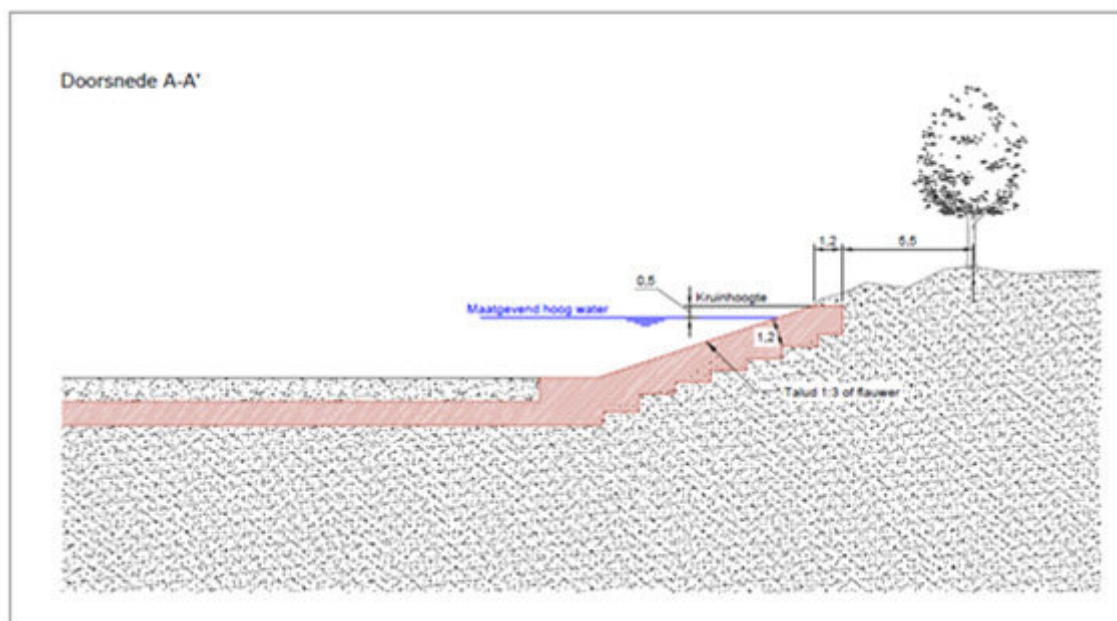
P-005	De waterkering dient qua hoogte en profiel aan te sluiten op lokale hoogtes (conform voorgaande paragraaf) of aansluitende dijkvakken.
-------	--

De bekleding van de dijk (klei) zal bij de aansluiting op lokale hoogtes zowel binnen- als buitendijks tot kruinhoogteniveau worden doorgezet. Buitendijks wordt de bekleding doorgezet over een minimale lengte van ca. 10 m parallel aan de hoge grondterp of zo lang als de voorlandverbetering doorloopt. Dit laatste is nodig om kortsluiting in het voorland en daarmee risico op piping te voorkomen.

Indien in verband met mogelijk optreden van piping een voorlandverbetering is voorzien aan de buitenzijde van de dijk, dan zal deze kleiingraving ook bij de aansluiting op de lokale hoogtes moeten worden doorgezet tot kruinhoogteniveau. Zie onderstaande principe schetsen.



Figuur 3-3 Principeschets aansluiting lokale hoogte – bovenaanzicht



Figuur 3-4 Principeschets aansluiting lokale hoogte – doorsnede (schematisch)

### 3.10 Aansluitingen op aangrenzende waterkeringen

<p>P-006 P-007</p>	<p>Aansluiting op bestaande naastgelegen 1/250ste waterkeringen (buiten het projectgebied) beperkt zich in het ontwerp tot aansluiting op voldoende hoogte <i>Opm: Het DO verzorgt een voldoende veilig dijkontwerp tot gespecificeerde grenzen zoals beschreven in de uitraag. De ruimtelijke inpassing (overgang in hoogte) wordt gerealiseerd buiten de aangegeven grenzen en valt daarmee buiten de versterkingsopgave. De aansluiting wordt niet getoetst op faalmechanismen. Uitgangspunt is dat de huidige waterveiligheid ter plaatse van de aansluitingen niet verslechtert.</i></p>
------------------------	---

## 4 DO GROENE KERINGEN DR54

### 4.1 Zandmeevoerende wellen (STPH)

In een deel van de dijkstrekkingen ligt het achterland hoog, is een brede strook lokale hoogte aanwezig of is een breed en hoog weglichaam aanwezig achter de kering waardoor piping niet kan optreden. Dit geldt echter niet voor de gehele dijkkring. Op basis van geometrie en bodemopbouw is een aantal strekkingen nader onderzocht (zie onderstaande tabel). Ter plaatse van constructies is een minimaal benodigde lengte van het kwelscherm bepaald.

**Tabel 4-1: Nader onderzochte dijkstrekkingen voor het faalmechanisme STPH**

start	eind	Type	Toelichting
54.027+60	54.029+80	Groen	Relatief laag achterland
54.040+30	54.048+80	Groen	Korte afstand tussen buitenteen en binnenteen
54.091+30	54.102+95	Groen	Relatief laag achterland
54.171+90	54.173+50	Constructie	Pipingscherm
54.173+50	54.177+15	Constructie	Pipingscherm
54.177+15	54.177+40	Constructie	Pipingscherm
54.177+40	54.180+85	Constructie	Pipingscherm

Voor de dijkvakken zijn profielen geselecteerd. Een laag binnendijs maaiveld en een korte beschikbare kwelweglengte zijn hierin maatgevend. Van deze profielen is de benodigde kwelweglengte berekend met de formule van Sellmeijer. De kwelweglengtes zijn afgerond op hele meters en zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Zie ook bijlage 3.

**Tabel 4-2: Resultaat Sellmeijer analyse voor groene keringen DR54**

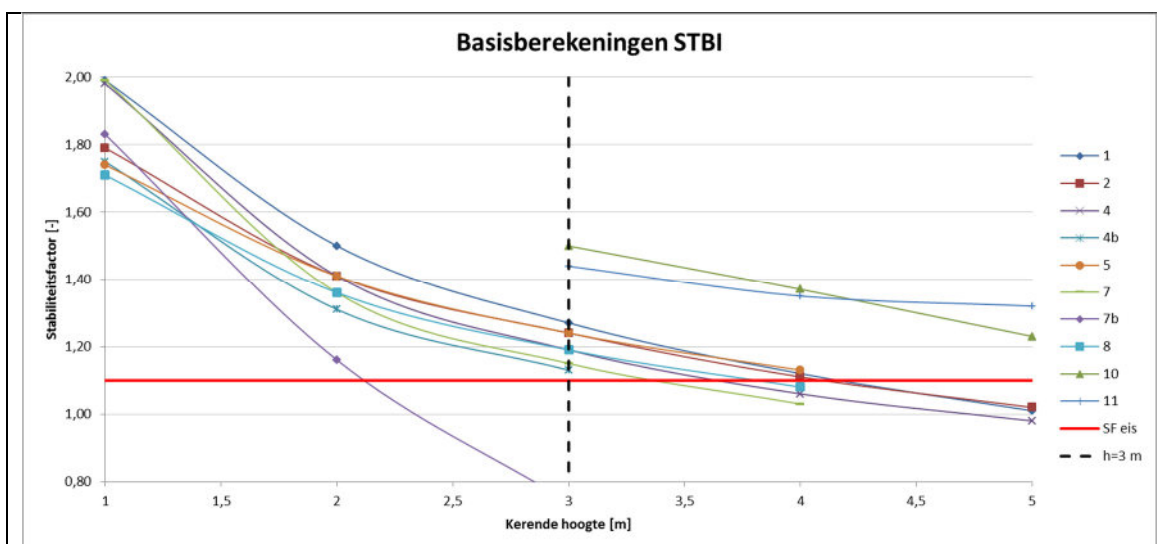
Dwarsprofiel [29]	Ontwerpwaterstand [m t.o.v. NAP]	MV ter plaatse van uittredepunt [m t.o.v. NAP]	Benodigde Kwelweglengte [m tov uittredepunt]
1	13,77	13,59	2
2	13,77	12,30	18
3	13,77	12,63	13
14a	13,77	13,45	3
14b	13,77	13,40	4
36	13,72	12,50	14
37	13,71	12,30	17
38	13,71	12,30	17
39	13,71	12,15	20
40	13,71	13,47	2
41	13,70	13,22	5
42	13,70	12,50	14
43	13,70	12,80	10

Na het berekenen van de benodigde kwelweglengte is deze lengte uitgezet in buitendijkse richting vanaf het uittredepunt. Het uittredepunt is gelijk gesteld aan het laagste punt in het achterland in de nabijheid van de kering. De breedte van de groene keringen is overal voldoende om piping te voorkomen; een voorlandverbetering blijkt in DR54 niet nodig te zijn.

## 4.2 Macrostabiliteit Binnenwaarts (STBI)

De ondergrond in dijkkring 54 bestaat hoofdzakelijk uit granulair materiaal (zand en grind). Lokaal komen dunne cohesieve stoorlaagjes voor. Vanwege het ontbreken van een deklaag en de beperkte hoogte van de binnentaluds, liggen de maatgevende glijvlakken ondiep. Het uittredepunt van het glijvlak ligt op korte afstand van de binnenteen. De minimale geometrie van de kering is vastgelegd in de eisen.

Voor een aantal basissituaties is de binnenwaartse stabiliteitsfactor bepaald als functie van de hoogte. Hierbij is de basisgeometrie met taluds 1:3 en een kruinbreedte van 4,5 m aangehouden. De dikte van de deklaag, het kernmateriaal en de combinatie waterstand en verkeerbelasting op de kruin zijn gevarieerd. Deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 4. Deze basisberekeningen ondervangen het grootste deel van de keringen in de dijkkring. In het onderstaand figuur zijn de resultaten weergegeven.



**Figuur 4-1 Resultaten basisberekeningen STBI – Stabiliteitsfactor als functie van de kerende hoogte**

In de basisberekeningen zijn de volgende situaties beschouwd:

- 1) Kleikern, geen deklaag, geen belasting, waterstand tot kruin
- 2) Kleikern, geen deklaag, wel belasting, MHW
- 4) Kleikern, 1 m deklaag, geen belasting, waterstand tot kruin
- 4b) Als 4, met opbarsten van evt doorgaande deklaag
- 5) Kleikern, 1 m deklaag, wel belasting, MHW
- 7) Kleikern, 3 m deklaag, geen belasting, waterstand tot kruin
- 7b) Als 7, met opdrijven van evt doorgaande deklaag)
- 8) Kleikern, 3 m deklaag, wel belasting, MHW
- 10) Zandkern, geen deklaag, geen belasting, waterstand tot kruin
- 11) Zandkern, 1 m deklaag, geen belasting, waterstand tot kruin

Aan de hand van de resultaten kan geconcludeerd worden dat de keringen voldoen aan de stabiliteitseis als de kerende hoogte kleiner of gelijk is aan 3 m. Uitzondering hierop is een situatie waarbij een relatief



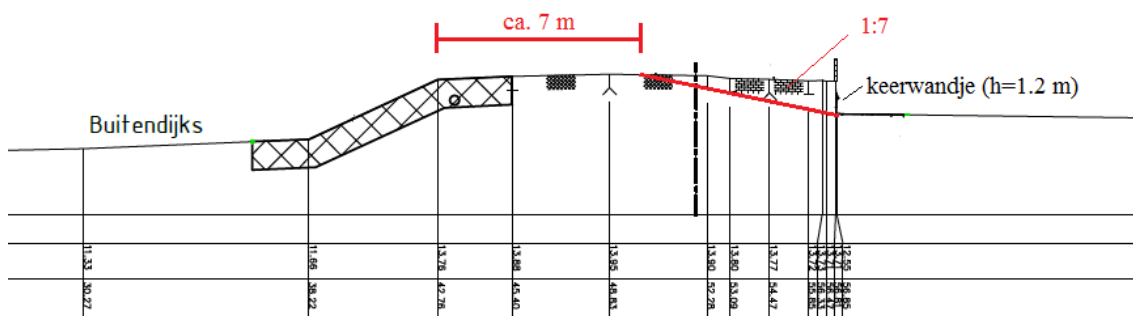
dikke deklaag ( $\gg 1$  m) aanwezig is die opdrijft (situatie 7b). Dergelijke dikke doorgaande deklaagen komen echter niet voor in DR54. De situatie dat de kerende hoogte groter is dan 3 m komt in DR54 niet voor.

Op twee locaties sluiten de basisberekeningen niet aan bij de situatie. Voor deze locaties zijn aanvullende analyses uitgevoerd:

- DP54.029-54.030; betonnen keerwandje aan de binnenzijde.
- DP54.171; steiler talud.

#### **DP54.029-54.030 Restprofiel**

Op deze locatie bestaat de verbetering alleen uit het aanpassen van het buitentalud. Aan de binnenzijde is een betonnen keerwand aanwezig met beperkte kerende hoogte. De status van dit wandje is onbekend. Naar verwachting is deze wand niet ontworpen als onderdeel van een primaire kering. Indien het wandje onder maatgevende omstandigheden zou bezwijken heeft het aanwezige grondlichaam echter nog voldoende breedte en hoogte om de ontwerpwaterstand te keren. Deze restbreedte benadering is weergegeven in het onderstaande figuur. Vanwege de overstroombaarheid is aan de binnenzijde na bezwijken uitgegaan van een flauw talud van 1:7 (conservatieve aanname o.b.v. [16] uitgaande van losgepakt zand).



**Figuur 4-2 Restbreedtebenadering DP54.029-54.030**

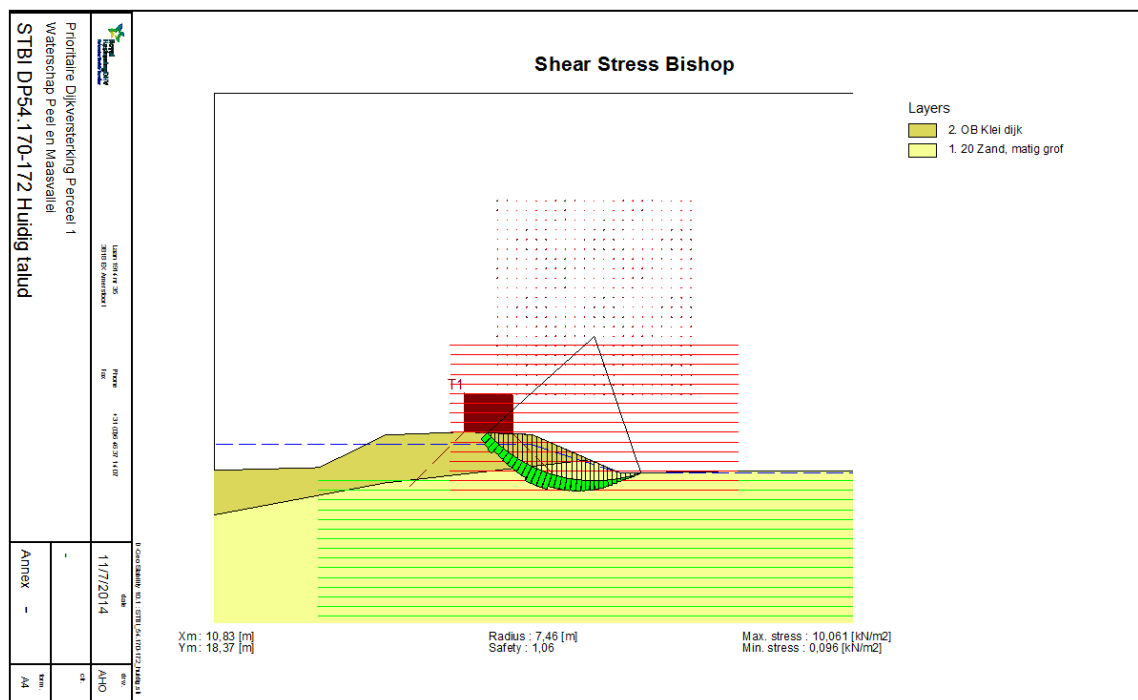
#### **DP54.170-54.172 Steunberm**

Aan de binnenzijde is een relatief steil talud aanwezig (ca. 1:2,3). Een gedeelte van het talud is begroeid met struiken. In de binnenkruinlijn en in het achterland zijn bomen aanwezig. De begroeiing binnen de invloedszone van de kering dient verwijderd te worden. Tussen DP54.170 en DP54.171 ligt de weg ingeklemd tussen de huidige binnenteen en de tuinen. Deze weg is de enige ontsluiting voor autoverkeer naar de achterzijde van de woningen. Een foto van het lokale binnentalud is weergegeven in Figuur 4-3.



Figuur 4-3 Huidige situatie

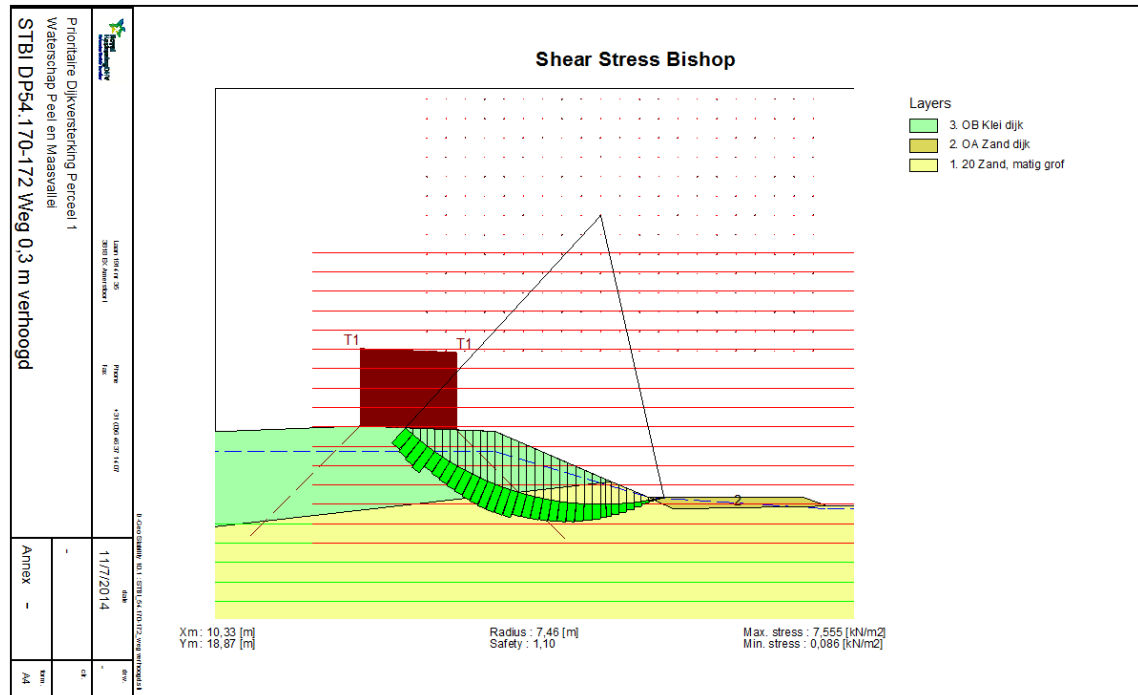
Het huidige talud voldoet niet aan de vereiste veiligheid bij hoog water. Omdat de kruin van de kering hier relatief hoog ( $>MHW+0,5$  m) ligt, is het mogelijk dat verkeer aanwezig is bij een waterstand van MHW  $+0,5$  m; dit in tegenstelling tot de keringen die op hoogte gebracht worden (zie par 2.9). De verkeersbelasting is gemodelleerd op de rand van de weg op de kruin. In het onderstaand figuur is het resultaat van de stabiliteitsanalyse weergegeven.



Figuur 4-4 Stabiliteitsanalyse huidig binnentalud DP54.170-172 (SF=1,06<1,10)

De stabiliteitsfactor bedraagt 1,06. Het huidige talud voldoet niet aan de vereiste stabiliteit (1,10) tijdens hoogwater (MHW+0,5 m).

Ter plaatse van de weg langs de binnenteen is een taludverflauwing niet mogelijk. Hierom is gekozen voor het verhogen van de weg nabij de teen met 0,3 m. Dit betekent echter wel dat het talud lokaal steiler is dan 1:3. Hieronder is het resultaat aangegeven van de stabiliteitsanalyse met verhoogde weg tot NAP +11,6 m zodat een 'binnenberm' ontstaat (veiligheidsfactor 1,1).

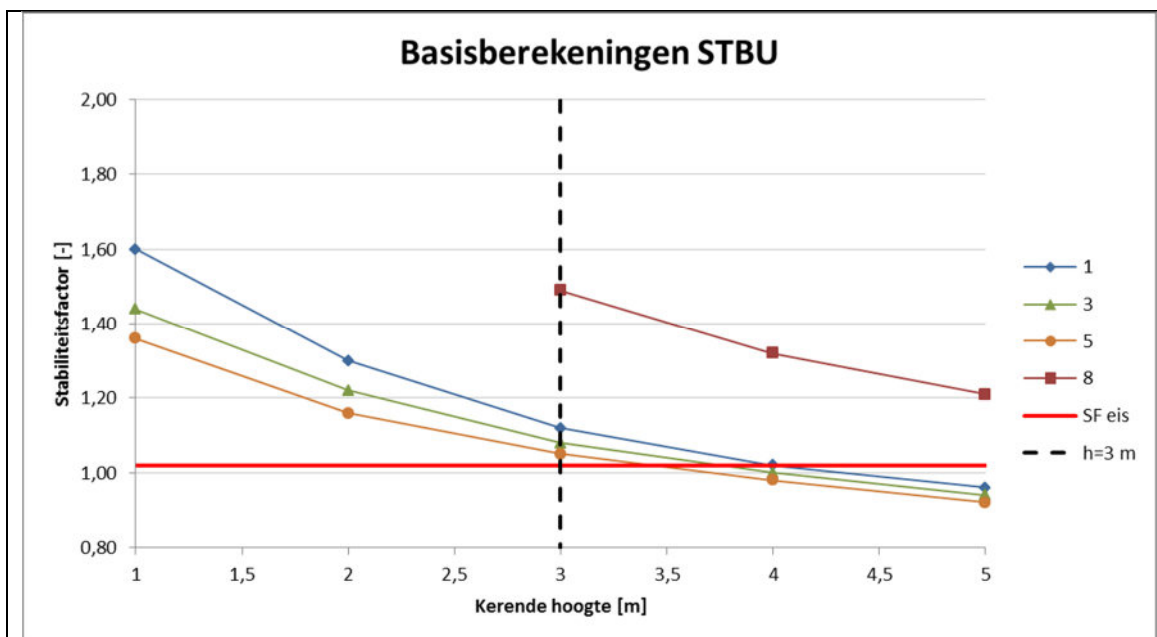


**Figuur 4-5 Stabiliteitsanalyse versterkt binnentalud; weg op NAP +11,6 m (SF=1,10)**

De weg buigt van de dijk af bij DP 54.171. Tussen DP54.171 en DP.172 is wel ruimte voor een taludverflauwing.

### 4.3 Macro stabiliteit Buitenwaarts (STBU)

Voor de buitenwaartse macro stabiliteit is in overeenstemming met de analyse ten aanzien van STBI een aantal basisberekeningen (met talud 1:3 en kruin van 4,5 m) opgesteld. Deze basisberekeningen ondervangen een groot gedeelte van dijkkring 54. In het onderstaand figuur zijn de resultaten weergegeven.



**Figuur 4-6 Resultaten basisberekeningen STBU – Stabiliteitsfactor als functie van de kerende hoogte**

In de basisberekeningen zijn de volgende situaties beschouwd:

- 1) Kleikern, geen deklaag, wel belasting
- 3) Kleikern, 1 m deklaag, wel belasting
- 5) Kleikern, 3 m deklaag, wel belasting
- 8) Zandkern, geen deklaag, wel belasting

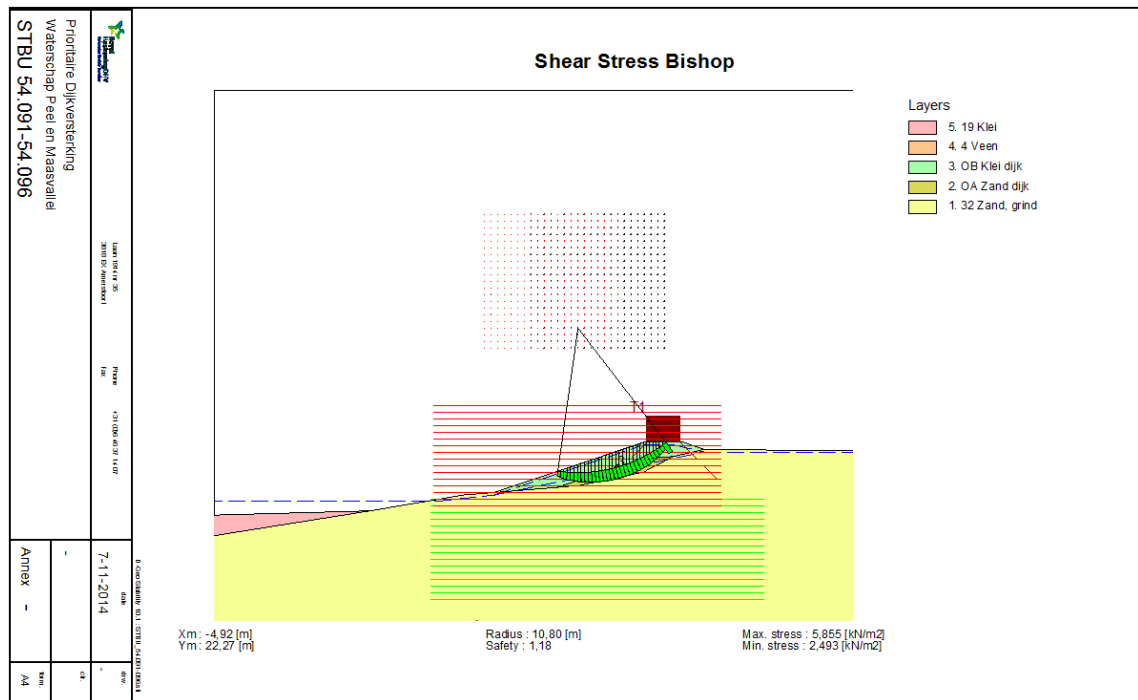
Ook hiervoor geldt dat de basisgeometrie voldoet voor situaties met een kerende hoogte <3 m.

Op een aantal locaties sluiten de basisberekeningen niet aan bij de werkelijke situatie. Voor deze locaties zijn aanvullende analyses uitgevoerd:

- DP54.091-54.096; relatief hoog (>3 m) talud
- DP54.169-54.172; lange steile taluds en kelder in het buitentalud.
- DP54.181-54.185; relatief hoog (>3 m) talud
- DP54.186-54.187; lokaal steiler talud

#### **DP54.091-54.096**

De Bloemenstraat in Milsbeek heeft nabij de aansluiting op de N271 een relatief lang buitentalud. In het voorland loopt de Niers. Vanwege de omvang van de aanvulling in combinatie met de lengte van het talud is DP54.095 maatgevend voor de betreffende dijkstrekking. Onderstaand figuur geeft het maatgevende glijvlak weer ter plaatse van DP54.095.



**Figuur 4-7 Stabiliteitsanalyse STBU DP54.091-54.096 (SF=1,18>1,02)**

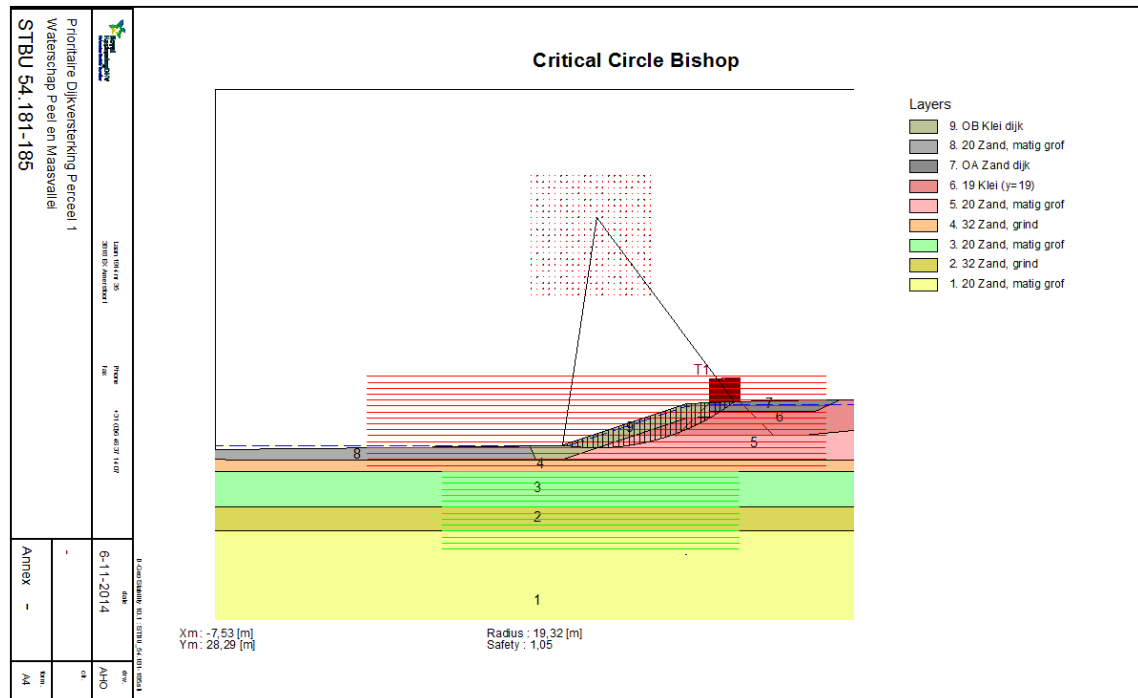
De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,18 (relatief hoog door zandige kern). Hiermee wordt voldaan aan de eis van 1,02. Een 1:3 buitentalud met kleibekleding voldoet ook in deze strekking.

**DP54.169-54.172**

De Kanaalweg in Mook heeft lange, relatief steile buitentaluds. Daarnaast is bebouwing met kelders aanwezig in het buitentalud. Een oplossing in grond is hier niet mogelijk. Hierom bestaat de versterking op deze locatie uit een verankerde damwandconstructie. Voor de uitwerking wordt verwezen naar par. 4.8.1.

**DP54.181-54.185**

De groene keringen in Mook hebben relatief lange buitentaluds aangezien de keringen dicht bij de Maas liggen. Daarnaast is de val van de buitenwaterstand groot [21]. Vanwege de lengte van het buitentalud is DP54.185 maatgevend voor de betreffende dijkstrekking. Onderstaand figuur geeft het maatgevende glijvlak weer ter plaatse van DP54.185.



**Figuur 4-8 Stabiliteitsanalyse STBU DP54.181-54.185 (SF=1,05>1,02)**

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,05. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 1,02. Een 1:3 buitentalud met kleibekleding voldoet ook in deze strekking.

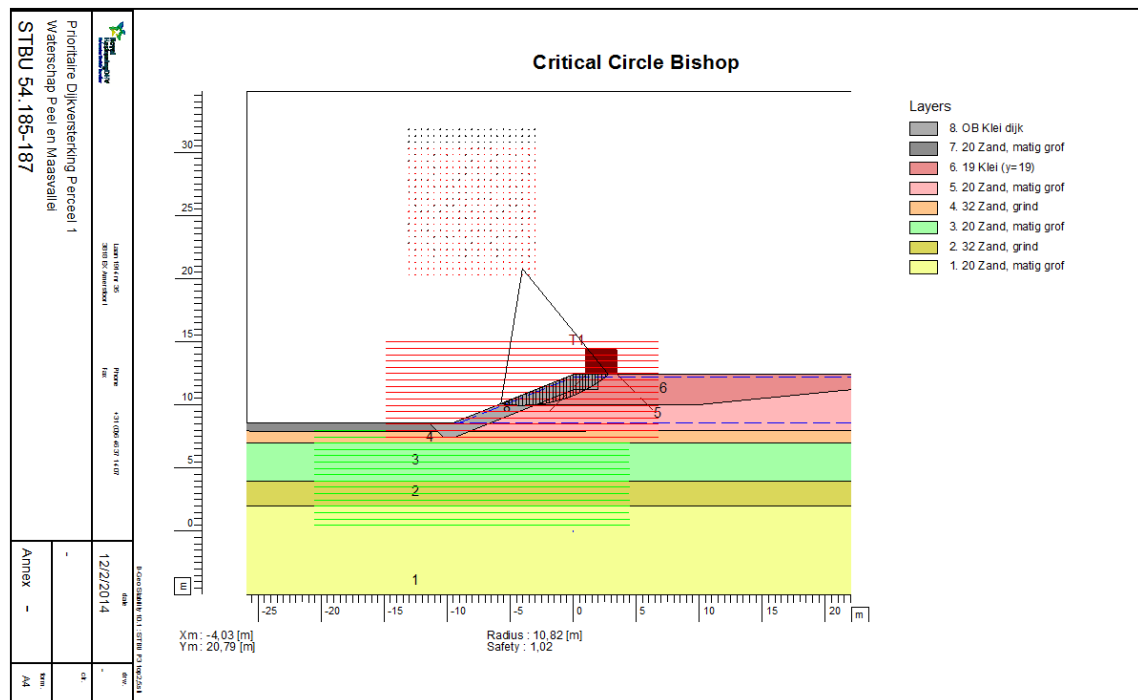
**DP54.185-54.187**

In deze strekking bestaat het oorspronkelijke VKA [23] uit het steiler maken van het buitentalud (naar 1:1,5) zodat buiten de perceelsgrenzen een kruin gemaakt kan worden met een breedte van minimaal 3 m waarbij de huidige buitenteen gehandhaafd blijft. Vanwege de rivierkundige effecten is het namelijk niet toegestaan de buitenteen richting de rivier te verplaatsen.

Omdat het buitenwaartse verplaatsen van de buitenkruinlijn ook leidt tot negatieve rivierkundige gevolgen is gekozen voor een oplossing binnen de huidige perceelsgrenzen.

Voor deze strekking geldt het volgende ten aanzien van de benodigde versterking:

- Het huidige maaiveld ter plaatse van de buitenkruinlijn ligt grotendeels op hoogte (ontwerppeil van NAP +12,62 m voor groene keringen).
- De huidige bekleding is niet erosiebestendig genoeg.
- De benodigde ruimte voor beheer en onderhoud is niet in eigendom van het waterschap.
- Het huidige buitentalud heeft een helling van ca. 1:2,5 à 1:3. Dit talud is voldoende stabiel bij val na hoog water, mits de belasting op minimaal 1 m uit de buitenkruinlijn wordt geplaatst (zie Figuur 4-9).



**Figuur 4-9 Stabiliteitsanalyse STBU DP54.185-54.187 (SF=1,02)**

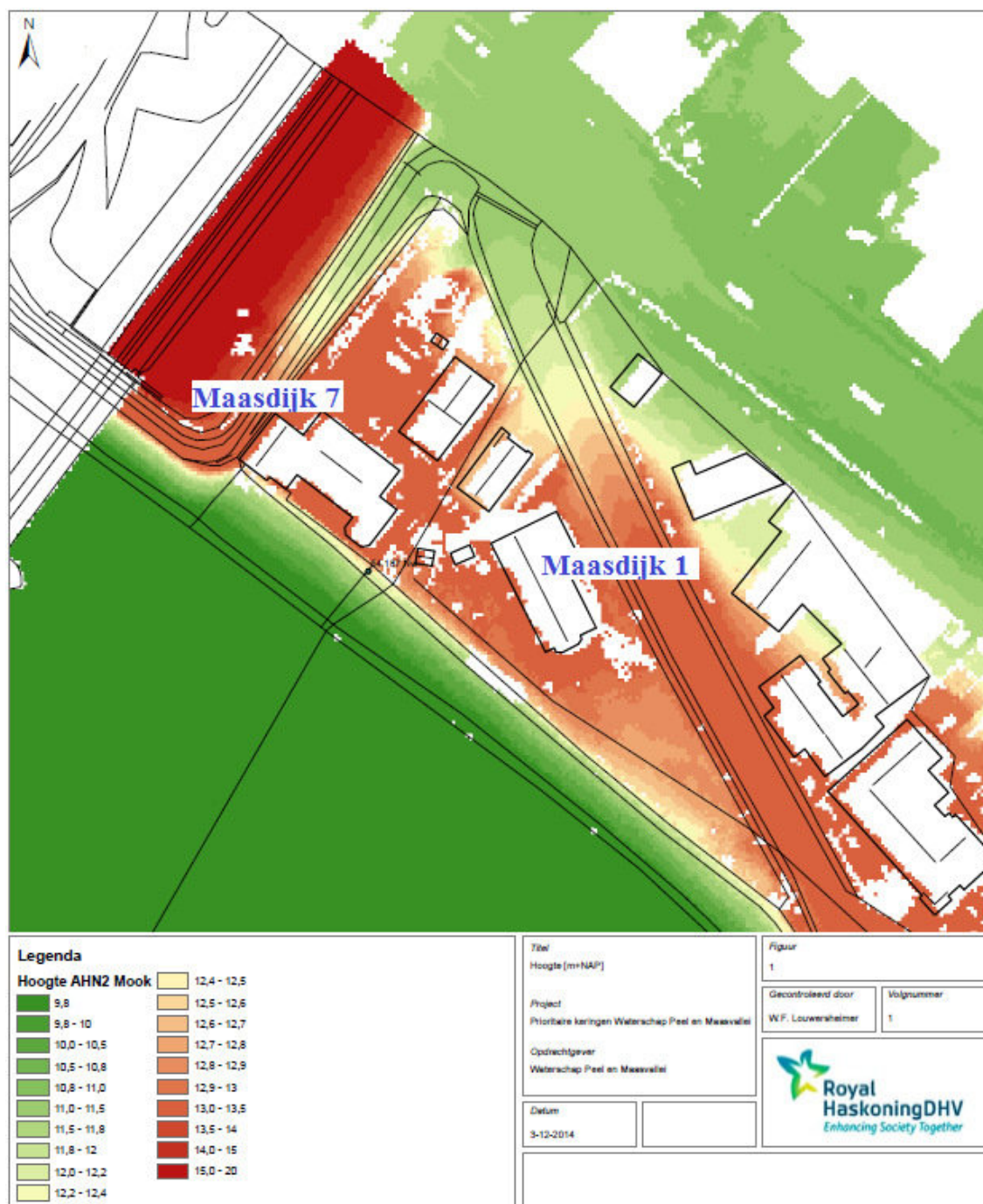
#### Optimalisatie versterking ten opzichte van VKA:

1. Tussen start traject en Maasdijk 7 het huidige buitentalud handhaven in combinatie met:
  - a. Het aanbrengen van een kleibekleding op het buitentalud. Vanwege de beperkte afstand tot de woning wordt aanbevolen in stroken te ontgraven en kleibekleding aan te brengen.
  - b. Lokaal verhogen van een strook met een breedte van 3 m in de tuin van Maasdijk 1
  - c. Zakelijk recht vestigen voor beheer en onderhoud op particulier terrein
2. Bij Maasdijk 7 is lokaal geen ruimte beschikbaar voor een onderhoudspad.
3. Op basis van de analyse van het (rest)profiel van het spoorlichaam (groot grondlichaam; kruin op ca. NAP +18,5 m, voldoende materiaal aanwezig) geen versterking uitvoeren onder de spoorbrug.

Beide woningen hebben een kelder aan de straatzijde (zo ver mogelijk van de dijk). De kelder van Maasdijk 1 heeft een diepte van 1,8 m en een oppervlak van 5 m x 3 m. Maasdijk 7 heeft een kelder van 2 m diep en een oppervlak van 6 m x 4 m (zie bijlage 1). Het terrein rondom de woningen ligt boven de vereiste kruinhoogte. Bij eventueel falen van de kelders zullen kleine lokale gaten in het maaiveld ontstaan met een volume gelijk aan de oorspronkelijke kelder. Transport van materiaal door erosie zal niet optreden omdat het omringende maaiveld over een grote breedte voldoende hoog is. Om deze reden vormt de aanwezigheid van de kelders geen bedreiging voor de waterkering.

Het hogere gelegen gebied rondom beide woningen is weergegeven in Figuur 4-10.





Figuur 4-10 Hoogteligging rondom Maasdijk 1 en 7

Voordelen:

- Minimale ingreep (sober en doelmatig)
- Korte bouwtijd
- Geen significante zettingen
- Uniforme oplossing in vergelijking met overige buitentaluds (beheer)
- Geen nadelige rivierkundige effecten (buitentalud wordt niet steiler gemaakt)



Nadelen:

- Onderhoudsstrook niet in eigendom (medewerking van bewoner Maasdijk 1 noodzakelijk)
- Bij hoog water is ter hoogte van Maasdijk 7 over een lengte van 30 à 35 m alleen inspectie te voet mogelijk op de buitenkruinlijn.

#### 4.4 Microstabiliteit (STMI)

De dijken in dijkkring 54 hebben een beperkte hoogte ten opzichte van het achterland. Het ingraven van de relatief dikke kleibekleding zorgt ervoor dat de groene keringen grotendeels uit klei bestaan. Bij kleidijken speelt microstabiliteit (opdrukken en afschuiven van de bekleding) niet.

Uitzondering hierop zijn de groene keringen in Mook (dp54.169- 54.172 en dp54.181-54.187). Omdat de keringen hier dicht bij de rivier liggen, zijn de buitentaluds relatief lang. Hierdoor blijft een zandkern aanwezig na het aanbrengen van de kleibekleding. Het achterland ligt echter hoog waardoor de binnentaluds kort zijn. Voor dijken met een zandkern is de controle van opdrukken en afschuiven van de kleibekleding op het binnentalud uitgevoerd conform [11].

Bij een dikte van de kleilaag van 1,2 m en een taludhelling van 1:3, bedraagt het maximaal toelaatbare stijghoogte-/grondwaterstandsverschil ten opzicht van bovenkant bekleding ( $\Delta h$ ) 1,6 m. In bijlage 6 is de berekening opgenomen. Vanwege de beperkte lengte van de binnentaluds wordt deze waarde nergens in dijkkring 54 overschreden. Het ontwerp voldoet ten aanzien van het faalmechanisme microstabiliteit.

#### 4.5 Stabiliteit voorland (STVL)

De stroomgeul ligt veelal ver van de kering waardoor instabiliteit van het voorland geen rol speelt. Op een aantal locaties ligt de stroomgeul echter dicht bij de kering. Deze locaties zijn in meer detail beschouwd in bijlage 7 ten aanzien van verwekingsgevoeligheid. De verwekingsgevoeligheid is bepaald aan de hand van de relatieve dichtheid en de dikte van het pakket. Verweking van losgepakte zandlagen is mogelijk indien de relatieve dichtheid kleiner is dan 60%. Indien de relatieve dichtheid kleiner is dan 30% is optreden van verweking waarschijnlijk [17]. De relatieve dichtheid is bepaald volgens de relatie van Baldi op basis van resultaten van sonderingen. Volgens CUR-aanbeveling 130 kan zettingsvloeiing optreden in losgepakte zandlagen die dikker zijn dan 2 à 5 m. De onderstaande tabel geeft een samenvatting van de analyse die uitgewerkt is in bijlage 7.

**Tabel 4-3: Samenvatting STVL toetsing DR54**

Dijkpaal	Sondering	Verwekingsgevoelig
54.030	54A-S01	Nee
54.094	54E-S01	Nee
54.169	54H-S01	Nee
54.183	54O-S02	Nee (dikte <2 m)
54.184	54P-S01	Nee

Aangezien in de ondergrond geen verwekingsgevoelige lagen met significante dikte zijn aangetroffen, voldoet het ontwerp ten aanzien van het faalmechanisme stabiliteit voorland.

## 4.6 Zettingen

De ophogingen in het kader van de versterking van DR54 zijn zeer beperkt. Lokaal komen zettingsgevoelige stoorlaagjes voor. Maar deze stoorlaagjes zijn dun waardoor consolidatie snel zal optreden. Op één locatie is een ophoging groter dan 1 m voorzien:

- DP54.091-54.096; buitenwaartse versterking door middel van tuimeldijk. In de nabijheid van de Niers is in het voorland een deklaag aanwezig bestaande uit klei en veen. Er zijn geen significante samendrukbare lagen aanwezig binnen de invloedszone van de versterking. Derhalve zijn de verwachte (rest)zettingen verwaarloosbaar.

## 4.7 NWO's

In dijkkring 54 zijn geen specifieke eisen gesteld aan bomen. Dit betekent dat alle bomen in de kernzone en de invloedszone worden verwijderd.

Voor het dijkmeubilair (zoals de historische peilschaal) wordt verwezen naar het achtergrond rapport Waterbouw [21].

## 4.8 Inpassing ter plaatse van woningen

### 4.8.1 Kanaalweg (DP54.169-54.172)

Het onderstaand figuur geeft de strekking weer waarin aan de buitenzijde een verankerde damwand is voorzien vanwege het ruimtebeslag.



**Figuur 4-11 Damwandstrekking Kanaalweg (schematisch)**

Het traject van in totaal circa 260 m is in twee secties verdeeld, vanwege de geometrie van de kering en het voorland. De secties zijn DP54.169-54.170 (Dolfijn) en DP54.170- 54.172.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de sonderingen en boringen zoals weergegeven in onderstaande tabel.

**Tabel 4-4: Beschikbaar grondonderzoek voor DP54.169-54.172**

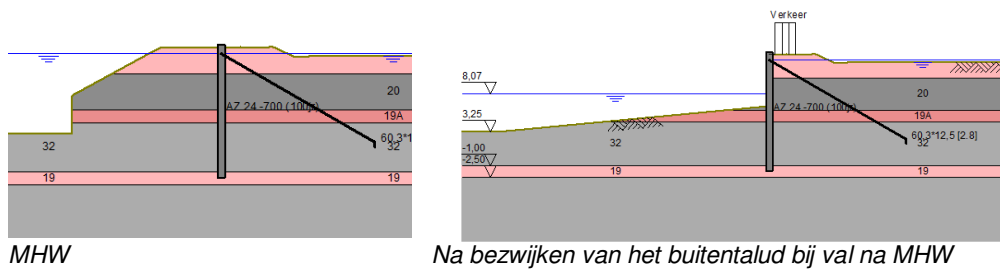
Type	Nummers
Sonderingen	54H-S01; 54H-S02
Hand boringen	54H-HB01 t/m 54H-HB05

**DP54.169-54.170**

Deze sectie loopt vanaf het kunstwerk tot aan het gebouw van watersportvereniging Dolfijn. De diepte van het kanaal is bepalend voor dit profiel. Op basis van de naast gelegen sluis en de bodem zoals deze is gemodelleerd in de Waqua modellen, is een bodemdiepte van NAP +3,25 m afgeleid.

De stabiliteit van het buitentalud is onvoldoende. Bij de normcirkel (SF=1,02) is onvoldoende restbreedte aanwezig.

Bij het bezwijken van het buitentalud heeft het restprofiel 1/3 van de initiële hoogte van het maaiveld in het voorland; zie Figuur 4-12.



MHW

Na bezwijken van het buitentalud bij val na MHW

**Figuur 4-12 Schematisatie restprofiel**

In de sonderingen aan het begin en het einde van het traject is een kleilaag aangetroffen. Deze kleilaag fungeert als een waterremmende laag, het verloop van de waterspanning vindt plaats over deze laag.

In de onderstaande tabel is het ontwerp van de resulterende damwand samengevat. Voor een uitgebreid ontwerprapport wordt verwezen naar bijlage 9.

**Tabel 4-5: Samenvatting ontwerp verankerd erosiescherm DP54.169-54.170**

Damwand	Staal	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Lengte [m]	M <sub>r,d,100jr</sub> [kNm/m]	M <sub>s,d</sub> [kNm/m]	u <sub>x</sub> [cm]	Passief mob. [%]
AZ24-700	S355	136,7	15	679	498	3	73

Type Verankering	Stang [mm]	Schroefblad [mm]	Hoek	Niveau [m NAP]	Hoh [m]	Lengte [m]	Fa,max
Groutinjectie	Ø60,3-12,5	Ø260	30	+12,3 m	2,8	22,5	606

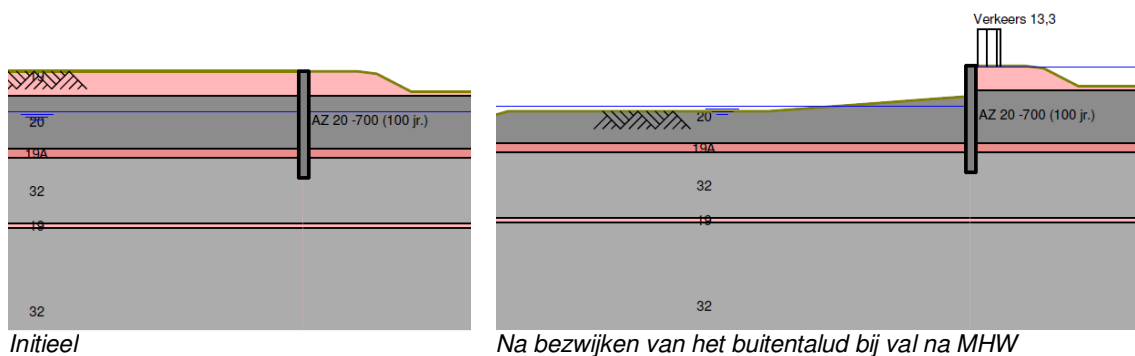
Het hier genoemde anker betreft een indicatie op DO-niveau. Het definitieve anker dient nader gedetailleerd te worden in de uitvoering.

Om vervormingen en buigende momenten te beperken wordt de damwand verankerd. Gekozen is voor groutinjectieankers. Vanwege de kleiige laag rond NAP +5 m zijn de ankers relatief lang. De verankering komt tot onder de percelen van de aangrenzende woningen, maar niet onder de woningen zelf.

**DP54.170-DP54.172**

Deze sectie loopt vanaf "Dolfijn" tot het einde van de groene kering (DP54.172), waar aangesloten wordt op een groene kering [par. 4.8.2].

Het maatgevende profiel binnen dit traject bevindt zich bij het adres Kanaalweg 10a. Volgens het kelderonderzoek bevindt de vloer van de kelder zich 2,0 m beneden maaiveld (NAP + 8,5 m). De kelder bevindt zich aan de achterzijde van het huis en heeft een oppervlakte van circa 60 m<sup>2</sup>. Dit betekent dat de afstand tussen de vloer en het keerscherm circa 22 m bedraagt. Bij het bezwijken van het buitentalud heeft het restprofiel 1/3 van de initiële hoogte vanaf het einde van de kelder zie Figuur 4-13.



**Figuur 4-13 Schematisatie restprofiel**

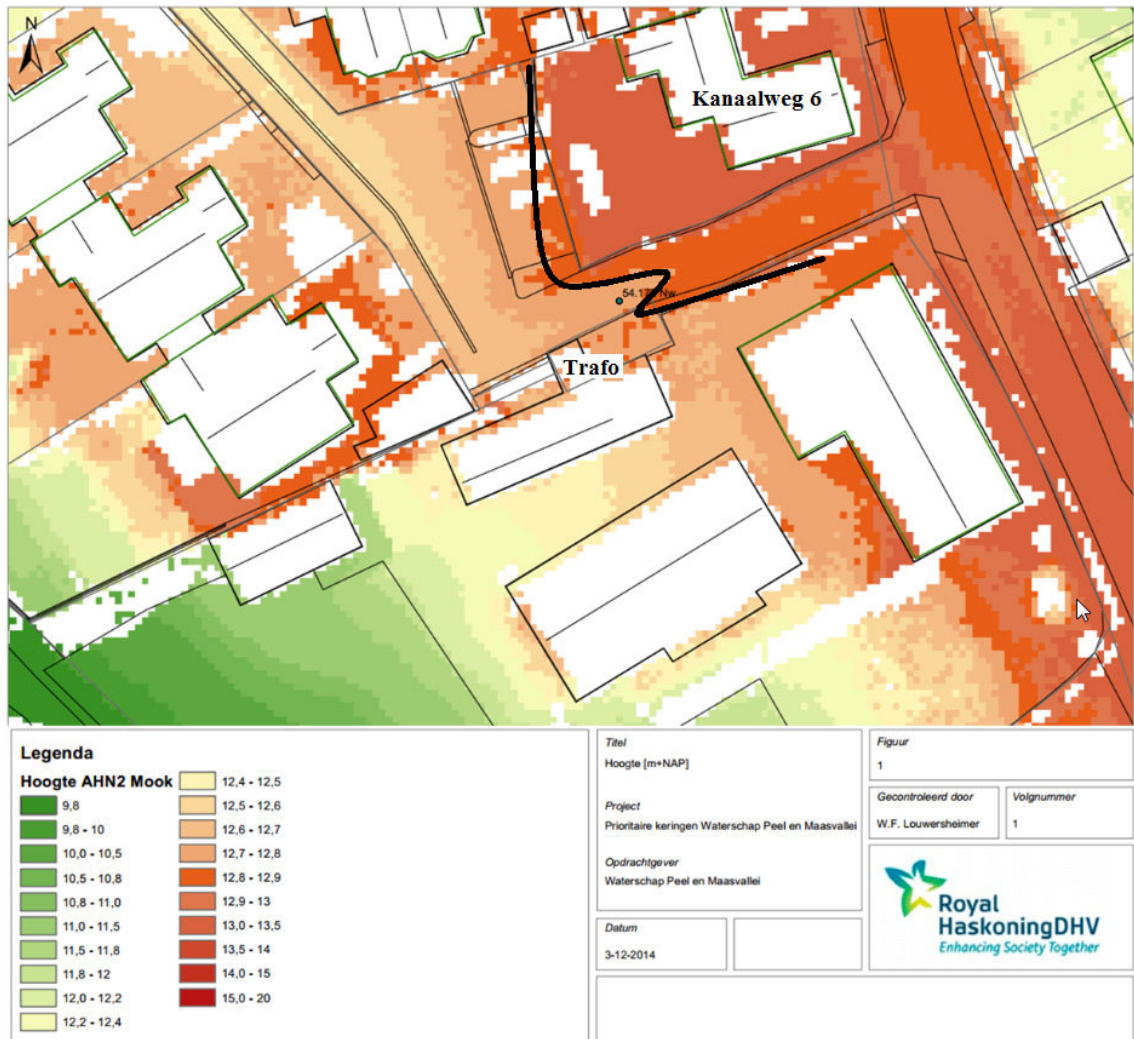
In de onderstaande tabel is het ontwerp van de resulterende damwand samengevat. Voor een uitgebreid ontwerprapport wordt verwezen naar bijlage 9.

**Tabel 4-6: Samenvatting onverankerd ontwerp erosiescherm DP54.169-54.170**

Damwand	Staal	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Lengte [m]	M <sub>r,d,100jr</sub> [kNm/m]	M <sub>s,d</sub> [kNm/m]	u <sub>x</sub> [cm]	Passief mob. [%]
AZ20-700	S355	109,0	11,5	480	462	10	67

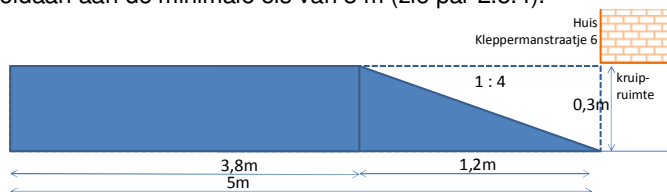
#### 4.8.2 Kleppermanstraatje (DP54.172-54.173)

In het Kleppermanstraatje ter hoogte van het Trafohuisje sluit de groene kering aan op de harde constructie [22]. Het Kleppermanstraatje heeft grotendeels voldoende hoogte ( $\geq$ NAP +12,78 m) en kruinbreedte (>3 m) om te voldoen aan de minimale geometrie van een groene kering. Vanwege de hoogte van het voorland en achterland spelen de geotechnische faalmechanismen ten aanzien van stabiliteit geen rol. Voor de analyse met betrekking tot de lokale erosiebestendigheid wordt verwezen naar het Achtergronddocument Waterbouw [21].



Figuur 4-14 hoogteligging Kleppermanstraatje

De aangrenzende woning Kanaalweg 6 en de woningen aan de Kanaalweg die ontwikkeld worden door de Hilva Groep hebben / krijgen geen kelder. Onder de woning van Kanaalweg 6 is wel een kruipruimte aanwezig met een diepte van 30 cm. De aanwezigheid van deze kruipruimte heeft vanwege de aanwezige breedte tussen buitenkruinlijn (rand verharding) en gevel geen invloed op het waterkerend vermogen. De huidige minimale breedte is ca. 5 m. Uitgaande van een restprofiel met talud van 1:4 bij bezwijken van de kruipruimte ( $0,3 / 1:4 = 1,2\text{m}$ ), bedraagt de resterende kruinbreedte ca. ( $5,0 - 1,2 = 3,8\text{ m}$ ). Hiermee wordt voldaan aan de minimale eis van 3 m (zie par 2.5.4).



Ten noorden van het trafohuisje moet het Kleppermanstraatje herstraat worden tot een niveau van NAP +12,8 m zodat de constructie die vanaf het kanaal langs Kleppermanstraatje 5 loopt op hoogte aansluit op de weg. Het trafohuisje vormt geen bedreiging voor de waterkering.



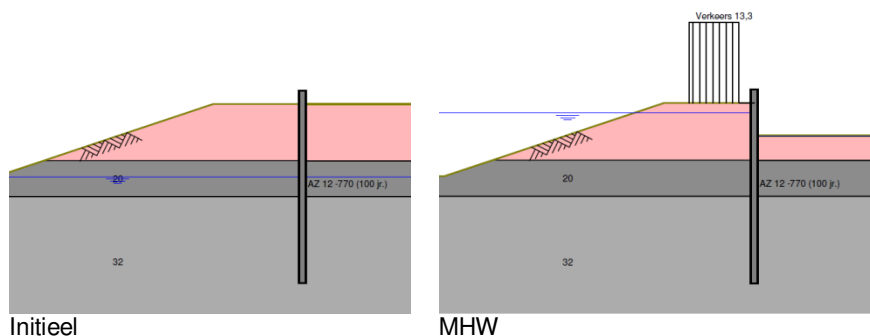
#### 4.8.3 Maasstaete (DP54.181-54.183)

Ter plaatse van het wooncomplex Maasstaete zijn de parkeerkelders aanwezig onder de woontorens. Het onderstaande figuur geeft de strekking weer waarin een damwand is voorzien vanwege deze parkeerkelders. De damwand wordt in de groene kering geplaatst over een lengte van circa 160 m.



**Figuur 4-15 Damwandstrekking Maasstaete (schematisch)**

De kelder bevindt zich onder het gehele complex. Het vloerpeil van de kelder bedraagt NAP+11,0 m.



**Figuur 4-16 Schematisatie restprofiel**

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de sonderingen en boringen zoals weergegeven in onderstaande tabel.

**Tabel 4-7: Beschikbaar grondonderzoek voor DP54.181-54.183**

Type	Nummers
Sonderingen	54O-S01; 54O-S02
Machine boringen	54O-MB01
Hand boringen	54O-HB01 t/m 54O-HB05

Bij het modelleren van de waterspanningen is rekening gehouden met het verschil in doorlatendheid tussen de grondlagen. Hierbij is er van uitgegaan dat de doorlatendheid van de grindige zandlaag een

orde groter is dan de andere aanwezige lagen. In het grind is uitgegaan van een hydrostatisch drukverloop. In de minder doorlatende lagen is het waterspanningsverloop lineair gemodelleerd zodat de waterspanningen aan de bovenzijde van de grindlaag aan beide zijden van de damwand gelijk zijn.

In de onderstaande tabel is het ontwerp van de resulterende damwand samengevat. Voor een uitgebreid ontwerprapport wordt verwezen naar bijlage 9.

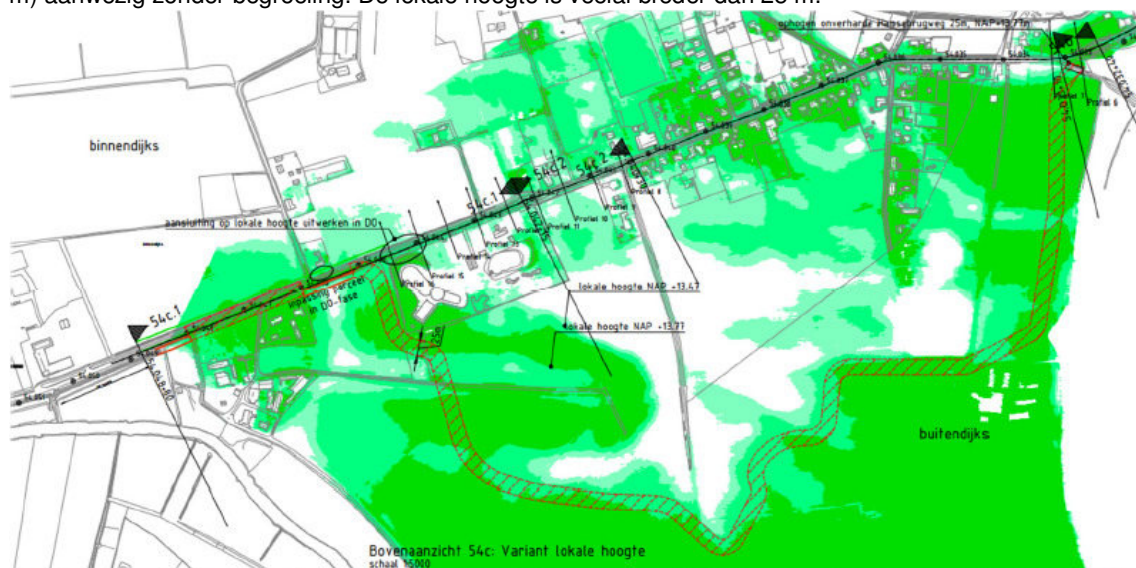
**Tabel 4-8: Samenvatting ontwerp erosiescherm Maasstaete**

Damwand	Staal	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Lengte [m]	M <sub>r,d,100jr</sub> [kNm/m]	M <sub>s,d</sub> [kNm/m]	u <sub>x</sub> [cm]	Passief mob. [%]
AZ12-770	S355	94	9,0	280	217	7	60

## 4.9 Lokale hoogtes

### 4.9.1 Ven-Zelderheide (DP54.032-54.049)

In het voorland bij Ven Zelderheide is een strook met voldoende breedte (>25 m) en hoogte ( $\geq$ MHW+0,2 m) aanwezig zonder begroeiing. De lokale hoogte is veelal breder dan 25 m.



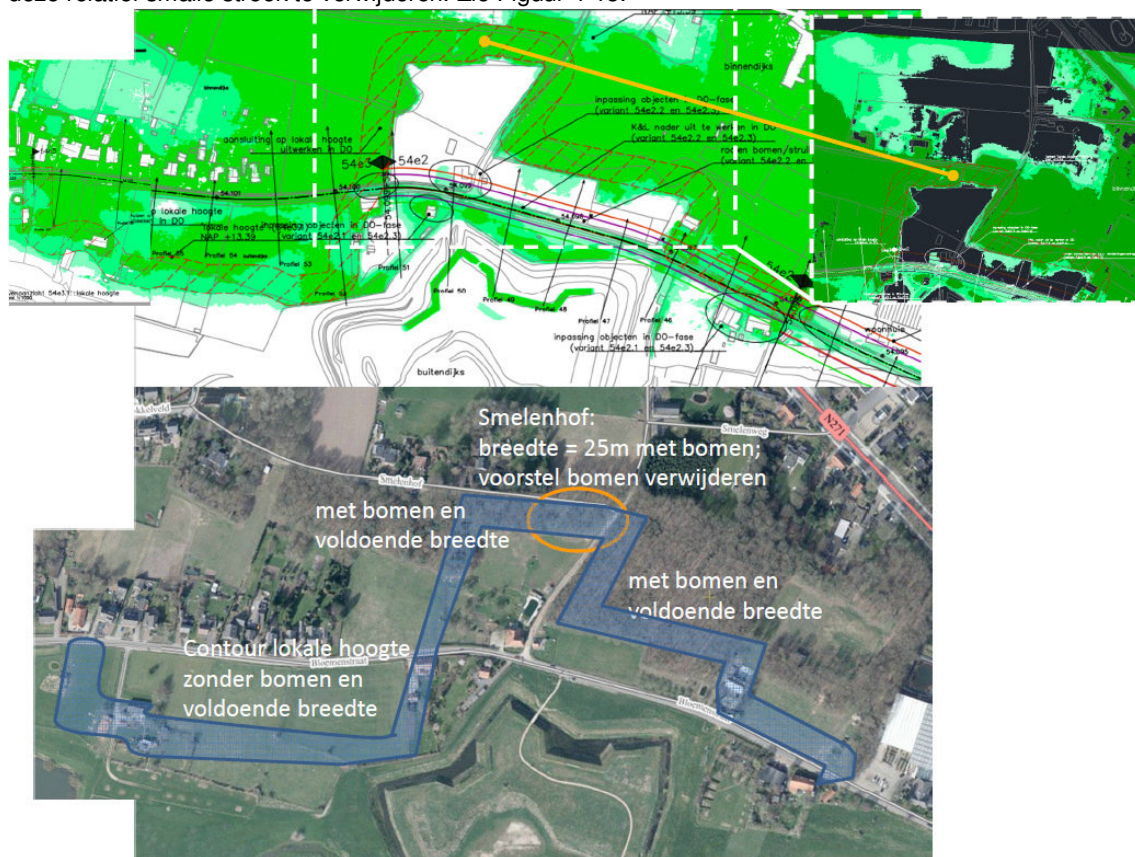


**Figuur 4-17 Contour lokale hoogte DP54.032-54.049**

Nabij de woning aan de Kleefseweg 11 is onvoldoende hoogte aanwezig. Hier is een buitenwaartse dijkversterking voorzien.

**4.9.2 Bloemenstraat Oost (DP54.096-54.103)**

Rond de Bloemenstraat zijn lokale hoogtes aanwezig met voldoende breedte en hoogte. Op drie locaties is de lokale hoogte begroeid. De begroeiing vormt op de locaties waar veel breedte aanwezig is (>>35 m) geen bedreiging van het waterkerend vermogen van de lokale hoogte. Ter plaatse van de Smelenhof heeft de lokale hoogte echter een minimale breedte (ca. 25 m). Aanbevolen wordt om de aanwezige bomen op deze relatief smalle strook te verwijderen. Zie Figuur 4-18.



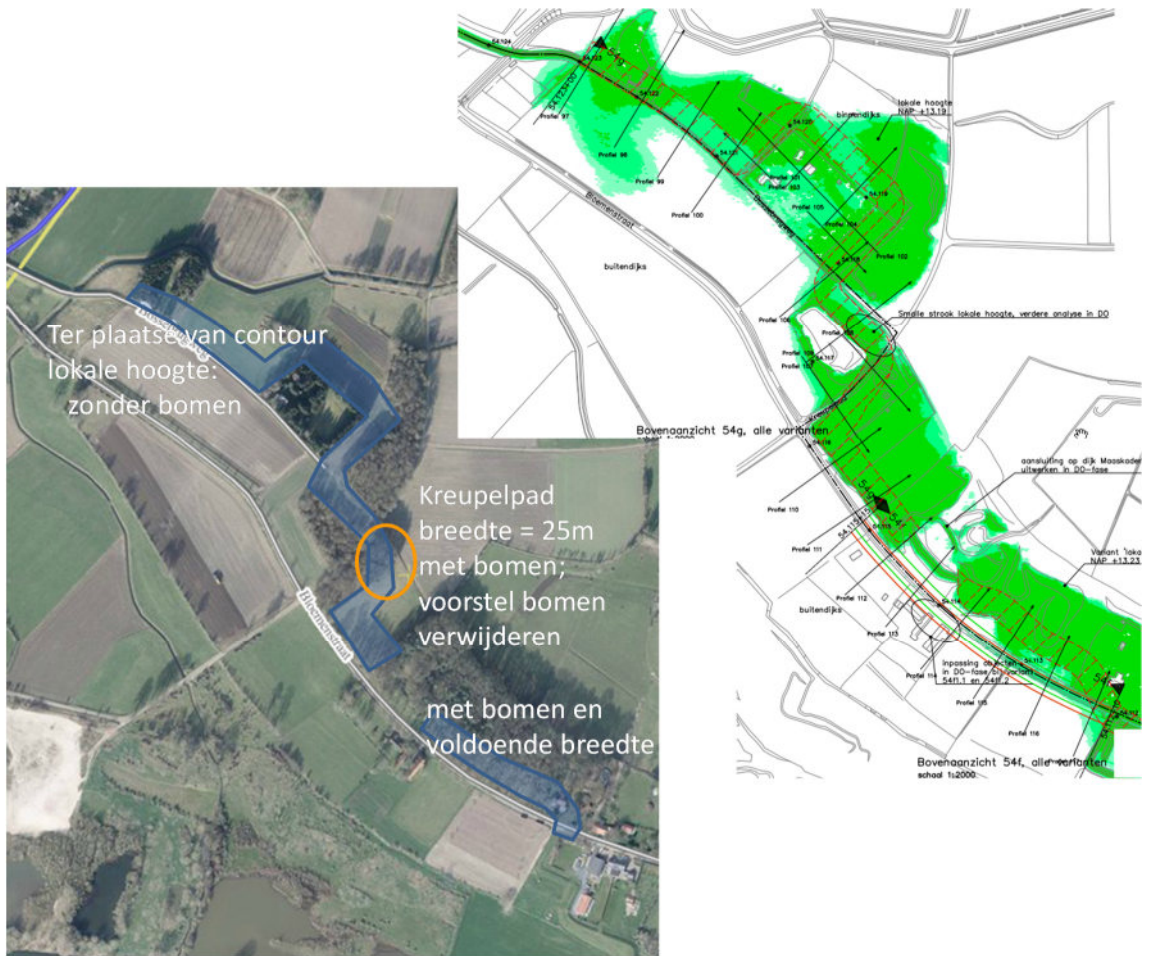
**Figuur 4-18 Contour lokale hoogte DP54.096-54.103**

**4.9.3 Bloemenstraat West (DP54.110-54.123)**

Zie Figuur 4-19 voor de lokale hoogtes rond de Bloemenstraat West. Tussen DP54.114 en DP54.115 sluit de lokale hoogtes aan op een dijk die aangelegd is in het kader van de Maaskaden. Dit stukje kering valt buiten de scope van de prioritaire dijkversterking.

Op een deel van de lokale hoogte zijn bomen aanwezig. Waar extra breedte aanwezig is ( $\geq 35$  m) vormt de aanwezigheid van de bomen geen bedreiging van de waterveiligheid. Ter plaatse van de aansluiting van de Bossebrugweg op het Kreupelpad heeft de lokale hoogte echter een minimale breedte (ca. 25 m). Aanbevolen wordt om de aanwezige bomen op deze relatief smalle strook te verwijderen.





Figuur 4-19 Contour lokale hoogte DP54.110-54.123

## 5 DO GROENE KERINGEN DR56A

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de primaire kering van dijkkring 56 tussen DP56.030 en DP56.049. Vanwege het bijzondere karakter van dit dijkvak waarin de bomen langs de N271 behouden worden, is dit dijkvak in een afzonderlijk hoofdstuk beschouwd. Dijkvak DR56B is beschreven in hoofdstuk 6.

### 5.1 Algemeen

Dit hoofdstuk heeft betrekking op dijkvak 56A tussen DP56.030 en DP56.049 van de primaire kering van dijkkring 56. Dit dijkvak wordt gekenmerkt door een groot aantal bomen langs de N271 aan de binnen- en buitenzijde van de waterkering. In de variantenafweging [24] is de variant met behoud van het huidige dijktracé opgenomen als voorkeursvariant. Bij deze variant zouden de bomen op de kruin aan de buitenzijde moeten worden verwijderd, waarna een kleibekleding aangebracht dient te worden. Aan de binnenzijde op de kruin zouden de bomen gehandhaafd kunnen blijven.

Insteek voor het definitief ontwerp is dat de bomen ook op de buitenkruinlijn gehandhaafd blijven. Dit betreft alleen de bomenrij op de kruin van de waterkering. De bomen/beplanting op het buitentalud en het voorland, alsmede daar waar een dubbele bomenrij op de buitenkruinlijn staat, worden verwijderd. De regiovisie betreft het handhaven van de laanstructuur en dat wordt bereikt door aan weerszijden van de N271 op de kruin een bomenrij te handhaven.

Hiervoor is op basis van de hydraulische belastingen en grondweerstand nader onderzocht of een kleibekleding noodzakelijk is. Op basis van een aanvullend geotechnisch en boomtechnisch onderzoek is daarnaast een gedetailleerde beoordeling van de overige faalmechanismen uitgevoerd. De resultaten van de onderzoeken zijn opgenomen in bijlage 10 en 11.

Het beschikbare en aanvullende geotechnisch onderzoek toont aan dat in de huidige situatie een erosiegevoelige zandtoplaag aanwezig is op het buiten- en binnentalud. Daarnaast bestaat de kern van de dijk uit verwekingsgevoelig zand. Als maatregel ter voorkoming van erosie dient het buitentalud te worden verflauwd naar 1:3. In verband met de bomen is het talud niet versterkt met klei. Het ingraven en ophogen met klei zal gevolgschade hebben voor de bomen. Gekozen is voor een oplossing met erosiebestendige structuurmatten op het buitentalud. Aan de binnenzijde is erosiebescherming nodig daar waar een restprofielbenadering tekort schiet. Daarnaast zijn ter plaatse van de bomen compenserende maatregelen nodig in de vorm van wortelpijlers (met bomenzand opgevulde kolommen). Het definitief ontwerp van deze verbetermaatregelen is in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

### 5.2 Locatie specifieke uitgangspunten en randvoorwaarden

Voor detaillering van het ontwerp is een aantal locatie specifieke uitgangspunten en randvoorwaarden vastgesteld. Deze uitgangspunten en randvoorwaarden hebben betrekking op de bodemopbouw, de hydraulische belastingen en de aanwezigheid van bomen.

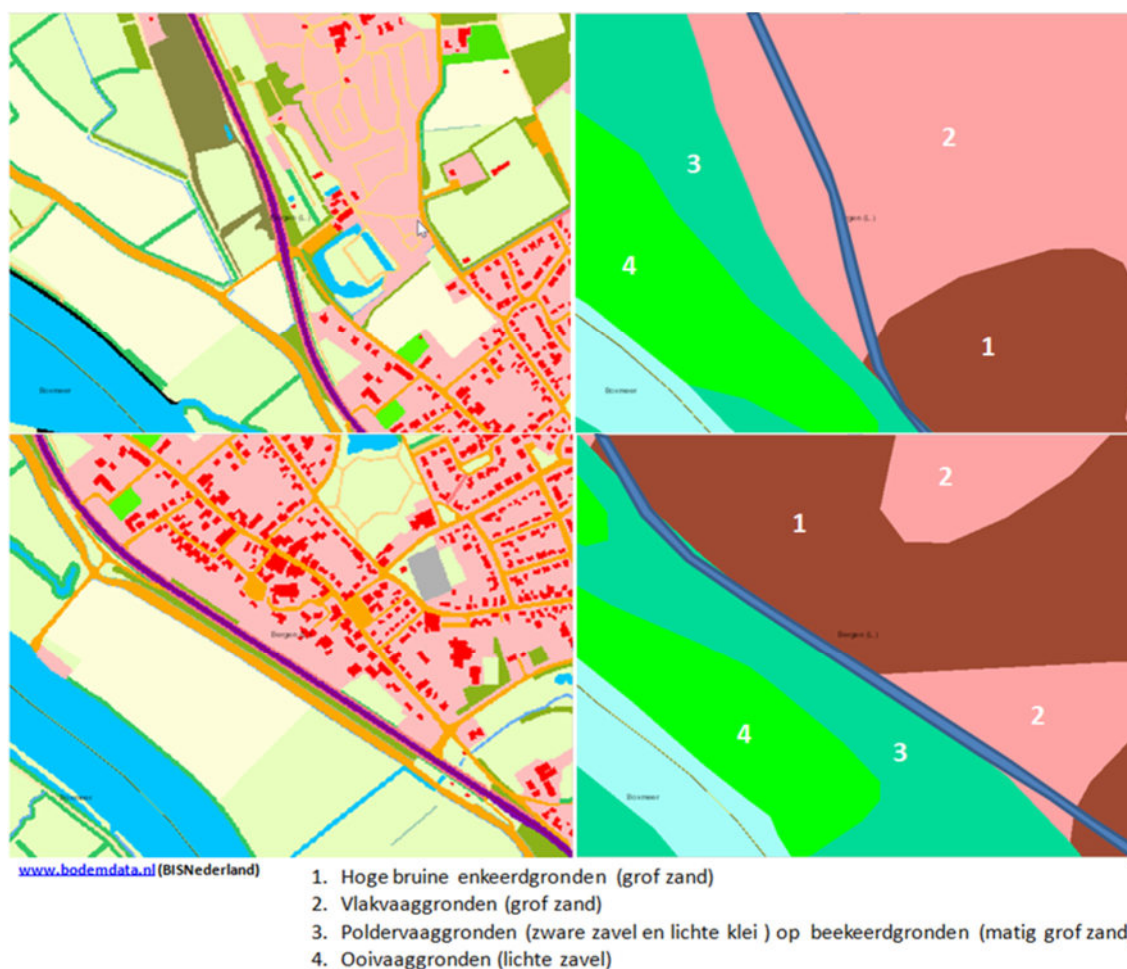
#### 5.2.1 Bodemopbouw

In het voorontwerp is aangenomen dat de ondergrond in dijkvak 56A volledig uit zand bestaat. Uit het beschikbare en aanvullende grondonderzoek (bijlage 10) is gebleken, dat in het zuidelijke deel vanaf maaiveld en op geringe diepte klei- en leemlagen voorkomen. Buitendijks zijn deze lagen aangetroffen vanaf maaiveld tot een diepte van circa 4 m. Binnendijks bedraagt de laagdikte nog maar 0,5 à 1,0 m en zijn de lagen afgedekt met 2 à 4 m zand.

De klei- en leemlagen behoren tot de jonge rivierafzettingen, welke zijn afgezet in het stroomgebied van de Maas, zie Figuur 5-1. Uit de onderste afbeelding van Figuur 5-1 blijkt dat de waterkering in het zuidelijke deel van het dijkvak is gelegen op de overgang van deze jonge rivierafzettingen naar de meer oudere zandige terrasafzettingen. Het noordelijke deel van de waterkering is volledig gelegen op een zandondergrond.

Op basis van de bodemopbouw wordt onderscheid gemaakt tussen twee dijksecties:

- dijksectie 56A.1 (van DP56.030 tot DP56.041) met klei- en leemlagen in de ondergrond;
- dijksectie 56A.2 (van DP56.041 tot DP56.048+70) met een zandondergrond.



**Figuur 5-1 Detail van de Bodemkaart van Nederland: de bovenste figuren tonen de ligging van de waterkering op grof zand (1 en 2). De onderste figuur toont de ligging van de waterkering op de grens tussen klei en leem (3 en 4) en zand (1 en 2).**

#### **Dijksectie 56A.1**

In de zuidelijke dijksectie 56A.1 (van DP56.030 tot DP56.041) zijn klei- en leemlagen aangetroffen. De bodemopbouw wordt gekenmerkt door:

- Buitendijks: siltige kleilagen met een totale dikte van 2 à 2,5 m tussen circa NAP +12 m (maaiveld) en NAP +8 m;
- Onder de kruin: siltig klei en zandige leem met een dikte van circa 1 m tussen NAP +11 m en NAP +9 m.

- Binnendijks: siltig klei en zandige leem met een dikte van circa 0,3 à 1 m tussen NAP +12 m en NAP +9 m.

De dikte van de deklaag neemt af van buitendijks naar binnendijks. Op basis van het onderzoek wordt verwacht dat de deklaag plaatselijk is onderbroken en niet onder de volledige dijk aanwezig is. Het bovenliggende zand (vanaf NAP +10 à +12 m) is matig fijn en los gepakt. Het zand onder de deklaag is matig tot uiterst grof en matig tot vast gepakt.

### **Dijksectie 56A.2**

In de noordelijke dijksectie 56A.2 (van DP56.041 tot DP56.048+70) bestaat de ondergrond tot NAP +10 à +11 m uit los gepakt zand. Hieronder is het zand matig tot uiterst grof en matig tot vast gepakt.

## **5.2.2 Hydraulische belastingen**

De algemene hydraulische randvoorwaarden zijn conform het Achtergronddocument Waterbouw [21], zie ook paragraaf 2.6 in dit rapport. Net als voor de overige dijkvakken is voor de hydraulische belasting uitgegaan van een ontwerpwaterstand van MHW +0,5 m, zie paragraaf 2.3.1. Vanwege de aanwezigheid van bomen op de dijk is voor DR56A een aantal specifieke uitgangspunten bepaald. Deze hebben vooral betrekking op de te verwachten stroomsnelheden om de eventuele erosie van de dijk beter in te kunnen schatten. Daarnaast is het golfoverslagdebiet bepaald, aangezien een maximum van 0,1 l/s/m geldt als voorwaarde voor het toepassen van een restbreedte-methode in de stabiliteitsberekeningen. De uitgangspunten zijn hieronder nader toegelicht.

### **Golfoverslag bij 1/250 jr afvoer**

Op basis van de ontwerpwaterstanden (zie Achtergronddocument Waterbouw [21]) en de aanwezige kruinhoogte is het overslagdebiet voor dijkkring 56A berekend voor een aantal maatgevende dwarsprofielen. De resultaten zijn beschreven in het Waterbouwkundig achtergrondrapport [21]. Geconcludeerd is, dat het overslagdebiet van de huidige situatie (met de ontwerpwaterstanden en een talud van circa 1:2) overal hoger is dan 0,1 l/s/m, maar kleiner dan 1,0 l/s/m. De significante golfhoogte bedraagt 0,37 à 0,41 m en de significante golfperiode 2,37 à 2,47 s. De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

**Tabel 5-1: Golfoverslagdebiet dijkvak 56A voor de huidige situatie**

DWP [29]	Dijkpaal	Helling buiten-talud	Kruin-Hoogte BUK <sup>A</sup> [NAP m]	Bodem-hoogte [NAP m]	Rivier-water-stand [NAP m]	Golf-hoogte [m]	Golf-periode [s]	Overslag-debiet bij huidige kruinhoogte	Benodigde kruinhoogte voor overslagdebiet 0,1 l/s/m
151	56.045	1 : 2,0	+15,23	+10,7	+14,16	0,37	2,27	0,2 l/s/m	NAP +15,34
155	56.043	1 : 1,7	+15,20	+10,3	+14,17	0,40	2,47	0,3 l/s/m	NAP +15,41
167	56.037	1 : 2,2	+14,95	+10,3	+14,22	0,40	2,47	0,9 l/s/m	NAP +15,26
171	56.035	1 : 2,0	+15,00	+10,3	+14,24	0,41	2,47	0,8 l/s/m	NAP +15,29
177	56.032	1 : 2,4	+15,00	+10,3	+14,28	0,41	2,48	0,9 l/m/s	NAP +15,31

A = de kruinhoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn. Deze hoogte is gemodelleerd in de overslagberekeningen. In werkelijkheid loopt de kruin vanaf de buitenkruinlijn richting de weg op (maximale kruinhoogte is groter dan kruinhoogte tpv BUK).

De golfverslagdebieten zijn tevens bepaald voor een verflauwd buitentalud met een helling 1:3, zie tabel 5-2.

Voor het traject van DP56.038+70 tot DP56.048+70 (DWP 146 t/m DWP 165) is een maximale kruinhoogte aanwezig van NAP +15,2 à +15,4 m, waarbij het overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s.

Bij het dijktraject van DP56.030 tot DP56.038+70 (DWP 166 t/m 182) bedraagt het golfverslagdebiet maximaal 0,3 l/m/s. De benodigde kruinhoogte voor een overslagdebiet van 0,1 l/s/m is nagenoeg gelijk (+/-1 cm) aan de maximale kruinhoogte in het midden van de waterkering (oplopend vanaf de buitenkruin). De hydraulische belasting op de binnenkruin en het binnentalud zal hierdoor minimaal zijn. Het toepassen van een restbreedte-methode in de stabiliteitsberekeningen is toegestaan.

**Tabel 5-2: Golfverslagdebiet dijkvak 56A voor verflauwd buitentalud**

DWP [29]	Dijkpaal	Helling buitentalud	Kruin-Hoogte BUK [NAP m]	Bodem-hoogte [NAP m]	Rivier-water-stand [NAP m]	Golf-hoogte [m]	Golf-periode [s]	Overslag-debiet bij huidige kruinhoogte	Benodigde kruinhoogte voor overslagdebiet 0,1 l/s/m
151	56.045	1 : 3	+15,23	+10,7	+14,16	0,37	2,27	<0,1 l/s/m	-
155	56.043	1 : 3	+15,20	+10,3	+14,17	0,40	2,47	<0,1 l/s/m	-
167	56.037	1 : 3	+14,95	+10,3	+14,22	0,40	2,47	0,2 l/s/m	NAP +15,14
171	56.035	1 : 3	+15,00	+10,3	+14,24	0,41	2,47	0,2 l/s/m	NAP +15,05
177	56.032	1 : 3	+15,00	+10,3	+14,28	0,41	2,48	0,3 l/m/s	NAP +15,11

#### **Stroomsnelheid dwars op de waterkering**

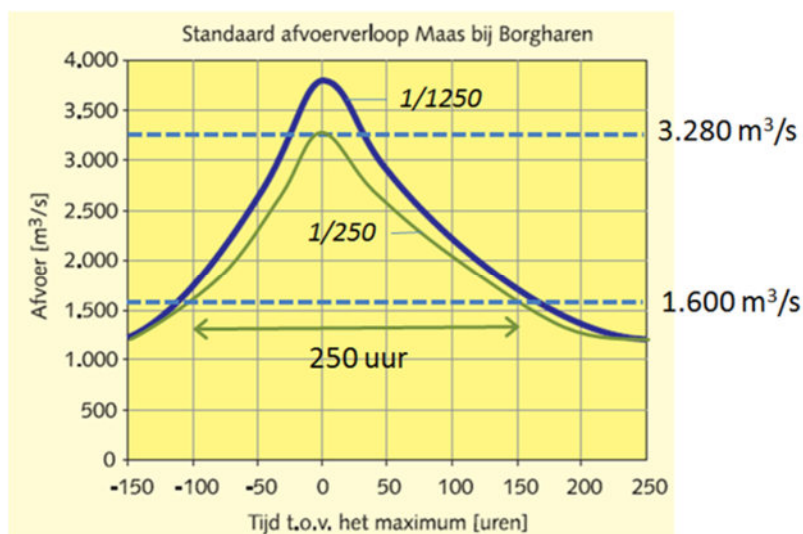
In bijlage 12 is, op basis van het berekende overslagdebiet, de maximale oploopsnelheid bepaald op het buitentalud en de kruin, welke door 2% van de oplopende golven zal worden overschreden. Voor de huidige situatie geldt dat de maximale stroomsnelheid ca. 3,0 m/s bedraagt. Na verflauwen van het talud naar 1:3 neemt de maximale stroomsnelheid af tot ca. 2,4 m/s.

#### **Stroomsnelheid en stromingsduur langs het buitentalud**

In de beoordeling van de rivierkundige effecten van de voorkeursvariant voor Afferden [31] is het stroombeeld in de uiterwaard bij een 1/1250 jaar afvoer bepaald. Gezien de kleinere normfrequentie (<1:250) kunnen deze stroomsnelheden als een conservatieve bovengrens worden beschouwd. Voor de stroming langs het buitentalud is bepaald:

- Maximaal 0,4 m/s ter plaatse van het buitentalud;
- Maximaal 0,6 m/s in het voorland.

Inschatting van de stromingsduur langs het buitentalud is gebaseerd op de Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen [HR2006]. Voor de waterkeringen langs de Limburgse Maas is geen standaard afvoerloop bekend. De inschatting van de hoogwaterafvoer is daarom gebaseerd op het waterstandsverloop van de Maas bij Borgharen bij een 1/1250 jaar afvoer. De afvoer bij Borgharen, behorend bij de normfrequentie 1/250, bedraagt 3280 m<sup>3</sup>/s. Vanaf een afvoer van circa 1.600 m<sup>3</sup>/s is de waterstand hoger dan het niveau van het voorland, waarbij stroming langs de waterkering zal optreden. In onderstaande figuur is het geschatte afvoerloop grafisch weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de stromingsduur op het voorland / buitenteen circa 250 uur bedraagt, ofwel circa 10 dagen.



**Figuur 5-2: Afvoerverloop voor de Maas bij Borgharen (blauw) en Afferden (groen, inschatting)**

#### **Ligging freatische lijn en stijghoogte watervoerend zandpakket**

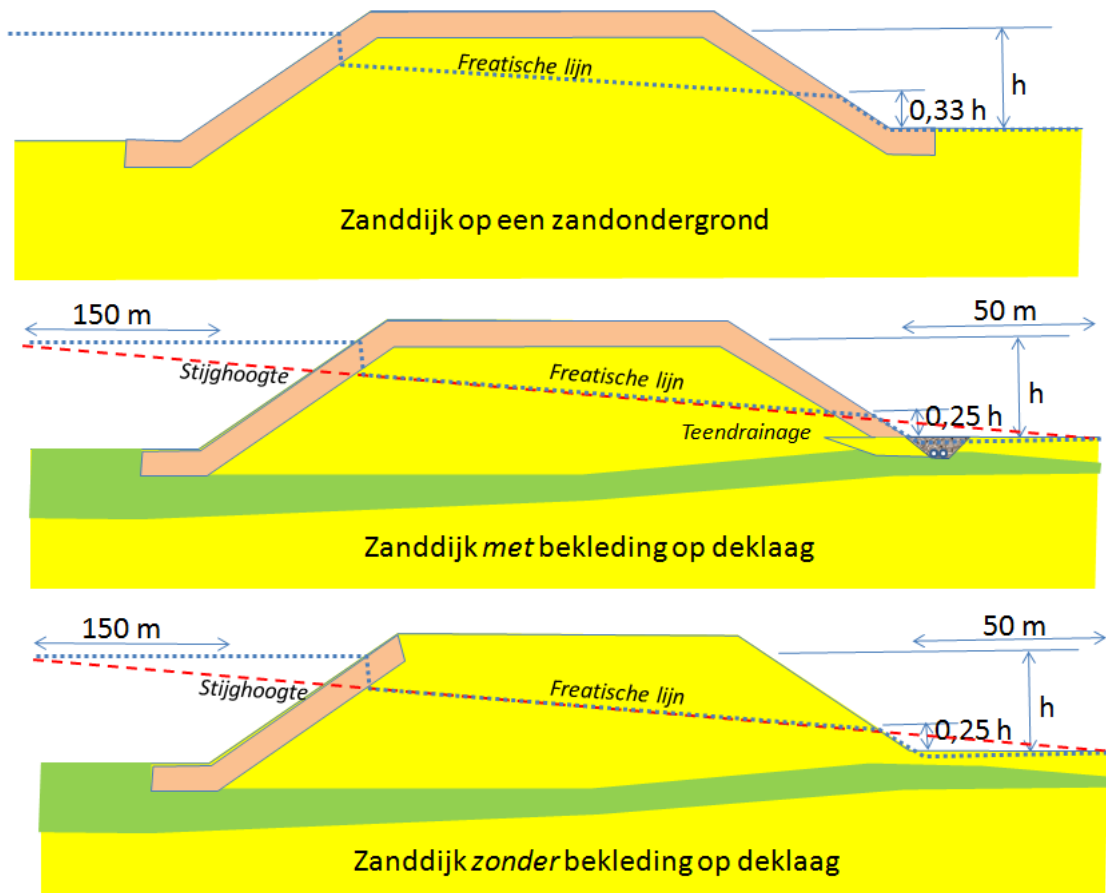
Het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam en de stijghoogte in de zandondergrond is afhankelijk van de geometrie en bodemopbouw. In dijksectie 56A.2 is sprake van een zanddijk op een zandondergrond. Door afwezigheid van de waterremmende grondlagen is de stijghoogte in de diepere watervoerende zandlagen gelijk aan de freatische grondwaterstand. Er is ook sprake van een hydrostatische verloop van de waterspanning met de diepte.

In dijksectie 56A.1 kan door de waterremmende klei- en leemlagen in de ondergrond een verschil ontstaan tussen de freatische grondwaterstand in de dijk (boven de deklaag) en de stijghoogte in het zandpakket (onder de deklaag).

In bijlage 13 zijn op basis van modelberekeningen in Plaxis de verhanglijnen van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte bepaald voor:

- DWP 151 – dijksectie 56A.2: zanddijk op zandondergrond
- DWP 167 – dijksectie 56A.1: zanddijk op deklaag (klei / leemlagen)

Op basis van de Plaxisberekeningen is het verloop van de freatische lijn en stijghoogte afgeleid ten behoeve van de stabiliteitsberekeningen. Het aangehouden verloop is weergegeven in de volgende figuren.



Figuur 5-3: Verloop freatische lijn en stijghoogte ten behoeve van stabiliteitsberekeningen

### 5.2.3 Aanwezigheid bomen

Uitgangspunt is dat alle bomen op het binnen- en buitentalud worden verwijderd, indien dit noodzakelijk is voor de dijkveiligheid of voor beheer en onderhoud van de bomen op de kruin. De bomen op de binnen- en buitenkruinlijn blijven gehandhaafd, mits deze geen potentieel gevaar opleveren voor de waterveiligheid. Door BomenwachtNL is op basis van een boomtechnisch onderzoek bepaald welke bomen verwijderd dienen te worden. De te rooien bomen zijn aangegeven op de ontwerptekeningen van dijkkring 56A.

Overige uitgangspunten die worden aangehouden op basis van de boomtechnische beoordeling [32] zijn, dat:

- de bomen op de binnen- en buitenkruinlijn als stabiel zijn beoordeeld op basis van boomtechnisch veldonderzoek.
- verflauwing van het talud met zand geen negatieve effecten heeft op de gezondheid en de standzekerheid van de aanwezige bomen op de binnenkruinlijn, mits verflauwing met voorzichtigheid wordt uitgevoerd om negatieve effecten op de korte termijn te beperken.

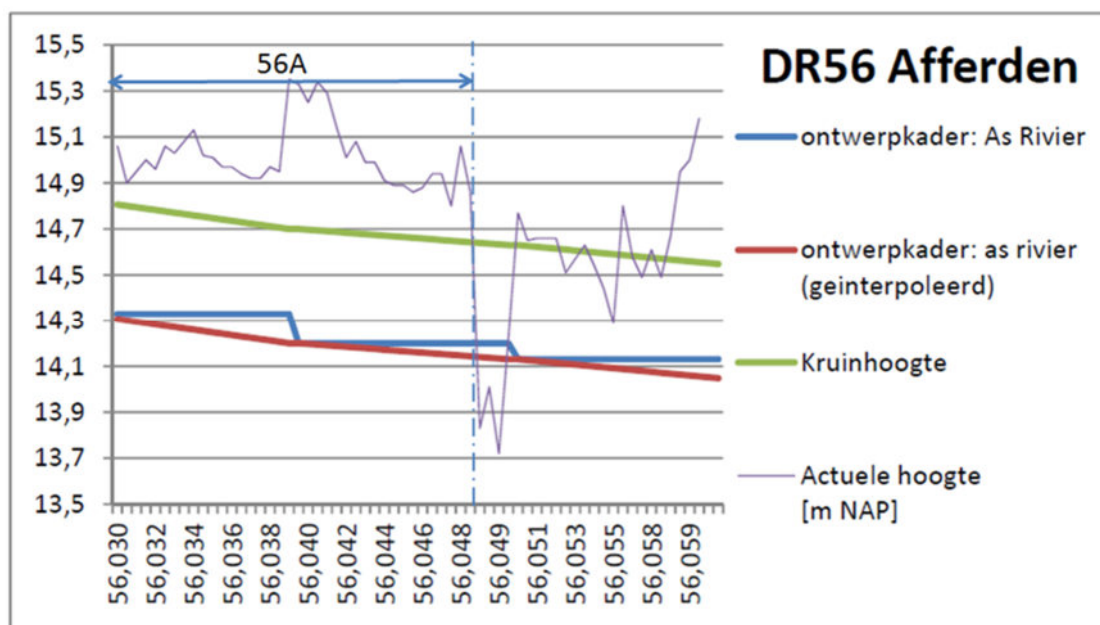
In de stabiliteitsberekeningen is voor de situatie met bomen rekening gehouden met het 3D effect van de bomen. De stabiliteitsfactor is berekend als een gewogen gemiddelde op basis van de stamdiameter en de



kluitdiameter, conform [32]. Voor de glijcirkel is een minimale diepte van 2,5 m aangehouden, aangezien het glijvlak niet door de kluit kan gaan.

### 5.3 Hoogte (HT)

Dijkring 56A heeft voldoende hoogte; over de gehele lengte van het dijkvak wordt voldaan aan de eis dat de actuele kruinhoogte hoger is dan MHW +0,5 m. In onderstaande figuur is dit grafische weergegeven. De 'kruinhoogte'-lijn betreft MHW +0,5 m.



Figuur 5-4: Vereiste en aanwezige kruinhoogte DR56A

### 5.4 Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)

#### Aanpak

Om vast te stellen of en welke stabiliteitsverhogende maatregelen nodig zijn, is de volgende aanpak gehanteerd:

- De dijk is onderverdeeld in dijksecties op basis van variatie in taludhelling, kerende hoogte, bomen en ondergrond;
- Per dijksectie is getoetst of de waterkering stabiel is voor de situatie zonder bomen. Voorwaarde voor behoud van de bomen is dat de waterkering ook zonder bomen stabiel is ( $F > 1,10$ ). Voor dijksecties met een stabiliteitsfactor groter dan 1,0, maar lager dan 1,10 ( $1,0 < F < 1,1$ ), is middels de restbreedte-methode nagegaan of voldoende restprofiel aanwezig na afschuiven. Voor de dijksecties met een stabiliteitsfactor lager dan 1,0 zijn berekeningen uitgevoerd voor een verflauwd talud, al dan niet met een kleibekleding;
- Voor dijksecties met bomen is getoetst of de stabiliteit ter plaatse van de bomen voldoende ( $F > 1,10$ ) is. Hiervoor is rekening gehouden met een ongunstig werkende aandrijvend moment vanuit de kluit;
- Op basis van de berekeningsresultaten is een overzicht gegeven van de benodigde maatregelen per dijksectie.



### Sectie-indeling

Voor het definitief ontwerp is de macrostabiliteit van meerdere dwarsprofielen beschouwd. Op basis van de variatie in taludhelling, kerende hoogte, bomen en ondergrond is het dijkvak 56A onderverdeeld in secties. Per sectie is een representatief (maatgevend) dwarsprofiel geselecteerd. De sectie-indeling is weergegeven in de volgende tabel. Uit de indeling blijkt dat vooral ten aanzien van de geometrie over korte afstanden grote verschillen aanwezig zijn.

**Tabel 5-3: Sectie indeling STBI**

Sectie Dwp [29]	DWP - HM	Maatgevende dwarsprofiel	Huidig talud (1:n)	Kerende hoogte [m]	Boom-cluster	Ondergrond	
146 - 147	56.048	147	1,7 à 2,1	1,9 à 2,1	-	Zand	
148 - 149	56.047	56.047	1,8	2 <sup>C</sup>	11 <sup>A</sup>	Zand	
150 - 152	56.046	151	1,6 à 1,7	2,6 à 3,0	11 <sup>A</sup>	Zand	
153 - 154	56.045, 56.044	153	2,1	2,6	-	Zand	
155 - 156	56.043	156	1,7 à 2,1	1,3 à 1,9	10 <sup>B</sup>	Zand	
157	-	157	1,2	1,6	10 <sup>B</sup>	Zand	
158	-	158	1,7	1,3	10 <sup>B</sup>	Zand	
159	56.042	56.042	3,1 à 4,4	0,9 à 1,1	10 <sup>B</sup>	Zand	
160 - 161	56.041	160	2,0 à 2,1	2,1 à 2,5	10 <sup>B</sup>	Zand	
162	-	162	1,7	1,3	-	Kleilaag	
-	56.040	56.040	1,7	3,0	-	Kleilaag	
163 - 165	56.039	165	1,7 à 2,0	1,3 à 1,8	-	Kleilaag	
166 - 168	56.038	167	2,3	2,4	9 <sup>B</sup>	Kleilaag	
169 - 170	56.037	Grondwal	-	-	9 <sup>B</sup>	Kleilaag	
171 - 174	56.036, 56.035	171	2,0 à 2,2	0,9 à 1,5	9 <sup>B</sup>	Kleilaag	
175 - 176	56.034, 56.033	Grondwal / weg	-	-	9 <sup>B</sup>	Kleilaag	
177	56.032+50	Kunstwerk (gemaal)	1,8	2,7	9 <sup>B</sup>	Kleilaag	
178 - 182	56.032, 56.031	Hoge berm (Dorpstraat) / lokale hoogte					Kleilaag
A = Windbelasting van 35 kN op MV +12,5 m conform [32]							
B = Windbelasting van 40 kN op MV +13,25 m conform [32]							
C = grondwal aan binnenzijde uitvlakken op circa NAP +13 m							

### Stabiliteit voor waterkering zonder bomen

Voor de maatgevende dwarsprofielen is de stabiliteitsfactor berekend voor het huidige talud, zie navolgende tabel en figuren in deze paragraaf met maatgevende glijcirkels. De stabiliteitsfactor dient groter te zijn dan 1,10 (groen). Indien een lagere waarde is berekend, is tevens de stabiliteit van een verflauwd talud berekend. Voor de verflauwing is uitgegaan van een aanvulling met zand.

Bij een waarde tussen 1,0 en 1,1 (oranje) is een 'restbreedte bij overhoogte' analyse mogelijk. Dit betekent dat een verlaagde stabiliteit acceptabel is, mits wordt aangetoond dat voldoende restprofiel aanwezig is om de waterveiligheid te waarborgen, zie verder in deze paragraaf.

**Tabel 5-4 Stabiliteitsfactoren STBI voor dwarsprofielen zonder bomen (met 13,3 kPa terreinbelasting)**

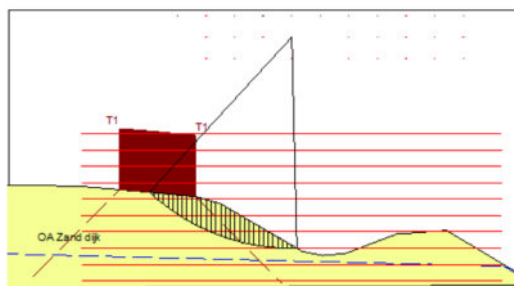
Sectie Dwp [29]	DWP - HM	Maatgevend dwarsprofiel	Huidig talud	Verflauwd talud 1:2,5		Verflauwd talud 1:3	Beoordeling
			F zonder bekleding [-]	F zonder bekleding [-]	F met kleibekleding [-]	F zonder kleibekleding [-]	
146 - 147	56.048	147	1,18	-	-	-	Voldoet (>1,10)
148 - 149	56.047	56.047	1,19	-	-	-	Voldoet (>1,10) met uitvlakken grondwal tegen talud op NAP +13 m.
150 - 152	56.046	151	0,83	0,94	1,15	1,10	Talud 1:2,5 met kleilaag of 1:3 met zand
153 - 154	56.045, 56.044	153	0,99	1,01	-	-	Talud 1:2,5 met analyse restprofiel
155 - 156	56.043	156	1,08	-	-	-	Analyse restprofiel
157	-	157	0,90	1,31	-	-	Talud 1:2,5
158	-	158	1,18	-	-	-	Voldoet (>1,10)
159	56.042	56.042	>1,10	-	-	-	Voldoet (>1,10)
160 - 161	56.041	160	1,04	-	-	-	Analyse restprofiel
162	-	162	1,19	-	-	-	Voldoet (>1,10)
-	56.040	56.040	0,88	1,05	-	-	Talud 1:2,5 met analyse restprofiel
163 - 165	56.039	165	1,01	-	-	-	Analyse restprofiel
166 - 168	56.038	167	1,02	1,03	1,25	1,20	Analyse restprofiel
169 - 170	56.037	Grondwal	-	-	-	-	-
171 - 174	56.036, 56.035	171	1,20	-	-	-	Voldoet (>1,10)
175 - 176	56.034, 56.033	Grondwal	-	-	-	-	-
177	56.032+50	56.032+50	0,91	1,10	-	-	Talud 1:2,5
178 - 182	56.032, 56.031	Hoge berm	-	-	-	-	-

De maatgevende glijcirkels zijn weergegeven in de figuren op de volgende pagina.

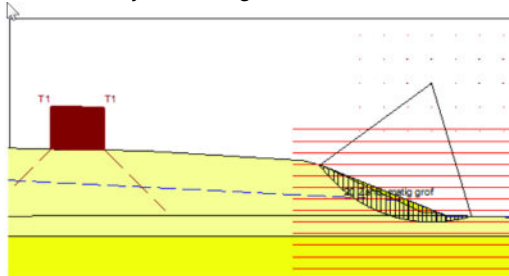
Van de beschouwde secties voldoen 6 secties aan de vereiste stabiliteit. Voor 4 secties voldoet het huidige talud, mits er voldoende restprofiel aanwezig is. De stabiliteit van de restprofielen worden verderop in deze paragraaf (§5.4) bij 'restbreedte bij overhoogte' geanalyseerd. Voor 6 secties dient het talud te

worden verflauwd naar minimaal 1:2,5. Vanwege het beheer en onderhoud zal het worden verflauwd naar 1:3.

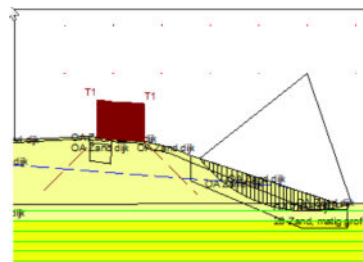
In overleg met BomenwachtNL is voor de taludverflauwing bepaald dat geen ophoging of ingraving van klei gewenst is. Het aanbrengen van klei zal tot schade aan de bomen leiden. Als oplossing is gekozen voor een taludverflauwing met zand en een helling 1:3, met daarbovenop een structuurmat voor de erosiebestendigheid. In paragraaf 5.9.2 wordt dieper ingegaan op de erosiebestendigheid van een binnentalud.



DWP147 Glijvlak huidig talud

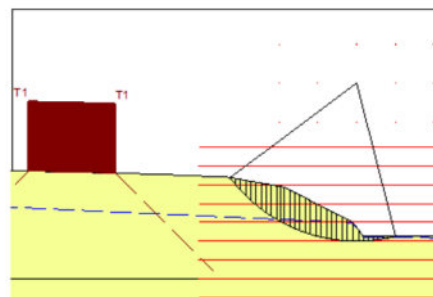


Xm : 96.38 [m]  
Ym : 16.09 [m]  
Radius : 6.42 [m]  
Safety : 1.01



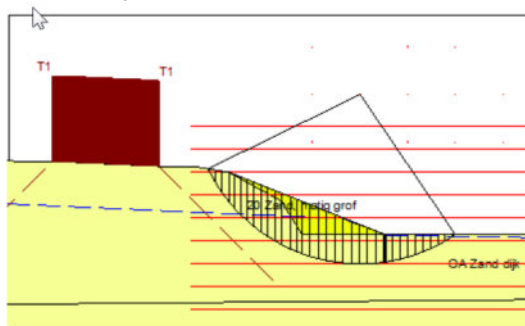
Xm : 96.77 [m]  
Ym : 16.77 [m]  
Radius : 7.26 [m]  
Safety : 1.10

DWP151 Glijvlak verflauwd talud 1:3 met zand



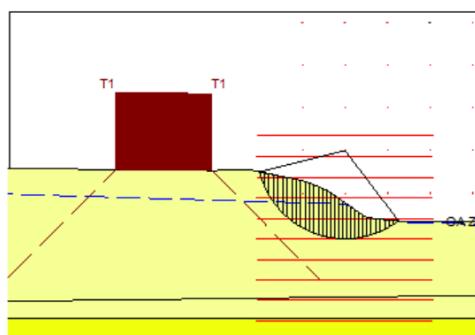
Xm : 55.48 [m]  
Ym : 17.58 [m]  
Radius : 4.52 [m]  
Safety : 1.08

DWP153 Glijvlak verflauwd talud 1:2,5



Xm : 56.59 [m]  
Ym : 16.47 [m]  
Radius : 3.95 [m]  
Safety : 1.31

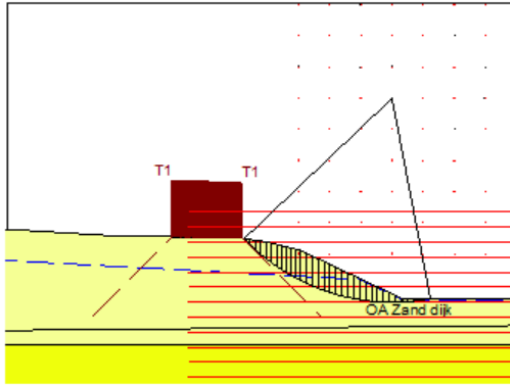
DWP156 Glijvlak huidig talud



Xm : 55.48 [m]  
Ym : 15.36 [m]  
Radius : 2.30 [m]  
Safety : 1.19

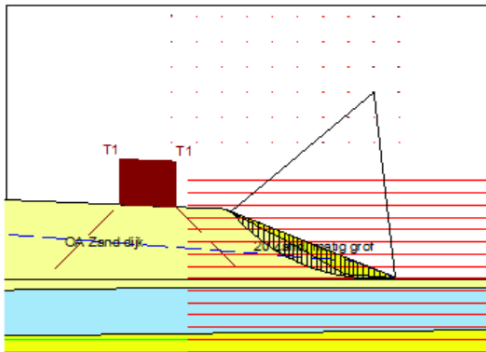
DWP157 Glijvlak verflauwd talud 1:2,5

DWP158 Glijvlak huidig talud



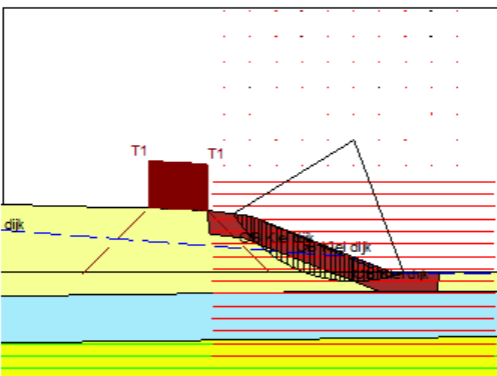
Xm : 58.82 [m] Radius : 7.28 [m]  
 Ym : 19.81 [m] Safety : 1.04

DWP160 Glijvlak huidig talud



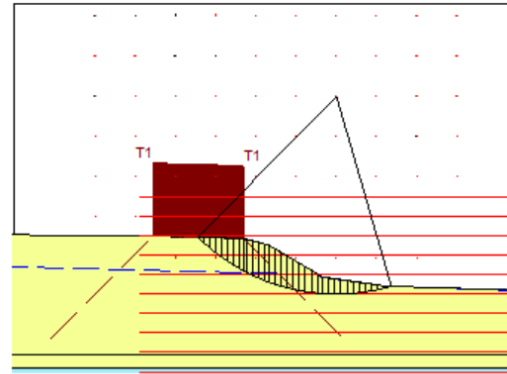
Xm : 98.29 [m] Radius : 8.17 [m]  
 Ym : 19.84 [m] Safety : 1.04

DWP56.040 Glijvlak verflauwd talud 1:2,5



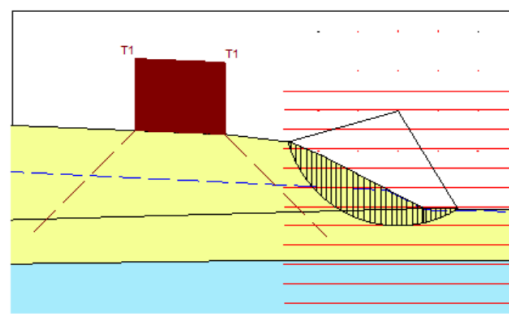
Xm : 87.60 [m] Radius : 6.07 [m]  
 Ym : 17.74 [m] Safety : 1.25

DWP167 Glijvlak verflauwd talud 1:2,5 met klei



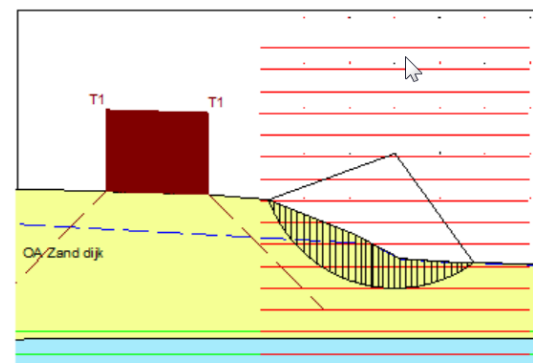
Xm : 96.07 [m] Radius : 5.45 [m]  
 Ym : 18.73 [m] Safety : 1.19

DWP162 Glijvlak huidig talud



Xm : 91.63 [m] Radius : 3.19 [m]  
 Ym : 15.39 [m] Safety : 1.01

DWP165 Glijvlak huidig talud



Xm : 96.29 [m] Radius : 3.31 [m]  
 Ym : 15.79 [m] Safety : 1.20

DWP171 Glijvlak huidig talud

**Stabiliteit voor waterkering met bomen**

In tabel 5-5 is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren voor de waterkering met aanwezigheid van bomen. De berekende maatgevende glijvlakken zijn weergegeven in de onderstaande figuren.

Voor de dijksecties die voor de situatie zonder bomen als onvoldoende zijn beoordeeld (zie tabel 5-4) is rekening gehouden met een minimaal verflauwd talud van 1:2,5.

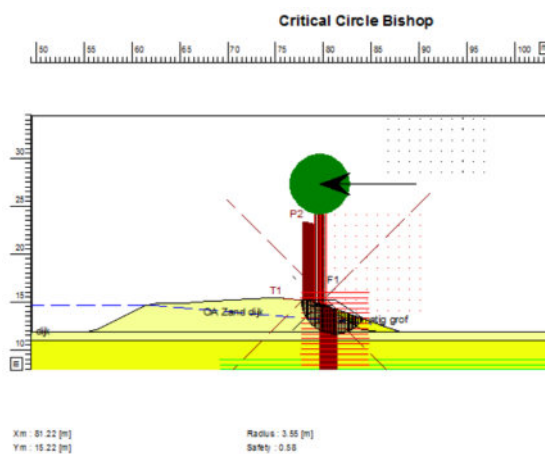
**Tabel 5-5 Stabiliteitsfactoren STBI voor dwarsprofielen met bomen (zonder bekleding)**

		DWP [29]	Talud	Boom-cluster	Fh [kN]	Stam-diameter [m]	Kluit-diameter [m]	$F_{boom}^A$ [-]	$F_{ref}^B$ [-]	$F_{boom;3D}^C$ [-]	Beoordeling
148 - 152	56.047, 56.046	151	1:2,5	11	35	0,65	3,3	0,58	1,27	<b>1,13</b>	Voldoet (>1,10)
155 - 156	56.043	156	1:1,9 (huidig)	10	40	0,72	3,5	0,28	1,77	<b>1,46</b>	Voldoet (>1,10)
157	-	157	1:2,5	10	40	0,72	3,5	0,43	1,94	<b>1,63</b>	Voldoet (>1,10)
158	-	158	1:1,7 (huidig)	10	40	0,72	3,5	0,31	1,94	<b>1,60</b>	Voldoet (>1,10)
159	56.042	56.042	1: 3,1 (huidig)	10	40	0,72	3,5	>0,31	>1,94	<b>&gt;1,60</b>	Voldoet (>1,10)
160 - 161	56.041	160	1:2,1 (huidig)	10	40	0,72	3,5	0,34	1,43	<b>1,21</b>	Voldoet (>1,10)
166 - 168	56.038	167	1:2,3 (huidig)	9	40	0,8	3,8	0,56	1,34	<b>1,18</b>	Voldoet (>1,10)
171 - 174	56.036, 56.035	171	1:2,2 (huidig)	9	40	0,8	3,8	0,46	1,75	<b>1,48</b>	Voldoet (>1,10)

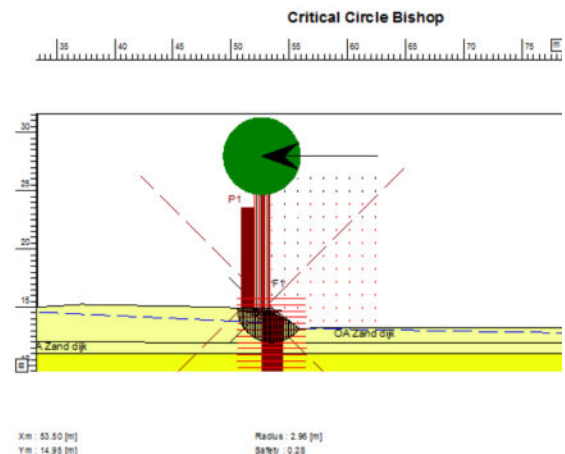
A = Stabiliteitsfactor met belasting door boom en een glijvlak met minimaal 2,5 m diepte

B = Stabiliteitsfactor zonder boom en een glijvlak met minimaal 2,5 m diepte

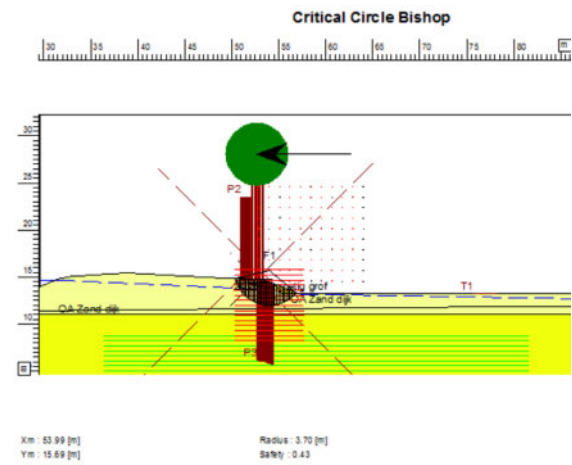
C = Gewogen stabiliteitsfactor op basis van stamdiameter en kluitdiameter



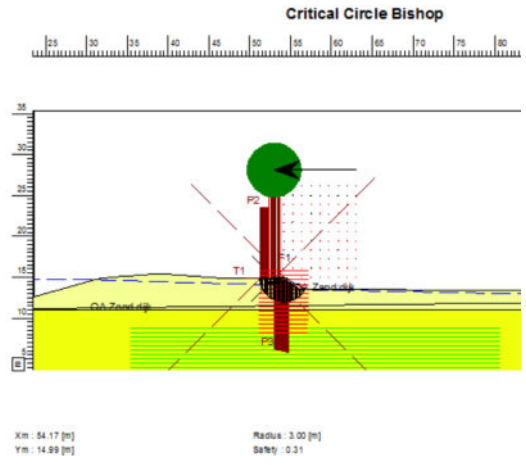
DWP151 Glijvlak met boom op kruin



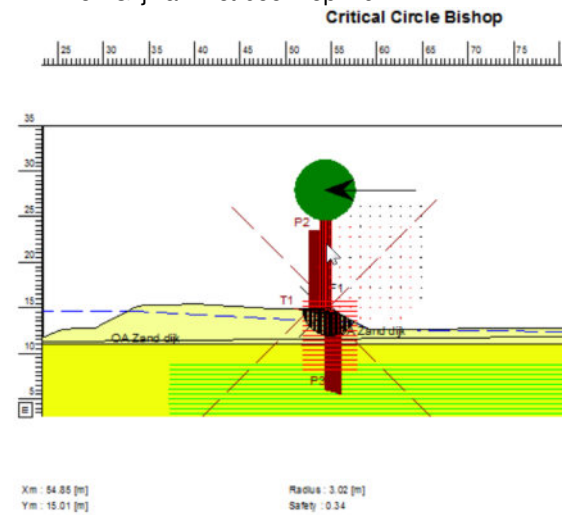
DWP156 Glijvlak met boom op kruin



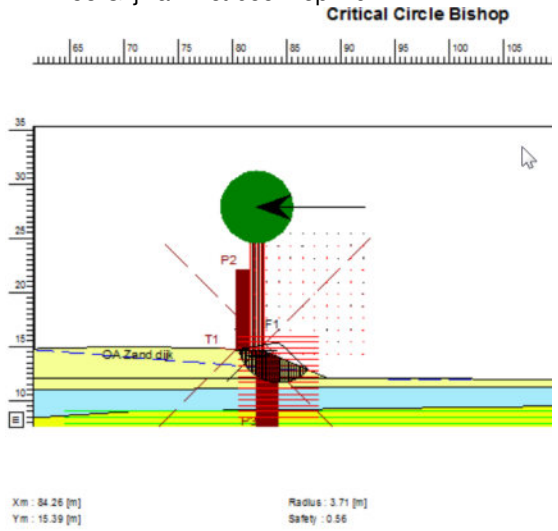
DWP157 Glijvlak met boom op kruin



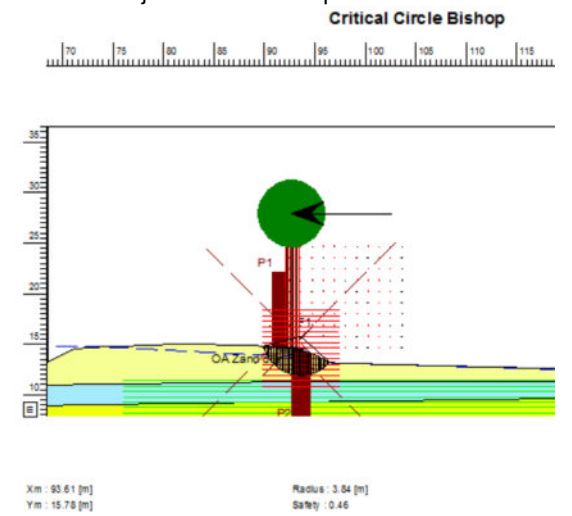
DWP158 Glijvlak met boom op kruin



DWP160 Glijvlak met boom op kruin



DWP167 Glijvlak met boom op kruin



DWP171 Glijvlak met boom op kruin

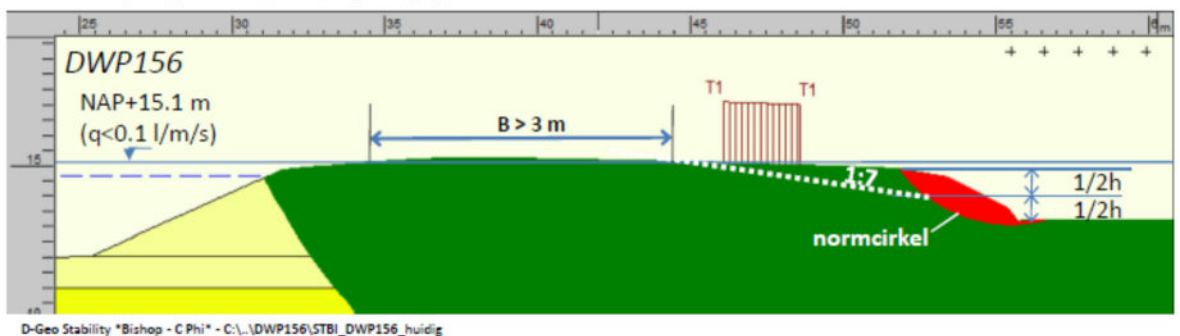
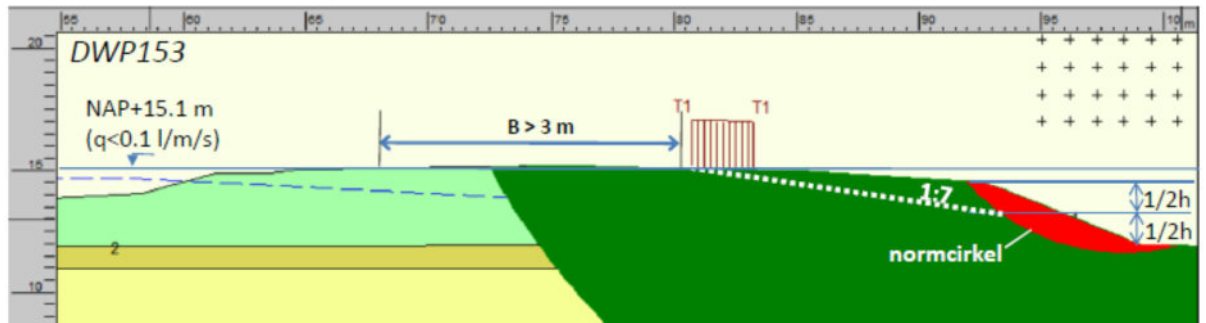
Uit de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit voor de situatie met bomen blijkt dat in alle gevallen voldaan wordt aan de stabiliteitseis.

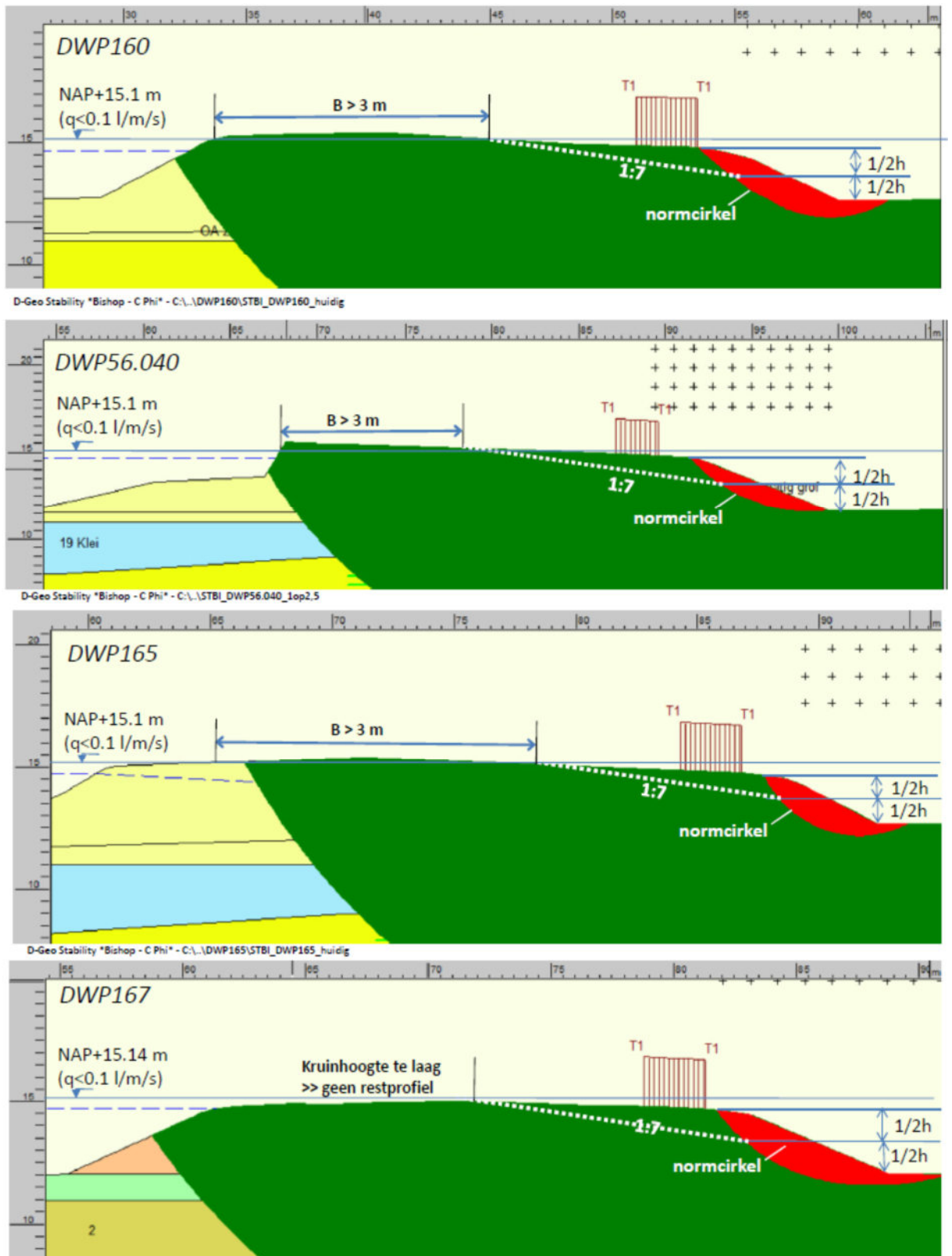
**Analyse ‘restbreedte bij overhoogte’**

Uit de stabiliteitsberekeningen voor de situatie zonder bomen is gebleken dat voor een aantal secties het talud onvoldoende stabiel is ( $F < 1,10$ ). Voor de gevallen met een stabiliteitsfactor groter dan 1,0 wordt nagegaan of voldoende reststerkte aanwezig is bij afschuiven. De analyse is overeenkomstig de methode ‘Gedetailleerde Restbreedte-bij-overhoogte’, zoals beschreven in [TRAS, 2009]. De stappen die bij deze methode worden doorlopen zijn:

1. Bepalen van de normcirkel bij de vereiste stabiliteitsfactor van 1,10.
2. Bepalen van het snijpunt van het primaire glijvlak met het secundaire glijvlak, waarbij is aangenomen dat het primaire glijvlak leidt tot maximaal halvering van de kerende hoogte;
3. Bepaling van het rechte additionele glijvlak, waarbij is uitgegaan van een helling van 1:7 in verband met mogelijke verweking van het losgepakte zand.

In onderstaande figuren is voor de maatgevende dwarsprofielen 153, 156, 160, 56.042, en 165 aangetoond, dat na afschuiven langs de normcirkel en langs het additionele (secundaire) glijvlak op het vereiste kruinhoogteniveau ( $q < 0,1$  l/m/s) ruim voldoende kruinbreedte resteert ( $> 3$  m). Voor profiel 167 is de resterende kruinhoogte te laag om te voldoen aan de eis dat het overslagdebiet kleiner moet zijn dan 0,1 l/m/s. Hier is een taludverflauwing naar 1:3 met zand noodzakelijk (zie tabel 5-4). De bomen op de kruin kunnen hierbij gehandhaafd blijven.





Figuur 5-5 Restbreedte benadering op basis van de normcirkel en een talud van 1:7 in zand



**Overzicht verbetermaatregelen STBI**

In onderstaande tabel is op basis van de voorgaande stabiliteitsanalyses een overzicht gegeven van de benodigde verbetermaatregelen.

**Tabel 5-6 Verbetermaatregelen ten behoeve van STBI**

Sectie Dwp [29]	DWP - HM	Maatgevend dwarsprofiel	Stabiliteitsverhogende maatregel
146 - 147	56.048	147	-
148 - 149	56.047	56.047	Uitvlakken grondberm op NAP +13 m
150 - 152	56.046	151	Talud 1:3 met zand
153 – 154	56.045, 56.044	153	Talud 1:3 met zand
155 – 156	56.043	156	-
157	-	157	Talud 1:3 met zand
158	-	158	-
159	56.042	56.042	-
160 – 161	56.041	160	-
162	-	162	-
-	56.040	56.040	Talud 1:3 met zand
163 – 165	56.039	165	-
166 – 168	56.038	167	Talud 1:3 met zand
169 – 170	56.037	Grondwal	-
171 – 174	56.036, 56.035	171	-
175 – 176	56.034, 56.033	Grondwal	-
177	56.032+50	56.032+50	Talud 1:3 met zand
178 – 182	56.032, 56.031	Hoge berm	-

**5.5 Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)**

Uit het geotechnisch grondonderzoek is gebleken dat op het buitentalud geen of een onvoldoende erosiebestendige kleibekleding aanwezig is. Voor het buitentalud bestaat de verbetermaatregel uit het verflauwen van het talud naar 1:3. Het ophogen en ingraven van een kleibekleding zou leiden tot gevolgschade voor de bomen. In overleg met de BomenwachtNL is daarom besloten de verflauwing uit te voeren met zand, in combinatie met het aanbrengen van een erosiebestendige structuurmat op het gehele talud.

In deze paragraaf is de macrostabieliteit van het 1:3 buitentalud geverifieerd door middel van stabiliteitsberekeningen. Op basis van de kerende hoogte, aanwezigheid van bomen en opbouw van de ondergrond is het dijkvak 56A onderverdeeld in secties, zie onderstaande tabel. Per sectie is een representatief (maatgevend) dwarsprofiel geselecteerd.

**Tabel 5-7 Sectie-indeling ten aanzien van buitenwaartse macrostabieliteit**

Sectie Dwp [29]	Maatgevende dwarsprofiel	Huidig talud (1:n)	Kerende hoogte [m]	Ondergrond	Boom-cluster	F <sub>H</sub> [kN]	Aangrijpingspunt [ m+mv]
181	181	2,2	1,2	deklaag	1	30	11,5
179-180	180	1,8	2,8	deklaag	-		
166-178	175	2,0	4,2	deklaag	2	18	13,6

Sectie Dwp [29]	Maatgevende dwarsprofiel	Huidig talud (1:n)	Kerende hoogte [m]	Ondergrond	Boom-cluster	F <sub>H</sub> [kN]	Aangrijpingspunt [ m+mv]
<b>162-165</b>	<b>165</b>	<b>2,4</b>	<b>4,4</b>	<b>deklaag</b>	<b>3</b>	<b>35</b>	<b>12,5</b>
161	161	2,6	3,5	deklaag	-		
<b>158-160</b>	<b>159</b>	<b>2,2</b>	<b>4,4</b>	<b>zand</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>13,6</b>
157-158	157	2,3	3,4	zand	5	20	15,6
156	156	2,2	2,8	zand	6	20	15,6
155	155	1,7	2,4	zand	-		
154	Afrit						
151-153	151	2,3	2,8	zand	7	20	15,6
149-150	150	2,0	2,4	zand	-		
146-148	148	2,0	2,3	zand	8	30	11,5

De buitenwaartse macrostabiliteit is geverifieerd door middel van stabiliteitsberekeningen voor de twee maatgevende dwarsprofielen:

- DWP 165: dijkprofiel *met* en *zonder* bomen met 4,4 m kerende hoogte en een kleiondergrond;
- DWP 159: dijkprofiel *met* en *zonder* bomen met 4,4 m kerende hoogte en een zandondergrond.

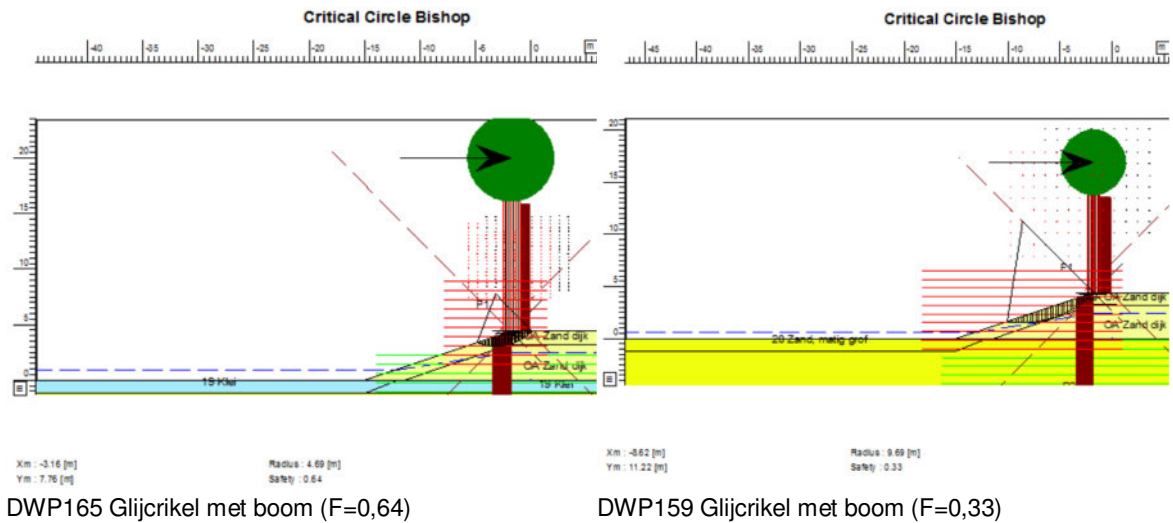
Voor de twee maatgevende profielen is de stabiliteitsfactor berekend, welke groter dient te zijn dan 1,02. Gerekend is met val van 3,3 m van het ontwerppeil op NAP +14,7 m naar het Gemiddelde HoogWater (GHW) op NAP +11,4 m. De freatische lijn in de dijk is gelijk gesteld aan het gemiddelde van deze twee niveaus, op circa NAP +13,1 m.

De berekeningsresultaten zijn samengevat in onderstaande tabel en weergegeven in de figuren met maatgevende glijcirkels.

**Tabel 5-8 Stabiliteitsfactoren STBU voor maatgevende gevallen**

DWP [29]	Talud	F <sub>zonder boom</sub>	Boom-clusters	F <sub>H</sub> [kN]	Stam-diameter [m]	Kluit-diameter [m]	F <sub>boom</sub> <sup>A</sup> [-]	F <sub>ref</sub> <sup>B</sup> [-]	F <sub>boom;3D</sub> <sup>C</sup> [-]	Beoordeling
165	1:3	<b>1,23</b>	2,3	35	0,65	3,3	0,64	1,29	<b>1,16</b>	Voldoet (>1,02)
159	1:3	<b>1,23</b>	4,5,6,7,8	20	0,72	3,5	0,33	1,31	<b>1,14</b>	Voldoet (>1,02)

A = Stabiliteitsfactor met belasting door boom en een glijvlak met minimaal 2,5 m diepte  
 B = Stabiliteitsfactor zonder boom en een glijvlak met minimaal 2,5 m diepte  
 C = Gewogen stabiliteitsfactor op basis van stamdiameter en kluitdiameter



Uit de stabiliteitsberekeningen volgt dat een 1:3 buitentalud voldoet. Dit betekent dat de gehele dijkstrekking, met en zonder bomen, voldoet bij de beschreven dijkversterking.

## 5.6 Zandmeevoerende wellen (STPH)

In dijkvak A1 is een stoorlaag aanwezig waardoor piping mogelijk is. Voor de beoordeling van de veiligheid tegen optreden van piping onder maatgevende omstandigheden is in eerste instantie het huidige dijkprofiel zonder verbetering (taludverflauwing) beoordeeld met de methode Sellmeijer. De resultaten zijn in onderstaande tabel samengevat, zie ook bijlage 3. In dijkvak A2 is een zanddijk op zand aanwezig, waardoor piping niet kan optreden.

Tabel 5-9 Controle op piping voor maatgevende dwarsprofielen voor de huidige situatie

Dijksectie	DWP [29]	Ontwerp Waterstand [NAP m]	Maaiveldhoogte Binnendijks [NAP M]	Kerende Hoogte [m]	Huidige Kwelweglengte [m]	L_benodigd [m]	L_tekort [m]
56A.1	167	+14,72	+12,06	2,66	33,5	33,2	0,3
56A.1	173	+14,75	+13,6	1,15	32,0	12,0	20,0

In het gehele dijkvak 56A is de waterkering in de huidige situatie voldoende veilig tegen optreden van piping.

## 5.7 Microstabiliteit (STMI)

De waterkering in dijkvak 56A bestaat uit een zandkern. Op het binnentalud is een zandige toplaag aanwezig of zal het talud worden verflauwd met zand in combinatie met een erosiebestendige structuurmat. Uit de in de Plaxis berekende verhanglijnen blijkt dat op het binnentalud geen uittredend grondwater wordt verwacht. Dit komt voornamelijk door de relatief grote breedte van de waterkering en de goede doorlatendheid van het dijkzand.

## 5.8 Stabiliteit voorland (STVL)

De stroomgeul ligt 200 à 300 m van de kering waardoor instabiliteit van het voorland geen rol speelt. Zelfs bij optreden van afschuiving of zettingsvloeiing zal het profiel na instabiliteit (1:15 talud) de waterkering niet bereiken.

## 5.9 Bekleding (STBK)

### 5.9.1 Bekleding buitentalud

Geotechnisch grondonderzoek heeft aangetoond dat in de huidige situatie overwegend een zandige toplaag aanwezig is, met daarop een slecht ontwikkelde grasvegetatie, struiken en bomen (veldwaarneming). Op basis van WAQUA modelleringen is de stroomsnelheid in langsricting bepaald op 0,4 m/s, zie paragraaf 5.2.2.

Op basis van Tabel 5-10 wordt verwacht dat bij kale plekken (ontbreken van grasvegetatie) op een zandondergrond de kritieke stroomsnelheid 0,15 à 0,3 m/s bedraagt. Bij hogere stroomsnelheden zal erosie op kunnen treden.

Op plekken met een slechte grasmat ligt de kritieke stroomsnelheid hoger, namelijk 2 à 4 m/s. De toelaatbare stroomsnelheid neemt verder toe bij betere kwaliteit van het wortelstelsel. Opgemerkt wordt dat de waarden in de tabel hoger zijn dan de richtwaarden uit CUR683 – Rock Manual (blz 657), waarin een kritieke stroomsnelheid van 2,0 m/s voor met gras begroeide klei wordt gegeven.

**Tabel 5-10 Kritieke stroomsnelheden voor verschillende grondsoorten (Geodelft, 2007)**

Grond	Kwaliteit	Sterktefactor $c_g$ ( $m^{-1}s^{-1}$ )	Kritieke schuifspanning $\tau_c$ ( $N/m^2$ )	Kritieke stroomsnelheid $U_c$ (m/s)
Gras	Goed	$0,01 \cdot 10^{-4}$	125 à 250	5 à 8
	Gemiddeld	$0,02 \cdot 10^{-4}$	50 à 150	3 à 5
	Slecht	$0,03 \cdot 10^{-4}$	25 à 75	2 à 4
Klei	Zeer goed	$< 0,5 \cdot 10^{-4}$	50 à 150	0,9 à 1,2
	Goed	$0,5 \text{ à } 1 \cdot 10^{-4}$	1,5 à 3	0,7 à 1,0
	Gestructureerd	$1 \text{ à } 3 \cdot 10^{-4}$	0,5 à 1,5	0,5 à 0,7
	Matig/slecht	$3 \text{ à } 5 \cdot 10^{-4}$	0,3 à 0,5	0,3 à 0,5
zand	-	$> 10 \cdot 10^{-4}$	0,1 à 0,2	0,15 à 0,3

Bij een optredende langdurige stroomsnelheid van 0,4 m/s wordt erosie van de zandige toplaag verwacht op plaatsen waar gras volledig weg is. Door erosie kan vervolgens de kern van de waterkering worden aangetast (en daarmee de stabiliteit van het wortelstelsel). Het kernmateriaal van de waterkering bestaat uit los gepakt matig fijn zand, dat gevoelig is voor verweking. Als gevolg van de verweking kan ontgroning optreden nadat de toplaag is aangetast. Er bestaan diverse ontgrondingsmodellen om te voorspellen hoe lang de waterkering bestand is tegen de hydraulische belastingen. Het nadeel van deze modellen is echter dat de uitkomst, en daarmee de standzekerheid van de waterkering, onzeker is.

Om de standzekerheid te garanderen dient op het buitentalud van het gehele dijktraject een erosiebestendige bekleding te worden aangebracht, waarop zich een goede grasmat kan ontwikkelen. Het aanbrengen van de standaardoplossing met 1,0 m klei en 0,3 m leeflaag is niet gewenst door aanwezigheid van de bomen en de wortels onder het talud. Als alternatief is gekozen voor een taludverflauwing naar 1:3, gecombineerd met het aanbrengen van een erosiebestendige structuurmat.

## 5.9.2 Bekleding kruin en binnentalud

De noodzaak voor bekleding op de kruin en het binnentalud is afhankelijk van het overslagdebiet en de optredende stroomsnelheden. In de Leidraad Rivieren wordt uitgegaan, dat de volgende gemiddelde debieten maatgevend zijn voor erosie van het binnentalud:

- 0,1 l/m per s voor zandige grond met een slechte grasmat.
- 1,0 l/m per s voor kleiige grond met een redelijk goede grasmat.
- 10 l/m per s bij een kleibekleding en een grasmat volgens de eisen voor het buitentalud of bij een bekledingsconstructie.

Het te verwachten golfoverslagdebiet is in het Achtergronddocument Waterbouw [21] berekend voor een verflauwd buitentalud met een helling 1:3. Ten aanzien van het overslagdebiet is het volgende vastgesteld:

- In het traject van DP56.038+70 tot DP56.048+70 (DWP 146 t/m DWP 165) is een kruinhoogte aanwezig van NAP +15,2 à +15,4 m, waarbij het overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s. Ten aanzien van de bekleding op de kruin en het binnentalud van de waterkering geldt dat hier geen eisen worden gesteld aan de bekleding; de huidige zandige grond met slechte grasmat voldoet.
- In het dijktraject van DP56.030 tot DP56.038+70 (DWP 166 t/m 182) bedraagt het golfoverslagdebiet maximaal 0,3 l/m/s. Dit overslagdebiet is berekend voor de hoogte van de buitenkruinlijn. De kruinhoogte is in de as van de waterkering (dakpanvorm) nagenoeg gelijk (+/- 0,01m) aan de kruinhoogte, welke benodigd is bij een overslagdebiet van 0,1 l/m/s. Dit betekent dat op de buitenkruin, vanaf de buitenkruinlijn tot aan de provinciale weg een erosiebestendige dijkbekleding dient te worden aangebracht. De erosiebestendige structuurmat dient aangesloten te worden op de bestaande verharding.
- De binnenkruin en het binnentalud worden hydraulisch niet belast bij MHW +0,5 m; de huidige zandige grond met slechte grasmat voldoet.

## 5.9.3 Bekleding rondom bomen

Door de BomenwachtNL is een afschermingszone gedefinieerd met een straal van 3,0 m rondom de bomen. Binnen de afschermingszone gelden de volgende voorwaarden voor de dijkverbetering:

- Grasvegetatie dient te worden verwijderd voorafgaand aan ophogingen;
- Doorfrozen van de bestaande grasvegetatie is niet toegestaan;
- Oppervlakkige beworteling mag niet worden beschadigd bij ontgraven;
- Er mag geen materiaal of materieel worden opgeslagen;
- Rondom de bomen dient een stambescherming te worden aangebracht;
- Wortelsnoei dient te worden uitgevoerd door een groenwacht;
- Ophogen dient te worden uitgevoerd met goed doorlatende grond (uitgerijpte bomengrond);
- Ophoging tegen de stamvoet is niet toegestaan, minimaal circa 0,05 m afstand
- De maximale ophoging bedraagt 0,3 m.

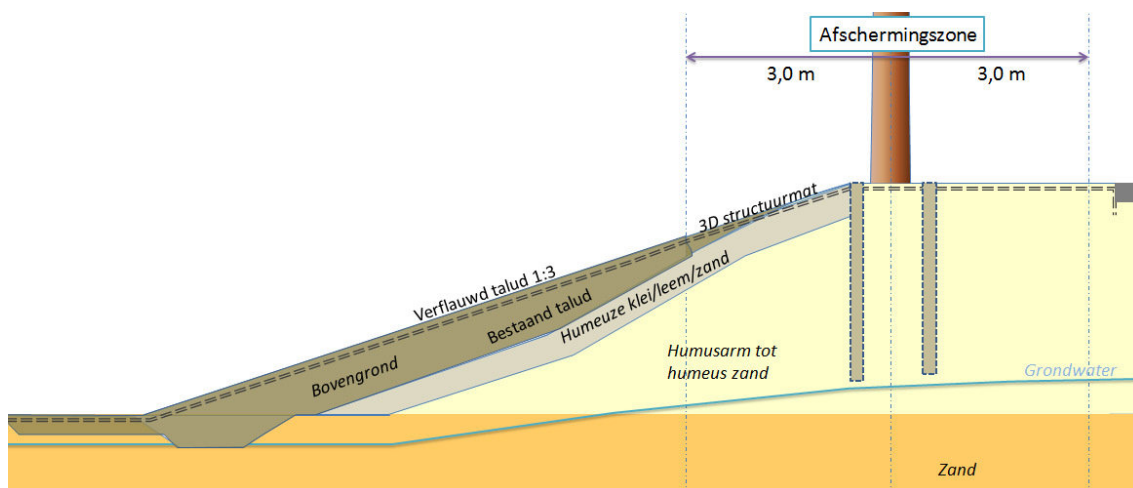
Op basis van de voorwaarden blijkt dat het niet mogelijk is een standaard kleibekleding (1,0 m met 0,3 m leeflaag) op het buitentalud rondom de bomen aan te brengen (op te hogen en in te graven). Om te komen tot een minimaal gelijkwaardige bekleding dient het volgende te worden aangebracht:

- toplaag van 0,05 m teelaarde met zandgehalte < 50%;
- Secumat 20/20 Q1 ES401, of gelijkwaardig;
- onderlaag van 0,20 m teelaarde met zandgehalte < 50%.

Buiten de afschermingszone is het ingraven van klei op het buitentalud eveneens niet toegestaan. Bovendien zal door ophoging de conditie van het wortelstelsel verslechteren. Om deze redenen is in

overleg met BomenwachtNL ervoor gekozen om de Secumat op het gehele talud aan te brengen als alternatief voor de kleibekleding. Het principe is aangegeven in figuur 5-6 en op de ontwerptekening met dwarsprofielen (tekening 9X4447-116-DO-DWP-104).

Naast het aanbrengen van een erosiebestendig mat dienen per boom vier wortelpijlers te worden aangebracht. Dit zijn uitgeboorde kolommen in de grond van 20 à 30 cm diameter, welke worden gevuld met grof bomenzand. De pijlers dienen ter compensatie van de afname van de beworteling op het buitentalud en de buitenteen. Door de ophoging op het talud met zand zullen de wortels minder zuurstof en vocht ter beschikking hebben. De wortelpijlers dienen 2 jaar voor het aanbrengen van de taludverflauwing te worden aangebracht om voldoende wortels te ontwikkelen.



**Figuur 5-6: Principe toepassing Secumat op buitentalud**

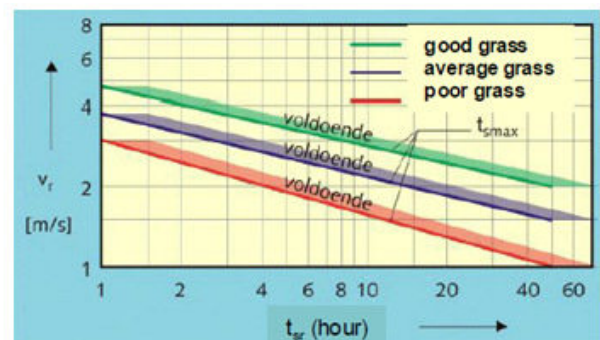
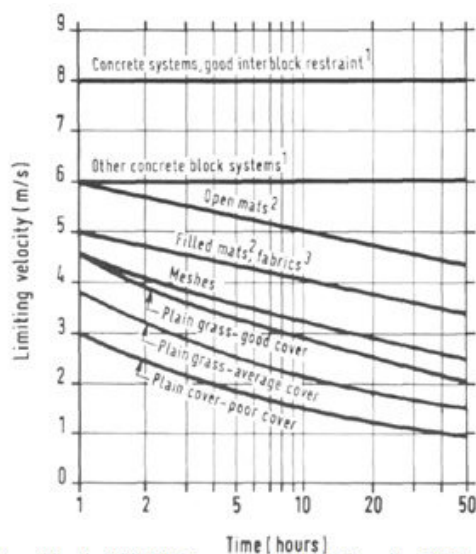
#### **Beschrijving Secumat (of gelijkwaardig)**

De structuurmat en de afdekkende teelaardelaag dienen te worden ingezaaid voor ontwikkeling van een grasvegetatie. De structuurmat (Secumat, of gelijkwaardig) dient om erosie van de grond te voorkomen. De mat bestaat uit een flexibele, driedimensionale wir-war structuur van geëxtrudeerde polypropyleen en wordt in de toplaag verwerkt. De structuurmat verstevigt het grondoppervlak waardoor de vegetatie zich ontwikkelt en het wortelstelsel wordt versterkt. Voorbeelden van de Secumat zijn weergegeven in Figuur 5-7.



**Figuur 5-7: Voorbeelden Secumat (bron: <http://www.citeko.com/pages/technieken/anti-gronderosie.php>)**

De structuurmat is voorzien van een vlakke onderlaag met een hoge treksterkte, gekoppeld aan een tweede laag die verdeeld is in een reeks compartimenten die ervoor zorgt dat de toplaag wordt vastgehouden. Grashellingen gewapend met structuurmatten zoals Secumat hebben aangetoond erosiebestendig te zijn tegen stroomsnelheden groter dan 4 m/s (www.citeko.com). De linker afbeelding in onderstaande figuur toont aan dat taluds voorzien van structuurmatten ('meshes') over een gelijkwaardige (bij korte belastingsduur met hoge stroomsnelheid) tot hogere erosiebestendigheid (bij lange belastingsduur en lagere stroomsnelheden) beschikken ten opzichte van talud met een goed ontwikkelde grasmatt. De figuur is voor gras vergelijkbaar met de Nederlandse VTV-toetsmethode, zie rechter afbeelding in volgende figuur.



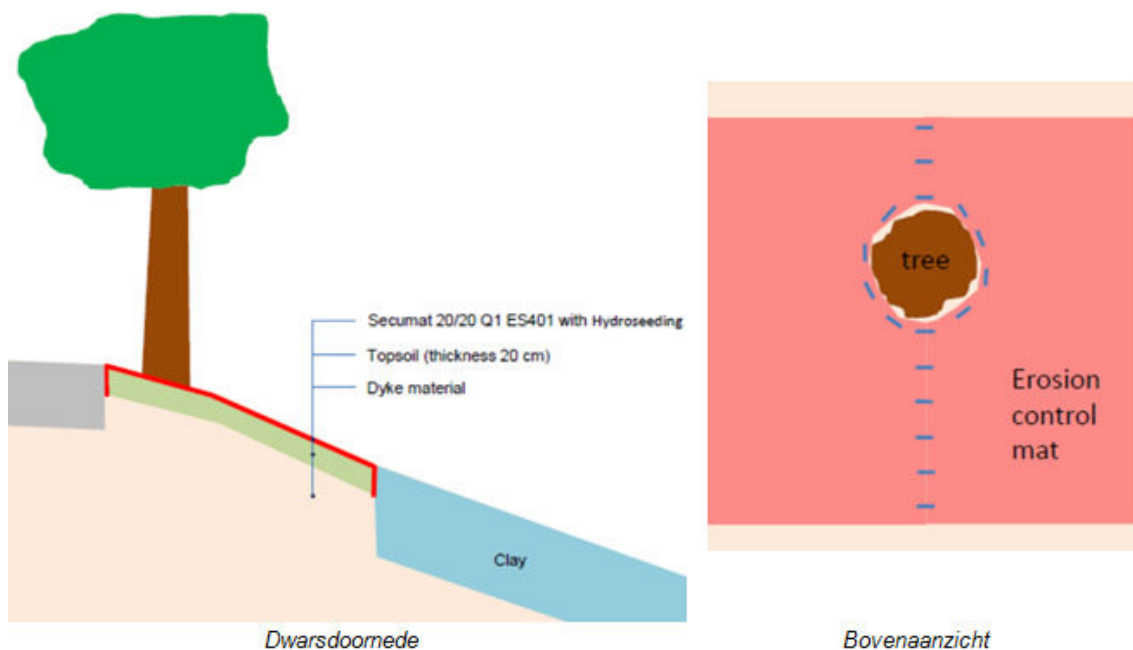
(bron Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2007. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen)

(bron Hewlett, H. W., Boorman, L. A. & Bramley, M. E. 1987. Design of reinforced grass waterways. Construction Industry Research Information Association (CIRIA) report number 116.

**Figuur 5-8: Relatie tussen belastingduur en toelaatbare stroomsnelheid voor verschillende taludbekledingen**

Het primaire doel van de structuurmatten is het verkrijgen van een erosiebestendig buitentalud zonder dat de bomen worden aangetast. Daarnaast heeft de toepassing van matten het voordeel dat aantasting van het talud door klein wild (zoals konijnen en ratten) onmogelijk gemaakt wordt.

In bijlage 14 zijn de producteigenschappen en de richtlijnen opgenomen voor de installatie van de matten. Het principe is vereenvoudigd in onderstaande figuren aangeven.



**Figuur 5-9: Principe toepassing erosiebestendige structuurmatten rondom bomen  
Aansluiting bekleding op wegverharding**

Op de kruin dienen deze matten te worden doorgezet tot de verharding van de provinciale weg. Om een goede aansluiting te krijgen op de wegverharding dient de mat verticaal te worden doorgezet tot tenminste 0,25 m onder maaiveld. Het principe van de aansluiting is aangegeven op de ontwerptekening met dwarsprofielen (tekening 9X4447-116-DO-DWP-104)

## 5.10 NWO's

In dijkvak 56A is een aantal constructies aanwezig, welke worden aangepast. Bij deze aanpassing wordt een waterkerende wand met doorlaatmiddelen voor het kunstwerk geplaatst. Deze constructies zijn nader uitgewerkt in het Achtergrondrapport Constructies [22]. De constructies zijn:

- Duiker Eckeltsebeek
- Duiker Heijense Leigraaf

Voor het dijkmeubilair wordt verwezen naar het achtergrond rapport Waterbouw [21].

## 5.11 Inpassing ter plaatse van woningen

Er zijn geen woningen met kelders gelegen binnen het invloedsgebied van de waterkering. De woningen aan de zuidzijde nabij dijkpalen 56.030 en 56.031 zijn gelegen op een dermate hoog niveau, waardoor ze geen onderdeel uitmaken van de waterkering, zie paragraaf 5.13.

## 5.12 Zettingen

De ophogingen in het kader van de versterking van DR56A beperken zich tot de verflauwing van het talud aan de binnen- en buitenzijde van circa 1:2 naar 1:3.

In dijkvak 56A.1 komen vooral aan de buitenzijde zettingsgevoelige klei- en leemlagen voor met een maximale dikte van 4 m. Op basis van zettingsberekeningen voor dijkvak 59 met een vergelijkbare opbouw



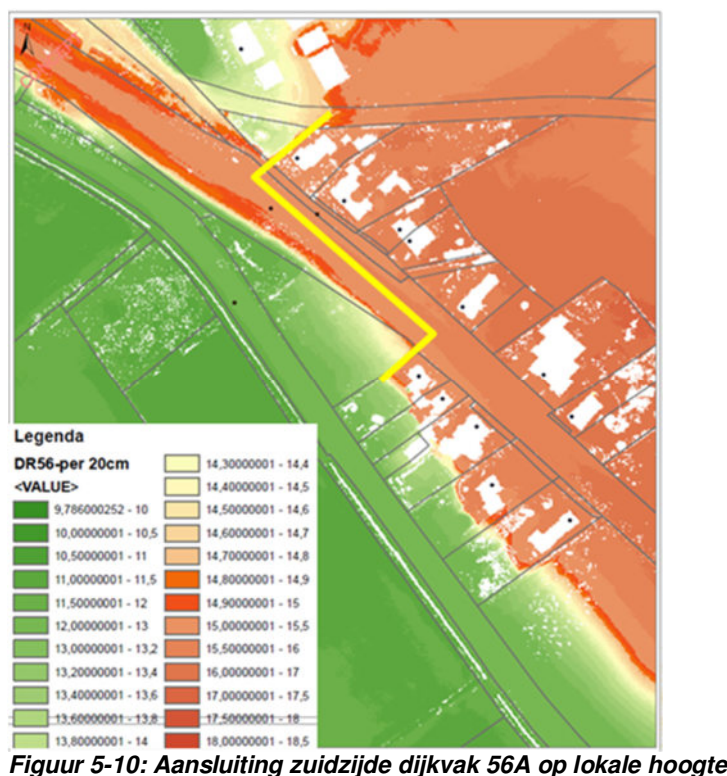
(zie par 7.6 en bijlage 8), worden zettingen van circa 0,10 m verwacht en een zettingscompensatie van circa 5%. Aan de binnenzijde is de dikte van de stoorlagen minder en bedraagt de te verwachten zetting circa 0,05 m. De structuurmatten op het buitentalud zijn voldoende flexibel om de zettingen te volgen. In dijkvak 56A.2 zijn geen samendrukbare grondlagen aangetroffen. De zetting zal hier minder dan 0,05 m bedragen.

### 5.13 Aansluitingen

De bekleding van de dijk (klei) dient aan de zuidzijde aan te sluiten op de lokale hoogte. De vereiste hoogte bedraagt NAP +14,81 m op basis van MHW+0,5 m. In onderstaande figuur is de aansluiting aan de binnen- en buitenzijde aangegeven (gele lijn).

Buitendijks zal de kleibekleding dienen te worden doorgezet tot kruinhoogteniveau. De bekleding dient tevens 2,0 m te worden doorgezet als teenopsluiting.

Aan de binnenzijde dient de taludverflauwing met zand te worden doorgezet tot kruinhoogteniveau.



## 6 DO GROENE KERINGEN DR56B

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de primaire kering van dijkkring 56 tussen DP56.049 en DP56.060. Vanwege het bijzondere karakter van het aansluitende dijkvak, waarin de bomen langs de N271 behouden moeten worden, is dijkvak 56A (DP56.030-56.049) in een afzonderlijk hoofdstuk beschouwd [H5].

### 6.1 Zandmeevoerende wellen (STPH)

Op basis van het verval over de kering is een aantal maatgevende profielen gedefinieerd. Een laag binnendijks maaiveld is hierin maatgevend omdat dit resulteert in de grootste kerende hoogte. Van alle lage binnendijkse maaiveldniveaus is een profiel opgesteld. Vervolgens is van de profielen de benodigde kwelweglengte berekend met de formule van Sellmeijer. Deze lengte is daarna afgerond op hele meters. De benodigde kwelweglengte van de groene keringen is weergegeven in de onderstaande tabel. Zie ook bijlage 3.

**Tabel 6-1: Resultaat Sellmeijer analyse voor groene keringen DR56B**

Dwarsprofiel	Ontwerpwaterstand [m t.o.v. NAP]	MV ter plaatse van uittredepunt [m t.o.v. NAP]	Benodigde Kwelweglengte [m]
123 (DP56.059)	14,57	13,89	7
124 (DP56.058)	14,57	13,5	11
125 (DP56.058)	14,58	13,31	13
126 (DP56.057)	14,58	14,49	1
127 (DP56.056)	14,59	13,52	11
128 (DP56.056)	14,59	13,6	10
129 (DP56.055)	14,6	13,6	10
131 (DP56.054)	14,6	14,34	3
132 (DP56.054)	14,6	14,52	1
133 (DP56.053)	14,61	13,74	9
134 (DP56.053)	14,61	13,25	15
137 (DP56.051)	14,62	13,4	13
140a (DP56.050)	14,63	14,06	6
140b (DP56.050)	14,63	14,37	3
142 (DP56.049)	14,64	13	19

De benodigde kwelweglengte is uitgezet in buitendijkse richting vanaf het uittredepunt. Het uittredepunt is gelijk gesteld aan het einde van de binnendijkse kleiingraving van 2,5 m. Het eventuele tekort aan kwelweglengte wordt aangevuld met een voorlandverbetering.

### 6.2 Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)

De ondergrond in dijkvak 56B bestaat hoofdzakelijk uit granulaair materiaal (zand en grind) en is daarmee vergelijkbaar met de situatie in dijkkring 54 zoals beschreven in par 4.2. In dijkvak 56B zijn minder stoorlaagjes aanwezig in het achterland.

De eerder beschreven basisberekeningen (zie par 4.2) ondervangen de gehele kering binnen de betreffende dijkstrekking (taludhoogte <3 m; deklaag <3 m; geen doorgaande deklagen). Het ontwerp voldoet daarmee ten aanzien van het faalmechanisme macrostabieliteit binnenwaarts.

### 6.3 Macrostabieleit Buitenwaarts (STBU)

De eerder beschreven basisberekeningen (zie par 4.3) ondervangen de gehele kering binnen het dijkvak 56B (taludhoogte <3 m; deklaag<3 m; geen doorgaande deklagen).

Het ontwerp voldoet daarmee ten aanzien van het faalmechanisme macrostabieleit buitenwaarts.

### 6.4 Microstabieleit (STMI)

De keringen in dijkvak 56B hebben een beperkte hoogte ten opzichte van het achterland. Het ingraven van een relatief dikke kleibekleding zorgt ervoor dat de groene keringen grotendeels uit klei bestaan. Bij kleidijken speelt microstabieleit (opdrukken en afschuiven van de bekleding) niet.

Het ontwerp voldoet ten aanzien van het faalmechanisme microstabieleit.

### 6.5 Stabieleit voorland (STVL)

De stroomgeul ligt minimaal 500 m van de kering waardoor instabieleit van het voorland geen rol speelt.

### 6.6 Zettingen

De ophogingen in het kader van de versterking van DR56 zijn beperkt. Lokaal komen zettingsgevoelige stoorlaagjes voor. Maar deze stoorlaagjes zijn dun waardoor consolidatie snel zal optreden. Tussen DP56.057 en DP56.060 zijn ophogingen voorzien die groter zijn dan 1 m. Het grondonderzoek toont echter aan dat op deze locaties geen zettingsgevoelige kleilagen aanwezig zijn. Derhalve zijn de verwachte (rest)zettingen verwaarloosbaar.

### 6.7 NWO's

In dijkkring 56B zijn geen specifieke eisen gesteld aan bomen. Dit betekent dat alle bomen in de kernzone en de invloedzone worden verwijderd. Voor vak a is het ontwerp aangepast om beeldbepalende bomen te behouden [H5].

Voor het dijkmeubilair wordt verwezen naar het achtergrond rapport Waterbouw [21].

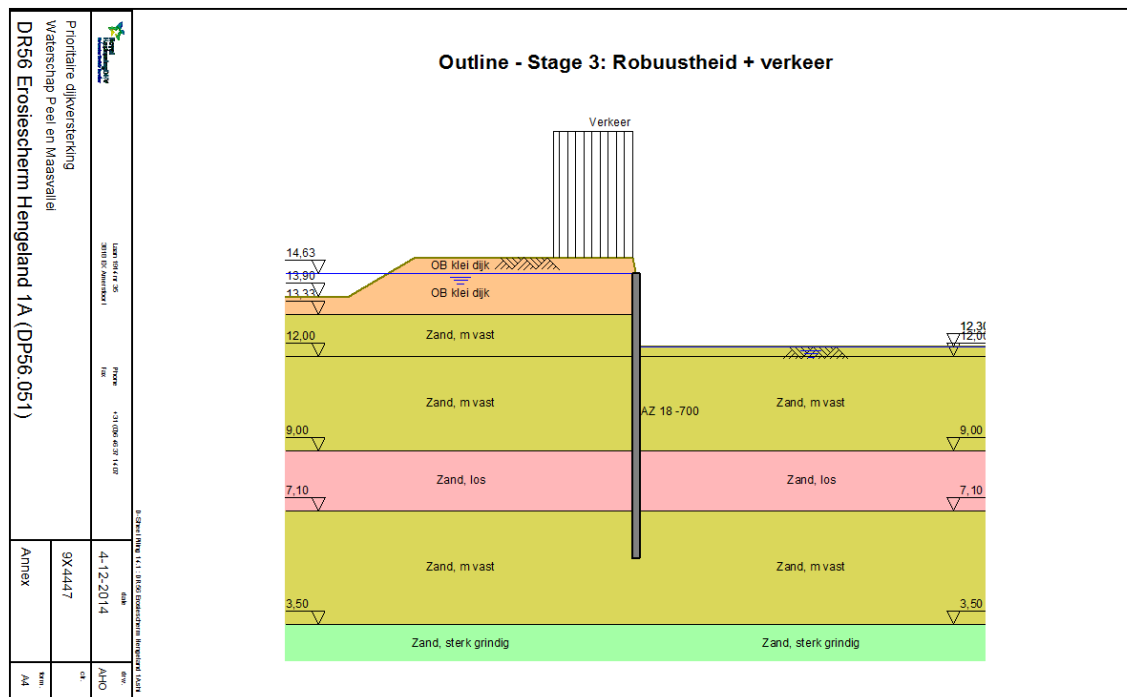
### 6.8 Inpassing ter plaatse van woningen

#### 6.8.1 Hengeland 1a (DP56.051)

In het achterland van de kering ligt hotel de Papenberg. Het hotel heeft aan de achterzijde op enige afstand van de kering een kelder met een diepte van 2,2 m. Daarnaast is in de directe omgeving van de kering een zwembad aanwezig met een diepte van 2 m. Een erosiescherm is benodigd om bij falen van de kelder en/of het zwembad het waterkerend vermogen van de aangrenzende dijk te garanderen. Maatgevend voor de dimensies van het erosiescherm is het zwembad vanwege de korte afstand tot de dijk.

Representatieve sondering is DR56-SO08 [26]. Omdat het erosiescherm onderdeel is van de primaire waterkering, is de wand ingedeeld in RC3 (betrouwbaarheidsindex  $\beta=4,3$ ). De maatgevende situatie voor een erosiescherm aan de binnenzijde is hoog water. In verband met een levensduur van 100 jaar en de robuustheidstoelag is in het ontwerp van het erosiescherm rekening gehouden met een kruiniveau van

MHW +1,0 m en een corrosietoeslag van 4,4 mm [18]. Op de kruin is een verkeersbelasting van 13,3 kN/m<sup>2</sup> gemodelleerd over een breedte van 2,5 m. De maatgevende situatie is weergegeven in het onderstaand figuur.



Figuur 6-1 Maatgevende situatie voor het ontwerp van het erosiescherm bij DP56.051

De samenvatting van de resultaten van de ontwerpberekening zijn weergegeven in onderstaande tabel. Voor het berekeningsrapport wordt verwezen naar bijlage 9.

Tabel 6-2: Samenvatting ontwerp erosiescherm DP56.051

Damwand	Staal	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Lengte [m]	M <sub>r,d,100jr</sub> [kNm/m]	M <sub>s,d</sub> [kNm/m]	u <sub>x</sub> [cm]	Passief mob. [%]
AZ18-700	S355	109,3	8,5	326	300	6	70

Een AZ18-700 heeft na corrosie nog voldoende momentcapaciteit (326 kNm) om de rekenwaarde van het buigend moment (300 kNm) op te kunnen nemen.

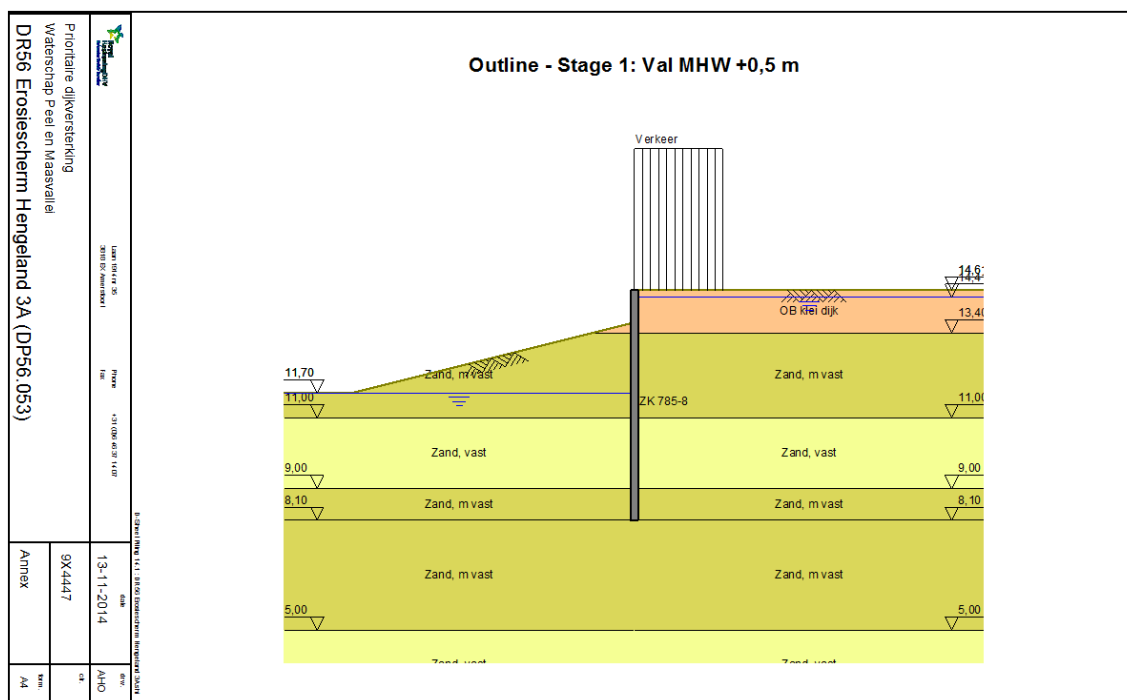
Vanwege de beperkte lengte van de damwandstrekking en de grondkerende functie bij bezwijken van het zwembad en/of de kelder, wordt de damwand als een gesloten scherm uitgevoerd.

## 6.8.2 Hengeland 3a (DP56.053)

Bij DP56.053 is een woning met stallen aanwezig aan de buitenzijde. Uit de kelderinventarisatie (bijlage 1) is gebleken dat onder de stallen gierkelders aanwezig zijn tot MV -2 m (NAP +11,7 m). In verband met de aanwezigheid van de kelder is een erosiescherm in de kruin voorzien. Dit erosiescherm wordt op ca. 8 m vanaf de stallen geplaatst.

De bodem bestaat uit matig vast tot vastgepakt zand (zie sondering 56B-S01 uit [26]). Vanwege de vaste pakking van het zand is uitgegaan van een restprofiel met een 1:4 talud vanaf rand kelder tot erosiescherm.

In verband met een levensduur van 100 jaar en de robuustheidstoets is in het ontwerp van het erosiescherm rekening gehouden met een kruiniveau van MHW +1,0 m en een corrosietoets van 4,4 mm [18]. Op de kruin is een verkeersbelasting van 13,3 kN/m<sup>2</sup> gemodelleerd over een breedte van 2,5 m. De val van de buitenwaterstand bedraagt 3,31 m (van NAP +15,11 m, naar NAP +11,8 m) [21].



Figuur 6-2 Maatgevende situatie voor het ontwerp van het erosiescherm bij DP56.053

De samenvatting van de resultaten van de ontwerpberekening zijn weergegeven in onderstaande tabel. Voor het berekeningsrapport wordt verwezen naar bijlage 9.

Tabel 6-3: Samenvatting ontwerp erosiescherm DP56.053

Damwand	Staal	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Lengte [m]	$M_{r,d,100jr}$ [kNm/m]	$M_{s,d}$ [kNm/m]	$u_x$ [cm]	Passief mob. [%]
ZK 785-8	S240	84,8	6,5	103	78	2	86

Een ZK 785-8 (koud gewalst) heeft na corrosie nog voldoende momentcapaciteit (103 kNm) om de rekenwaarde van het buigend moment (78 kNm) op te kunnen nemen. Om een dergelijk licht damwandprofiel in deze ondergrond te installeren zijn maatregelen zoals voorboren nodig.

Vanwege de beperkte lengte van de damwandstrekking, de grondkerende functie bij bezwijken van de kelder en omdat het erf afwatert richting het lager gelegen voorland, wordt de damwand als een gesloten scherm uitgevoerd.

### 6.8.3 Hengeland 5 (DP56.053)

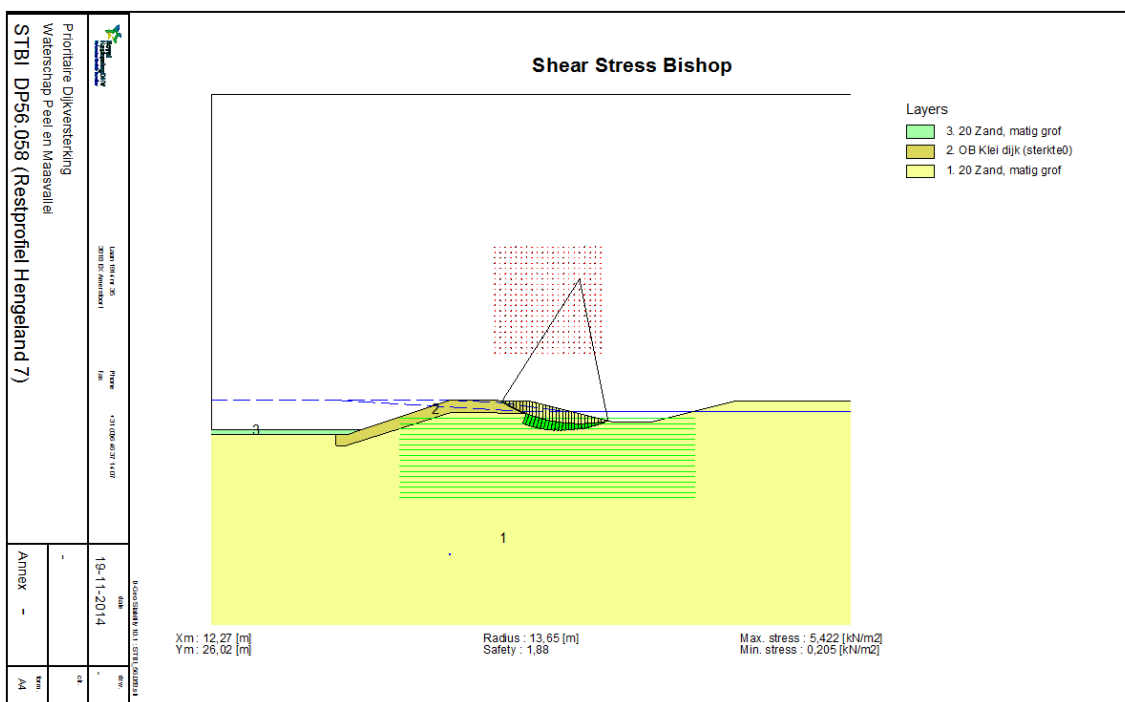
Onder de woning is aan de voorzijde een relatief kleine kelder aanwezig van 2 m x 4 m met een diepte van 1,6 m. De rand van de kelder bevindt zich op 7,5 m vanaf de kadastrale grens. De kadastrale grens vormt de begrenzing van de kleiingraving voor de dijkverbetering.

Het maaiveld rondom de woning ligt op NAP +14,4 m. Dit betekent dat de keldervloer op NAP +12,8 m ligt. De bodem bestaat uit matig vast tot vastgepakt zand (zie sondering 56B-S01 uit [25]). Vanwege de vaste pakking van het zand is uitgegaan van een restprofiel met een 1:4 talud vanaf rand kelder. Dit betekent dat bij het ontstaan van een restprofiel bij eventueel bezwijken van de kelder, de insteek van dit restprofiel zich op 1 m vanaf de kleiengraving bevindt. De aanwezigheid van de kelder vormt derhalve geen bedreiging voor de kleiengraving van de waterkering.

### 6.8.4 Hengeland 7 (DP56.058)

Het lokale achterland ligt hoog, ca. 10 cm onder de kruin. In het achterland is op ca. 11 m van de teen/kruin van de dijk een woning met schuren aanwezig. Aan de voorzijde van de woning is een kelder met beperkte omvang (3,5 m x 2 m) aanwezig met een diepte van 2 m ten opzichte van maaiveld. Bij bezwijken van de kelder is, vanwege de pakking van het zand, uitgegaan van een 1:4 talud vanaf de bodem van de kelder.

De insteek van het restprofiel met een talud van 1:4 bevindt zich dus op ca. 3 m vanaf de binnenkruinlijn (net op de rand van de kleiengraving).



**Figuur 6-3 Stabiliteitsanalyse STBI restprofiel DP56.058 (SF=1,88>1,10)**

Het maatgevende glijvlak ligt ondiep waardoor het uittredepunt zich op korte afstand van de binnenteen bevindt. De aanwezigheid van de kelder heeft invloed op de stabiliteit van de waterkering. Maar de stabiliteitsfactor is, ook na het ontstaan van een restprofiel, ruim voldoende.

## 7 DO GROENE KERINGEN DR59

### 7.1 Zandmeevoerende wellen (STPH)

#### **Voorlandverbetering**

In tegenstelling tot de voorgaande dijkringen ligt het achterland in dijkkring 59 relatief laag. Voor alle ingemeten dwarsprofielen [29] is de benodigde kwelweglengte berekend met de formule van Sellmeijer. Deze lengte is daarna afgerond op hele meters. Om een vloeiend verloop in de voorlandverbetering te krijgen zijn lokale minima uitgevlakt door de maximale waarden voor de benodigde kwelweglengte op basis van beide aangrenzende profielen inrekening te brengen. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in bijlage 3.

Na het berekenen van de benodigde kwelweglengte is deze lengte uitgezet in buitendijkse richting vanaf het uittredepunt. Het uittredepunt is gelijk gesteld aan het einde van de binnendijkse kleiingraving van 2,5 m. Het eventuele tekort aan kwelweglengte wordt aangevuld met een voorlandverbetering.

#### **Kwelschermen**

Op twee locaties is een kwelscherm aan de binnenzijde van de kering voorzien vanwege beperkte ruimte in het voorland:

- DP59.058-59.060 in verband met de Aijense beek in het voorland
- DP59.063-59.065 in verband met het evenemententerrein (beton) in het voorland

De kenmerken van beide strekkingen zijn kort samengevat in de onderstaande tabel.

**Tabel 7-1: Kenmerken kwelschermstrekkingen DR59**

Parameter	DP59.058 t/m 060	DP59.063 t/m 065
Maatgevend hoog water (MHW)	NAP +14,95 m	NAP +14,89 m
Ontwerphoogte (MHW + 1 m)	NAP +15,95 m	NAP +15,89 m
Maatgevend binnendijks maaiveldhoogte	NAP +13,30 m	NAP +13,10 m
Verval	2,65 m	2,79 m
Onderkant kleikern	NAP +12,50 m (boring 59D-MB01)	NAP +12,50 m (boring 59D-MB09)

De benodigde lengte van het kwelscherm is berekend met behulp van de formule van Lane [13]. Met de formule wordt aan de hand van de aanwezig horizontale kwelweglengte en het verval een benodigde verticale lengte worden berekend. De formule is onderstaand weergegeven.

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{(\frac{1}{3}L_h + L_v)}{C_{w,creep}}$$

In de formule is er een  $C_{w,creep}$  factor van 7 aangehouden; behorend bij een pipinggevoelige grondlaag van matig fijn zand [26].

Voor zowel traject DP59.058-060 als DP59.063-065 bedraagt horizontale kwelweglengte ca. 20 m (afstand tussen begin buitendijkse kleibekleding en kwelscherm). In onderstaande tabel zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

**Tabel 7-2: Berekeningsresultaten – lengte van het scherm**

Parameter	Symbool	DP59.058-060	DP59.063-065	Eenheid
Teen niveau scherm	-	+7,0	+6,5	m NAP
Lengte scherm	$L_{\text{scherm}}$	7,0	7,5	m
Kritiek verval <sup>1</sup>	$\Delta H_c$	2,70	2,84	m
Aanwezig verval	$\Delta H$	2,65	2,79	m
Vershil tussen kritiek en aanwezig verval	$\Delta H_c - \Delta H$	0,045	0,048	m
Minimale lengte kwelscherm in zand	$L_{\text{min}}$	5,34 → 5,5	5,83 → 6,0	m
Unity check ( $\Delta H_c / \Delta H$ )	-	1,02	1,02	[-]
Voldoet de voorgestelde lengte? <sup>2</sup>	-	ja	ja	[-]
1) verval waarover net geen piping kan optreden				
2) het ontwerp voldoet als unity check > 1				

Om het mechanisme piping effectief tegen te gaan dient het kwelscherm aan de binnenzijde van de waterkering geplaatst te worden. Door de aanwezigheid van een kwelscherm zal er voor het scherm waterdruk opbouwen tegen de onderkant van de kleibekleding. Hierdoor kan de kleibekleding mogelijk opdrukken.

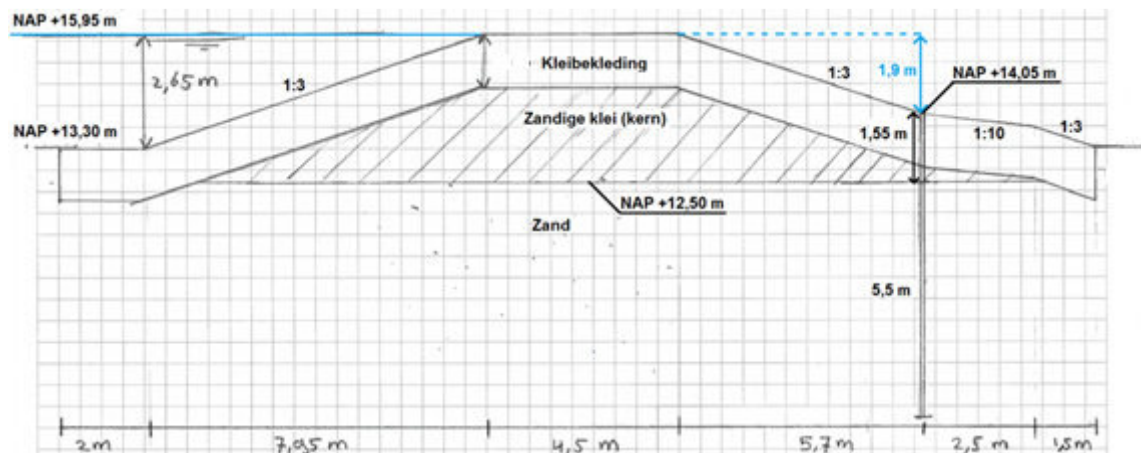
In onderstaande tabel is de locatie van het kwelscherm weergegeven op basis van het mechanisme opbarsten. In bijlage 3 is de volledige berekening van zowel het mechanisme opdrukken als afschuiven weergegeven.

**Tabel 7-3: Berekeningsresultaten – locatie van het scherm / opbarsten kleilaag**

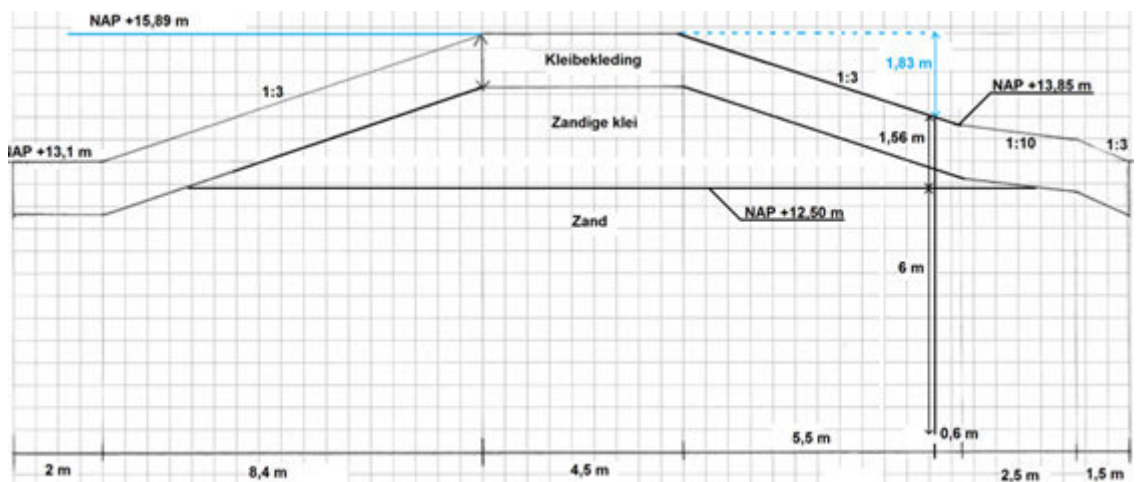
Parameter	Symbool	DP59.058-060	DP59.063-065	Eenheid
Locatie kwelscherm t.o.v. binnenkruin	-	5,7	5,5	m
Dikte van de kleilaag tpv kwelscherm	d	1,55	1,56	m
Stijghoogte op laagste punt vanaf bovenkant kleibekleding	$\Delta h$	1,90	1,83	m
Weerstand kleilaag	R	51	50	kN/m
Opwaartse kracht tegen de deklaag	F	50	47	kN/m
Unity check (R/F)	-	1,02	1,07	[-]
Voldoet de voorgestelde lengte? <sup>1</sup>	-	ja	ja	[-]
1) het ontwerp voldoet als unity check > 1				

In hierop volgende figuren is een schets van het ontwerp voor beide trajecten weergegeven.





Figuur 7-1 Schets kwelschermontwerp DP59.058-59.060



Figuur 7-2 Schets kwelschermontwerp DP59.063-065

## 7.2 Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)

In het grootste deel van de dijkring 59 bestaat de ondergrond hoofdzakelijk uit granulair materiaal (zand en grind) en de hoogte van het binnentalud (inc. hoogte berm) is veelal kleiner dan 3 m. De eerder beschreven basisberekeningen (par 4.2) zijn toepasbaar voor een groot deel van de dijkring. Uitzonderingen hierop zijn de volgende zes dijkstrekkingen:

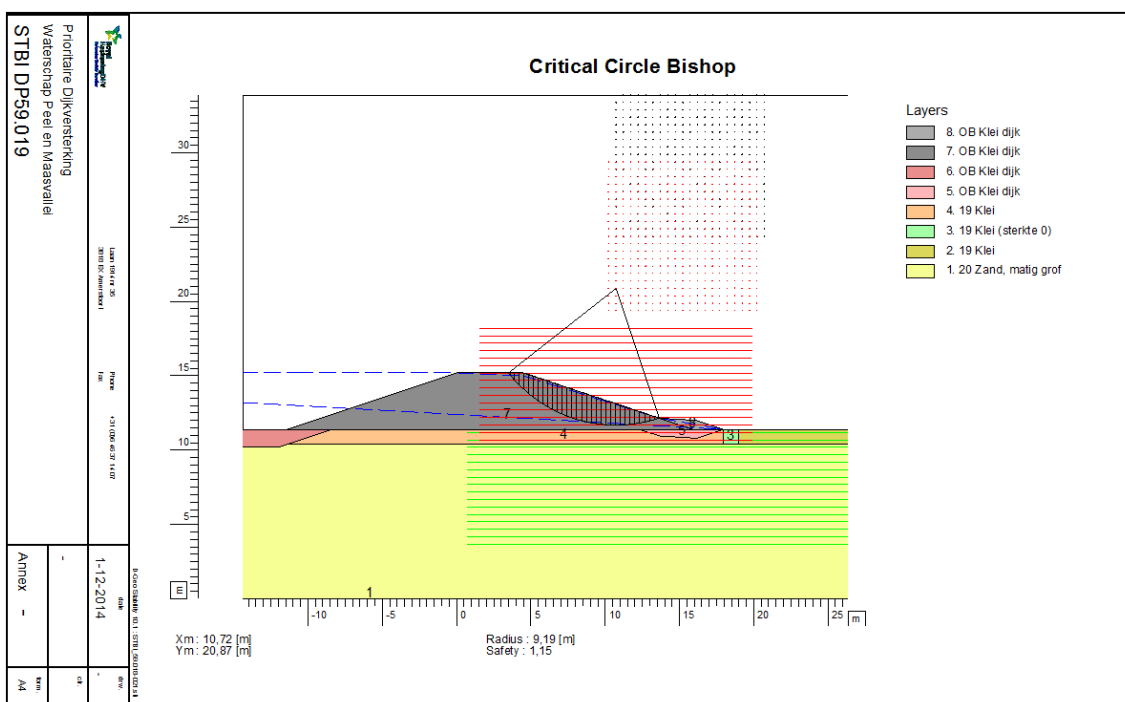
- DP59.018-59.021; ca. 1 m klei in het achterland; hoogte ca. 3,8 m
- DP59.033-59.035; ca. 2 m klei in het achterland; hoogte ca. 2,9 m
- DP59.045-59.047; ca. 2 m klei in het achterland; hoogte ca. 2,0 m
- DP59.054-59.055; ca. 1,5 m klei in het achterland; hoogte ca. 2,2 m
- DP59.058-59.059; ca. 1,5 m klei in het achterland; hoogte ca. 2,5 m
- DP59.063-59.064; ca. 1,5 m klei in het achterland; hoogte ca. 2,0 m

In vergelijking met de andere te versterken trajecten komen in deze strekkingen meer en dikkere kleilagen voor in het achterland. Deze locaties zijn geïdentificeerd aan de hand van een kleidikte onderzoek op basis van geotechnische [26], milieukundige [27] en archeologische gegevens [28]. Na identificatie is aanvullend booronderzoek uitgevoerd om te bepalen of het doorgaande kleilagen betreffen waaronder een verhoogde potentiaal opgebouwd kan worden. Het onderzoek is opgenomen in bijlage 2. Voor de zes

genoemde strekkingen zijn aanvullende stabiliteitsanalyses uitgevoerd. De resultaten zijn hieronder per locatie beschreven.

**DP59.018-59.021**

In deze strekking wordt een nieuwe kering aangelegd. Vanwege de beperkte dikte van de deklaag kan een verhoogde potentiaal niet worden opgebouwd. In de stabiliteitsanalyse is ter plaatse van de binnenteen een zone zonder sterkte gemodelleerd. Dit is een conservatieve aanname.

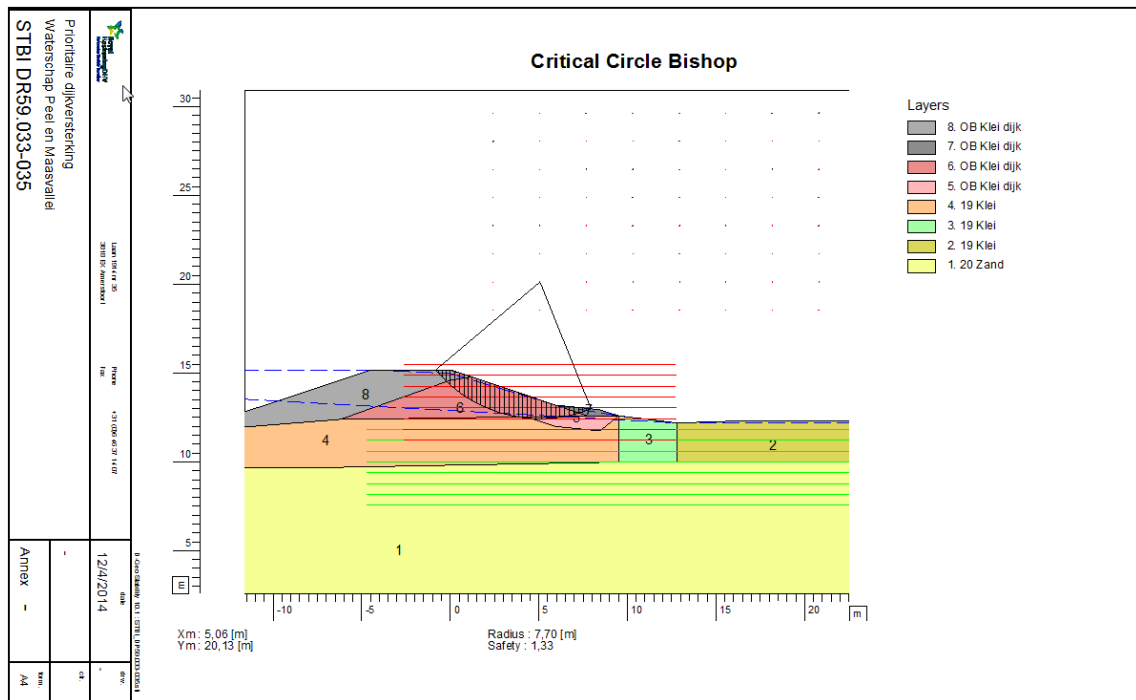


**Figuur 7-3 Stabiliteitsanalyse STBI DP59.019 (SF=1,15>1,10)**

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,15, waarmee voldaan wordt aan de eis. Het basisontwerp met taluds 1:3 en een verhoogde onderhoudstrook / stabiliteitsberm voldoet ook in deze strekking.

**DP59.033-59.035**

In deze strekking is in november 2014 aanvullend grondonderzoek (bijlage 2) uitgevoerd om na te gaan of de aanwezige deklaag in het achterland een doorgaande laag betreft waaronder een verhoogde potentiaal opgebouwd kan worden. De boringen W30-12 tot en met W30-15 zijn representatief voor deze strekking. De boringen tonen aan dat de kleilagen niet constant zijn waardoor een verhoogde potentiaal niet worden opgebouwd. In de stabiliteitsanalyse is ter plaatse van de binnenteen een zone zonder sterkte gemodelleerd. Dit is een conservatieve aanname.



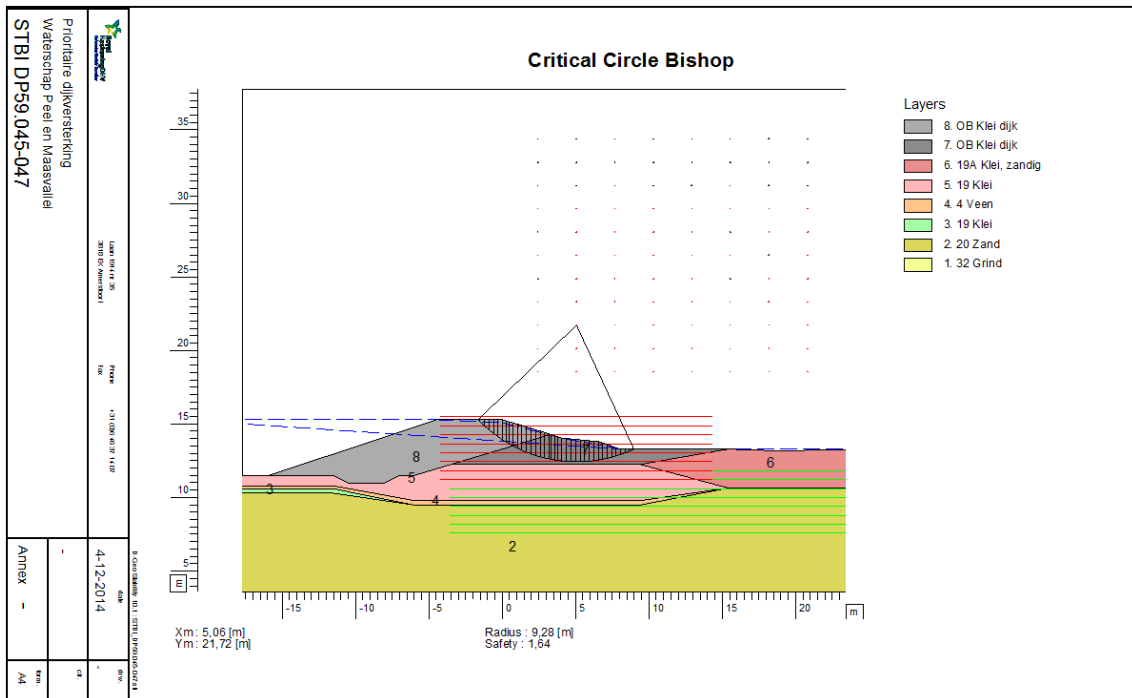
**Figuur 7-4 Stabiliteitsanalyse STBI DP59.033-59.035 (SF=1,33>1,10)**

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,33. Hiermee wordt ruim voldaan aan de eis van 1,1. Het basisontwerp met taluds 1:3 en een verhoogde onderhoudsstrook / stabiliteitsberm voldoet ook in deze strekking.

**DP59.045-59.047**

Net als in de hierboven beschreven strekking is ook tussen DP59.045 en DP59.047 aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. De boringen W30-01 tot en met W30-04 zijn representatief voor deze strekking. De boringen tonen aan dat de kleilagen niet constant zijn, waardoor een verhoogde potentiaal niet kan worden opgebouwd.

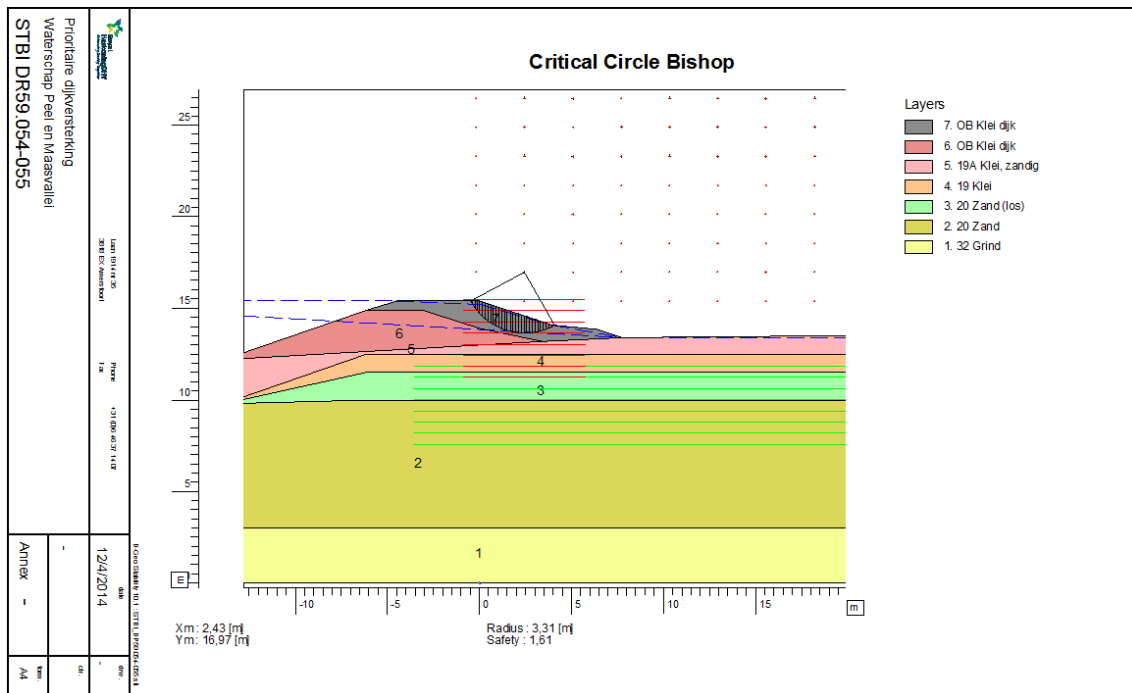
Figuur 7-5 laat de resultaten van de stabiliteitsanalyse zien. De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,64. Hiermee wordt ruim voldaan aan de eis van 1,1. Het basisontwerp met taluds 1:3 en een verhoogde onderhoudsstrook / stabiliteitsberm voldoet ook in deze strekking. In bijlage 4 is het berekeningsrapport opgenomen.



Figuur 7-5 Stabiliteitsanalyse STBI DP59.045-59.047 (SF=1,64>1,10)

**DP59.054-59.055**

Het aanvullende onderzoek (W30-05 tot W30-07) toont aan dat de deklaag onderbroken is, waardoor een verhoogde potentiaal niet kan optreden. Figuur 7-6 laat het resultaat van de stabiliteitsanalyse zien.

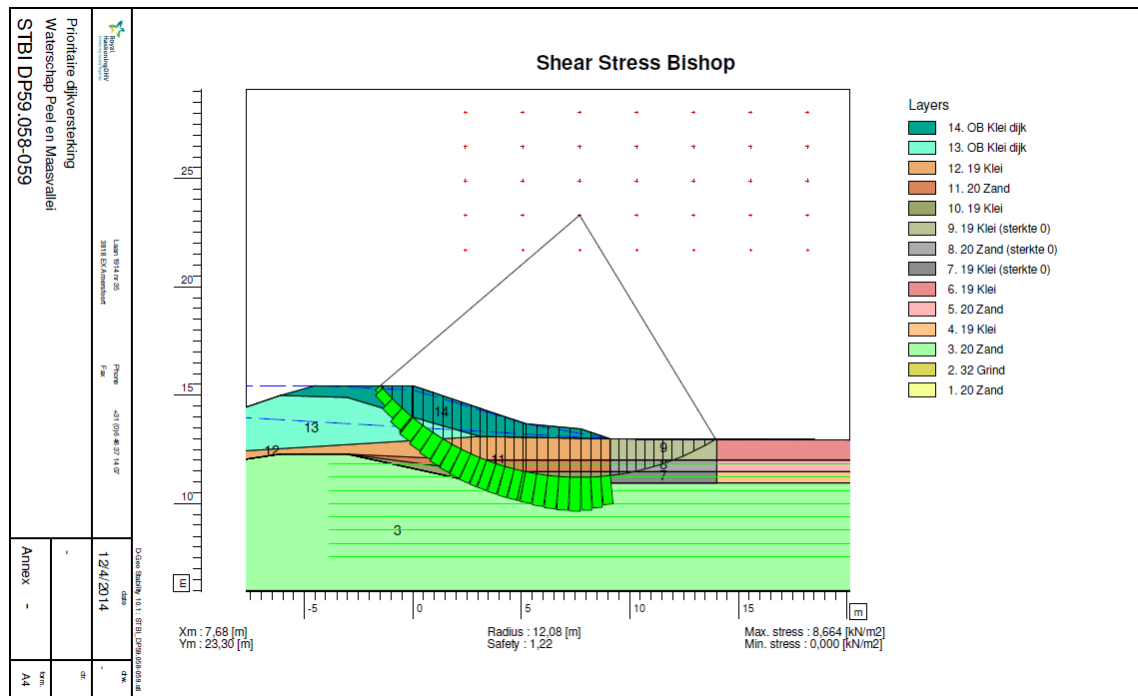


Figuur 7-6 Stabiliteitsanalyse STBI DP59.054-59.055 (SF=1,61>1,10)

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,61. Hiermee wordt ruim voldaan aan de eis van 1,1. Het basisontwerp met taluds 1:3 en een verhoogde onderhoudsstrook / stabiliteitsberm voldoet ook in deze strekking. In bijlage 4 is het berekeningsrapport opgenomen.

**DP59.058-59.059**

In deze strekking zijn twee aanvullende handboringen uitgevoerd om de consistentie van de deklaag in het achterland in beeld te brengen: W30-08 en W30-09. De boringen geven een verschillend beeld; boring 9 is kleiiger dan boring 8. Vanwege het ontbreken van een deklaag in boring W30-08 zal er geen verhoogde potentiaal opgebouwd kunnen worden onder de deklaag. In de stabiliteitsanalyse is ter plaatse van de binnenteen een zone zonder sterkte gemodelleerd. Dit is een conservatieve aanname. Figuur 7-7 laat het resultaat van de stabiliteitsanalyse zien.

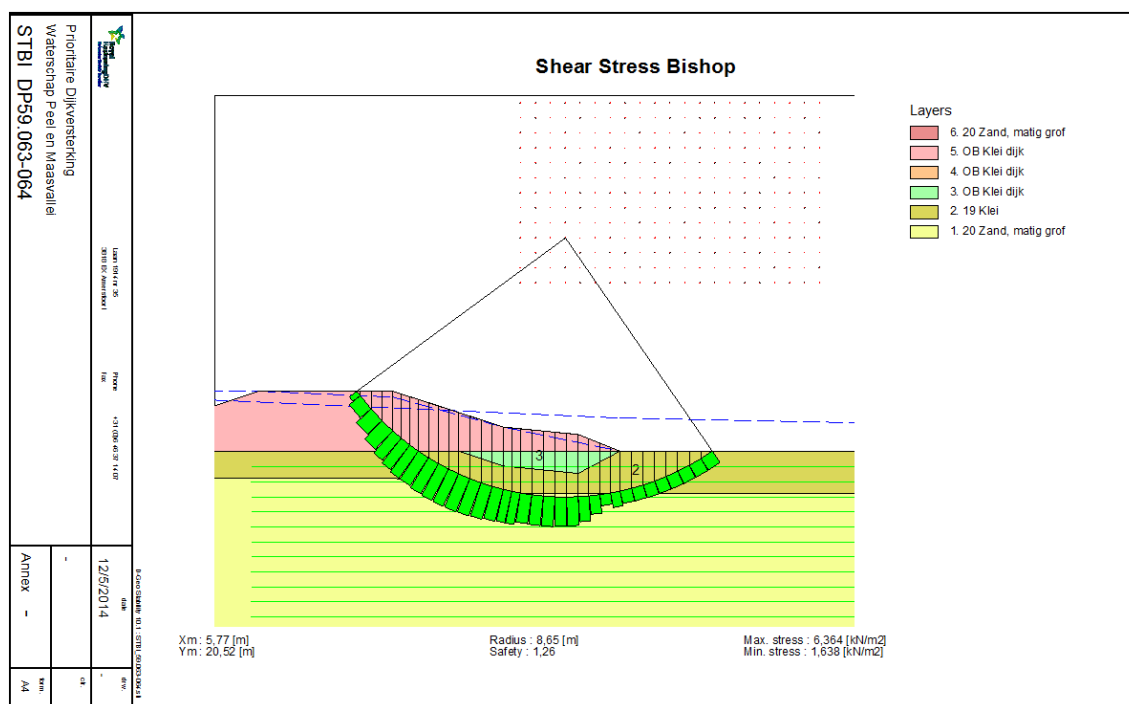


**Figuur 7-7 Stabiliteitsanalyse STBI DP59.058-59.059 (SF=1,22>1,10)**

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,22. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 1,1. Het basisontwerp met taluds 1:3 en een verhoogde onderhoudsstrook / stabiliteitsberm voldoet ook in deze strekking. In bijlage 4 is het berekeningsrapport opgenomen.

**DP59.063-59.064**

In tegenstelling tot de voorgaande strekkingen kan op basis van het aanvullende kleidikte onderzoek (bijlage 2) niet worden uitgesloten dat het hier een doorgaande deklaag betreft. Hierom is in de stabiliteitsberekening ter plaatse van de teen uitgegaan van een stijghoogte in het zand gelijk aan de grenspotentiaal. In de stabiliteitsanalyse is de aanwezigheid van het kwelscherm niet gemodelleerd omdat het kwelscherm geen constructieve functie heeft. Dit is een conservatieve aanname. Figuur 7-8 laat de uitkomsten van stabiliteitsanalyse zien.



Figuur 7-8 Stabiliteitsanalyse STBI DP59.063-59.064 (SF=1,26>1,10)

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,26. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 1,1. Het basisontwerp met taluds 1:3 en een verhoogde onderhoudsstrook / stabiliteitsberm voldoet ook in deze strekking. In bijlage 4 is het berekeningsrapport opgenomen.

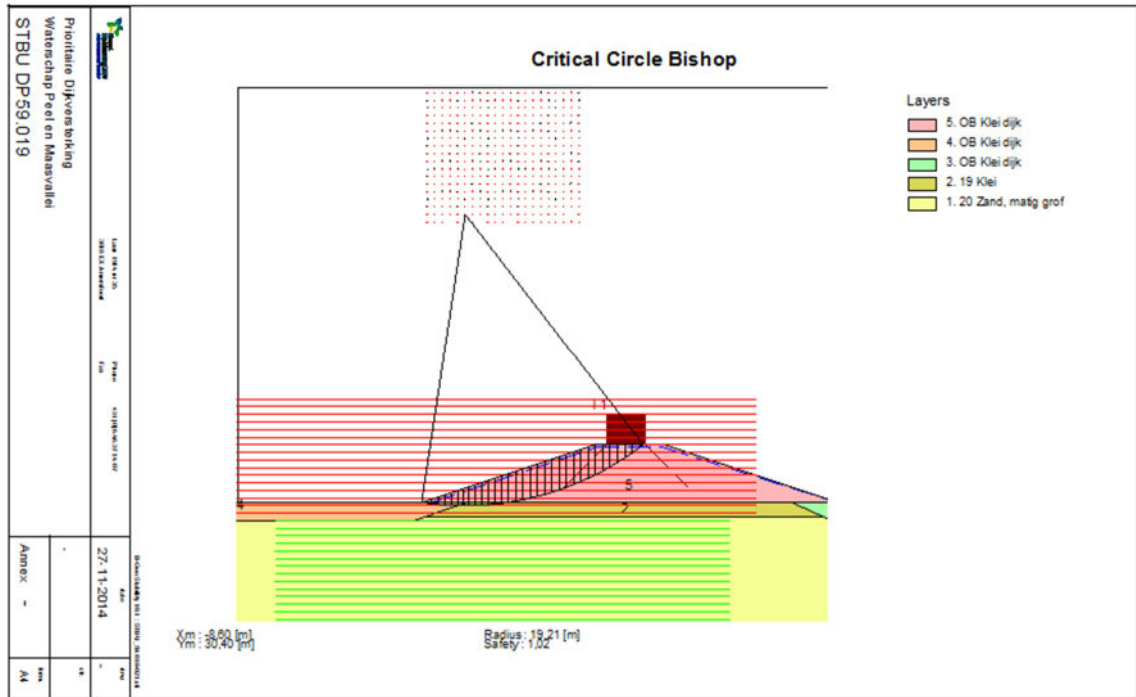
### 7.3 Macro stabiliteit Buitenwaarts (STBU)

Het ontwerp van grote delen van het buitentalud van dijkkring 59 wordt ondervangen door de basisberekeningen zoals beschreven in par. 4.3. De bodemopbouw in het voorland en/of de hoogte van het buitentalud wijken echter ook op veel plaatsen af van de situatie in dijkkring 54 en 56. Met name aan de oostzijde van dijkkring 59 is in het voorland klei en veen aangetroffen. Op de volgende locaties is een cohesieve deklaag aanwezig in het voorland en / of is het buitentalud hoger dan 3 m:

- DP59.018-59.021; ca. 1 m klei in het voorland; hoogte ca. 3,8 m
- DP59.022-59.023; 1,5 à 2,0 m klei in het voorland; hoogte ca. 3,3 m
- DP59.029-59.035; ca. 1,3 m klei; hoogte ca. 3,3 m
- DP59.035-59.039; ca. 2,0 m klei en veen in het voorland; hoogte max. 3,9 m
- DP59.039-59.043; ca. 1,3 m klei; hoogte ca. 3,3 m
- DP59.043-59.048; ca. 1,5 m klei en veen in het voorland; hoogte max. 4 m
- DP59.054-59.059; 1,5 m klei en veen in het voorland; hoogte max. 4 m

#### DP59.018-59.021

In deze strekking wordt een nieuwe kering aangelegd op maagdelijk terrein. De aanwezige deklaag bestaat uit klei en heeft een dikte van ca. 1 m. Het huidige maaiveld ligt op ca. NAP +11,4 m. De kruin van de kering komt op NAP +15,2 m. Omdat de kerende hoogte groter is dan 3 m is een aanvullende berekening gemaakt. Het onderstaand figuur laat de resultaten van de betreffende stabiliteitsanalyse zien.

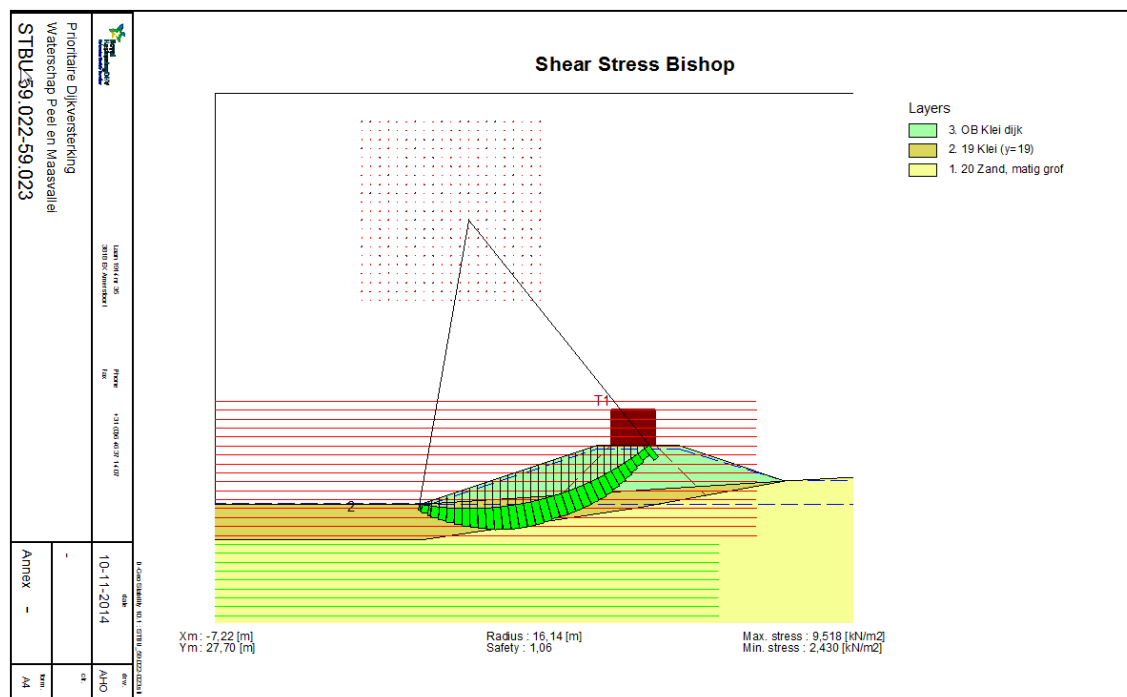


**Figuur 7-9 Stabiliteitsanalyse STBU DP59.018-59.021 (SF=1,02)**

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,02. Hiermee wordt precies voldaan aan de eis. Een 1:3 buitentalud met kleibekleding voldoet in deze strekking.

**DP59.022-59.023**

De boringen in het voorland geven een 1,5 à 2,0 m dikke siltige / zandige kleilaag weer. De huidige dijk bestaat uit zandige klei. Het voorland ligt op ca. NAP +11,8 m. De kruin van de kering wordt verhoogd naar NAP +15,11 m, waardoor de hoogte van het buitentalud ca. 3,3 m bedraagt. Omdat de kerende hoogte groter is dan 3 m is een aanvullende berekening gemaakt. Het onderstaand figuur laat de resultaten van de betreffende stabiliteitsanalyse zien.



**Figuur 7-10 Stabiliteitsanalyse STBU DP59.022-59.023 (SF=1,06>1,02)**

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,06. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 1,02. Een 1:3 buitentalud met kleibekleding voldoet ook in deze strekking.

**DP59.029-59.035**

Profiel 318 van de metingen van Kempkens is maatgevend voor deze strekking. Het voorland ligt op NAP +11,8 m en de toekomstige kruin op NAP +15,15 m, hoogte dus circa 3,3 m. De deklaag bestaat uit klei en heeft een dikte van maximaal 1,3 m (zie milieukundige boring 112 van het archeologisch onderzoek [28]). Op basis van de resultaten van voorgaande strekking (59.022-59.033) voldoet een 1:3 buitentalud met kleibekleding in deze strekking aan de stabiliteitseis.

**DP59.035-59.039**

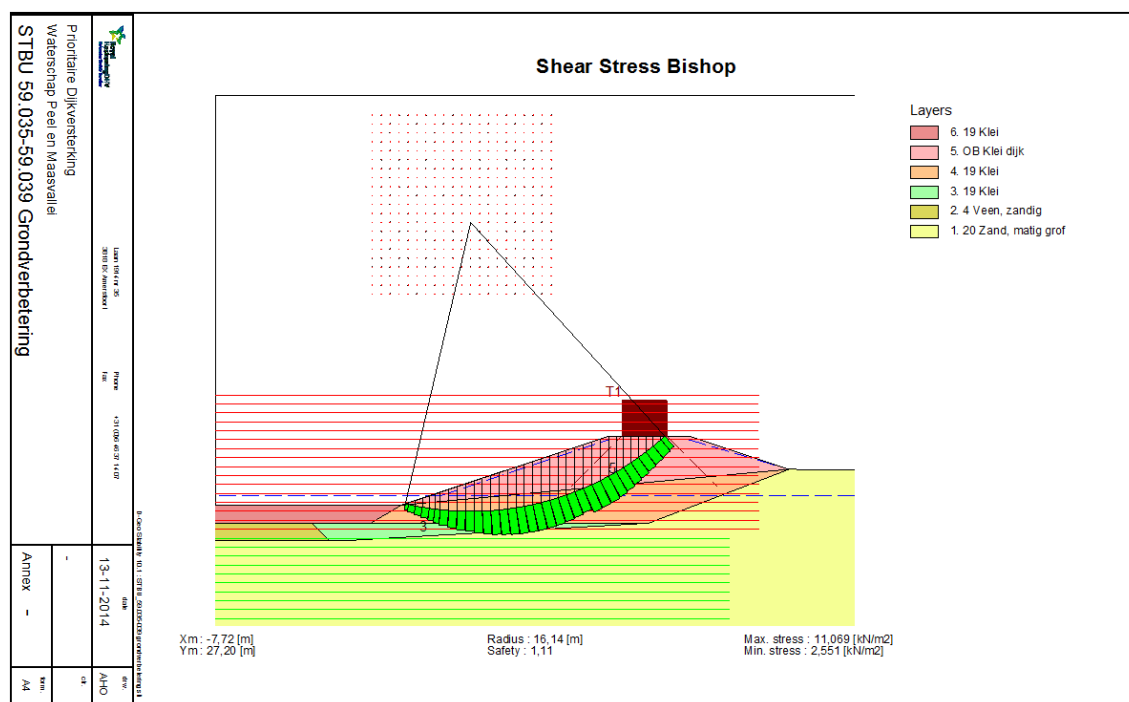
Boringen in het voorland laten de aanwezigheid van (zandig) veen zien. Boring 1040 is maatgevend met betrekking tot de dikte van het veen in het voorland. Het voorland ligt op ca. NAP +11,4 m en de toekomstige kruin op NAP +15,26 m, hoogte dus circa 3,9 m. Hierdoor sluiten de basisberekeningen uit par 4.3 en bijlage 5 niet aan bij de lokale situatie. Uit de stabiliteitsanalyse blijkt dat een 1:3 talud bij val van de buitenwaterstand niet voldoet in deze strekking door de aanwezigheid van het veen (SF=0,92<1,02); zie bijlage 5.



Verskillende stabiliteitsverhogende maatregelen zijn denkbaar zoals een steunberm, taludverflauwing of grondverbetering. Gekozen is voor grondverbetering om de volgende redenen:

- Het veen zit tot 2 m onder maaiveld. Voor het aanbrengen van de voorlandverbetering dient al ontgraven te worden tot MV -1,5 m. Voor de grondverbetering dient dus slechts 0,5 m extra ontgraven te worden ten opzichte van de voorlandverbetering.
- Het vervangen van het aanwezige veen door klei is voldoende. Aan de klei voor de grondverbetering worden geen specifieke eisen gesteld. Er is voldoende uitkomende grond (C3 klei) beschikbaar binnen het project.
- Glijvlakken liggen relatief ondiep waardoor de grondverbetering in omvang beperkt blijft tot een smalle strook voor de buitenteen.
- In tegenstelling tot de andere twee opties blijft het definitieve ruimtebeslag gelijk aan het VO. (De andere twee opties betekenen een buitenwaartse verschuiving)
- Reductie van zettingen en wateroverspanningen aan het begin van de strekking omdat daar een buitenwaartse dijkverlegging is voorzien.

Om te voldoen aan de stabiliteitseis is een grondverbetering (MV -2 m) tot 5 m uit de buitenteen voldoende. Het onderstaand figuur geeft de stabiliteitsanalyse met grondverbetering weer.



**Figuur 7-11 Stabiliteitsanalyse STBU DP59.035-59.039 met grondverbetering (SF=1,11>1,02)**

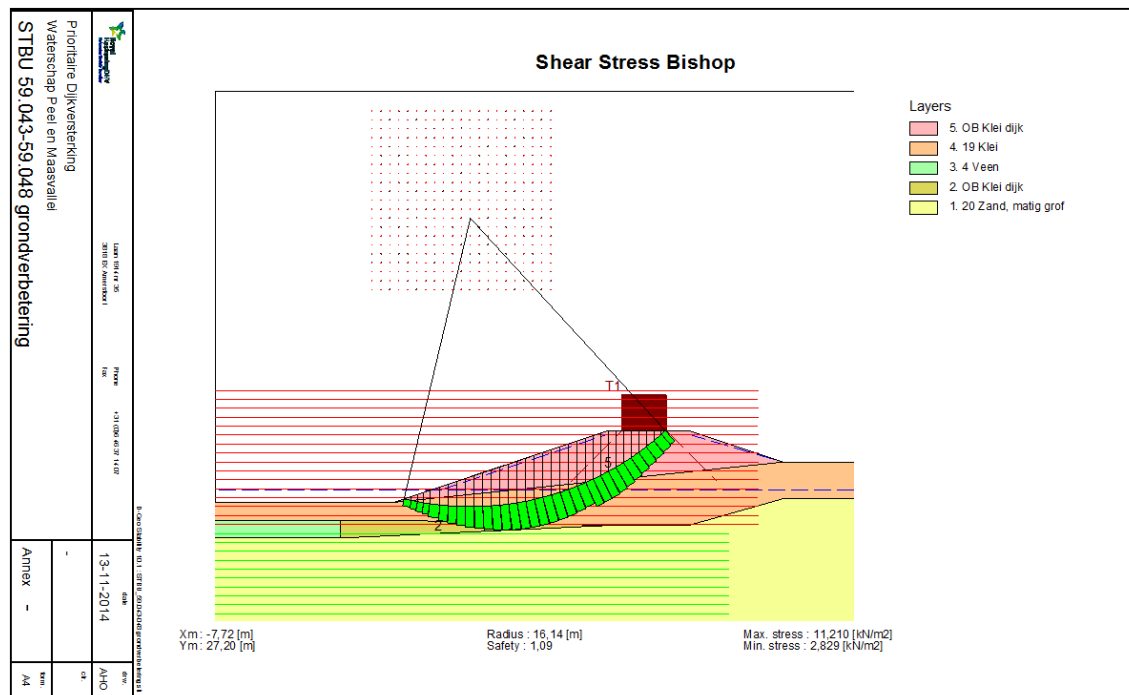
Door het toepassen van een grondverbetering bedraagt de stabiliteitsfactor 1,11, waarmee voldaan wordt aan de eis.

### DP59.039-59.043

Het toekomstige buitentalud heeft een hoogte van ca. 3,3 m. In het voorland is een deklaag van klei aangetroffen met een maximale dikte van 1,3 m [28]. Op basis van de resultaten van de strekking 59.022-59.023 voldoet een 1:3 buitentalud met kleibekleding ook in deze strekking aan de stabiliteitseis.

**DP59.043-59.048**

Net als in de strekking DP59.035-59.039 is veen aangetroffen in het voorland. Het veen in deze strekking is minder zandig, waardoor de ondergrond nog gevoeliger is. Ook in deze strekking is de stabiliteitsfactor van een 1:3 talud zonder maatregelen onvoldoende ( $SF=0,90 < 1,02$ ), zie bijlage 5. Door grondverbetering waarbij het veen over een breedte van 5 m vervangen wordt door klei, neemt de stabiliteitsfactor toe tot 1,09, waarmee voldaan wordt aan de eis.



**Figuur 7-12 Stabiliteitsanalyse STBU DP59.043-59.048 met grondverbetering ( $SF=1,09 > 1,02$ )**

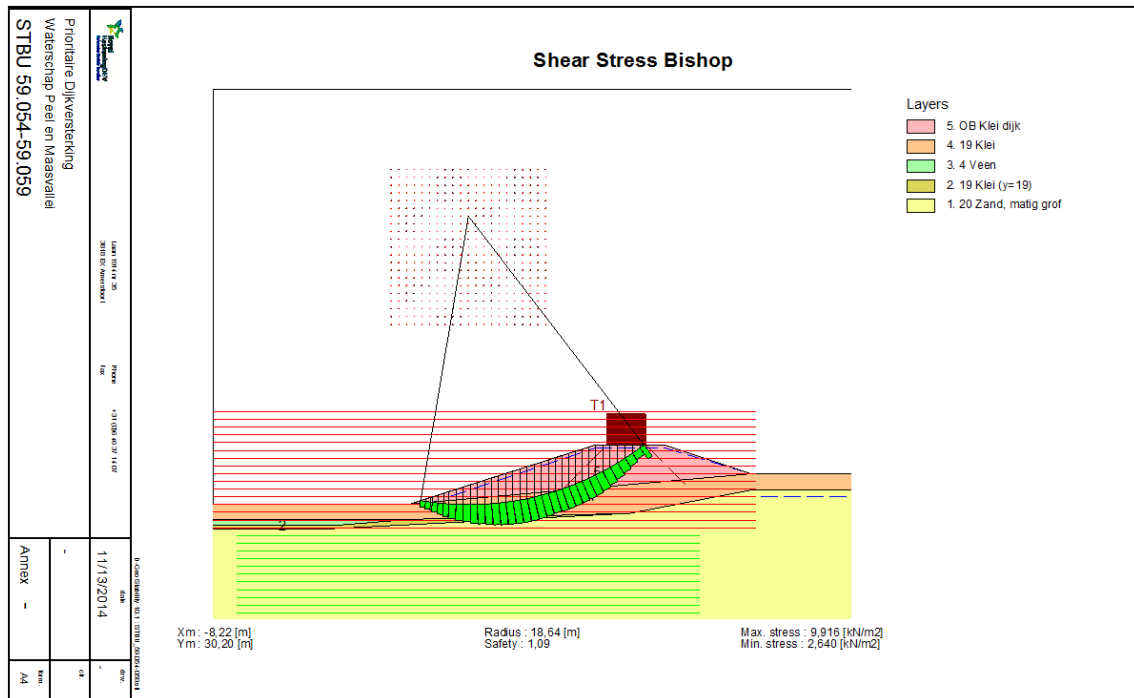
Om te voldoen aan de stabiliteitseis is een grondverbetering (MV -2 m) tot 5 m uit de buitenteen benodigd.

**DP59.048-59.054**

In deze strekking is het buitentalud ca. 3 m hoog. De kering bestaat uit klei en er is geen deklaag aanwezig in het voorland. Deze situatie komt overeen met de basisberekeningen (situatie 5, zie par 4.3 en bijlage 5). Met het oog op de resultaten van de basisberekeningen voldoet een 1:3 buitentalud met kleibekleding ook in deze strekking aan de stabiliteitseis.

**DP59.054-59.059**

Het voorland in deze strekking ligt relatief diep waardoor het buitentalud een hoogte heeft van maximaal 4 m. De kering bestaat uit klei. De deklaag in het voorland is ca.; 1,5 m dik en bestaat ook hoofdzakelijk uit klei. Lokaal komen dunne (max. 0,4 m) veenlaagjes voor. Vanwege de diepte van het voorland en de aanwezigheid van veen is profiel 233 maatgevend voor deze strekking.



Figuur 7-13 Stabiliteitsanalyse STBU DP59.054-59.059 (SF=1,09>1,02)

De berekende stabiliteitsfactor bedraagt 1,09. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 1,02. Een 1:3 buitentalud met kleibekleding voldoet in deze strekking.

#### 7.4 Microstabiliteit (STMI)

De huidige dijken in dijkkring 59 bestaan voornamelijk uit klei. Lokaal is de kern zandiger, maar kleilig genoeg om STMI te voorkomen. De versterkingen en bekledingen worden ook uitgevoerd in klei. Bij kleidijken speelt microstabiliteit (opdrukken en afschuiven van de bekleding) niet.

Het ontwerp voldoet ten aanzien van het faalmechanisme microstabiliteit.

#### 7.5 Stabiliteit voorland (STVL)

De stroomgeul ligt veelal ver van de kering waardoor instabiliteit van het voorland geen rol speelt. Op een aantal locaties ligt de stroomgeul echter dicht bij de kering. Deze locaties zijn in meer detail beschouwd in bijlage 7 ten aanzien van verwekingsgevoeligheid. De verwekingsgevoeligheid is bepaald aan de hand van de relatieve dichtheid en de dikte van het pakket. Verweking van losgepakte zandlagen is mogelijk indien de relatieve dichtheid kleiner is dan 60%. Indien de relatieve dichtheid kleiner is dan 30% is optreden van verweking waarschijnlijk [17]. De relatieve dichtheid is bepaald volgens de relatie van Baldi met sonderingen. Volgens CUR-aanbeveling 130 is voor het mogelijk optreden van zettingsvloeiing een losgepakte zandlaag nodig met een minimale dikte van 2 à 5 m.

Tabel 7-4: Samenvatting STVL toetsing DR59

Dijkpaal	Maatgevende sondering	Verwekingsgevoelig
59.003	59E-S01	Nee
59.059	59D-S01	Nee (dikte <2 m)

59.064	59D-S09	Nee (dikte <2 m)
--------	---------	------------------

Aangezien in de ondergrond geen verwekingsgevoelige lagen met significante dikte zijn aangetroffen, voldoet het ontwerp ten aanzien van het faalmechanisme stabiliteit voorland.

## 7.6 Zettingen

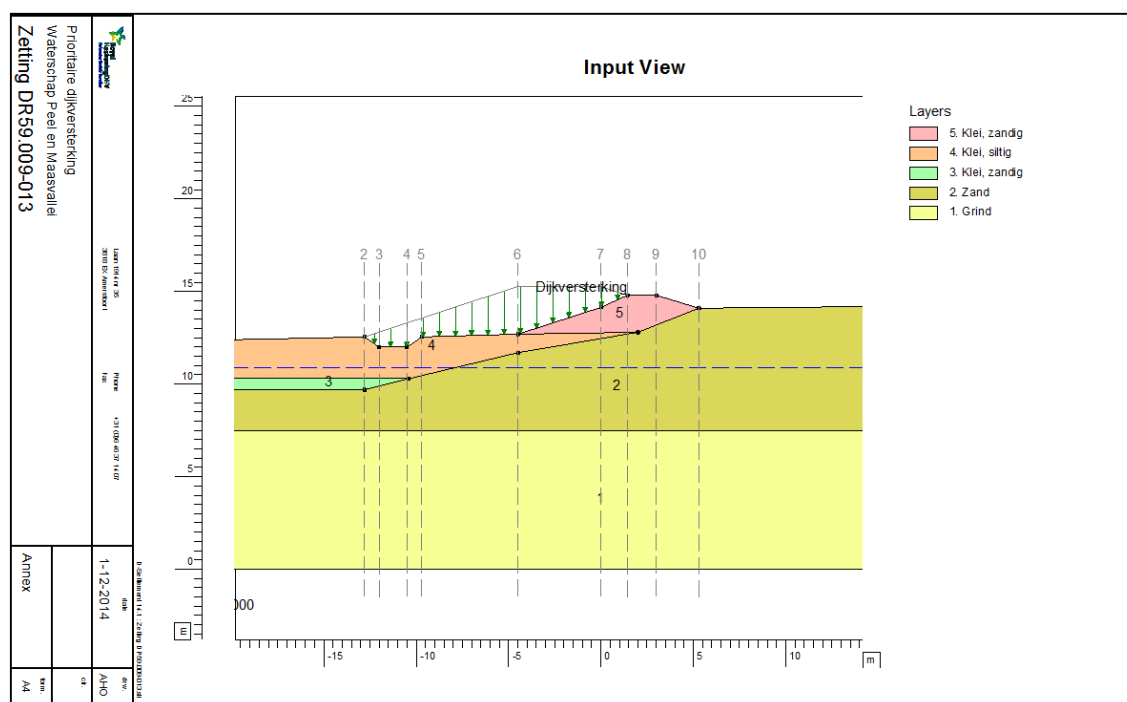
De ophogingen in het kader van de versterking van DR59 zijn veelal beperkt. De kruinhoogte van de waterkering is toegelicht in Bijlage 1 van het Achtergronddocument Waterbouw [21]. Lokaal komen zettingsgevoelige stoorlagen voor met een dikte tot ca. 3 m.

Op een aantal locaties is een ophoging groter dan 1 m voorzien en is een significante samendrukbare laag aanwezig:

- DP59.009-59.013 / 59.016-59.018; buitenwaartse versterking op lokale kleilagen in voorland
- DP59.018-59.022; nieuwe kering
- DP59.033-59.035; buitenwaartse versterking op kleilagen in het voorland
- DP59.045-59.046; buitenwaartse verplaatsing van de kering op kleiige ondergrond
- DP59.054-59.056; binnenwaartse versterking op lokale kleilagen in achterland
- DP59.058-59.059; binnenwaartse versterking op lokale kleilagen in achterland

### **DP59.009-59.013 en 59.016-59.018**

DP59.012 is maatgevend voor deze strekking omdat de buitenwaartse aanvulling daar het grootst is.



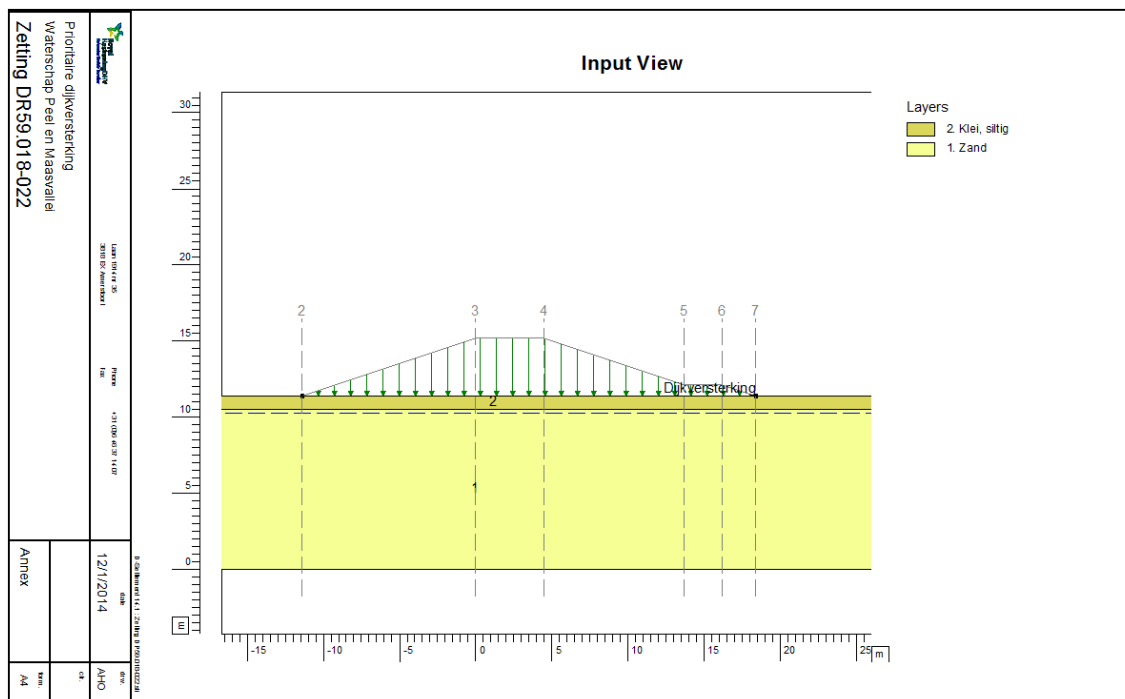
**Figuur 7-14 Geometrie maatgevend profiel DP59.012**

De verwachte zettingen bedragen 10 à 15 cm. Het verschil tussen netto en bruto ophoging (zettingscompensatie) bedraagt ca. 6% in het betreffende dwarsprofiel. Dit is een conservatieve schatting voor de gehele strekking omdat de berekening is uitgevoerd voor het maatgevende profiel binnen de strekking. Zie bijlage 8 voor het berekeningsrapport.



**DP59.018-59.022**

In deze strekking is een nieuwe dijk voorzien op een deklaag met een dikte van ca. 1 m.

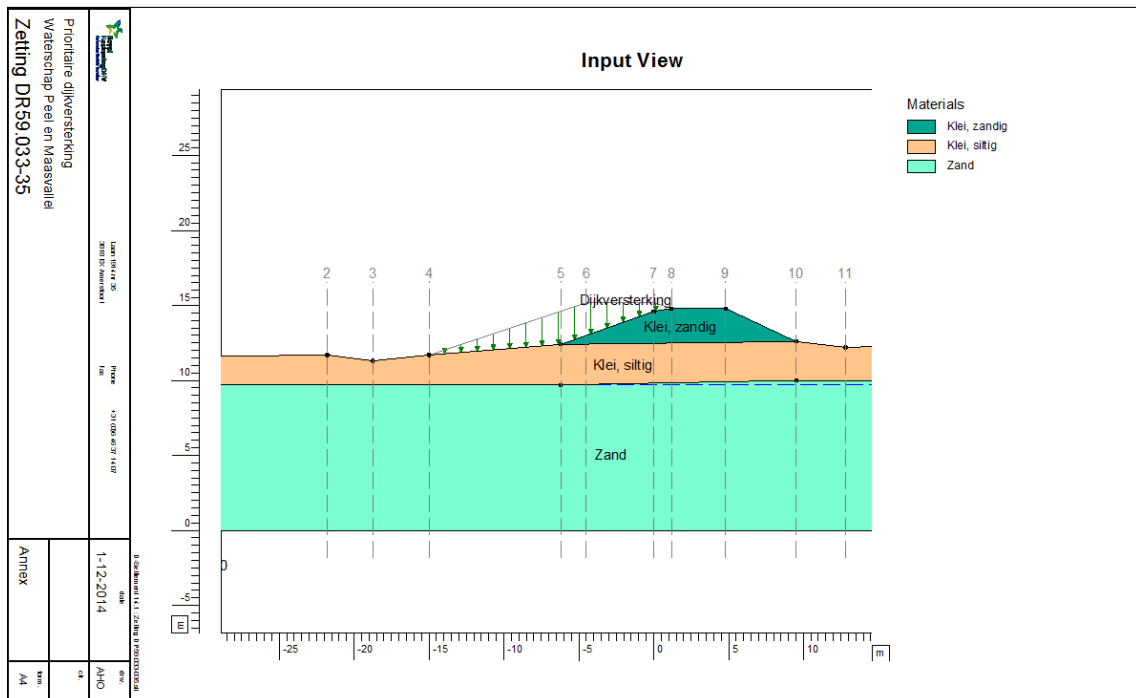


**Figuur 7-15 Geometrie nieuwe kering DP59.018-59.022**

De verwachte zetting ter plaatse van de kruin bedraagt ca. 15 cm. De benodigde zettingscompensatie bedraagt ca. 4% van de totale ophoging. Het berekeningsrapport is opgenomen in bijlage 8.

**DP59.033-59.035**

Vanwege de binnendijkse bebouwing wordt de kering buitenwaarts versterkt. DP59.033 is maatgevend.

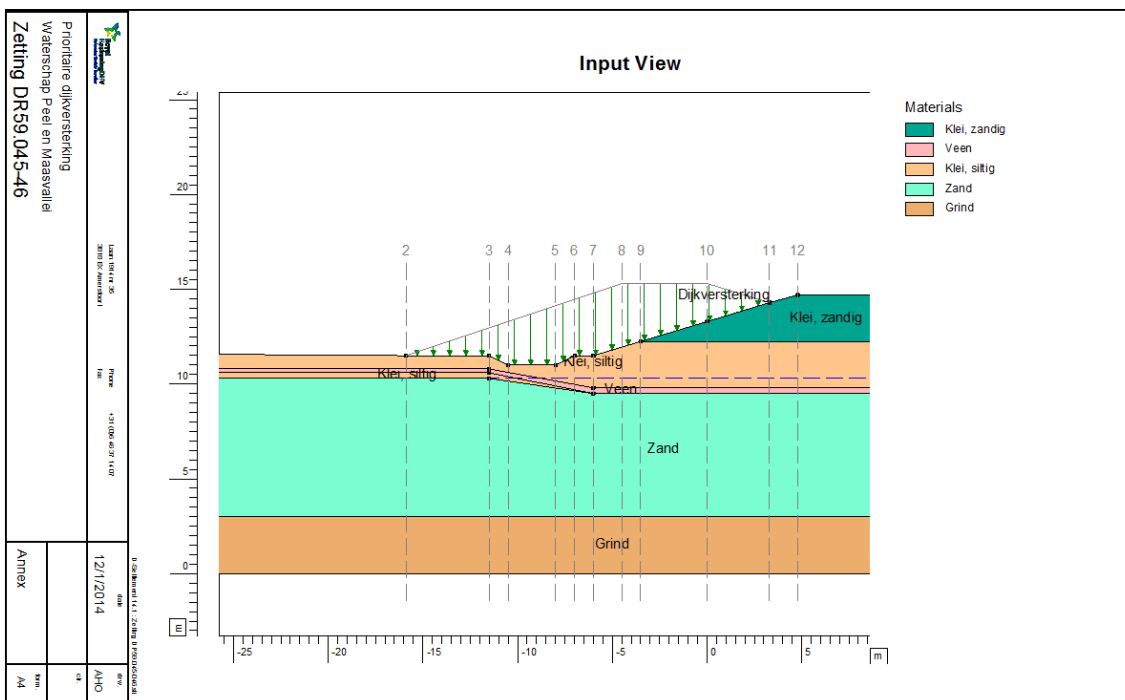


**Figuur 7-16 Geometrie buitenwaartse verlegging DP59.033**

De verwachte zetting bedraagt 20 à 25 cm ter plaatse van het buitentalud. De benodigde zettingscompensatie bedraagt ca. 10% van de totale ophoging. Het berekeningsrapport is opgenomen in bijlage 8.

**DP59.045-59.046**

Vanwege de binnendijkse bebouwing wordt de dijk in deze strekking verder naar buiten verlegd. Figuur 7-17 geeft de gemodelleerde geometrie van DP59.045 weer.



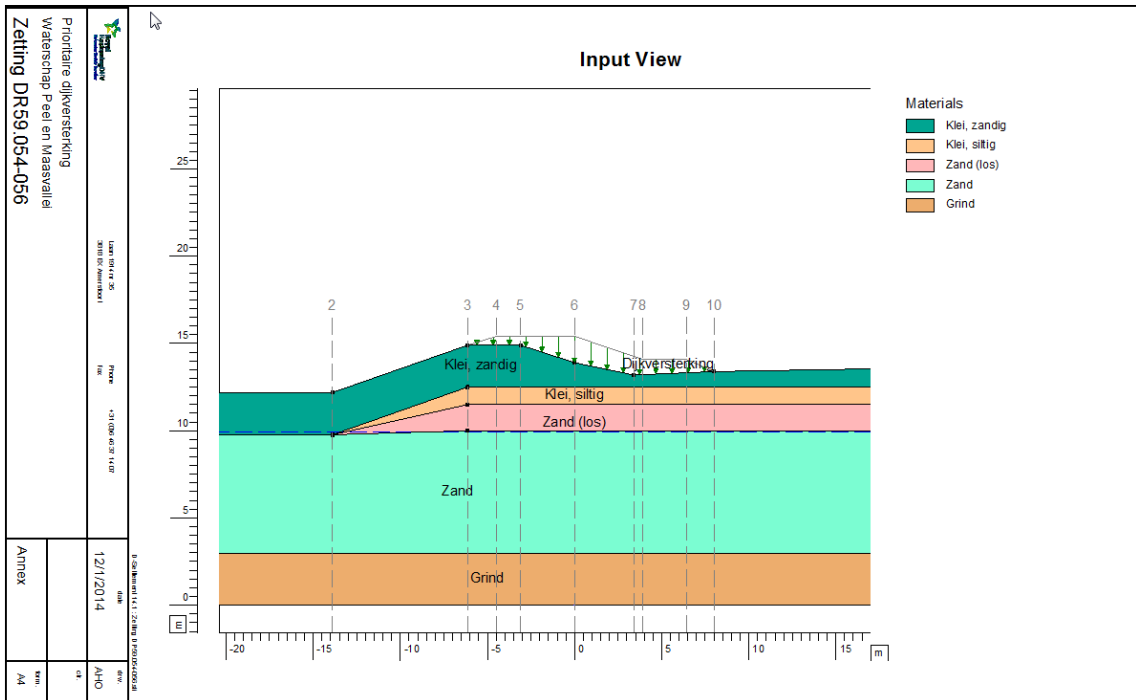
**Figuur 7-17 Geometrie buitenwaartse verlegging DP59.045**

De verwachte zetting bedraagt 30 à 35 cm ter plaatse van de buitenkruinlijn. De benodigde zettingscompensatie bedraagt ca. 10% van de totale ophoging. Het berekeningsrapport is opgenomen in bijlage 8.

**DP59.054-59.056**

In deze strekking wordt de huidige kering aan de buitenzijde versterkt. In het voorland is lokaal een dikkere deklaag aanwezig. Figuur 7-18 geeft de geometrie van de maatgevende doorsnede weer. De maximale verwachte zetting bedraagt 10 à 15 cm ter plaatse van de toekomstige buitenkruinlijn. Het verschil tussen de netto en de bruto ophoging bedraagt ca. 7%. Zie bijlage 8 voor het berekeningsrapport.

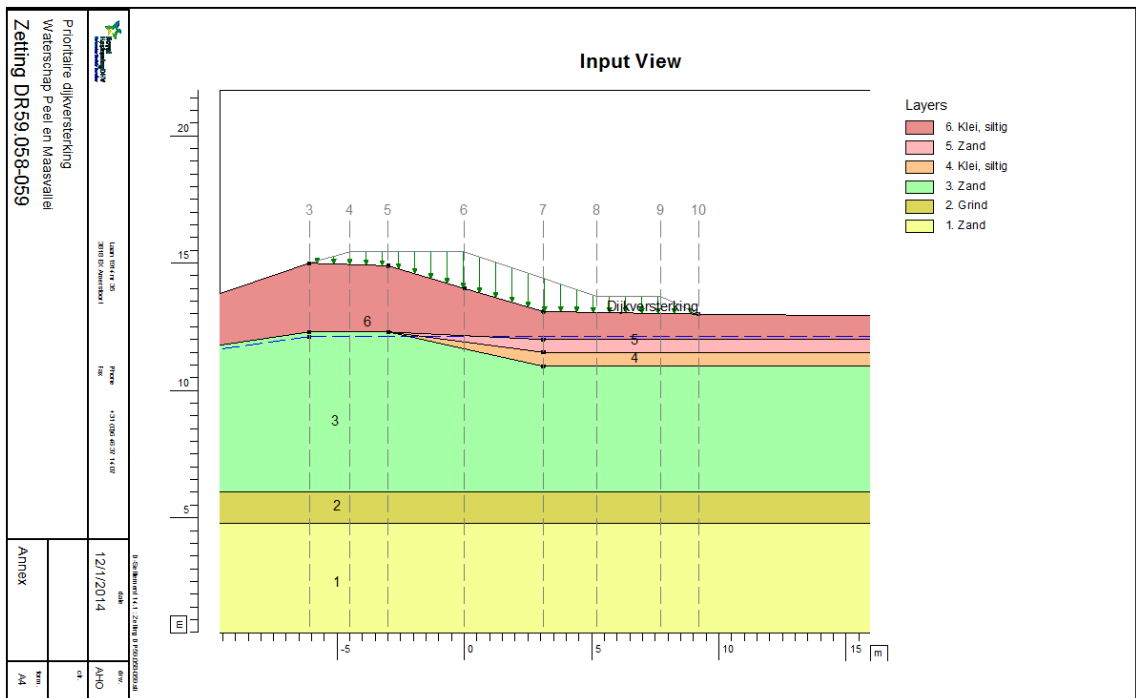




Figuur 7-18 Geometrie buitenwaartse verlegging DP59.055

**DP59.058-59.059**

Deze dijkstrekking is vergelijkbaar met de voorgaande strekking waarbij buitenwaarts wordt versterkt. Zie onderstaand figuur.



Figuur 7-19 Geometrie buitenwaartse verlegging DP59.059

De verwachte zettingen bedragen 10 à 15 cm. Het verschil tussen netto en bruto ophoging (zettingscompensatie) bedraagt ca. 9%. Zie bijlage 8 voor het berekeningsrapport.

## 7.7 NWO's

In dijkkring 59 zijn geen specifieke eisen gesteld aan bomen. Dit betekent dat alle bomen in de kernzone en de invloedszone worden verwijderd.

Voor het dijkmeubilair wordt verwezen naar het achtergrond rapport Waterbouw [21].

## 7.8 Inpassing ter plaatse van woningen

Op een aantal locaties is een zwembad of een kelder aanwezig binnen 15 meter van de toekomstige binnenteen. Deze locaties zijn nader beschouwd.

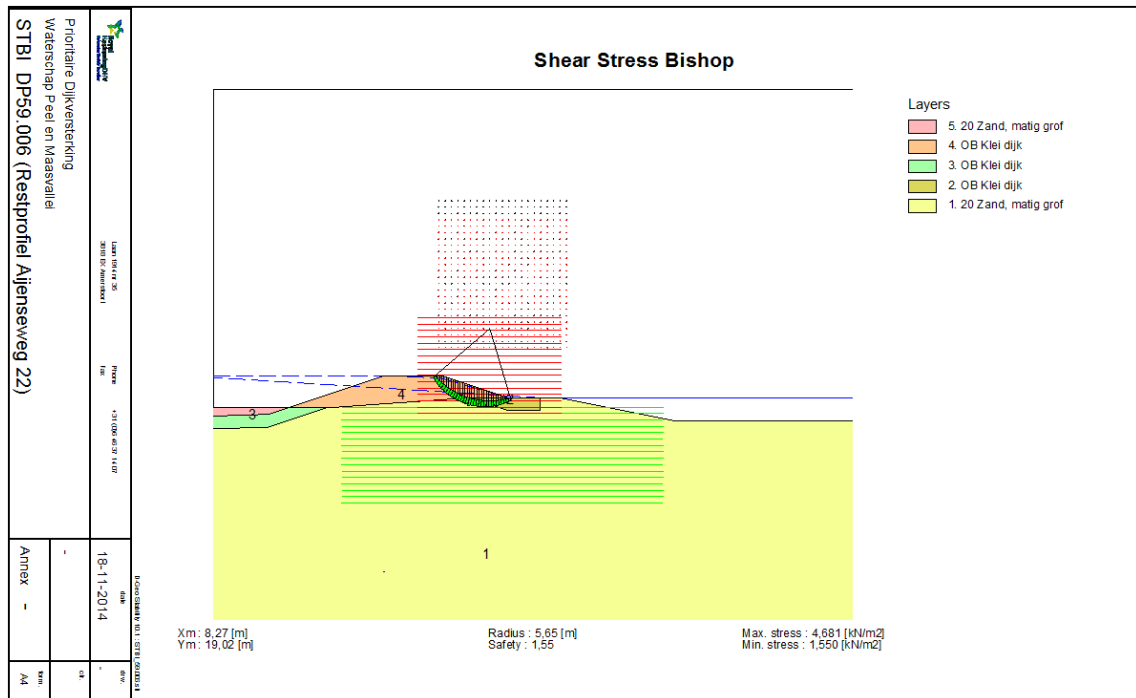
### 7.8.1 Aijenseweg 24B (DP59.003)

Op ca. 14 m afstand van de kering is een woning aanwezig met een kelder tot MV -1,7 m. De ondergrond bestaat uit matig vast tot vast gepakt zand (zie sondering 59E-S01 uit [26]). Vanwege de vaste pakking van het zand is uitgegaan van een restprofiel met een 1:4 talud vanaf rand kelder tot aan maaiveld. De insteek van het resulterende restprofiel ligt dus op ca. 7 m afstand van de kering.

In het kader van de dijkversterking wordt de kering verhoogd naar NAP +15,34 m. Het maaiveld ligt op NAP +14,6 m. Met het oog op de geringe kerende hoogte, de afstand van het restprofiel tot de dijk en de resultaten van de berekening ter plaatse van Aijenseweg 22 (par. 7.8.2) wordt geconcludeerd dat de aanwezigheid van de kelder geen invloed heeft op de stabiliteit van de waterkering.

### 7.8.2 Aijenseweg 22 (DP59.004)

Het zwembad in de achtertuin met een diepte van 1,8 m ligt ca. 13 m vanaf de dijk. Sondering 59E-S01 is ook representatief voor deze locatie. Deze sondering laat matig vast tot vast gepakte zandlagen zien. De insteek van het restprofiel bevindt zich op ca. 6 m van de kering. Het onderstaand figuur laat de resultaten van de stabiliteitsanalyse zien.



**Figuur 7-20 Stabiliteitsanalyse STBI restprofiel DP59.006 (SF=1,55>1,10)**

De stabiliteitsfactor is, ook na het ontstaan van een restprofiel ruim voldoende. Het maatgevende glijvlak ligt ondiep waardoor het uittredepunt zich op korte afstand van de binnenteen bevindt. De aanwezigheid van het zwembad heeft geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.

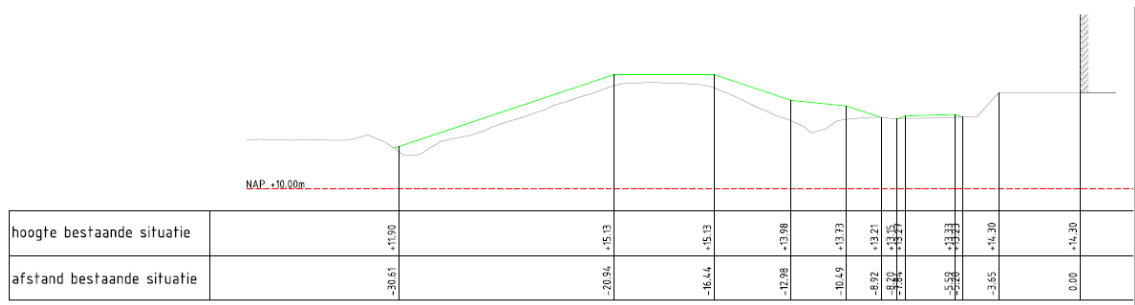
### 7.8.3 Aijenseweg 16 (DP59.006)

In de tuin is een zwembad aanwezig met een diepte van 1,5 m op ca. 13 m vanaf de dijk. Sondering 59A-S04 is representatief voor deze locatie. De aanwezige zandlagen zijn matig vast gepakt. De insteek van het restprofiel bevindt zich op ca. 7 m van de waterkering.

In het kader van de dijkversterking wordt de kering verhoogd naar NAP +15,31 m. Het maaiveld ligt op NAP +13,7 m. De situatie is vergelijkbaar met Aijenseweg 22 (zie par 7.8.2). De aanwezigheid van het zwembad heeft geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.

### 7.8.4 Maasstraat 10 (DP59.021)

De woning aan Maasstraat 10 heeft een kelder met een diepte van 2 m onder het gehele huis. De woning en het omringende maaiveld liggen relatief hoog op NAP +14,3 m. Dit betekent dat het kelderpeil NAP +12,3 m is. De teen van de berm van de nieuwe kering ligt op NAP +13,2 m. De afstand tussen bermteent en woning bedraagt 8,9 m. De huidige en toekomstige situatie is weergegeven in Figuur 7-21.

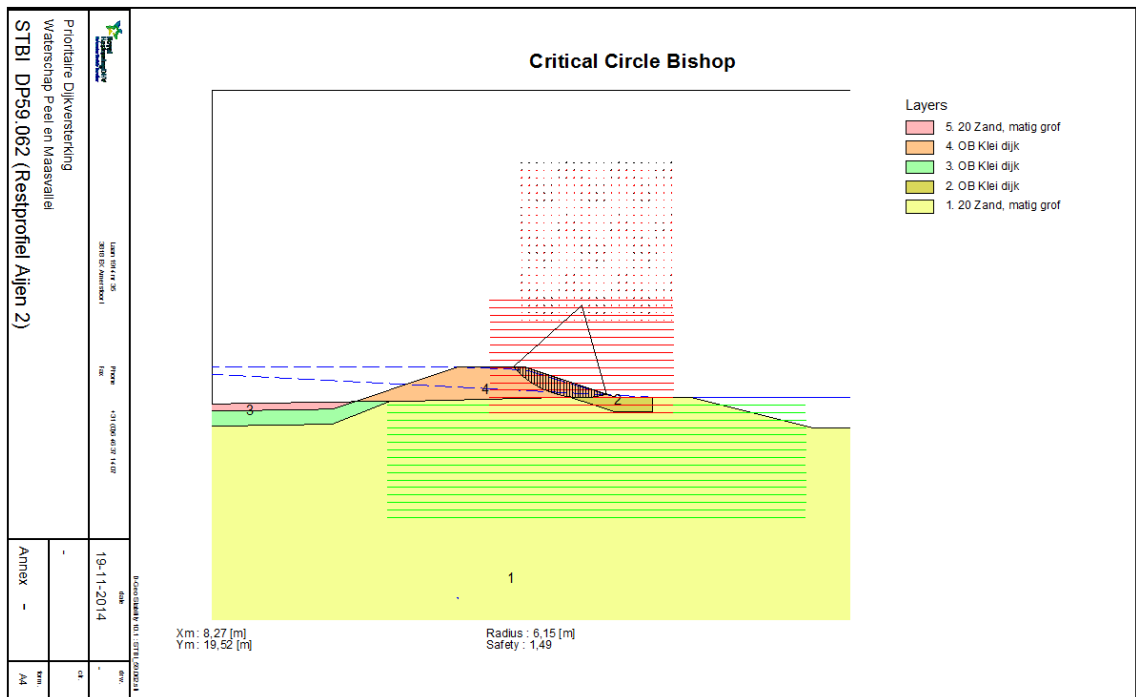


Figuur 7-21 Ligging van de dijk ten opzichte van de woning aan de Maasstraat 10

De representatieve sondering is 59C-S01. Tot kelderniveau (NAP +12,3 m) bestaat de bodem uit matig fijn, zwak siltig zand. Vanwege het voorboren is de pakking niet meer ter achterhalen. Uitgaande van een restprofiel met een talud van 1:4 bij bezwijken van de kelder, ligt het intredepunt van het restprofiel op 5,3 m van de teen van de berm (8,9-4x0,9). Door de zandige ondergrond liggen maatgevende glijvlakken ondiep waardoor het uitredepunt zich op korte afstand van de binnenteen bevindt. De aanwezigheid van de kelder heeft geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.

### 7.8.5 Aijen 2 (DP59.062)

Aan de voorzijde van de woning is een kelder aanwezig met een diepte van MV -2,05 m. De kelderwand bevindt zich op ca. 13 m afstand van de binnenteen van de waterkering. De representatieve sondering is 59D-S09. Tot het vloerpeil van de kelder (ca. NAP +11,4 m) is zandige klei en vast zand aanwezig. De insteek van het restprofiel bevindt zich op ca. 5 m van de waterkering.



Figuur 7-22 Stabiliteitsanalyse STBI restprofiel DP59.062 (SF=1,49>1,10)

De stabiliteitsfactor is, ook na het ontstaan van een restprofiel ruim voldoende. Het maatgevende glijvlak ligt ondiep waardoor het uittredepunt zich op korte afstand van de binnenteen bevindt. De aanwezigheid van de kelder heeft geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.

## **7.9 Bergbezinkbassins**

### **7.9.1 BBB Oud Bergen (DP59.024)**

Bij de Oude Kerkstraat 23 is het bergbezinkbassin (BBB) "Oud Bergen" aanwezig. Het vloerpeil van het BBB is NAP +9,8 m (zie bijlage 1). Aan de westzijde van het BBB wordt de waterkering buitenwaarts versterkt. Het eind van de kleiingraving / binnenberm komt op ca. 18 m van het BBB te liggen. Het maaiveld ter plaatse van het eind van de berm ligt op NAP +12,7 m.

Uitgaande van een restprofiel met taluds 1:4 betekent dit dat bij bezwijken van het BBB de insteek van het restprofiel zich op ruim 6 m (18-2,9x4) van de waterkering bevindt. De aanwezigheid van het BBB heeft geen invloed op de stabiliteit van de waterkering. Wel dienen voorzieningen getroffen te worden ten behoeve van de kruisende leidingen [23].

### **7.9.2 BBB Aijen (DP59.063)**

Bij Aijen 2 is het BBB "Aijen" aanwezig. Het BBB ligt onder de weg haaks op de waterkering ter hoogte van de binnenteen. Het vloerpeil aan de zijde van de dijk is NAP +11,1 m. Het BBB heeft een beperkte inwendige breedte van 1,5 m. Bovenop het BBB is een toerit gelegen. Vanwege de beperkte breedte van het BBB kan bij eventueel bezwijken van het BBB een zeer lokaal restprofiel ontstaan dat gevuld wordt door de 'extra' aanwezige grond ten behoeve van de toerit. Derhalve vormt de aanwezigheid van het BBB geen bedreiging voor de waterveiligheid. Wel dienen voorzieningen getroffen te worden ten behoeve van de kruisende leiding [23].

Daarnaast is het onzeker of de huidige BBB sterk genoeg is om de ophoging van de toerit te kunnen dragen. De sterkte van de BBB kan echter vooralsnog niet worden getoetst omdat gedetailleerde informatie over de constructie ontbreekt.

## 8 CULTUURTECHNISCHE INPASSING VOORLANDVERBETERING

### 8.1 Situatie

In het kader van de dijkversterking is voorlandverbetering voorzien. Deze voorlandverbetering betreft het ingraven van een 1,0 m dikke kleilaag over een variërende lengte waarop de huidige toplaag van 0,5 m weer wordt terug gebracht.

Voor de kleilaag gelden de volgende eisen: zandgehalte < 35%, lutumgehalte > 20%. Kleilaag aanbrengen op 0,5 m onder het bestaande maaiveld. Ontgravingsdiepte voor de aanleg is dus 1,5 m minus maaiveld. De breedte van de voorlandverbetering is variabel van enkele meters tot tientallen meters. De voorlandverbetering is gelegen voor de dijk en volgt het bestaande verhang. De voorlandverbetering wordt ook aangelegd onder bestaande watergangen door. In de huidige situatie is de ondergrond zandig met af en toe een kleilaag.

Door het aanbrengen van de kleilaag als voorlandverbetering zal de landbouwgrond minder draineren en daardoor vernatten. De structuur van de toplaag kan zo veranderen en daardoor minder geschikt voor het huidige landbouwgebruik. Daarbij zal het effect voor akkerland groter zijn dan voor grasland.

### 8.2 Gegevens per dijkkring

#### *Dijkkring 54 en dijkkring 56*

Ter plaatse van de dijken is grondonderzoek uitgevoerd. Uit de boringen blijkt een variabele bodemopbouw aan de voet van de dijk. Er zijn lokaal profielen waar een laag klei op zand aanwezig is en profielen bestaande volledig uit zand. Uit de boorprofielen blijkt de huidige dagelijkse grondwaterstand overal dieper ligt dan MV -1,0 m aan de voet van de dijk. Volgens de bodemkaart hebben we te maken met gebieden met Poldervaaggronden (lichte klei) en Enkeerdgronden fijn zand.

De huidige afwatering is via de bestaande watergangen, er is geen drainage aanwezig op de betreffende percelen.

Ter plaatse van de voorlandverbetering is het huidige gebruik grasland of akkerland.

#### *Dijkkring 59*

Ter plaatse van de dijk is er grondonderzoek uitgevoerd. Uit de boringen blijkt een variabele bodemopbouw aan de voet van de dijk. Er zijn profielen waar een laag klei op zand aanwezig is, profielen bestaande volledig uit zand en profielen met zand op veen. Aan de oostzijde van de dijkkring is het meeste klei en veen aangetroffen. In de onderstaande tabel zijn de beschikbare peilbuisgegevens weergegeven.

**Tabel 8-1: Peilbuizen DR59**

Peilbuis	Filterstelling (cm-mv)	Grondwaterstand (cm-mv)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	NTU
3022	320 – 420	270	400	6,23	110
3023	300 – 400	254	415	6,38	27
5021	250 – 350	71	515	5,8	96

Volgens de bodemkaart hebben we te maken met gebieden klei op veen, Enkeerdgronden fijn zand en Langs de Maas Zavel met homogeen profiel.

De huidige afwatering is via de bestaande watergangen, er is geen drainage aanwezig op de betreffende percelen.

Ter plaatse van de voorlandverbetering is het huidige gebruik grasland of akkerland.

### 8.3 Gevolgen voorlandverbetering

De kleilaag die wordt aangebracht heeft een waterkerende functie. Gezien de samenstelling van deze kleilaag en de dikte heeft de voorlandverbetering zonder aanvullende maatregelen de volgende gevolgen:

- Geen infiltratie van water uit de bovenlaag naar de onderlaag, waardoor de 0,50 m bovengrond (sneller) verzadigd met water.
- Een moeizaam tot slecht te bewerken toplaag door verslechterde waterafvoer.
- Verrotting van gewassen door slechte waterafvoer.
- Structuurbederf door onjuiste grondbewerking en transport tijdens de uitvoering bij natte omstandigheden.
- Ontstaan van natte plekken in het veld op de lage delen van de voorlandverbetering.

### 8.4 Maatregelen om de negatieve gevolgen te beperken

Maatregelen om mogelijk negatieve gevolgen van een voorlandverbetering te beperken:

- Kleiingraving aanleggen gelijk aan het huidige verhang van het maaiveld. Dit verhang is over het algemeen van de dijk af het perceel in conform de bestaande profielen. Hiermee zal het water naar de rand van de voorlandverbetering lopen en ontstaat daar een vernatting in het perceel. Gezien de grondwaterstand en de veelal zanderige opbouw zal het water aan het eind van de voorlandverbetering echter voldoende kunnen infiltreren naar de ondergrond.
- Om de afwatering richting de watergangen te bevorderen zal de kleilaag met een verhang richting de watergangen aangelegd worden. Door dit verhang zal de ontwatering van de toplaag gestimuleerd worden richting de watergangen. Indien de afstand naar de bestaande watergangen te groot is zou hier een greppel of drainage aangebracht kunnen worden.
- Om de afwatering van de toplaag nog verder te bevorderen is het niet wenselijk om de laag tussen de toplaag en de kleilaag met klei aan te vullen. Deze tussenlaag dient bij voorkeur met zand opgevuld te worden. Dit is zand is vrijgekomen bij het ontgraven van de locaties voor het aanbrengen van het klei. Dit zand zorgt voor een betere en/of snellere afvoer van het water richting de watergangen dan klei. De laag met zand dient door te lopen tot in het talud van de watergang. Het water kan daardoor tot in de watergang lopen. Deze maatregel wordt op agrarische percelen toegepast.
- Aan het eind van de voorlandverbetering zal waarschijnlijk gedurende de werkzaamheden een werkstrook hebben gelopen. Om de infiltratie te bevorderen dient de gebruikte werkstrook, na gereed komen van het werk, doorgespit te worden tot ca. 1,0 m diepte. Bij het doorspitten dient wel de laagopbouw gelijk te blijven aan de oorspronkelijke opbouw (Bovenlaag boven houden).

### 8.5 Uitgangspunten voor de uitvoering

Aandachtspunten in de uitvoering:

- Uitvoering dient zoveel mogelijk onder droge omstandigheden plaats te vinden om structuurbederf te voorkomen. Dit betekent bij natte omstandigheden geen grondbewerking en -transport i.v.m. het 'dol' rijden van de grond waardoor structuurbederf optreedt. Structuurbederf dient voorkomen te worden aangezien het jaren duurt voordat de grond zich hersteld heeft.
- Aanbrengen van rijplaten ter plaatse van grondtransport om structuurbederf en spoorvorming te voorkomen.
- De bestaande toplaag van teelgrond (bovenste 0,30 m) apart houden van de onderlagen. De onderlagen gescheiden ontgraven zodat de zanderige lagen als onderlaag hergebruikt kunnen worden tussen toplaag en kleilaag.

- Kleiige toplaag voor de winter bewerken, zodat deze door vorst in het voorjaar goed van structuur is.

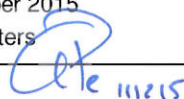


COLOFON

---

Opdrachtgever	: Waterschap Peel en Maasvallei
Project	: Prioritaire Dijkversterking 1
Dossier	: 9X4447
Omvang rapport	: 105 pagina's
Auteur	: Andries van Houwelingen
Bijdrage	: Jurgen Cools, Herbert Thuinte
Interne controle	: Ilse Hergarden / Ronald HoEVERS
Projectleider	: George Peters
Projectmanager	: Roelof Moll
Datum	: 10 december 2015
Naam/Paraaf	: George Peters

---



***HaskoningDHV Nederland B.V.***

*Rivers, Deltas & Coasts*

*Laan 1914 nr. 35*

*3818 EX Amersfoort*

*Postbus 1132*

*3800 BC Amersfoort*

*T (088) 348 20 00*

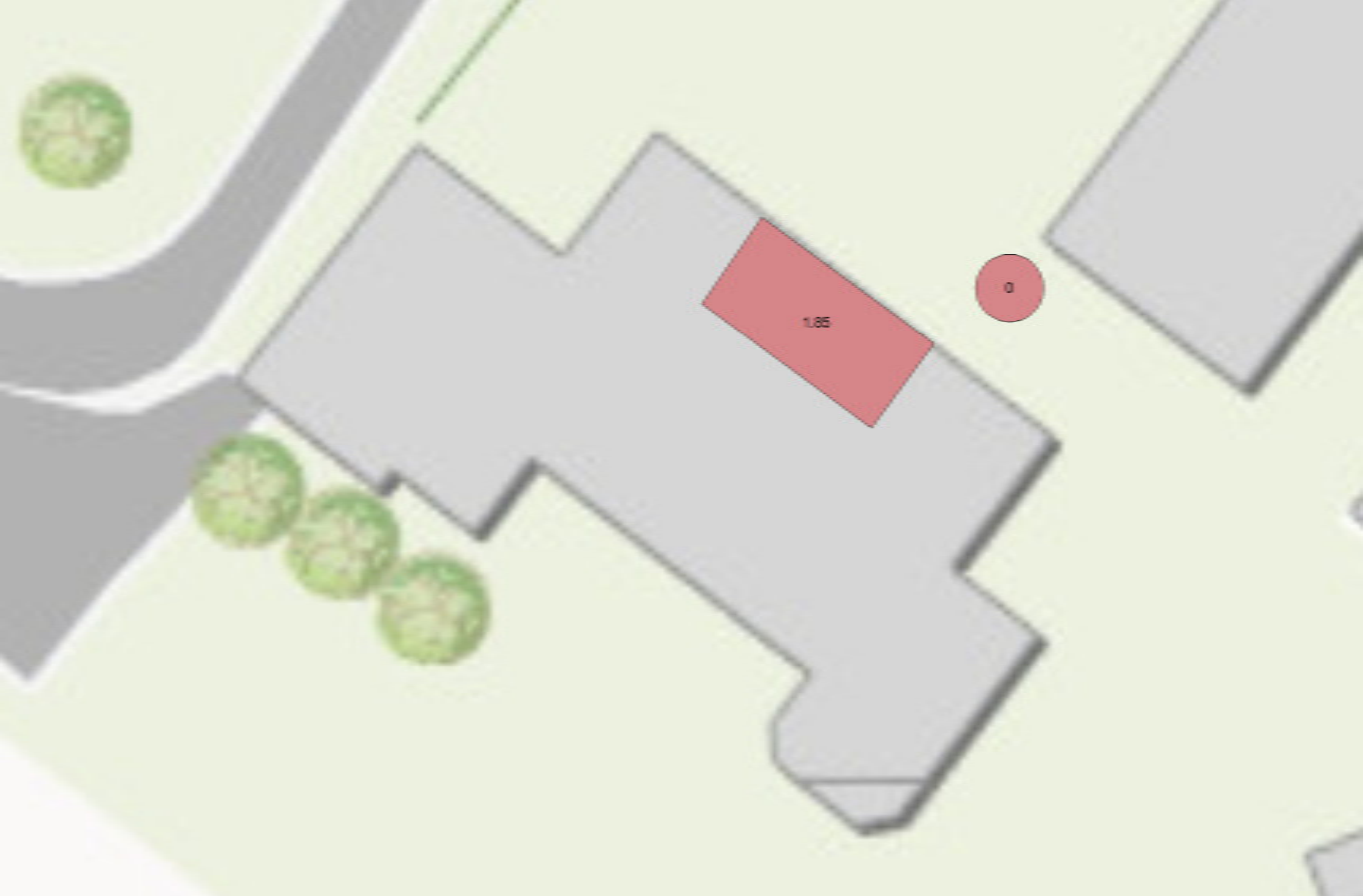
*F (088) 348 28 01*

*E [info@rhdhv.com](mailto:info@rhdhv.com)*

*W [www.royalhaskoningdhv.com](http://www.royalhaskoningdhv.com)*

**BIJLAGE 1      Kelderinventarisatie**

Nr.	Straat	Huisnr.	Postcode	Plaats	Telnr.	Kelder aanwezig	Kelderdiepte	Oppervlakte kelder	Positie kelder
						ja/nee	tov maaiveld	[[*b]	[voorzijde/achterzijde]
1	Hengeland	9	5851 EA	Afferden	0485-531480	onder huis	2m	3*3	bij voordeur
2	Hengeland	7	5851 EA	Afferden	0485-342985	onder huis	2m	10-12 m2	aan de kant van de dijk, huis is meest noordelijke bebouwing
						onder stal	nb	nb	oude gierput
						inspectiegat auto	1m	0,8*1,2m	schuur
3	Hengeland	5	5851 EA	Afferden	0485-531369	put, dichtgestort	nb	nb	onder andere schuur
						gierput	2,5	nb	onder schuur
						gierput	2	nb	langs het huis richting dijk
4	Hengeland	3a	5851 EA	Afferden	0485-531654	kelder	1,6m	2*4	onder huis, MV=straatkant huis
						gierput	2m	182m2	onder de stal, in de hele lengte van de stal, vermoedelijk 4,5m breed
						gierput	1,5	182m2	onder de stal, in de hele lengte van de stal, vermoedelijk 4,5m breed
						opslagput	2m	182m2	onder de stal, in de hele lengte van de stal, vermoedelijk 4,5m breed
5	Hengeland	3	5851 EA	Afferden	0485-531781	kelder	2m	4*3	achterkant
6	Hengeland	1a	5851 EA	Afferden	0485-531744	zinkput 2x	nb	1,5 diameter	achterkant tegen dijk
						septic tank	nb	nb	achterkant tegen dijk
						kelder	2m	2m*3m	onder woonhuis, straatkant
						kelder	2,2m	10m*10m	onder bedrijf, dicht bij de dijk, MV=maaskant huis
						zwembad	2m	zie luchtfoto	tegen dijk
7	Hengeland	1	5851 EA	Afferden	0485-531937	kelder onder huis	2m	2*3,5	aan zijde weg
						waterput als sier	5m	1,3m diameter	tussen huis en garage
						vijver met folie	1,3m	6*15	zuidoosten
8	Gening	2	5851 AE	Afferden	0485-385121	kelder	2m	4*5	rivierkant van de woning
						put	nb	nb	nooit klachten
9	Gening	4	5851 AE	Afferden	0485-531502	kelder	2m	2*4	achter richting rivier
						grondwaterput	nb	nb	achter richting rivier
10	Gening	6	5851 AE	Afferden	0485-531700	kelder	1,8m	4m*6m	zijkant huis, halverwege onder de woning, MV=noordwest zijde huis
						bezinkbassin	3m	1m diameter	rivierkant, achter de woning
11	Gening	8	5851 AE	Afferden	0485-532267	nee			
12	Gening	10	5851 AE	Afferden	0485-532570	kelder	1,8m	3m*4m	zijkant huis, MV=straatkant huis
						septic tank			niet in gebruik, zuidkant
13	Kleefseweg	11	6599 AA	Ven-Zelderheide	0485-800945/06-12838401	kelder	,8	2 m2	
14	Bloemenstraat	4 (1t)	6595 DT	Milsbeek	0485-516345	kelder onder huis	2m	5*3	zijkant huis
						regenput	nb	nb	bij voordeur onder beukenboom
15	Bloemenstraat	6	6596 DT	Milsbeek	0485-540532	nee			
16	Bloemenstraat	1	6596 DS	Milsbeek	0485-515415	kelder	2m	kleine kelder	achterkant huis, Nierszijde
						waterput als sier	nb	nb	
17	Bloemenstraat	3	6596 DS	Milsbeek	0485-516320	kelder onder huis	2m	6m2	achterkant huis, Nierszijde
						gierput	1,5m	6m2	straatkant buiten schuur
18	Bloemenstraat	6a	6596 DT	Milsbeek	0485-512709/06-51009885	kelder	2m		hele huis, souterrain half onder maaiveld
						bezinkput			onder vijver
20	Bloemenstraat	5 (1t)	6595 DS	Milsbeek	0485-516620	kelder onder huis	2m	3*4	straatkant
22	Kanaalweg	14	6585 AX	Mook	024-6962310	nee			
23	Kanaalweg	12	6585 AX	Mook	024-6962213	garage onder huis	1m	nb	kelder is halfverzonken gebouwd, 1m onder maaiveld (MV=kanaalweg)
24	Kanaalweg	10a	6585 AX	Mook	06 50617479	kelder onder huis	2m	60m2	rivierkant van de woning
						regenbezinkput	nb	nb	onder gras achterkant
25	Kanaalweg	10	6586 AX	Mook	024-6962152	kelder onder huis	2m	nb	onder keuken, straatkant huis
26	Kanaalweg	8	6587 AX	Mook	024-6962604/06-45136089	pand wordt gesloopt			wel gierkelders en kelder onder huis aanwezig
27	Kanaalweg	6	6585 AX	Mook	024-6962774/06-21548900	kruipruimte	,3m	nb	kruipruimte onder gehele huis
28	Kleppermanstraatje	5	6585 BB	Mook	024 358 7114	kruipruimte	1,5m		onder gehele huis
						mogelijk bezinkbassin	nb	nb	oud bassin voor afvoer hemelwater, rivierkant en zijkant huis, mensen menen dat hier vroeger een bassin gelegen heeft, echter merken ze er nu niets meer van.
29	Violenstraatje	10	6585 BA	Mook	024-6961468	kruipruimte	,8	halve huis	Achter het huis is een aanbouw. Hieronder is een kruipruimte gelegen. Deze kruipruimte ligt in de lengterichting van de rivier.
						kelder	2m	12-15m2	achterkant straatzijde
30	De Hove	3	6585 AN	Mook	024-6961392 / 024-6962652	kelder onder atelier	2,45m	10m*8m	onder atelier, MV=rondom atelier
						bezinkbassin	3m	2m diameter	onder parkeerplaats
31	De Hove	7	6585 AN	Mook	024-6961867	kelder onder huis	2m	2*2	straatkant
33	De Hove	11	6585 AN	Mook	024-6961348	kelder	1,8	5*5	straatkant van de woning, het verste van de Maas
34	De Hove	13	6585 AN	Mook	024-6963726	kelder onder huis	2m	3*3	straatkant van de woning, het verste van de Maas
						misschien bezinkput	nb	nb	straatkant van de woning, het verste van de Maas
35	De Hove	15	6585 AN	Mook	024-6962339	kelder	1.80	6*3	straatkant van de woning, het verste van de Maas
						bezinkbassin	nb	nb	straatkant van de woning, het verste van de Maas
36	De Hove	15a	6585 AN	Mook	024-6962993	kruipruimte	1.6	onder hele huis	
37	De Hove	15b	6585 AN	Mook	024-6961547	nee			
38	De Hove	17	6585 AN	Mook	024-6962410	kelder	1,5m		onder bijna hele huis, niet volledig verzonken, MV=straat De Hove
						put met pomp		buiten	pomp werkt om bij veel regenwater kelder droog te houden
39	De Hove	19	6586 AN	Mook	024-6961933	halfverzonken garage	2m	onder hele huis	onder hele huis, niet volledig verzonken, MV=parkeerplaats
						buis			nog nooit iets mee aan de hand geweest
40	Maasdijk	1	6586 AK	Mook	06-81732422	kelder	1,8m	5*3m	Kelder ligt aan de straat in het midden van het huis, dus verst mogelijk van de rivier. 3 meter vanaf de straat naar achter. En 5 meter in de breedte van het huis.
						kruipruimte	0,5m	hele huis	
41	Maasdijk	7	6586 AK	Mook	024-6963223	kelder	1,85m	6m*3m	Kelder ligt aan de straat in het midden van het huis, dus verst mogelijk van de rivier
						zinkput	nb	nb	straatkant
42	Maasstaete			Mook		kelder onder alle toren	1,2m	onder alle torens	Mark Henfling heeft bouwtekeningen aangevraagd bij gemeente
43	Raadhuisplein	8 (kerk)		Mook	024-6962070	kelder	0,8m	5*3	De kelder is een ondiepe put voor de cv ketel en ligt aan de noordkant van de kerk
						Bergbezinkbassin			Mark Henfling heeft bouwtekeningen aangevraagd bij gemeente
45	De Hove	1		Mook	024-6962070	kelder	2m	75m2	De kelder ligt onder de gehele pastorie, alleen aan de noordzijde zijn de aanbouwen niet onderkelderd
46	Raadhuisplein	6		Mook	024-6969111	kelder	-,8 maaiveld	4*7	Archiefruimte onder Gemeentehuis, midden onder gemeentehuis.
47	Kerkstraat	2		Mook	024-3504184	kelder	2m	3,5*5	onder huis voorkant van het huis aan de kerkstraat, nog nabellen
48	Kerkstraat	3			024-6962097	kruipruimte	,6m		onder hele huis
49	Rijksweg	84			024-6962025	kelder	2m	nb	flinke kelders' onder huis een aan de voorkant en een aan de achterkant van het huis
						kelder	2m	nb	flinke kelders' onder huis een aan de voorkant en een aan de achterkant van het huis
	Raadhuisplein	12		Mook	246962097	kelder	2m	4*8	Snackbar naast Kerkstraat 3, heeft kelder liggen in de lengte van de zaak, aan de kant van de Rijksweg (niet de Maas kant)





1.4  
1.6

1.3

N271

Sources: Esri, HERE, DeLorme, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRC, IGM, Kataster ML, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, Mapbox India, OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community



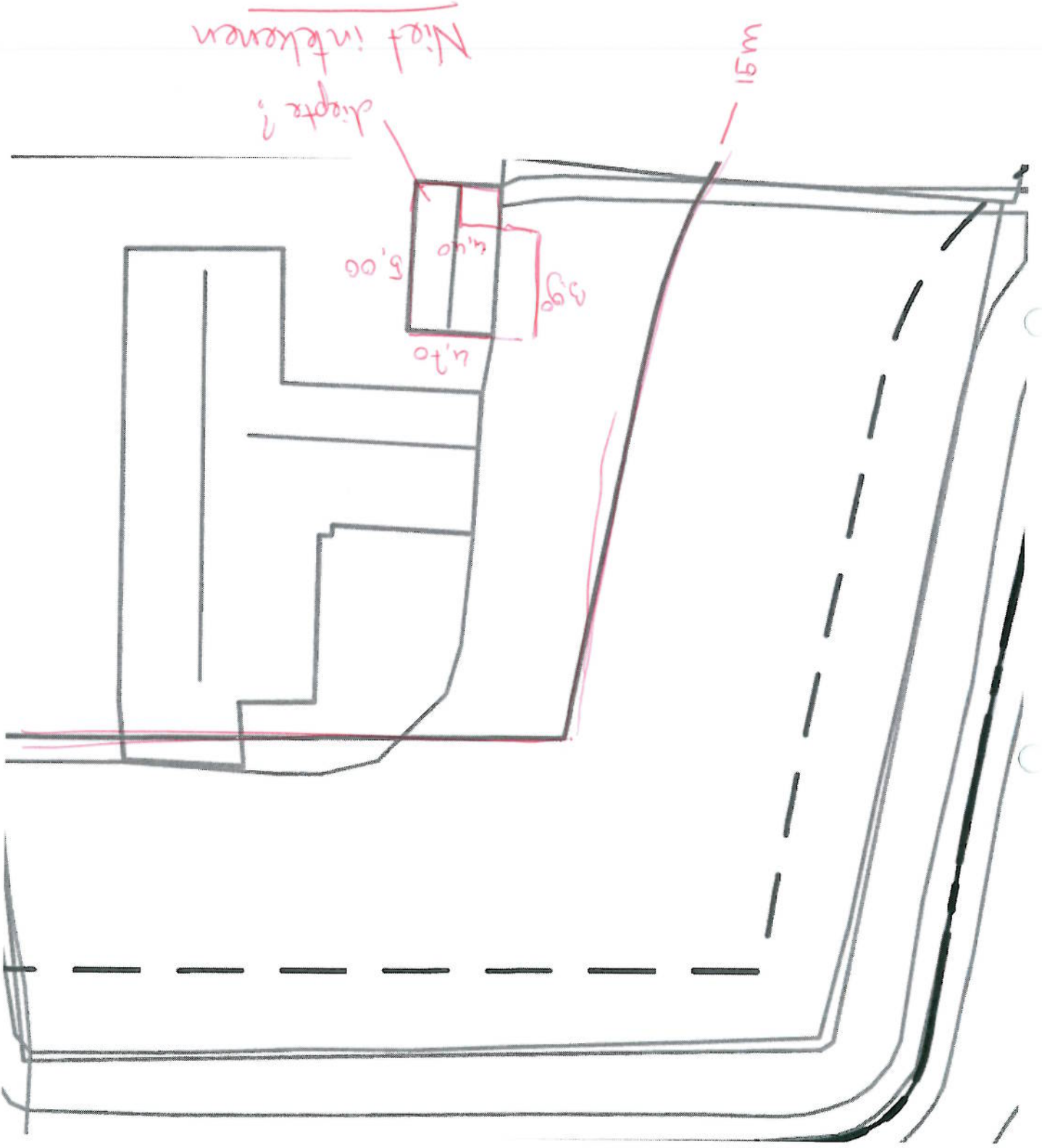
Sources: Esri, HERE, DeLorme, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRC, IGM, Kataster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, Mapbox, OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community





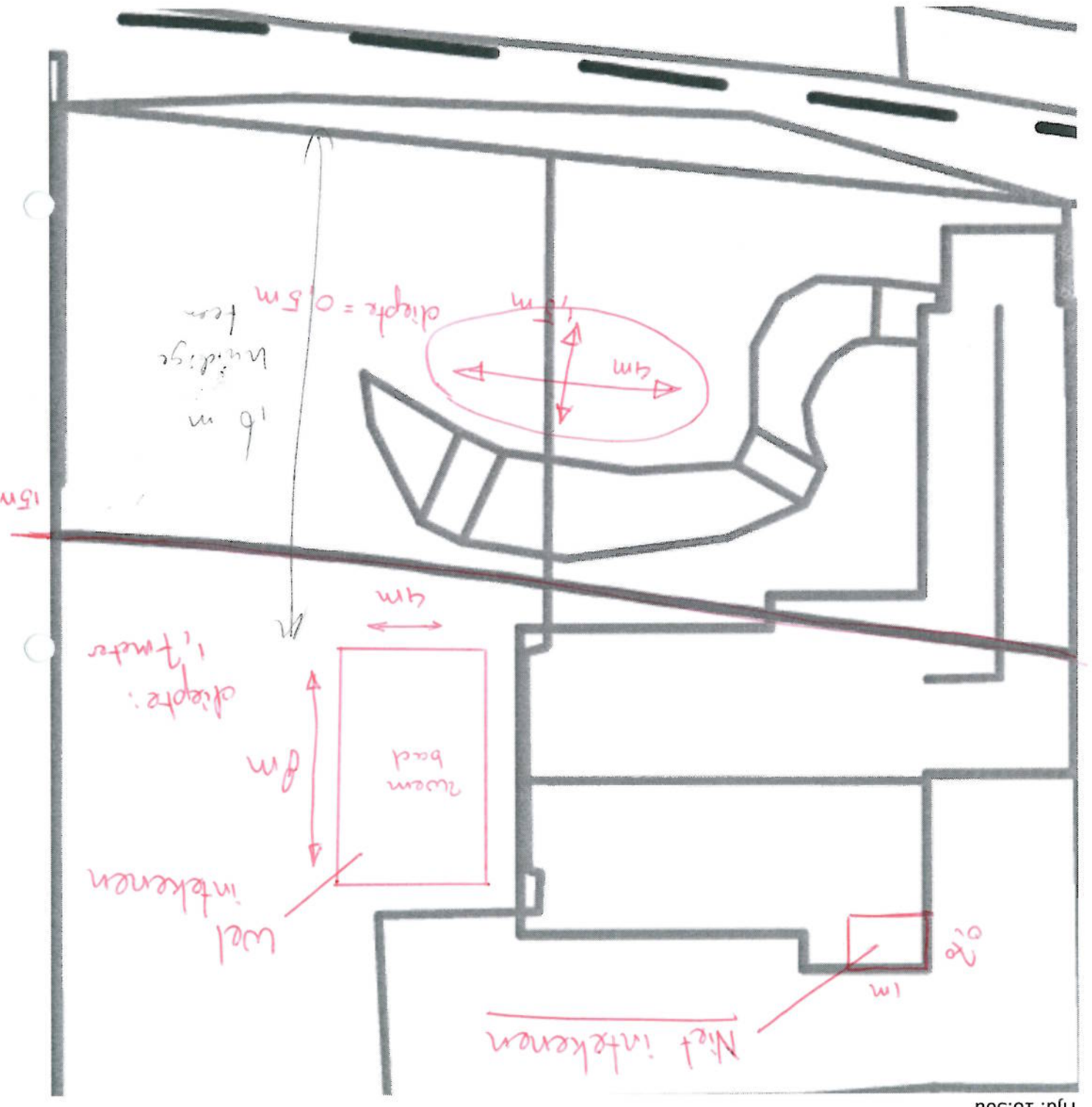


Nr.	Dijkpaal	Straat	Huisnr.	Kadastraal nr.	Locatie	Kelder aanwezig	Kelderpeil	Vloerpeil	Oppervlakte kelder	Positie kelder	Opmerking
					[Binnen/Buitendijks]	ja/nee	[m + VP]	[m + NAP]	[*b]	[voorzijde/achterzijde]	
1	59.002	Aijenseweg	28A		binnendijks	nee					
2	59.002	Aijenseweg	28		binnendijks	nee					
3	59.003	Aijenseweg	26A		binnendijks	ja	-2		1,9*0,8	voorzijde	>15 m vanaf dijk
4	59.003	Aijenseweg	26		binnendijks	nee					
<b>5</b>	<b>59.003</b>	<b>Aijenseweg</b>	<b>24B</b>		<b>binnendijks</b>	<b>ja</b>	<b>-1,7</b>		<b>?*2,5</b>	<b>achterzijde</b>	<b>ca. 14 m afstand van dijk</b>
<b>6</b>	<b>59.004</b>	<b>Aijenseweg</b>	<b>22</b>		<b>binnendijks</b>	<b>zwembad</b>	<b>-1,8</b>		<b>8,0*4,0</b>	<b>achterzijde</b>	<b>ca. 13 m vanaf de dijk</b>
7	59.004	Aijenseweg	20C		binnendijks	ja	onbekend		onbekend	voorzijde	>15 m vanaf dijk
8	59.005	Aijenseweg	20B		binnendijks	ja	onbekend		onbekend	voorzijde	>15 m vanaf dijk
9	59.005	Aijenseweg	20A		binnendijks	ja	onbekend		onbekend	achterzijde	>15 m vanaf dijk
10	59.006	Aijenseweg	20		binnendijks	ja	-1,5		2,0*2,0	achterzijde	>15 m vanaf dijk (ca. 23 m)
11	59.006	Aijenseweg	16B/18		binnendijks	ja	onbekend		4,0*6,7	achterzijde	>15 m vanaf dijk
12	59.006	Aijenseweg	16A		binnendijks	nee					
<b>13</b>	<b>59.006</b>	<b>Aijenseweg</b>	<b>16</b>		<b>binnendijks</b>	<b>zwembad</b>	<b>-1,5</b>		<b>9,0*4,0</b>	<b>achterzijde</b>	<b>ca. 13 m vanaf de dijk</b>
14	59.007	Aijenseweg	14A		binnendijks	nee					
<b>15</b>	<b>59.007</b>	<b>Aijenseweg</b>	<b>14</b>		<b>binnendijks</b>	<b>ja</b>	<b>-1,5</b>		<b>2,65*1,0</b>	<b>achterzijde</b>	<b>ca. 13 m vanaf de dijk</b>
16	59.007	Aijenseweg	12		binnendijks	nvt					>15 m vanaf dijk
17	59.007	Aijenseweg	10A		binnendijks	zwembad	-1,7		8,0*4,0	naast woning	>15 m vanaf dijk
18	59.008	Aijenseweg	10		binnendijks	ja	-1,5		3,0*1,0	voorzijde	>15 m vanaf dijk
19	59.013	Aijenseweg	3		binnendijks	nvt					>15 m vanaf dijk
<b>20</b>	<b>59.021</b>	<b>Maasstraat</b>	<b>10</b>		<b>binnendijks</b>	<b>ja</b>	<b>-2</b>		<b>gehele woning</b>		<b>ca. 9 m vanaf de dijk</b>
21	59.024	Oude Kerkstraat	23		binnendijks	nee					
22	59.034	Kerkstraat	31		binnendijks	nvt					>15 m vanaf dijk
23	59.035	Kerkstraat	38		binnendijks	nee					
24	59.045	Aijenseweg	5		binnendijks	nee					
25	59.046	Aijenseweg	7		binnendijks	ja	onbekend		5,3*3,4	achterzijde	>15 m vanaf dijk
26	59.051	Aijen	21		binnendijks	ja	onbekend				>15 m vanaf dijk
27	59.059	Kampweg	8A		binnendijks	nvt					>15 m vanaf dijk
28	59.062	Kampweg	2		binnendijks	nvt					>15 m vanaf dijk
<b>29</b>	<b>59.063</b>	<b>Aijen</b>	<b>2</b>		<b>binnendijks</b>	<b>ja</b>	<b>-2,05</b>		<b>3,3*3,1</b>	<b>voorzijde</b>	<b>ca. 13 m vanaf dijk</b>
30	59.065	Aijen	7		binnendijks	nvt					>15 m vanaf dijk

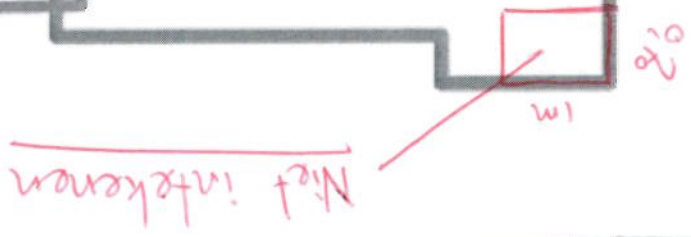
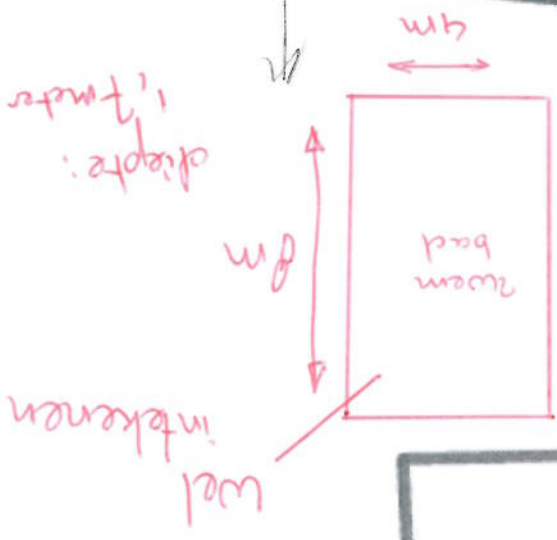
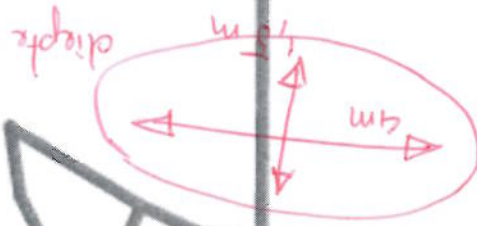


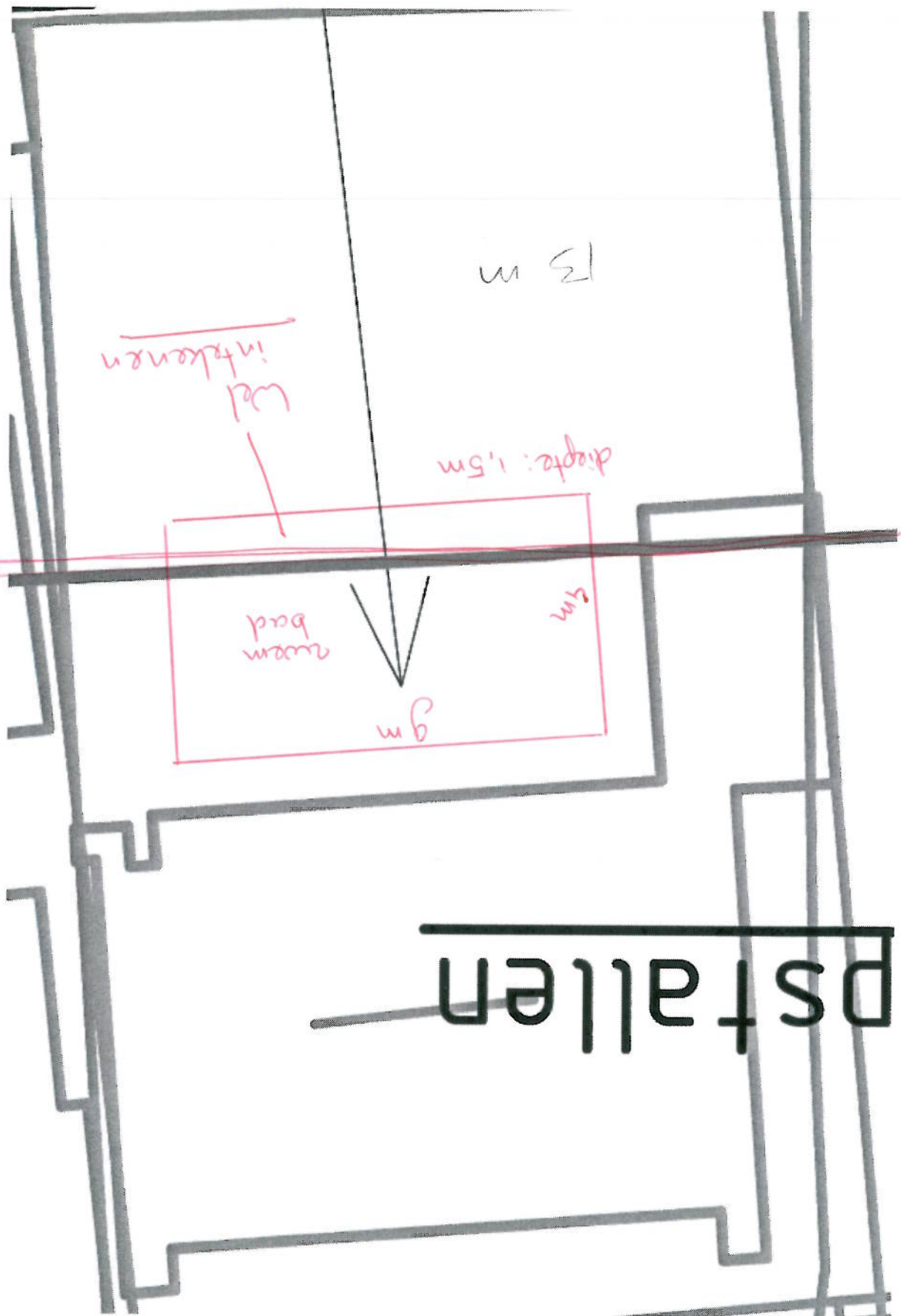
Bewoner: Bech  
 Adres: Aijen 21  
 Tijd: 16:00u





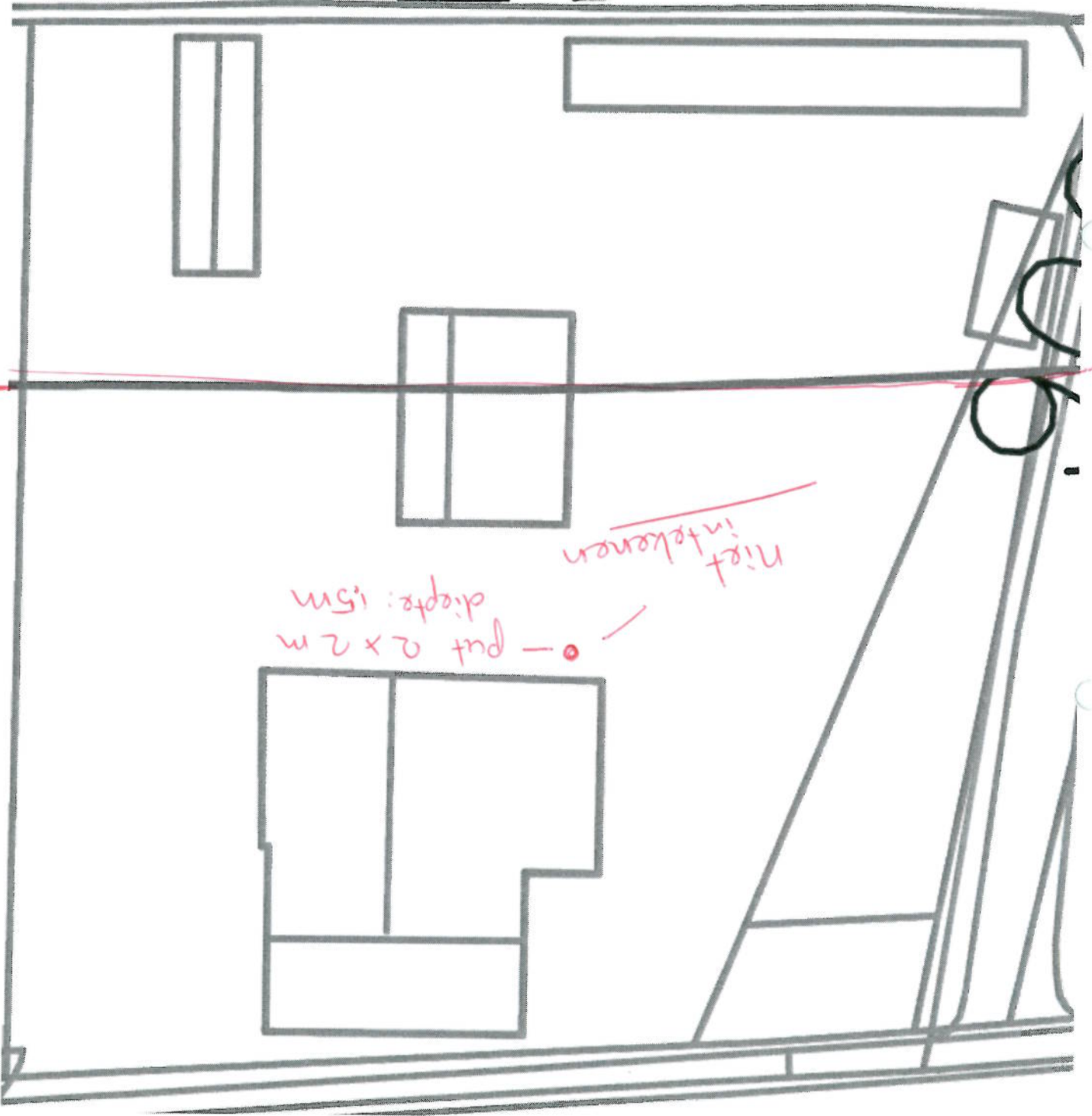
16 m  
diepte = 0,5 m  
Muisdige  
ten











Bewoner: Heldens  
Adres: Aijenseweg 20  
Tijd: 14:30u

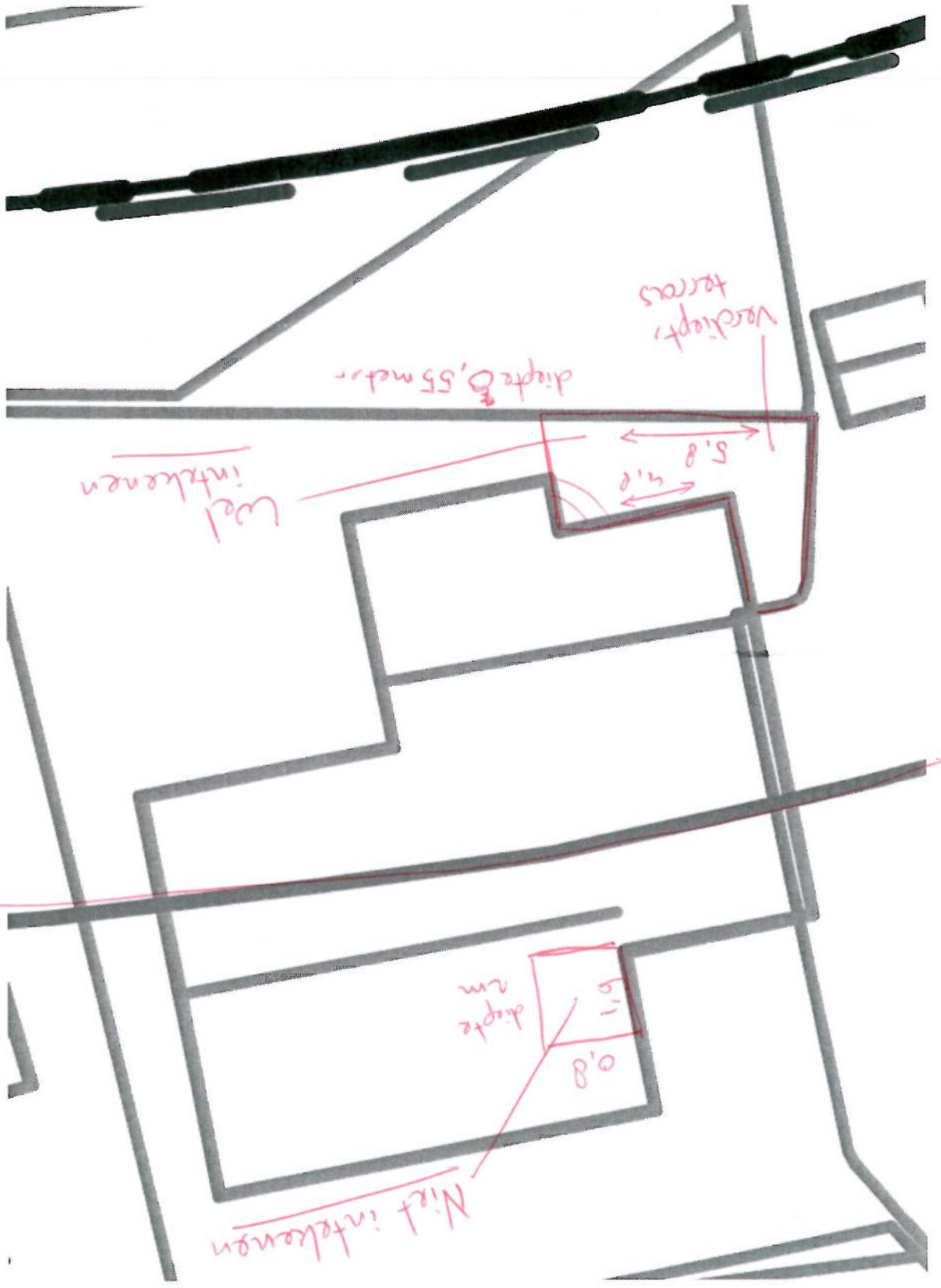


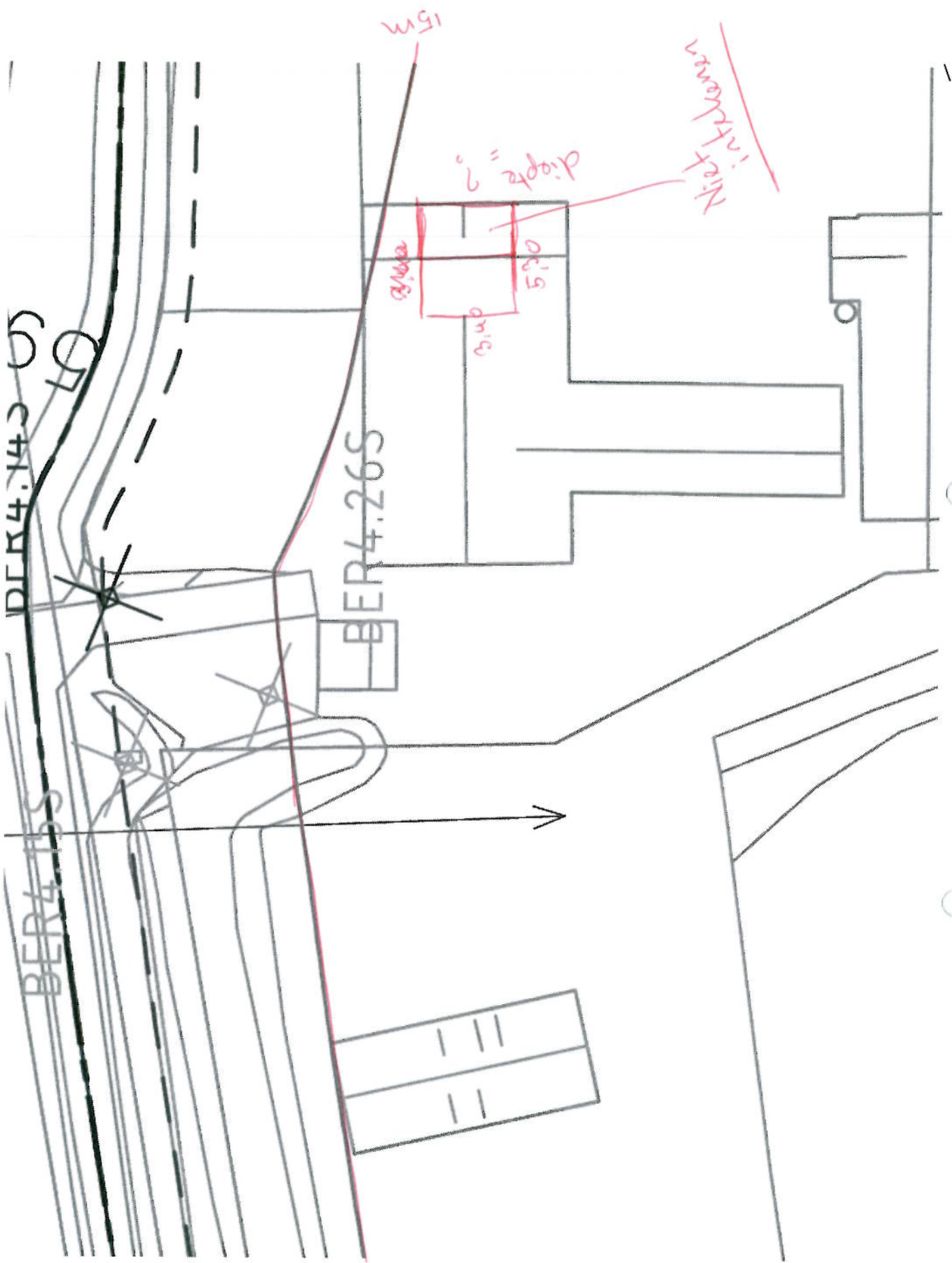


Bewoner: Hesen  
Adres: Aijensweg 24b  
Tijd: 15:30u

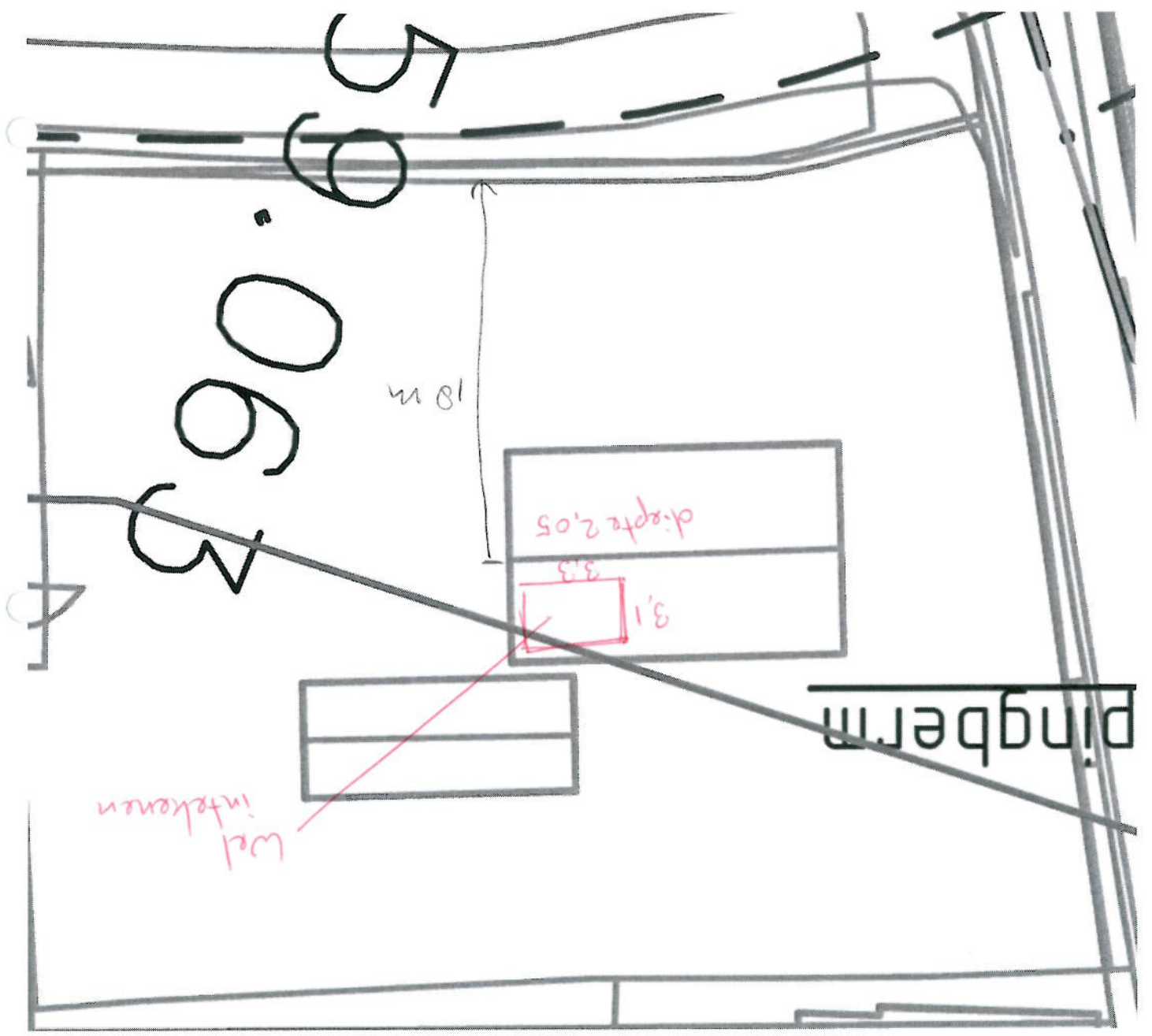








Bewoner: Joosten  
 Adres: Aijensenseweg 7  
 Tijd: 17:00



Wel  
inbrengen

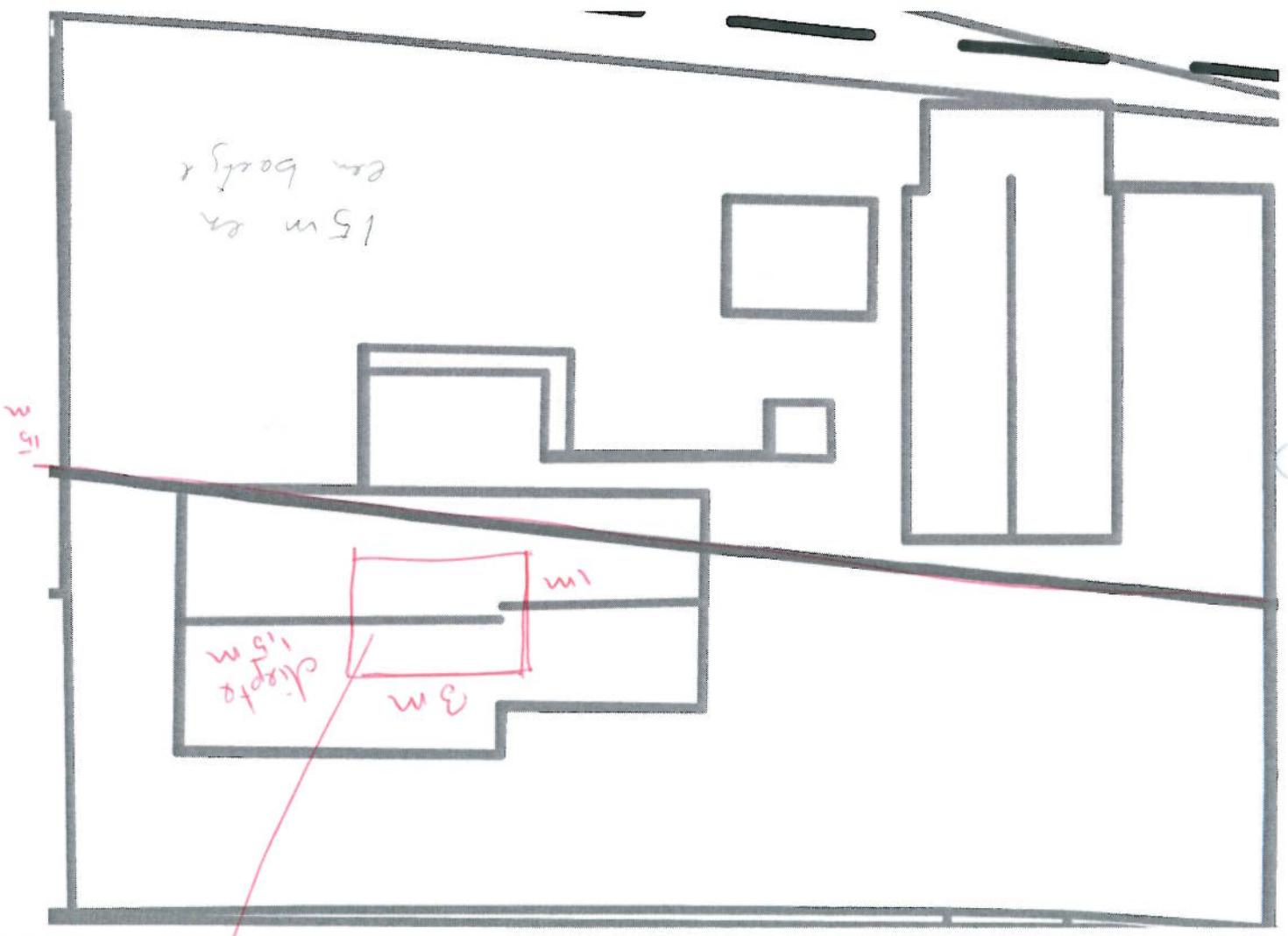
Bewoner: Peters

Adres: Aijensseweg 10

Tijd: 13:30u



niet  
inbrengen



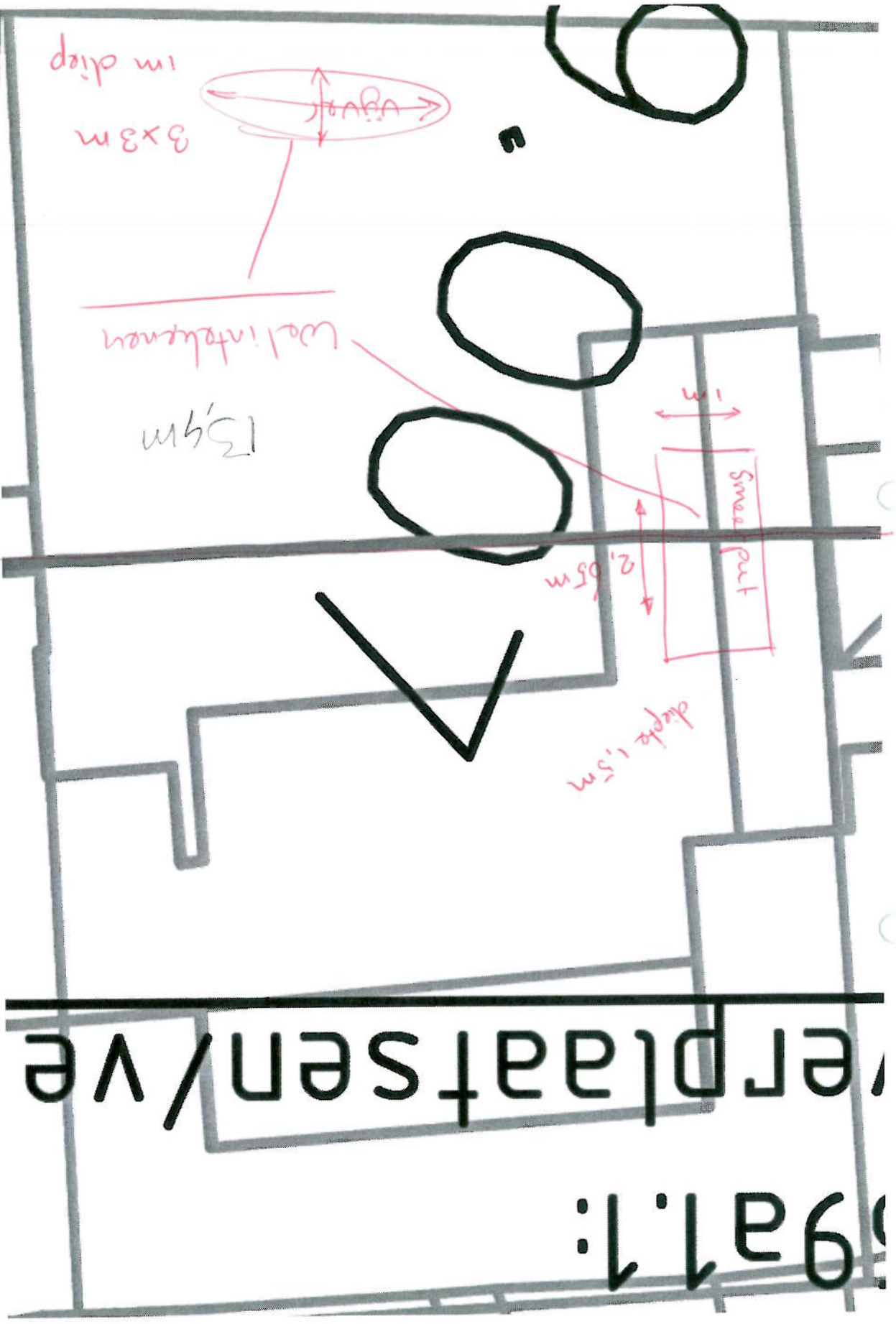


9

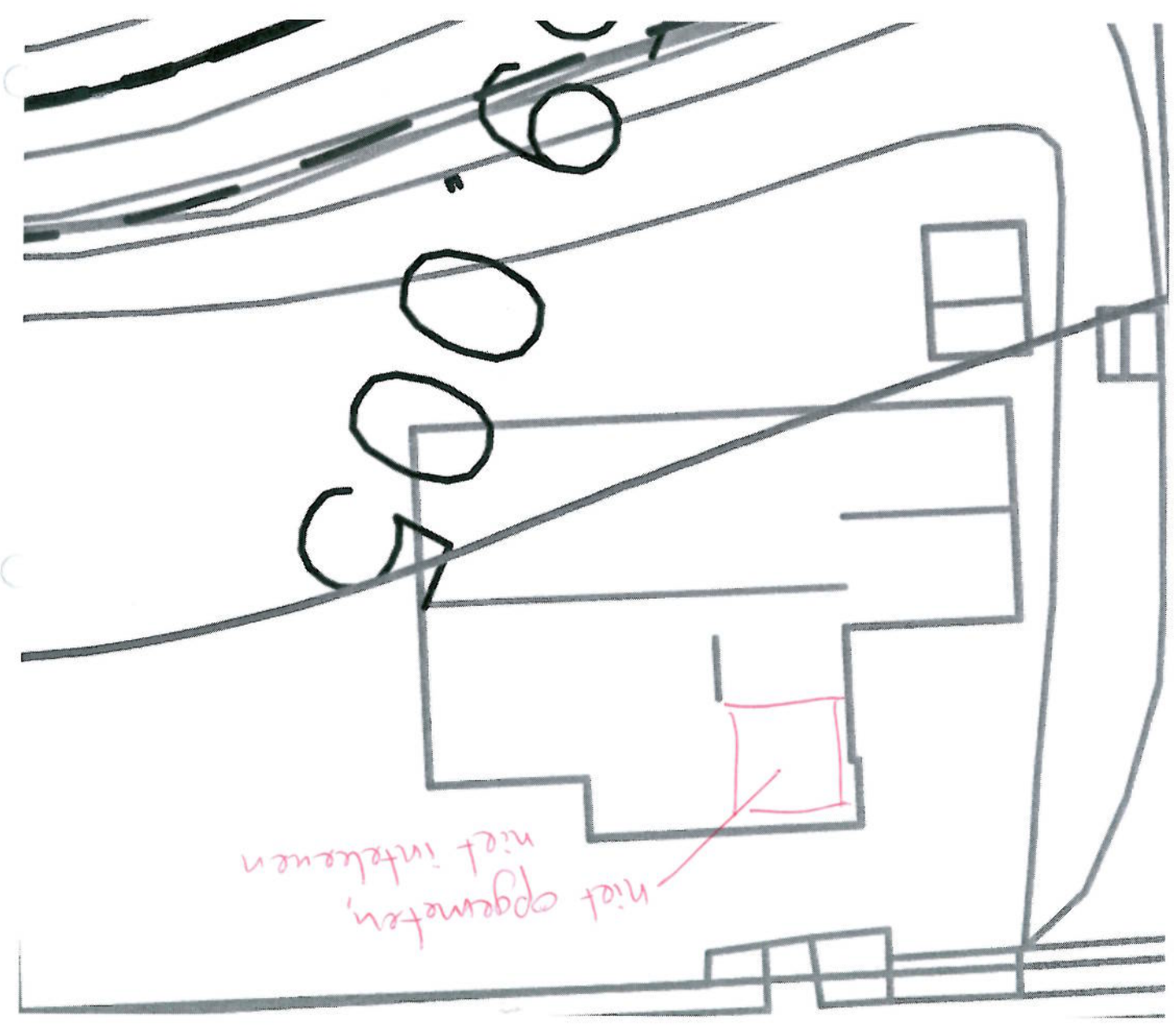


15m

VEI  
DY



verplaatsen/ve



niet opgemeten,  
niet in tekenen

Bewoner: Hurk  
Adres: Aijenseweg 20b  
Tijd: 14:30u



X

Bewoner: Jongkind  
Adres: Aijenseweg 20c  
Tijd: 14:45u







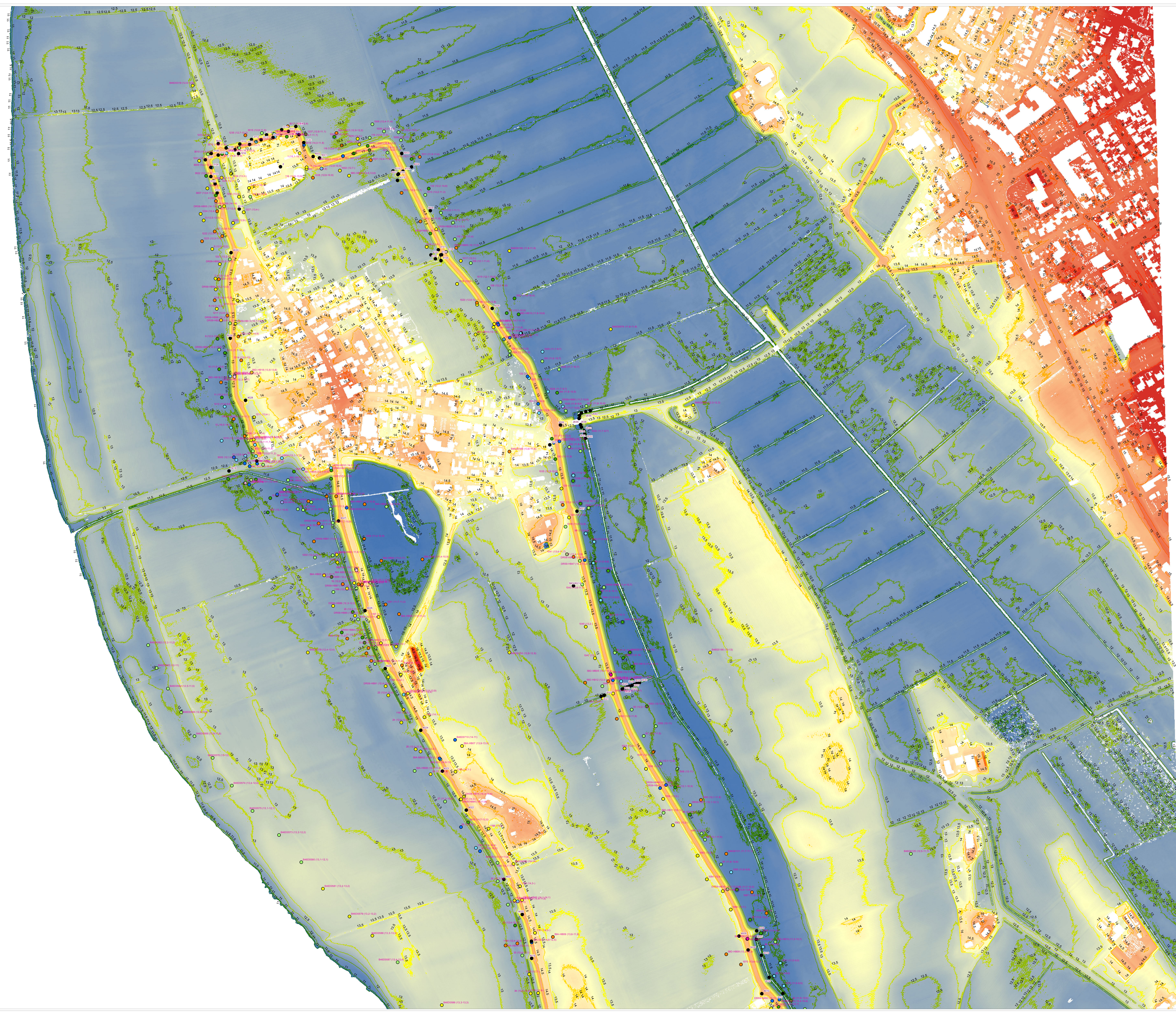






**BIJLAGE 2      Aanvullend kleidikte onderzoek DR59**





**Legenda**

**Kleidikte (m)**

- 0,00 - 0,10
- 0,10 - 0,50
- 0,50 - 1,00
- 1,00 - 1,50
- 1,50 - 2,00
- 2,00 - 3,00
- 3,00 - 4,00
- > 4,00
- Overge punten
- Veen

**AHN (mNAP)**

High : 21,587

Low : 10,764