

Dijken ontwerpen innovatief en efficiënt

Handreiking ontwerpen regionale keringen HDSR



DEFINITIEF

Utrecht, 24 juni 2014



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN



Verantwoording

Titel : Dijken ontwerpen
innovatief en efficiënt

Subtitel : Handreiking ontwerpen regionale keringen HDSR

Cursuscode : TCTL-LAF08-10

Revisie : C01

Datum : 24 juni 2014

Student : Koen van Korlaar BEd

Studentnummer : 1598029

E-mailadres : Koen.vankorlaar@student.hu.nl

Telefoonnummer : 06-526 47 868

Eerste examiner : Dr. ir. Ursula Backhausen

Paraaf akkoord :

Tweede examiner : ir. Rik den Houting

Paraaf akkoord :

Bedrijfsbegeleider : ir. Cor Bisschop

Paraaf akkoord :

Bedrijfsbegeleider : Yvo Snoek MSc

Paraaf akkoord :

Scientific understanding proceeds by way of constructing and analysing models of segments or aspects of reality under study. The purpose of these models is not to give an mirror image of reality, not to include all its elements in their exact sizes and proportions, but rather to single out and make available for intensive investigation those elements which are decisive.

We abstract from non-essentials, we blot out the unimportant to get an unobstructed view of the important, we magnify in order to improve the unobstructed view of the important, we magnify in order to improve the range and accuracy of our observation. A model is, and must be, unrealistic in the sense in which the word is most commonly used. Nevertheless, and in a sense, paradoxically, if it is good model it provides the key to understanding reality.

(Baran and Sweezy, 1968).

Voorwoord

Zoals gebruikelijk bij de Hogeschool Utrecht wordt de studie Civiele Techniek afgesloten met een afstudeeronderzoek. In deze rapportage is de afstudeeronderzoek van Koen van Korlaar opgenomen.

Sinds 6 maanden ben ik werkzaam bij het ingenieursbureau van het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. Hiervoor heb ik 6 jaar op de afdeling waterbouw gewerkt bij Grontmij als adviseur waterkeringen. Verspreid over het hele land heb ik tientallen waterkeringproject uitgevoerd. Ik heb daarbij samengewerkt met verschillende waterschappen en ingenieursbureaus. Wat mij opvalt is dat er geen duidelijk vastgestelde normen en regels zijn voor het toetsen en ontwerpen van waterkeringen en dat ieder waterschap en ingenieursbureau het net weer iets anders aanpakt. Daarnaast is het voor mij een sport om met een kleine optimalisatie tijdens het ontwerp veel kosten tijdens de uitvoering te besparen.

Met het opstellen van de Handreiking Economische Ontwerpen Regionale Waterkeringen HDSR heb ik getracht het ontwerpproces van regionale waterkering voor de Stichtse Rijnlanden te stroomlijnen en daardoor een kostenbesparing tijdens de uitvoering te realiseren.

De Handreiking is opgesteld de typische 'klei op veenkade' die veelvuldig voorkomt binnen het beheersgebied van de Stichtse Rijnlanden. Hiermee is het onderzoek gelijk afgebakend wat wel nodig is gezien de verschillende uitdagingen die de verschillende type keringen met zich mee brengen.

Bij het opstellen van deze scriptie heb ik veel steun en begeleiding gekregen van de Hogeschool Utrecht, het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden en van Grontmij. Hiervoor wil ik Ursula Backhausen en Rik den Houting van de Hogeschool bedanken voor de vrijdagochtenden waarop we de concept versies hebben besproken. Yvo Snoek van het waterschap wil ik vooral bedanken voor zijn altijd scherpe "waarom?", "wat betekend dat?" en "leg uit?" vragen. Cor Bisschop van Grontmij voor de inhoudelijke controle en het nakijken van alle berekeningen. Maarten Straver van Grontmij voor de fijne samenwerking tijdens het uitvoeren van de casus. En tot slot wil ik mijn afdelingshoofd Joost Hejis bedanken voor de ruimte, het vertrouwen en tijd die ik gekregen heb.

Samenvatting

Nederland is gevormd door water en menskracht. Door de eeuwen heen hebben de Nederlanders elke vierkante meter bewerkt en bestand gemaakt tegen de grillen van het water. Door de bodemdaling in West-Nederland, de zeespiegelstijging en de verstedelijking wordt de druk op de dijken steeds groter.

De ontwerpmethodiek van dijken is constant in beweging. Nieuwe inzichten en rekenmethodes verschijnen in technische rapporten, leidraden of worden informeel uitgewisseld tussen waterschappen, ingenieurbureaus, Deltares, TNO en het Expertise Netwerk Waterkeringen. Momenteel is er geen 'up-to-date' leidraad voor het ontwerpen van regionale waterkeringen beschikbaar. Door de versnippering van informatie is de huidige ontwerpmethodiek niet toereikend, wat in veel gevallen leidt tot de aanleg van onnodig robuuste dijken en hoge uitvoeringskosten.

Om hier verandering in te brengen is de Handreiking Economisch Ontwerpen Regionale Waterkeringen HDSR opgesteld. De kracht van deze handreiking zit hem in de bundeling van laatste inzichten en rekenmethodes van de verschillende instellingen.

De kosten van een dijkversterking worden grotendeels bepaald door de hoeveelheid klei die nodig is. Een kleine aanpassing in het ontwerp leidt tot enorme veranderingen in kosten tijdens de uitvoering. Tijdens het opstellen van deze handreiking is hier veel aandacht aan besteed.

Dit rapport is specifiek geschreven voor regionale waterkeringen binnen het beheersgebied van HDSR. Voor deze keringen zijn de mechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en overloop/overslag veruit het belangrijkste. De overige mechanismen komen door de opbouw van de ondergrond nauwelijks voor. De handreiking beperkt zich dan ook tot deze twee mechanismen.

De kern van de handreiking bestaat uit een figuur en een stroomschema. Het figuur kan gebruikt worden om voor elke willekeurige dijk te bepalen wat de meest economische ophoofrequentie is. Het ophogen van dijken veroorzaakt namelijk veel zettingen en in combinatie met de al aanwezige bodemdaling zorgt dit ervoor dat dijken periodiek opgehoogd moeten worden. De kosten voor het ophogen zijn afhankelijk van de grootte van de ophoging en de tussenliggende tijd. Het figuur zorgt ervoor dat dit voor toekomstige dijkversterkingen geoptimaliseerd is. Daarnaast is er een stroomschema opgesteld die de ontwerper helpt een kostenefficiënt ontwerp op te stellen. In het schema zijn de laatste inzichten en rekenmethoden op het gebied regionale waterkeringen opgenomen.

De handreiking is door de afstudeerder direct toegepast bij het opstellen van het versterkingsontwerp voor de Dubbele Wiericke. Hiervoor is in 2012 een eerste waterstaatkundige ontwerp opgesteld. Het vermoeden van het waterschap was dat dit ontwerp onnodig robuust was. Tien jaar geleden is de dijk voor het laatst versterkt, waarbij grond aangekocht moest worden. In het ontwerp van 2012 moet er opnieuw grond aangekocht worden. De agrariërs in het gebied staan hun grond niet graag af omdat dit hun bron van inkomsten is. De handreiking heeft ervoor gezorgd dat de dijk binnen het huidige ruimtegebruik versterkt kan worden, waardoor geen grond aangekocht hoeft te worden. Daarnaast zijn de uitvoeringskosten met 50% gereduceerd ten opzicht van het eerdere ontwerp wat een kostenbesparing van 1,9 miljoen euro oplevert tijdens de uitvoering.

De handreiking heeft zijn kracht laten zien in het project de Dubbele Wiericke. Het waterschap is voornemens al haar dijken in 2020 op orde te hebben, waardoor er de komende jaren vele kilometers dijk verbeterd zullen gaan worden. Het toepassen van de handreiking bij deze projecten zal tot aanzienlijke kostenbesparing leiden.

Begrippenlijst

Aanleghoogte	Is de hoogte in m t.o.v. NAP waarop een dijk tijdens een versterking wordt afgewerkt
Binnenteen	Het snijpunt van het binnentalud en het achterland
Buitenteen	Het snijpunt van de buitentalud en de boezembodem
Dijklichaam	De moot grond boven het maaiveld van buitenteen tot binnenteen
Faalmechanisme	Een mechanisme dat tot een dijkdoorbraak kan leiden.
Freatische lijn	Het verloop van de grondwaterstand in een dijklichaam
Groene dijk	Een dijk opgebouwd uit grond en bekleed met een grasmatten
HDSR	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Heave	Het door een opwaarts gerichte waterstroming verminderen van de korrelspanning
HT	Hoogte
Ingenieurskosten	De kosten voor het opstellen van een versterkingsontwerp, exclusief de onderzoekskosten
IPO-klasse	Veiligheidsklasse van regionale waterkeringen vastgesteld door het Inter Provinciaal Overleg
Keur	Een verordening met regels waarmee een waterschap haar waterstaatswerken kan beschermen
Kruin	De bovenzijde van een dijk
Kruinkap	Een verhoging van de dijk door het aanbrengen van klei op de kruin
Legger	Openbaar register met publiekrechtelijke functie waarin is aangegeven waaraan de waterstaatswerken moeten voldoen
Leggerhoogte	De hoogte waarop een dijk minimaal dient te liggen over een breedte van 1,5 m welke is vastgelegd in de legger
Macrostabiliteit	Het afschuiven van grote delen van het talud van een dijk dat kan leiden tot een dijkdoorbraak

Minimaal benodigde kruinhoogte	zie leggerhoogte
Onderzoekskosten	De kosten voor boringen, sonderingen, peilbuizen en laboratoriumonderzoek
Ontwerphorizon	Periode tot aan de volgende versterking
Ophoogfrequentie	Geeft aan om de hoeveel jaar een dijk opgehoogd moet worden
Overhoogte	Is de hoogte gemeten van het maaiveld tot de aanleghoogte
Overloop	Faalmechanisme waarbij de dijk te laag is en er water over de dijk heen stroomt
Overslag	Faalmechanisme waarbij de dijk te laag is en er golven over de dijk heen slaat
Planperiode	Periode waarin een dijk voldoet aan de gestelde eisen
Primaire kering	Een kering die het land tegen het buitenwater (zee, rivieren) beschermt
Projectkosten	De kosten die gemaakt worden voor het opstellen van een bestek, de directievoeren en de nazorg
Regionale kering	Een kering die binnen de dijkring van een primaire kering ligt
Stijghoogte	Het potentieel peil in een watervoerende laag
Toetspeil	Waterstand die bij de toetsing voor de situatie hoogwater en piping/heave aangehouden dient te worden
Uitvoeringskosten	De kosten voor de aannemer voor het versterken van een dijk
Wel	Een plaats waar water uit de grond komt

Inhoudsopgave

Verantwoording.....	1
Voorwoord.....	3
Samenvatting	4
Begrippenlijst.....	5
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding.....	9
1.1 Doel en resultaat.....	9
1.2 Leeswijzer.....	9
2 Aanleiding	10
2.1 Algemeen	10
2.2 Ontstaansgeschiedenis	11
2.3 Kenmerkende opbouw klei op veendijk HDSR.....	12
2.4 Problemen door veenondergrond	12
2.5 Stakeholders.....	13
2.6 Dubbele Wiericke.....	14
2.7 Omvang veen problematiek.....	15
2.8 Conclusie.....	16
3 Scope.....	17
3.1 Kenmerkend profiel	17
3.2 Bodemdaling.....	17
3.3 Planperiode.....	18
3.4 Faalmechanisme.....	18
3.5 Kostenraming.....	18
3.6 Constructies.....	18
3.7 Grondparameters.....	18
4 Theoretische analyse dijkontwerp	20
4.1 Hoogte	20
4.2 Macrostabiliiteit.....	23
4.3 Conclusie.....	27
5 Ontwerphoogte	28
5.1 Algemeen	28
5.2 Mechanisme	28
5.3 Bodemdaling.....	28
5.4 Zetting als gevolg van ophogen.....	28
5.5 Uitvoeringskosten.....	29
5.6 Rekensheet.....	30
5.7 Resultaat	30
5.8 Conclusie.....	31
6 Ontwerp macrostabiliiteit	32
6.1 Stroomschema.....	32
6.2 Relatie stappen stroomschema en kosten	35
6.3 Invloed ingenieursdienst op uitvoeringskosten	35
6.4 Stap 2 rekenkundige oplossing.....	37
6.5 Stap 2.1 Opbarsten / opdrijven	38
6.6 Stap 2.2 Reductie schematiseringsfactor.....	38
6.7 Stap 2.3 Toepassen zonering.....	39
6.8 Stap 2.4 Reductie bovenbelasting	40
6.9 Stap 2.5 Bepalen grondparameters bij 5% rek.....	40
6.10 Stap 3 Aanvullend onderzoek	41
6.11 Stap 4 Versterking in grond.....	42

6.12	Toepassen constructies	43
7	Casus Dubbele Wiericke.....	44
7.1	Algemeen	44
7.2	Indeling verbetervakken	44
7.3	Toepassen ophoogstrategie	45
7.4	Toepassen van het stroomschema.....	46
7.5	Verbetervak 1 oplossing met constructie	47
7.6	Verbetervak 3 oplossing in grond	49
7.7	Kostenraming Dubbele Wiericke West.....	50
8	Aanbevelingen	52
8.1	Toegevoegde waarde.....	52
8.2	Optimaliseren constructies	52
8.3	Opstellen regionale grondparameterset.....	52
8.4	Meer kennis in huis halen.....	52
9	Conclusie.....	53
	Literatuurlijst.....	54
	Tabellen en figurenlijst	55
Bijlage 1	Zettingsberekeningen	
Bijlage 2	Analyse macrostabiliteit	
Bijlage 3	Ophoogstrategie	
Bijlage 4	Stroomschema macrostabiliteit	
Bijlage 5	Kostenonderbouwing bij stroomschema	
Bijlage 6	Onderbouwing rekenkundige optimalisatie	
Bijlage 7	Ontwerptekening	
Bijlage 8	Kostenraming Dubbele Wiericke	

1 Inleiding

In deze rapportage is de afstudeeropdracht van Koen van Korlaar opgenomen. Het resultaat van het onderzoek is de Handreiking Economisch Ontwerpen Regionale Waterkeringen HDSR. De huidige ontwerpmethodiek is niet toereikend en leidt tot onnodig robuuste dijken en hoge uitvoeringskosten. De ontwerpmethodiek van dijken is constant in beweging. Nieuwe inzichten en rekenmethodes verschijnen in technische rapporten, leidraden of worden informeel uitgewisseld tussen waterschappen, ingenieursbureaus, Deltares, TNO en het Expertise Netwerk Waterkeringen. Momenteel is er geen up- to- date leidraad voor het ontwerpen van klei op veendijken beschikbaar. De kracht van deze handreiking zit hem in de bundeling van laatste inzichten en rekenmethodes van de verschillende instellingen.

De kosten van een dijkversterking worden grotendeels bepaald door de hoeveelheid klei die nodig is. Een kleine aanpassing in het ontwerp leidt tot enorme veranderingen in kosten tijdens de uitvoering. Tijdens het opstellen van deze handreiking is hier veel aandacht aan besteed.

Dit rapport is specifiek geschreven voor regionale keringen binnen het beheersgebied van HDSR. Voor deze keringen zijn de mechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en overloop/overslag veruit het belangrijkste. De overige mechanismen komen door de opbouw van de ondergrond nauwelijks voor. De handreiking beperkt zich dan ook tot deze twee mechanismen.

De handreiking is door de afstudeerder direct toegepast bij het opstellen van het versterkingsontwerp voor de Dubbele Wiericke. De handreiking heeft ervoor gezorgd dat de dijk binnen het huidige ruimtegebruik versterkt kan worden, waardoor geen grond aangekocht hoeft te worden. De uitvoeringskosten zijn hierdoor gehalveerd.

1.1 Doel en resultaat

Het doel van het afstudeeronderzoek is het opstellen van de Handreiking Economisch Ontwerpen Regionale Waterkeringen binnen het beheersgebied van HDSR. Deze zal door het hoogheemraadschap toegepast worden om tot een optimaal dijkontwerp te komen waarmee uitvoeringskosten bespaard zullen worden.

- 1) Onderzocht is wat de meest efficiënte maatregel is om de dijk op hoogte te brengen en houden, waarbij de optredende zetting zo klein mogelijk wordt gehouden.
- 2) Onderzocht is wat de meest efficiënte maatregel is om een dijk te laten voldoen aan eisen voor macrostabiliteit.

Op basis van de bovengenoemde onderzoeken is een ophoogstrategie en een stroomschema ontwikkeld, welke de ingenieur kan helpen om tot een geoptimaliseerd ontwerp te komen. Met 'efficiënte maatregel' wordt bedoeld dat de dijk niet onnodig robuust (en dus duur) wordt gemaakt.

1.2 Leeswijzer

De aanleiding voor dit onderzoek is in hoofdstuk 2 opgenomen en in hoofdstuk 3 is de scope beschreven. In hoofdstuk 4 is de theoretische analyse voor het dijkontwerp uiteengezet, waarbij dieper is ingegaan op de factoren die effect hebben op het faalmechanisme overloop/overslag en de macrostabiliteit. Vervolgens is de Handreiking Economisch Ontwerpen opgenomen in de hoofdstukken 4 en 5 met respectievelijk de onderwerpen overloop/overslag en macrostabiliteit. De handreiking is toegepast op de casus Dubbele Wiericke waarvan een beschrijving is gegeven in hoofdstuk 6. Enkele aanbevelingen staan vermeld in hoofdstuk 7 en tot slot staat de conclusie in hoofdstuk 8 gevolgd door de literatuurlijst en een tabel met de bronvermeldingen.

2 Aanleiding

In dit hoofdstuk wordt teruggekeken in de tijd om te kunnen begrijpen hoe de huidige situatie van het waterkeringssysteem in elkaar zit. Er is ingezoomd op het beheersgebied van HDSR en er is inzichtelijk gemaakt welke problemen daar spelen op het gebied van waterkeringen. Vervolgens is de casus Dubbele Wiericke toegelicht. En tot slot is de problematiek van dijken op een veenondergrond op nationaal niveau beschouwd.

2.1 Algemeen

Nederland is gevormd door water en menskracht. Door de eeuwen heen hebben de Nederlanders elke vierkante meter bewerkt en bestand gemaakt tegen de grillen van het water. Goed waterbeheer is van essentieel belang voor het behoud van veilige dijken, droge voeten en voldoende schoon water. Het waterbeheer in Nederland valt onder 23 verschillende waterschappen. De waterschapsgrenzen zijn bepaald op basis van de verschillende stroomgebieden. Aan het hoofd van elk waterschap staat een gekozen bestuur. In de waterschapwet is vastgelegd dat de waterschappen hun eigen belasting mogen heffen.

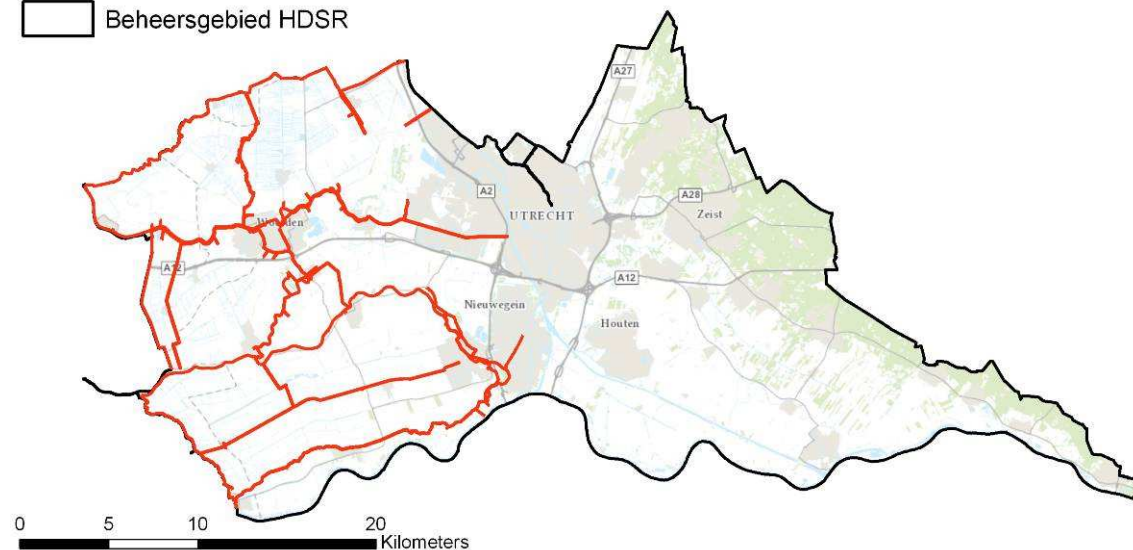
HDSR is gelegen in het midden van ons land in de provincie Utrecht en Zuid-Holland. In figuur 2-1 is het beheersgebied van HDSR en haar regionale keringen weergegeven. Aan de oostzijde is de hoger gelegen Utrechtse Heuvelrug gesitueerd. Het westelijk deel kenmerkt zich door het lager gelegen veenweidegebied.

Het is de reglementaire taak van HDSR om haar regionale keringen eens in de 6 jaar te toetsen op veiligheid tegen overstromen. Wanneer een kering niet voldoet aan de gestelde eisen dient HDSR de kering te verbeteren. In de Provinciale Verordening West-Nederland uit 2006 is vastgesteld dat HDSR in 2020 al haar dijken op orde dient te hebben.

Legenda

— Regionale waterkeringen

▭ Beheersgebied HDSR



Figuur 2-1 Beheersgebied HDSR

2.2 Ontstaansgeschiedenis

Doordat Nederland een delta is en door platentektoniek in zijn geheel gekanteld, is er in de loop van honderdduizenden jaren een dik pakket sediment afgezet, dat zich laat lezen als een geschiedenisboek. De jongst gevormde lagen liggen aan de oppervlakte en hoe dieper men gaat hoe ouder de lagen zijn.

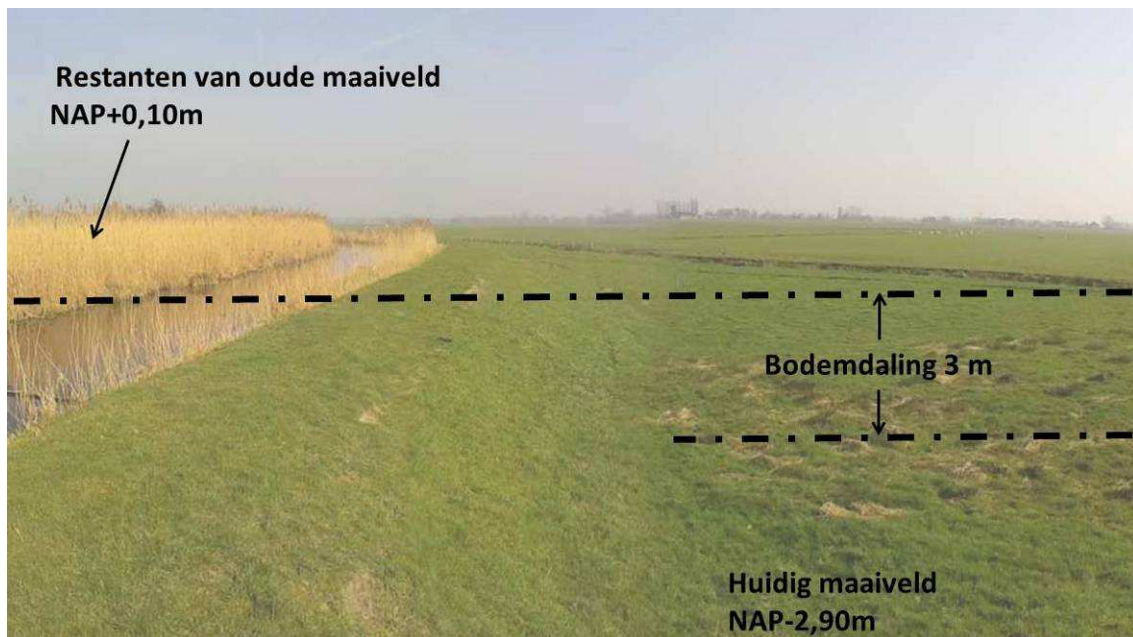
Bij het ontwerpen van waterkeringen in West-Nederland wordt de pleistocene zandlaag als stabiele basis aangehouden. Deze laag bevindt zich in het beheersgebied van HDSR op een diepte van NAP-6,0m tot -10,0m. De laag is ongeveer 10.000 tot 100.000 geleden jaar gevormd in het Weichselien dat onderdeel is van het pleistocene tijdvak. Het zand is door de rivieren (fluviaal) en door de wind afgezet (eolisch) en behoort tot de formatie Bostel. Doordat de laag stabiel is, wordt deze vaak gebruikt om damwanden of heipalen in te funderen.

Bovenop de pleistocene zandlaag bevindt zich een pakket basisveen met een dikte variërend van 3 tot 10 m. Veen bestaat grotendeels uit organisch sediment. Het veen heeft zich 10.000 tot 5.000 jaar geleden gevormd. In deze periode was er door veranderende klimaatomstandigheden sprake van een langzame zeespiegelstijging. Door deze stijging ging het grondwater ook langzaam omhoog. Hierdoor ontstond er een uitgestrekt moeras. Het veen kon zich onder deze omstandigheden ideaal vormen doordat plantenresten onder water niet afgebroken kunnen worden.

Voor de middeleeuwen bestond een groot deel van wat nu het 'groene hart' is uit een uitgestrekt veenmoeras. In dit gebied is nu het leeuwendeel van de regionale waterkeringen van HDSR gesitueerd. Rond de 14^e eeuw is men begonnen met het afgraven en draineren van het veenmoeras. Dit werd gedaan omdat er een tekort was aan hout dat tot die tijd de meest gangbare brandstof was. Het afgegraven en gedroogde veen werd in die periode veel als brandstof gebruikt. Door het gebied te draineren werd het tevens bruikbaar voor agrarische doeleinde. Met de komst van de windmolen in de 15^e eeuw zijn de eerste polders aangelegd waardoor de grondwaterstand verlaagd werd. Het verlagen van de grondwaterstand maakte grote delen bruikbaar als graasweide en landbouwgrond. De consequentie hiervan is dat het veenpakket inklinkt en het drooggevalen veen oxideert.

Het dijklichaam van de regionale waterkeringen bestaat over het algemeen uit klei. Vanaf de 19^e eeuw is deze klei door mensen aangebracht om de dijken te versterken.

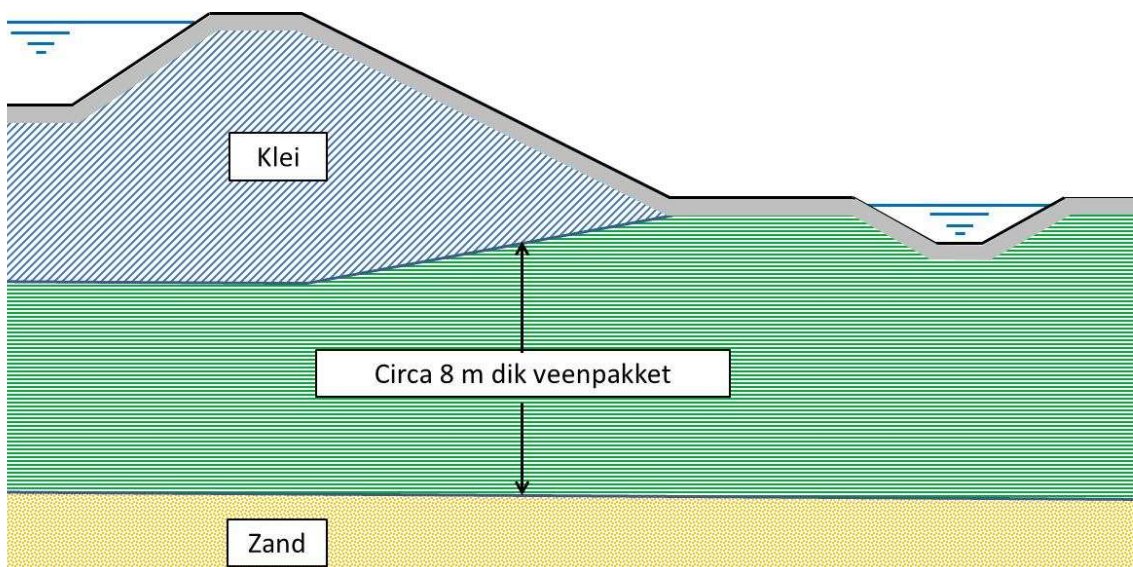
Door het afgraven, het draineren en de oxidatie is veel veen verdwenen. Op slechts enkele locaties is het maaiveld sinds de middeleeuwen nauwelijks veranderd. De gebiedjes liggen op kleine eilandjes die zich in de boezem bevinden. In figuur 2-2 is de verandering in een oogopslag zichtbaar. Aan de linkerzijde is het 'oude maaiveld' zichtbaar, aan de rechterzijde is het 'nieuwe' weidegebied te zien. Doordat de boezem als afwateringskanaal is gebruikt, is de waterstand nagenoeg hetzelfde gebleven door de jaren heen. Hierdoor zijn de eilandjes onaangetast gebleven. Het maaiveld is vanaf de middeleeuwen ongeveer 3 m gedaald. De bodemdaling bedraagt momenteel ongeveer 1 tot 5 cm per jaar. Dit is sterk afhankelijk van de locatie.



Figuur 2-2 Van veenmoeras tot weidegebied

2.3 Kenmerkende opbouw klei op veendijk HDSR

In figuur 2-3 is een dwarsdoorsnede van een typische opbouw van een regionale HDSR kering weergegeven. De dijk bestaat over het algemeen uit klei met daar onder een 8 m dikke slappe veenlaag welke gelegen is op de pleistocene zandlaag. De veenlaag onder de dijk is door het vele ophogen nog meer gezet dan de veenlaag in het achterland.



Figuur 2-3 Dwarsdoorsnede typische opbouw regionale kering HDSR

2.4 Problemen door veenondergrond

Om de doelstelling om alle dijken in 2020 op orde te hebben te halen, lopen er momenteel veel dijkversterkingstrajecten. Bij bijna alle dijkversterkingen heeft de veenlaag door zijn lage sterkte een negatief effect op de macrostabiliteit en leiden de hierdoor benodigde ophogingen tot veel zettingen. Dit leidt er toe dat het verbeterprofiel breder en hoger wordt om voldoende stabiliteit en hoogte te creëren. De kosten voor de versterking kunnen hierdoor enorm oplopen.

Uit gesprekken met projectleiders van HDSR blijkt, dat de slappe veenlaag er toe geleid heeft, dat dijken waarvan gedacht werd dat ze voor de komende 30 jaar op hoogte zouden blijven, na enkele jaren alweer opgehoogd moesten worden.

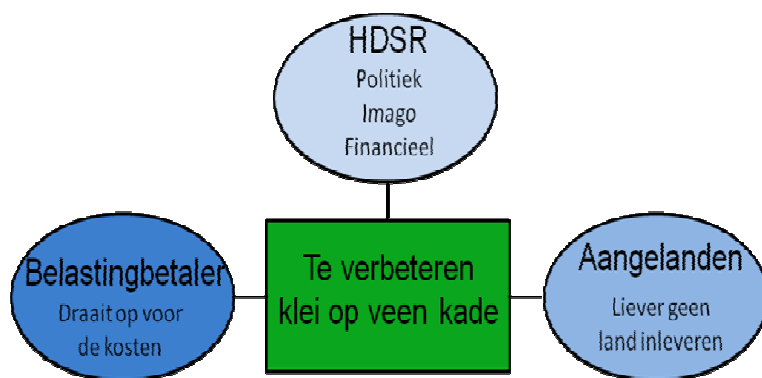
Om de macrostabiliteit van het binnentalud aan de eisen te laten voldoen, dient de dijk opnieuw geprofileerd te worden. Dit heeft als gevolg dat de veelal aanwezige teensloot naar het achterland verlegd dient te worden. Hiervoor moet vaak grond aangekocht worden van particulieren en/of agrariërs.

Door aangescherpte veiligheidseisen voor regionale waterkeringen in de afgelopen jaren zijn de regionale waterkeringen (opnieuw) onder de loep genomen. Voor een groot deel van deze keringen is de conclusie 'onveilig' gesteld en zijn nieuwe verbetermaatregelen noodzakelijk.

In veel gevallen dient daarom nogmaals grond aangekocht te worden om de teensloot opnieuw te verleggen naar het achterland. Het aankopen van grond binnen een relatief kort tijdsbestek leidt tot veel weerstand bij de agrariërs. Zij hebben er geen baat bij om hun land te verkopen. In sommige gevallen kan dit opgelost worden met een ruilverkaveling, maar dit is lang niet altijd mogelijk.

2.5 Stakeholders

Bij het verbeteren van regionale waterkeringen zijn een aantal stakeholders betrokken. De stakeholders hebben doorgaans een grote invloed op het verloop van het project. HDSR staat in dienst van zijn belastingbetalers en is daardoor genoodzaakt serieus om te gaan met de wensen en rechten van de stakeholders. Door de stakeholders vroegtijdig bij het project te betrekken kunnen bezwaarschriften tijdens de inzagenperiode zoveel mogelijk beperkt worden. In figuur 2-4 is een overzicht van de stakeholders weergegeven.



Figuur 2-4 Stakeholder

HDSR

HDSR is een overheidsinstelling met een gekozen bestuur aan het hoofd, welke in dienst staat van de burger. Voor HDSR is het daarom belangrijk dat het waterschap professioneel, betrouwbaar en kostenefficiënt overkomt op de burgers. Een efficiënter dijkontwerp zal bijdragen aan een positiever imago van het hoogheemraadschap.

Belastingbetaler

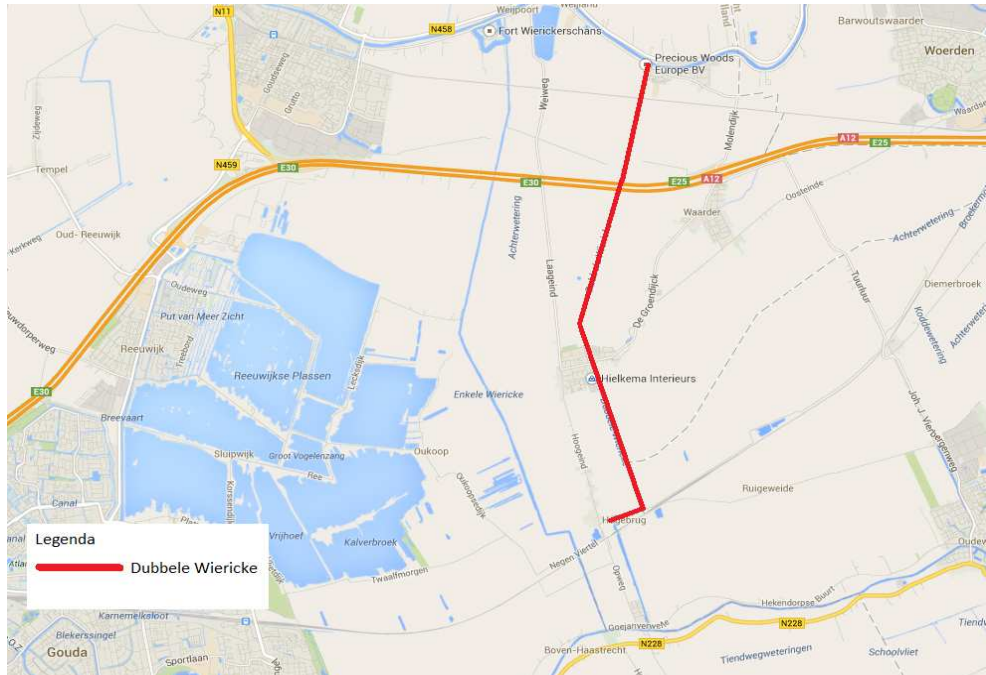
De belastingbetaler betaalt de kosten van de dijkversterkingen. Hierdoor kan hij veilig wonen en werken in de polder. Een efficiënter ontwerp leidt tot lagere kosten, waardoor de druk op de belastingbetaler zal afnemen. Belangrijk hierbij zijn de kosten op de langere termijn.

Aangelanden

De aangelanden zijn de burgers, die direct aan het projectgebied wonen/werken. In veel gevallen zijn dit agrariërs. Grond is een bron van inkomsten voor deze groep. Een dijkontwerp waarbij geen grond aangekocht dient te worden heeft de voorkeur.

2.6 Dubbele Wiericke

Eén van de keringen die voor 2020 op orde dient te zijn is de Dubbele Wiericke West. Deze kering is gelegen tussen Nieuwerbrug en Hogebrug (zie figuur 2-5). De Dubbele Wiericke is een groene 'klei op veendijk', die grotendeels in agrarisch gebied is gelegen. In figuur 2-6 is een afbeelding van de dijk weergegeven.

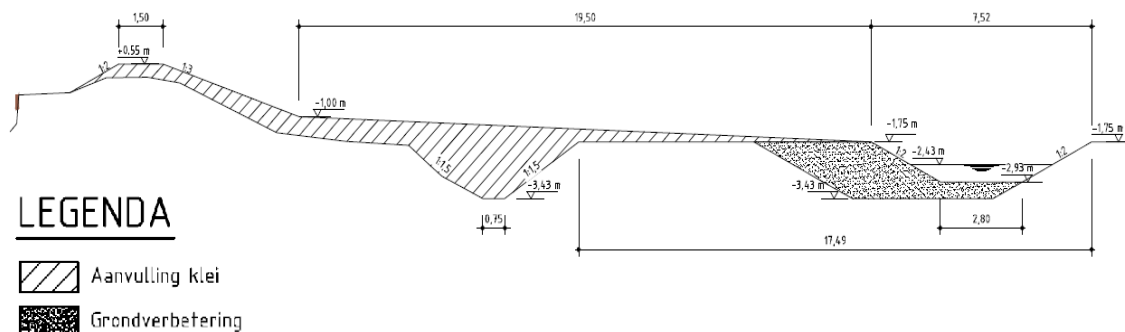


Figuur 2-5 Locatiekaart Dubbele Wiericke



Figuur 2-6 Kenmerkend profiel Dubbele Wiericke West

De kering is in 2012 door het ingenieursbureau Witteveen en Bos (hierna WIBO) getoetst op veiligheid tegen overstromen en daarbij afgekeurd op macrostabiliteit en hoogte. In 2013 is er door dezelfde firma een eerste waterstaatskundig ontwerp (EWO) opgesteld. Eén van de ontwerpprofielen van WIBO is in figuur 2-7 weergegeven.



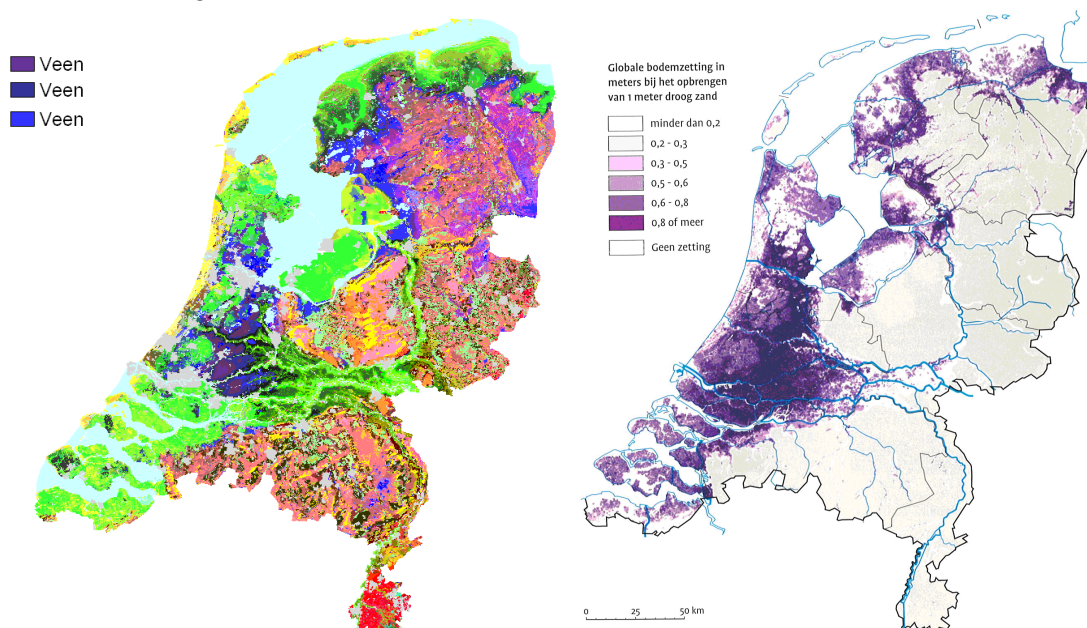
Figuur 2-7 Ontwerpprofiel Dubbele Wiericke door WIBO

In 2002 is deze kering voor het laatst versterkt, waarbij er een ruilverkaveling heeft plaats gevonden om de teensloot landinwaarts te kunnen verleggen. Voor de realisatie van het eerste waterstaatskundige ontwerp van WIBO dient wederom de teensloot verlegd te worden (17,45 m) naar het achterland op het terrein van derden. Omdat het aankopen en verleggen van de teensloot een ingrijpende maatregel is, wil HDSR alternatieven onderzocht hebben.

Daarnaast dient de zetting als gevolg van de ophoging onderzocht te worden. De vraag is wat de beste ophoogstrategie is op de lange termijn

2.7 Omvang veen problematiek

Het negatieve effect van veen op de stabiliteit en zetting beperkt zich niet alleen tot het beheersgebied van HDSR. In links in figuur 2-8 is het voorkomen van veen in Nederland weergegeven. Veen komt veel voor in de Randstad en in de provincies Friesland en Groningen. De plaatsen waar veel veen in de ondergrond aanwezig is, zijn juist ook de plaatsen waar veel dijken zijn aangelegd. Aan de linkerkant van het figuur is de verwachte zetting bij ophogen weergegeven. Er is een duidelijke relatie te zien tussen het voorkomen van veen en de verwachte zetting.



Figuur 2-8 Voorkomen veenondergrond (links) verwachte zetting bij ophoging (rechts)

Exacte cijfers zijn niet bekend maar volgens de Stichting Toegepast Onderzoek Waterkeringen (hierna STOWA) is er circa 5000 km dijk op een veenondergrond aanwezig in Nederland.

Binnen het beheersgebied van HDSR is ongeveer 150 km aan dijken op veenondergrond aanwezig.

2.8 Conclusie

Binnen het beheersgebied van HDSR is veel veen aanwezig in de ondergrond. Deze slappe laag veroorzaakt veel zetting waardoor de dijken periodiek opgehoogd moeten worden. Daarnaast heeft het veen een negatief effect op de macrostabiliteit waardoor dijken in veel gevallen breder gemaakt zullen moeten worden. Verschillende stakeholders hebben baat bij een geoptimaliseerd dijkontwerp. De huidige ontwerpmethode van HDSR leidt in veel gevallen tot onwenselijk brede profielen. Voor de Dubbele Wiericke is een schetsontwerp opgesteld dat nog geoptimaliseerd dient te worden. Dijken op veen komen ook buiten het beheersgebied van HDSR voor, met name in de Randstand en in de noordelijke provincies.

3 Scope

In dit hoofdstuk wordt de afbakening van het project beschreven. Duidelijk is vastgelegd wat er wel en niet is onderzocht.

3.1 Kenmerkend profiel

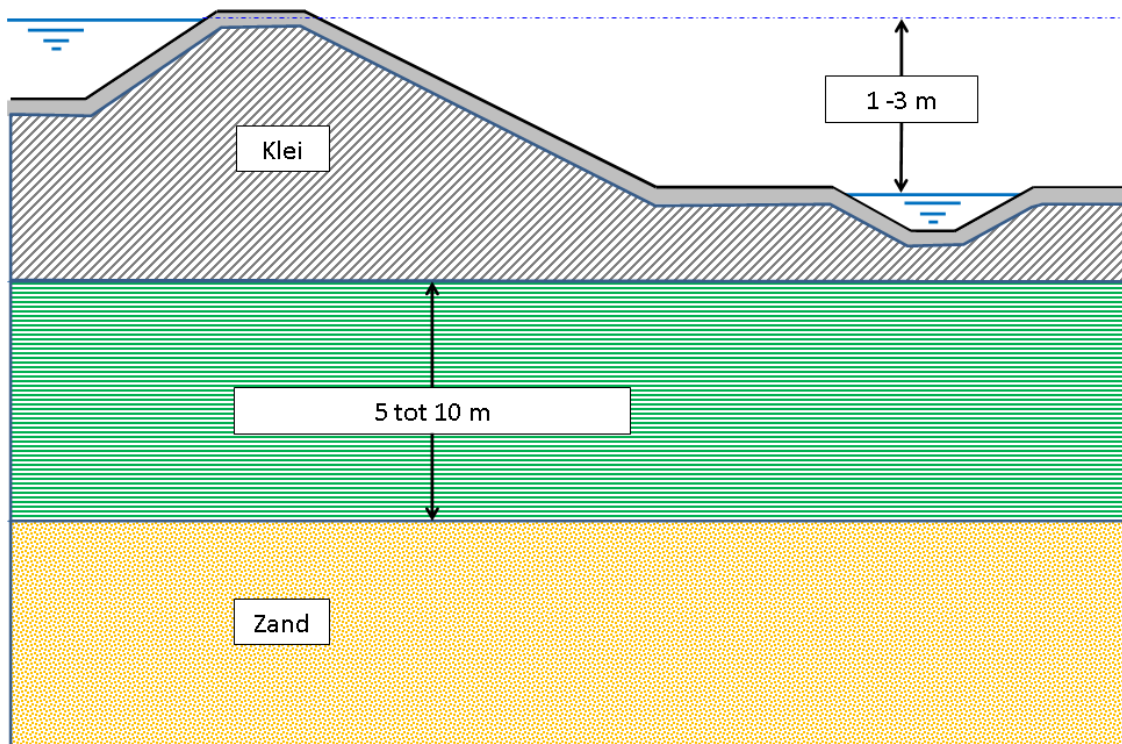
Het onderzoek is uitgevoerd op een typische 'klei op veendijk' zoals deze veelvuldig voorkomt binnen het beheergebied van HDSR. Het typische profiel is opgesteld door verschillende dijkprofielen te vergelijken. In figuur 3-1 is het typische profiel weergegeven.

Het typische profiel is als volgt afgebakend:

Kerende hoogte 1- 3 m

Dikte veenlaag 5 – 10 m

Dijklichaam van klei



Figuur 3-1 Typisch profiel klei op veendijk HDSR

3.2 Bodemdaling

Bodemdaling kan door verschillende factoren veroorzaakt worden. Binnen het beheersgebied van HDSR zijn de volgende factoren van belang, zie tabel 3-1.

Tabel 3-1 Factoren bodemdaling

Mechanisme	Bodemdaling [mm/jaar]	Bron/rekenmethode
Klink oxidatie	10-50	Klimaatveranderingen en bodemd. [9]
Tektonische beweging	0,5	Klimaatveranderingen en bodemd. [9]

Door het voeren van gesprekken met verschillende projectleiders binnen HDSR is het gemiddelde hoogtetekort ten opzichte van de leggerhoogte van de te versterken dijken aangenomen op 30 cm in de huidige situatie.

3.3 Planperiode

De planperiode is de periode waarin een dijk minimaal voldoet aan de gestelde veiligheidseisen. Aan het einde van deze periode moet de dijk weer versterkt worden. Conform de handreiking ontwerpen boezemdijk [3], kan de planperiode variëren tussen de 10 en de 50 jaar voor 'groene dijken' en voor constructies wordt 50 jaar geadviseerd.

In dit onderzoek zijn de kosten berekend voor het op hoogte houden van een dijk voor een periode van 100 jaar. Bij verschillende varianten wordt de dijk binnen deze periode meerdere malen verhoogd.

Bij het ontwerpen van de macrostabiliteit van groene kade is een planperiode van 30 jaar gehanteerd en voor constructies 50 jaar.

3.4 Faalmechanisme

Bij het opstellen van het stroomschema zijn de faalmechanisme overloop/overslag en macrostabiliteit binnenwaarts beschouwd. De ontwerpprofielen voor de casus Dubbele Wiericke voldoen op alle faalmechanisme.

3.5 Kostenraming

Bij het opstellen van de kostenraming is gebruik gemaakt van ervaringsprijzen van soortgelijke project die uitgevoerd zijn in 2013.

3.6 Constructies

Bij het beschouwen van de constructies is alleen de damwand meegenomen. Hierbij zijn de materialen hout, kunststof en staal beschouwd.

3.7 Grondparameters

De gebruikte grondparameters zijn overgenomen uit de casus Dubbele Wiericke. Hiervoor is gekozen omdat deze parameters op basis van laboratoriumproeven zijn opgesteld volgens de laatste inzichten. In tabel 3-2 en 3-3 zijn respectievelijk de sterkte en de samendrukkingsparameters opgenomen. De uitgebreide bepaling van de parameters opgenomen in de Ontwerprapportage Dubbele Wiericke West [11].

De sterkteparameters voor klei zijn bepaald op basis van anisotrope singel stage triaxiaal proeven en de veenparameters met Direct Simpel Shear proeven.

Tabel 3-2 Grondparameters kadeverbetering Dubbele Wiericke

Grondsoort	γ_d / γ_n	C'_{kar}	ϕ'_{kar}	Bepaald volgens	$\gamma_{m,c}$	$\gamma_{m,\phi}$	C'_d	ϕ'_d
	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[°]		[-]	[-]	[kN/m ²]	[°]
Ophoogmateriaal (klei)	17,0	2,0	22,5		1,20	1,15	1,7	19,8
Klei	15,2	4,3	30,3	Lab. onderzoek	1,20	1,15	3,5	26,9
Veen	10,5	1,5	21,7	Lab. onderzoek	1,35	1,15	1,1	19,1
Zand	17,0 / 19,0	0,0	30,0	NEN 9997-1[7];	-	1,15	0,0	26,7

γ_d aardvochtig volumiek gewicht;

γ_n volledig verzadigd volumiek gewicht;

C'_{kar} karakteristieke waarde van de effectieve cohesie;

ϕ'_{kar} karakteristieke waarde van de effectieve hoek van inwendige wrijving;

C'_d rekenwaarde van de effectieve cohesie, bepaald bij 2% rek;

ϕ'_d rekenwaarde van effectieve hoek van inwendige wrijving, bepaald bij 2% rek;

$\gamma_{m,c}$ materiaalfactor voor de effectieve cohesie, conform Handreiking Verbeteren & Ontwerpen Boezemkaden [5];

$\gamma_{m,\phi}$ materiaalfactor voor de effectieve hoek van inwendige wrijving, conform Handreiking Verbeteren & Ontwerpen Boezemkaden [5];

Tabel 3-3 **Waarden samendrukkingsparameters Dubbele Wiericke**

Grondsoort	C_p	$C_{p'}$	C_s	$C_{s'}$	c_v	Bepaald volgens
	[-]	[-]	[-]	[-]	[m ² /s]	
Dijklichaam	22,67	8,98	135,18	71,86	5,00E-08	LAB
Klei	66,62	16,14	383,82	99,54	5,00E-08	LAB
Veen	29,11	4,76	208,76	25,97	5,00E-07	LAB
Pleistoceen zand	∞	∞	∞	∞	1,00E-02	NEN

C_p primaire samendrukkingconstante voor de grensspanning;
 $C_{p'}$ primaire samendrukkingconstante na de grensspanning;
 C_s secundaire samendrukkingconstante voor de grensspanning;
 $C_{s'}$ secundaire samendrukkingconstante na de grensspanning;
 c_v consolidatiecoëfficiënt.

4 Theoretische analyse dijkontwerp

In dit hoofdstuk zijn de faalmechanisme overloop/overslag en macrostabiliteit uitgesplitst en geanalyseerd. Hierdoor is inzichtelijk gemaakt welke factoren in welke mate invloed hebben op de onderdelen. De bevindingen uit dit hoofdstuk vormen de input voor het opstellen van de ophoogstrategie en het stroomschema welke in de hierop volgende hoofdstukken zijn opgenomen.

4.1 Hoogte

Dat dijken op voldoende hoogte dienen te liggen spreekt voor zich. In hoofdstuk 2 hebben we al gezien dat de dijken door bodemdaling en zetting lager komen te liggen. In deze paragraaf gaan we hier dieper op in.

De zakking van dijken wordt veroorzaakt door:

- Klink, oxidatie;
- Tektonische beweging;
- Zetting als gevolg van ophogen.

Klink en oxidatie zijn het gevolg van het continue verlagen van het polderpeil. Agrariërs hebben graag dat het polderpeil een flink stuk onder het maaiveld staat, zodat de percelen minder drassig zijn en daardoor beter begaanbaar zijn voor zwaar materieel. Het grote nadeel van het verlagen van het polderpeil is dat organisch materiaal oxideert en slappe grondlagen inklinken. Het organisch materiaal kan oxideren als het niet meer onderwater staat er en zuurstof bij kan komen. De klink wordt veroorzaakt doordat de korrelspanning bij het verlagen van het polderpeil toeneemt. Waar het water eerst een deel van de bovenliggende grond droeg, komt het gewicht nu op de korrels, die daardoor langzaam dichter op elkaar gaan zitten, waardoor ze minder ruimte innemen en dus inklinken.

Polderpeilen zijn juridisch vast gelegd in peilbesluiten. Omdat deze geen technische aspecten bevatten is dit in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De bodemdaling als gevolg van oxidatie en klink is aangenomen op 10 mm per jaar.

Tektonische kanteling is een geologisch proces dat aangedreven wordt door de magmastromen diep in de aarde. De tektonische kanteling is een natuurlijk proces dat onmogelijk door mensen tegengehouden kan worden. Binnen het projectgebied bedraagt de bodemdaling door de tektonische kanteling 5 mm per jaar. Omdat dit mechanisme onmogelijk door mensen handelen kan worden tegengegaan, wordt hier verder niet op ingegaan. Wel is het in rekening gebracht bij het bepalen van de meeste economische ophoogfrequentie zie § 5.3.

Zetting als gevolg van een ophoging is goed te zien bij wegen die door ongelijkmatige zetting zijn gaan golveren, zie figuur 4-1. Zettingen ontstaan in Nederland vaak door het aanbrengen van een ophoging waardoor de ondergrond wordt ingedrukt. Dijken zijn constant onderhevig aan zetting en dienen daardoor regelmatig op hoogte gebracht te worden. In deze paragraaf wordt het mechanisme zetting belicht, waarbij de afzonderlijke factoren zichtbaar worden. Vervolgens is onderzocht in welke mate deze factoren invloed hebben op de zetting.



Figuur 4-1 Voorbeeld zetting

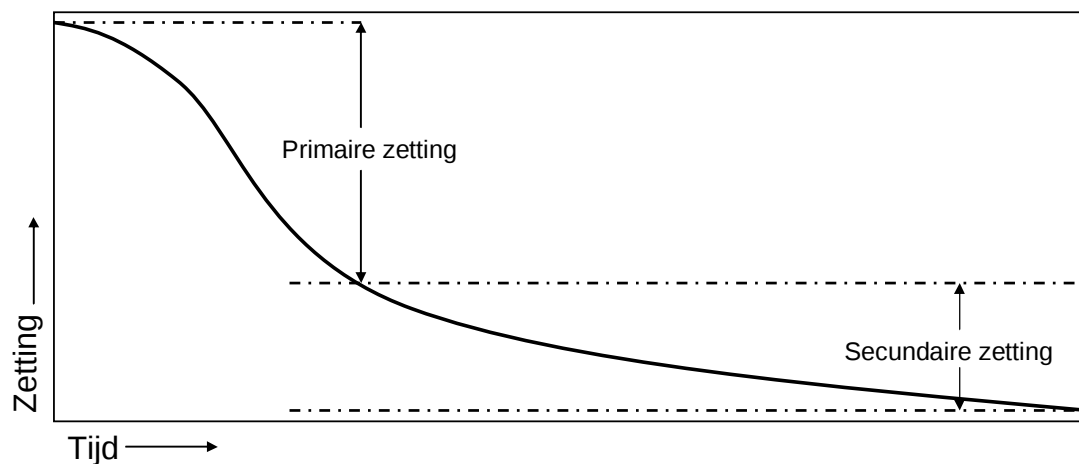
Een veel gebruikte formule voor het berekenen van zettingen in Nederland is de formule van Koppejan. De formule is onderstaand weergegeven. Aan de hand van deze formule is gekeken welke factoren een rol spelen bij het mechanisme zetting

$$\Delta h / h = (1 / C_p + 1 / C_s \cdot \log \Delta t / t_d) \cdot \ln ((\sigma_i + \Delta \sigma) / \sigma_i)$$

Hierin is:

- Δh = zetting [m],
- h = dikte van de samendrukbare laag [m],
- C_p = primaire samendrukkingscoefficient,
- C_s = secundaire samendrukkingscoefficient,
- Δt = tijd [dagen],
- t_d = 1 dag,
- σ_i = initiële korrelspanning [kPa],
- $\Delta \sigma$ = toename van de korrelspanning [kPa].

De totale zetting is een optelsom van de primaire en de secundaire zetting. De primaire zetting wordt veroorzaakt door de afname van het poriënvolume. De secundaire zetting als gevolg van kruip van de korrels. Kruip wordt veroorzaakt door de moleculaire heroriëntatie van de grond. In figuur 4-2 is de zetting in de tijd weergegeven waarbij de primaire en de secundaire tak is aangegeven.



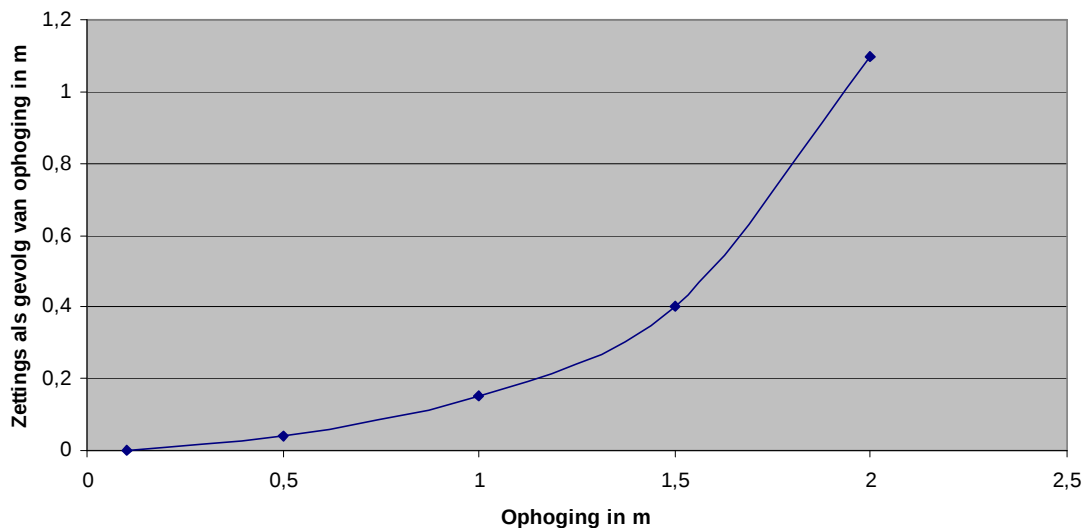
Figuur 4-2 Zettingsverloop

Zetting is afhankelijk van de volgende factoren:

- Dikte samendrukbare laag
- Primaire samendrukkingscoëfficiënt
- Secundaire samendrukkingscoëfficiënt
- Tijd
- Freatische lijn
- Omvang ophoging
- Frequentie ophoging

De enige factoren die gestuurd kunnen worden zijn de omvang en de frequentie van de ophoging. De andere factoren moeten beschouwd worden als een vast gegeven, omdat deze niet veranderd kunnen worden.

Om meer inzicht te krijgen op de invloed van de omvang van de ophoging zijn 5 zettingsberekeningen gemaakt variërend van een ophoging van 2,00 m tot 0,10 m. Voor de grondopbouw is het typische dwarsprofiel genomen met een veenpakket van 8 m dik. De zettingsparameters zijn overgenomen uit de casus Dubbele Wiericke en staan weergegeven in tabel 3-3. In figuur 4-3 is de zetting als gevolg van de ophogingen weergegeven.



Figuur 4-3 Relatie ophoging zetting

Op basis van figuur 4-3 kan geconcludeerd worden dat de zetting exponentieel toeneemt met de grootte van de ophoging.

4.2 Macrostabiliteit

Macrostabiliteit is het afschuiven van grote delen van een grondlichaam. In figuur 4-4 is een voorbeeld weergegeven van een dijklichaam dat bezweken is op het faalmechanisme macrostabiliteit. Wanneer een te groot deel van het dijklichaam afschuift kan dit leiden tot een dijkdoorbraak.



Figuur 4-4 Macrostabiliteit

De macrostabiliteit van een dijk kan berekend worden met behulp van onder anderen de rekenmethode van Bishop. Deze rekenmethode is door alle waterschappen in Nederland geaccepteerd en wordt aanbevolen in de leidraad toetsen [1]. Bij de methode Bishop wordt de macrostabiliteit van een dijklichaam uitgedrukt in een stabiliteitsfactor.

$$F \geq \gamma_m * \gamma_n * \gamma_d * \gamma_b$$

Waarin:

- F stabiliteitsfactor berekend bij rekenwaarden van de sterkteparameters en volumegewicht [-]
- γ_m Materiaalfactor [-] deze zijn verdisconteerd in de grondparameters
- γ_n Schadefactor [-] afhankelijk van de IPO-klasse van de dijk
- γ_d Modelfactor [-] voor Bishop is deze gelijk gesteld aan 1,0
- γ_b Schematisatiefactor [-] conform de handreiking ontwerpen en verbeteren boezemdijk [2] is hiervoor standaard 1,2 aangehouden.

De minimaal benodigde stabiliteitsfactor is afhankelijk van de IPO-klasse van de dijk. Hoe hoger de IPO-klasse hoe hoger de veiligheidsnorm en hoe hoger de stabiliteitseisen. In de onderstaande tabel 4-1 is per IPO-klasse de minimaal benodigde stabiliteitsfactor weergegeven.

Tabel 4-1 Stabiliteitsfactor per IPO-klasse

IPO- veiligheids- klasse	Veiligheidsnorm [1/jaar]	Schadefactor γ_n [-]	Schematisatiefactor γ_b [-]	Stabiliteitsfactor F [-]
I	1/10	0,80	1,20	0,96
II	1/30	0,85	1,20	1,02
III	1/100	0,90	1,20	1,08
IV	1/300	0,95	1,20	1,14
V	1/1000	1,00	1,20	1,20

De stabiliteitsfactor wordt als volgt berekend:

$$SF = \frac{M_{\text{stabiliserend}}}{M_{\text{aandrijvend}}} \quad \begin{aligned} M_{\text{stab}} &= \sum \tau \times L \times R \\ M_{\text{andr}} &= \sum (G \times a) \end{aligned}$$

$$\tau = z \times (\sigma + c \times \cot \varphi)$$

$$z = \sin \varphi \times \frac{\cos \alpha}{\cos(\varphi + \alpha)}$$

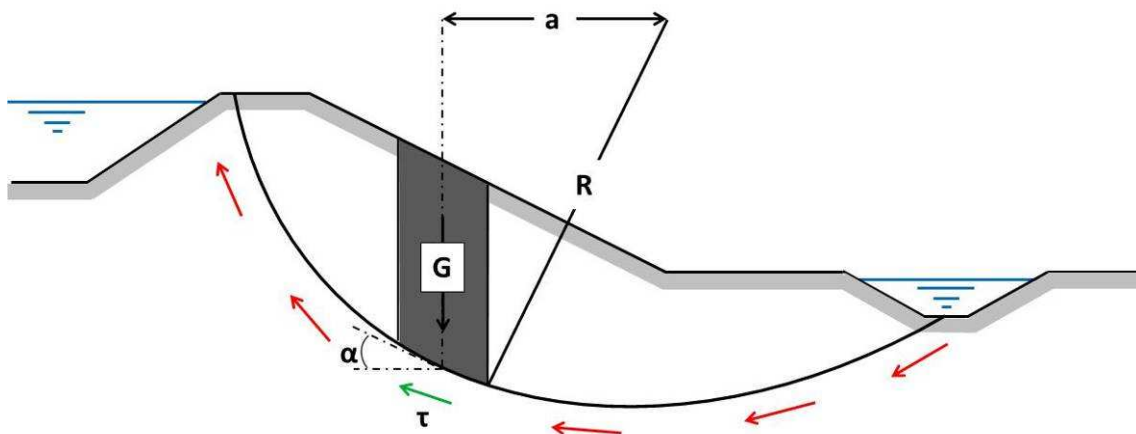
In tabel 4-2 is de verklaring voor de bepaling van de stabiliteitsfactor weergegeven en in tabel 4-3 is de verklaring behorende bij de methode Bishop weergegeven. In figuur 4-6 is de methode Bishop grafische weergegeven.

Tabel 4-2 Verklaring bepaling stabiliteitsfactor

Symbool	Betekenis	Eenheid
SF	Stabiliteitsfactor	-
M _{stabiliserend}	Stabiliserend moment	kN/m
M _{aandrijvend}	Aandrijvend moment	kN/m

Tabel 4-3 Verklaring methode Bishop

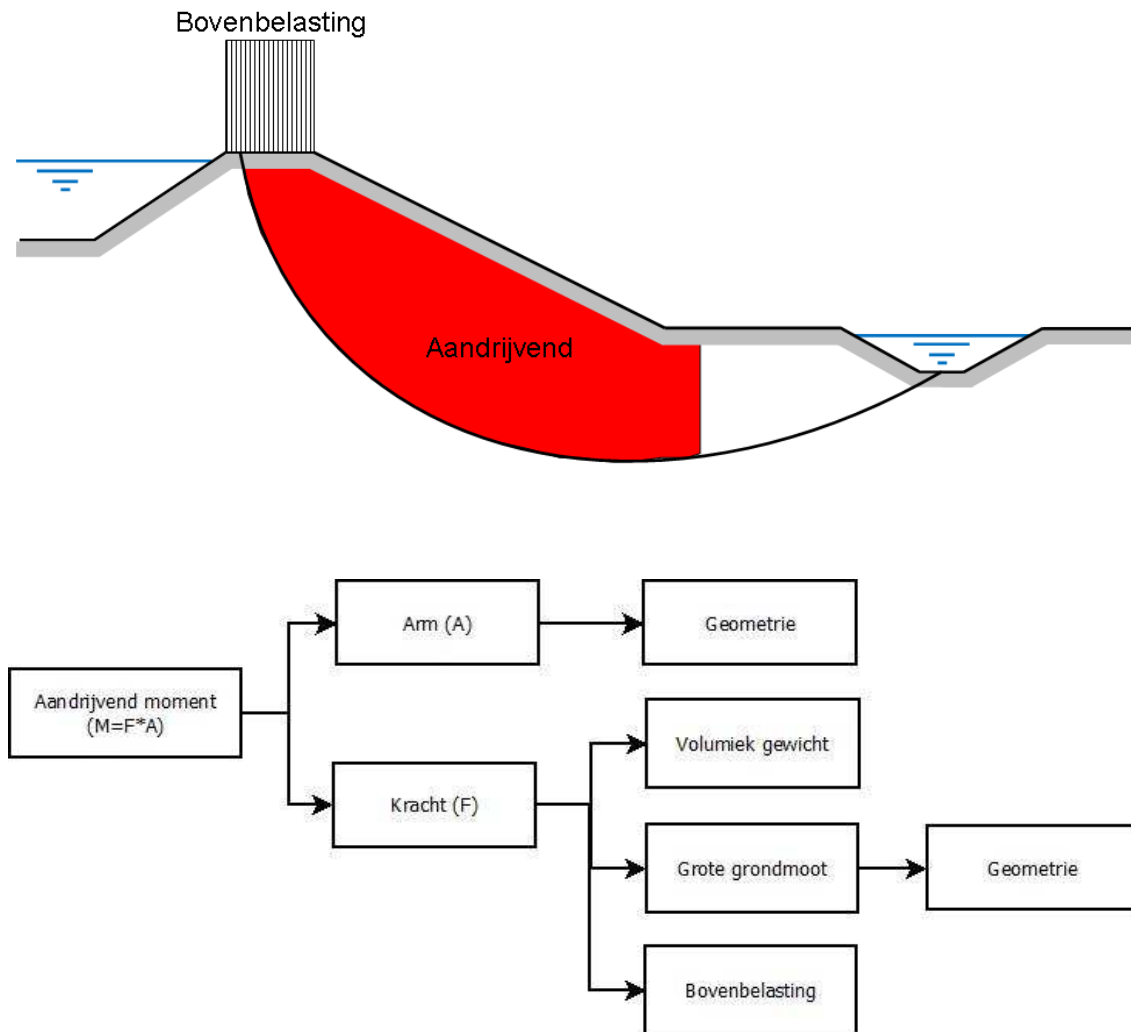
Verklaring rekenmethode Bishop	Onderdeel	Eenhied
a	arm	m
τ	Schuifspanning	kN/m ²
L	Lengte afschuifvlak	m
R	Straal van de glijcirkel	m
G	Gewicht grondmoot	kN
α	Gemiddelde hoek glijvlak	°
σ	Korrelspanning ter plaatse van het glijvlak	kN/m ²
c	Cohesie	kN/m ²
φ	Hoek van inwendige wrijving	°



Figuur 4-6 Methode Bishop

Aandrijvend moment

Het aandrijvende moment wordt gegenereerd door een kracht en een arm. De arm is afhankelijk van de geometrie van de dijk. Een kleinere arm zal leiden tot een kleiner moment.



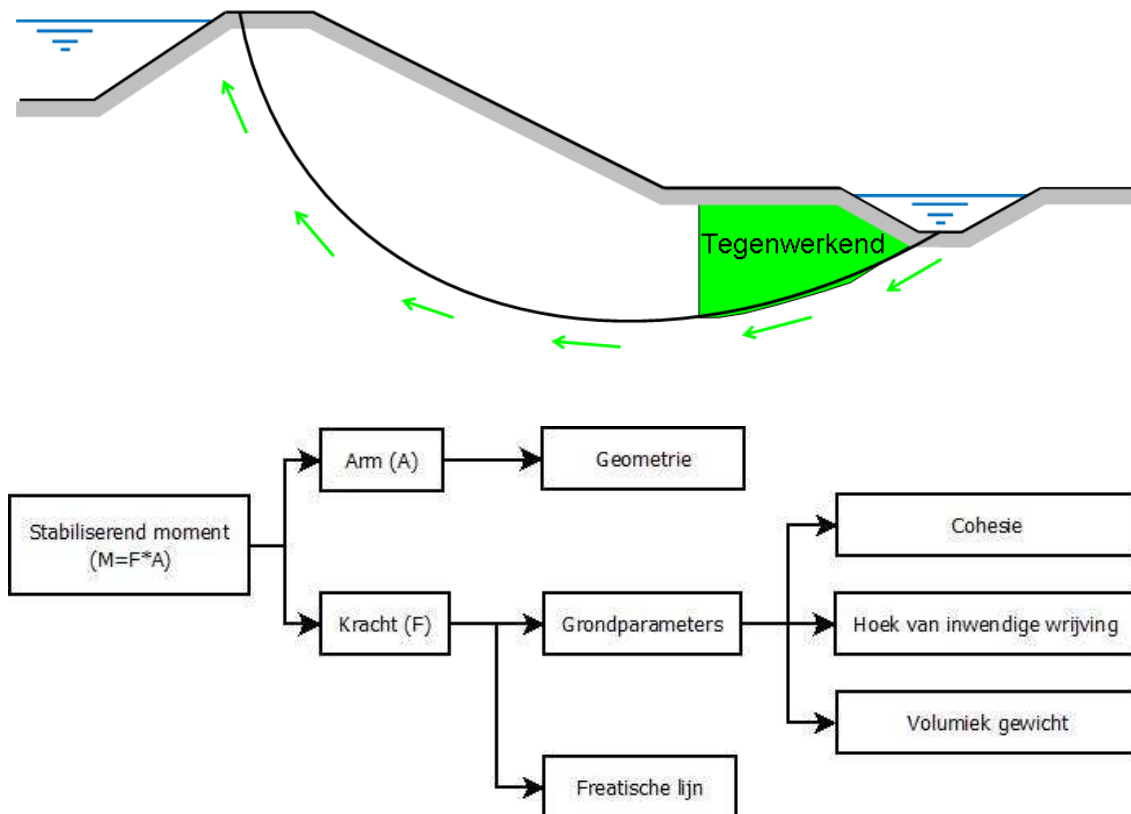
Figuur 4-7 Aandrijvende kracht

De kracht wordt veroorzaakt door de bovenbelasting en door het volumieke gewicht van de grondmoot in het aandrijvende gedeelte van het dijklichaam. Voor de bovenbelasting dient conform de leidraad toetsen [1] standaard 13,3 kN/m³ aangehouden te worden. Het volumieke gewicht is afhankelijk van de grondsoort en dient vastgesteld te worden door het uitvoeren van laboratoriumonderzoek. In figuur 4-7 is de aandrijvende kracht weergegeven.

Tegenwerkend moment

Het tegenwerkende moment wordt net als het aandrijvende moment door een kracht en een arm gegenereerd. De arm is ook hier afhankelijk van de geometrie van de dijk. Een kleinere arm zal leiden tot een kleiner moment.

De tegenwerkende kracht wordt hier gegenereerd door een stabiliserende grondmoot (in groen weergegeven). De kracht hiervan is afhankelijk van de arm, het volumieke gewicht en de grootte van de moot. Daarnaast wordt er nog een tegenwerkende kracht gegenereerd door de wrijving langs het glijvlak. Deze kracht is afhankelijk van de lengte van het glijvlak de grondparameters (volumiek gewicht, cohesie, hoek van inwendige wrijving) en de freatische lijn. In figuur 4-8 is de stabiliserende kracht weergegeven.

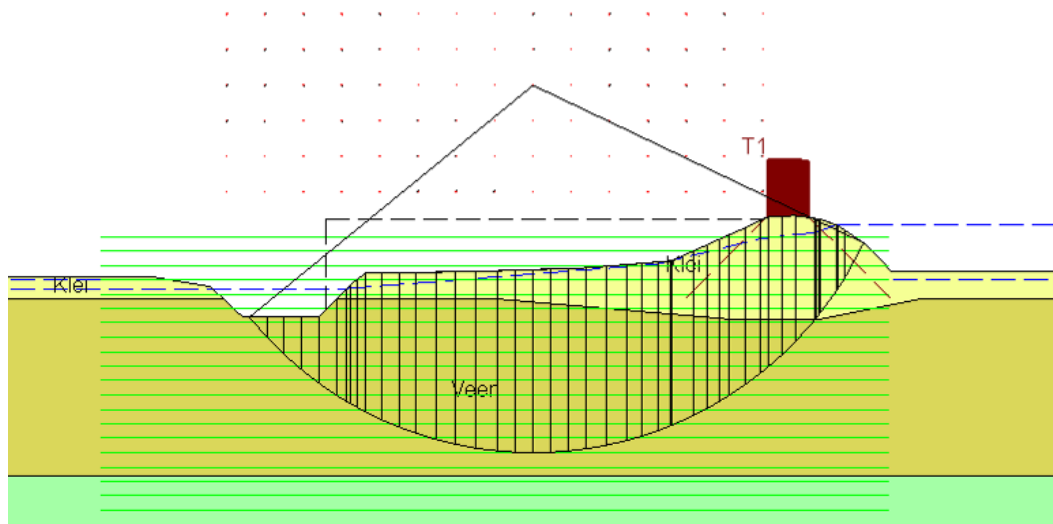


Figuur 4-8 Stabiliserende kracht

Uit de analyse is gebleken dat de volgende factoren invloed hebben op de macrostabiliteit:

- Geometrie
- Boven belasting
- Freatische lijn
- Grondparameters (volumiek gewicht, cohesie, hoek van inwendige wrijving)

Om te bepalen in welke mate de factoren invloed hebben op de macrostabiliteit zijn een aantal stabiliteitsberekeningen gemaakt. Hiervoor is een standaardprofiel binnen het beheersgebied van HDSR van een regionale waterkering als uitgangspunt genomen welke in figuur 4-9 is weergegeven. In bijlage 2 is een uitgebreide uitwerking van de berekeningen opgenomen en in tabel 4-4 zijn de resultaten samengevat.



Figuur 4-9 Standaard schematisatie klei op veendijk

Tabel 4-4 Resultaten analyse macrostabiliteit

Invloed factor	Aanpassing	Verandering in veiligheidsfactor	Verandering in %
Geometrie	Ophoging 0,5 m aandrijvende zone	-0,03	4,3
	Ophoging 0,5 m stabiliserende zone	0,09	12,9
Boven belasting	Reductie van 13,3 naar 5 kN/m ²	0,03	4,3
Freatische lijn	Verlaging 0,5 m	0,04	5,7
Grondparameters	Verhoging 10% sterkte	0,07	10

Op basis van de bovenstaande analyse kan geconcludeerd worden dat de grote van ophoging en de grondparameters de meeste invloed hebben op de stabiliteit. De andere factoren hebben ook invloed maar deze zijn veel minder. Dit betekent dat er bij het opstellen van het verbeterontwerp de meeste stabiliteit te generen is door de ophoging zoveel mogelijk te beperken. Daarnaast kunnen de grondparameters geoptimaliseerd worden door het uitvoeren van laboratoriumonderzoek wat de dijk vaak rekenkundig stabielere maakt.

4.3 Conclusie

Dijken verzakken voortdurend, dit wordt veroorzaakt door:

- Klink oxidatie
- Tektonische kanteling
- Zetting als gevolg van ophogen

De eerste twee factoren zijn erg moeilijk of niet te sturen. De zetting als gevolg van ophogen blijkt afhankelijk te zijn van de grote van de ophoging, waarbij het vergroten van de ophoging tot een exponentiële groei van de zetting leidt.

De macrostabiliteit is afhankelijk van:

- Geometrie
- Boven belasting
- Freatische lijn
- Grondparameters

Uit de analyse blijkt dat de geometrie en de grondparameters de meeste invloed hebben op de macrostabiliteit.

5 Ontwerphoogte

5.1 Algemeen

In hoofdstuk 2 is te lezen dat het beheersgebied van HDSR onderhevig is aan bodemdaling en in hoofdstuk 4 zijn de factoren die hierbij een rol spelen onderzocht. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op dit proces door te onderzoeken hoe de factoren invloed hebben op de kosten van het periodiek ophogen van de dijken. Het resultaat is figuur 5-4 waarop voor elk dijkversterkingsproject van HDSR is af te lezen wat de meest efficiënte ophoogfrequentie is.

5.2 Mechanisme

De ophoogcyclus is over een periode van 100 jaar beschouwd. Hierbij zijn de volgende factoren in rekeningen gebracht:

- Bodemdaling
- Zetting als gevolg van ophogen
- Uitvoeringskosten

Naast deze factoren zijn er nog andere denkbaar, zoals derving agrariërs, overlast omwonende, milieu ect. Al deze factoren zijn buiten beschouwing gelaten om de analyse behapbaar te houden.

5.3 Bodemdaling

De bodemdaling wordt veroorzaakt door klink en oxidatie van de veen- en kleilagen en door de tektonische kanteling van Nederland. De bodemdaling binnen het beheersgebied van HDSR varieert tussen de 1 en 5 cm per jaar. De tektonische kanteling is voor het hele gebied ongeveer hetzelfde en bedraagt 5 mm per jaar. Het verschil in bodemdaling wordt veroorzaakt door de verschillen in klink en oxidatie. Op de plekken waar er een dik veenpakket aanwezig is in combinatie met een aantal peilverlagingen zal het maaiveld harder zakken dan op de plekken waar het polderpeil stabiel wordt gehouden en geen veen aanwezig is in de ondergrond.

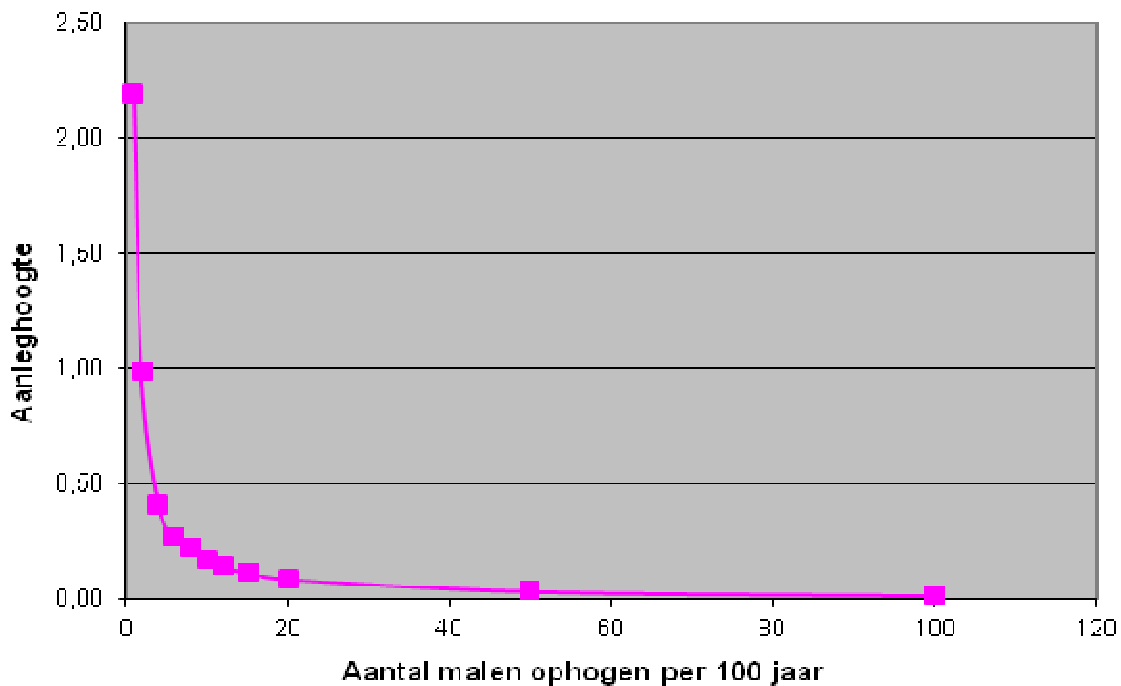
5.4 Zetting als gevolg van ophogen

Door het aanbrengen van een ophoging worden de onderliggende lagen samengedrukt waardoor er zetting optreedt. In hoofdstuk 4 hebben we gezien dat hoe groter de ophoging is, hoe meer de onderliggende lagen samengedrukt worden en hoe groter de zetting. De totale zetting is het grootst in het geval waar de dijk 1 keer opgehoogd wordt voor de komende 100 jaar. Dit is te verklaren doordat er een relatief grote ophoging aangebracht is, die tot veel zetting leidt. Deze zetting dient ook weer in de ophoging meegenomen te worden, wat tot nog meer zettingen leidt.

De aanleghoogte is als volgt bepaald:

De aanleghoogte = minimaal benodigde kruinhoogte + oxidatie, klink + tektonische kanteling + zetting als gevolg van ophogen

De minimaal benodigde kruinhoogte is de door het waterschap vastgestelde hoogte waaraan een dijk ten alle tijden dient te voldoen. In figuur 5.1 is de aanleghoogte weergegeven voor de verschillende ophoogvarianten. De aanleghoogte voor de variant waarbij de dijk slechts 1 keer in de 100 jaar wordt opgehoogd bedraagt 2,10 m boven huidig maaiveld. We zien dat de aanleghoogte drastisch afneemt met de toename van de ophoogfrequentie. Bij een ophoogfrequentie van bijvoorbeeld 4 keer per 100 jaar bedraagt de overhoogte 41 cm. Deze hoogte dient dan wel 4 keer aangebracht te worden waardoor de totaal aangebracht overhoogte $4 * 0,41 \text{ m} = 1,61 \text{ m}$ is.



Figuur 5-1 Aanleghoogte per ophoogfrequentie

5.5 Uitvoeringskosten

Om vast te stellen wat de meeste efficiënte ophoogfrequentie is, zijn een aantal aannames gemaakt voor de uitvoeringskosten. Bij het opstellen van de aannames zijn prijzen uit 2013 voor dijkversterking geraadpleegd zoals bekend binnen HDSR.

De uitvoeringskosten zijn onder te verdelen in de kosten voor de levering en verwerking van grond en de projectkosten. Om de kosten van verschillende varianten te kunnen berekenen is de levering en verwerking van klei omgerekend naar een prijs per m³. In tabel 5-1 is de berekening voor de prijs van klei opgenomen. Voor een m³ klei wordt een bedrag van € 27,- aangehouden.

Tabel 5-1 Prijs klei

Onderdeel	€	Eenheid
Frezen	€ 0,50	€/m ²
Grondverwerking in kruin	€ 2,50	€/m ³
Verdichten grond	€ 0,50	€/m ³
Leveren klei	€ 22,50	€/m ³
Zaaien	€ 0,50	€/m ²
Onvoorzien	5	%
	€ 27,80	€/m ³

Voor de projectkosten is € 20.000,- voor engineering en bestek opgenomen, en nog eens € 35.000,- voor directievoering en nazorg.

Voor elke variant is vervolgens berekent hoeveel m³ klei er benodigd is.

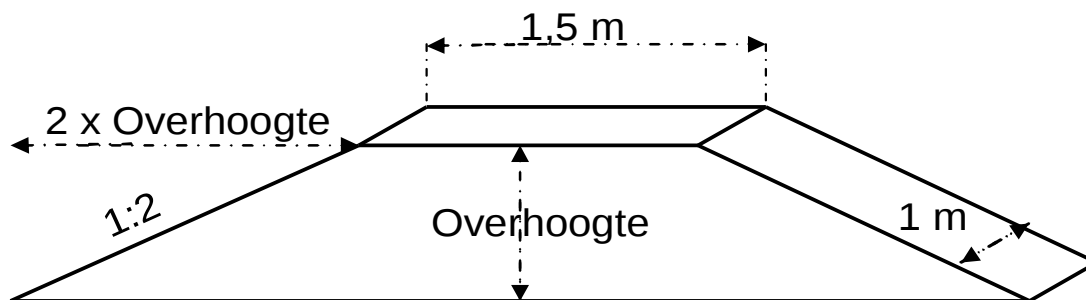
Hoeveelheid benodigde klei per ophoogvariant = steunberm + kruinkap

Steunberm = Overhoogte²*2

Kruinkap = Overhoogte * 3,5

Overhoogte = totale zetting = oxidatie + tektonische kanteling + zetting als gevolg van de ophoging.

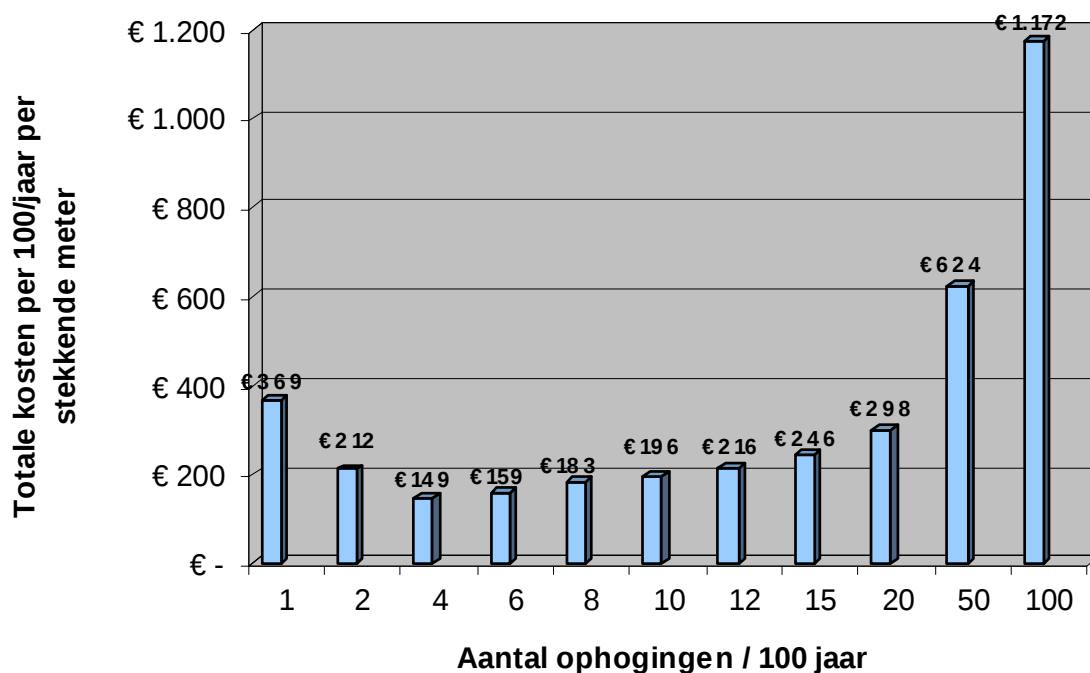
De formule voor de steunberm is empirisch vastgesteld en de kruinkap op basis van figuur 5-2.



Figuur 5-2 Bepaling inhoud kruinkap

5.6 Rekensheet

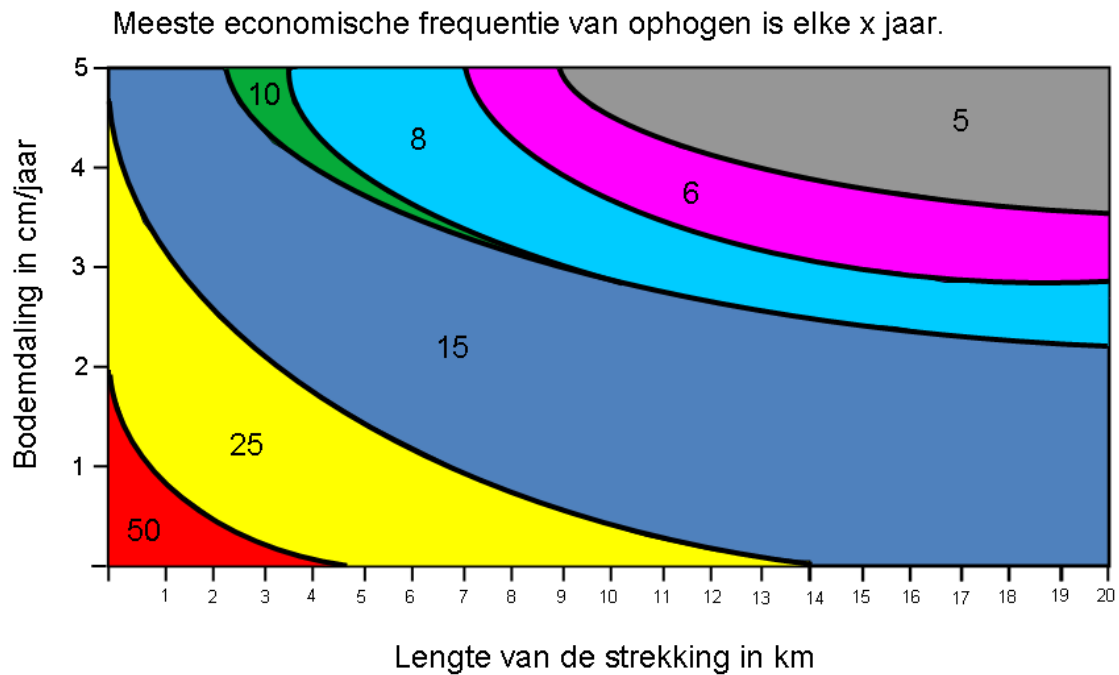
Voor de gehele berekening is een rekensheet opgesteld, waarbij de lengte van de desbetreffende strekking en de bodemdaling ingevoerd dient te worden. Vervolgens is voor verschillende ophoogfrequenties de prijs per strekkende meter berekend. Als voorbeeld is een strekking van 5 km met een bodemdaling van 1 cm per jaar ingevoerd. Het resultaat van de berekening is in figuur 5-3 weergegeven. Uit de grafiek blijkt dat 4 keer ophogen per 100 jaar oftewel eens in de 25 jaar in deze situatie de meest voordelige is. In bijlage 3 is de rekensheet opgenomen.



Figuur 5-3 Kosten ophogen per variant

5.7 Resultaat

De rekensheet is gevisualiseerd in figuur 5-4. Met dit figuur kan snel en eenvoudig bepaald worden om de hoeveel jaar een specifieke dijk opgehoogd dient te worden.



Figuur 5-4 Meest economische frequentie van ophogen

De getallen in de gekleurde vlakken geven aan om de hoeveel jaar een dijk opgehoogd dient te worden. Een dijk met een lengte van 5 km en een jaarlijkse bodemdaling van 3 cm kan het beste elke 15 jaar opgehoogd worden. Aan het verloop van de vlakken is mooi te zien wat het effect van de bodemdaling op de ophoogfrequentie is. In een gebied met een grote bodemdaling is het goedkoper om vaker een beetje op te hogen, dan minder vaak veel op te hogen. Dit heeft alles te maken met de netto zetting zoals die in hoofdstuk 2 is beschreven. Ook is goed te zien dat voor lange strekkingen het voordeliger is om vaker op te hogen. Dit is te verklaren doordat de projectkosten bij langere trajecten relatief laag zijn, omdat de kosten verdeeld worden over een langer traject waardoor de prijs/m omlaag gaat.

5.8 Conclusie

De dijken binnen het beheersgebied van HDSR zijn constant aan het zakken en dienen periodiek opgehoogd te worden. De kosten voor het ophogen zijn afhankelijk van de:

- Bodemdaling
- Zetting als gevolg van ophogen
- Uitvoeringskosten

Om voor toekomstige dijkversterkingen snel en eenvoudig te bepalen hoe vaak de dijk opgehoogd dient te worden is een figuur 5-4 gemaakt. Op basis van de lengte van een traject en de lokale bodemdaling kan afgelezen worden om de hoeveel jaar de dijk opgehoogd dient te worden.

6 **Ontwerp macrostabiliteit**

De faalmechanismen overloop/overslag en de macrostabiliteit zijn de belangrijkste onderwerpen bij het ontwerpen van een klei op veendijk. Het vorige hoofdstuk is ingegaan op overloop/overslag. We weten nu hoe vaak we een dijk op moeten hogen en tot welke hoogte. In dit hoofdstuk wordt er verder in gegaan op het faalmechanisme macrostabiliteit. Het resultaat is een stroomschema dat de ontwerper zal helpen om tot een economisch ontwerp te komen.

6.1 Stroomschema

In figuur 6-1 op pagina 34/35 is een stroomschema weergegeven die van boven naar onderen gelezen dient te worden. Voor het gemak is in bijlage 4 een extra exemplaar bijgevoegd dat naast de rapportage gelegd kan worden.

Aan de linkerzijde van het schema zijn de indicatieve uitvoeringskosten van het ontwerp per km weergegeven. Het doel is om deze kosten zo laag mogelijk te houden. Een onderbouwing van de kosten is in bijlage 5 weergegeven. De kostenraming is opgesteld op basis van inschrijfprijzen van aannemers uit 2013 voor dijkversterkingen van typische klei op veen dijken en zijn exclusief btw. De kosten zijn cumulatief weergegeven, dit wil zeggen dat de kosten bij stap 2 inclusief de kosten van stap 1 zijn enz.

In het middelste gedeelte is het te volgen stappenplan weergegeven. De stappen zijn kort en bondig omschreven. De stappen zijn op de pagina's die volgen op het schema nader toegelicht.

Aan de rechter zijde is een schets van het dijkprofiel weergegeven behorende bij het stappen niveau. Een dijkontwerp op niveau 1 is een stuk simpeler dan op niveau 5. De schetsen kunnen gebruikt worden om vooraf een inschatting te maken van het benodigde ontwerpniveau en de daarbij behorende kosten.

Stap 1 Eenvoudig ontwerp

Indien stabiliteitstechnisch mogelijk, is de meest economische oplossing het aanbrengen van een kruinkap op de dijk. De onderzoeks- en ingenieurskosten zijn relatief laag evenals de uitvoeringskosten omdat de kosten voor het uitvoeren van een dijkversterking voornamelijk bestaan uit het aankopen en verwerken van klei. De dijken die hiervoor in aanmerking komen hebben een geringe kerende hoogte en vaak geen teensloot. Het ontworpen kruinkap bij stap 1 dient gecontroleerd te worden op macrostabiliteit. Wanneer het ontwerp voldoet aan de eisen voor macrostabiliteit is het ontwerp gereed. Als dit niet het geval is wordt er vervolgd met stap 2.

Stap 2 Rekenkundige oplossing

De rekenkundige oplossing is tot stand gekomen door de laatste inzichten en rekenmethodes van verschillende instanties te bundelen.

Indien blijkt dat de macrostabiliteit onvoldoende scoort bij het aanbrengen van een kruinkap, dient er geïnvesteerd te worden in ingenieursdiensten. Door het aanscherpen van de berekeningen is het in veel gevallen mogelijk aan te tonen dat de stabiliteit voldoende is. De onderzoeks- en aannemerskosten blijven gelijk en de ingenieurskosten gaan iets omhoog.

Stap 3 Aanvullend grondonderzoek

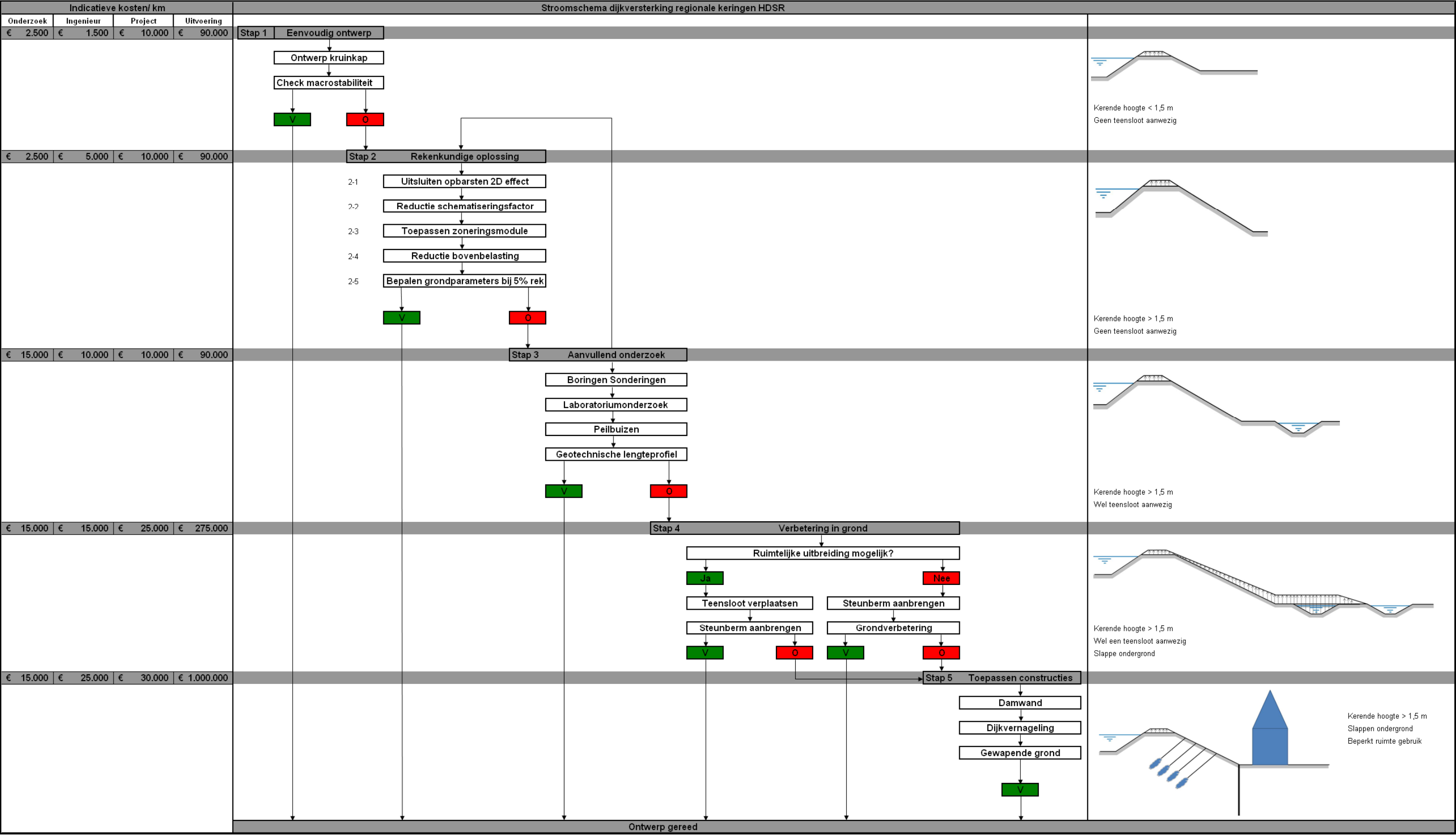
Mocht blijken dat de stabiliteit niet voldoet ondanks de aangescherpte berekeningen dan is het lonend om nader grondonderzoek te doen. Het onderzoek zal gebruikt worden als input voor een verdiepende rekenslag. De onderzoeks- en ingenieurskosten zullen hierdoor omhoog gaan, maar de aannemerskosten zullen gelijk blijven. Aangezien de aannemerskosten vele malen hoger zijn dan de onderzoeks- en ingenieurskosten loont het in veel gevallen enorm om deze stap uit te voeren.

Stap 4 Versterking in grond

Wanneer blijkt dat het ontwerp nog steeds niet voldoet aan de stabiliteitseisen dan is een oplossing in grond de meeste economische. De ingenieurskosten, maar vooral de aannemerskosten, zullen hierdoor flink stijgen.

Stap 5 Toepassen constructies

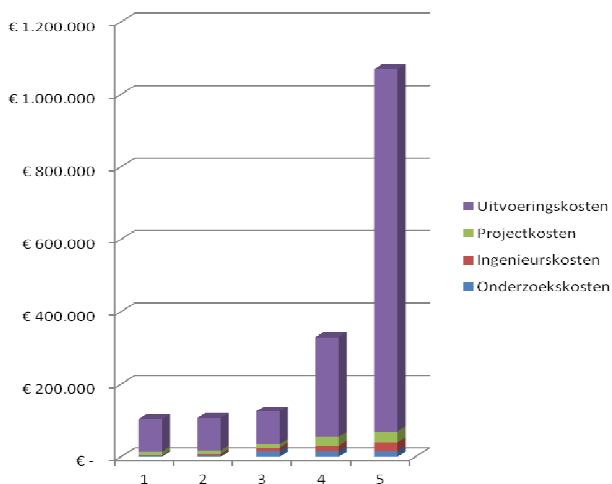
Deze stap dient alleen gebruikt te worden als er alles aan gedaan is om een ontwerp in grond te realiseren. Bij deze stap dient een oplossing waarbij een constructie wordt toegepast, onderzocht te worden. De kosten voor de uitvoering van een versterking met een constructie liggen vaak vele malen hoger dan een oplossing in grond. Met name de uitvoeringskosten zullen enorm toenemen.



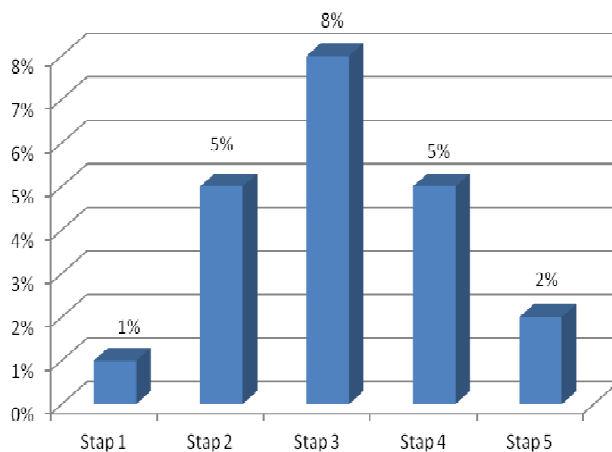
Figuur 6-1 Stroomschema economisch ontwerpen regionale waterkeringen HDSR

6.2 Relatie stappen stroomschema en kosten

Als we naar de relatie kijken tussen de stappen in het stroomschema en de totale kosten voor een dijkversterking, dan zien we dat de kosten tot stap 4 redelijk gelijk blijven. De oplossing in de eerste 3 stappen wordt gezocht in het aanbrengen van een kruinkap wat een relatief eenvoudige en goedkope oplossing is. Bij stap 4 is een versterking in grond ongeveer 2,5 keer duurder dan het aanbrengen van alleen een kruinkap. De kosten zijn hoger omdat er naast een kruinkap ook een berm en eventueel een verplaatsing van de teensloot met grondaankoop bij komt. Wanneer een oplossing in grond niet mogelijk is wordt er vervolgd met stap 5, het aanbrengen van een constructie. De kosten van het aanbrengen van een constructie lopen erg uiteen, afhankelijk van het type constructie. In § 6.12 wordt hier dieper op in gegaan. Een versterking waarbij een constructie wordt toegepast is grofweg 3 keer duurder dan een oplossing in grond. Opgemerkt dient wel te worden dat de levensduur van een constructie 50 jaar is en die van een oplossing in grond in de regel 30 jaar. Er zijn hierdoor situaties denkbaar waarbij het toepassen van een constructie op de langer termijn goedkoper is dan een oplossing in grond. Over het algemeen geldt dat een oplossing in grond vele malen goedkoper is. In de onderstaande figuur 6-2 is de relatie tussen de stappen in het stroomschema en de kosten weergegeven.



Figuur 6-2 Relatie stappen stroomschema en kosten



Figuur 6-3 Aandeel ingenieurskosten

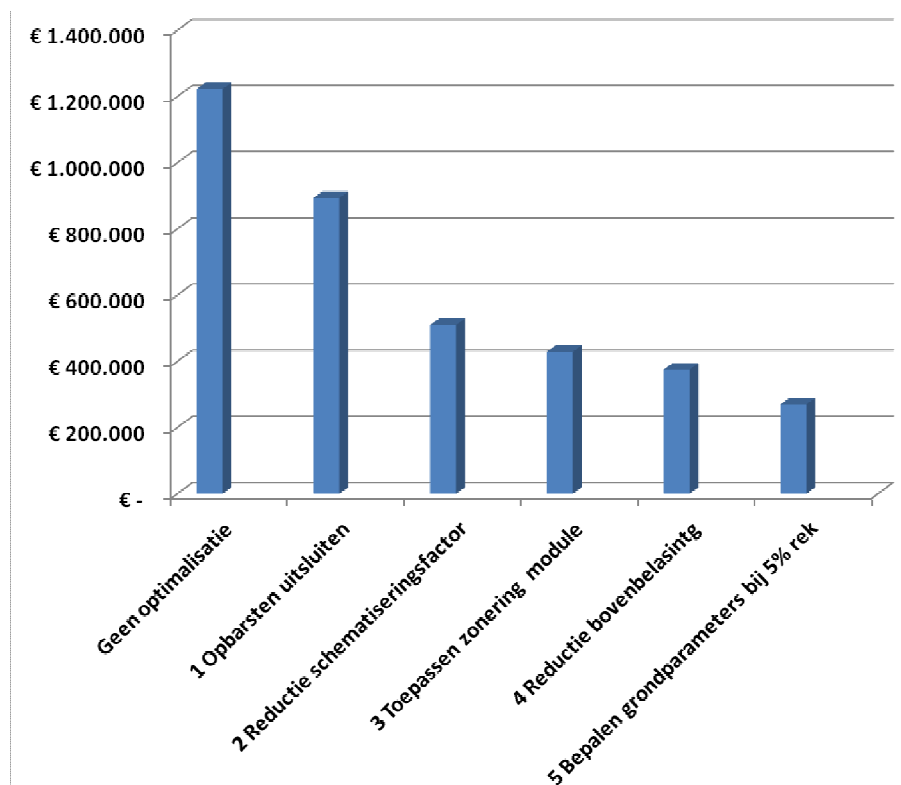
6.3 Invloed ingenieursdienst op uitvoeringskosten

In figuur 6-3 is het percentage dat aan ingenieursdiensten wordt besteed per variant weergegeven. Het aandeel ligt tussen de 1% en 8 % van de totale versterkingskosten. Een goede ingenieur kan een groot verschil maken in de uiteindelijke kosten. Zoals uit het stroomschema blijkt, kan een kleine investering in dit onderdeel zich tijdens de uitvoering enorm

uitbetalen. In het figuur is ook goed te zien dat de ingenieurskosten omhoog gaan tot stap 4. Dit is te verklaren doordat stap 1 tot en met 3 een eenvoudige oplossing met alleen een kruinkap is. Het is verstandig om eerst te investeren in ingenieursdiensten om te onderzoeken of de oplossing met alleen een kruinkap echt niet mogelijk is, voordat er overgegaan wordt in de veel duurder oplossing van stap 4. Bij stap 4 en 5 gaat het percentage van de ingenieurskosten naar beneden, dit komt doordat de uitvoeringskosten enorm toenemen.

Ter illustratie is in figuur 6-4 weergegeven wat de invloed is van de ingenieurs op de uitvoeringskosten van de dijkversterking. Van links naar rechts is de invloed van de optimalisatiestappen op de uitvoeringskosten weergegeven. Wanneer er geen optimalisatie plaats vindt zal het ontwerp bestaan uit een robuust overgedimensioneerd dijkprofiel. Door stap voor stap het ontwerp te optimaliseren nemen de kosten voor de versterking gestaag af. In bijlage 6 is de rekenkundige onderbouwing opgenomen. Stap voor stap is inzichtelijk gemaakt hoe de optimalisatie is toegepast en is het resultaat ervan in een stabiliteitsberekening weergegeven. In figuur 6-5 is duidelijk te zien wat het effect is van de optimalisatie op de geometrie van de ontwerpprofiel. De kosten worden door de optimalisatie 4,5 keer kleiner en de afstand van de teensloot tot de binnenteen wordt met 30 m verkort.

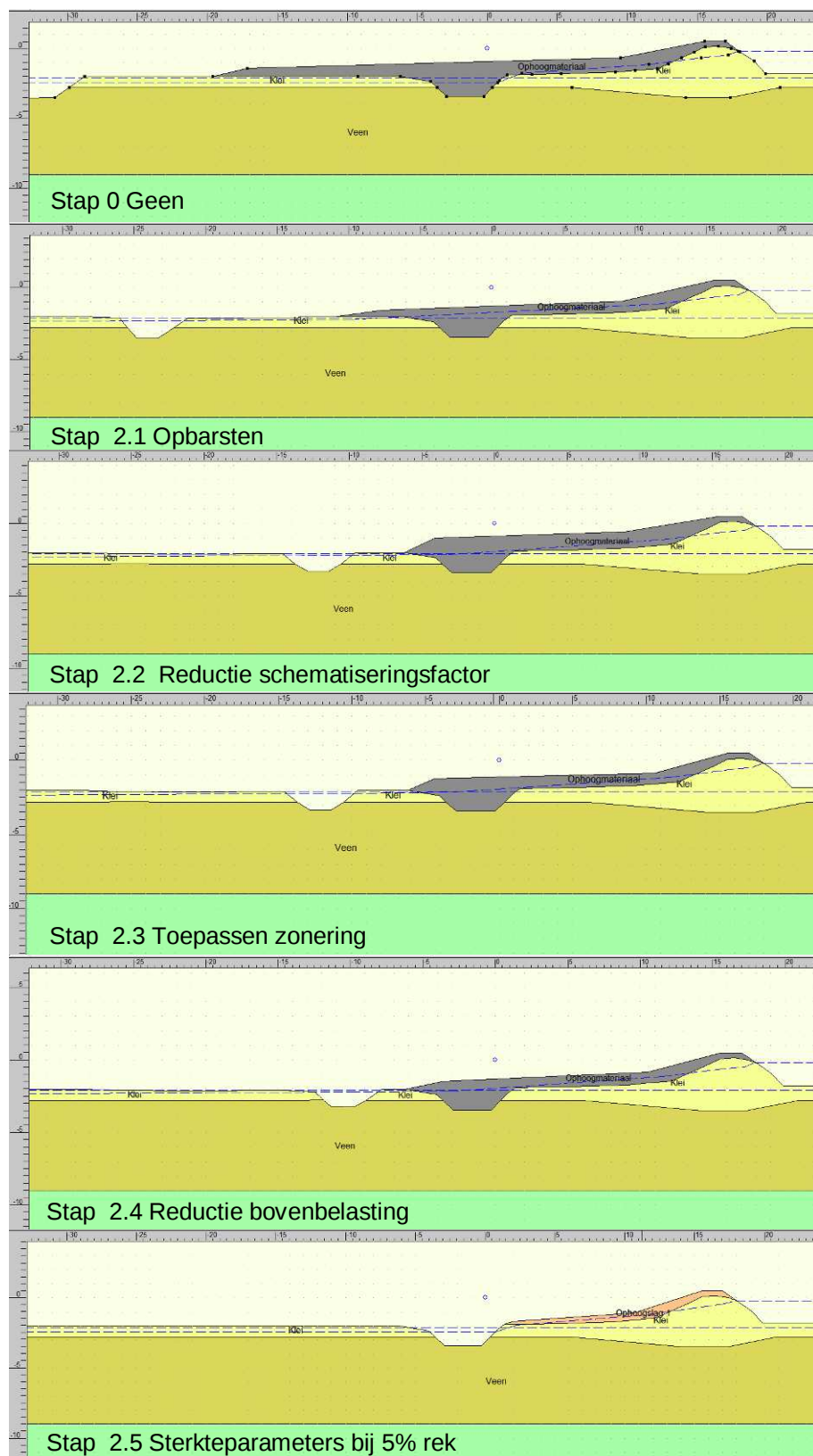
Op basis van het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de ingenieurskosten een relatief klein deel uitmaken van de totale kosten, maar wel een enorme impact hebben op die totale kosten.



Figuur 6-4 Invloed optimalisatie op kosten

6.4 Stap 2 rekenkundige oplossing

Bij stap 2 uit het stroomschema wordt het ontwerp rekenkundig aangescherpt, in figuur 6-5 is de invloed van elke aanscherping op het ontwerpprofiel weergegeven. De rekenstappen worden in het vervolg van dit hoofdstuk nader uitgelegd.



Figuur 6-5 Invloed optimalisatie op geometrie

6.5 Stap 2.1 Opbarsten / opdrijven

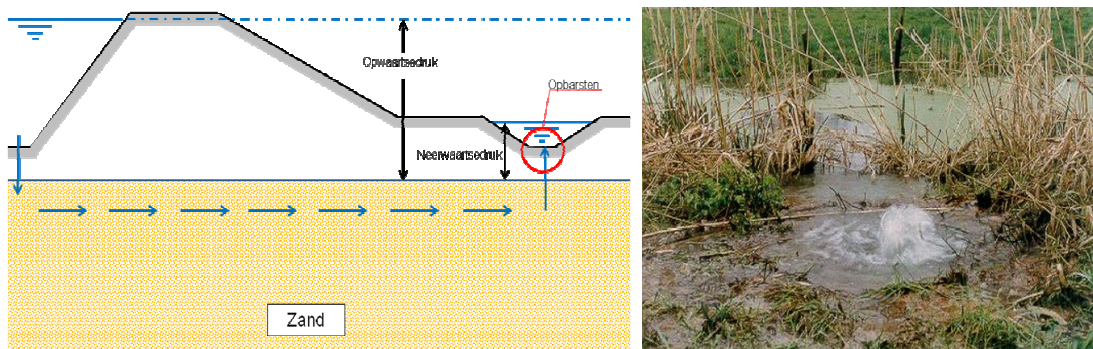
Het mechanisme opbarsten en/of opdrijven wordt veroorzaakt door een hoge waterdruk in de watervoerende laag onder de dijk. Als de druk hoog genoeg is kan de deklaag opbarsten waardoor er een *wel* ontstaat, zie figuur 6-6. Het kan ook zo zijn dat de druk niet hoog genoeg is om de deklaag te laten barsten, maar dat de deklaag wel opgetild wordt. Deze situatie wordt opdrijven genoemd. Beide situaties zijn over het algemeen nadelig voor de stabiliteit van de dijk. De druk in de watervoerende laag kan gevoed worden vanuit de boezem zoals in figuur 6-6 is weergegeven, maar kan ook gevoed worden door bijvoorbeeld de Noordzee, de Utrechtse Heuvelrug of een meer. Omdat de kans op kortsluiting tussen de boezem en de watervoerende laag klein is binnen het beheersgebied van HDSR door het voorkomen van het dikke veenpakket en omdat de stijghoogte nauwelijks gevoed wordt door een andere bron, kan opdrijven en/ of opbarsten vaak vrij gemakkelijk uitgesloten worden.

Opbarsten en opdrijven kunnen worden uitgesloten als de opbarstveiligheid < 1 . De opbarstveiligheid wordt als volgt berekend.

Opbarstveiligheid = Neerwaartse druk/Opwaartse druk

De neerwaartse druk is het gewicht van de deklaag plus eventueel het gewicht van het water in de teensloot. De opwaartse druk is de afstand van de bovenkant deklaag tot stijghoogte. Het principe opbarsten/opdrijven is in figuur 6-6 weergegeven. In het Technische Rapport Waterspanningen bij Dijken [7] is een handreiking gegeven om de opbarstveiligheid te optimaliseren. Kort gezegd komt het erop neer dat als de teensloot smaller is dan de deklaag dik is, je voor het berekenen van de neerwaartse druk, je het maaiveld mag aanhouden in plaats van de bodem van de teensloot. Dit kan soms net het verschil maken waardoor opbarsten/opdrijven kan worden uitgesloten wat een positievere schematisatie tot gevolg heeft omdat bij opbarsten er conform de leidraad toetsen [1] geen sterkte mag worden toegekend aan de grondmoot onder de teensloot.

In bijlage 6 is ter verduidelijking een voorbeeld van deze optimalisatie toegepast.



Figuur 6-6 Opbarsten / opdrijven

6.6 Stap 2.2 Reductie schematiseringsfactor

In de schematiseringsfactor worden onregelmatigheden in grondopbouw en andere randvoorwaarden opgenomen om de veiligheid van een ontwerp te kunnen garanderen. Vanuit de handreiking ontwerpen [3] bedraagt de schematiseringsfactor maximaal 1,2. Deze factor kan onderbouwd gereduceerd worden tot minimaal 1,0. Voor deze reductie is een stappenplan opgesteld: Stappenplan schematiseringsfactor, Rijkswaterstaat, 11 juni 2010 [10].

Hierin zijn de volgende stappen opgenomen:

1. Opstellen basis schematisatie en ontwerp;
2. Nagaan of reductie van de schematiseringsfactor nuttig is;
3. Identificeren onzekerheden en aan de hand daarvan bepalen van de schematiseringsfactor;
4. Controle schematiseringsfactor;
5. Optimalisatie en nader onderzoek;
6. Rapportage.

In bijlage 6 is de reductie van de schematisatiefactor voor de berekening uit §6.4 weergegeven.

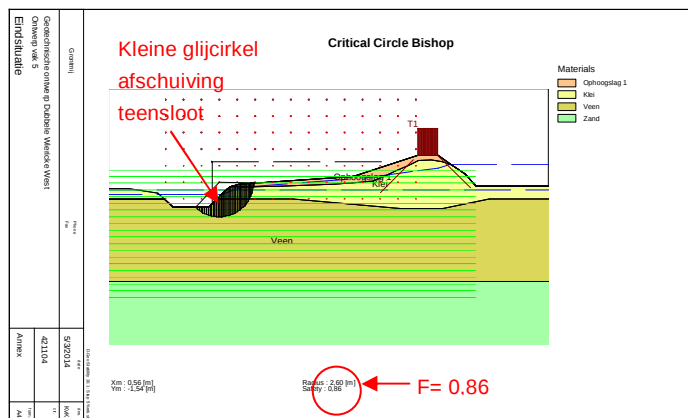
6.7 Stap 2.3 Toepassen zonering

Veiligheidstechnisch kan een dwarsprofiel van een dijk in een aantal kritische zones worden opgedeeld. Voor verschillende zones in het dwarsprofiel worden andere eisen gesteld aan de standzekerheid van die zone. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de mate waarin het bezwijken van die zone tot inundatie zal leiden. Het softwareprogramma D-Geostability heeft sinds kort een functie waarbij de stabiliteit van de een dijk in verschillende zones wordt opgedeeld. In het volgende voorbeeld is het toepassen van de zoneringmodule uitgelegd.

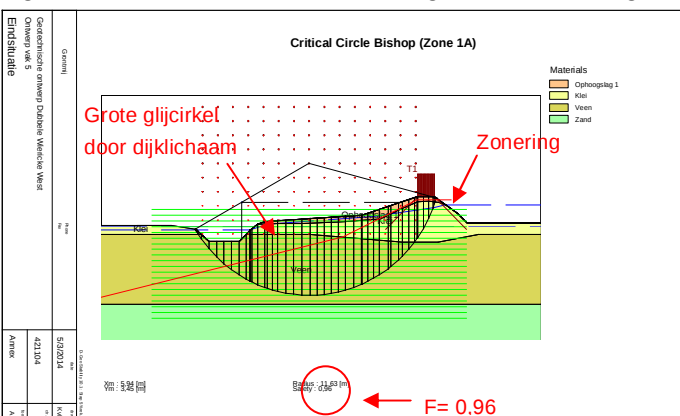
Voorbeeld

Verbetervak 5 van de Dubbele Wiericke dient een stabiliteitsfactor te hebben van tenminste 0,90. De stabiliteit is in eerste instantie berekend zonder zoneringsmodule. In figuur 6-7 is het resultaat van de berekening weergegeven. Door een afschuiving nabij de teensloot met een stabiliteitsfactor van 0,86 voldoet dit ontwerp niet aan de gestelde eisen. Echter zal door de dijk door deze afschuiving zijn functie als waterkering nog prima kunnen vervullen. Sterker nog de afschuiving zal de dijk alleen maar stabiel maken door dat de teensloot na de afschuiving gedempt is wat een positief effect heeft op de macrostabiliteit.

Vervolgens is er een berekening gemaakt met de zoneringsmodule. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 6- en 6-9. De rode lijn markeert het centrale gedeelte van de dijk dat verantwoordelijk is voor het waterkerende vermogen van de dijk. De berekende stabiliteitsfactor bedraagt hier 0,96 waarmee het ontwerp voldoet aan de eisen met betrekking tot de macrostabiliteit binnenwaarts.



Figuur 6-7 Stabiliteitsberekening zonder zonering



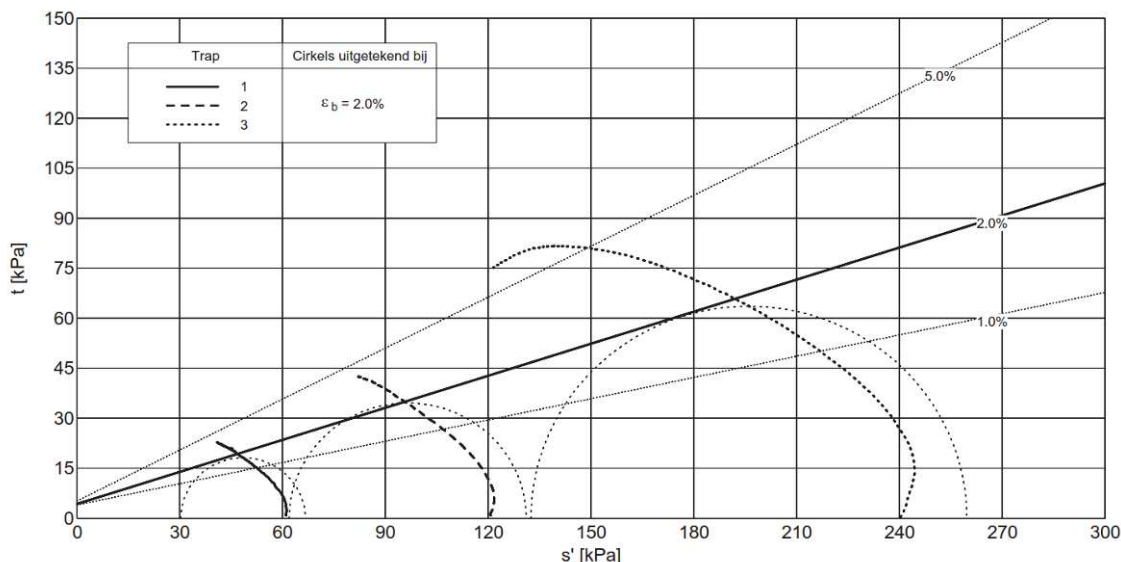
Figuur 6-9 Stabiliteitsberekening met zonering

6.8 Stap 2.4 Reductie bovenbelasting

Standaard dient er conform de leidraad toetsen [1] een bovenbelasting van 13,3 kN/m² aangehouden te worden op de kruin van de dijk. Dit staat ongeveer gelijk aan een vrachtwagen vol zandzakken die tijdens calamiteiten op de dijk zou kunnen gaan staan. In het addendum op de leidraad [2] is hierop een optimalisatie aangereikt. Het idee is dat er tal van dijken zijn waar een vrachtauto onmogelijk overheen zou kunnen rijden omdat deze bijvoorbeeld helemaal niet toegankelijk is of gewoonweg te smal is. Daarom is er in het addendum [2] gesteld dat er voor groene dijken waarop geen verharding aanwezig is een bovenbelasting van 5 kN/m² mag worden aangehouden. Onlangs uitgevoerd proeven met de bovenbelasting door het waterschap Rivierenland in samenwerking met de STOWA en Grontmij hebben laten zien dat het fysiek onmogelijk is voor een vrachtwagen om over een groene dijk te rijden. De vrachtwagen komt namelijk gelijk vast te zitten. Op het moment van schrijven wordt de data van de proef geanalyseerd. De eerste resultaten wijzen erop dat de manier waarop de bovenbelasting geschematiseerd wordt een conservatieve is. De belasting lijkt zich beter te spreiden en de wateroverspanningen als gevolg van de belasting lijken lager te liggen dan nu wordt aangenomen. De verwachting is dan ook dat in de toekomst de voorschriften voor de schematisatie van de bovenbelasting verder geoptimaliseerd zullen worden.

6.9 Stap 2.5 Bepalen grondparameters bij 5% rek

De vigerende normen schrijven voor dat de sterkteparameters van de grond bepaald dienen te worden tussen de 2% en 5% rek. De sterkte van grond neemt in eerste instantie toe bij vervorming. Hierdoor zullen de sterkteparameters die bepaald zijn bij 5% gunstiger zijn dan bij 2% rek. Je kunt dit vergelijken met het indrukken van een spons of een stukje rubber. Het eerste stukje is heel gemakkelijk in te drukken en naar mate je het verder indrukt hoe zwaarder dit gaat. In figuur 6- is het resultaat van een multistage triaxiaalproef weergegeven. Op de x-as is de korrelspanning s' in kPa weergegeven en op de y-as de schuifspanning τ in kPa. De rechte lijnen geven de sterkte van de grond weer bij verschillende rekpercentages. De sterkte voor grond wordt uitgedrukt in cohesie (c') en hoek van inwendige wrijving (ϕ'). De cohesie is gelijk aan het snijpunt van de lijn met de y-as, en de hoek van inwendige wrijving is gelijk aan de hoek tussen de x-as en de lijn. In het geval van figuur 6- is de cohesie in alle gevallen gelijk en neemt de hoek van inwendige wrijving aanzienlijk toe bij een toename van de rek.



Figuur 6-10 Resultaat triaxiaalproef

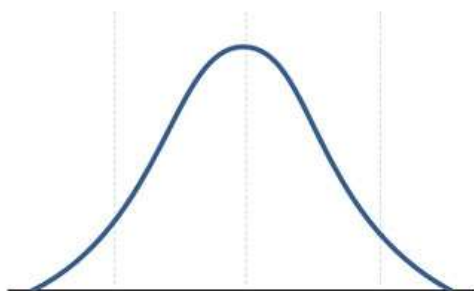
Een ongeschreven regel bij de Nederlandse waterschappen is dat er getoetst wordt met de grondparameters behorende bij 5% rek en dat er ontworpen wordt met parameters bij 2% rek. Echter recentelijk ontwikkelingen wijzen erop dat de huidige manier van schematiseren van klei op veendijk te conservatief zijn. Het ontwerpen met grondparameters die bepaald zijn bij 5% rek

is te rechtvaardigen vanuit de verwachting, dat in de nabije toekomst (2017) een nieuwe rekenmethode (inclusief laboratoriumprotocol) wordt voorgeschreven. De verwachting is dat hierdoor meer sterkte aan de ondergrond kan worden toegekend, waardoor de dijken rekenkundig veiliger zullen worden. Om op dit moment geen regret-maatregelen uit te voeren (extra ruimtebeslag te claimen) is het aan te raden om met deze gunstigere parameters te ontwerpen.

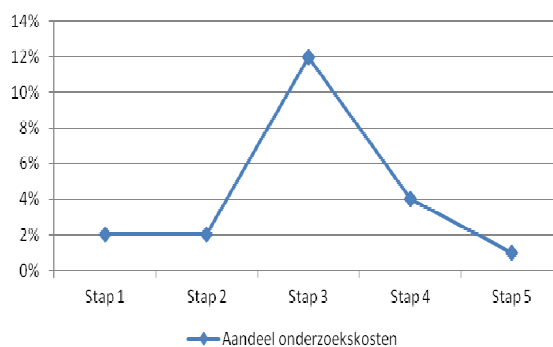
6.10 Stap 3 Aanvullend onderzoek

In de voorgaande paragrafen is te lezen dat de ingenieur een enorme invloed heeft op de uiteindelijke kosten van de dijkversterking. Een ingenieur is sterk afhankelijk van de beschikbare gegevens waarmee hij werkt. In deze paragraaf is dieper ingegaan op de ruwe data, die de input is voor het ontwerp.

De betrouwbaarheid van de schematisatie van een dijk staat of valt met de betrouwbaarheid van de gegevens die gebruikt worden om de schematisatie op te stellen. Daarnaast heeft de dichtheid van de gegevens invloed op de reductie van de schematiseringsfactor. Hoe aannemelijker de schematisatie hoe verder de schematiseringsfactor gereduceerd kan worden. Aantallen spelen ook een rol bij het bepalen van de sterkteparameters. Voor het bepalen van de karakteristieke waarden wordt namelijk de 5% ondergrens bepaald met behulp van een statistische analyse (zie figuur 6-8). Hierbij speelt de spreiding van de gegevens een rol. Over het algemeen geldt dat hoe meer gegevens beschikbaar zijn, hoe kleiner de spreiding in de data is. Een kleinere spreiding leidt tot betere karakteristieke sterkteparameters.



Figuur 6-8 Gauss kromme



Figuur 6-12 Aandeel onderzoekskosten

Het procentuele aandeel van de onderzoekskosten op de totale dijkversterkingskosten ligt ongeveer tussen de 1 en 12 % zie figuur 6-12. Net als voor de ingenieurskosten geldt hier dat een investering in onderzoek zich enorm kan uitbetalen tijdens de uitvoering.

Het aanvullende onderzoek bij stap 3 kan bestaan uit de onderdelen zoals in tabel 6-1 is weergegeven.

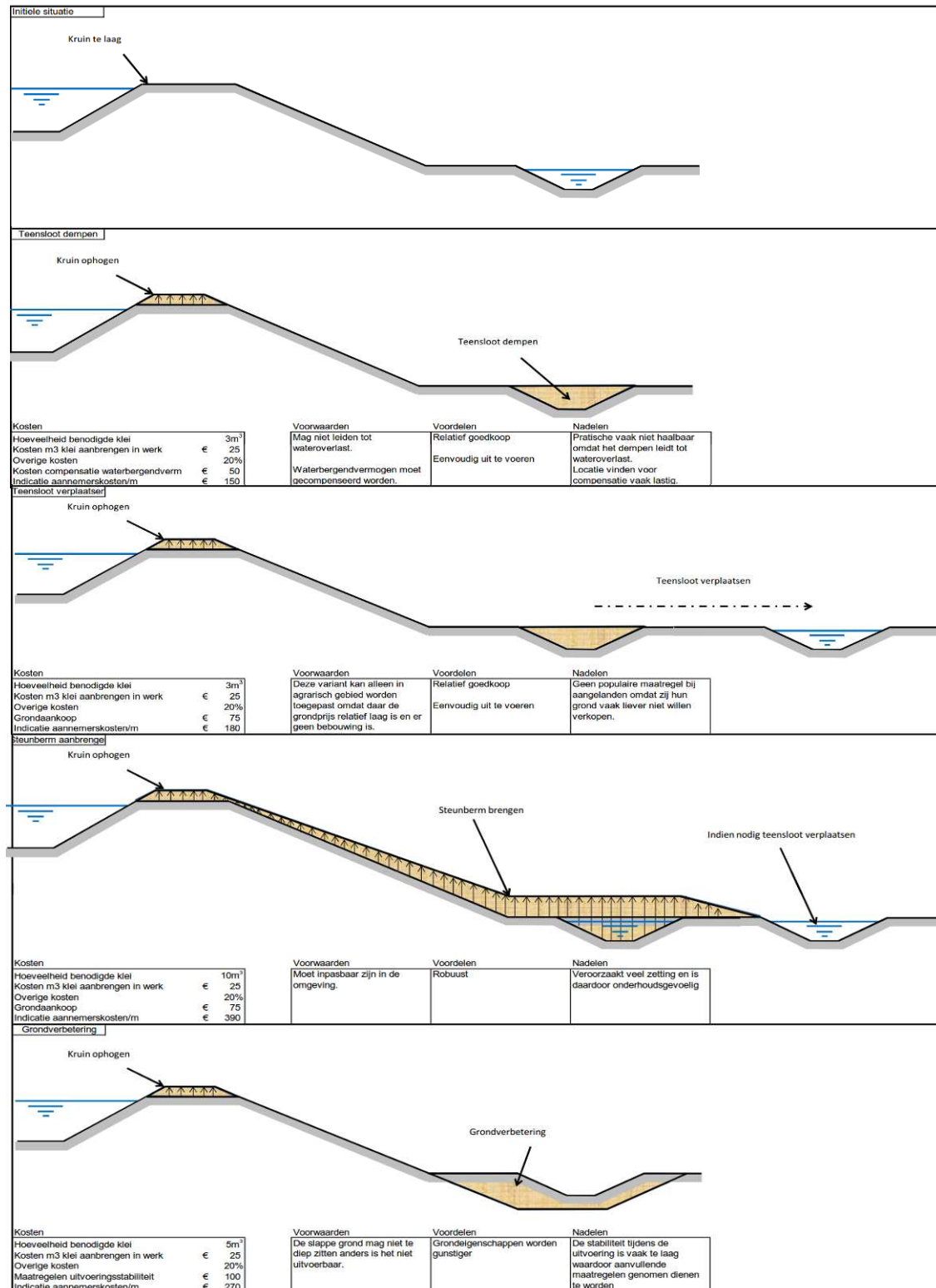
Tabel 6-1 Aanvullend onderzoek stap 3

Onderdeel	Doel
Laboratoriumonderzoek	Sterkteparameters betrouwbaarder maken
Plaatsen monitoren peilbuizen	Verloop freatische lijn aanscherpen
Sonderingen en/of boringen	Grondopbouw aanscherpen

Bij het uitvoeren van onderzoek dient altijd de afweging gemaakt te worden of de kosten zich bij de uitvoering terug verdienen.

6.11 Stap 4 Versterking in grond

Het uitvoeren van een verbetermaatregel in grond is erg kostbaar. Kleine aanpassingen in het ontwerp kunnen leiden tot grote verschillen in de uitvoeringskosten. De ontwerper dient zich hier van bewust te zijn. Om inzichtelijk te maken wat de invloed van verschillende oplossingsrichtingen op de kosten is, is in figuur 6-13 een overzicht gegeven van verschillende oplossingsrichtingen met een kostenindicatie erbij. Het figuur kan de ontwerper helpen om tot een economisch ontwerp te komen.



Figuur 6-13 Mogelijke oplossingen in grond

6.12 Toepassen constructies

Waterkeringsbeheerders hebben over het algemeen geen voorkeur voor het toepassen van constructies in waterkeringen. Constructies zijn namelijk lastig te inspecteren, te toetsen en te verbeteren. Daarnaast zijn ze relatief duur in de aanschaf. Daar waar het kan zal een beheerder voor een oplossing in grond kiezen. Op de locaties waar waterkeringen door bebouwd gebied lopen, is een oplossing in grond veelal niet mogelijk en zal er dus een constructie toegepast moeten worden. In deze paragraaf worden de meest gebruikte oplossingen besproken, waarbij de indicatieve kosten en de voor- en nadelen zijn aangegeven.

Veruit de meest toegepaste constructie in waterkeringen is de damwandconstructie. De meeste damwanden zijn gemaakt van staal. Na staal is hout het meest populair en sinds enige jaren is kunststof in opkomst. Het grote voordeel aan damwandconstructies is dat er gebruiksvriendelijke softwarepakketten zijn om de sterkte van een damwand te berekenen. Hierdoor is het relatief gemakkelijk om te bewijzen dat de constructie aan de gestelde eisen voldoet. Daarnaast heeft de damwand zich door de jaren heen bewezen als betrouwbare constructie die gemakkelijk verkrijgbaar is en waar veel aannemers mee kunnen werken. In tabel 6-2 zijn een stalen en houten en een kunststof damwand met elkaar vergeleken.

Tabel 6-2 Eigenschappen typen damwand

Materiaal	Voordeel	Nadeel	Kostenindicatie/m
Staal	Sterk Voorspelbaar Gangbaar Goed verkrijgbaar Lange levensduur	Hoge aanschafkosten	1000
Hout	Esthetisch Gangbaar Goed leverbaar	Korte levensduur Weinig sterkte	500
Kunststof	Levensduur Prijs	Slecht voorspelbaar Vervorming	500

Figuur 6-14 Stalen, houten en kunststof damwand



7 Casus Dubbele Wiericke

7.1 Algemeen

De Dubbele Wiericke West is een van de dijken die HDSR voor 2020 op orde wil hebben. De dijk is in 2012 door het ingenieursbureau Witteveen&Bos getoetst op veiligheid tegen overstromen. Uit de toetsing bleek 95% van de dijk niet aan de hoogte-eis te voldoen en voor 70% niet op macrostabiliteit. Vervolgens is er door hetzelfde ingenieursbureau een schetsontwerp opgesteld om inzichtelijk te maken hoe de versterking er uit zou komen te zien. De resultaten van het schetsontwerp waren echter niet bevredigend voor HDSR omdat het ontwerp onnodig robuust leek te zijn. Omdat het project een perfecte casus voor dit afstudeeronderzoek vormt, is voorgesteld om het ontwerp zelf uit te voeren. Gezien de hoeveelheid werk die het opstellen van een ontwerp met zich mee brengt en het feit dat de kwaliteit goed geborgd dient te worden is een unieke samenwerking met Grontmij gevormd. De afstudeerder Koen van Korlaar heeft een leidende rol vervuld in deze samenwerking waarbij hij zich heeft laten ondersteunen door Maarten Straver, adviseur waterkeringen bij Grontmij. De kwaliteit van het ontwerp is gecontroleerd door senior adviseur Cor Bisschop en daarnaast is de hulp van een tekenaar en een geotechnicus ingeroepen. Het ontwerp rapport Dubbele Wiericke West [11] staat los van deze rapportage.

7.2 Indeling verbetervakken

Omdat er nogal wat variatie zit in de Dubbele Wiericke West is deze opgedeeld in 11 verbetervakken. De verbetervakken zijn opgesteld op basis van de onderstaande criteria:

- Afgekeurd op hetzelfde faalmechanisme;
- Gelijke geometrie;
- Voorkomen van constructies.

In figuur 7-1 is de indeling op een overzichtskaart weergegeven en in tabel 7-1 zijn de belangrijkste kenmerken weergegeven.



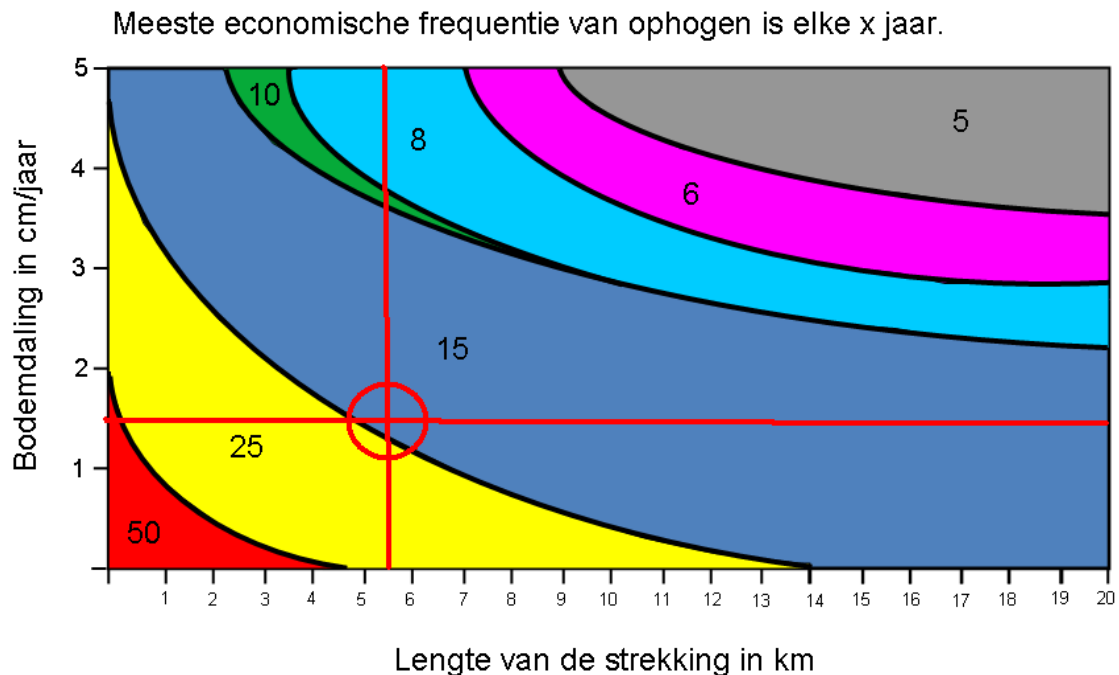
Figuur 7-1 Indeling verbetervakken

Tabel 7-1 Kenmerken verbetervakken

Verbetervak	Type	Lengte m	Leggerhoogte t.o.v. NAP	Klink oxidatie cm/jaar	Tektonische kanteling cm/jaar
1	Betonnen damwand	154	0,05	0	0,5
2	Groen	276	0,25	0,5	0,5
3	Groen	1061	0,25	0,5	0,5
4	Groen	17	0,25	0,5	0,5
5	Groen	1988	0,25	0,5	0,5
6	Groen	189	0,25	0,5	0,5
7	Stalen damwand	131	0,05	0	0,5
8	Groen	130	0,25	0,5	0,5
9	Groen	116	0,25	0,5	0,5
10	Groen	1529	0,25	0,5	0,5
11	Groen / L-wand	130	0,25	0,5	0,5

7.3 Toepassen ophoogstrategie

Met behulp van het figuur uit de handreiking kan vastgesteld worden wat de meest economische ophoogfrequentie is. Het traject is 5,5 km lang en de bodemdaling bedraagt 1,5 cm per jaar. Conform de handreiking uit hoofdstuk 5 dient de dijk elke 15 jaar op hoogte gebracht te worden. Op verzoek van de waterkeringsbeheerder is 10 jaar in plaats van 15 aangehouden omdat dit momenteel de standaard is binnen HDSR voor zettingsgevoelige keringen.

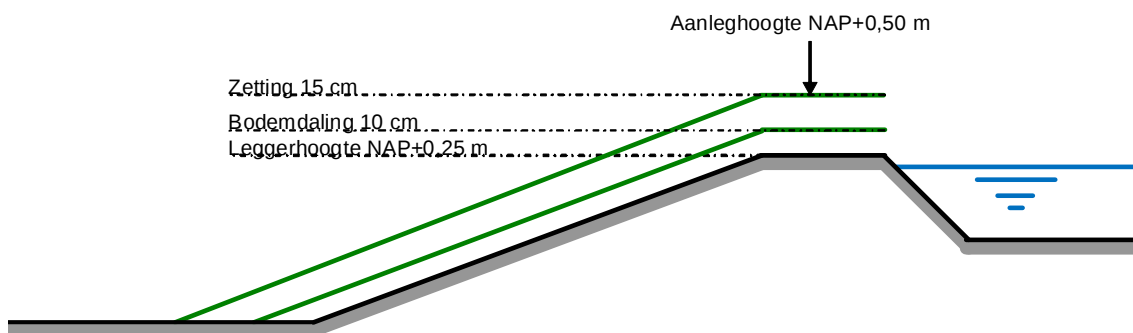


Vervolgens kan de aanleghoogte voor de groene kade bepaald worden. Hierbij is een ontwerphorizon van 10 jaar aangehouden.

De aanleghoogte = minimaal benodigde kruinhoogte + oxidatie, klink + tektonische kanteling + zetting als gevolg van ophogen

$$= \text{NAP} + 0,25 \text{ m} + 0,05 \text{ m} + 0,05 + 0,15$$

$$= \text{NAP} + 0,50 \text{ m}$$



Figuur 7-2 Bepaling aanleghoogte groene kering

De aanleghoogte voor constructies is als volgt berekend . Hierbij is een ontwerphorizon van 50 jaar aangehouden.

De aanleghoogte = minimaal benodigde kruinhoogte + oxidatie, klink + tektonische kanteling + zetting als gevolg van ophogen

$$\begin{aligned} & \text{NAP} + 0,05 \text{ m} + 0,00 \text{ m} + 0,15 + 0,00 \\ & = \text{NAP} + 0,20 \text{ m} \end{aligned}$$

De aanleghoogte voor de constructie = NAP +0,30 m.

Doordat de constructies in de pleistocene zandlaag worden gefundeerd treedt er geen zakking als gevolg van klink en oxidatie op.

Ook hier is in het ontwerprapport Dubbele Wiericke iets afgeweken van de handreiking zoals in hoofdstuk 4 opgenomen. De tektonische kanteling blijkt op basis van praktijkervaring ter plaatsen van de Dubbele Wiericke verwaarloosbaar te zijn. Hierdoor is de aanleghoogte met 15 cm verlaagd tot NAP +0,05 m.

7.4 Toepassen van het stroomschema

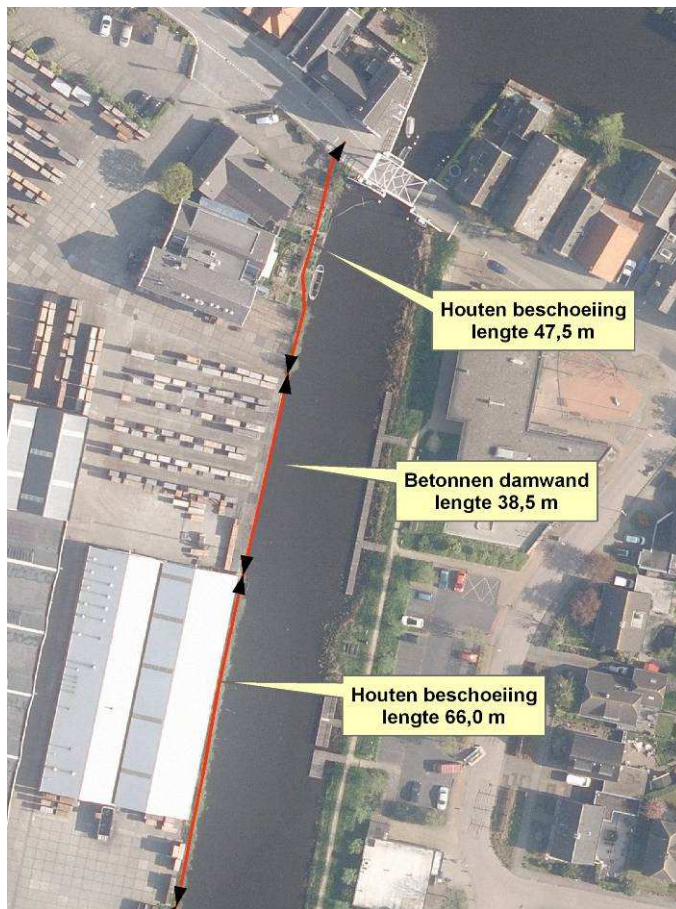
Het stroomschema is op alle verbetervakken toegepast. In tabel 7-2 is per verbetervak de oplossingsrichting weergegeven. De gehele uitwerking van het ontwerp is opgenomen in het Ontwerp rapport Dubbele Wiericke. In dit rapport is het ontwerpproces van de vakken 1, 2 en 3 nader toegelicht.

Tabel 7-2 Oplossing per verbetervak

Verbetervak	Type	Oplossing
1	Betonnen damwand	Constructie/kruinkap
2	Groen	Kruinkap
3	Groen	Grond
4	Groen	Kruinkap
5	Groen	Grond
6	Groen	Kruinkap
7	Stalen damwand	Geen
8	Groen	Kruinkap
9	Groen	Kruinkap
10	Groen	Grond
11	Groen / L-wand	Kruinkap

7.5 Verbetervak 1 oplossing met constructie

Verbetervak 1 is het meest gecompliceerde vak van de Dubbele Wiericke West doordat er veel bebouwing nabij de dijk is gelegen. Binnen het vak is een houten beschoeiing en een betonnen damwand aanwezig. In figuur 7-3 is de situatie weergegeven.



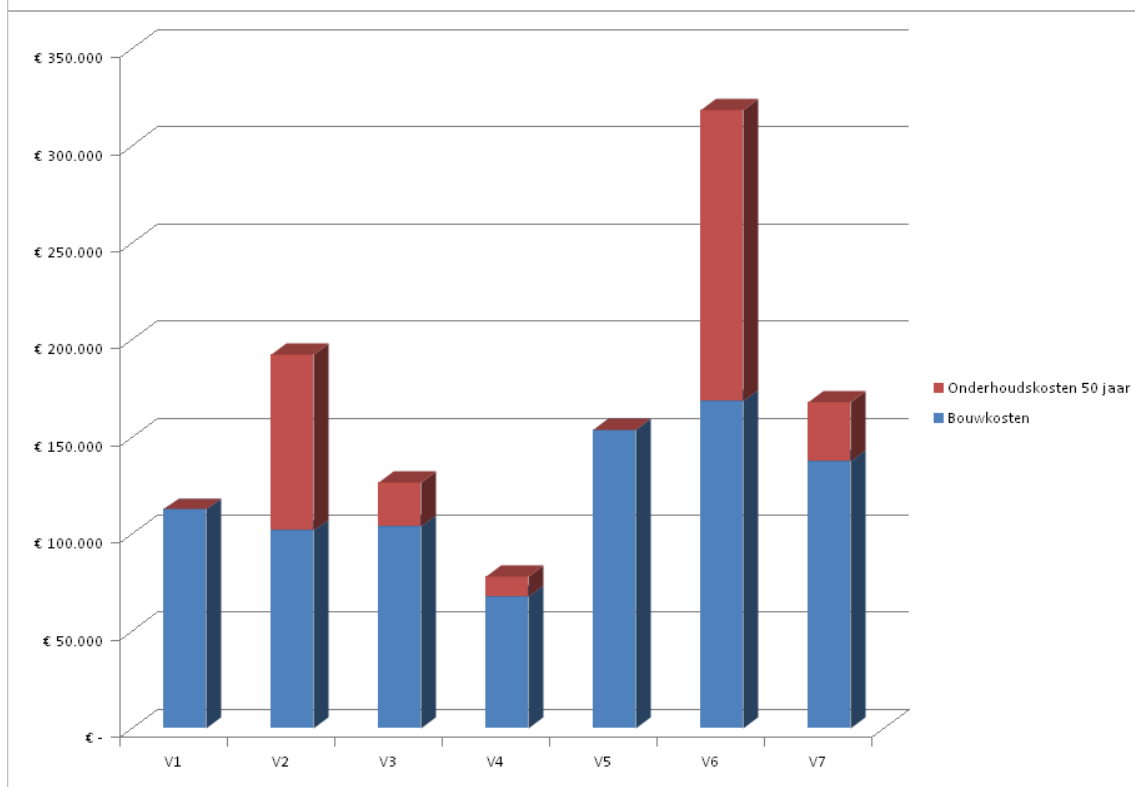
Figuur 7-3 Situatieschets vak 1

Begonnen is bij stap 1 van het stroomschema. Dit betekent dat er geprobeerd is de dijk te versterken door het aanbrengen van een kruinkap. Na onderzoek en studie is gebleken dat er een kruinkap toegepast kan worden in het noordelijke deel van het traject. De tuin van de woning ligt grotendeels op hoogte, waardoor er kan worden volstaan met een overgangsconstructie van de tuin naar de betonnen damwand.

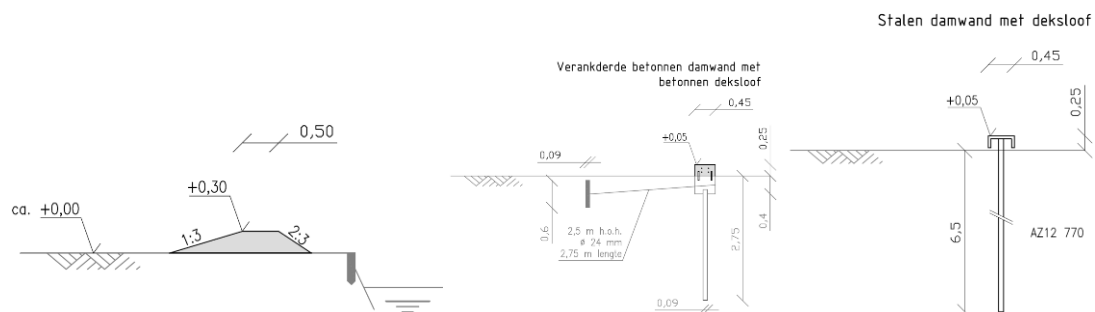
Voor het middelste deel en het zuidelijke deel geldt dat er geen ruimte is voor een kruinkap of een verbetering in grond waardoor er vervolgd is met stap 5, het toepassen van een constructie. Voor het ontwerp van de constructie is een damwand in staal, hout en kunststof beschouwd. Daarnaast is onderzocht of het mogelijk is om de bestaande betonnen damwand te verhogen. Voor alle varianten en combinaties ervan is een kostenraming opgesteld welke in figuur 7-4 is weergegeven. Op basis van de kostenraming is geconcludeerd dat het noordelijk traject versterkt zal worden door het aanbrengen van een beschoeiing en een overgangsconstructie van de hooggelegen tuin naar de betonnen damwand. Het middelste traject zal verbeterd worden door het ophogen van de betonnen damwand en in het zuidelijke deel zal een nieuwe stalen damwand aangebracht worden. In bijlage 7 en in figuur 7-5 is de ontwerptekening opgenomen. De geotechnische onderbouwing is terug te lezen in het Ontwerppapport Dubbele Wiericke [11].

Varianten verbetervak 1

	Traject 1	Traject 2	Traject 3	Bouwkosten €	Onderhouds- kosten 50 jaar	Bouwkosten incl. onderhoud 50 jaar €
Huidige situatie	Houten beschoeiing	Betonnen damwand deklsoof	Houten beschoeiing	nvt		nvt
V1	Staal onverankerd	Bestaande damwand ophogen	Staal onverankerd	€ 113.000	€ -	€ 113.000
V2	Hout verankerd	Bestaande damwand ophogen	Hout verankerd	€ 102.000	€ 91.000	€ 193.000
V3	Kunststof verankerd	Bestaande damwand ophogen	Kunststof verankerd	€ 104.000	€ 23.000	€ 127.000
V4	Houten beschoeiing (nieuw)	Bestaande damwand ophogen	Staal onverankerd	€ 68.338	€ 10.000	€ 78.338
V5	Staal onverankerd	Staal onverankerd	Staal onverankerd	€ 154.000	€ -	€ 154.000
V6	Hout verankerd	Hout verankerd	Hout verankerd	€ 169.000	€ 150.000	€ 319.000
V7	Kunststof verankerd	Kunststof verankerd	Kunststof verankerd	€ 138.000	€ 30.000	€ 168.000



Figuur 7-4 Kostenraming varianten vak 1

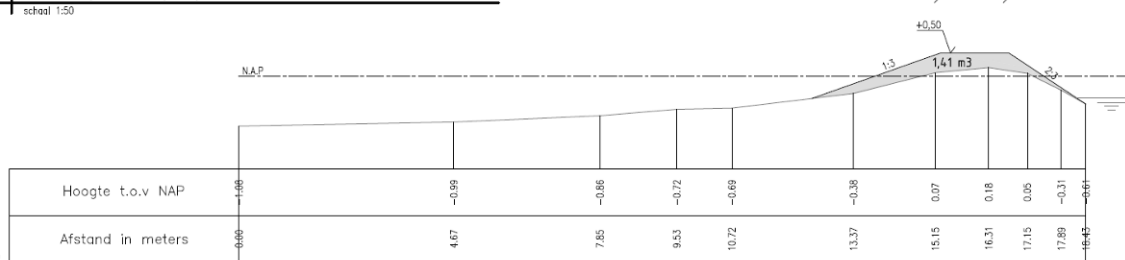


Figuur 7-5 Ontwerpen vak 1

Verbetervak 2 oplossing kruinkap

Vak 2 is een goed voorbeeld van een verbetering waarbij een kruinkap is toegepast. In tegenstelling tot vak 1 is dit een eenvoudig vak met een geringe kerende hoogte, geen teensloot en voldoende ruimte. In figuur 7-6 is het verbeterontwerp weergegeven.

D-D principeprofiel verbetervak 2



Figuur 7-6 Verbeterontwerp vak 2

7.6 Verbetervak 3 oplossing in grond

Dit verbetervak betreft een typische klei op veendijk. In het schetsontwerp van Witteveen&Bos zou de teensloot 17 m verlegd moeten worden. Door het toepassen van de handreiking is het gelukt een ontwerp binnen de eigendomsgrens van HDSR te realiseren.

Stap 1 eenvoudig ontwerp

Een eenvoudig ontwerp bleek niet haalbaar te zijn, omdat de kade daardoor onvoldoende stabiel zou zijn.

Stap 2 Rekenkundige oplossing

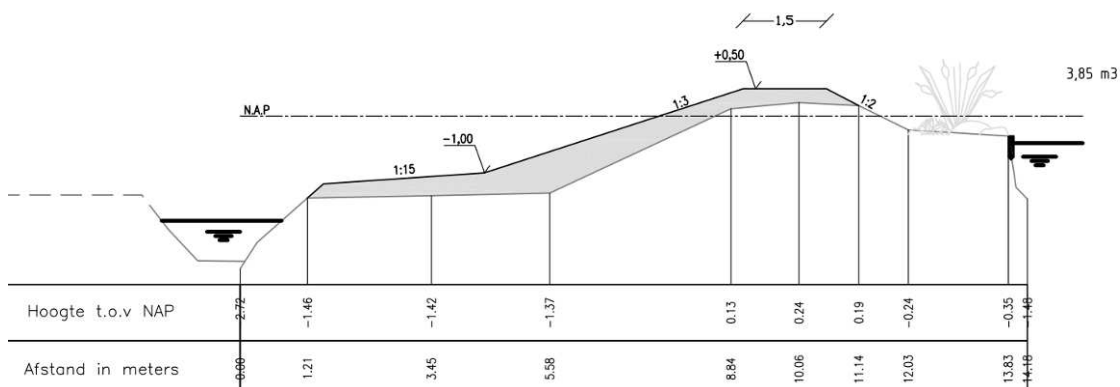
Vervolgd is met de 2^{de} stap waarbij alle rekenkundige onderdelen zijn toegepast. Wederom bleek op basis van deze stap de dijk onvoldoende stabiel te zijn.

Stap 3

In 2012 is er vrij gedetailleerd onderzoek uitgevoerd door Witteveen&Bos waardoor deze stap overgeslagen kon worden.

Stap 4 Verbetering in grond

Doordat er 10 jaar geleden al grond was aangekocht om de teensloot te verleggen en doordat de agrariërs hun grond niet graag af wilden staan is geprobeerd een oplossing in grond te ontwerpen binnen het huidige ruimtegebruik. De combinatie van alle rekenkundige aanscherpingen met het toepassen van een steunberm hebben tot een stabiel ontwerp geleid. In figuur 7-6 is het ontwerp weergegeven.



Figuur 7-7 Versterkingsontwerp vak 3

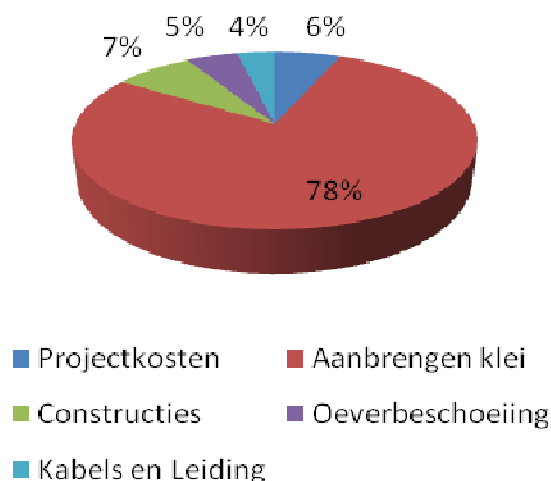
7.7 Kostenraming Dubbele Wiericke West

Om te kunnen beoordelen of het toepassen van de ophoogstrategie en het stroomschema effect hebben gehad op de uitvoeringskosten zijn er verschillende ramingen opgesteld. De uitvoeringskosten van het ontwerp voor de dijkversterking van de Dubbele Wiericke West zijn geschat op €1.700.000,-. Dit is inclusief de project- en aannemerskosten en exclusief btw. Opgemerkt dient te worden dat het om een inschatting gaat en dat de werkelijke kosten hiervan kunnen afwijken. In tabel 7-1, en in bijlage 8 is de kostenraming opgenomen. In figuur 7-8 is de verdeling van de uitvoeringskosten weergegeven. Het aanbrengen van klei heeft een aandeel 78% en is daarmee veruit de grootste kostenpost.

Tabel 7-3 Kostenraming

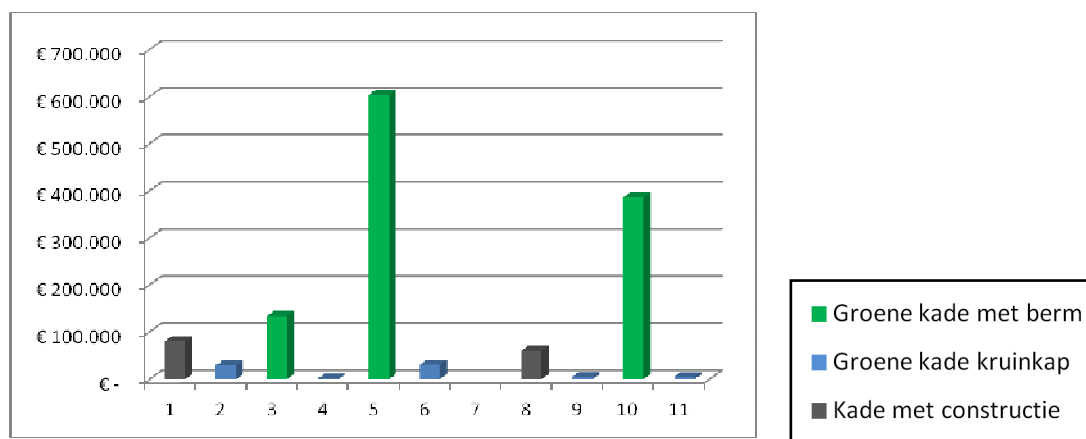
Verbetervak	Uitvoeringskosten
1	€ 80.266
2	€ 28.620
3	€ 133.733
4	€ 1.019
5	€ 603.876
6	€ 29.710
7	€ -
8A	€ 4.702
8B	€ 52.514
8C	€ 2.766
9	€ 5.318
10	€ 385.217
11	€ 4.818
Kabel & Leidingen	€ 50.000
Risico opslag	15%
Bouwrente	5%
Subtotaal	€ 1.659.071

Kostenverdeling

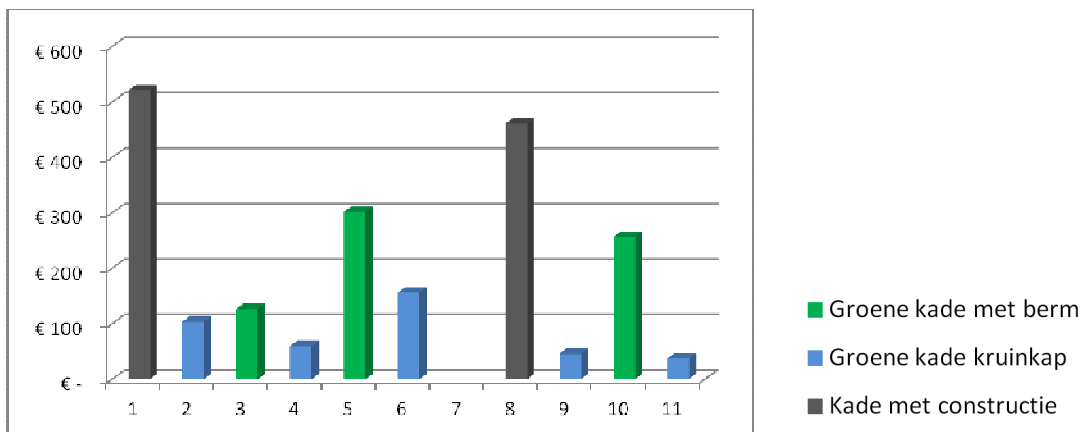


Figuur 7-8 Kostenverdeling

In figuur 7-9 en 7-10 zijn respectievelijk de kosten per verbetervak en de kosten per verbetervak per m weergegeven. Duidelijk zichtbaar is dat voor de lange strekkingen de uitvoeringskosten het hoogst zijn. Als we kijken naar de kosten per m zien we dat de vakken waarbij een constructie wordt toegepast de hoogste uitvoeringskosten hebben. Bij de groene kadevakken zien we dat vak 3 aanzienlijk goedkoper is dan vak 5 en 10. Dit is te verklaren door het feit dat de grondslag bij vak 3 een stuk gunstiger is dan bij 5 en 10. Daarnaast speelt mee dat de teensloot van vak 3 dichterbij de kade ligt dan bij de vakken 5 en 10. Hierdoor is de aan te leggen berm korter waardoor er minder klei nodig is.

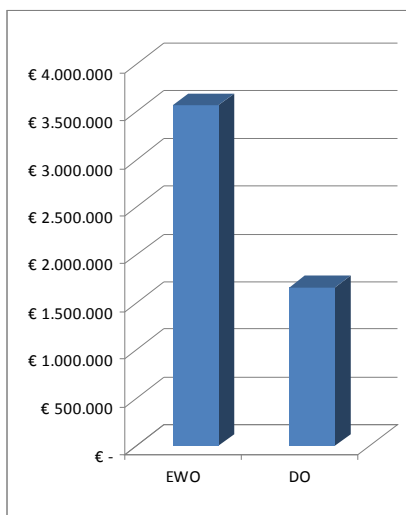


Figuur 7-9 Kosten per verbetervak



Figuur 7-10 Kosten per/m per vak

Om te bepalen hoeveel kosten er bespaard zijn door het toepassen van de handreiking, zijn de uitvoeringskosten van het definitieve ontwerp vergeleken met het de uitvoeringskosten van het schetsontwerp. In figuur 7-11 is de vergelijking weergegeven. De uitvoering van het schetsontwerp is geraamd op € 3.570.000,- en het definitief ontwerp op € 1.659.000,-. Het verschil bedraagt € 1.900.000,-. Het toepassen van de handreiking heeft dus tot een halvering van de uitvoeringskosten geleid. In bijlage 8 is de uitgebreide raming opgenomen.



Figuur 7-11 kostenvergelijking

8 Aanbevelingen

Onderzoek leidt bijna altijd tot nieuwe vragen. Dit onderzoek is daar geen uitzondering op. In dit hoofdstuk zijn deze nieuwe vragen opgenomen.

8.1 Toegevoegde waarde

Bij het onderzoek is gekeken naar de kosten die gemaakt worden om de dijk te versterken. En dijk kan ook geld opleveren. Door de dijk op een bepaalde manier in te richten kan deze waarde aan zijn omgeving toevoegen. Dit kan gedaan worden door bijvoorbeeld:

- Het toepassen van natuurvriendelijke oevers
- De aanleg van wandel/fietspaden
- Een verbinding te maken met de Ecologische Hoofdstructuur (EHS)

Wanneer de toegevoegde waarde vastgesteld wordt kan deze meegenomen worden tijdens het ontwerpproces.

8.2 Optimaliseren constructies

Bij stap 5 het toepassen van constructies is alleen de damwand beschouwd. Er zijn naast de damwand tal van andere constructies die toegepast kunnen worden. Een studie hiernaar zou tot een aanzienlijke kostenbesparing kunnen leiden. Zoals bij stap 5 van het stroomschema staat beschreven, zijn de kosten voor het toepassen van constructies hoog. Enkele voorbeelden van toe te passen constructies zijn:

- Dijkvernageling
- Gewapende grond
- Geotextiel
- Schanskorf
- Micropalen

8.3 Opstellen regionale grondparameterset

Uit het onderzoek is gebleken dat de sterkteparameters van de grond veel invloed hebben op het ontwerp. Bij de verbetering van de Dubbele Wiericke is circa de helft van de tijd gestoken in de optimalisatie van de parameters. Het opstellen van een regionale grondparameterset voor het hele beheersgebied van HDSR zou tot meer realistische grondparameters leiden en enorm veel tijd tijdens het toetsen en ontwerpen besparen.

8.4 Meer kennis in huis halen

Op het ontwerp van de Dubbele Wiericke na, worden alle ontwerpen volledig door externe ingenieursbureau uitgevoerd. Dit wordt gedaan omdat er onvoldoende kennis en capaciteit in huis is bij het waterschap. Het grote nadeel hiervan is dat het waterschap erg afhankelijk is van deze bureaus. In veel gevallen leveren de ingenieursbureau een onnodig robuust ontwerp op. Dit wordt gedaan omdat dit veel minder werk is, doordat er minder berekeningen gemaakt hoeven worden. Daarnaast is de kans op 'meerwerk' groter, omdat het waterschap het ontwerp verder uitgewerkt wil hebben. Door zelf meer kennis in huis te hebben kan vooraf veel scherper afgesproken worden welke ontwerpstappen het externe bureau dient te nemen. Daarnaast kan het waterschap veel beter inzien of een ontwerp onnodig robuust is of niet. Ook hier geldt een kleine investering in kennis, betaald zich in veelvoud terug tijdens de uitvoering.

9 Conclusie

Nederland is als sinds eeuwen in gevecht met water. Door de bodemdaling, de zeespiegelstijging en de verstedelijking neemt de druk op de dijken als maar toe. De ontwerpmethodiek van dijken is constant in beweging. Er verschijnen regelmatig nieuwe leidraden, technische rapporten en er worden nieuwe inzichten en rekenmethodes uitgewisseld tussen de waterschappen, ingenieursbureau's en verschillende technische instellingen. Momenteel is er geen 'up-to-date' leidraad voor het ontwerpen van regionale waterkeringen. Dit leidt in veel gevallen tot de aanleg van onnodig robuuste dijken en daardoor hoge uitvoeringskosten.

Het doel van het afstudeeronderzoek is het opstellen van een handreiking die de laatste inzichten en rekenmethode bundelt om zo kosten tijdens de uitvoering te kunnen besparen. De handreiking is speciaal geschreven voor klei op veendijken binnen het beheersgebied van HDSR. Voor opstellen van de handreiking zijn de mechanisme overloop/overlsag en macrostabiliteit bestudeerd. Door de grondopbouw binnen het beheergebied van HDSR zijn de overige faalmechanismen nauwelijks een probleem.

Om een dijk aan het faalmechanisme overloop/overslag te laten voldoen moet een dijk op voldoende hoogte liggen. Door de bodemdaling en door de zetting als gevolg van het ophogen, moeten dijken periodiek opgehoogd worden. Op basis van zettingsberekeningen is geconcludeerd dat de kosten voor het periodiek ophogen afhankelijk zijn van de grootte van de ophoging en de tussenliggende tijd. Door het opstellen van een uitgebreide excel-sheet is de invloed van de projectkosten, de bodemdaling en de zetting als gevolg van ophogen voor elke willekeurige dijk binnen het beheersgebied van HDSR berekend. De berekeningen zijn vervolgens vertaald naar een figuur waarvan gemakkelijk is af te lezen wat de meeste economisch voordelige ophoofrequentie is voor een willekeurig traject.

Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de factoren die invloed hebben op de macrostabiliteit van een dijk. Het onderzoek heeft laten zien dat de grondparameters en de geometrie de meeste invloed hebben op de macrostabiliteit. Op basis van deze bevindingen in combinatie met de laatste inzichten en rekenmethode is een stroomschema opgesteld die de ontwerper helpen om tot een geoptimaliseerd versterkingsontwerp te komen.

De handreiking is door de afstudeerder direct toegepast bij het opstellen van het versterkingsontwerp voor de Dubbele Wiericke. Hiervoor is in 2012 een eerste waterstaatkundige ontwerp opgesteld. Het vermoeden van het waterschap was dat dit ontwerp onnodig robuust was. Tien jaar geleden is de dijk voor het laatst versterkt waarbij grond aangekocht moest worden. In het ontwerp van 2012 moest er opnieuw grond aangekocht worden. De agrariërs in het gebied staan hun grond niet graag af omdat dit hun bron van inkomsten is. De handreiking heeft ervoor gezorgd dat de dijk binnen het huidige ruimtegebruik versterkt kan worden waardoor geen grond aangekocht hoeft te worden. Daarnaast zijn de uitvoeringskosten met 50% gereduceerd ten opzicht van het eerdere ontwerp wat een kostenbesparing van 1,9 miljoen euro oplevert tijdens de uitvoering.

Op basis van de resultaten van de casus de Dubbele Wiericke kan geconcludeerd worden, dat het doel om een handreiking op te stellen die tot een kostenbesparing zal leiden, gehaald is.

Literatuurlijst

- [1] Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer (STOWA), ORK2007-02, oktober 2007, Utrecht.
- [2] Addendum op de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), ORK2010-22, 2010, Amersfoort;
- [3] Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, STOWA, 2009, Utrecht;
- [4] Materiaalfactoren boezemkaden, STOWA, 2009, Utrecht;
- [5] “Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken”, Ministerie Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 21 februari 2003.
- [6] “Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies – Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden” (TRWG), TAW, juni 2001.
- [7] “De Veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland – Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006” (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2006.
- [8] “Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen”, TAW, maart 1999.
- [9] Klimaatsverandering en bodemdaling gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland, Rijkswaterstaat ref:824567050, juli 1997, 's Gravenhage;
- [10] Stappenplan schematiseringsfactor, RWS en Arcadis, 074497336:A C03011.000049, 11 juni 2010.
- [11] Versterking Dubbele Wiericke West, geotechnisch ontwerprapport, HDSR & Grontmij, 2 mei 2014.
- [12] Eerste waterstaatkundig ontwerp Dubbele Wiericke West, Witteveen & Bos, HTN81-1-14-0000.604, 2013

Tabellen en figurenlijst

Tabellen

Nummer	Titel	Bron/auteur
3-1	Factoren bodemdaling	Koen van Korlaar
3-2	Grondparameters kadeverbetering Dubbele Wiericke	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
3-3	Waarden samendrukkingsparameters Dubbele Wiericke	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
4-1	Stabiliteitsfactor per IPO-klasse	Leidraad toetsen [1]
4-2	Verklaring bepaling stabiliteitsfactor	Koen van Korlaar
4-3	Verklaring methode Bishop	Koen van Korlaar
4-4	Resultaten analyse macrostabiliteit	Koen van Korlaar
5-1	Prijs klei	Koen van Korlaar
6-1	Aanvullend onderzoek stap 3	Koen van Korlaar
6-2	Eigenschappen typen damwand	Koen van Korlaar
7-1	Kenmerken verbetervakken	Koen van Korlaar
7-2	Oplossing per verbetervak	Koen van Korlaar
7-3	kostenraming	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]

Figuren

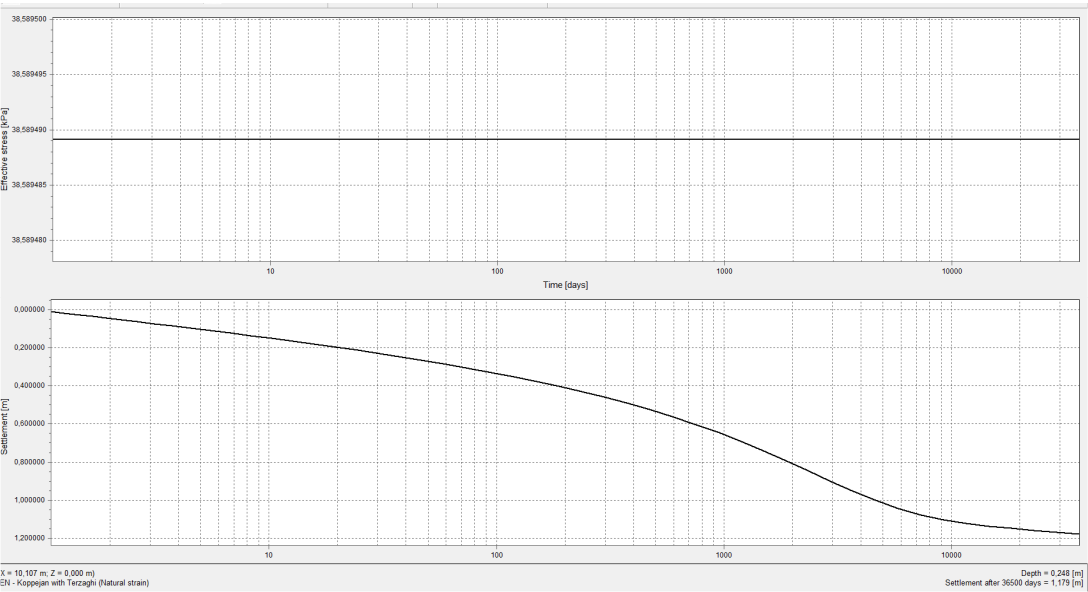
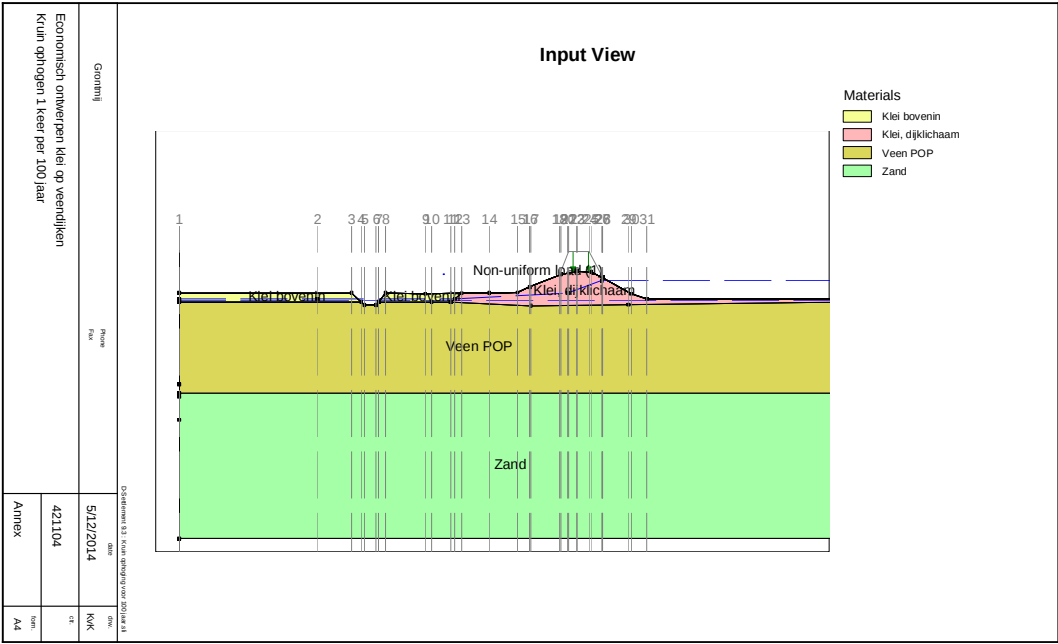
Nummer	Titel	Bron/auteur
-	Foto voorblad	Koen van Korlaar
2-1	Beheersgebied HDSR	HDSR/Koen van Korlaar
2-2	Van veenmoeras tot weidegebied	Koen van Korlaar
2-3	Dwarsdoorsnede typische opbouw regionale kering HDSR	Koen van Korlaar
2-4	Stakeholder	Koen van Korlaar
2-5	Locatiekaart Dubbele Wiericke	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
2-6	Kenmerkend profiel Dubbele Wiericke West	Koen van Korlaar
2-7	Ontwerpprofiel Dubbele Wiericke door WIBO	Witteveen&Bos [12]
2-8	Voorkomen veenondergrond en verwachte zetting bij ophogen	De Bosatlas van ondergronds Nederland, Noordhoff, 2009
3-1	Typisch profiel klei op veendijk HDSR	Koen van Korlaar
4-1	Voorbeeld zetting	Dictaat zettingen TU Delft
4-2	Zettingverloop	Koen van Korlaar
4-3	Relatie ophoging zetting	Koen van Korlaar
4-4	Macrostabiliteit	Dictaat macrostabiliteit TU Delft
4-6	Methode Bishop	Koen van Korlaar
4-7	Aandrijvende kracht	Koen van Korlaar
4-8	Stabiliserende kracht	Koen van Korlaar
4-9	Standaard schematisatie klei op veendijk	Koen van Korlaar
5-1	Aanleghoogte per ophoogfrequentie	Koen van Korlaar
5-2	Bepaling inhoud kruinpak	Koen van Korlaar
5-3	Kosten ophogen per variant	Koen van Korlaar
5-4	Meest economische frequentie van ophogen	Koen van Korlaar
6-1	Stroomschema economisch ontwerpen regionale waterkeringen HDSR	Koen van Korlaar
6-2	Relatie stappen stroomschema en kosten	Koen van Korlaar
6-3	Aandeel ingenieurskosten	Koen van Korlaar
6-4	Invloed optimalisatie op kosten	Koen van Korlaar
6-5	Invloed optimalisatie op geometrie	Koen van Korlaar
6-6	Opbarsten/opdrijven	Koen van Korlaar/ database HDSR
6-8	Stabiliteitsberekening zonder zonering	Koen van Korlaar
6-9	Stabiliteitsberekening met zonering	Koen van Korlaar
6-10	Resultaat triaxiaalproef	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]

6-11	Gaus-kromme	Koen van Korlaar
6-12	Aandeel onderzoekskosten	Koen van Korlaar
6-13	Mogelijke oplossingen in grond	Koen van Korlaar
6-14	Stalen, houten en kunststof damwand	Database HDSR
7-1	Indeling verbetervakken	Koen van Korlaar
7-2	Bepaling aanleghoogte groene kering	Koen van Korlaar
7-3	Situatieschets vak 1	Koen van Korlaar
7-4	Kostenraming varianten vak 1	Koen van Korlaar
7-5	Ontwerp vak	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
7-6	Verbeterontwerp vak 2	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
7-7	Versterkingsontwerp vak 3	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
7-8	Kostenverdeling	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
7-9	Kosten per verbetervak	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
7-10	Kosten per/m per vak	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]
7-11	Kostenvergelijking	Ontwerp Dubbele Wiericke [11]

Bijlage 1

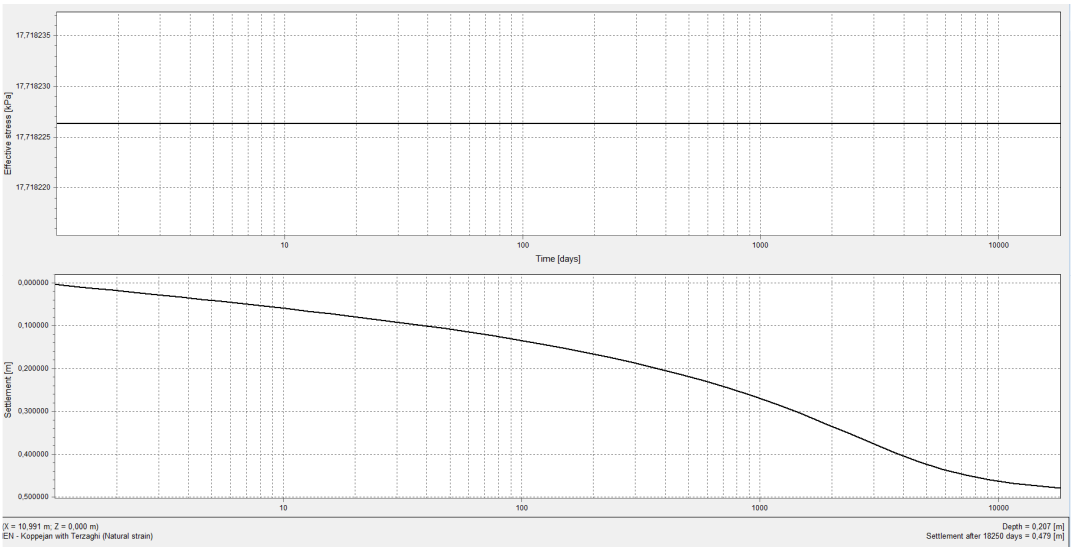
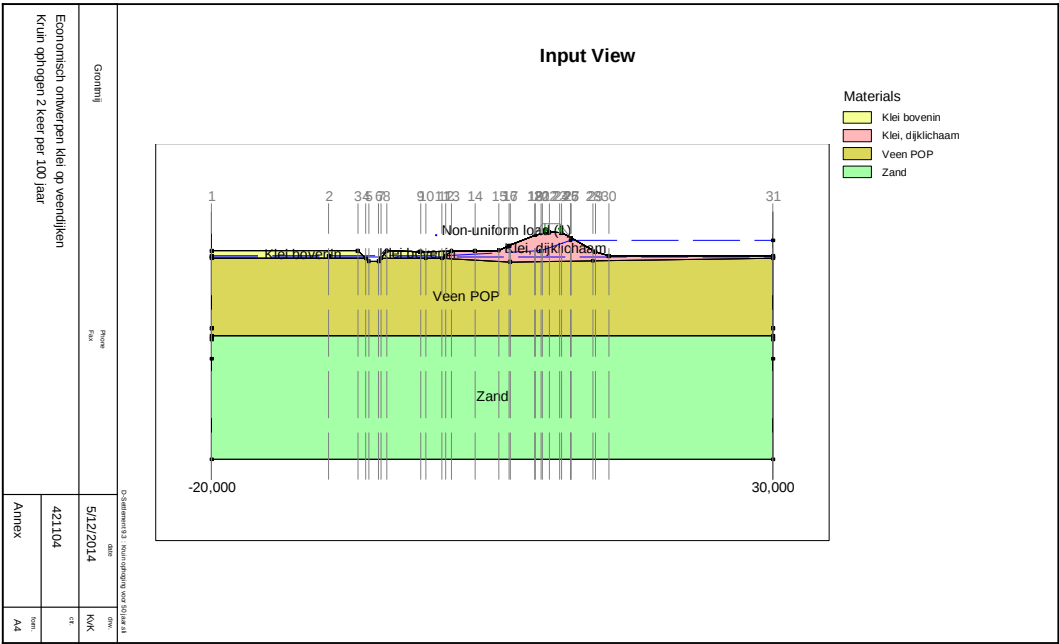
Zettingsberekeningen

Kruin ophogen 1 keer per 100 jaar



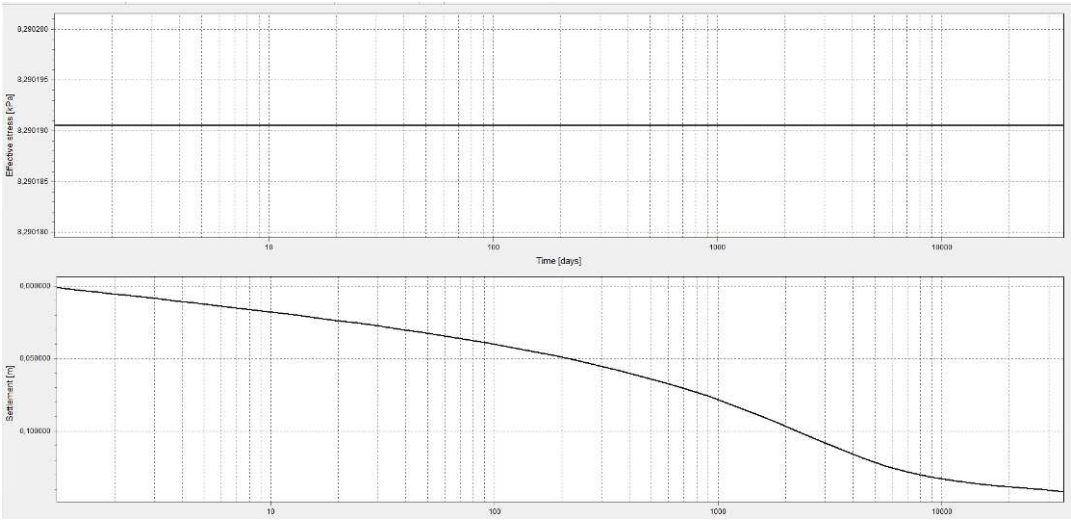
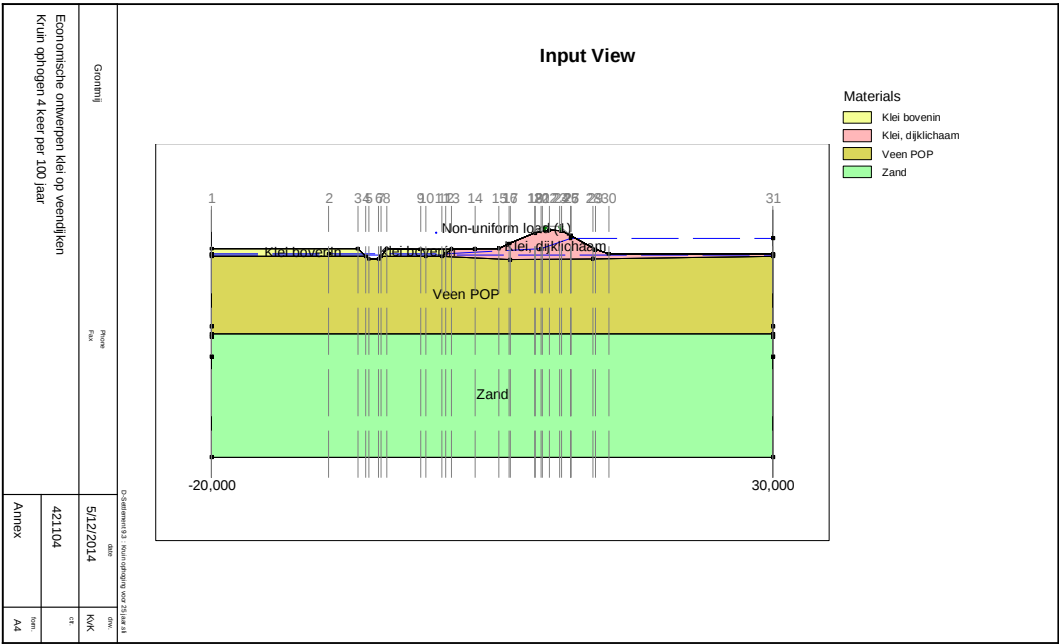
Totale zetting als gevolg van ophogen over 100 jaar = 1,179 m

Kruin ophogen 2 keer per 100 jaar



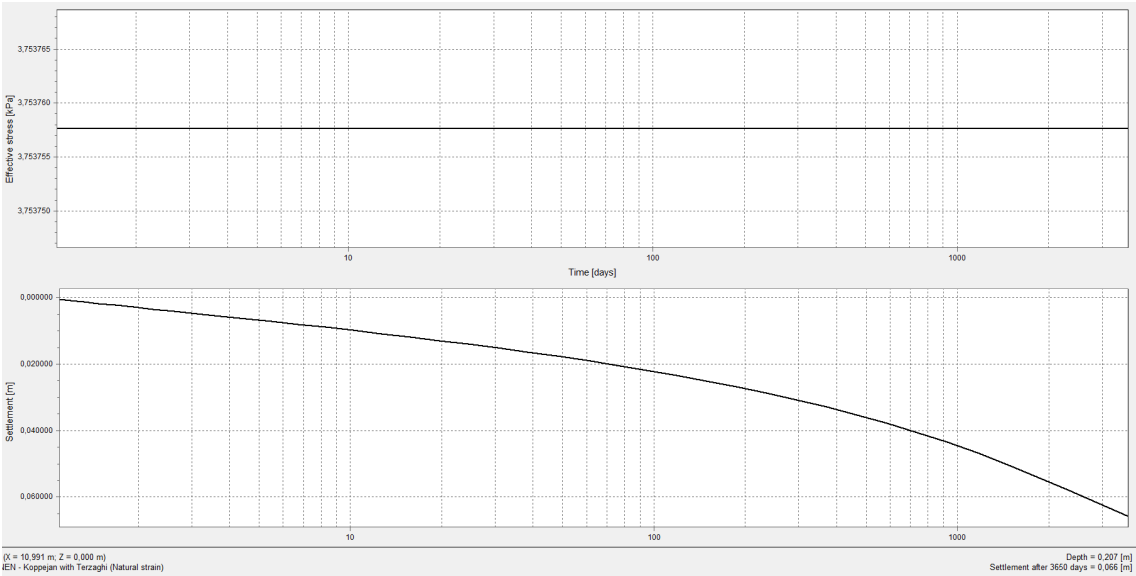
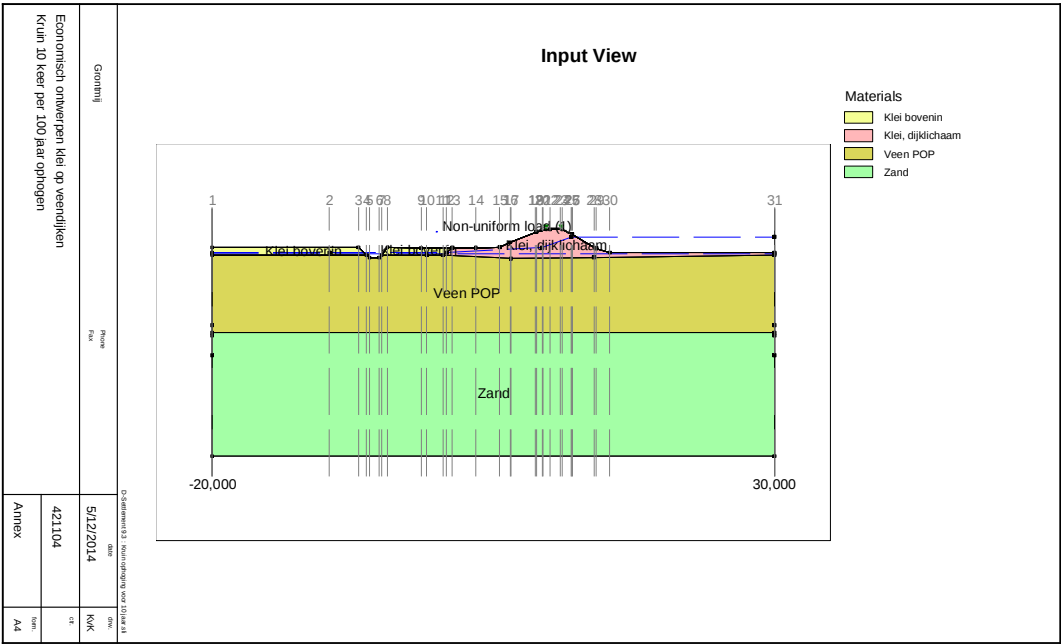
Totale zetting als gevolg van ophogen over 100 jaar = $2 \times 0,479 \text{ m} = 0,95 \text{ m}$

Kruin ophogen 4 keer per 100 jaar



Totale zetting als gevolg van ophogen over 100 jaar = $4 \times 0,185 \text{ m} = 0,74 \text{ m}$

Kruin ophogen 10 keer per 100 jaar



Totale zetting als gevolg van ophogen over 100 jaar = $10 \times 0,066 \text{ m} = 0,66 \text{ m}$

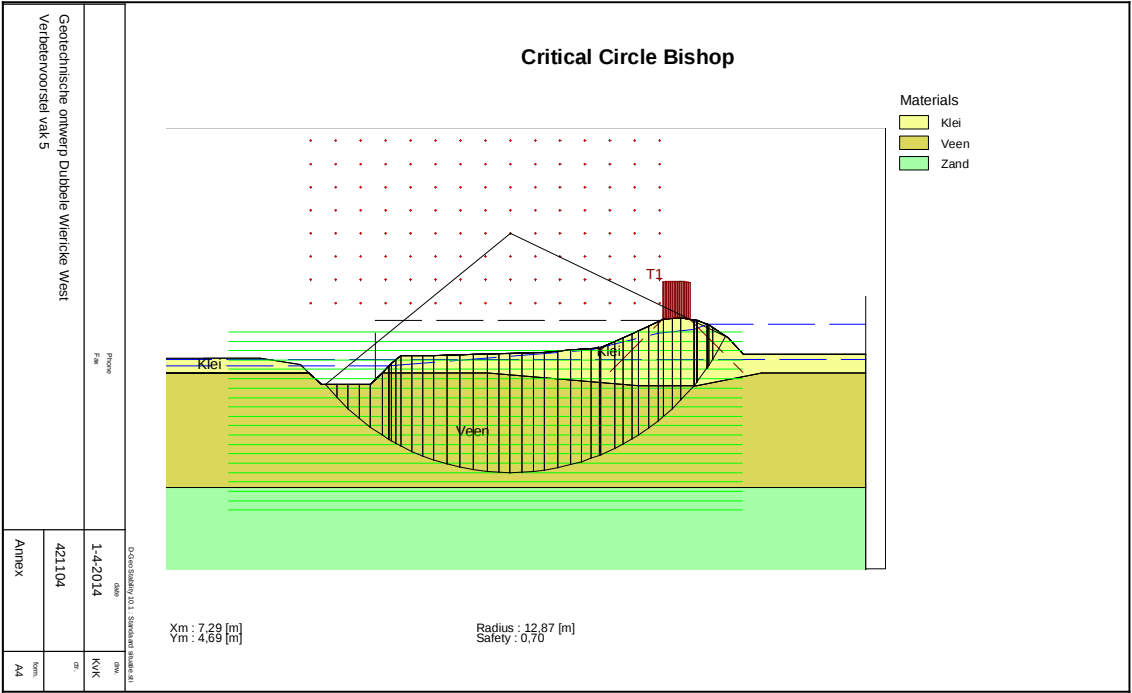
Bijlage 2

Analyse macrostabiliteit

Standaard

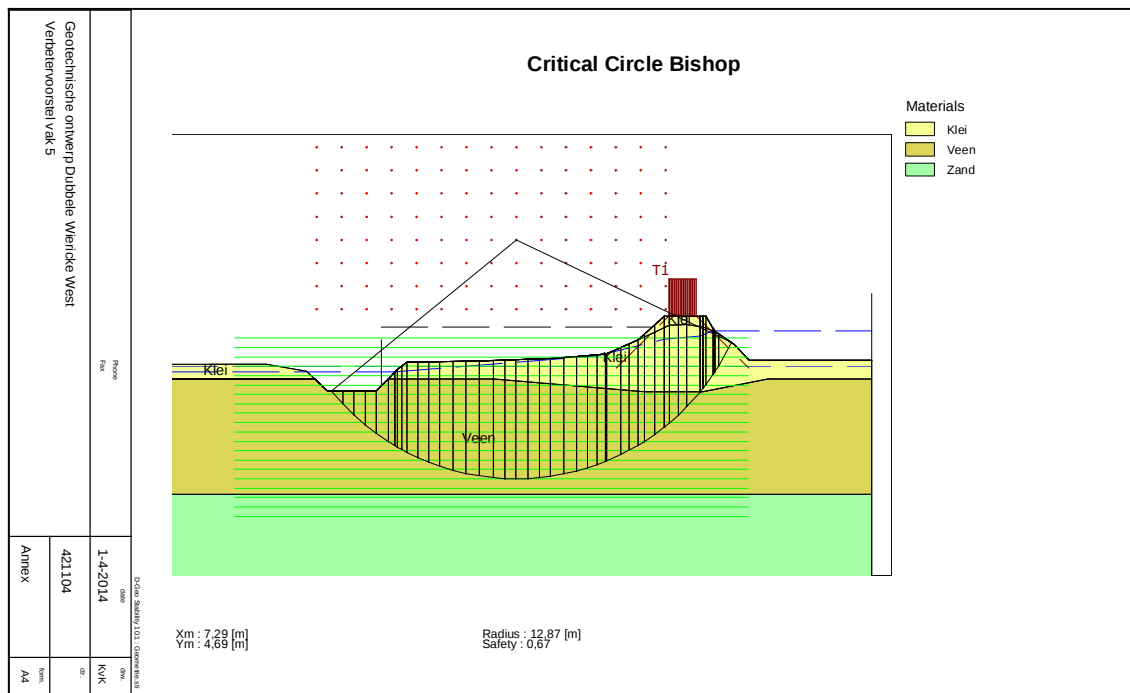
Grondsoort	γ_d / γ_n [kN/m ³]	c'_d [kN/m ²]	ϕ'_d [°]
Ophoogmateriaal (klei)	17,0	1,7	19,8
Klei	15,2	2,5	19,8
Veen	10,5	0,8	16,0
Zand	18,0 / 20,0	0	26,7

γ_d aardvochtig volumiek gewicht;
 γ_n volledig verzadigd volumiek gewicht;
 c'_d rekenwaarde van de effectieve cohesie, bepaald bij 2% rek;
 ϕ'_d rekenwaarde van effectieve hoek van inwendige wrijving, bepaald bij 2% rek;



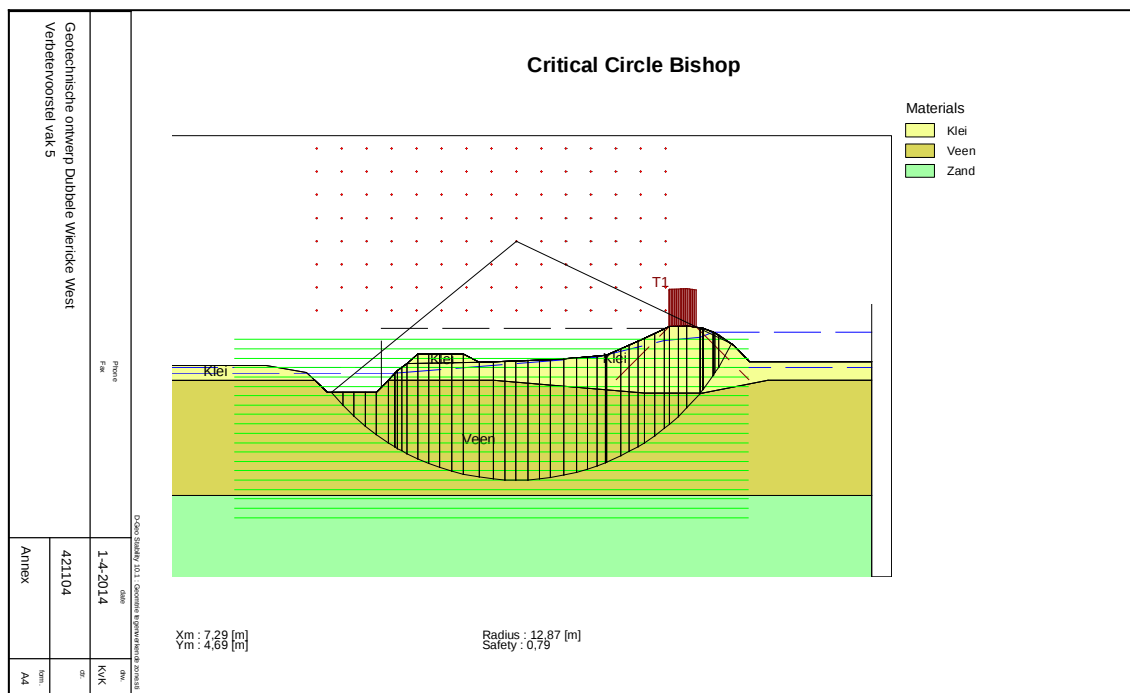
Geometrie

Aanpassing geometrie door een ophoging van 50 cm aan te brengen in aandrijvende zone. Het resultaat hiervan is dat de veiligheidsfactor 0,3 naar beneden gaat.



Aanpassing geometrie door een ophoging van 50 cm aan te brengen in de tegenwerkende zone.

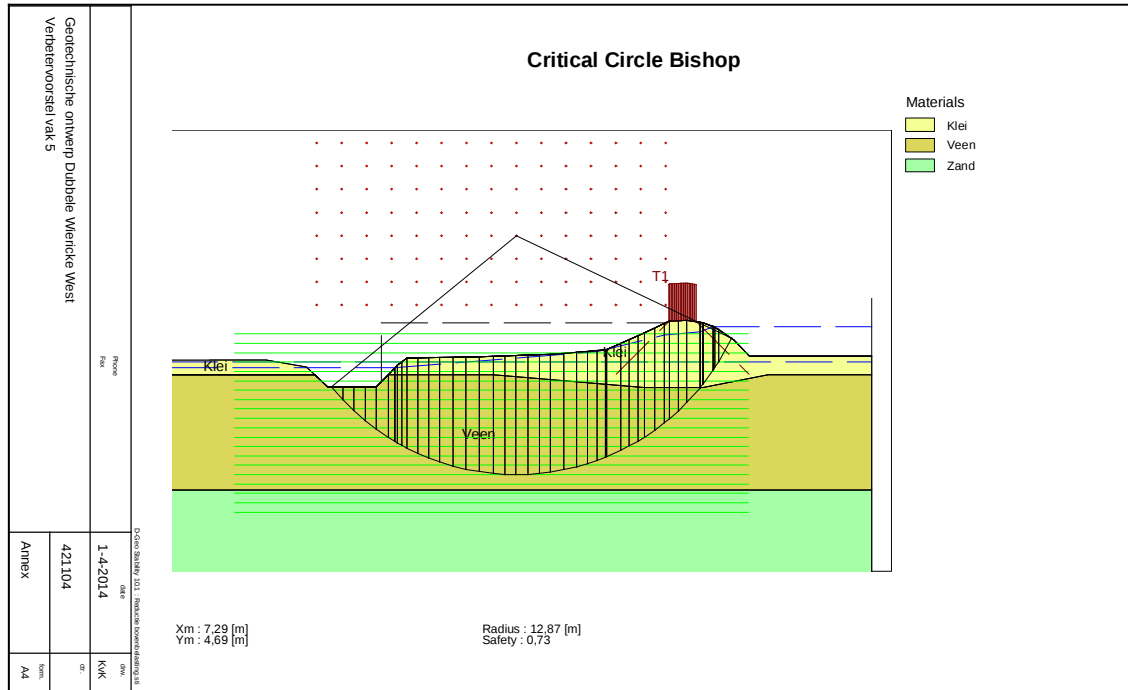
Het resultaat hiervan is dat de veiligheidsfactor 0,09 omhoog gaat.



Bovenbelasting

Standaard dient er conform de leidraad toetsen [1] een bovenbelasting van 13,3 kN/m² aangehouden te worden. In het addendum op de leidraad [2] staat omschreven hoe er onder bepaalde omstandigheden een reductie op de bovenbelasting toegepast kan worden. Indien het fysiek voor zwaar verkeer niet mogelijk is om op de kade te komen, mag er een bovenbelasting van 5kN/m² in rekening gebracht worden.

Het resultaat hiervan is dat de veiligheidsfactor 0,03 omhoog gaat



Freatische lijn

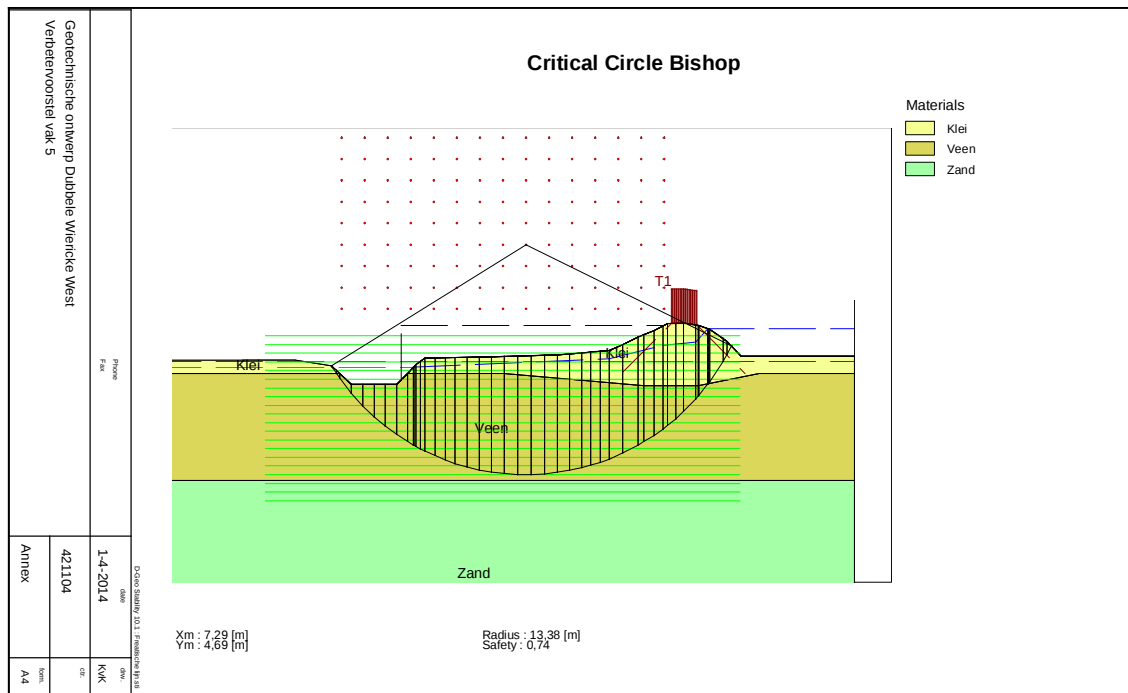
De freatische lijn heeft een grote invloed op de korrelspanning.

korrelspanning = grondspanning - waterspanning

$$\sigma_{korrel} = \sigma_{grond} - p$$

Een hoge korrelspanning leidt tot een hoge τ wat weer een hoog stabiliserend moment geeft.

In de onderstaande berekening is de freatische lijn met 0,5 m verlaagd. Het resultaat hiervan is dat de veiligheidsfactor met 0,04 omhoog is gegaan.

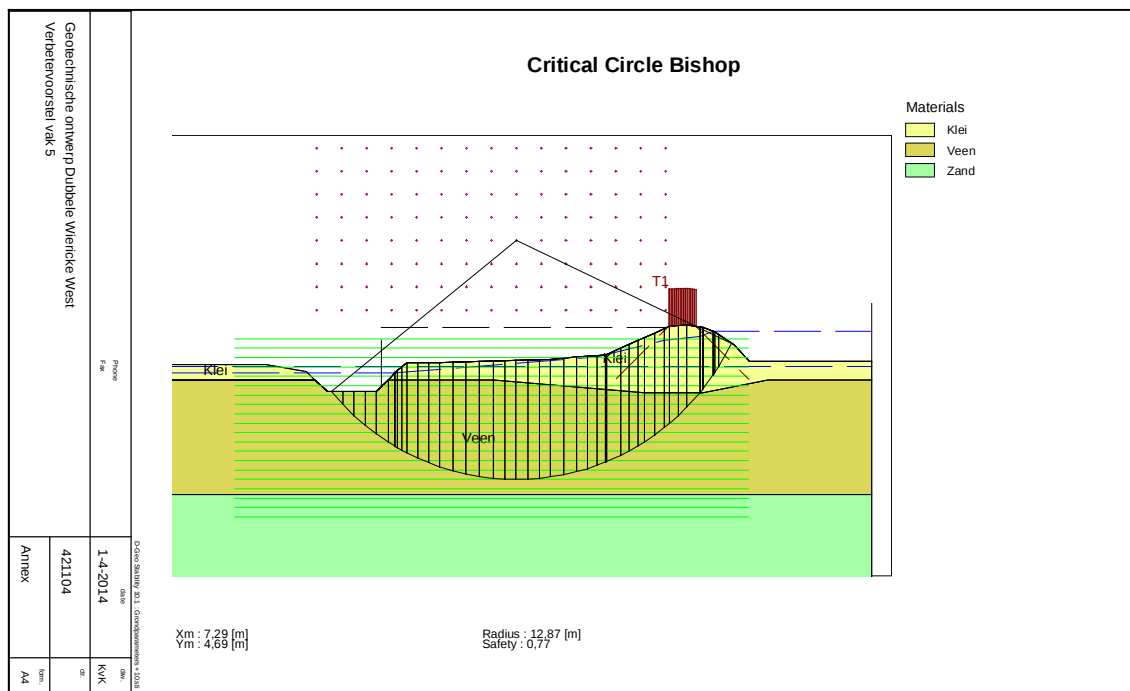


Grondparameters

De grondparameters spelen een rol bij de wrijving langs het glijvlak. Hogere sterkteparameters leiden tot een hogere weerstand wat weer leidt tot een groter stabiliserend moment.

In de onderstaande berekening zijn de grondparameters met 10% verhoogd. Het resultaat is dat de veiligheidsfactor 0,07 (10%) omhoog is gegaan.

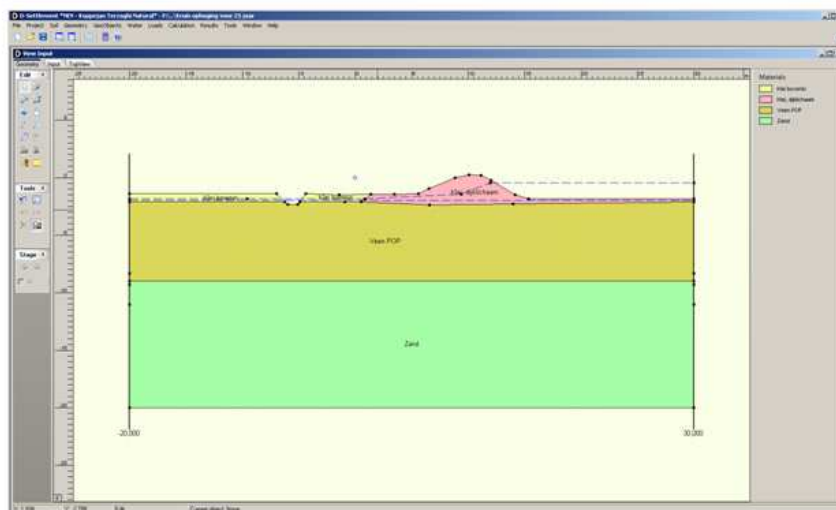
Grondsoort	C'_d [kN/m ²]	+10%	ϕ'_d [°]	+10%
Ophoogmateriaal (klei)	1,7	1,87	19,8	21,78
Klei	2,5	2,75	19,8	21,78
Veen	0,8	0,88	16,0	17,6
Zand	0	0	26,7	29,37



Bijlage 3

Ophoogstrategie

Stap 1 Schematisatie standaardprofiel in D-Settlement



Tabel Rekenwaarden samendrukkingsparameters Dubbele Wiericke

Grondsoort	C_p	C_p'	C_s	C_s'	c_v	Bepaald volgens
	[-]	[-]	[-]	[-]	[m ² /s]	
Dijklichaam	22,67	8,98	135,18	71,86	5,00E-08	LAB
Klei	66,62	16,14	383,82	99,54	5,00E-08	LAB
Veen	29,11	4,76	208,76	25,97	5,00E-07	LAB
Pleistoceen zand	∞	∞	∞	∞	1,00E-02	NEN

C_p primaire samendrukkingconstante voor de grensspanning;
 C_p' primaire samendrukkingconstante na de grensspanning;
 C_s secundaire samendrukkingconstante voor de grensspanning;
 C_s' secundaire samendrukkingconstante na de grensspanning;
 c_v consolidatiecoëfficiënt.

Stap 2 Bepaling bodemdaling als gevolg van oxidatie en tektonische kanteling per variant

Varaint	Klink oxidatie [m]	Tektonische beweging [m]	Totaal [m]
1 ophoging /100 jaar	0,66	0,33	0,99
2 ophogingen /100 jaar	0,33	0,17	0,50
4 ophogingen /100 jaar	0,17	0,08	0,25
10 ophogingen /100 jaar	0,07	0,03	0,10

Stap 3 D-Settlement berekening met Maintain profile

Voor de bepaling van de zetting als gevolg van de ophoging is een D-Settlement berekening gemaakt.

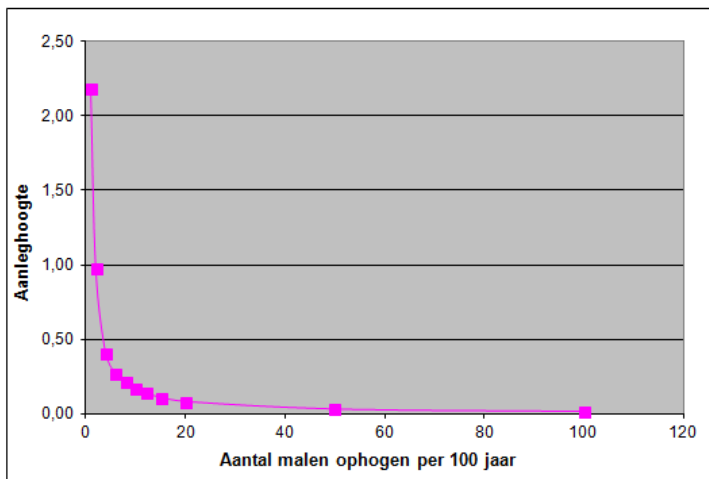
Variaant	Zetting als van ophoging [m]
1 ophoging /100 jaar	1,20
2 ophogingen /100 jaar	0,49
4 ophogingen /100 jaar	0,16
10 ophogingen /100 jaar	0,07

Stap 4 Bepaling kubiekemeters klei voor de ophoging per variant per 100 jaar

$$m3 = (\text{Overhoogte} * \text{Overhoogte} * 2) + (\text{Overhoogte} * 3,5)$$

Overhoogte = totale zetting = oxidatie + tektonische kanteling + zetting als gevolg van de ophoging

Variaant ophogingen/ 100 jaar	Overhoogte	M3
1	2,19	12,88
2	0,99	3,42
4	0,41	0,94
6	0,27	0,56
8	0,22	0,43
10	0,17	0,31
12	0,14	0,25
15	0,11	0,19
20	0,08	0,14
50	0,03	0,05
100	0,02	0,03



Stap 5	Bepaling kosten/100 jaar/ variant
---------------	--

kosten = ((m3 klei * kosten per m3))+ project kosten) * aantal ophoogslagen

Lengte strekking	5000 m
Project kosten	€ 11
Kosten m3 klei	€ 28

Projectkosten

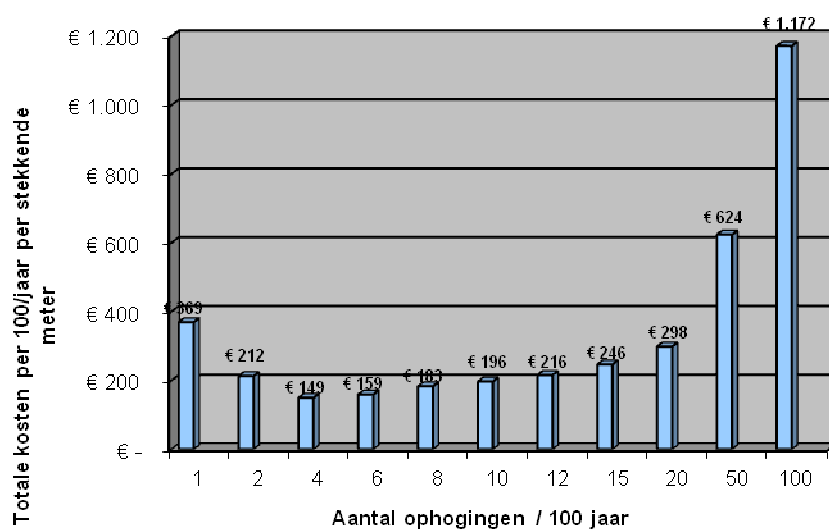
Onderdeel	€
Sudie ontwerp bestek	€ 20.000
Directievoering na zorg	€ 35.000

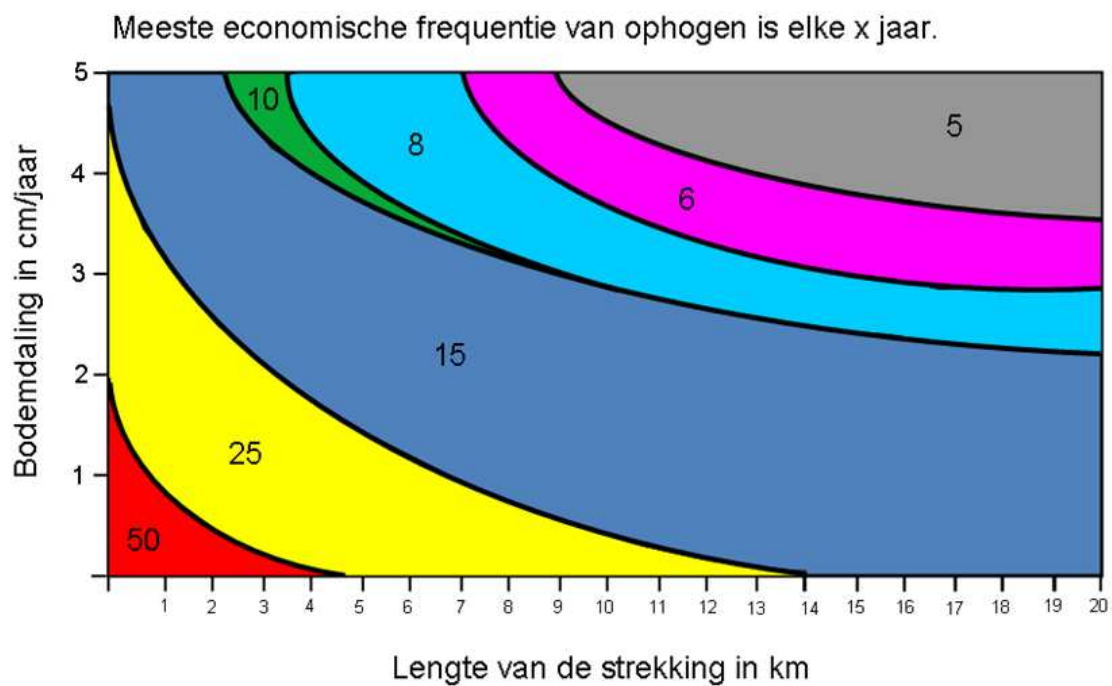
Kosten m3 klei verwerkt in het werk

Onderdeek	€	Eenheid
Frezen	€ 0,5	are
Grond verwerking in kruin	€ 2,5	m
Verdichten grond	€ 0,5	m
Leveren grond CAT1	€ 22,5	m3
Zaaien	€ 0,5	are
Stelpost uitvoering	5	%
	€ 27,8	

Totale kosten per variant per 100 jaar

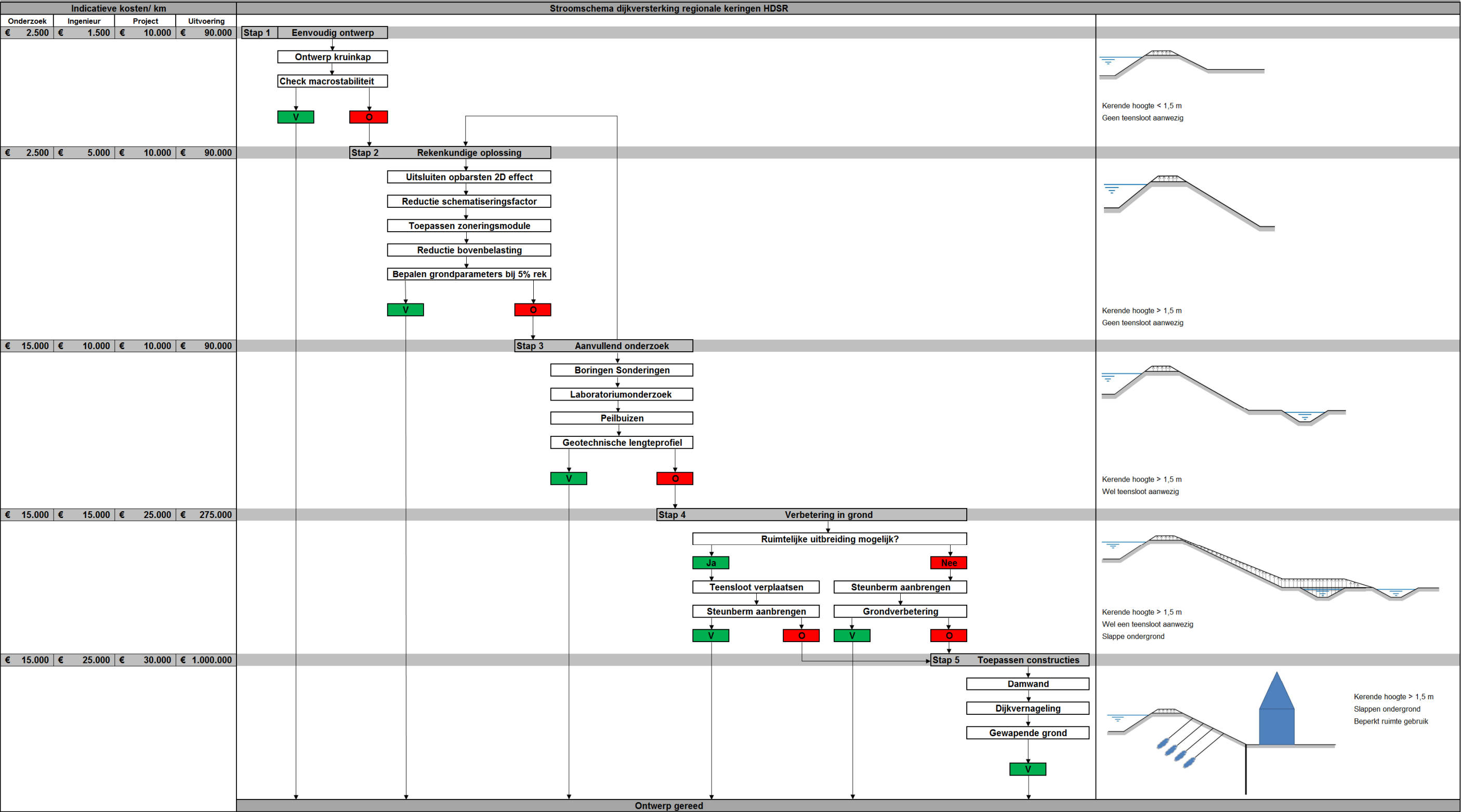
Varaint ophogingen/ 100 jaar	Totale kosten / 100 jaar
1	€ 369
2	€ 212
4	€ 149
6	€ 159
8	€ 183
10	€ 196
12	€ 216
15	€ 246
20	€ 298
50	€ 624
100	€ 1.172





Bijlage 4

Stroomschema macrostabiliteit



Bijlage 5

Kostenonderbouwing bij stroomschema

	Onderzoek				Ingenieur				Project		Uitvoering	
	Onderdeel	Stuks prijs	Aantal	Totaal	Onderdeel	Aantal uur	Tarief/uur	Totaal	Onderdeel	Totaal	Onderdeel	Totaal
Stap 1	Klickmelding	€ 150	1	€ 150	Inspectie	3	€ 85	€ 255	Interne/externe afstemming	€ 5.000	Grondaankoop	€ -
	Boring	€ 280	2	€ 560	Aansturen veldwerk	3	€ 85	€ 255	Opstellen Bestek	€ 1.500	Aannemerskosten	€ 90.000
	Sondering	€ 145	1	€ 145	Ontwerpen	4	€ 85	€ 340	Aanbesteden	€ 1.000		
	Landmeten	€ 80	20	€ 1.600	Tekenwerk	2	€ 85	€ 170	Directievoering	€ 2.500		
					Opstellen rapportage	4	€ 85	€ 340				
	Subtotaal			€ 2.455	Subtotaal			€ 1.360	Subtotaal	€ 10.000	Subtotaal	€ 90.000
Stap 2					Uitsluiten opbarsten	8	€ 85	680	Interne/externe afstemming	€ 5.000	Grondaankoop	€ -
					Reductie schematiseringsfactor	8	€ 85	680	Opstellen Bestek	€ 1.500	Aannemerskosten	€ 90.000
					Bereken met zonering	4	€ 85	340	Aanbesteden	€ 1.000		
					Reductie bovenbelasting	4	€ 86	344	Directievoering	€ 2.500		
					Bepalen grondparameters bij 5% rek	16	€ 87	1392				
					Totaal			€ 3.436				
	Subtotaal			€ 2.455	Subtotaal			€ 4.796		€ 10.000	Subtotaal	€ 90.000
Stap 3	Boring	€ 280	8	2240	Opstellen veldwerkplan	8	€ 85	680	Interne/externe afstemming	€ 5.000	Grondaankoop	€ -
	Sondering	€ 145	2	290	Aansturen veldonderzoek	4	€ 85	340	Opstellen Bestek	€ 1.500	Aannemerskosten	€ 90.000
	Monstername	€ 30	20	600	Opstellen labopdracht	4	€ 85	340	Aanbesteden	€ 1.000		
	Triaxiaalproef CAUc	€ 350	14	4900	Analyseren gegevens	18	€ 85	1530	Directievoering	€ 2.500		
	DSS proef	€ 225	7	1575	Aanpassen berekeningen	18	€ 85	1530				
	Samendrukkingsproef	€ 220	7	1540								
	Peilbuizen inclusief opname	€ 60	4	240								
	Geotechnische lengteprofiel	€ 750	1	750								
	Totaal			12135	Totaal			€ 4.420				
	Subtotaal			€ 14.590	Subtotaal			€ 9.216		€ 10.000	Subtotaal	€ 90.000
Stap 4					Uitvoeringsstabiliteit	32	€ 85	€ 2.720	Interne/externe afstemming	€ 15.000	Grondaankoop	€ 25.000
					Fasering opstellen	16	€ 85	€ 1.360	Opstellen Bestek	€ 2.500	Aannemerskosten	€ 250.000
					Monitoring wateroverspanning	40	€ 85	€ 3.400	Aanbesteden	€ 2.500		
									Directievoering	€ 5.000		
					Totaal			€ 7.480				
	Subtotaal			€ 14.590	Subtotaal			€ 16.696		€ 25.000	Subtotaal	€ 275.000
Stap 5					Ontwerp	40	85	3400	Interne/externe afstemming	€ 15.000	Grondaankoop	€ -
					Uitvoeringsplan	16	85	1360	Opstellen Bestek	€ 2.500	Aannemerskosten	€ 1.000.000
					Begeleiden uitvoering	40	85	3400	Aanbesteden	€ 2.500		
									Directievoering	€ 10.000		
					Totaal			€ 8.160				
	Subtotaal			€ 14.590	Subtotaal			€ 24.856		€ 30.000	Subtotaal	€ 1.000.000

De kostenraming is opgesteld op basis van inschrijfprijzen van aannemers uit 2013 voor dijkversterkingen van typische klei op veen dijken en zijn exclusief btw. De kosten zijn cumulatief weergegeven, dit wil zeggen dat de kosten bij stap 2 inclusief de kosten van stap 1 zijn enz.

Bijlage 6

Onderbouwing rekenkundige optimalisatie

Bepaling invloed rekenkundige aanscherping op verbetermaatregel

0	Standaard schematisatie
1	Opbarsten teensloot aannemen
2	Schematiseringsfactor 1,2
3	Geen zonering toegepast
4	Bovenbelasting 13,3 kN/m ²
5	Sterkte bepaling grondparameters bij 2% en 5% rek

0	Geoptimaliseerde schematisatie
1	Uitsluiten opbarsten met 2D effect TRWD
2	Gereduceerde schematiseringsfactor 1,05
3	Zonering toepassen in berekening
4	Bovenbelasting reduceren van 13,3 naar 5 kN/m ²
5	Sterkte parameters bepalen bij 5% voor klei en 15% rek voor veen

Kosten versterken dijklichaam	
Frezen	€ 0,50
Aanvoer klei /m ³	€ 20,00
Grondontgraven	€ 1,00
Verwerken klei	€ 2,00
Verdichten	€ 1,50
Afwerken	€ 1,50
In zaaien	€ 0,50
Totaal €/m³	€ 27,00

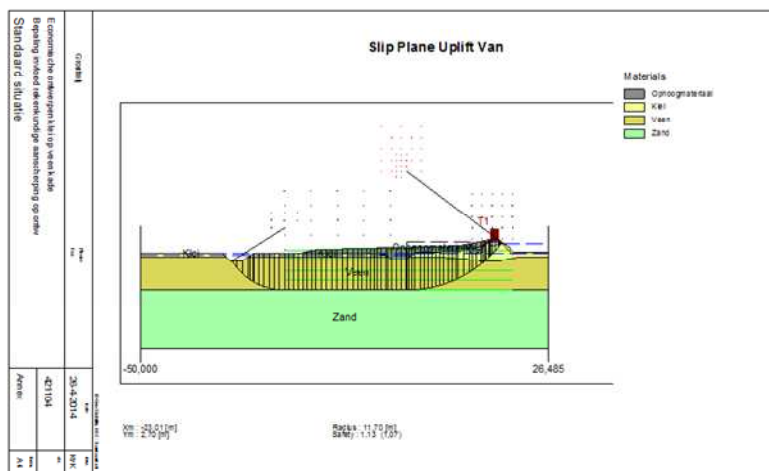
Grondprijs	
Grondprijs m ²	5
Juridische/project kosten m ²	5
Kosten grondaankoop /m²	€ 10

0 Ontwerp waarbij geen enkele optimalisatie is toegepast

Er is gerekend met de methode Uplift Van omdat opbarsten niet is uitgesloten.

De vereiste veiligheid = 0,90 (bij IPO III) * 1,05 (bij model Uplift) * 1,20 (standaard schematiseringsfactor) = 1,13

Grondaankoop [m ² /m]	30,5
Benodigde hoeveelheid klei [m ³ /m]	40



1 Uitsluiten opbarsten 2D-effect

Opbarsten kan uitgesloten worden als de opbarstveiligheid kleiner is dan 1,1. De opbarstveiligheid wordt als volgt berekend.

Opbarstveiligheid = Neerwaartsedruk / Opwaartsedruk

Standaard opbarstberekening

Opwaartsedruk = (Onderkantdeklaag + stijghoogte 1ste watervoerendpakket) * soortelijk gewicht van water
 = $(-9 + 2,1) * 10 = 69 \text{ kN/m}^2$

Neerwaartsedruk = gewicht van deklaag tot onderkant teenslootbodern + gewicht water teensloot
 = $(5,51 * 10,5) + 10 * 1,29 = 57,85 + 12,9 = 70,76 \text{ kN/m}^2$

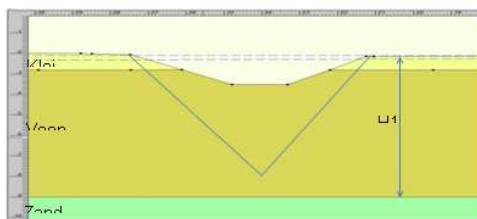
70,76/69 = 1,03

Voldoet niet

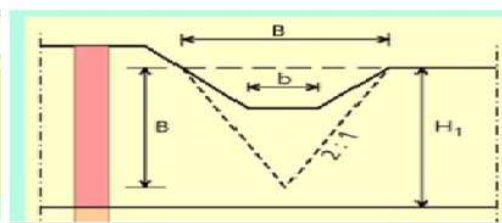
Aanscherping

In het Technische Rapport Wateroverspanningen bij Dijken TRWD [7] is de 2D methode omschreven om de neerwaartsedruk te vergroten. Kort gezegd komt het erop neer dat bij bepaalde afmetingen van de teenslootbodern en deklaag de volledige deklaag tot maaiveld meegerekend mag worden. In de standaard situatie wordt de neerwaartsedruk vanaf de teenslootbodern berekend.

Teensloot



2D effect Technische rapport waterspanningen bij dijken



Opwaartsedruk = (Onderkantdeklaag + stijghoogte 1ste watervoerendpakket) * soortelijk gewicht van water = $(-9 + 2,1) * 10 = 69 \text{ kN/m}^2$
 Neerwaartsedruk = optelsom gewicht deklaag = $(6,16 * 10,5) + (0,82 * 15,2) = 77,14 \text{ kN/m}^2$

Opbarstveiligheid = Neerwaartsedruk / opwaartsedruk = $77,14 / 69 = 1,12$

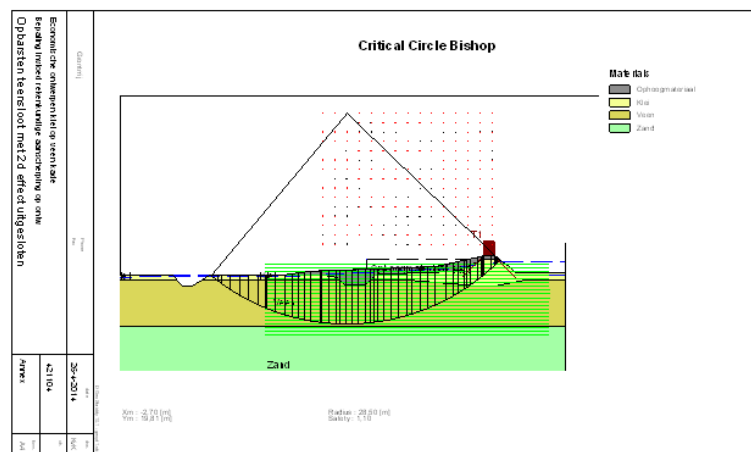
De opbarstveiligheid > 1,1

Voldoet

Doordat opbarsten is uitgesloten dient er alleen een berekening met de methode Bishop gemaakt te worden

De vereiste veiligheid = $0,90$ (bij IPO III) * $1,0$ (bij glijcirkelanalyse model Bishop) * $1,20$ (standaard schematiseringsfactor) = $1,08$

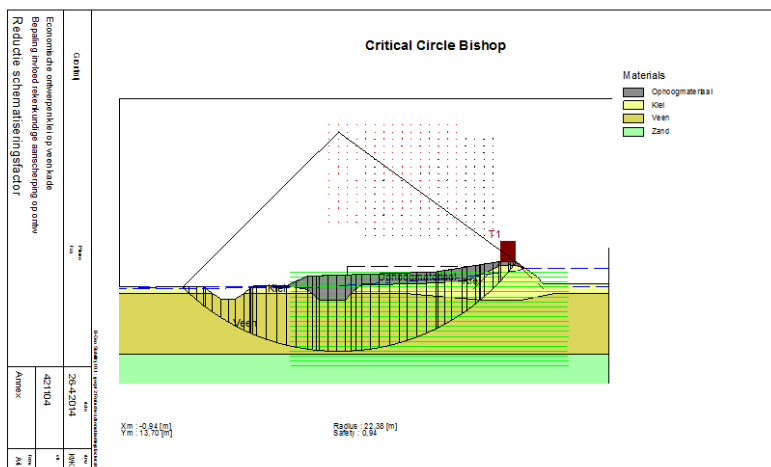
Grondaankoop [m2/m]	22
Benodigde hoeveelheid klei [m3/m]	22



2 Reductie schematiseringsfactor

Met behulp van de rekensheet van www.helpdeskwater.nl is de schematiseringsfactor gereduceerd.
De vereiste veiligheid is $0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 0,95$

Grondaankoop [m ² /m]	10,5
Benodigde hoeveelheid klei [m ³ /m]	15



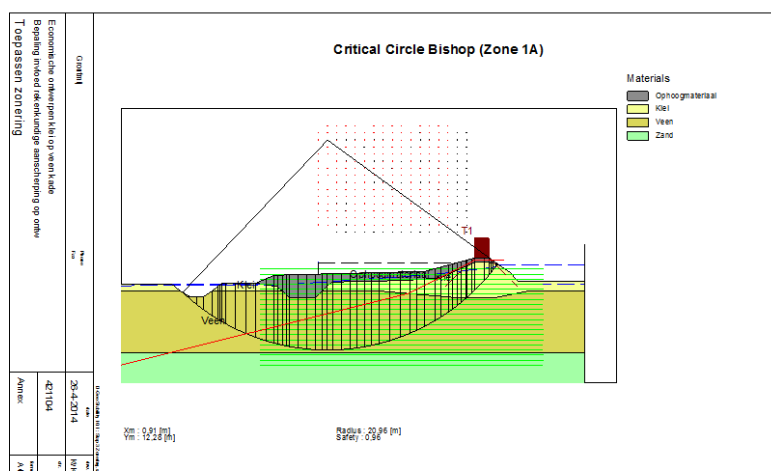
3 Toepassen zonering module D-Geostability

Het softwareprogramma D-Geostability heeft een module waarbij de stabiliteit van de waterkerende kern van de dijk berekend kan worden. Dit wordt de zone 1A genoemd. Deze zone dient aan de voorgeschreven stabiliteits factor te voldoen.

In het onderstaande figuur is de zone 1A met een rode lijn weergegeven.

Grondaankoop [m ² /m]	10,5
Benodigde hoeveelheid klei [m ³ /m]	12

De vereiste veiligheid is $0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 0,95$

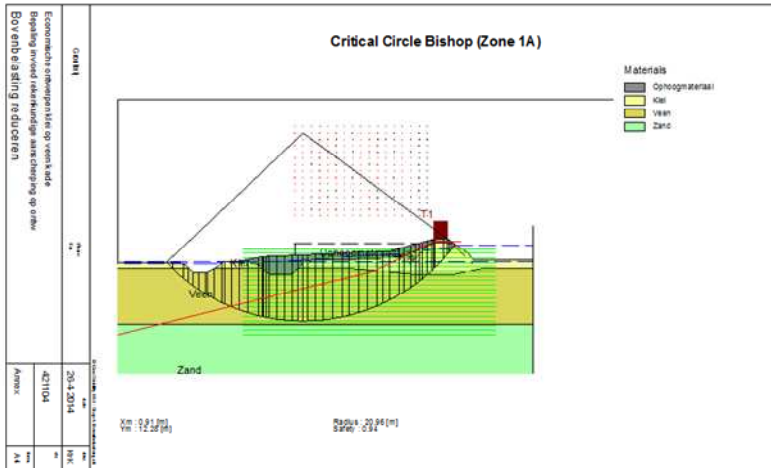


4 Reductie bovenbelasting

Standaard dient er conform de leidraad toetsen [1] een bovenbelasting van 13,3 kN/m² aangehouden te worden. In het addendum [2] staat omschreven dat er in bepaalde situaties van afgeweken mag worden. Voor groene kade zonder een weg erop mag een bovenbelasting van 5kN/m² aangehouden worden met een spreiding van 45 graden.

Grondaankoop [m ² /m]	10,5
Benodigde hoeveelheid klei [m ³ /m]	10

De vereiste veiligheid is $0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 0,95$

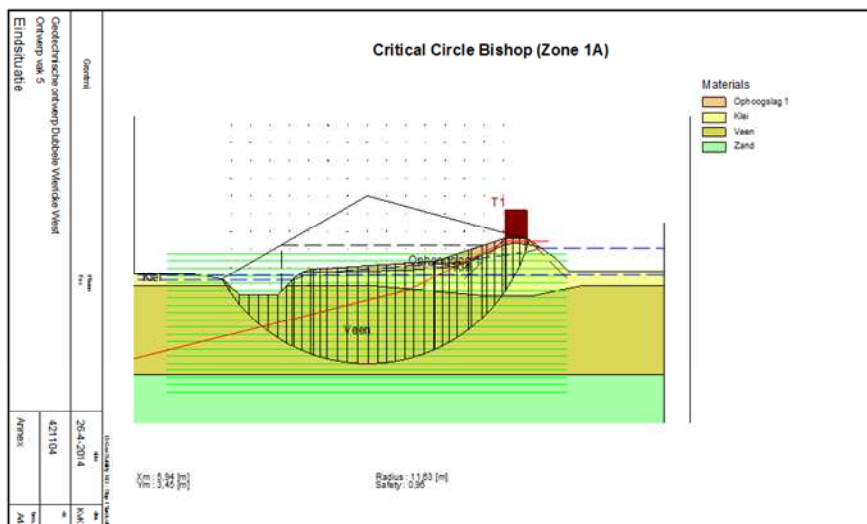


5 Bepalen grondparameters bij 5% rek

	Rek	Karakteristieke waarden		Materiaal factoren STOWA		Rekenwaarden STOWA	
		ϕ'_{kar}	c_{kar}	ϕ'_{kar}	c_{kar}	ϕ'_d	c'_d
Klei	2%	21,84	2,21	1,15	1,2	19,2	1,84
Veen	5%	13,85	1,21	1,15	1,35	12,1	0,9
Klei	5%	30,26	4,25	1,15	1,2	26,9	3,54
Veen	15%	21,7	1,52	1,15	1,35	19,1	1,13

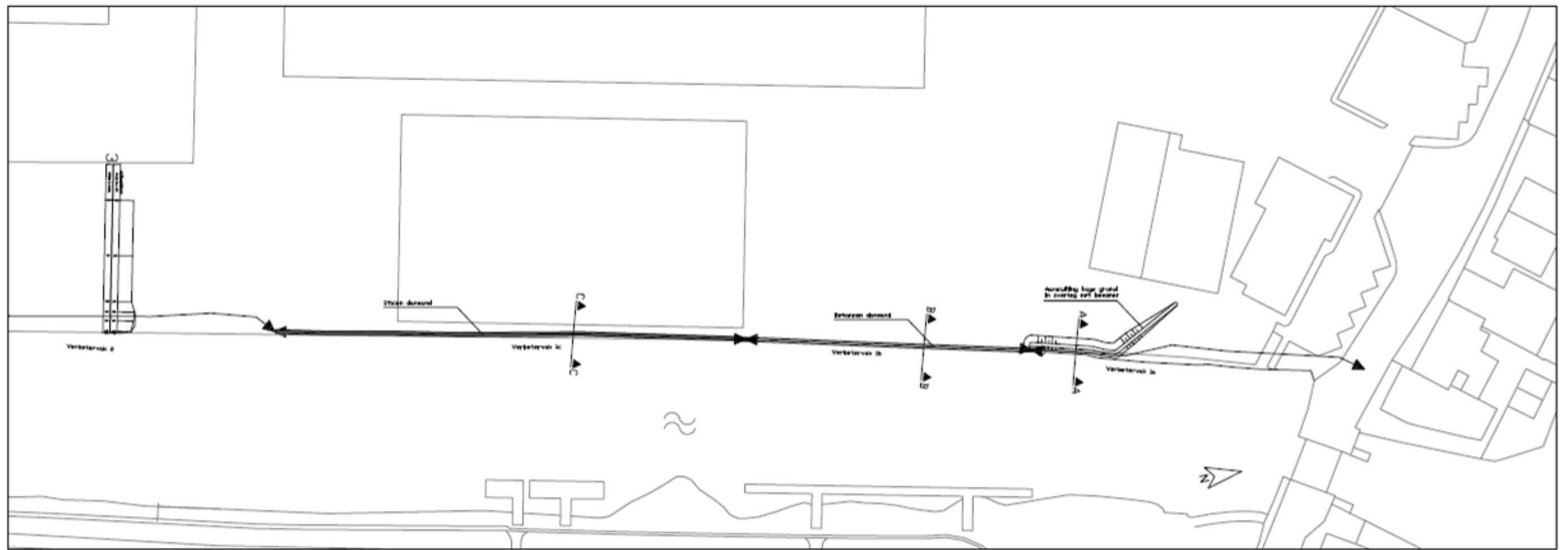
Grondaankoop [m ² /m]	0
Benodigde hoeveelheid klei [m ³ /m]	10

De vereiste veiligheid is $0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 0,95$

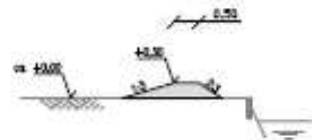


Bijlage 7

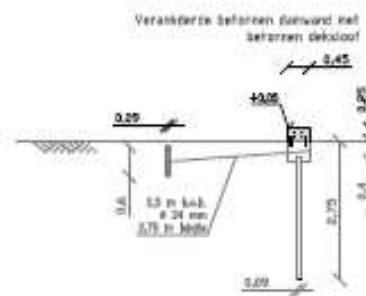
Ontwerptekeningen



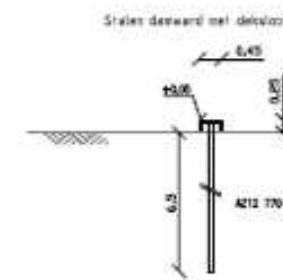
Overzichtstekening
schaal 1:200



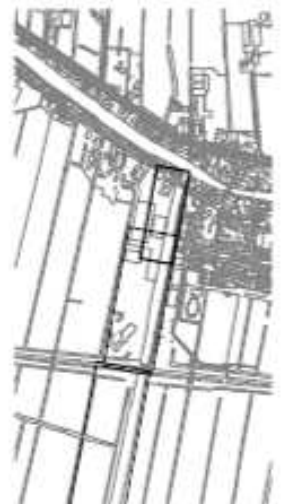
A-A Tuimelkade
schaal 1:50



B-B Betonnen damwand
schaal 1:50



C-C Stalen damwand
schaal 1:50



Bijlage 8

Kostenraming Dubbele Wiericke

Kostenraming Dijkversterking Dubbele Wiericke West

Omschrijving

Het doel van de kostenraming is om een eerste inschatting te maken van de uitvoeringskosten. De kostenraming is gebaseerd op prijzen van soortgelijke werken uit 2013.

Kosten versterken dijklichaam

Frezen	€	0,50
Aanvoer klei /m ³	€	20,00
Grondontgraven	€	1,00
Verwerken klei	€	2,00
Verdichten	€	1,50
Afwerken	€	1,50
In zaaien	€	0,50
Totaal €/m³	€	27,00

Projectkosten

Intern/extreme afstemming	€	12.500
Bestek	€	15.000
Aanbesteding	€	7.500
Directievoering	€	30.000
Totaal	€	65.000
Totale lengte	€	5.500
Projectkosten €/m	€	12
Opslag constructies €/m	€	100

Oeverconstructie

Beschoeiing paal-plank inclusief gording en geotextiel	€	100
--	---	-----

Vak 1

Lengte		154
Oeverbeschoeiing (47,5 m)	€	4.750
Aansluiting op betonnendamwand	€	2.000
Betonendamwand ophogen	€	7.762
Stalendamwand	€	53.826
Projectkosten	€	11.928
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	80.266

Vak 2

Lengte		276
m ³ klei benodigd		428,08
Projectkosten	€	3.262
Oeverconstructie (138 m)	€	13.800
Versterken dijklichaam	€	11.558
Geschatte kosten per m	€	104
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	28.620

Vak 3

Lengte		1060
m ³ klei benodigd		4489,10
Projectkosten	€	12.527
Oeverconstructie	€	-
Versterken dijklichaam	€	121.206
Geschatte kosten per m	€	126
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	133.733

Vak 4

Lengte		17
m ³ klei benodigd		30,29
Projectkosten	€	201
Oeverconstructie	€	-
Versterken dijklichaam	€	818
Geschatte kosten per m	€	60
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	1.019

Vak 5

Lengte		2000
m ³ klei benodigd		21120,00
Projectkosten	€	23.636
Oeverconstructie (100 m)	€	10.000
Versterken dijklichaam	€	570.240
Geschatte kosten per m	€	302
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	603.876

Vak 6

Lengte		190
m ³ klei benodigd		313,50
Projectkosten	€	2.245
Oeverconstructie	€	19.000
Versterken dijklichaam	€	8.465
Geschatte kosten per m	€	156
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	29.710

Vak 8A

Lengte		30
m ³ klei benodigd		63,03
Projectkosten	€	3.000
Oeverconstructie	€	-
Versterken dijklichaam	€	1.702
Geschatte kosten per m	€	157
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	4.702

Vak 8B

Lengte		80
m ³ klei benodigd		167,2
Projectkosten	€	8.000
Schanskorf inclusief verwijderen blokken	€	40.000
Versterken dijklichaam	€	4.514
Geschatte kosten per m	€	656
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	52.514

Vak 8 C

Lengte		20
m ³ klei benodigd		28,38
Projectkosten	€	2.000
Oeverconstructie	€	-
Versterken dijklichaam	€	766
Geschatte kosten per m	€	138
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	2.766

Vak 9

Lengte		116,42
m ³ klei benodigd		146
Projectkosten	€	1.376
Oeverconstructie	€	-
Versterken dijklichaam	€	3.942
Geschatte kosten per m	€	46
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	5.318

Vak 10

Lengte		1500
m ³ klei benodigd		12870
Projectkosten	€	17.727
Oeverconstructie	€	20.000
Versterken dijklichaam	€	347.490
Geschatte kosten per m	€	257
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	385.217

Vak 11

Lengte		130
m ³ klei benodigd		122
Projectkosten	€	1.536
Oeverconstructie	€	-
Versterken dijklichaam	€	3.282
Geschatte kosten per m	€	37
Geschatte totale uitvoeringskosten	€	4.818

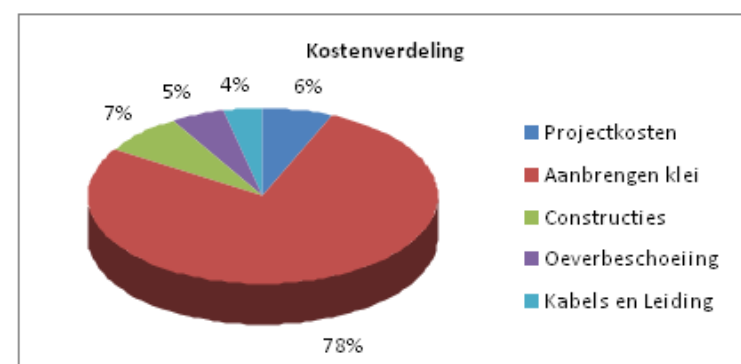
Verbetervak	Uitvoeringskosten
1	€ 80.266
2	€ 28.620
3	€ 133.733
4	€ 1.019
5	€ 603.876
6	€ 29.710
7	€ -
8A	€ 4.702
8B	€ 52.514
8C	€ 2.766
9	€ 5.318
10	€ 385.217
11	€ 4.818
Kabel & Leidingen	€ 50.000
Risico opslag	15%
Bouwwrente	5%
Subtotaal	€ 1.659.071

Geschatte m ³ klei	39777
-------------------------------	-------

Kosten aanbrengen oeverconstructie

Vak 1	47,5 m	€	4.750
Vak 2	138 m	€	13.800
Vak 5	100 m	€	10.000
Vak 6	190 m	€	19.000
Vak 10	200 m	€	20.000
Totaal	675,5 m	€	67.550

Onderdeel	Kosten
Projectkosten	€ 104.927
Aanbrengen klei	€ 1.288.779
Constructies	€ 124.305
Oeverbeschoeiing	€ 81.060
Kabels en Leiding	€ 60.000
	€ 1.659.071



Onderdeel : Kostenraming
 Opgesteld door : Koen van Korlaar
 Datum : 13-5-2014
 Versie : V1

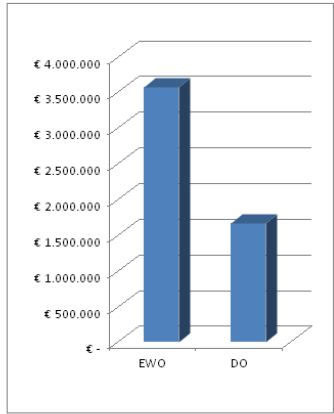
Verbetervak	Raming 5% rek
1	€ 80.266
2	€ 28.620
3	€ 133.733
4	€ 1.019
5	€ 603.876
6	€ 29.710
7	€ -
8A	€ 4.702
8B	€ 52.514
8C	€ 2.766
9	€ 5.318
10	€ 385.217
11	€ 4.818
Kabel & Leidingen	€ 50.000
Risco opslag	15%
Bouwrente	5%
Subtotaal	€ 1.659.071

Omschrijving
 Ontwerpen gebeurt van grof naar fijn. Om inzichtelijk te maken wat de behaalde winst is t.o.v. het EWO is er een inschatting gemaakt van de uitvoeringskosten van het EWO ontwerp.

Daarnaast is er een inschatting gemaakt van de uitvoeringskosten voor het ontwerp waarbij met 2% rek is gerekend.

Vervolgens zijn de uitvoeringskosten met elkaar vergeleken.

Tot slot is de vergelijking onderstaande grafiek weergegeven.



Verbetervak	EWO	Opmerking
1	€ 80.266	Niet beschoud in EWO
2	€ 28.620	
3	€ 633.274	Teensloot verpl. + grondverb.
4	€ 1.019	Niet beschoud in EWO
5	€ 1.463.476	Teensloot verpl. + grondverb.
6	€ 29.710	Niet beschoud in EWO
7	€ 5.000	Opstorten damwand
8A	€ 34.691	Construcite in buitalalud
8B	€ 92.509	Construcite in buitalalud
8C	€ 23.127	Construcite in buitalalud
9	€ 5.318	Niet beschoud in EWO
10	€ 523.727	Teensloot verpl. + grondverb.
11	€ 4.818	Niet beschoud in EWO
Kabel & Leidingen	€ 50.000	
Risco opslag	15%	
Bouwrente	5%	
Subtotaal	€ 3.570.666	

Extra kosten t.o.v. D.O.	€ 1.911.595
---------------------------------	--------------------

Grondverbetering €/m³	€ 25
-----------------------	------

Vak 3	
Lengte	1060
m³ klei benodigd	13.176
Grondaankoop	€ 92.750
Grondverbetering	€ 265.000
Projectkosten	€ 12.527
Oeverconstructie	€ -
Versterken dijkklaam	€ 355.747
Geschatte kosten per m	€ 120
Geschatte totale uitvoeringskosten	€ 633.274

Vak 5	
Lengte	2000
m³ klei benodigd	40920,00
Grondaankoop	€ 325.000
Grondverbetering	€ 250.000
Projectkosten	€ 23.636
Oeverconstructie (100 m)	€ 10.000
Versterken dijkklaam	€ 1.104.840
Geschatte kosten per m	€ 732
Geschatte totale uitvoeringskosten	€ 1.463.476

Vak 10	
Lengte	1500
m³ klei benodigd	18000
Grondverbetering	€ 112.500
Grondaankoop	€ 2250
Projectkosten	€ 17.727
Oeverconstructie	€ 20.000
Versterken dijkklaam	€ 486.000
Geschatte kosten per m	€ 349
Geschatte totale uitvoeringskosten	€ 523.727