



MER Herinrichting Nieuwe Driemanspolder

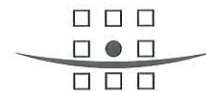
Achtergronddocument: geotechnisch onderzoek kaden

Provincie Zuid-Holland

23 november 2005

Definitief rapport

9P7666



ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V.
KUST & RIVIEREN

Barbarossastraat 35
 Postbus 151
 6500 AD Nijmegen
 (024) 328 42 84 Telefoon
 (024) 360 54 83 Fax
 info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
 www.royalhaskoning.com Internet
 Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel	MER Herinrichting Nieuwe Driemanspolder
	Achtergronddocument: geotechnisch onderzoek kaden
Verkorte documenttitel	Geotechnisch onderzoek NDMP
Status	Definitief rapport
Datum	23 november 2005
Projectnaam	Onderzoek Nieuwe Driemanspolder
Projectnummer	9P7666
Opdrachtgever	Provincie Zuid-Holland
Referentie	9P7666A0/R0001/MBO/MJANS/Nijm

Auteur(s)	ir. R.M. Bos
Collegiale toets	ir. A.G. Wiggers
Datum/paraaf	
Vrijgegeven door	
Datum/paraaf	

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Kader	1
1.2 Doel	1
1.3 Gevolgde werkwijze	1
1.4 Leeswijzer	1
2 GEGEVENS	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Gebiedbeschrijving	2
2.3 Aangeleverde gegevens	3
2.4 Leemten in kennis	4
3 ALGEMENE RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN	5
3.1 Inleiding	5
3.2 Beoordelingskader	5
3.2.1 Omloopdijk waterberging	5
3.3 Hydraulische randvoorwaarden ontwerp kaden	7
3.4 Geohydrologie	9
3.5 Geotechniek	10
3.5.1 Schematisatie ondergrond	10
3.5.2 Opbouw omloopdijk	11
3.5.3 Afleiden geotechnische parameters	11
3.5.4 Uitvoeringsduur, rusttijd, planperiode	11
3.5.5 Modellerings waterspanningen	12
4 GLOBAAL ONTWERP EN BEOORDELING ALTERNATIEVEN	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Globaal ontwerp nieuwe kaden	13
4.3 Beoordeling effecten op bestaande kaden	15
5 ONTWERP VOORKEURSALETERNATIEF	22
5.1 Inleiding	22
5.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten	22
5.2.1 Indeling in dijksecties	22
5.2.2 Dijkprofiel	23
5.2.3 Hydraulische randvoorwaarden	24
5.2.4 Bodemopbouw	25
5.2.5 Geohydrologie	29
5.3 Ontwerp	29
5.3.1 Hoogtebepaling omloopdijk	29
5.3.2 Zettingberekeningen	30
5.3.3 Stabiliteitberekeningen	31
5.3.4 Piping (zandmeevoerende wellen)	33
5.3.5 Dijkprofiel	34
5.4 Overige ontwerpaspecten	35
REFERENTIES	36

1 INLEIDING

1.1 Kader

De gemeenten Den Haag, Leidschendam-Voorburg en Zoetermeer, de Hoogheemraadschappen van Rijnland en Delfland, Waterschap Wilck en Wiericke (sinds 1 januari 2005 bij Hoogheemraadschap van Rijnland) en de provincie Zuid-Holland hebben enige tijd geleden het initiatief genomen voor een herinrichting van de Nieuwe Driemanspolder. Het voornemen is gericht op een functieverandering van het huidige agrarisch gebruik naar natuurontwikkeling, recreatie, seizoensberging en piekberging.

De bergingsfunctie die de polder gaat krijgen zal gevolgen hebben voor het grondwater in de omgeving. Omdat inzicht gekregen moet worden in de effecten van deze functieverandering op het grondwater is een geohydrologisch en geotechnisch onderzoek uitgevoerd. Dit rapport beschrijft de resultaten van het geotechnisch onderzoek.

1.2 Doel

Het doel van het geotechnisch onderzoek is tweeledig:

1. Het beoordelen van de haalbaarheid van de *MER Inrichtingsalternatieven* op geotechnisch aspecten waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen:
 - aspecten die de omloopdijk van de waterberging betreffen en;
 - de stabiliteit van de bestaande kaden in de directe omgeving van de waterberging.
2. Het maken van het (geotechnisch) ontwerp voor de omloopdijk.

1.3 Gevolgde werkwijze

In de, in het project gevolgde werkwijze is het geohydrologisch onderzoek leidend geweest voor de definiëring en uitwerking van de *MER Inrichtingsalternatieven*. Het geotechnisch onderzoek toetst de alternatieven en geeft daarbij mogelijk knelpunten aan (doel 1). Het toetsen is gedaan op basis van expert judgement ondersteund met zeer globale ontwerpberekeningen. Na de keuze van het definitief uit te werken MER Inrichtingsalternatief (voorkeuralternatief) is het geotechnisch ontwerp hiervoor gemaakt.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van beschikbare gegevens en leemten in kennis. In hoofdstuk 3 worden de algemene randvoorwaarden en uitgangspunten behandeld, zoals het beoordelingskader, hydraulische randvoorwaarden, de geohydrologie en geotechniek. Hoofdstuk 4 behandelt de beoordeling van de alternatieven bestaande uit een globaal ontwerp per alternatief en een beoordeling van de effecten van de alternatieven op de bestaande kaden in de omgeving. In hoofdstuk 5 wordt het ontwerp van het voorkeuralternatief beschreven.

2 GEGEVENS

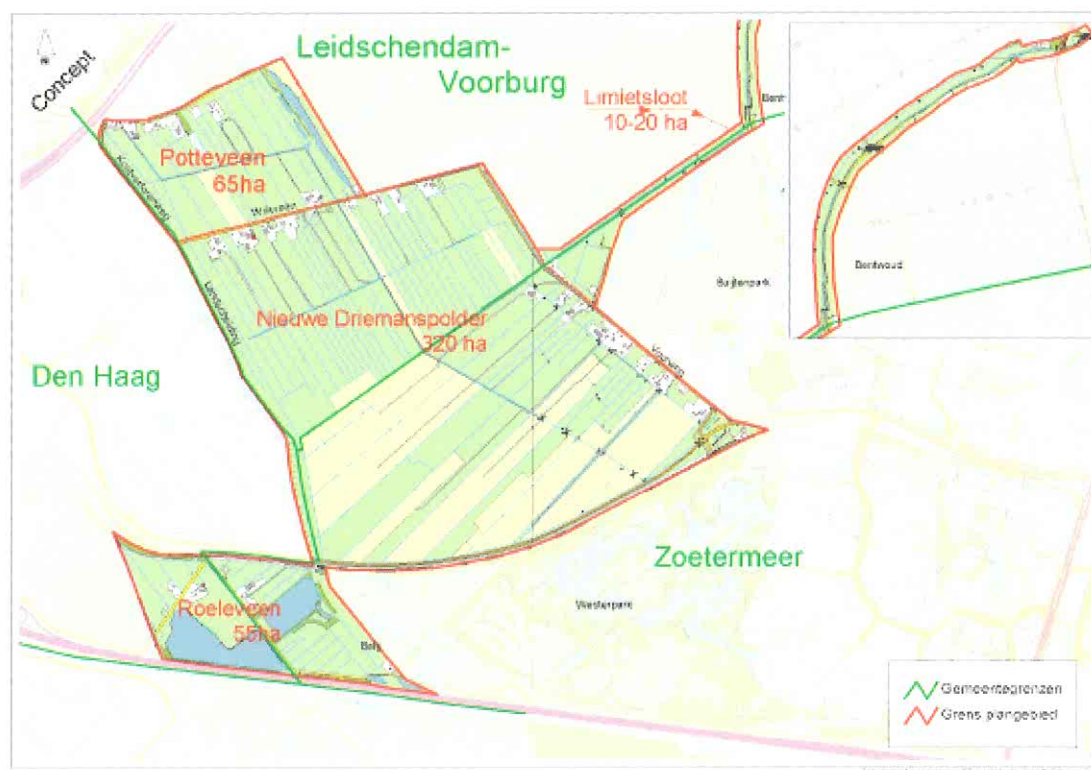
2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de beschikbare gegevens voor het geotechnisch onderzoek. Paragraaf 2.2 geeft een beschrijving van het projectgebied. In paragraaf 2.3 worden de aangeleverde gegevens genoemd waarbij met name wordt ingegaan op het grondonderzoek. Afgesloten wordt met een overzicht van ontbrekende gegevens, de leemten in kennis (paragraaf 2.4).

2.2 Gebiedbeschrijving

De Nieuwe Driemanspolder is gelegen tussen Leidschendam en Zoetermeer. Het gebied is het laatste restant van het oorspronkelijke open landelijk gebied tussen Den Haag, Leidschendam-Voorburg en Zoetermeer. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de Nieuwe Driemanspolder met daarin aangegeven de ligging van het plangebied. Het landgebruik in dit deel van de Nieuwe Driemanspolder bestaat voornamelijk uit weiland (noordelijk deel) en akkerbouw (zuidelijk deel). Langs de randen van het plangebied is extensieve lintbebouwing aanwezig. Het maaiveld ligt tussen circa NAP -4,75 en -5,25 meter.

Figuur 2.1 Ligging Nieuwe Driemanspolder met plangebied



2.3 Aangeleverde gegevens

Een overzicht van de aangeleverde gegevens wordt gegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Overzicht van de ontvangen gegevens

Gegevens	Bron/instantie
Veiligheidsklasse	
Veiligheidsklasse die voor de bestaande boezemkaden wordt gehanteerd	HHS Rijnland
Geometrie	
Maaiveldhoogten	AHN-bestand
Geometrie bestaande kaden (Fli-map)	HHS Rijnland
Grondonderzoek	
Bodemlagen (lengtedoorsneden)	TNO
Geotechnische lengteprofielen	Deelstudie geohydrologie o.b.v TNO-gegevens
Boringen en sonderingen	NITG, DINO
Enkele sonderingen in het gebied	Gemeente Zoetermeer
Bestaand grondonderzoek (incl. laboratoriumonderzoek) omgeving	TNO
Informatie over aanvul- en ophoogmateriaal nieuw aan te leggen kaden (alleen klei-eisen)	HHS Rijnland
Hydraulische randvoorwaarden	
Ontwerpwaterstanden waterberging	Deelstudie geohydrologie
Stijghoogten	Deelstudie geohydrologie
Polderpeilen	HHS Rijnland
(Tussen)boezempeilen	HHS Rijnland
Windsnelheden	Provincie Zuid-Holland

Grondonderzoek

Vanuit de deelstudie geohydrologie zijn lengteprofielen van de bodemopbouw op het tracé van de omloopdijk aangeleverd. Deze bodemopbouw is gebaseerd op de gegevens (boringen en sonderingen) van TNO. De boringen en sonderingen van NITG en DINO dienen als verificatie van de aangeleverde bodemopbouw.

Het door TNO geleverde grondonderzoek (veld- en laboratoriumonderzoek) in de directe omgeving is gebruikt om parameters te bepalen voor de geotechnische berekeningen. Het betreft de volgende onderzoeken:

- puinstort recreatiegebied noord-west Zoetermeer, Resultaten monsteronderzoek, Grondmechanica Delft, februari 1981(CO-247611, bijl 35;
- uitbreidingsplan Leidschenveen, MOS Grondmechanica, 8 augustus 1996 (kenm. 050495);
- provinciale weg N469 te Zoetermeer, Tjaden Grondmechanica, februari 1997 (S 96.847).

Hydraulische randvoorwaarden

In de deelstudie geohydrologie zijn voor alle alternatieven de bijbehorende waterstanden en stijghoogten bij piekberging bepaald. Piekberging is de maatgevende situatie voor het ontwerp van de omloopdijk en het beoordelen van de stabiliteit van de bestaande kaden. De windsnelheden zijn speciaal voor de situatie van piekberging in de Nieuwe Driemanspolder door de Provincie Zuid-Holland berekend.

2.4 Leemten in kennis

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de gevraagde maar niet ontvangen gegevens.

Tabel 2.2 Overzicht van de gevraagde maar niet ontvangen gegevens

Informatie	Bron/instantie	Reden
Geotechnische parameters per laag ondiepe ondergrond(holoceen) voor het plangebied, Regionale proevenverzameling	NITG DINO Gemeenten	Niet aanwezig
Grondopbouw bestaande kaden	HHS Rijnland	Niet bekend
Uitgevoerd onderzoek m.b.t. stabiliteit van (regionale) waterkeringen	HHS Rijnland	Niet aanwezig

Belangrijkste leemte in kennis is lokaal grondonderzoek dat geschikt is voor het afleiden van geotechnische parameters voor het beoordelen van de bestaande kaden en ontwerpberekeningen voor de omloopdijk.

3 ALGEMENE RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de algemene randvoorwaarden en uitgangspunten beschreven die horen bij:

- het ontwerp van de nieuwe kaden ten behoeve van de piekberging;
- de effectbeoordeling van de (piek)berging op de bestaande kaden.

Het ontwerp en de effectbeoordeling zelf zijn beschreven in hoofdstuk 4.

Allereerst wordt ingegaan op het te hanteren beoordelingskader (3.2). Vervolgens worden de hydraulische randvoorwaarden (3.3) besproken. Hierna volgen de geohydrologische (3.4) en geotechnische (3.5) aspecten.

3.2 Beoordelingskader

3.2.1 Omloopdijk waterberging

Regionale keringen

De omloopdijk van de waterberging kan als onderdeel van een stelsel van regionale keringen worden beschouwd. Normering van regionale keringen is de verantwoordelijkheid van de provincie. Op dit moment bestaat er geen landelijk instrumentarium om toetsing of ontwerp van regionale waterkeringen uit te voeren. Momenteel wordt gewerkt aan een “Groene Versie” van een leidraad voor het toetsen van regionale waterkeringen. Verwacht wordt dat het belastinggeval “extreme droogte” hier een belangrijke plaats zal innemen. In het ontwerp van kades moet hierop geanticipeerd worden.

Boezemkaden

Het stelsel van regionale keringen waar de omloopdijk deel van uit gaat maken bestaat voornamelijk uit boezemkaden. Boezemkaden worden permanent (min of meer) maximaal belast (i.t.t. rivierdijken die alleen bij hoogwater een significante belasting krijgen). Hoewel de omloopdijk qua belastingsduur wellicht meer overeenkomsten vertoont met een rivierdijk is hier (in overleg met waterschappen en provincie) vooralsnog gekozen voor een benadering waarbij de omloopdijk als boezemkade wordt beschouwd.

Van de vigerende TAW-leidraden en - technische rapporten bestaat er voor boezemkaden alleen het “Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden” (TRB). Het TRB geeft een ontwerprequentie van 1/50 à 1/100 per jaar “ter oriëntatie”. Daarnaast is er de IPO – richtlijn voor boezemkaden die uitgaat van kadeklassen met bijbehorende overschrijdingsfrequenties van maatgevend boezempeil (zie tabel 3.1)¹. De betrokken waterschappen stellen uiteindelijk het vereiste veiligheidsniveau vast.

¹ Het IPO heeft in 2000 i.o.m. de Unie van waterschappen en de TAW de IPO-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden opgesteld

Tabel 3.1 Kadeklassen en overschrijdingsfrequenties IPO-richtlijn

Kadeclassie	Overschrijdingsfrequenties van maatgevend boezempeil per jaar
I	1/10
II	1/30
III (vergelijkbaar met TR Boezemkade)	1/100
IV	1/300
V	1/1000

Bepaling van veiligheidsniveau voor omloopdijk

Zoals eerder opgemerkt stellen de betrokken waterschappen uiteindelijk het vereiste veiligheidsniveau vast. In de conceptnormering houdt Hoogheemraadschap Rijnland voor de Nieuwe Driemanspolder kadeclassie V aan. In dit stadium van het onderzoek zijn er verschillende mogelijkheden om het veiligheidsniveau te bepalen:

- bepaling veiligheidsniveau m.b.v. berekeningen (bijvoorbeeld door het afleiden van de kadeclassie volgens de IPO – richtlijn);
- rationele benadering waarbij het uitgangspunt is dat de waterberging geen negatief effect heeft op het bestaande veiligheidsniveau van het gebied.

Ad 1) Bepaling veiligheidsniveau m.b.v. berekeningen

Uitgangspunt is dat de kans dat de waterberging moet worden ingezet als piekberging orde 1/10 per jaar bedraagt. Dit is gebaseerd op gegevens uit de startnotitie m.e.r. Nieuwe Driemanspolder [Stuurgroep Nieuwe Driemanspolder, januari 2004]. Deze kans is overigens niet te vergelijken met een overschrijdingsfrequentie van maatgevend boezempeil. Het is nu nog niet mogelijk overstromingskansen berekeningen te maken.

Een alternatief is om het gewenste veiligheidsniveau te berekenen door het afleiden van de kadeclassie volgens de IPO – richtlijn waarbij de piekberging als gegeven wordt beschouwd. De kadeclassie is afhankelijk van de volgende factoren:

- inundatiediepte in het achterliggende gebied;
- gewogen polderoppervlak (bepaald door landgebruik).

Kaden langs polders met een gewogen oppervlakte kleiner dan 10 hectare vallen altijd in kadeclassie I. Kaden langs polders met een gewogen oppervlakte van meer dan 1000 hectare en een gemiddelde inundatiediepte groter dan 0,40 m vallen altijd in kadeclassie V.

Voor de Nieuwe Driemanspolder kleven echter een aantal bezwaren aan deze methode. Ten eerste is de omloopdijk geen ‘echte’ boezemkade (zie eerder) waardoor deze methodiek niet één op één op de omloopdijk kan worden toegepast. Een ander bezwaar is meer van praktische aard. De omloopdijk is over een groot gedeelte op korte afstand van bestaande kades gesitueerd waardoor bij een doorbraak de inundatiediepte tijdelijk groter kan zijn doordat het water tussen de kades niet snel kan wegstromen. Hierbij is de veiligheid van de omwonenden (lintbebouwing langs bestaande kaden) in het geding.

Ad 2) Rationele benadering

Het uitgangspunt hierbij is dat de waterberging geen afbraak doet aan het bestaande veiligheidsniveau van het gebied. Er wordt een veilige bovengrensbepaling gehanteerd. Om ook aan te sluiten op de IPO-richtlijn wordt een veiligheidsniveau overeenkomend met de hoogste kadeklasse (V) aangehouden.

Na overleg met de provincie Zuid-Holland en de waterbeheerders is gekozen voor de uitwerking volgens benadering 2, met een veiligheidsniveau overeenkomend met de hoogste kadeklasse (V), mede omdat het Hoogheemraadschap Rijnland in de conceptnormering voor de Nieuwe Driemanspolder al kadeklasse V aanhoudt.

Voor bepaling van de hoogte van de omloopdijk wordt het uitgangspunt van de Provincie Zuid-Holland aangehouden: "De toename van de overstromingskansen van polders aangrenzend aan de waterberging moet klein zijn in verhouding tot de overstromingskansen. Het is nu nog niet mogelijk om overstromingskansen berekeningen te maken. Daarom wordt de veiligheidseis vertaald in de eis dat de kans op overbelasten van de ringdijk niet groter mag zijn dan 0.1 maal de overschrijdingsfrequentie van kadeklasse V, ofwel 1×10^{-4} per jaar." [Piek, 2005]. Uitgaande van een kans dat de waterberging als piekberging ingezet moet worden van 1/10 per jaar is de conditionele faalkans waarmee gerekend moet worden 1/1000 (vergelijkbaar met overschrijdingsfrequentie kadeklasse V).

3.3

Hydraulische randvoorwaarden ontwerp kaden

Algemeen

De kruinhoogte van de nieuwe kaden wordt als volgt bepaald:

- kruinhoogte = vereiste kruinhoogte + overhoogte in verband met verwachte zetting;
- vereiste kruinhoogte = ontwerpwaterstand + kruinhoogtemarge;
- kruinhoogtemarge* = golfoploop + opwaaiing.

**gebruik van de term waakhogte is hier vermeden*

Verder is voor de uit te voeren berekeningen de duur van de piekberging en de wijze van vullen en legen van de piekberging een belangrijk gegeven. Genoemde aspecten worden onderstaand toegelicht.

Ontwerpwaterstand

De ontwerpwaterstand wordt bepaald door het volume te bergen water bij piekberging, het beschikbare oppervlak voor piekberging en eventuele compartimentering bij vullen van de piekberging. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- uitgangssituatie peil bij aanvang piekberging: NAP -4,8 meter (alternatief 1, 2 en 3a) respectievelijk NAP -4,25 meter (alternatief 3b);
- piekberging maximaal 2 miljoen m^3 ;
- lozing onder vrij verval, maximaal peil NAP -3,45 meter (alternatief 1, 2 en 3a) respectievelijk NAP -2,16 meter (alternatief 3b).

Kruinhoogtemarge (opwaaiing en golfoploop)

De maatgevende windrichting is ongeveer zuidwest (ZW). Een oriëntatie van de kade op het ZW is derhalve ongunstig.

Opwaaiing

Bij opwaaiing stuwt de wind het water op. Dit leidt tot een verhoging van de waterstand tegen de kade die op de wind is georiënteerd. Bepalend voor de mate van opwaaiing zijn naast windrichting en –snelheid, de strijklengte (grootte van het compartiment) en de waterdiepte (afhankelijk van de alternatieven circa 1 tot 1,5 meter, zie hoofdstuk 4). Hoe groter het compartiment, des te groter de opwaaiing.

Golfoploop en overslag

Wind zorgt ervoor dat golven worden opgewekt. Voor de kade wordt aan de hand van strijklengte, waterdiepte en windrichting de inkomende golf (hoogte en periode) bepaald. De inkomende golven rollen op het talud van de kade en kunnen voor “overslag” over de kruin zorgen. De mate van overslag wordt bepaald door de kruinhoogte, stilwaterstand (= ontwerpwaterstand + opwaaiing) en de taludhelling van de dijk. Bij een gegeven kritiek overslagdebiet (bijv. 0,1 of 1 liter/s/m) en taludhelling kan de vereiste kruinhoogte bepaald worden. Het verschil tussen deze vereiste kruinhoogte en de stilwaterstand wordt golfoploop genoemd.

Bij een waterdiepte van 1 tot 1,5 meter en strijklengtes tot circa 2000 (zie hoofdstuk 4) meter is de golfhoogte afhankelijk van de strijklengte. Relatief kleine compartimenten (kleine strijklengtes) zijn gunstiger dan grote compartimenten.

Windsnelheden

De windsnelheden zijn aangeleverd door de Provincie Zuid-Holland [Piek, 2005 en Geerse, 2005]. Voor de berekeningen van opwaaiing en golven moeten de windsnelheden op open water worden aangehouden.

Tabel 3.2 Windsnelheden

Windrichting	Windsnelheid [m/s]	
	Potentiaal	Open water
NNO	20	21.62
NO	20	21.62
ONO	20	21.62
ONO	20	21.62
OZO	19	20.59
ZO	19	20.59
ZZO	21	22.64
Z	23	24.68
ZZW	27	28.69
ZW	29	30.68
WZW	30	31.67
WZW	31	32.65
WNW	31	32.65
NW	29	30.68
NNW	26	27.69
N	22	23.66

Overhoogte in verband met zettingen

Bij het ontwerp moet rekening worden gehouden met overhoogte in verband met zetting van het dijklichaam in de loop van de tijd, tijdens de uitvoering voor oplevering van de kades en daarna. De mate van overhoogte die gerealiseerd moet worden hangt af van de onderhoudsfrequentie waarmee de kades worden opgehoogd. In overleg met Hoogheemraadschap Rijnland is een onderhoudsfrequentie van eens in de 15 jaar als uitgangspunt genomen. Uitgangspunt is dat eens in de 15 jaar de kades met (maximaal) 0,3 à 0,4 meter moeten worden opgehoogd.

Duur van de piekberging

In de startnotitie wordt uitgegaan van een duur van de piekberging van circa twee weken (14 dagen). Voor de berekeningen gaan we uit van de volgende uitgangspunten (besproken met het Hoogheemraadschap van Rijnland):

- een maximale waterstand gedurende 10 dagen (van belang voor ontwerpwind-snelheid);
- duur van het vullen: 36 uur;
- duur van het ledigen: 5 dagen.

3.4 Geohydrologie

De geohydrologische randvoorwaarden voor het onderzoek volgen uit het grondwatermodel dat is opgesteld in het kader van het geohydrologische onderzoek. De resultaten van deze studie zijn beschreven in een aparte rapportage.

Voor het geotechnische onderzoek zijn vooral de stijghoogte in het Pleistocene watervoerend pakket en in de zandige tussenlaag binnen de deklaag (Formatie van Naaldwijk) van belang (zie paragraaf 3.5). Deze berekeningsresultaten vormen de basis voor het geotechnisch onderzoek. Gelet op verschillen in schaalniveau moet hierbij op onderdelen nog wel een vertaalslag worden gemaakt.

Voorbeeld: voor het geotechnische onderzoek is bijvoorbeeld het verloop van grondwaterstanden/stijghoogten in de verschillende lagen binnen de deklaag van belang. In aanvulling op de resultaten van het geohydrologische onderzoek worden voor het geotechnische onderzoek daarom aannamen gedaan over de wijze waarop de drukopbouw in de verschillende lagen plaatsvindt. Afhankelijk van de resultaten van het onderzoek zal dit in een later stadium moeten worden geverifieerd aan de hand van veld- en of laboratoriumonderzoek (bijvoorbeeld waterspanningsmetingen).

3.5 Geotechniek

3.5.1 Schematisatie ondergrond

De ondergrond voor de aan te leggen kades is afgeleid uit de gegevens van NITG-TNO (Geohydrologisch onderzoek Nieuwe Driemanspolder, fase 1: geologisch onderzoek, 2003). Voor het onderzoek is de samenstelling van de Holocene deklaag (tot aan het Pleistocene, watervoerend pakket) van belang.

Deze laag is als volgt opgebouwd:

- veenlaag met een dikte van circa 1 meter (alleen aanwezig ter plaatse van de bestaande kaden);
- kleilaag (lutum > 25%, laguniare afzetting);
- zandig gelaagde kleiafzetting (lutum 8 – 25%, getijdeplaatafzetting) afgewisseld met zandgeulen (kleiig gelaagd, lutum < 8%, getijdegeulafzetting);
- kleilaag (lutum > 25%, laguniare afzetting);
- kleilaag met een enkele zandgeulafzetting;
- basisveen;
- pleistoceen zand (watervoerend pakket).

De totale dikte van de Holocene deklaag ter plaatse bedraagt circa 10 meter. Van het plangebied en een aantal delen om het plangebied heen is een gedetailleerde interpretatie van de bodemopbouw beschikbaar (beschrijving in een grid van 100 x 100 meter (horizontaal) x 0,25 meter (vertikaal).

Uit indicatieve berekeningen blijkt dat voor de aan te leggen kaden alleen de bovenste deklaag en de tussenzandlaag van belang zijn. De hoogteligging en diktes van de lagen varieert sterk over de te beschouwen tracés. De dimensies van de omloopdijk kunnen sterk worden bepaald door de hoogteligging van en de stijghoogte in de zandige tussenlaag. De gevoeligheid hiervan voor het ontwerp wordt onderzocht alvorens definitieve bodemprofielen worden gekozen en doorgerekend.

Ten behoeve van het geotechnisch onderzoek wordt de omloopdijk met ondergrond als volgt geschematiseerd:

- kade (vrijkomende grond, voornamelijk klei, zie 3.4.2);
- deklaag van klei;
- zandige tussenlaag (slecht of goed watervoerend, moet naderhand nog worden geverifieerd met sonderingen).

3.5.2 Opbouw omloopdijk

Uitgangspunt is dat de omloopdijk kan worden opgebouwd uit vrijkomende grond. Op het talud aan de waterzijde zal een *deklaag* van klei (volgens de eisen) moeten worden opgebracht. Gelet op de grote hoeveelheid vrijkomende klei in het gebied wordt voorgesteld om naast klei als bekledingsmateriaal voor de omloopdijk ook klei als aanvul-/ophoogmateriaal te gebruiken.

Aanvul/ophoogmateriaal:

Het aanvulmateriaal dient in ieder geval vrij van organisch materiaal te zijn, hiervoor kunnen de gebruikelijke RAW eisen van toepassing worden verklaard. Op grond van de beschikbare informatie wordt geconcludeerd dat grote hoeveelheden van de lokaal aanwezige klei hieraan kan voldoen. Tijdens de uitvoering moeten wel (vanwege de verwerkbaarheid) eisen worden gesteld aan onder meer het watergehalte en de consistentie index.

Kleibekleding:

Voor de klei die als bekleding wordt gebruikt gelden strengere eisen vanwege de vereiste erosie bestendigheid. Om de erosiebestendigheidscategorie vast te stellen dient laboratoriumonderzoek te worden uitgevoerd. Dit is vastgelegd in TAW-rapporten en de RAW. Op dit moment is dit onderzoek niet beschikbaar.

In het algemeen kan het ontwerp worden aangepast door de taluds te verflauwen. Voor de bekleding geldt dat de eisen voor de bekleding op het binnentalud afhankelijk zijn van het toelaatbaar overslagdebiet en dus van de kruinhoogte van de dijk. Door de kruin voldoende hoog aan te leggen wordt het overslagdebiet beperkt. In het ontwerp wordt vooralsnog uitgegaan van een klein overslagdebiet van 0,1 l/s/m. In dit geval kan worden volstaan met een lage erosiebestendigheidscategorie en kan (waarschijnlijk) de lokale klei worden toegepast.

3.5.3 Afleiden geotechnische parameters

Aangezien (nog) geen lokaal grondonderzoek is uitgevoerd voor het bepalen van de grondeigenschappen worden deze bij benadering bepaald:

- door een bovengrensbenadering waarbij conservatieve waarden worden aangehouden conform het Technisch Rapport Boezemkaden;
- door een “best guess” benadering van de grondeigenschappen op basis van bestaand grondonderzoek in de omgeving.

3.5.4 Uitvoeringsduur, rusttijd, planperiode

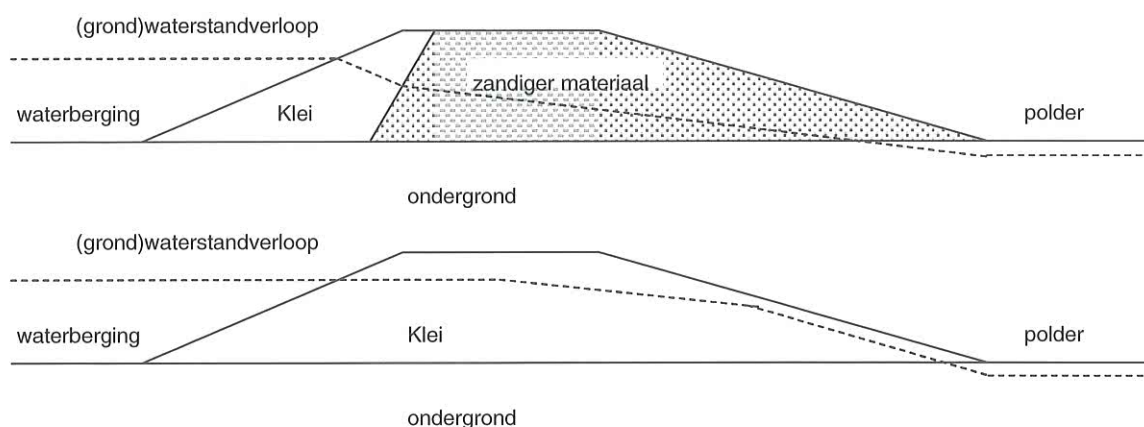
In de zetting- en stabiliteitberekeningen wordt uitgegaan van een uitvoeringsduur (incl. rusttijd) van één jaar tenzij dit vanwege onvoldoende consolidatie tot significant ongunstige afmetingen van het dijklichaam leidt.

Voor de planperiode wordt een periode van 50 jaar aangehouden (van belang voor mate van overhoogte ter compensatie van zettingen). Maaiveld daling wordt in dit stadium niet meegenomen.

3.5.5 Modellerings waterspanningen

Het verloop van de freatische grondwaterstand in de kade is afhankelijk van de doorlatendheid van het materiaal waaruit deze is opgebouwd. Aan de buitenzijde (berging) bevindt zich een afdekkende kleilaag (ondoorlatend). Aan de binnenzijde is zandiger materiaal gewenst teneinde de grondwaterstand om laag te trekken naar maaiveldniveau. Bij een volledig uit slecht doorlatende klei of veen opgebouwde kade zal de grondwaterstand hoog blijven en bij infiltratie door hevige neerslag tot de hoogte van de buitenwaterstand / binnentalud kunnen stijgen. Zie figuur 3.1.

Figuur 3.1 Verloop freatische grondwaterstand in de eindsituatie (aangepaste waterspanningen)



De snelheid waarmee de waterstand in de berging stijgt, is bepalend voor de reactie van de grond op de hogere waterstand. Bij een snelle stijging zal de grond ongedraineerd reageren, d.w.z. dat de korrelspanningen in de grond zich niet meteen aanpassen aan de situatie met de hoge buitenwaterstand. Er is een zekere aanpassingstijd nodig voordat de eindsituatie wordt bereikt waarin de waterspanningen in de grond volledig zijn aangepast. Voor een kade met goed doorlatend materiaal is de aanpassingstijd korter dan voor een kade met slecht ondoorlatend materiaal. Het doorrekenen van de eindsituatie is ongunstiger dan initiële situatie.

Wanneer de waterstand in de berging zakt speelt de doorlatendheid van de kade wederom een belangrijke rol. De grondwaterstand in de kade zal zich niet direct aanpassen aan de lagere buitenwaterstand. Dit betekent een extra belasting voor het buitentalud.

Tevens is de tijdsduur tussen aanleg van de kade en vullen van de berging van belang. Als gevolg van het aanbrengen van het grondlichaam treedt zetting van de ondergrond op die moet consolideren. De stabiliteit van de kade is afhankelijk van de mate van consolidatie (= aanpassing van de waterspanningen in de ondergrond). Hoe meer de ondergrond is geconsolideerd des te stabiel is de kade.

4 GLOBAAL ONTWERP EN BEOORDELING ALTERNATIEVEN

4.1 Inleiding

In het kader van de op te stellen Milieu Effect Rapportage wordt een aantal alternatieven voor piek- en seizoensberging onderscheiden. Deze alternatieven verschillen onder meer wat betreft type berging (gecombineerde dan wel gescheiden piek- en seizoensberging), oppervlak van de berging en maximale peilen. Van deze alternatieven zijn de geohydrologische en geotechnische aspecten onderzocht. In dit hoofdstuk wordt het globaal ontwerp van de nieuw aan te leggen kaden voor de verschillende alternatieven beschreven. Tevens wordt een beoordeling gegeven van de effecten van de (piek)berging op de bestaande kaden. Het detailniveau van dit ontwerp en effectbeoordeling is zodanig dat op grond hiervan de alternatieven onderling kunnen worden vergeleken (dus geen detailontwerp). De diverse resultaten uit dit hoofdstuk zijn verwerkt in de MER effectbeoordeling. Nadat een keuze is gemaakt voor een voorkeursalternatief (VA) wordt het kadeontwerp voor dit alternatief nader uitgewerkt. Deze uitwerking is beschreven in hoofdstuk 5.

In paragraaf 4.2 wordt ingegaan op het globale ontwerp van de nieuwe kaden. Paragraaf 4.3 gaat in op de effecten op de bestaande kaden. De uitgangspunten en randvoorwaarden bij het ontwerp en effectbeoordeling zijn beschreven in hoofdstuk 3.

4.2 Globaal ontwerp nieuwe kaden

Principe-profiel

Bij de inpassing van de omloopdijk in het landschap is een lage dijk in combinatie met relatief flauwe taludhellingen gewenst. Daarom wordt voorgesteld om aan de waterbergingszijde een taludhelling 1: 3 te kiezen. Hiermee wordt de golfoploop beperkt waardoor een relatief lagere kruinhoogte mogelijk is. Ook voor de buitenzijde (de polderzijde) is in eerste instantie uitgegaan van deze taludhelling. Voor de kruin wordt een breedte van 3 m aangehouden voor een eventueel fietspad op de dijk.

Ontwerpwaterstand

De ontwerpwaterstand voor de verschillende alternatieven is weergegeven in tabel 4.1. De ontwerpwaterstand is het laagst bij alternatief 3a en het hoogst bij alternatief 3b.

Tabel 4.1 Berekende ontwerpwaterstanden

Alternatief	Oppervlak (ha)	Ontwerpwaterstand	
		meter waterkolom	meter tov NAP
1	42 + 34 + 67	1,35 ¹	-3,45 ¹
2	160	1,25	-3,55
3a	210	0,95	-3,85
3b	200	1,13	-3,12

¹ Bij alternatief 1 worden via compartimentering de verschillende bekkens na elkaar gevuld tot de maximaal haalbare waterstand

Hoogte voor opwaaiing en golfoploop (Kruinhoogtemarge)

De kruinhoogtemarge is bepaald op basis van gemiddelde windsnelheid van 25 m/s, maatgevende strijklengte en waterdiepte. De berekende hoogte voor opwaaiing en golfoploop is weergegeven in tabel 4.2. Voor alternatief 1 bedraagt deze hoogte 1,3 meter, voor de overige alternatieven is deze hoogte iets groter (1,5 meter).

Tabel 4.2 Berekende hoogte voor opwaaiing en golfoploop (bij windsnelheid van ca. 25 m/s)

Alternatief	Strijklengte (m)	Waterdiepte (m)	Hoogte voor opwaaiing en golfoploop(m)
1	750	1,35	1,3
2	1250	1,25	1,5
3a	1500	0,95	1,5
3b	1500	1,13	1,5

Deze hoogtes zullen bij de, door de provincie Zuid-Holland aangeleverde windsnelheden voor sommige dijkvakken hoger en voor andere dijkvakken juist lager uitvallen afhankelijk van de oriëntatie van het dijkvak, die bepalend is voor de mee te nemen windrichtingen en de aan te houden strijklengten.

Overhoogte in verband met zettingen

Voor alle alternatieven is rekening gehouden met een indicatieve overhoogte van 1 meter ter compensatie van verwachte zettingen. De werkelijk benodigde overhoogte wordt bepaald met zettingsberekeningen en is afhankelijk van ondergrond, hoogte van het aan te brengen grondlichaam en de onderhoudsfrequentie voor het ophogen van de kade.

Kruinhoogte

De berekende kruinhoogten zijn weergegeven in tabel 4.3. De hoogte van de kaden, direct na aanleg ligt tussen de 3,45 en 3,75 meter (kruinhoogte incl. overhoogte). Na zetting bedraagt de kadehoogte 2,45 (alternatief 3) tot 2,75 (alternatief 2) meter. Dit komt neer op hoogten tussen NAP -1,62 en -2,35 meter (vereiste kruinhoogte). Bij oplevering van de kade (na uitvoering en rusttijd) zullen de verwachte zettingen voor het grootste gedeelte al zijn opgetreden.

Tabel 4.3 Berekende kruinhoogte

Alternatief	Kruinhoogte (incl. overhoogte)		Vereiste kruinhoogte	
	Meter	Meter tov NAP	Meter	meter tov NAP
1	3,65	-1,15	2,65	-2,15
2	3,75	-1,05	2,75	-2,05
3a	3,45	-1,35	2,45	-2,35
3b	3,63	-0,62	2,63	-1,62

Volumebepaling aan te leggen kaden

Op grond van de uitgangspunten, het principeprofiel en de berekende kruinhoogte is het benodigde dijkvolume bepaald voor de verschillende alternatieven.

In tabel 4.4 zijn de kentallen voor deze volumebepaling en de berekende volumes weergegeven

Tabel 4.4 Kentallen volumebepaling aan te leggen kaden

	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3a	Alternatief 3a
Strijklengte [m]	750	1250	1500	1500
Dijklengte [m] ²	8630	6250	6530	5900
Dijkhoogte [m] ^{1 2}	3,75	3,85	3,55	4,28
Ruimtegebruik [ha] ²	21	16	15	16
Dijkvolume [m ³] ²	429.000	326.000	293.000	375.000

¹ Dijkhoogte is bepaald ten opzichte van huidige, gemiddelde maaiveldhoogte van NAP -4,9 meter

² Exclusief grondverzet in verband met kaden aanvoerrouen Delfland en Rijnland

Het betreft hier een indicatieve uitwerking. Op basis van de resultaten van zetting- en stabiliteitberekeningen zullen de dimensies van de kades, en daarmee ook de volumes, enigszins kunnen worden aangepast.

Daarnaast is nog een hoeveelheid grond nodig voor de aanleg van kaden ten behoeve van de aanvoerrouen vanuit Delfland en Rijnland. Afhankelijk van de te kiezen variant vindt meer of minder grondverzet plaats. Onderstaand is aan de hand van een aantal kentallen een schatting gegeven van de, maximaal benodigde hoeveelheid grond.

Route Delfland:

- Totale lengte kaden: 860 meter.
- Schatting benodigd volume: 35 m²/m¹ (enkelzijdig, langs Kostverlorenweg).
- Totaal volume: 30.000 m³.

Route Rijnland:

- Totale lengte kaden: 1400 meter (Limietsloot, tweezijdig) en 2000 meter (Ringsloot, enkelzijdig).
- Schatting benodigd volume: 35 m²/m¹ (enkelzijdig, langs Ringsloot) en 70 m²/m¹ (dubbelzijdig, langs Limietsloot).
- Totaal volume: 168.000 m³.

Totaal komt dit neer op maximaal circa 200.000 m³ grond (ruwe schatting).

4.3 Beoordeling effecten op bestaande kaden

Algemeen

De bestaande kaden aan de (noord)oostzijde van het plangebied bestaan grotendeels uit veen. Aanwijzingen hiervoor zijn gegeven door de geologische kaart, enkele beschikbare boringen en mondelinge informatie van aanwonenden. Bij Rijnland (voorheen Waterschap Wilck en Wiericke) is geen informatie beschikbaar over de opbouw van de kaden.

De ondergrond onder de bestaande kaden is beschreven in paragraaf 3.5.1. Ten gevolge van de berging ontstaat een tijdelijke (piekberging) of structurele (seizoensberging) toename van de stijghoogte in de zandige tussenlaag in de deklaag onder de bestaande kaden. Indien deze stijghoogteverandering onder de bestaande kaden te groot wordt kan een instabiele situatie optreden.

Om het optreden van instabiliteit te onderzoeken zijn indicatieve, geotechnische berekeningen uitgevoerd. Hierbij is nagegaan:

- of de stijghoogteverandering effect heeft op de stabiliteit;
- hoe groot dit effect is;
- of dit aanvaardbaar is zonder aanvullende maatregelen aan de bestaande kades.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot de aan de noord-oostzijde van de piekberging gelegen kade (Voorweg). De kades aan noord-, west- en zuidzijde liggen op voldoende afstand van de piekberging.

Randvoorwaarden, uitgangspunten, rekenmethode

In bijlage 1 zijn de technische details van de uitgevoerde berekeningen opgenomen. De aannamen die ten behoeve van de berekeningen zijn gedaan, zijn gebaseerd op een worst-case situatie, te weten:

- er is gerekend met het meest kritische, geotechnische profiel;
- conservatieve grondeigenschappen en toetsing stabiliteitsfactor conform TRB;
- er is aangenomen dat de stijghoogteverandering niet alleen in de tussenzandlaag, maar ook in de bovenliggende klei-/veenlagen instantaan plaatsvindt;
- er is gerekend met een situatie waarbij de freatische grondwaterstanden (en waterstanden in dijklichaam) maximaal zijn (verzadiging, uitgaande van extreem natte situatie). Hiermee is de korrelspanning in het veen minimal;
- het bijbehorende hydrologische scenario is zo gekozen dat het gebied waarbinnen stijghoogte veranderingen plaatsvinden maximaal is (binnen de realistische bandbreedte van bijbehorende hydrologische parameters zoals doorlatendheid en weerstand).

Berekeningsresultaten

In bijlage 1 is een uitgebreide beschrijving van de uitgevoerde berekeningen en bijbehorende resultaten gegeven. Onderstaand zijn de conclusies verwoord.

Aan de hand van het meest kritische, geotechnische profiel is bepaald welke stijghoogte in de tussenzandlaag nog net toelaatbaar is. Hierbij zijn drie verschillende schematisaties aangehouden die beschrijven hoe de stijghoogteverandering in de tussenzandlaag zich, via de bovenliggende kleilaag en veenlaag doorzet naar de kade. De gehanteerde schematisaties zijn weergegeven in tabel 4.5.

Tabel 4.5 Schematisaties stijghoogten per laag

Nr.	Pakket	Schem. 1		Schem. 2		Schem. 3	
Freatisch (PL1)	Veen	Lin. Interpolatie		Lin. Interpolatie PL1 – PL2		PL1 (hydrostatisch)	
	Klei	PL1 – PL2				Lin. Interpolatie PL1 – PL2	
	Kleiig zand	PL2 (hydrostatisch)					
Stijghoogte (PL2)	Zand	PL2 (hydrostatisch)		PL2 (hydrostatisch)		PL2 (hydrostatisch)	

- Schematisatie 1 veronderstelt dat de stijghoogte(verandering) in de tussenlaag (PL2) hydrostatisch doorwerkt tot in de bovenzijde van de bovengestapelde kleiige zandlaag. Het verloop van de stijghoogte vanaf de bovenzijde van de kleiige zandlaag naar de bovenzijde van de veenlaag (PL1) is lineair.
- Schematisatie 2 veronderstelt een hydrostatische drukverdeling binnen de zandige tussenlaag. Het verloop van de stijghoogte vanaf de bovenzijde van de zandige tussenlaag naar de bovenzijde van de veenlaag (PL1) is lineair.
- Schematisatie 3 veronderstelt een hydrostatische drukverdeling in de zandige tussenlaag (PL2) en in de veenlaag (PL1). Tussen deze beide lagen in is sprake van een lineair verloop van de stijghoogte.

Bij schematisatie 3 waarbij een hydrostatisch (freatisch) stijghoogteverloop in de veen laag wordt aangehouden is geen negatieve invloed te verwachten aangezien de toename van de stijghoogte daarbij niet doorwerkt in de slappe veenlaag. Bij de schematisaties 1 en 2 is dit wel het geval. Bij schematisatie 3 is de kade echter in de autonome situatie mogelijk al instabiel.

Het verdient aanbeveling onderzoek uit te voeren naar het waterspanningsverloop in de grond door middel van peilbuizen. Op basis daarvan kan worden vastgesteld of piekberging een negatief effect heeft. Zo ja dan kan onderzoek gedaan worden naar de sterkte-eigenschappen van de grondlagen (voornamelijk de veenlaag) door middel van sonderingen, boringen en laboratoriumonderzoek om de stabiliteit van de kade beter te kunnen bepalen en of het effect van de piekberging toelaatbaar is (is de kade dan nog voldoende stabiel?).

Voordat bovenstaand onderzoek wordt uitgevoerd kan als veilig uitgangspunt worden gehanteerd dat de rand van de waterberging op voldoende afstand van de bestaande kade komt te liggen, zodanig dat de kritische stijghoogte niet wordt overschreden. Uit de stabiliteitsberekeningen volgt dat de stijghoogte in de tussenlaag onder de kade door (piek)berging mag oplopen tot respectievelijk NAP -4,6 (schematisatie 1), -4,5 (schematisatie 2) en -4,2 (schematisatie 3) meter. Omgerekend naar stijghoogte veranderingen ten opzichte van de huidige situatie (stijghoogte ter plaats van bestaande kaden in het algemeen circa NAP -5 meter) komt dit neer op een maximaal toelaatbare stijghoogteverandering van 0,4 à 0,5 meter (uitgaande van de ongunstige schematisaties 1 en 2).

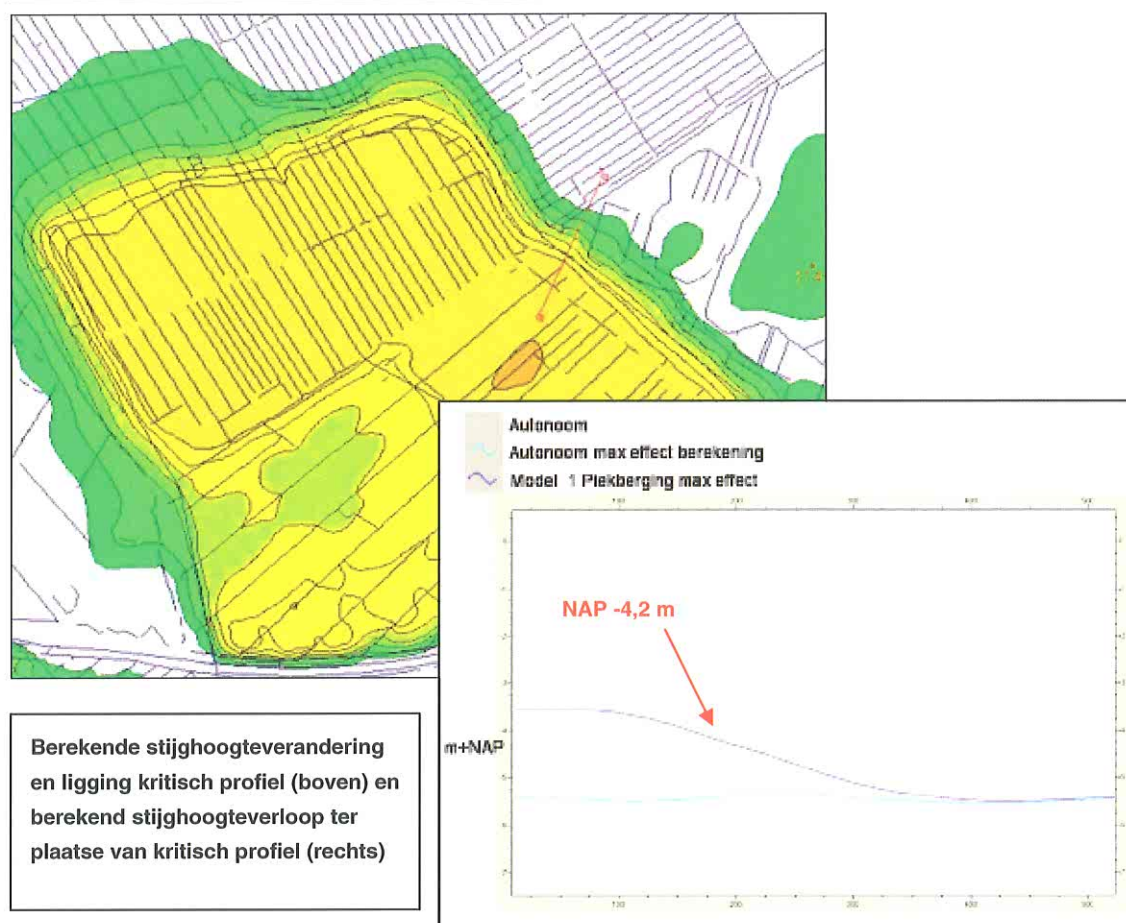
Beoordeling berekende aan toelaatbare stijghoogteverandering

Maatgevend hierbij is de situatie tijdens piekberging. Voor de situatie bij seizoensberging wordt nergens de kritieke situatie onder de bestaande kaden overschreden. Voor alternatief 3a geldt dat aan de noordoostzijde de situatie (lokaal) nog net voldoet.

Alternatief 1

Alternatief 1 is het meest kritisch. De grootste stijghoogteverandering doet zich voor ter plaatse van het middendeel van de oostelijk gelegen kaden (zie figuur 4.1). Hier neemt de stijghoogte in de tussenzandlaag, ter hoogte van de teen van de dijk toe met circa 100 cm, tot circa NAP -4,2 meter. Voor twee van de drie doorgerekende schematisaties wat betreft drukopbouw onder de kade voldoet dit alternatief niet.

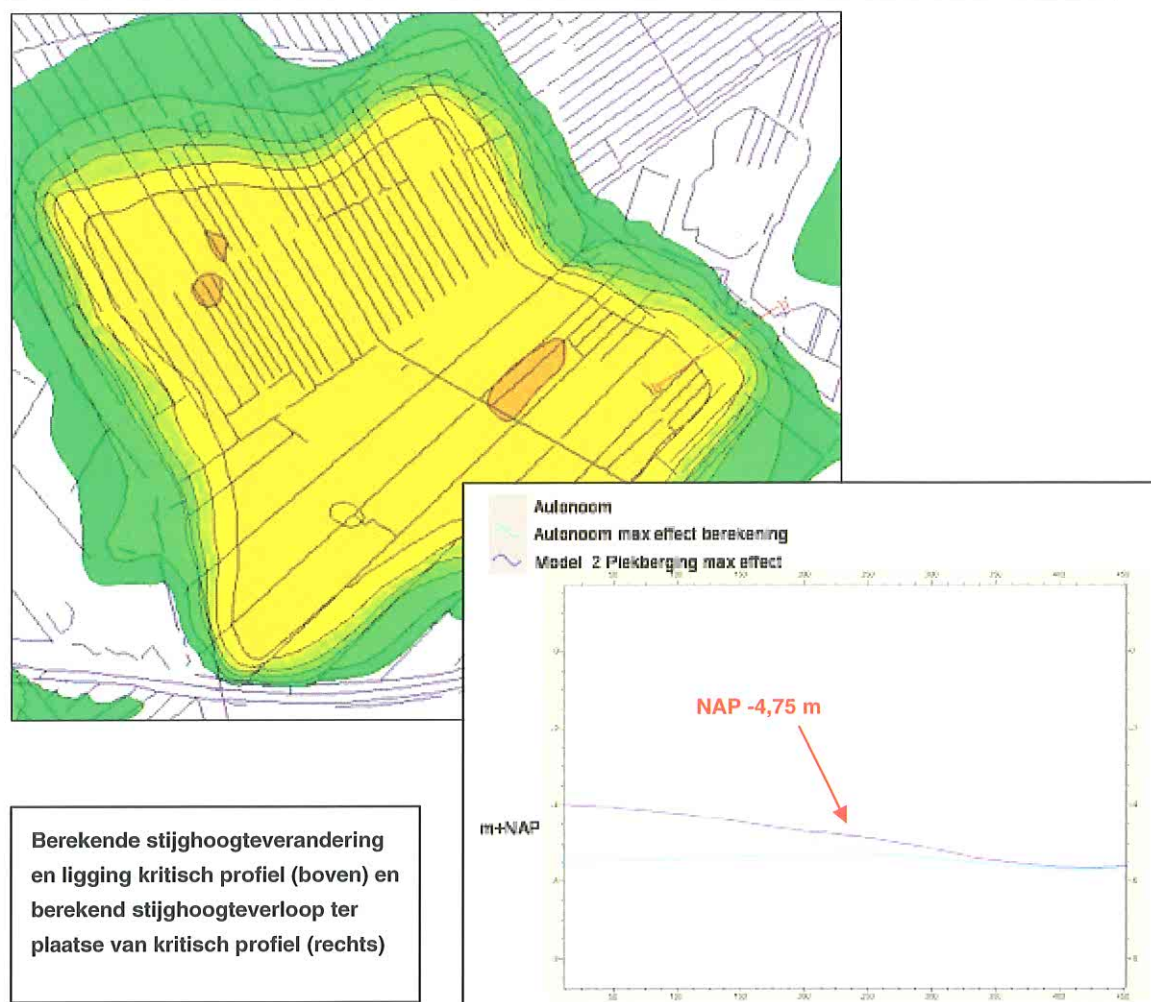
Figuur 4.1 Situatie piekberging alternatief 1



Alternatief 2

Alternatief 2 is het minst kritisch. De grootste stijghoogteverandering doet zich voor aan de zuid-oostzijde van de Nieuwe Driemanspolder. Hier neemt de stijghoogte in de tussenzandlaag, ter hoogte van de teen van de dijk toe met maximaal 30 cm, tot circa NAP -4,75 meter. De stijghoogte, na verandering, blijft echter onder de kritische grens van 40 à 50 cm (zie figuur 4.2).

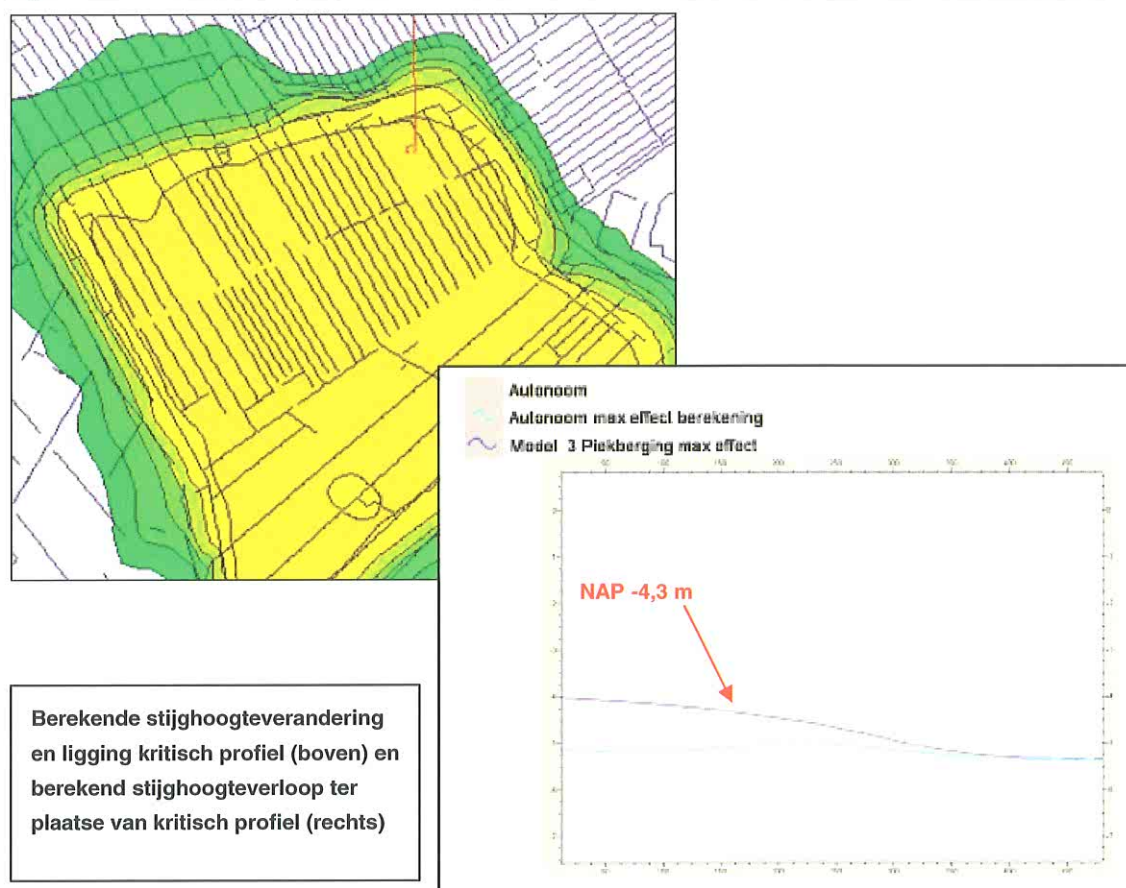
Figuur 4.2 Situatie piekberging alternatief 2



Alternatief 3a

De stijghoogte onder de kaden bij alternatief 3a ligt tussen die van alternatief 1 en alternatief 2 in. Aan de zuid-oostzijde is de stijghoogte bij alternatief 3a vergelijkbaar met alternatief 2 (stijghoogteverandering maximaal 30 cm) en ligt onder de kritische grens van 40 à 50 cm. Aan de noordoostzijde ligt de piekberging dicht langs de bestaande dijken waardoor de stijghoogte hier vergelijkbaar is met alternatief 1 (stijghoogteverandering maximaal 50 tot 60 cm, tot circa NAP -4,3 meter). Hier voldoet de stijghoogte dus niet (zie figuur 4.3).

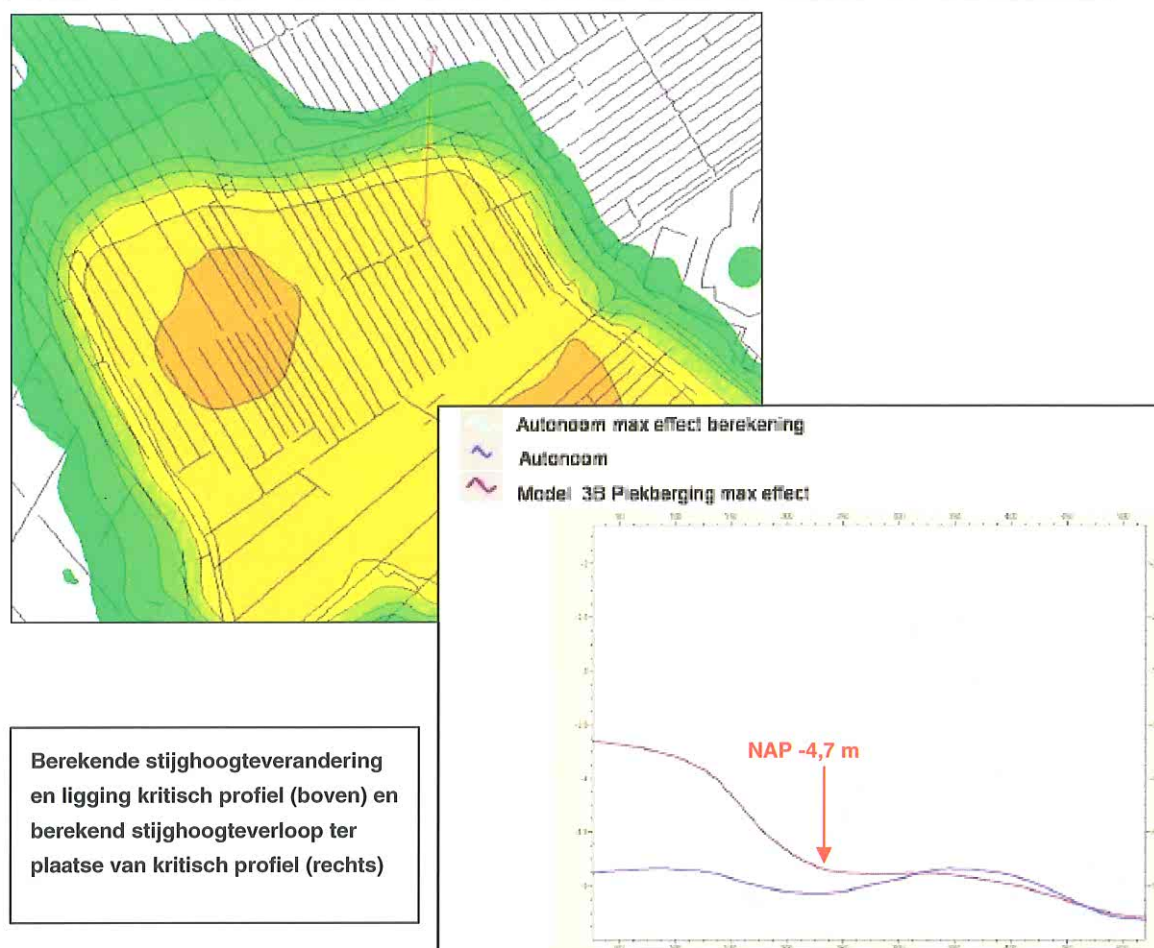
Figuur 4.3 Situatie piekberging alternatief 3a



Alternatief 3b

Alternatief 3b is de geoptimaliseerde variant van alternatief 3a. De dijken aan de noordzijde zijn op grotere afstand van de bestaande kaden geplaatst (circa 200 meter). Aan de oostzijde is de ligging van de dijk niet gewijzigd ten opzichte van alternatief 3a. De meest kritische situatie doet zich voor aan de noordzijde (zie doorsnede). Aan de binnenzijde van de bestaande kaden bedraagt de stijghoogte circa NAP -4,6 meter, onder de bestaande kaden zelf is de stijghoogte nog iets lager, circa NAP -4,8 meter. De verhoging onder de bestaande kaden blijft hiermee onder de kritische grens (zie figuur 4.4).

Figuur 4.4 Situatie piekberging alternatief 3b



Beoordeling berekende aan toelaatbare stijghoogteverandering bij kadeklasse V

De berekeningen zijn getoetst bij een schadefactor van 1,0 conform TR Boezemkaden, overeenkomend met kadeklasse III. Bij kadeklasse V dient echter getoetst te worden op 1,1. Bij de kritische grens van NAP -4,6 m voor de stijghoogte (schematisatie 1 maatgevend) wordt een stabiliteitsfactor van 1,01 berekend. Bij een iets lagere stijghoogte van NAP -4,7 m wordt een stabiliteitsfactor 1,42 bepaald. De kritische grens ligt derhalve tussen NAP -4,6 en NAP -4,7 m. Veiligheidshalve dient een stijghoogte van NAP -4,7 m te worden aangehouden als kritische grens bij de teen van de dijk.

5 ONTWERP VOORKEURSALETERNATIEF

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het dijkontwerp in het voorkeursalternatief toegelicht. In vergelijking met de globale uitwerking van de basisalternatieven in hoofdstuk 4 zijn de ontwerpcriteria hier op sommige aspecten meer gespecificeerd. Besloten is om kadeklasse V te hanteren als veiligheidsklasse waarop de omloopdijk van de waterberging getoetst moet worden. Het ontworpen dijkprofiel moet worden beschouwd als een minimaal standaardprofiel. In een integraal ontwerp is het mogelijk een ruimer profiel aan te houden omdat bijvoorbeeld uit ecologisch of landschappelijk oogpunt flauwere taluds gewenst zijn.

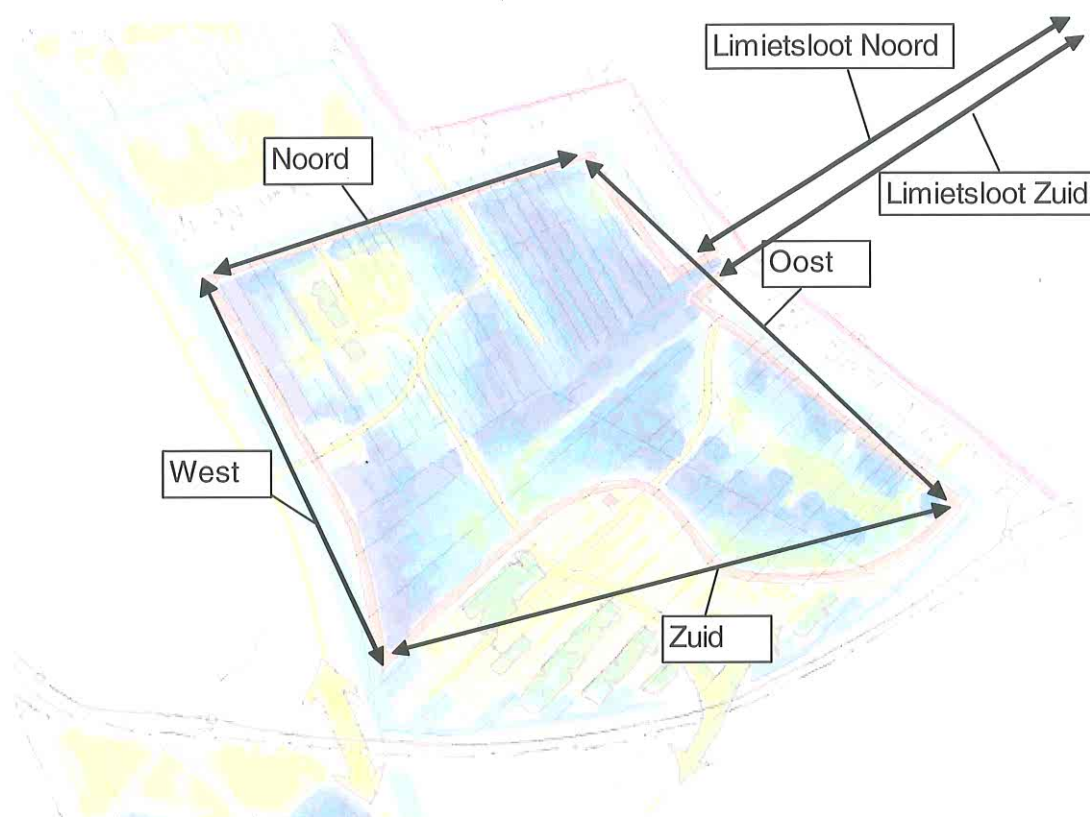
Paragraaf 5.2 behandelt de randvoorwaarden en uitgangspunten: indeling in dijksecties, dijkprofiel, hydraulische randvoorwaarden, bodemopbouw en geohydrologie. In paragraaf 5.3 wordt het ontwerp beschreven. Er wordt een toelichting gegeven op de hoogte-, zetting- en stabiliteitberekeningen. Overige ontwerpaspecten komen in paragraaf 5.4 aan de orde.

5.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

5.2.1 Indeling in dijksecties

De omloopdijk is opgedeeld in 6 dijksecties: Noord, Oost, Zuid en West en de dijken ten zuiden en ten noorden van de Limietsloot Deze dijksecties zijn in figuur 5.1 schematisch weergegeven.

Figuur 5.1 Overzichtstekening van omloopdijk opgedeeld in dijksecties



5.2.2 Dijkprofiel

Voor het dijkprofiel worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- uitgangspunt is een dijkprofiel met taludhellingen van 1:3 en een 10 m lange binnenberm ten behoeve van de stabiliteit. Binnendijks wordt een (kwel)sloot aangelegd;
- de hoogte van de berm ten opzichte van maaiveld (NAP + 5m) verloopt van 1 m bij de aansluiting op het binnentalud tot 0,5 m op het einde van de berm (insteek sloot);
- de kruinbreedte is 3 m. Vanwege de bereikbaarheid van de dijk tijdens piekberging (inspectie, onderhoud en/of herstel) wordt een bovenbelasting van 13 kN/m² van 2,5 m breed op de kruin aangehouden;
- het buitentalud wordt bekleed met een kleilaag van 1 m dik. Het binnentalud met een kleilaag van 0,8 m dik;
- het voorland van de dijk ligt op het huidige maaiveldniveau: ca. NAP -5 m. Het voorland heeft minimaal een lengte van 10 m ten behoeve van de stabiliteit. Met andere woorden: bij ontgravingen ten behoeve van het bergingsgebied moet een afstand van 10 m tot het buitentalud van de omloopdijk in acht worden genomen.

N.B.: Buitendijks = bergingszijde

5.2.3 Hydraulische randvoorwaarden

Ontwerpwaterstand bij piekberging: NAP -3,25 (NAP -4,25 m + een te bergen waterschijf van max. 1 m), conform de uitgangspunten voor het voorkeursalternatief, opgesteld door de werkgroep planinhoud Nieuwe Driemanspolder.

Opwaaiing en golfploop² zijn afhankelijk van de oriëntatie van de dijk (i.v.m. de wind) en de strijklengte en bepaald voor de dijksecties Noord, Oost, Zuid en West (zie tabel 5.1). De golfploop is bepaald bij een kritiek overslagdebiet van 0,1 l/s/m en een buitentaludhelling van 1:3.

Er zijn ook berekeningen uitgevoerd waarbij de invloed van, in het voorkeursalternatief aangegeven dammen binnen het piekbergingsgebied³ is meegenomen. De dammen hebben, mits voldoende hoog, een reducerend effect op de golfgroei en opwaaiing. De reductie van het totaal van golfploop en opwaaiing bedraagt ca. 30 tot 45%. Uitgangspunt in de berekeningen is dat de dammen een hoogte hebben die ongeveer gelijk is aan de ontwerpwaterstand. De berekeningsresultaten staan in tabel 5.2. Uiteindelijk is bij het ontwerp geen rekening gehouden met het reducerend effect van de dammen binnen het piekbergingsgebied.

Voor de dijken langs de Limietsloot is de waarde voor opwaaiing gebaseerd op het berekeningsresultaat voor sectie Zuid. Voor de golfploop is hier een veilige inschatting gemaakt van 0,5 m. In hoeverre de golven, opgewekt in het piekbergingsgebied doorwerken in de Limietsloot is in dit stadium nog niet te bepalen. Dit hangt onder andere af van de inlaatconstructie in de bestaande kade. Verwachting is dat door de vernauwing bij de inlaatconstructie de golfaanval in de Limietsloot beperkt zal zijn. Bovendien is de dijkoriëntatie parallel aan de maatgevende golfrichting.

Tabel 5.1 Berekeningsresultaten opwaaiing en golfploop per dijksectie (zonder effect dammen binnen piekbergingsgebied)

Dijksectie	Wind-richting	Wind-snelheid [m/s]	Strijklengte [m]	Golf-oploop* [m]	Opwaaiing [m]	Golfploop + opwaaiing [m]
Noord	ZZO	22.64	1233	1.35	0.12	1.47
Oost	ZW	30.68	1198	1.80	0.22	2.02
Zuid	NW	30.68	1391	1.85	0.26	2.11
West	ONO	21.62	1180	1.30	0.11	1.41
Limietsloot	ZW	30.68	1198	0.50	0.22	0.72

² berekend bij een ontwerpwaterstand van NAP -3,12 m

³ De doorgerekende positie van de dammen wijkt af van die in de definitieve versie van het voorkeursalternatief.

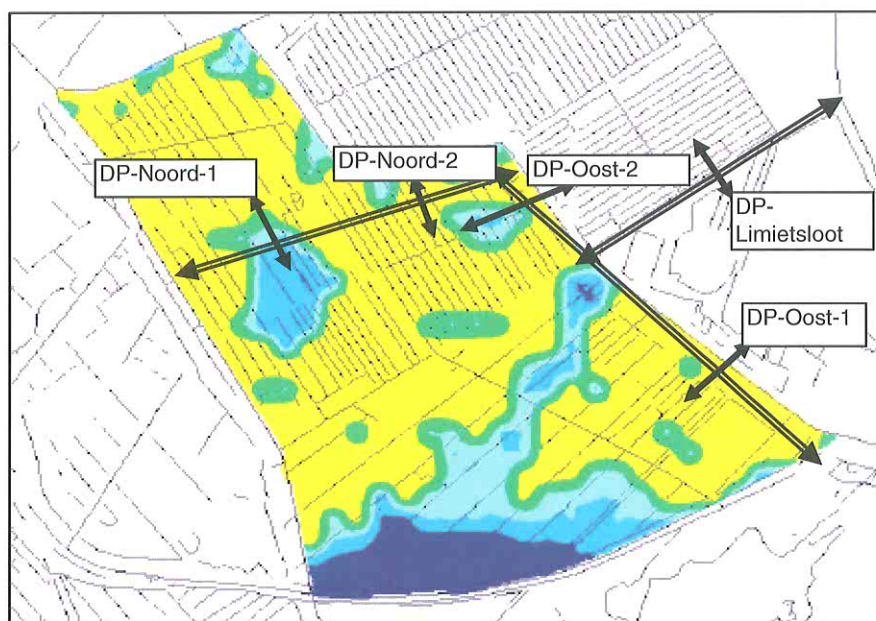
Tabel 5.2 Berekeningsresultaten opwaaiing en golfoploop per dijksectie (met effect dammen binnen piekbergingsgebied)

Dijksectie	Wind-richting	Wind-snelheid [m/s]	Strijk lengte [m]	Golf-oploop* [m]	Opwaaiing [m]	Golfoploop + opwaaiing [m]
Noord	ZZO	22.64	267	0.85	0.03	0.88
Oost	ZW	30.68	367	1.35	0.07	1.42
Zuid	NW	30.68	310	1.25	0.06	1.31
West	ONO	21.62	234	0.75	0.02	0.77
Limietsloot	ZW	30.68	367	0.50	0.07	0.57

5.2.4 Bodemopbouw

Figuur 5.2 geeft aan waar de tussenzandlaag voorkomt (blauw). In de figuur is aangegeven waar dwarsprofielen (DP-) gedefinieerd zijn.

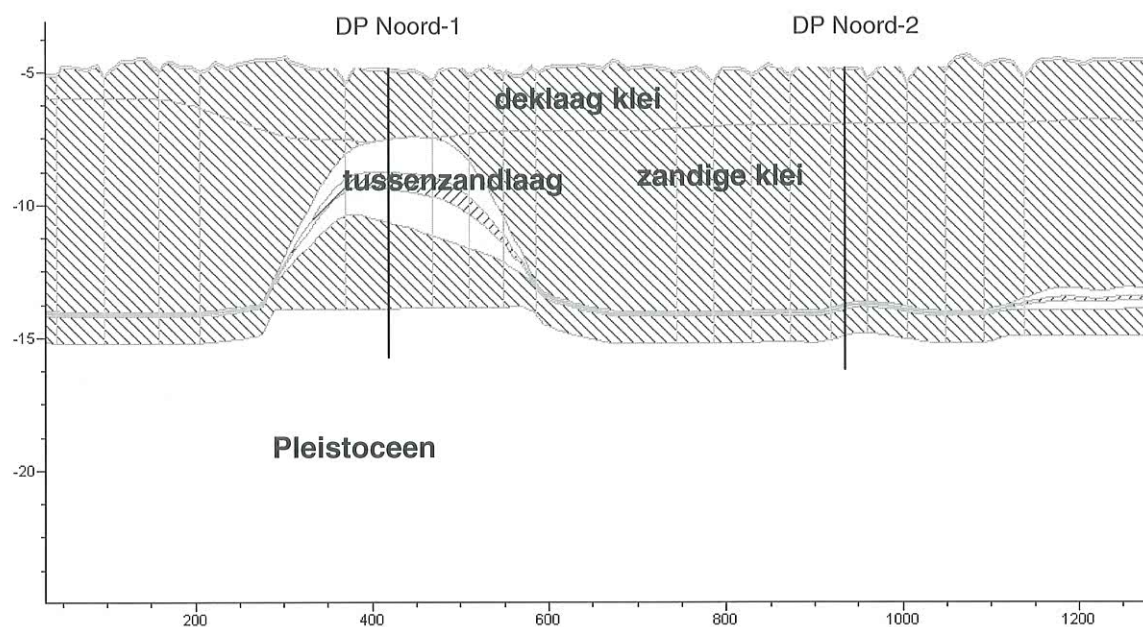
Figuur 5.2 Overzicht voorkomen tussenzandlaag



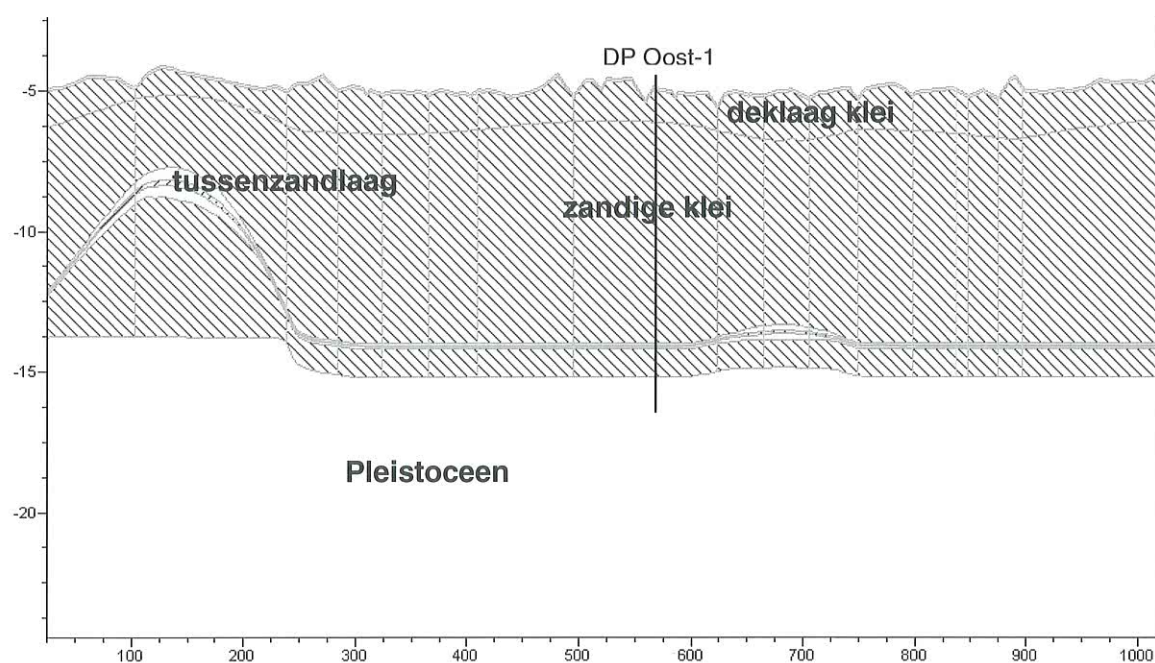
De figuren 5.3 t/m 5.8 geven de bodemopbouw per dijksectie weer. Op de verticale as staat het niveau in meters ten opzichte van NAP, op de horizontale as de afstand in meters.

Er is onderscheid gemaakt tussen ‘deklaag klei’ en ‘zandige klei’. Het onderscheid is van belang voor het berekenen van de consolidatie, zetting en de stabiliteit van de ondergrond. Zandige klei is een pakket kleilagen dat meer of minder zandig gelaagd is, afhankelijk van de locatie. De door piekberging toenemende stijghoogte in de tussenzandlaag kan via de zandlaagjes in de zandige klei doorwerken tot onder de deklaag klei.

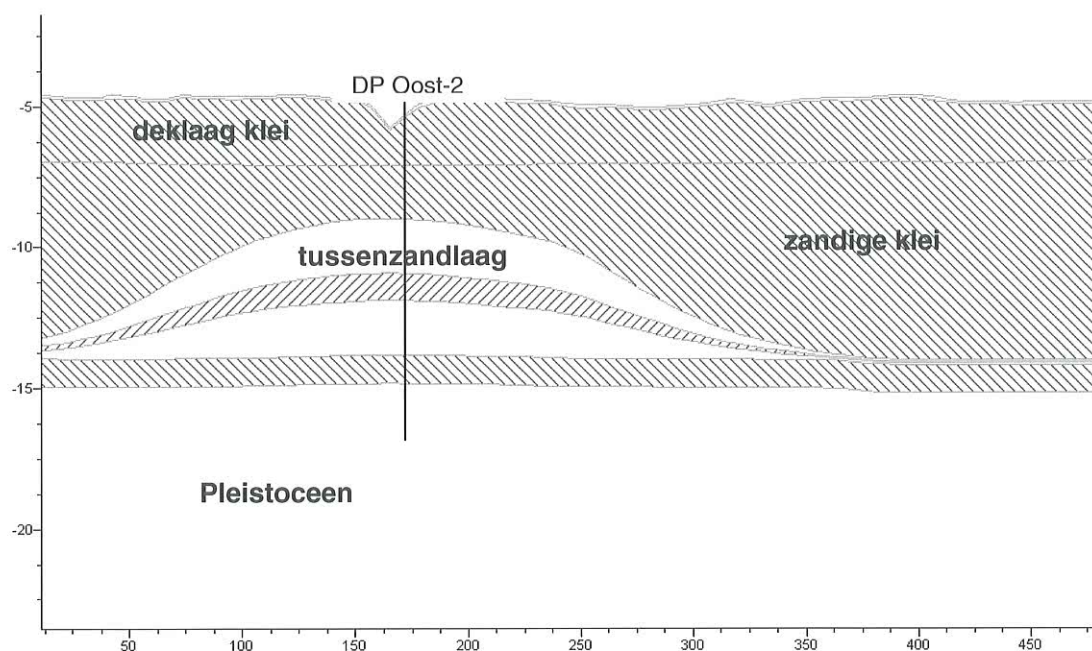
Figuur 5.3 Bodemopbouw dijksectie Noord (van west naar oost)



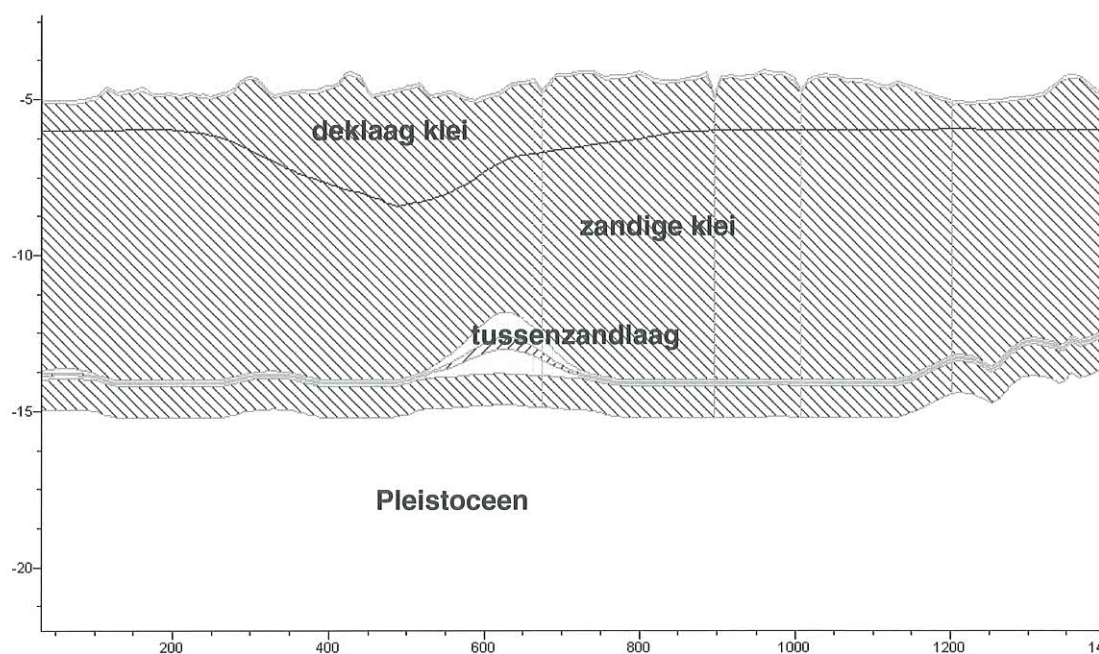
Figuur 5.4 Bodemopbouw dijksectie Oost-1 (ten zuiden van de Limietsloot, van noord naar zuid)



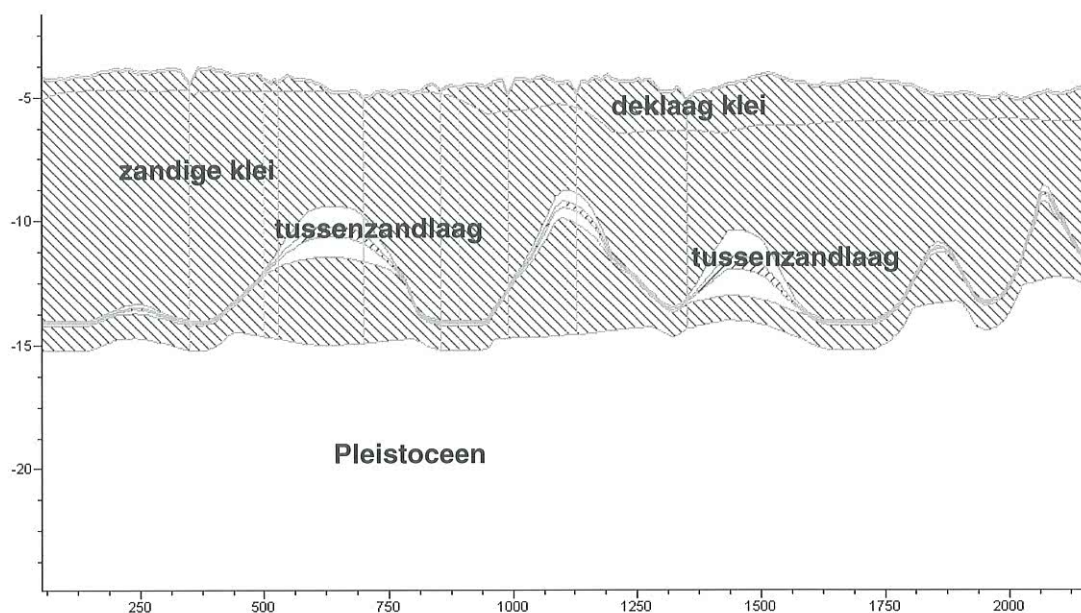
Figuur 5.5 Bodemopbouw dijksectie Oost-2 (ten noorden van de Limietsloot, van noord naar zuid)



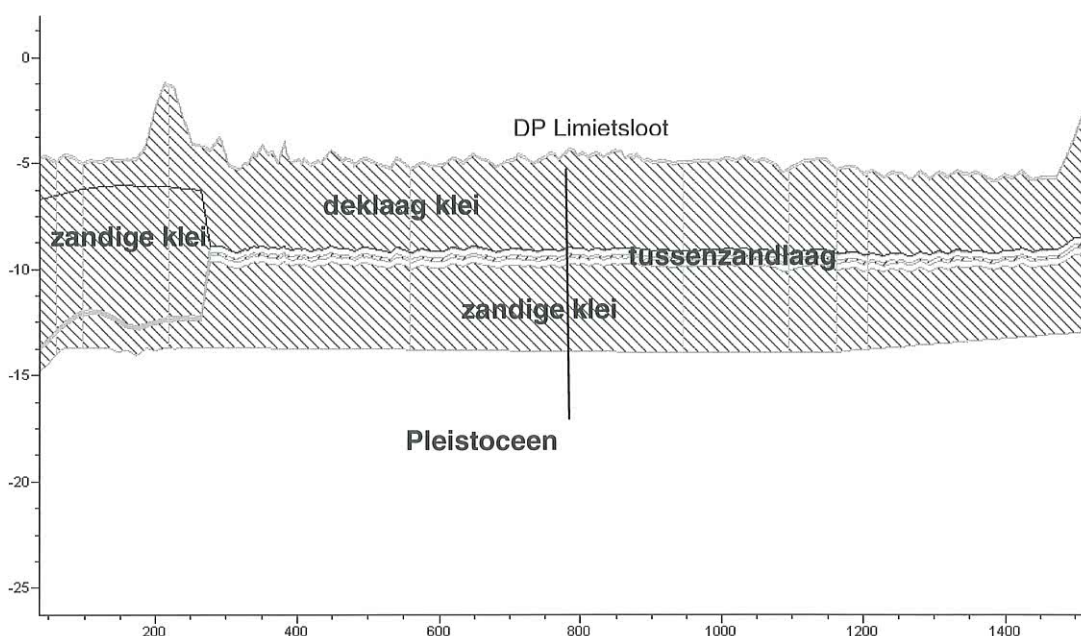
Figuur 5.6 Bodemopbouw dijksectie Zuid (van west naar oost)



Figuur 5.7 Bodemopbouw dijksectie West (van noord naar zuid)



Figuur 5.8 Bodemopbouw bij Limietsloot (van west naar oost)



Geotechnische dwarsdoorsneden

In de dijksecties Noord, Oost en de Limietsloot zijn karakteristieke geotechnische doorsneden gekozen (zie figuren 5.2 t/m 5.7). Tabel 5.3 geeft de aangehouden bodemopbouw per dwarsdoorsnede. De secties Zuid en West zijn niet bekeken omdat de in sectie Noord en Oost gekozen karakteristieke geotechnische doorsneden hiervoor representatief gesteld kunnen worden.

Tabel 5.3 Bodemopbouw per dwarsdoorsnede

Grondlaag	Bovenkant laag [NAP +m]				
	DP-Noord-1	DP-Noord-2	DP-Oost-1	DP-Oost-2	DP-Limietsloot
Deklaag klei	-5	-5	-5	-5	-5
Zandige klei	-8	-7	-7	-7	-9
Tussenzandlaag	-8	-13	-9	-13	-9
Zandige klei	-12	-13	-14	-13	-10
Pleistoceen zand	-14	-14	-15	-14	-14

5.2.5 Geohydrologie

De stijghoogte in de (mogelijke) zandlagen van de 'zandige klei' is niet bekend omdat in het geohydrologische model deze zandlagen niet gemodelleerd zijn. Voor het (geotechnisch) ontwerp is als (voorlopig) veilig uitgangspunt gekozen dat de in de tussenzandlaag berekende stijghoogte zich ook manifesteert in de zandige klei en daarmee als waterdruk onder de deklaag klei worden doorgerekend. Deze aanname is van belang voor het berekenen van stabiliteit en piping.

Voor het slootpeil wordt NAP -5,5 m aangehouden (bron: geohydrologisch model). Dit is het maximale peil buiten het piekbergingsgebied

5.3 Ontwerp

5.3.1 Hoogtebepaling omloopdijk

Per dijksectie is de kruinhoogte bepaald, afgerond op 0,1 m (zie tabel 5.4). De benodigde kruinhoogte volgt uit ontwerpwaterstand + golfoploop + opwaaiing. De aanleghoogte bij oplevering is de hoogte van de dijk die resteert na zetting tijdens de uitvoeringsfase en de rusttijd (ca. 1 jaar). De zetting na oplevering is de nog resterende zetting in 30 jaar (eigenlijk: de totale zetting in 30 jaar minus de zetting voor oplevering).

Tabel 5.4 Kruinhoogte en zetting

Dijksectie	Ontwerp- waterstand [NAP+m]	Golfoploop + opwaaiing [m]	Benodigde kruinhoogte [NAP+m]	Aanleghoogte bij oplevering [NAP+m]	Zetting na oplevering [m]
Noord	-3.25	1.47	-1.8	-1.6 à -1.4	0.2 à 0.4
Oost	-3.25	2.02	-1.2	-1.1 à -0.7	0.2 à 0.4
Zuid	-3.25	2.11	-1.1	-1.0 à -0.6	0.2 à 0.4
West	-3.25	1.41	-1.8	-1.6 à -1.4	0.2 à 0.4
Limietsloot	-3.25	0.72	-2.5	-2.2	0.3

5.3.2 Zettingberekeningen

Voor dijksecties Noord, Oost en de Limietsloot zijn zettingberekeningen uitgevoerd.

Tabel 5.5 geeft een overzicht van de grondparameters bij een best guess benadering. Het betreft gemiddelde waarden die uit proefresultaten van grondonderzoek in de omgeving van het projectgebied zijn afgeleid.

Tabel 5.5 Grondparameters zetting (best guess, gemiddelde waarden)

Grondlaag	C _p	C _s	C' _p	C' _s
Dijk (uitkomende grond) / zandige klei	24	70	10	154
Deklaag klei	54	249	20	318

Tabel 5.6 geeft de berekeningsresultaten van de zettingberekeningen per geotechnische dwarsdoorsnede. Voor klink is 10% van de bruto ophoging aangehouden. Hierbij is het uitgangspunt dat de aan te brengen grond voornamelijk uit klei bestaat en dat de ophoging verdicht wordt aangebracht. Door de ophoging (belasting) ontstaat wateroverspanning in de ondergrond waardoor de weerstand tegen afschuiven van de grond is afgenomen. De consolidatiegraad geeft aan voor hoeveel procent de waterspanningen in de ondergrond zijn aangepast. Bij 100% consolidatie is geen wateroverspanning meer aanwezig.

Tabel 5.6 Resultaten zettingberekeningen

Dwarsprofielen (DP-):	Noord-1	Noord-2	Oost-1	Oost-2	Limietsloot
Benodigde kruinhoogte [NAP +m]	-1.8	-1.8	-1.2	-1.2	-2.5
Bruto ophoging (excl. klink) [NAP+m]	-1.1	-1.0	-0.5	-0.2	-1.5
Bruto ophoging (excl. klink) [m]	3.95	4.05	4.5	4.85	3.5
Zetting voor oplevering (excl. klink) [m]	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7
Aanleghoogte (oplevering) [NAP+m]	-1.6	-1.4	-1.1	-0.65	-2.2
Consolidatiegraad (na 1 jaar)	85-100%	45-60%	85-100%	45-60%	65%
Zetting na oplevering [m]	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3
Klink (10% van bruto ophoging excl. klink) [m]	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4

Voor de andere secties zijn de uitgevoerde berekeningen representatief gesteld vanwege overeenkomsten in kruinhoogte en bodemopbouw:

Dijksectie Zuid: DP-Oost-1 voor deelsecties met tussenzandlaag, DP-Oost-2 voor deelsecties zonder tussenzandlaag

Dijksectie West: DP-Noord-1 voor deelsecties met tussenzandlaag, DP-Noord-2 voor deelsecties zonder tussenzandlaag

5.3.3 Stabiliteitberekeningen

Voor dijksectie Noord zijn (vanwege de maatgevende stijghoogte in de tussenzandlaag) stabiliteitberekeningen uitgevoerd. Voor de andere secties zijn benaderende berekeningen uitgevoerd vanwege overeenkomsten in kruinhoogte en bodemopbouw. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie bij piekberging. Uitgangspunt is dat piekberging zich voor kan doen, direct na de periode van uitvoering en rusttijd die ca. 1 jaar bedraagt. Voor de stabiliteitberekeningen geldt de consolidatiegraad als gegeven in tabel 5.6.

Tabel 5.7 geeft een overzicht van de grondparameters bij een best guess benadering. Het betreft gemiddelde waarden die uit proefresultaten van grondonderzoek in de omgeving van het projectgebied zijn afgeleid. Tabel 5.8 geeft een overzicht van de grondparameters bij een conservatieve benadering. Het betreft karakteristieke waarden conform het Technisch Rapport Boezemkaden.

Tabel 5.7 Grondparameters (best guess, gemiddelde waarden)

Grondlaag	Volumegewicht (droog/nat) [kN/m ³]	Hoek van inwendige wrijving ϕ [°]	Cohesie c [kPa]
Dijk (uitkomende grond)	16.5/16.5	29	3
Deklaag klei	15/15	29	3
Zandige klei	16.5/16.5	29	3
Tussenzandlaag	17/19	35	3

Tabel 5.8 Grondparameters (conservatief, karakteristieke waarden volgens TR Boezemkaden)

Grondlaag	Laag conform TR Boezemkaden	Volumegewicht (droog/nat) [kN/m ³]	Hoek van inwendige wrijving ϕ [°]	Cohesie c [kPa]
Dijk (uitkomende grond)*	Klei/zand*	17,5/17,5	22,5	1
Deklaag klei	Klei	16/16	20	2
Zandige klei*	Klei/zand*	17,5/17,5	22,5	1
Tussenzandlaag	Zand	17/19	25	0

*Hiervoor is het gemiddelde van klei en zand aangehouden

Stabiliteit binnenwaarts

Bij de best guess benadering wordt de stabiliteit getoetst op een minimaal vereiste overall stabiliteitsfactor van 1,4 voor binnenwaartse stabiliteit. Volgens de IPO-richtlijn moet bij kadeklasse V een stabiliteitsfactor van ca. 1,4 worden aangehouden (schadefactor = 1,1). Het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) geeft aan dat voor gemiddelde sterkteparameters gebaseerd op celproeven een stabiliteitsfactor van 1,4 moet worden gehanteerd. Deze factor geldt ook voor sterkteparameters gebaseerd op triaxiaalproeven bij een laag rek criterium (1,5 à 2 %). Bij de conservatieve benadering is de minimaal vereiste stabiliteitsfactor ca. 1,1 (bij kadeklasse V) die geldt als stabiliteitsfactor voor berekeningen met karakteristieke sterkteparameters.

Voor de waterspanningen is aangehouden dat de grondwaterstand in de dijk stijgt ten gevolge van stijging van het water in de piekberging en door infiltratie van regenwater. Bij rivierdijken wordt voor infiltratie van regenwater 1 meter stijging van de grondwaterstand ten opzichte van gemiddeld hoogwater (GHW) aangehouden. Bij de aanname dat GHW in dit geval gelijk is aan het maximum seizoensbergingspeil van NAP -4,25 m, stijgt de grondwaterstand als gevolg van infiltratie maximaal tot NAP -3,25 m. Een hoger peil door stijging van water in de piekberging is niet aannemelijk.

Tabel 5.9 geeft een overzicht van de berekeningsresultaten voor dijksectie Noord en de overige dijksecties. De stabiliteit van de overige dijksecties is getoetst door DP-Noord-2 door te rekenen bij de hoogst voorkomende kruinhoogte (dijksectie Oost). Dit is een conservatieve benadering.

Tabel 5.9 Resultaten berekeningen stabiliteit binnenwaarts

Dijksectie	Dwarsprofiel	Consolidatiegraad ondergrond	Berekeningsresultaat stabiliteitsfactor SF	
			Best Guess (SF>1,4)	Conservatief (SF>1,1)
Noord	DP-Noord-1	85 %	SF = 2,07 (Bishop) SF = 1,67 (Van)	SF = 1,17 (Van)
	DP-Noord-2	60% (deklaag klei) 45% (zandige klei)	SF = 1,59 (Bishop)	SF = 1,06 (Bishop) Bermhoogte aanpassen
			SF = 1,64 (Bishop)*	SF = 1,08 (Bishop)* Bermhoogte aanpassen
Overige	DP-Noord-2-fictief bij kruinhoogte NAP-0,65 m	60% (deklaag klei) 45% (zandige klei)	SF = 1,55 (Bishop)	SF = 1,07 (Bishop) Bermhoogte aanpassen
			SF = 1,64 (Bishop)*	SF = 1,10 (Bishop)*

* Bij doorwerking stijghoogte in zandige klei

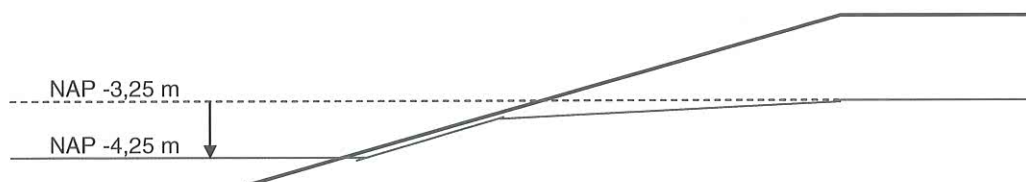
Bij de best guess benadering voldoet het voorgestelde profiel op alle dijksecties. Bij de conservatieve benadering is een geringe verhoging van de binnenberm nodig (of een verflauwing van het binnentalud).

Stabiliteit buitenwaarts

Bij de best guess benadering moet de stabiliteit getoetst worden op een stabiliteitsfactor van 1,3 voor buitenwaartse stabiliteit. (Dit is gebaseerd op een stabiliteitsfactor van 1,4 voor stabiliteit binnenwaarts, die gedeeld wordt door een factor 1,1 vanwege de geringere gevolgschade bij een buitenwaartse afschuiving omdat deze gekoppeld is aan een 'vallende' waterstand in het reservoir). Bij de conservatieve benadering moet de stabiliteit getoetst worden op een stabiliteitsfactor van 1,0 voor buitenwaartse stabiliteit. (Dit is gebaseerd op een stabiliteitsfactor van 1,1 voor stabiliteit binnenwaarts, die gedeeld wordt door een factor 1,1).

Voor de buitenwaartse stabiliteit is gerekend met een val van de ontwerpwaterstand naar het maximum seizoensbergingspeil van NAP-4,25 m, waarbij de grondwaterstand in het grondlichaam achterblijft. Hiervoor is ter plaatse van het snijpunt met het talud NAP -3,5 m aangehouden (zie figuur 5.9).

Figuur 5.9 Schematisatie waterspanningen bij val na hoogwater



Tabel 5.10 geeft een overzicht van de berekeningsresultaten voor dijksectie Noord en de overige dijksecties. De stabiliteit van de overige dijksecties is getoetst door DP-Noord-2 door te rekenen bij de hoogst voorkomende kruinhoogte (dijksectie Oost). Dit is een conservatieve benadering.

Tabel 5.10 Berekeningsresultaten stabiliteit buitenwaarts

Dijksectie	Berekening	Consolidatiegraad ondergrond	Berekeningsresultaat stabiliteitsfactor SF	
			Best Guess (SF>1,3)	Conservatief (SF>1,0)
Noord	DP-Noord-2	60% (deklaag klei) 45% (zandige klei)	SF = 1,32 (Bishop)	SF = 0,9 (Bishop) Flauwer (beneden)talud toepassen
Overige	DP-Noord-2-fictief bij kruinhoogte NAP-0,65 m	60% (deklaag klei) 45% (zandige klei)	SF = 1,30	SF = 0,88 Flauwer (beneden)talud toepassen

Bij de best guess benadering voldoet het voorgestelde profiel op alle dijksecties. Bij de conservatieve benadering is een verflauwing van (een gedeelte van) het buitentalud nodig (naar 1:3,5 of 1:4).

5.3.4 Piping (zandmeevoerende wellen)

Piping is het verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt (definitie VTV). Voorwaarde voor het ontstaan van piping is dat onder de dijk doorgaande zandlagen binnendijks contact maken met het maaiveld. Dit kan gebeuren doordat een zandlaag al contact maakt met de kwelsloot of door het opbarsten van de deklaag klei (bij de sloot) als gevolg van de stijghoogte in de zandlagen onder de deklaag. Uitgangspunt is dat ter plaatse van de sloot opbarsten optreedt. Hier bevindt zich het mogelijke uittredepunt voor piping. Indien de kwelweg lang genoeg is, stopt het erosieproces. Met de regel van Bligh kan de kritieke kwelweglengte bepaald worden: $L_{crit} = C_{creep} \times dH$ waarin:

- C_{creep} = creepfactor = 12 tot 18 voor zand (afhankelijk van de korrelgrootteverdeling⁴);
- dH = verval over de dijk = ontwerpwaterstand – slootpeil = -3,25 – (-5) = 1,75 m.

⁴ Korrelgrootteverdelingen worden bepaald door het uitvoeren van zevingen op grondmonsters (laboratoriumonderzoek)

Het slootpeil zal stijgen tot maaiveldniveau (NAP – 5m). Hierbij is het uitgangspunt dat de sloot opbarst en dat op dat moment de bemaling niet toereikend is om het peil van NAP -5,5 m te handhaven.

Omdat geen korrelgrootteverdelingen beschikbaar zijn wordt een aanname gedaan voor de creep-factor.

In geval van (zeer) fijn zand dient een creep-factor van 18 te worden gehanteerd. De kritiek kwelweglengte bedraagt dan: $18 \times 1,75 = 31,5$ m. Vanwege de geringe dikte van de zandlagen kan mogelijk een lagere creep-factor aan worden gehouden. Als best guess wordt creep-factor van 15 aangenomen. Dit dient met een benadering volgens Sellmeijer geverifieerd te worden. De kritieke kwelweglengte bedraagt dan: $15 \times 1,75 = 26,3$ m.

Per dijksectie wordt getoetst of de aanwezige kwelweglengte groter of gelijk is aan de kritieke kwelweglengte. De aanwezige kwelweglengte wordt bepaald door de afstand tussen het intredepunt (buitendijks) en het uitredepunt aan het einde van de berm (t.p.v. de sloot). Het intredepunt wordt in principe gekozen bij de buitenteen van de dijk. Indien in het voorland deklaag klei van tenminste 1 m aanwezig is, kan het intredepunt meer buitenwaarts worden gekozen.

Tabel 5.11 geeft per dijksectie de aanwezige kwelweglengte. Bij een creepfactor van 15 is geen voorland benodigd. Bij een creepfactor van 18 is voor de Limietsloot mogelijk voorland nodig. Over het grootste gedeelte zal piping vanwege de dikke afsluitende deklaag echter geen rol spelen. Dit is mogelijk wel het geval bij de aansluiting op het peikbergingsgebied (kruising van de bestaande kade).

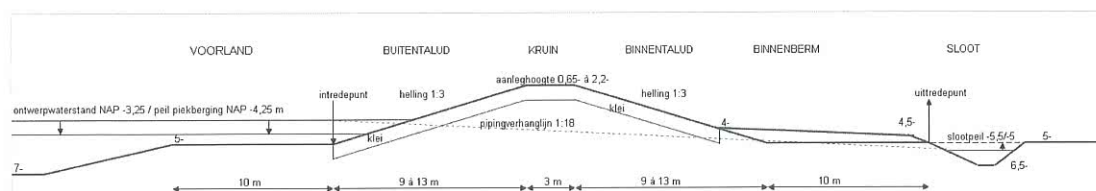
Tabel 5.11 Aanwezige kwelweglengte per dijksectie

Dijksectie	Aanwezige kwelweglengte [m]	
	Geen voorland	Bij 10 m voorland
Noord	32.3	42.3
Oost	35.6	45.6
Zuid	36.1	46.1
West	32.0	42.0
Limietsloot	27.8	37.8

5.3.5 Dijkprofiel

Op basis van de resultaten van hoogte-, zetting- en stabiliteit- en pipingberekeningen kan het aangehouden dijkprofiel worden vastgesteld. In figuur 5.10 zijn de belangrijkste elementen weergegeven.

Figuur 5.10 Dijkprofiel



5.4 Overige ontwerpaspecten

Aan de kruising van de Limietsloot met de bestaande kade moet in het vervolgtraject speciale aandacht worden besteed. De in- of doorlaatconstructie ter plaatse van de bestaande kade en de aansluitingsconstructies hierop aan weerszijden van de kade zijn in dit onderzoek niet uitgewerkt.

De stabiliteit van de bodem van de Limietsloot bij vullen van de piekberging verdient nadere aandacht. Mogelijk is een bodembescherming nodig om erosie door stromend water te voorkomen.

REFERENTIES

- Geerse, C., Ontwerpwindsnelheden voor ringdijken regionale waterbergingsgebieden, notitie RIZA/WRV, Provincie Zuid-Holland, 16 februari 2005.
- Piek, R., Bepaling ontwerpwindsnelheden voor ringdijken van regionale waterbergingsgebieden, 3^e concept, Provincie Zuid-Holland, 11 februari 2005.
- Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006 (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 19 januari 2004.
- Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel I – Bovenrivierengebied, TAW, 's-Gravenhage, september 1985.
- IPO-richtlijn voor boezemkaden.
- Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden, TAW, Delft, juni 1993.
- Werkgroep Planinhoud Nieuwe Driemanspolder, uitgangspunten
- Voorkeursalternatief, juni 2005.

Bijlage 1

Stabiliteitsberekeningen bestaande kaden

BIJLAGE 1. STABILITEITSBEREKENINGEN BESTAANDE KADEN

1. Uitgangspunten, randvoorwaarden, rekenmethode

Gegevens

Gebruik is gemaakt van de volgende gegevens:

- stijghoogteverloop in maatgevend dwarsprofiel voor alternatief 1, 2 en 3 (geohydrologie) voor autonome (=huidige) situatie en situatie met piekberging;
- lengtebodempromfiel over kade (geohydrologie);
- dwarsprofielen uit Fli-map van waterschap Wilck en Wiericke;
- onderzoek TNO/NITG en in verleden uitgevoerd grondonderzoek t.b.v. Puinstort.

Stabiliteitstoetsing volgens TR Boezemkaden

De procedure stabiliteitstoetsing volgens TR Boezemkaden (par. 6.5 uit TRB) tot stap III wordt doorlopen. Stappen I en II worden hier niet verder besproken. In stap II wordt de stabiliteit beoordeeld met een oriënterende glijvlakberekening, uitgaande van een geschatte laagopbouw van de bodem, conservatieve grondeigenschappen (tabel 6.4 uit TRB) en een geheel verzadigt kadelichaam. Voor de sterkte-eigenschappen zijn karakteristieke waarden gebruikt zodat getoetst moet worden op een schadefactor van 0,9 (zie tabel 1). In TRB worden geen kadeklassen gehanteerd. De toegepaste schadefactor is te vergelijken met kadeklasse III.

Tabel B.1 Conservatieve waarden voor grondeigenschappen op basis van TR Boezemkaden

Laag	γ_{dr}/γ_{nat} [kN/m ³]	ϕ [°]	c' [kPa]
Veen (onder kruin)	10	23	1.5
Veen (onder teen)	10	25	0
Klei	16	20	2
Kleilig zand*	17,5	22.5	1
Zand	19	25	0

* Gemiddelde van klei en zand

Waterstanden in extreem natte situatie

Uitgangspunt is dat een “extreem natte situatie” zowel voor de huidige (autonome) situatie als de situatie met piekberging maatgevend is. De bodem is verzadigt tot aan maaiveldniveau. Voor de freatische lijn wordt 10 cm onder maaiveldniveau en onder de kadetaluds (tot halverwege de hoogte van de kade) aangehouden. Dit uitgangspunt is ontleend aan het recent door ons uitgevoerde project Onderzoek Veendijken voor Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV). Opgemerkt wordt dat in dat project tevens een droogtetoets is uitgevoerd. Een extreem droge situatie is hier (waarschijnlijk) niet aan de orde omdat de noodzaak tot piekberging juist in een natte situatie en nooit in een droge situatie zich zal voordoen.

Het peil in de tussenboezem is NAP-1,69 m (zomer- en winterpeil zijn gelijk, bron: Waterschap Wilck en Wiericke)

De aangeleverde stijghoogten gelden voor de tussenzandlaag binnen de Holocene deklaag. Voor de erboven gelegen lagen (kleilig zand, klei en veen) zijn drie verschillende schematisaties van de stijghoogten beschouwd (zie tabel 2). De wijze waarop de stijghoogten worden geschematiseerd heeft namelijk een grote invloed op het resultaat van de stabiliteitberekening.

Tabel 2 Schematisaties stijghoogten per laag

Nr.	Pakket	Schem. 1		Schem. 2		Schem. 3	
Freatisch (PL1)	Veen	Lin. Interpolatie		Lin. Interpolatie PL1 – PL2		PL1 (hydrostatisch)	
	Klei	PL1 – PL2				Lin. Interpolatie PL1 – PL2	
	Kleiig zand	PL2 (hydrostatisch)					
Stijghoogte (PL2)	Zand	PL2 (hydrostatisch)		PL2 (hydrostatisch)		PL2 (hydrostatisch)	

Overige uitgangspunten en randvoorwaarden

Er is een verkeersbelasting van 13 kPa over een breedte van 3 m aangehouden.

Programmatuur

De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma MSTAB zowel met de methode Bishop als de methode Van. Door toename van de stijghoogte kan een oprijfsituatie ontstaan. Met de methode Van wordt gekeken of drukstaafstabiliteit een rol speelt. Dit is het geval bij oprijfsituaties.

Vergelijking met Onderzoek Veendijken AGV

In het onderzoek naar veendijken voor AGV is gebruik gemaakt van een proevenverzameling van GeoDelft voor dat gebied. Voor verschillende grondsoorten zijn zogenaamde spannings-schuifsterkte-diagrammen bepaald. Als controle op de hier aangehouden grondparameters voor de veenlaag zijn aanvullende berekeningen gemaakt met de grondparameters die bij het onderzoek Veendijken AGV zijn gebruikt. Het betreft de grondsoort "Hollandveen-naast".

2. Berekeningen alternatief 1

Invoergegevens:

- maatgevend geohydrologisch profiel: dsn A-A', corresponderend met dp 5 (Fli-map);
- maatgevend geotechnisch profiel dp 4 (een vergelijking van de dwarsprofielen leert dat het doorgerekende dwarsprofiel 5 niet de meest kritieke geometrie heeft; dwarsprofiel 4 heeft een steiler talud en lijkt het meest kritiek; wellicht geldt het voor dwarsprofiel 5 aangehouden stijghoogteverloop ook hier.);
- autonome stijghoogte: NAP -5,25 m;
- stijghoogte piekberging: verlopend van NAP-3,5 m (voorland) naar NAP-4,2 m (buitenteen), NAP-4,9 m (binnenteen), NAP-5,25 (achterland).

Tabel 3 Bodemopbouw dsn A-A'

Laag	Bovenkant laag [NAP+m]
Veen (onder kruin)	Variabel
Klei	-5.25
Kleiig zand	-6
Zand	-9

In de berekening voor dwarsprofiel 5 is de geometrie van het talud aangepast aan profiel 4. Het stijghoogteverloop is conform doorsnede A-A' van model 1 aangehouden (conservatief uitgangspunt).

Tabel 4 Stabiliteitfactoren (SF)

	Schematisatie 1	Schematisatie 2	Schematisatie 3
Autonoom	2,13	1,56	0,99 (0,90)
Piekberging	<< 0,9*	0,79	0,98 (0,90)

* Berekeningsresultaat = 0,29

Digitale bestanden: zie bijlage 6

De stabiliteitfactoren zijn in principe met de methode Bishop bepaald. Tussen haakjes staat de stabiliteitsfactor die gevonden wordt met methode Van, alleen indien de stabiliteitsfactor significant lager is dan de waarde die met methode Bishop wordt gevonden.

Bij schematisatie 3 is vrij gevoelig voor de wijze waarop veen onder en naast de kruin wordt gemodelleerd. Bij modellering van “veen onder kruin” nabij de teen wordt juist een lager stabiliteitsfactor gevonden, ca. 0,8, zowel voor de autonome situatie als bij piekberging.

Aanvullende berekeningen met de grondparameters behorend bij het onderzoek Veendijken AGV geeft de volgende (alleen voor schematisatie 3 ongunstigere) resultaten. Opgemerkt wordt dat hier nog is uitgegaan van het minder kritische dwarsprofiel dp 5.

Tabel 5 Stabiliteitfactoren (SF) met Hollandveen-naast conform onderzoek AGV

	Schematisatie 1	Schematisatie 2	Schematisatie 3
Autonoom	1,23	1,76	0,72 (0,65)
Piekberging	0,44 (0,08)	0,97	0,72 (0,66)

Digitale bestanden: zie bijlage 6

Conclusies indien schematisatie 1 van toepassing is:

De autonome situatie voldoet. Piekberging heeft een negatieve invloed op de stabiliteit. De berekende stabiliteitsfactor is zeer laag. Instabiliteit van de kade wordt door piekberging veroorzaakt.

Conclusies indien schematisatie 2 van toepassing is:

De autonome situatie voldoet. Piekberging heeft een negatieve invloed op de stabiliteit. De berekende stabiliteitsfactor is lager dan vereist (0,9). Instabiliteit van de kade wordt door piekberging veroorzaakt.

Conclusies indien schematisatie 3 van toepassing is:

De autonome situatie en de situatie bij piekberging zijn beide vrij kritisch. De berekende stabiliteitsfactor in beide situaties is gelijk of lager dan vereist (0,9). Piekberging heeft geen negatieve invloed op de stabiliteit. Instabiliteit van de kade wordt niet door piekberging veroorzaakt.

Algemene conclusies

Een negatieve invloed op de stabiliteit van de bestaande kade door piekberging is alleen te verwachten bij schematisaties 1 en 2. Bij allebei de schematisaties moet rekening worden gehouden met instabiliteit van de kade bij piekberging. Schematisatie 1 is hierbij het “worst case scenario”.

Indien schematisatie 3 juist is, dan is geen negatieve invloed door piekberging te verwachten. De bestaande kade zou volgens de berekeningen in de autonome situatie al instabiel kunnen zijn.

Verklaring effect van toename stijghoogte op stabiliteitsfactor

Het kritieke glijvlak gaat alleen door de veenlaag. De doorwerking van de stijghoogte in de veenlaag wordt bepaald door de schematisatie van de waterdrukken per laag. In schematisatie 1 is de doorwerking van de stijghoogte in de veenlaag het grootst. In schematisatie 3 heerst in de veenlaag een hydrostatische waterdruk (freatisch) en is geen doorwerking van de stijghoogte.

Bij toename van de waterdrukken nemen de korrelspanningen en daarmee de schuifsterkte af. Bij schematisaties 1 en 2 is dan ook een afname van de stabiliteitsfactor te verwachten.

3. Berekeningen alternatief 2

Aangezien voor alternatief 2, doorsnede B-B' een gunstiger stijghoogteverloop geldt en de bodemopbouw niet ongunstiger is, is het niet nodig hiervoor nog berekeningen uit te voeren.

4. Indicatie maximaal toelaatbare stijghoogte bij teen kade

Voor de schematisaties 1 en 2 is iteratief vastgesteld bij welke stijghoogte door piekberging de stabiliteit van de kade nog net voldoende is. Voor schematisatie 3 is eerder vastgesteld dat geen negatief effect door piekberging is te verwachten en kan dus de bij de teen doorgerekende stijghoogte van NAP -4,2 m worden aangehouden.

Tabel 6: Toelaatbare stijghoogte en berekende stabiliteitsfactoren (SF)

	Schematisatie 1	Schematisatie 2
Stijghoogte	NAP -4,6 m	NAP -4,5 m
SF	1,01	1,09

Digitale bestanden (bijlage 6):



bestaande kade dp5-4-model 1-piekb-vkt2-grens-sch1.sti



bestaande kade dp5-4-model 1-piekb-vkt2-grens-sch2.sti

Dit zou betekenen dat een piekberging volgens Model 2 met een stijghoogte van maximaal NAP-4,75 m bij de teen geen problemen oplevert. Model 3 is hier niet beschouwd.

Opgemerkt moet worden dat een geringe stijging van de stijghoogte (van NAP-4,5 tot NAP-4,2) een behoorlijke invloed heeft op de stabiliteit. Het is daarom belangrijk voldoende zekerheid te hebben over de bandbreedte van de verwachte stijghoogte.

5. Conclusies en aanbevelingen

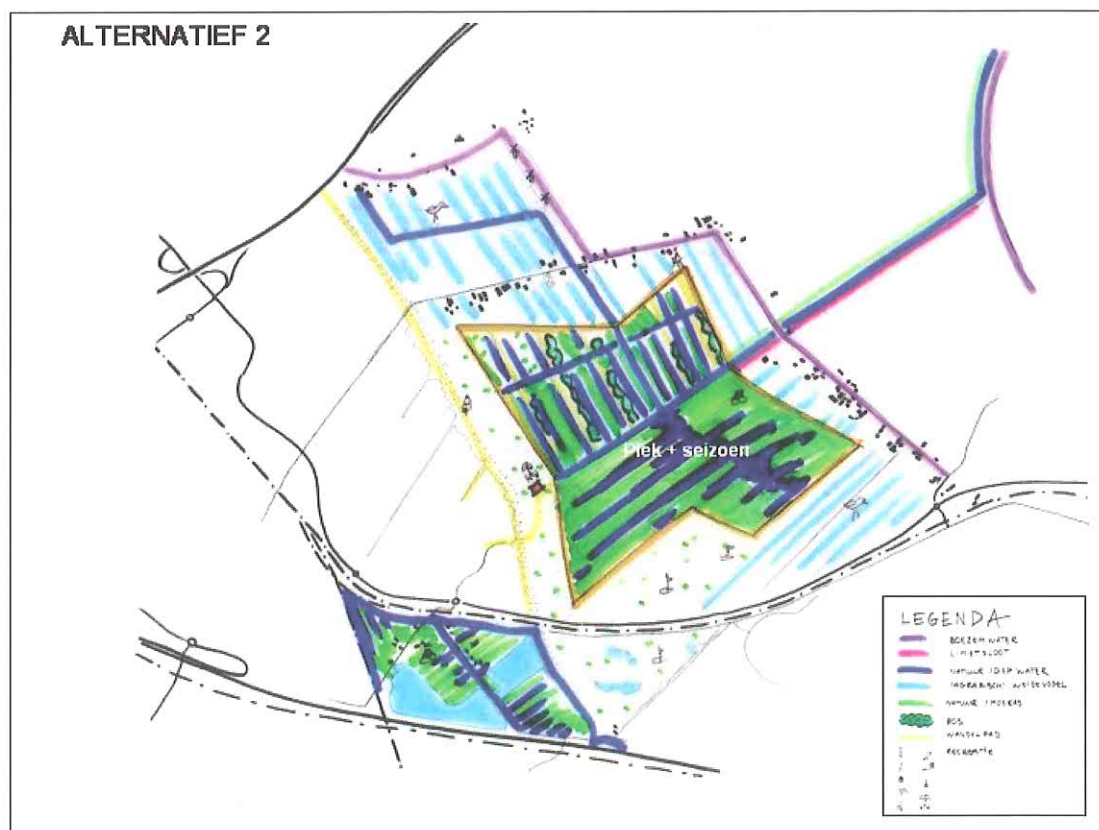
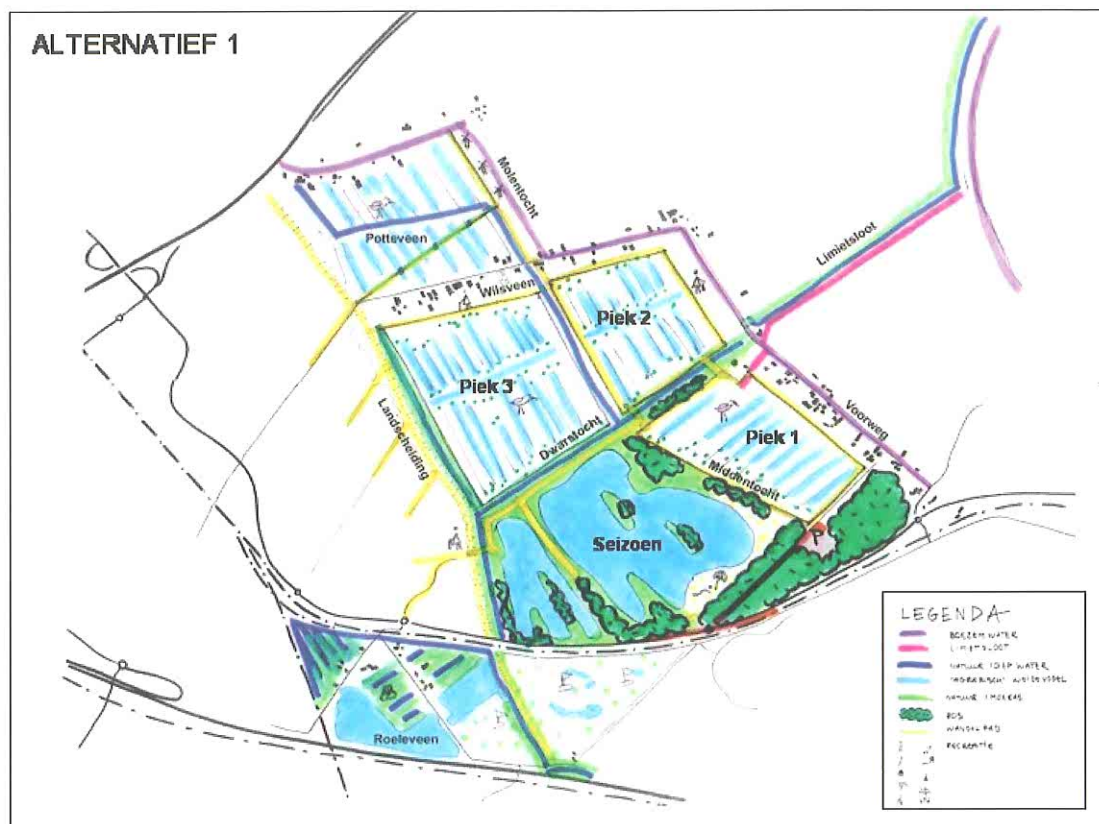
Of de piekberging een negatieve invloed heeft op de stabiliteit is afhankelijk van de gekozen schematisatie van waterspanningen. Nader onderzoek naar het waterspanningsverloop in de diepte (peilbuizen) kan hierover meer duidelijkheid geven. Bij schematisatie 3 waarbij een hydrostatisch (freatisch) stijghoogteverloop in de veenlaag wordt aangehouden is geen negatieve invloed te verwachten aangezien de toename van de stijghoogte daarbij niet doorwerkt in de slappe veenlaag. Bij de schematisaties 1 en 2 is dit wel het geval. Bij schematisatie 3 is de kade echter in de autonome situatie mogelijk al instabiel.

Het verdient aanbeveling eerst onderzoek uit te voeren naar het waterspanningsverloop in de grond door middel van peilbuizen. Op basis daarvan kan worden vastgesteld of piekberging een negatief effect heeft. Zo ja dan kan eventueel onderzoek gedaan worden naar de sterkte-eigenschappen van de grondlagen (vnl. de veenlaag) door middel van sonderingen, boringen en laboratoriumonderzoek om de stabiliteit van de kade beter te kunnen bepalen en of het effect van de piekberging toelaatbaar is (is de kade dan nog voldoende stabiel?).

Als mitigerende maatregel zou de rand van de waterberging zodanig kunnen worden opgeschoven dat de kritische stijghoogte van NAP -4,6 m bij de bestaande kade niet wordt overschreden.

Bijlage 2

Tracé's alternatieven



Bijlage 3

Kruinhoogteberekeningen

Inhoud:

- uitgangspunten golfoploop;
- golfoploopberekening dijksectie Noord – zonder en met dam;
- golfoploopberekening dijksectie Oost – zonder en met dam;
- golfoploopberekening dijksectie Zuid – zonder en met dam;
- golfoploopberekening dijksectie West – zonder en met dam.

Uitgangspunten Golfoploop

Ontwerpwaterstand:	-3.12 m+NAP
Bodemniveau	-4.9 m+NAP
Waterdiepte	1.78 m

Dijksectie Noord

windrichting: ZZO
windsnelheid: 22.64 m/s

zonder dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R [m]	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	900	497
-20	0.94	0.88	1500	1325
0	1.00	1.00	1300	1300
20	0.94	0.88	1500	1325
42	0.74	0.55	1700	939
	4.37			5385

effectieve strijklengte $R_e =$ 1233 m
 significante golfhoogte $H_s =$ 0.50 m
 piekperiode $T_p =$ 2.71 s
 golfoploop $z =$ 1.35 m

met dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	350	193
-20	0.94	0.88	300	265
0	1.00	1.00	250	250
20	0.94	0.88	300	265
42	0.74	0.55	350	193
	4.37			1166

effectieve strijklengte $R_e =$ 267 m
 significante golfhoogte $H_s =$ 0.33 m
 piekperiode $T_p =$ 2.01 s
 golfoploop $z =$ 0.85 m

Waarden z voor H_s bij talud 1:3 en $q = 0,1$ l/s/m

H_s	z
0.2	0.45
0.3	0.75
0.4	1.05
0.5	1.35
0.6	1.70
0.7	2.00

Dijksectie Oost

windrichting: ZW
windsnelheid: 30.68 m/s

zonder dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R [m]	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	1700	939
-20	0.94	0.88	1600	1413
0	1.00	1.00	1500	1500
20	0.94	0.88	1000	883
42	0.74	0.55	900	497
	4.37			5232

effectieve strijklengte $R_e = 1198$ m
 significante golfhoogte $H_s = 0.63$ m
 piekperiode $T_p = 3.08$ s
 golfoploop $z = 1.80$ m

met dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	500	276
-20	0.94	0.88	450	397
0	1.00	1.00	400	400
20	0.94	0.88	350	309
42	0.74	0.55	400	221
	4.37			1603

effectieve strijklengte $R_e = 367$ m
 significante golfhoogte $H_s = 0.49$ m
 piekperiode $T_p = 2.47$ s
 golfoploop $z = 1.35$ m

Waarden z voor H_s bij talud 1:3 en $q = 0,1$ l/s/m

H_s	z
0.2	0.45
0.3	0.75
0.4	1.05
0.5	1.35
0.6	1.70
0.7	2.00

Dijksectie Zuid

windrichting: NW
windsnelheid: 30.68 m/s

zonder dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R [m]	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	1400	773
-20	0.94	0.88	1900	1678
0	1.00	1.00	1800	1800
20	0.94	0.88	1500	1325
42	0.74	0.55	900	497
	4.37			6072

effectieve strijklengte $R_e =$ 1391 m
 significante golfhoogte $H_s =$ 0.65 m
 piekperiode $T_p =$ 3.16 s
 golfoploop $z =$ 1.85 m

met dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	900	497
-20	0.94	0.88	500	442
0	1.00	1.00	200	200
20	0.94	0.88	150	132
42	0.74	0.55	150	83
	4.37			1354

effectieve strijklengte $R_e =$ 310 m
 significante golfhoogte $H_s =$ 0.47 m
 piekperiode $T_p =$ 2.39 s
 golfoploop $z =$ 1.25 m

Waarden z voor H_s bij talud 1:3 en $q = 0,1$ l/s/m

H_s	z
0.2	0.45
0.3	0.75
0.4	1.05
0.5	1.35
0.6	1.70
0.7	2.00

Dijksectie West

windrichting: ONO
windsnelheid: 21.62 m/s

zonder dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R [m]	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	800	442
-20	0.94	0.88	1200	1060
0	1.00	1.00	1300	1300
20	0.94	0.88	1600	1413
42	0.74	0.55	1700	939
	4.37			5153

effectieve strijklengte $R_e =$ 1180 m
significante golfhoogte $H_s =$ 0.48 m
piekperiode $T_p =$ 2.62 s
golfoploop $z =$ 1.30 m

met dam

hoek	cos (hoek)	cos(hoek)^2	R	R*cos(hoek)^2
-42	0.74	0.55	300	166
-20	0.94	0.88	250	221
0	1.00	1.00	250	250
20	0.94	0.88	250	221
42	0.74	0.55	300	166
	4.37			1023

effectieve strijklengte $R_e =$ 234 m
significante golfhoogte $H_s =$ 0.30 m
piekperiode $T_p =$ 1.91 s
golfoploop $z =$ 0.75 m

Waarden z voor H_s bij talud 1:3 en $q = 0,1$ l/s/m

H_s	z
0.2	0.45
0.3	0.75
0.4	1.05
0.5	1.35
0.6	1.70
0.7	2.00

Bijlage 4 Grondparameters

Bijlage 5 **Zettingberekeningen**

Zie digitale bestanden op CD bij rapport

Bijlage 6
Stabiliteitberekeningen
Zie digitale bestanden op CD bij rapport

Herinrichting Nieuwe Driemanspolder: Geotechnisch onderzoek
9P7666.A0
23-Nov-05
Analyse uitgevoerde grondonderzoeken

Uitbreidingsplan Leidschenveen
MOS Grondmechanica
kenm. 050495, 8 augustus 1996

MOS Grondmechanica				triaxiaalproef CU											
kenm. 050495, 8 augustus 1996				code	diepte [m+NAP]	volumegewicht [kN/m3]	bij 5% rek		bij 3% rek		bij 1.5% rek		gemiddeld bij 1,5 % rek		
							phi []	c' [kN/m2]	phi []	c' [kN/m2]	phi []	c' [kN/m2]	phi []	c' [kN/m2]	
Deklaag klei / klei zandig (1/2)															
klei matig hum. Gs				1	-6,2	13,6	29,7	5	26,5	4,1	23		2	29,0	3,0
klei matig hum. Gs				1	-6,2	15,5	27,8	4,1	25,2	3,5	25,2		3,5		
klei sterk hu. Gs.				1	-8,7	12,8	34,7	7,4	28,7	5,9	27		1		
klei matig hum. Gs.				1	-8,8	14	36,1	10,6	29,1	11,8	28		7		
klei matig schelph. Gs				1 of 2	-9,4	14,8	32,8	5,4	30,3	3,7	25		2,5		
klei matig hum. Matig zandig zf. Gs.				1 of 2	-5,7	15,2	20	8,5	16,9	8,4	12		8		
klei sterk zandig zf. Mat. Hum. Br.				1 of 2	-5,2	15,7	38,5	5,3	37,1	4,2	32		4		
zand (3)															
zand zf. Matig kleilig gs.				3	-6,7	18,2	36,1	7	37,8	2,8	29		0	34,8	2,8
zand zf. Matig kleilig br.				3	-5	17,8	35,9	7	34,4	6,9	33		3		
zand zf. Mat. Kleilig zw. Schelp. Zw. Hum.				3	-6,4	17,7	30,9	7,9	26,3	9,2	22		9,2		
zand zf. Zw. Siltig zw. Schelph. Gs				3	-6	18,9	37,2	5,6	37,3	2,9	31		0		
zand zf. Sterk kleilig mat schelph. Gs.				3	-6,7	17,8	39,9	0,5	36,4	2,6	34		2,6		

Provinciale weg N469 te Zoetermeer
Tjaden Grondmechanica S 96.847, februari 1997

alleen 4 samendrukkingsproeven
c_v waarden:

min 5,00E-09
gemiddeld 1,00E-08

Herinrichting Nieuwe Driemanspolder: Geotechnisch onderzoek
9P7666.A0
23-Nov-05
Analyse uitgevoerde grondonderzoeken

Puinstort recreatiegebied noord-west Zoetermeer
Resultaten monsteronderzoek
Grondmechanica Delft, februari 1981
CO-247611, bijl 35

Omschrijving	code	diepte [m+NAP]	volumegewicht [kN/m3]	samendrukkingconstanten (afgerond)					doorlatenheid			celproef (slecht af te lezen)		cv-waarden (afgeleid)	
				Cp	Cs	Pg	C'p	C's	k_vert [m/s]	belasting [kN/m2]	Mv [m2/kN]	phi []	c' [kN/m2]	cv	cv (bij mv = 1E-4)
KLEI															
klei, met plantenresten		1	-6,4	15	niet uitgevoerd				niet uitgevoerd			20	2		
klei, zwak zandig, met plantenresten		1 of 2	-7,3	15,7	34	104	40	11	151	niet uitgevoerd		niet uitgevoerd			
klei, siltig met veensporen		1	-8,3	15,1	niet uitgevoerd				1,08E-09	20	1,83E-03	niet uitgevoerd		5,90E-08	1,08E-06
									1,57E-10	150	1,78E-03			8,82E-09	1,57E-07
									5,84E-11	440	5,19E-04			1,13E-08	5,84E-08
klei, st. siltig met veensporen		2	-12,1	17,3	niet uitgevoerd				2,13E-09	40	1,10E-03	niet uitgevoerd		1,94E-07	2,13E-06
									4,98E-10	200	6,90E-04			7,22E-08	4,98E-07
									4,52E-10	460	2,53E-04			1,79E-07	4,52E-07
klei met plantenresten		1	-8,6	13,8	13	53	53	8	107	niet uitgevoerd					
klei met enkele rieresten en zwak humeushol		1	-9,7	16,5	35	90	60	11	151	niet uitgevoerd					
klei, zwak zandig met enkele veenstukjes		2	-11,6	16,9	41	251	94	11	209	niet uitgevoerd		niet uitgevoerd			
klei, zwak zandig		2	-11,6	16,7	niet uitgevoerd				1,10E-08	40	7,90E-04	niet uitgevoerd		1,39E-06	1,10E-05
									6,21E-10	200	7,41E-04			8,38E-08	6,21E-07
									2,55E-10	460	3,55E-04			7,18E-08	2,55E-07
klei, zw. Z. met plantenr. En schelpstukjes		1 of 2	-8,5	16,7	niet uitgevoerd				niet uitgevoerd			20	5,5		
klei met weinig schelpengruis		1	-8,8	15,4	26	47	80	9	131	niet uitgevoerd					
klei		2	-12,2	16,6	niet uitgevoerd				9,07E-10	58	7,18E-04	niet uitgevoerd		1,26E-07	9,07E-07
									3,56E-10	250	5,14E-04			6,93E-08	3,56E-07
									1,71E-10	470	4,17E-04			4,10E-08	1,71E-07
klei met plantenresten		1	-6,6	14,7	niet uitgevoerd				niet uitgevoerd			20	2		
klei, zwak humeushoudend		1	-7,4	14,7	14	54	42	9	228	niet uitgevoerd		niet uitgevoerd			
klei		1	-7,5	14	niet uitgevoerd				1,01E-09	20	1,97E-03	niet uitgevoerd		5,13E-08	1,01E-06
									2,34E-10	150	1,27E-03			1,84E-08	2,34E-07
									8,00E-10	440	5,50E-04			1,45E-07	8,00E-07
klei, met plantenresten		2	-11,3	17,6	niet uitgevoerd				niet uitgevoerd			22	4		
klei met een stukje veen		2	-12,2	16,1	niet uitgevoerd				1,29E-09	45	9,31E-04	niet uitgevoerd		1,39E-07	1,29E-06
									5,51E-10	200	6,03E-04			9,14E-08	5,51E-07
									2,42E-10	450	4,23E-04			5,72E-08	2,42E-07
minimum			-12,2	13,8	13	47	40	8	107			20,0	2,0	8,82E-09	5,84E-08
gemiddeld			-9,4	15,8	27	100	62	10	163			20,5	3,4	1,56E-07	1,21E-06
maximum			-6,4	17,6	41	251	94	11	228			22,0	5,5	1,39E-06	1,10E-05

ZAND															
zand, kleilig met weinig rietresten		3	-7,8	19,4	niet uitgevoerd				niet uitgevoerd			26,5	0,5		
zand, zwak kleilig met enkel veenstukjes		3	-5,8	19	niet uitgevoerd				niet uitgevoerd			28,5	0,5		
zand, kleilig met enkele rietresten		3	-6,1	18,7	93	577	63	38	660	niet uitgevoerd					
klei, sterk zandig met enkele rietresten		2	-8	18,7	87	393	100	39	594	niet uitgevoerd					
minimum			-8,0	18,7	87,0	393,0	63,0	38,0	594,0			26,5	0,5		
gemiddeld			-6,9	19,0	90,0	485,0	81,5	38,5	627,0			27,5	0,5		
maximum			-5,8	19,4	93,0	577,0	100,0	39,0	660,0			28,5	0,5		

	volumegewicht [kN/m3]	samendrukkingconstanten (afgerond)					celproeven		cv-waarden (afgeleid)		
		Cp	Cs	Pg	C'p	C's	phi []	c' [kN/m2]	cv	cv	
deklaag klei (1)											mv = 1E-4
minimum	13,6	13	47	40	8	107	20	2	9E-09	6E-08	
gemiddeld	15,5	24	70	55	10	154	20	3	5E-08	6E-07	
maximum	18,2	35	104	80	11	228	20	6	1E-07	1E-06	
klei zandig (2)											
minimum	13,6	34	104	40	11	151	20	4	4E-08	2E-07	
gemiddeld	16,6	54	249	78	20	318	21	5	2E-07	2E-06	
maximum	18,7	87	393	100	39	594	22	6	1E-06	1E-05	
zand (3)											
minimum	12,8						27	1			
gemiddeld	17,1						28	1			
maximum	19,4						29	1			