

Tabel 3-1: Overzicht gebruikte gegevens onderzoek geometrie

Databron	Gebruik	Kwantiteit	Kwaliteit
Hoogtekaart (AHN-2), gecorrigeerd voor maaiveld	Hoogtes over dwarsprofiel	Per dwarsprofiel iedere 0,5 meter een hoogtepunt	Goed
Beheerregister: Bodemhoogte	Bodemhoogte polderwatergangen op basis van zomerpeil en aanname 1 meter diepte en talud 1:1,5	Aanvulling op AHN-2 op locaties van poldersloten	Gebaseerd op gangbare aannames
Legger watersysteem 2003 (hydrovakken)	Bodemverloop boezem	Op alle locaties beschikbaar	Goed (worst case hoogte die in de komende 3-5 jaar zeker gegarandeerd kan worden)
Grensboezems: data Toetsing 2008 (opgevraagd bij Waternet/Rijnland)	Bodemverloop boezem	Op alle locaties beschikbaar	Goed
Beheerregister: Watervlakken	Bepaling locatie boezem/sloot	Ieder wateroppervlak is aanwezig	Goed

3.2 Grondmechanisch onderzoek

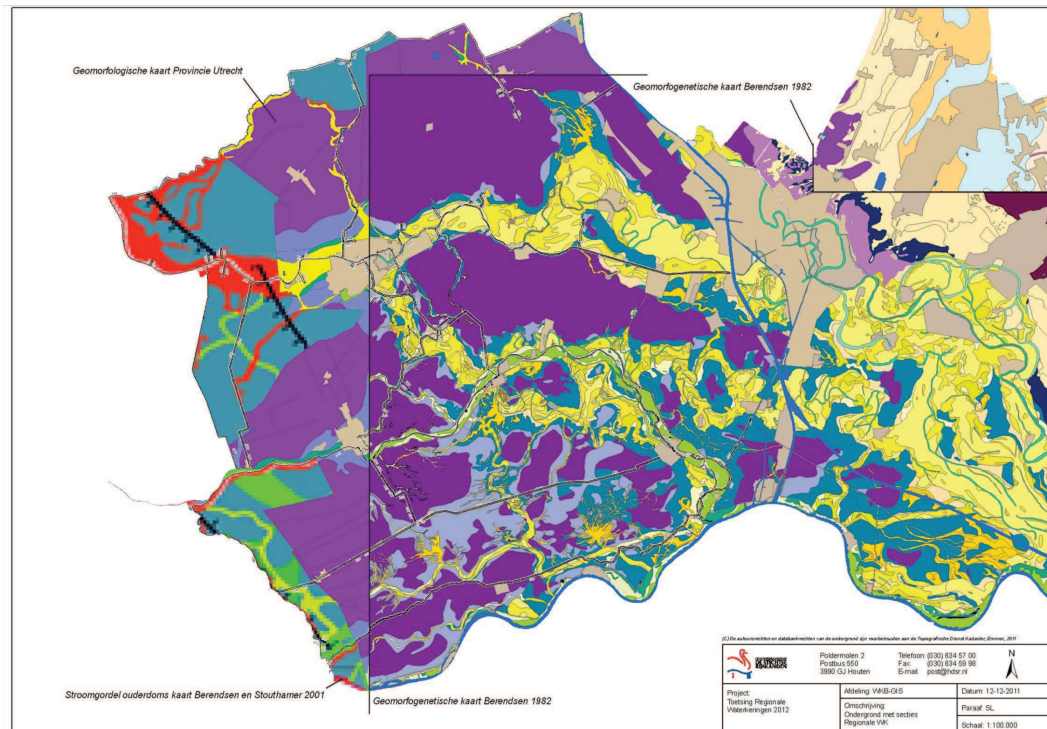
Met behulp van grondmechanisch onderzoek is inzicht verkregen in de grondopbouw onder de kadelichamen. Grote hoeveelheden slappe lagen (veen, humeuze klei) hebben grote invloed op de stabiliteit van de kade. Daarnaast kunnen ondiepe zandlagen het faalmechanisme piping in de hand werken.

3.2.1 Onderzoek

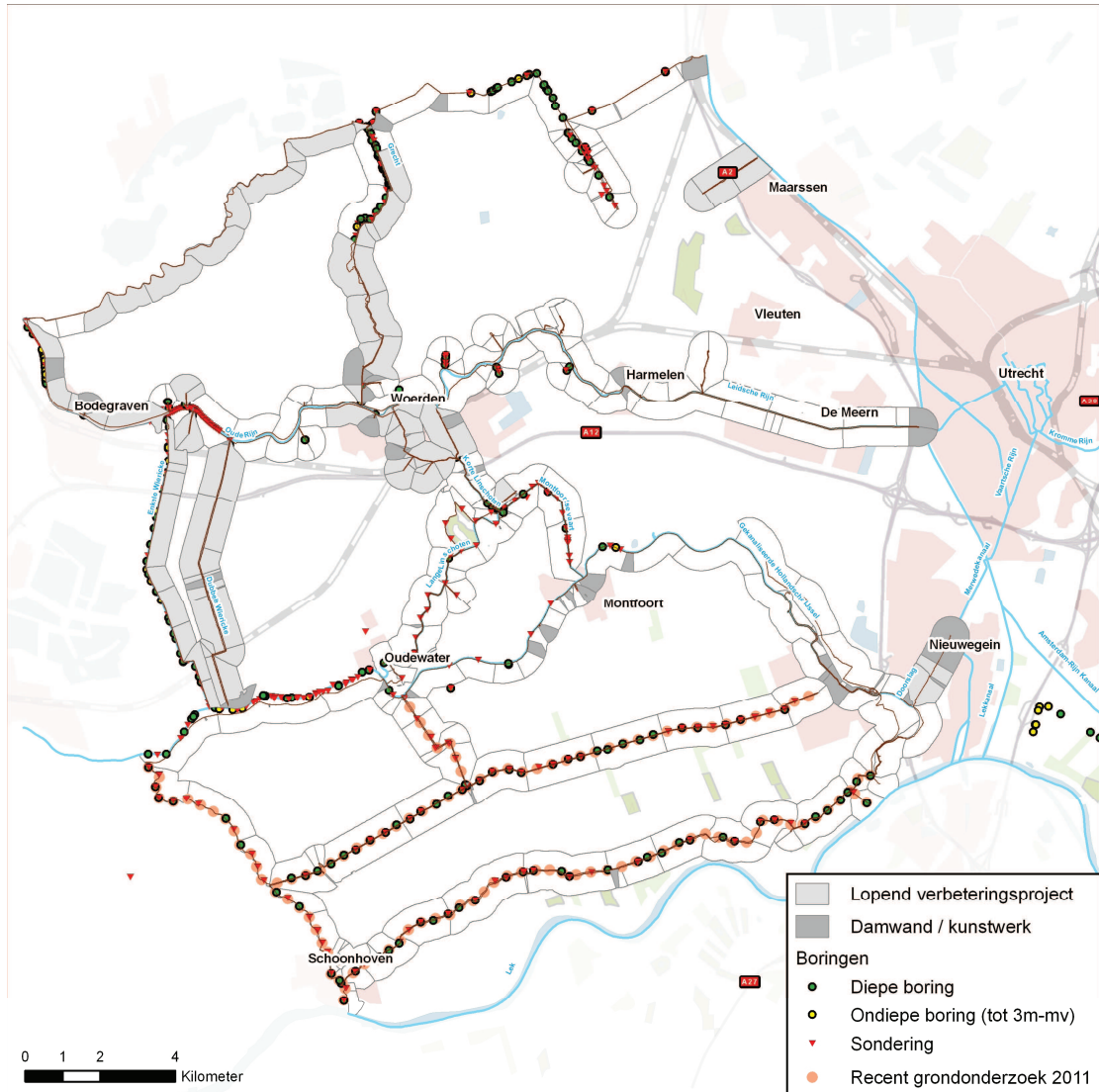
De bronnen die zijn gebruikt om de grondopbouw in beeld te brengen zijn in onderstaande tabel weergegeven. Hierin is, naast een beschrijving van de toepassing, ook een indicatie van de kwantiteit en kwaliteit van de gegevens opgenomen.

Tabel 3-2: Gebruikte databronnen onderzoek grondopbouw

Databron	Gebruik	Kwantiteit	Kwaliteit
Geomorfogenetische kaart en bodemprofielen Berendsen [7] (zie onderstaande figuur)	Eerste bron waaruit grondopbouw ondergrond (Holoceen) is afgeleid tot 2 meter onder maaiveld	Kaart is gebaseerd op >3000 ondiepe grondboringen	Goed
Geomorfologische kaart provincie Utrecht [8] (zie onderstaande figuur)	Aanvulling voor gebieden die de geomorfogenetische kaart niet dekt	Onbekend	Goed (geverifieerd met [6] en [7])
Kaart ouderdom van stroomgordels [6] (zie onderstaande figuur)	Bedekt het hele gebied. Aanvulling op bovenstaande bronnen	Kaart is gebaseerd op >3000 ondiepe grondboringen	Goed
3D grondwatermodel holocene deklaag [9]	Het 3D grondwatermodel is gebruikt om langsprofielen te tekenen met diepte tot pleistocene zandlaag	Ruimtelijke resolutie 100x100 meter. Verticale resolutie 50 cm	Goed (geverifieerd met [6] en [7])
Boringen binnen kadeprofiel [10] (zie Figuur 3-3)	Locatiespecifieke informatie over de grondopbouw van de kade. Waar deze niet beschikbaar zijn is conservatieve aanname gedaan van het materiaal van de kade	Ca. 100	Goed (alleen recente boringen/sonderingen zijn gebruikt die in het kadeprofiel zijn genomen)
Hoogtekaart (AHN-2)	Identificatie van oude stroomgordels/zandruggen	Ruimtelijke resolutie 0,5 m	Goed



Figuur 3-2: Geomorfogenetische kaart Berendsen [7], Geomorfologische kaart provincie Utrecht [8] en Kaart ouderdom van stroomgordels [6] in één kaartbeeld. Een grotere versie inclusief uitgebreide legenda is opgenomen in bijlage IV.



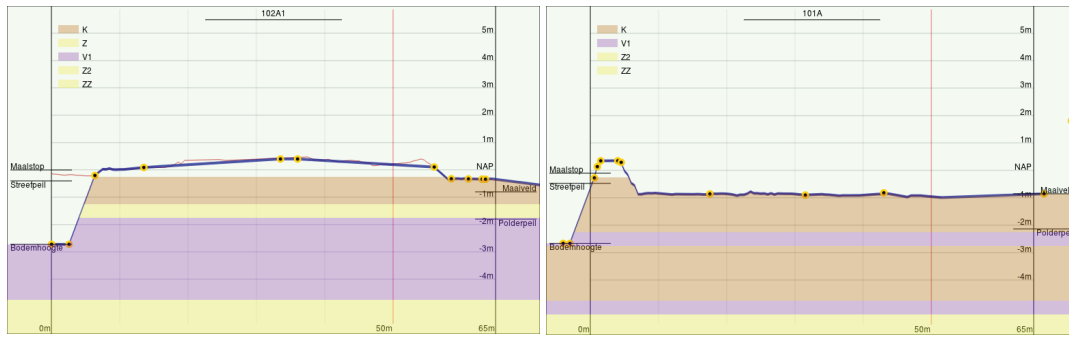
Figuur 3-3: Overzicht beschikbare boringen en sonderingen uit grondarchief op en rondom Regionale Waterkeringen.

3.2.2 Grondopbouw

Op basis van bovenstaande bronnen zijn geologische eenheden geselecteerd (ca 50) en is per geologische eenheid een factsheet opgesteld (zie bijlage IV). Deze factsheets bevatten een aantal gegevens;

- Overzichtkaart;
- Hoogtekaart;
- Lengtedoorsnede grondopbouw vanuit 3D Geologische Model Holocene Deklaag;
- Dwarsprofielen van de aanwezige grondopbouw vanuit boringen en sonderingen (Figuur 3-4).

Deze factsheets hebben als input gediend voor een expert workshop, waarin uiteindelijk per deeltraject één of meerdere door te rekenen grondopbouw zijn vastgesteld (Figuur 3-5).



Figuur 3-4: Boringen gepresenteerd in dwarsprofiel als horizontale lagen, als onderdeel op de factsheets



Figuur 3-5: 2-daagse workshop waarin met een groep experts op basis van de beschikbare data maatgevende grondopbouw zijn vastgesteld

3.3 Laboratoriumonderzoeken

Om de stabiliteit van een kering te berekenen zijn grondparameters vereist. Dit zijn parameters waarmee de sterkte-eigenschappen van verschillende typen grond die in de waterkeringen en de ondergrond voorkomen worden aangeduid. Ter bepaling van deze grondparameters is voor diverse gebieden binnen het beheergebied laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek werd oorspronkelijk plaatselijk uitgevoerd om problemen te analyseren, maar is ook bruikbaar om gebiedsdekkende grondparameters af te leiden. Niet van alle trajecten zijn laboratoriumuitkomsten beschikbaar. Hiervoor zijn, op basis van de beschikbare gegevens in andere gebieden, aannames gedaan.

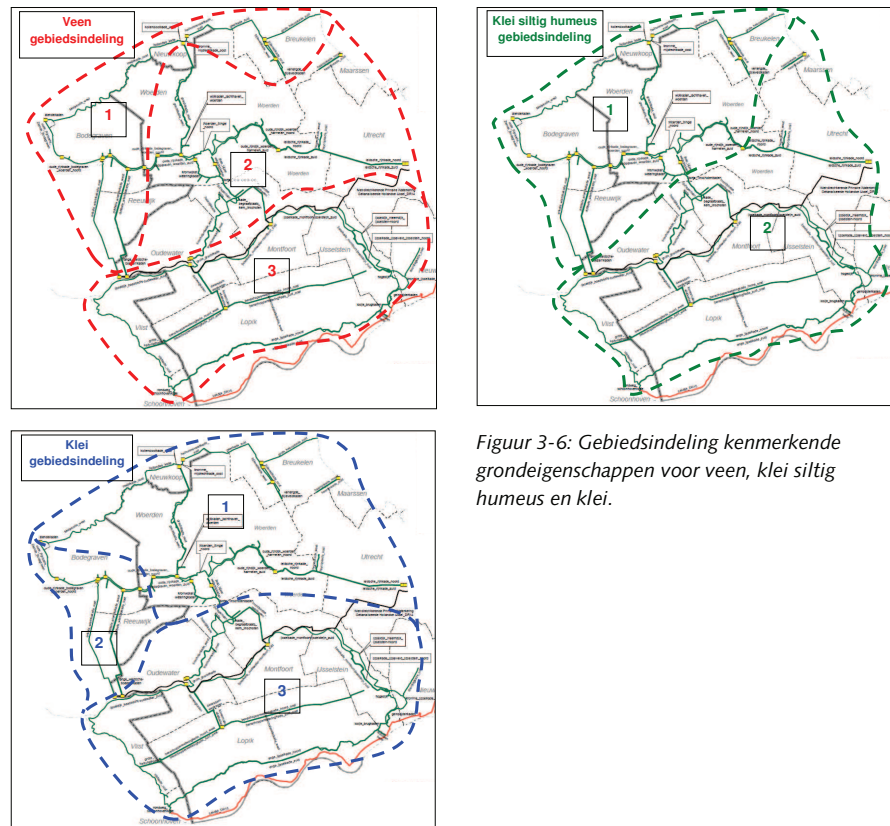
In Tabel 3-3 is een overzicht gegeven van alle gegevensbronnen waarmee tot een gebiedsdekkende dataset van grondparameters is gekomen. In bijlage V is een uitgebreide beschrijving opgenomen.

Tabel 3-3: Gegevensbronnen waarmee grondparameters zijn bepaald

Data	Gebruik	Kwantiteit	Kwaliteit
Diverse laboratorium grondonderzoeken op lokaal gewonnen grondmonsters	Sterkte parameters (phi-c) volume gewichten en watergehalten van lokaal gewonnen grondmonsters	Gegevens uit proeven op 290 grondmonsters	Goed
Materiaalfactoren Boezemkaden (ORK 2009-05)	Omrekenfactoren voor de rekenwaarden van de hoek van inwendige wrijving en cohesie	Toegepast op alle laboratoriumgegevens	nvt
Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructie (TR_19_20)	Omrekenfactoren voor de rekenwaarden van sigma-tau waarden	Toegepast op alle laboratoriumgegevens	nvt
Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructie	Bepaling rekenfactoren en ter oriëntatie van toepassing regelgeving	Toegepast op alle laboratoriumgegevens	nvt
Nederlandse norm NEN 6740 Geotechniek 2006	Phi-c waarden van niet onderzochte grondsoorten zoals (kleilig siltig) zand	Toegepast op alle laboratoriumgegevens	nvt
Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen (ORK 2007-02)	Bepaling verkeersbelasting	Toegepast op alle stabiliteitsberekeningen	nvt
Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden (ORK 2010-22)	Spreiding verkeersbelasting op de kade	Toegepast op alle stabiliteitsberekeningen	nvt

3.3.1 Onderzoek

Op basis van de beschikbare gegevens zijn voor de grondsoorten veen, klei en siltig humeuze klei gebieden gedefinieerd waarin de laboratoriumuitkomsten relatief homogeen zijn. Voor veen en klei zijn drie deelgebieden gedefinieerd, voor siltig humeuze klei zijn dit er twee (Figuur 3-6).



Figuur 3-6: Gebiedsindeling kenmerkende grondeigenschappen voor veen, klei siltig humeus en klei.

Als basis voor de analyse welke grondeigenschappen per soort en per deelgebied gelden, zijn 290 laboratoriumproeven geanalyseerd (Tabel 3-4).

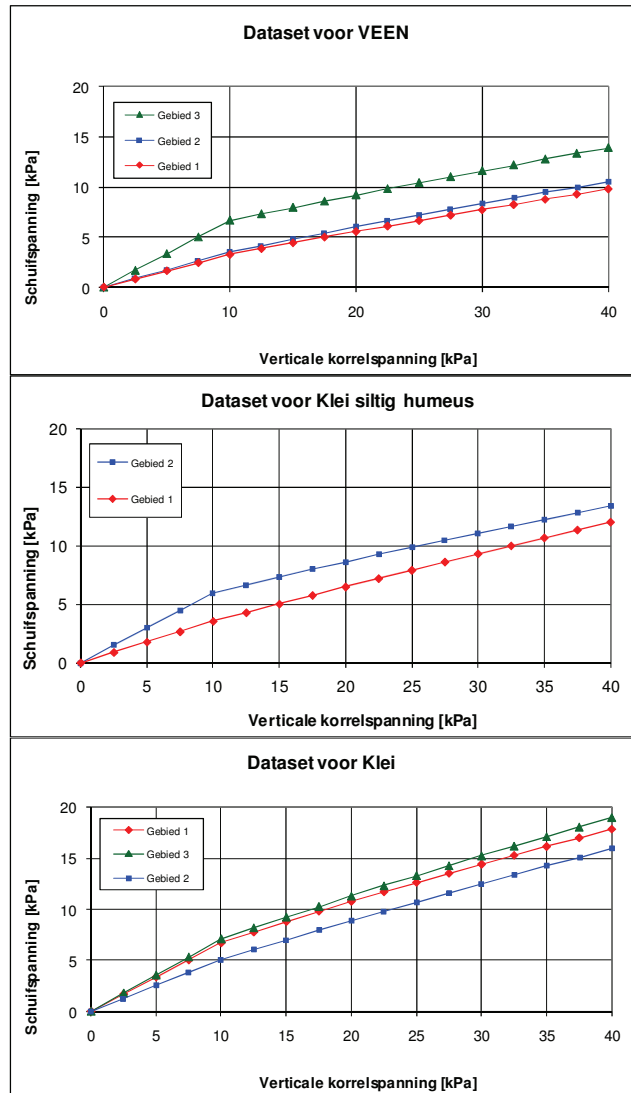
Tabel 3-4: Hoeveelheden uitgevoerde laboratoriumproeven

Onderzoekgebieden – monsters	Totaal	Veen	Klei siltig humeus	Klei
Haarrijnkade	21	11	5	5
Onderzoekgebied 1 verspreid	19	8	1	10
Onderzoekgebied 2 verspreid	13	7	0	6
Grechtkade	58	29	11	18
Wierickekade	63	25	12	26
Woerden	3	0	2	1
Linschoten	14	5	3	6
Hollandse IJssel	70	12	4	54
Lopikerwaard	29	11	7	11
Totaal	290	108	45	137

3.3.2 Grondparameters

Per deelgebied is weergegeven wat de grondparameters zijn (zie onderstaande figuren en tabel). Hierin zijn de materiaalfactoren meegenomen, als extra marge voor de onzekerheden. De daarmee berekende stabiliteitsfactoren zijn toegepast in de formules (1)

en (2) en vergeleken met de schadefactoren behorende bij de IPO-veiligheidsklassen. Afhankelijk van de ligging van de subsectie, is de dataset uit het betreffende deelgebied gebruikt.



Figuur 3-7: Sigma-Tau parameters in grafieken

Tabel 3-5: Sigma-Tau parameters [kPa-kPa]

Veen	γ_{nat}	0	10	20	30	40	42,5	Sigma
Gebied 1	10,5	0,0	3,3	5,6	7,7	9,8	10,3	Tau
Gebied 2	10,6	0,0	3,5	6,0	8,3	10,5	11,0	
Gebied 3	10,6	0,0	6,7	9,2	11,6	13,9	14,5	
Klei siltig humeus	γ_{nat}	0	10	20	30	40	42,5	Sigma
Gebied 1	12,6	0,0	3,5	6,5	9,3	12,0	12,7	Tau
Gebied 2	12,4	0,0	6,0	8,6	11,1	13,4	14,0	
Klei	γ_{nat}	0	10	20	30	40	42,5	Sigma
Gebied 1	16,3	0,0	6,7	10,8	14,4	17,9	18,7	Tau
Gebied 2	16,1	0,0	5,0	8,9	12,5	16,0	16,8	
Gebied 3	16,6	0,0	7,1	11,3	15,2	19,0	19,9	
Zand	γ_{nat}	0	10	20	30	40	42,5	Sigma
zand sterk siltig kleilig	20,0	0,0	3,9	7,8	11,7	15,5	16,5	Tau
zand tussenlaag	20,0	0,0	4,2	8,5	12,7	17,0	18,0	
Pleistoceen	20,0	0,0	4,8	9,6	14,4	19,2	20,4	

Er zijn tijdens de workshop meer grondtypen herkend dan er sets aan grondparameters zijn. Om toch het detailniveau vanuit de workshop niet te verliezen, is er per grondtype bekeken welke parameterset het beste past (zie onderstaande tabel). Daarbij is voor de veiligheid en betrouwbaarheid de minimale sterkteparameters gekozen voor de betreffende grondsoortkwalificatie.

Tabel 3-6: De parametersets die gebruikt zijn voor de grondtypes die in het gebied voorkomen.

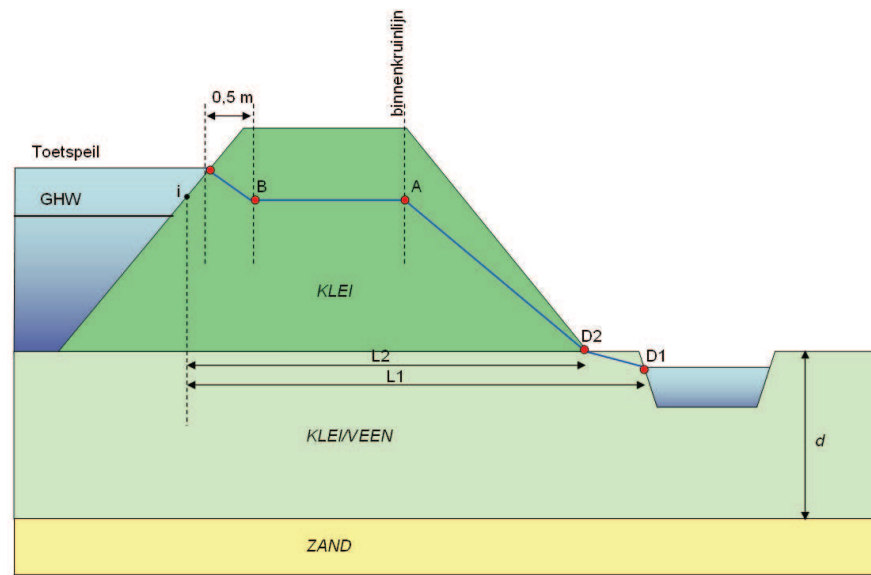
Grondtype	Parameterset	Grondtype	Parameterset
Komklei	klei	Zand	zand sterk siltig kleiig
Zware klei	klei	zand (kleiig, in bovenste 1m van holocene geulen)	zand sterk siltig kleiig
Lichte klei	klei	Humurijk zand / venig zand / zandig veen	zand sterk siltig kleiig
klei (marien)	klei	Fijn zand / matig grof zand	zand tussenlaag
klei (zandig) en zand (kleiig)	klei	Fijn zand / en grof zand	zand tussenlaag
Zware zavel	klei	Zeer grof zand	zand tussenlaag
Humeuze klei / humusrijke klei	klei siltig humeus	zand (in holocene geulen)	zand tussenlaag
Venige klei / kleiig veen / veen	klei siltig humeus	zand (rivierduin)	zand tussenlaag
Veen	veen	zand (pleistoceen)	pleistoceen
veen (gecompacteerd, onder >1m klastisch materiaal)	veen	Zand en grind	pleistoceen
		Grind	pleistoceen

3.4 Waterspanningen

3.4.1 Freatische lijn

De waterspanningen in de ondergrond zijn van grote invloed op de stabiliteit van een dijklichaam. Omdat het gebiedsbreed plaatsen van peilbuizen en waterspanningsmeters niet haalbaar was, zijn de waterspanningen op basis van de aanbevelingen in de Leidraad [1] bepaald. Hierin wordt aangegeven eerst met een volledig verzadigde dijk te rekenen. Als in de stabiliteitsberekening met deze zeer veilige aanname voldoende stabiliteit wordt vastgesteld, dan is de dijk veilig.

De subsecties die bij volledige verzadiging niet veilig zijn, worden met een 'scherpere', maar nog steeds veilige, aanname voor het verloop van de waterspanning berekend. Deze aanname is afkomstig uit Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken, TAW, september 2004 [11]. In Figuur 3-8 is een dergelijke freatische lijn weergegeven voor een kleidijk.



Figuur 3-8: Freatische lijn bij niet-volledige verzadiging van de boezemkade in geval van een kleidijk

Voor de waterhoogte in de boezem en in de poldersloten zijn voor de natte situatie de toetshoogte en het zomerpeil gebruikt (zie paragraaf 2.3)

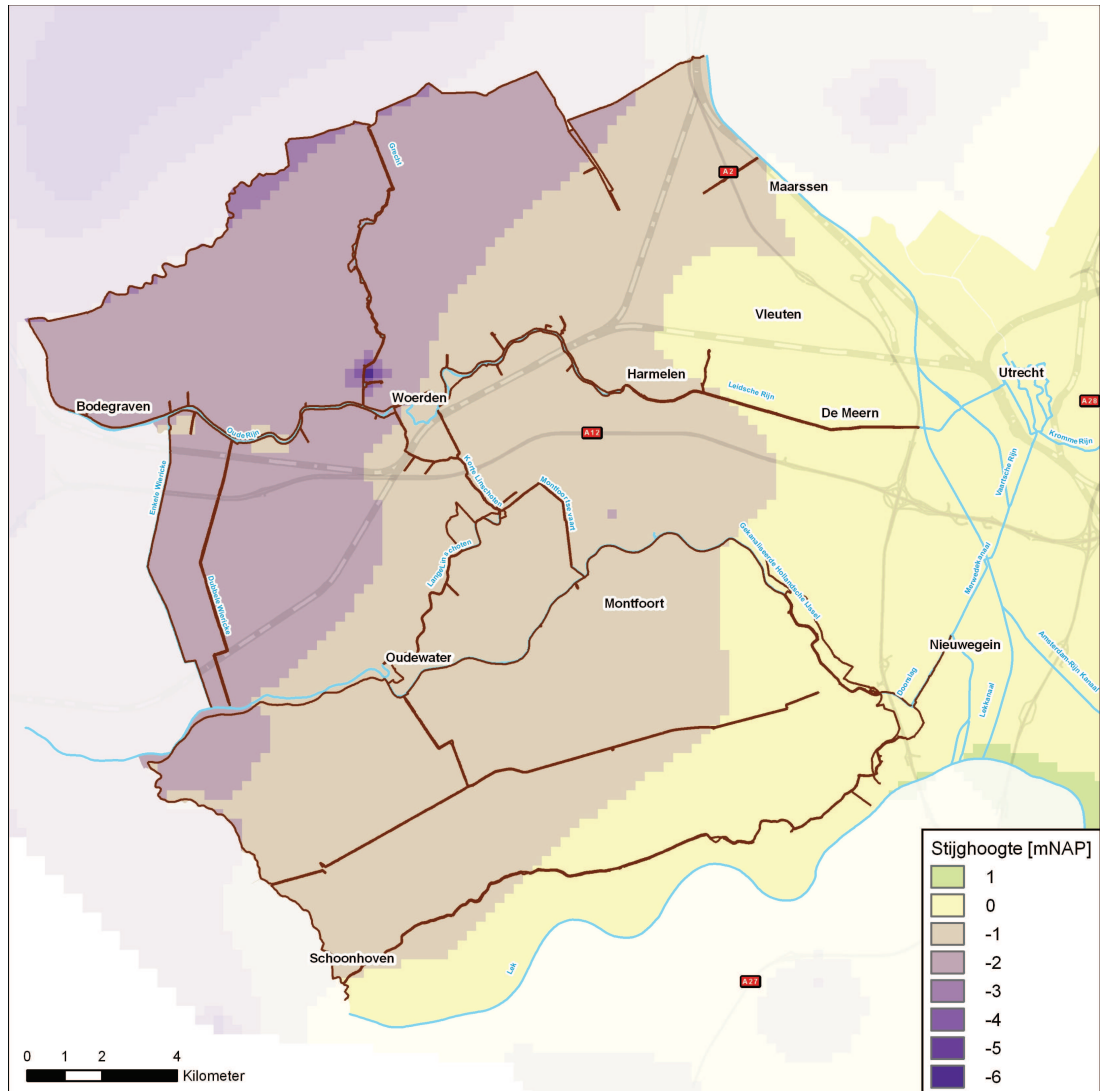
In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gebruikte gegevens en hun kwantiteit en kwaliteit.

Tabel 3-7: Databronnen waterspanningen

Databron	Gebruik	Kwantiteit	Kwaliteit
Beheerregister: zomer- en winterpeil polderwatergangen	Waterstand natte en droge situatie in polderwatergang	Op elke locatie beschikbaar	Matig. Peil in teensloot komt vaak niet overeen met polderpeil door hoogwatervoorzieningen, die als doel hebben houten funderingen van lintbebouwing langs boezemkades nat te houden. De peilen zijn daarom aan de hand van de diepte van de betreffende sloten ingeschat
Toetshoogtes	Waterstand in boezem bij natte situatie	Op elke locatie beschikbaar	Goed. Op basis van uitgebreide inventarisatie (zie bijlage II)
Beheerregister: Normaal boezempeil	Waterstand in boezem bij droge situatie	Op elke locatie beschikbaar	Goed
TWR 2004 [11]	Aanname voor freatische lijn bij niet-volledige verzadiging	Nvt	Nvt
AHN-2 (2008), gecorrigeerd voor maaiveld	Bepaling geometrie. Bij volledige verzadigde kering is de waterdruk gelijk aan het hoogteprofiel	Per dwarsprofiel iedere 0,5 meter een hoogtepunt	Goed
Beheerregister: Watervlakken	Bepaling locatie boezem/sloot	Ieder wateroppervlak is aanwezig	Goed

3.4.2 Stijghoogte

De stijghoogtes van het pleistocene pakket zijn gebaseerd op de isohypsen van het eerste watervoerende pakket. De waarden hiervoor zijn bepaald met HYDROMEDAH, een integraal instrument dat data bijeenbrengt van grondwater, oppervlaktewater, bodemvocht, plant-atmosfeer interacties en de waterketen. HYDROMEDAH is door het Hoogheemraadschap in combinatie met Provincie Utrecht ontwikkeld. In dit instrument worden alle beschikbare metingen geïntegreerd met modelberekeningen middels data-assimilatie. Meer informatie is beschikbaar op <http://www.hydromedah.nl/>. In onderstaande figuur zijn de stijghoogtes van het eerste watervoerende pakket weergegeven.



Figuur 3-9: stijghoogtes van het eerste watervoerende pakket

3.5 Maatgevende en reguliere profielen

Op basis van bovenstaande gegevens over de vorm van het dwarsprofiel, de grondopbouw, de freatisch lijn en het grondwater zijn per subsectie geotechnische profielen bepaald. Al deze profielen zijn per kadevak weergegeven in bijlage IV.

Voor iedere subsectie zijn twee profielen bepaald: een regulier profiel, met de grondopbouw die het meeste voorkomt in de betreffende subsectie, en een maatgevend profiel, dat de zwakste grondopbouw bevat. Het laatstgenoemde maatgevende profiel is steeds bepalend geweest voor het oordeel in de verschillende toetsproeven. Daarnaast gaf de berekening van het reguliere profiel inzicht in de gevoeligheid van het oordeel voor eventueel te conservatieve aannames in het maatgevende profiel.

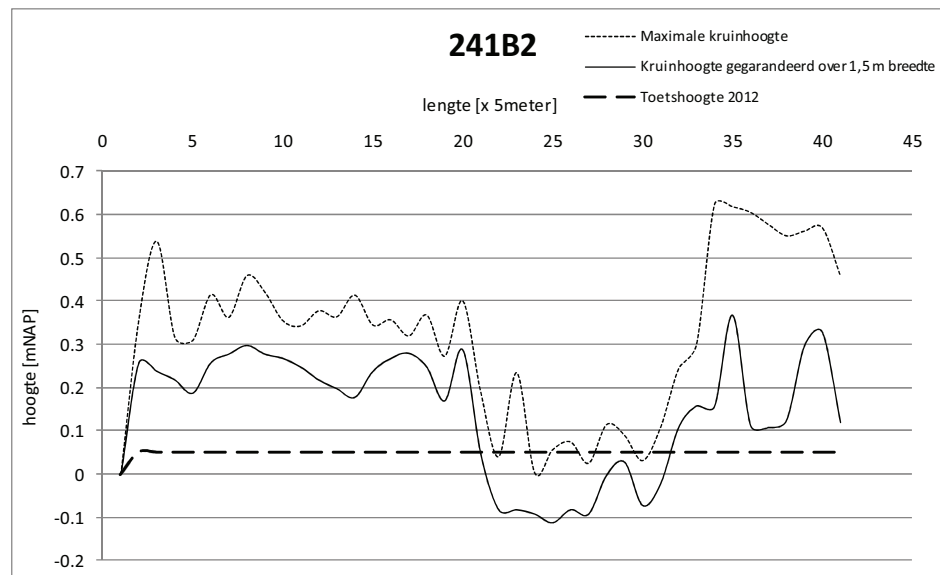
4 Resultaten toetsing

4.1 Theoretisch oordeel

4.1.1 Overlopen/overslag

De toets op overlopen/overslag is uitgevoerd voor alle subsecties, exclusief de lopende verbeteringsprojecten, conform de uitgangspunten in paragraaf 2.4.

In Figuur 4-1 is een voorbeeld van de resultaten gegeven voor één subsectie. Hierin wordt duidelijk dat een deel van de subsectie niet voldoet op basis van de kruinhoogte die wordt gegarandeerd over 1,5 meter breedte. De maximale kruinhoogte geeft hierbij een bevestiging van dit oordeel.



Figuur 4-1: voorbeeld van vergelijking van kruinhoogtes en toetshoogte die per subsectie is uitgevoerd

Er zijn 234 subsecties getoetst op hoogte/overslag. Hieruit bleek het volgende:

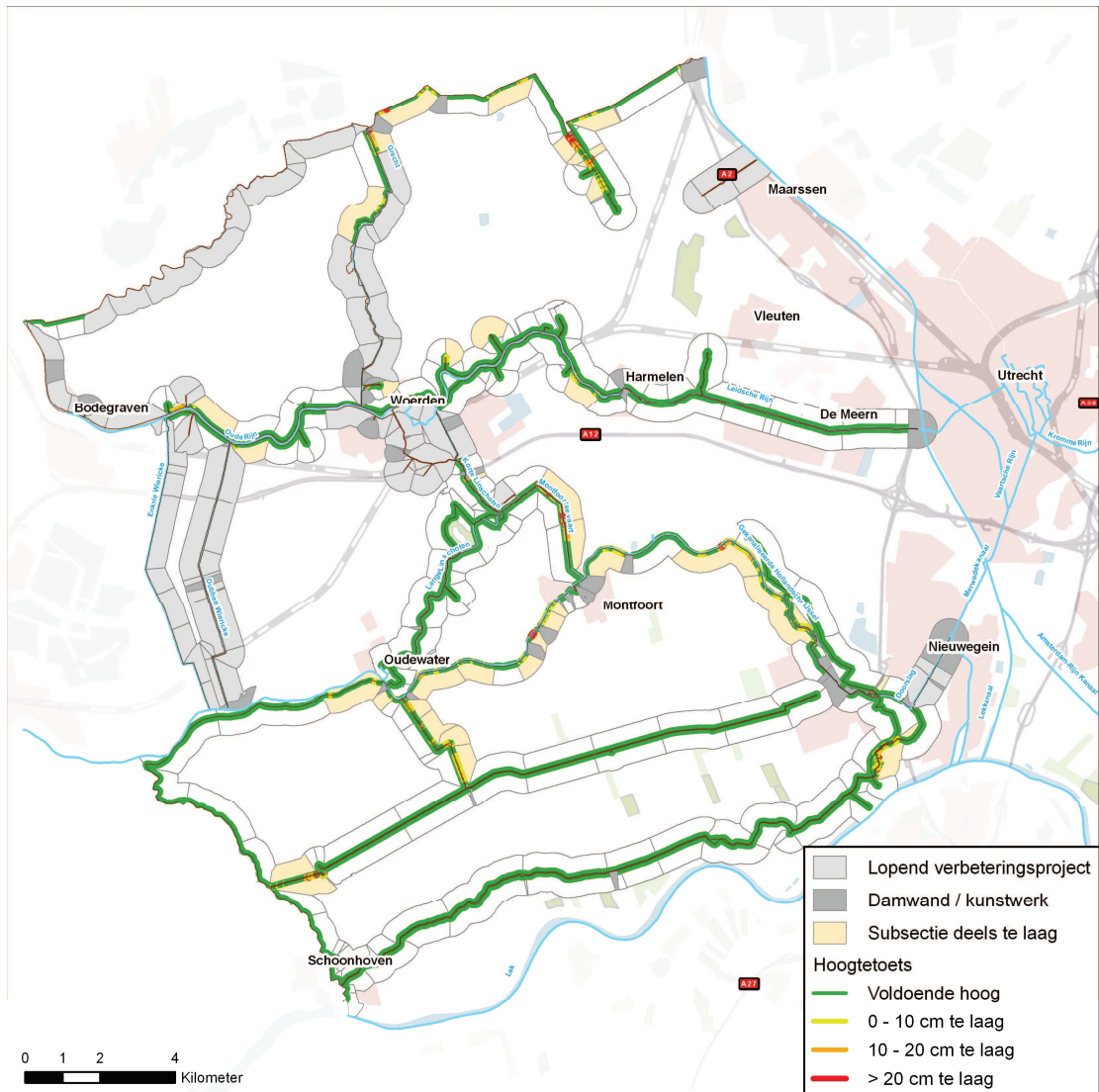
- 190 subsecties voldoen aan de toets op hoogte/overslag.
- 44 subsecties bevatten delen waar de kruinhoogte niet voldoende hoog is (totale lengte van deze subsecties is 43 km, totale deel onder de toetshoogte is 12,3 km). Lengteprofielen van alle subsecties waar de toetshoogte deels niet voldoet zijn weergegeven in bijlage VI.
- Van de 44 subsecties waar de kruinhoogte niet voldoende hoog is zijn er 23 subsecties waar meer dan 25% van de betreffende subsectie niet voldoende hoog is (zie Tabel 4-1). Het tekort aan kruinhoogte is hierin ongeveer 10-30 cm (zie Tabel 4-2).
- In de volgende delen van het gebied komen clusters van subsecties voor die deels niet voldoende kruinhoogte (Figuur 4-2): Hollandse IJssel, Heinoomsevaartkade en kades rond Kockengen, enkele voorboezems in de Oude Rijn, Korenmolenvliet bij Oudewater, Geinpolderkade bij IJsselstein en de Kerkvlietkade bij Polsbroek

Tabel 4-1: Subsecties waarin een deel van de waterkering niet voldoet aan de toets overlopen/overslag

Selectie	Subsecties	Aantal subsecties	Aantal km
De kruinhoogte (over 1,5 m breedte) is lager dan de toetshoogte over 0-25% van de subsectielengte	104D, 107E1, 110B, 116A1, 116C1, 117B, 118B2, 144A, 180B, 216B, 234, 252, 255A, 329, 333D, 334A3, 334B1, 345C, 346F3, 366A5, 366C	21	2,8
De kruinhoogte (over 1,5 m breedte) is lager dan de toetshoogte over meer dan 25% van de subsectielengte	107E2, 109F2, 109F3, 118A2, 118B1, 118B3, 118B4, 127, 136, 142C, 219A, 219B, 233B, 241B2, 330, 333A4, 333C, 334C1, 334C3, 334C5, 334D1, 347, 357	23	9,5

Tabel 4-2: Resultaten toetsing overlopen/overslag per lengte, peildatum 2015.

		Lengte
Te toetsen		230 km
Voldoet in hoogtetoets	boven toetshoogte	217 km
Voldoet niet in hoogtetoets	0 tot 10 cm onder toetshoogte	8,9 km
	10 tot 20 cm onder toetshoogte	2,9 km
	20 tot 30 cm onder toetshoogte	0,5 km
	> 30 cm onder toetshoogte	55 m



Figuur 4-2: Resultaten toetsing overlopen/overslag. Weergegeven per 5 lengtemeter en per subsectie.

4.1.2 Macrostabieliteit binnentalud

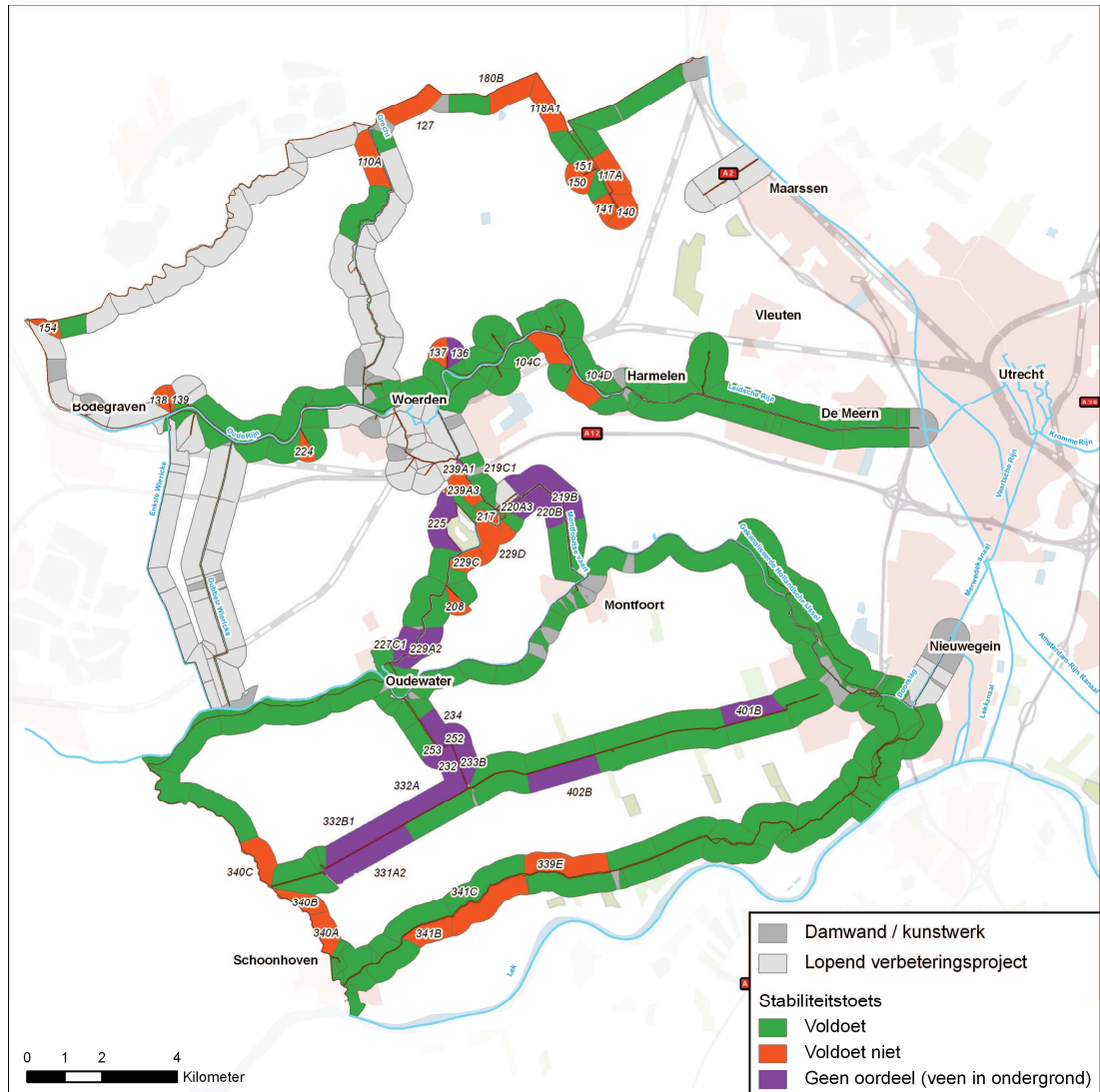
Natte situatie

De macrostabieliteit van het binnentalud van alle subsecties, exclusief de lopende verbeteringsprojecten, is doorgerekend conform de uitgangspunten in paragraaf 2.5. Alle subsecties zijn doorgerekend volgens een regulier (meest voorkomende) grondopbouw en een maatgevende (zwakste) grondopbouw (zie paragraaf 3.5). De maatgevende grondopbouw is bepalend voor het oordeel. Daarnaast geeft de berekening van het reguliere profiel inzicht in hoeverre het oordeel voor het grootste gedeelte van de subsectie geldt of voor een specifiek deel van die subsectie.

Het rekenkundig oordeel over deze 234 subsecties wijst uit dat:

- 187 subsecties voldoen aan de veiligheidsklasse;
- 19 subsecties geen oordeel krijgen door de aanwezigheid van een slappe veenlaag in de ondergrond van de kering of het aanliggende maaiveld. De huidige rekenmethode (Bishop-circle) geeft een dusdanig lage stabiliteitsfactor dat deze rekenmethode voor subsecties met veen in de ondergrond niet toereikend wordt geacht;
- 28 subsecties niet voldoen door de combinatie van hun geometrie en grondopbouw.

De locaties van deze subsecties zijn weergegeven in Figuur 4-3.



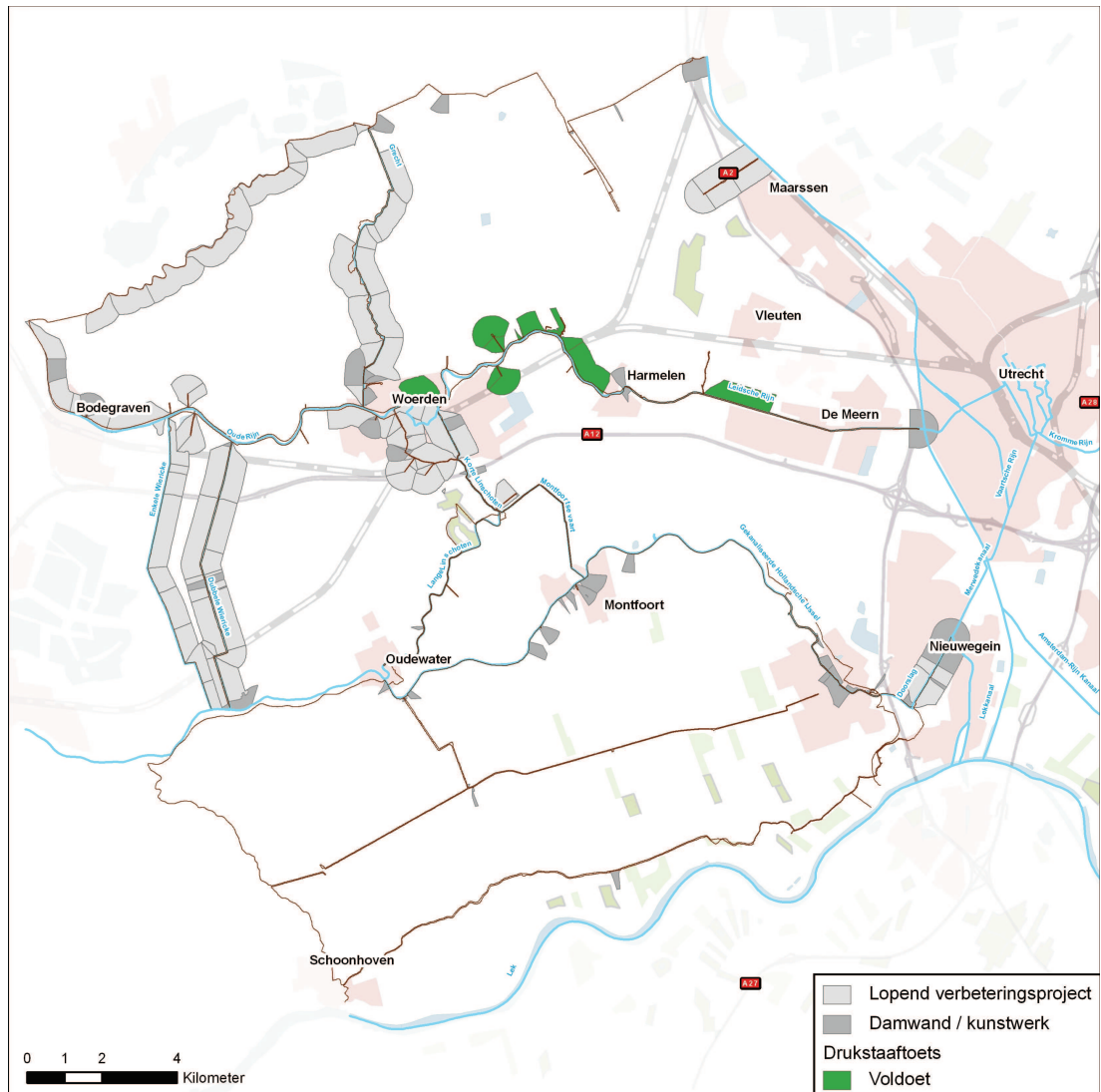
Figuur 4-3: Resultaten stabiliteitstoets binnentalud (Bishop).

In bijlage VII zijn per subsectie die niet voldoet de berekeningsresultaten en een toelichting gegeven.

Droge situatie

De toets op instabiliteit van het binnentalud bij droogte is volgens de uitgangspunten in paragraaf 2.5 uitgevoerd. Conform deze uitgangspunten kwamen de volgende subsecties in aanmerking voor een drukstaafproef: 103C, 105A, 105B1, 105B2, 111, 134, 135, 147, 152, 409 en 413. Deze subsecties liggen voornamelijk langs de Oude Rijn en Leidsche Rijn, tussen Woerden en De Meern (Figuur 4-4).

Uit de drukstaafproef bleek dat voor alle subsecties instabiliteit in situaties van droogte uitgesloten mag worden.

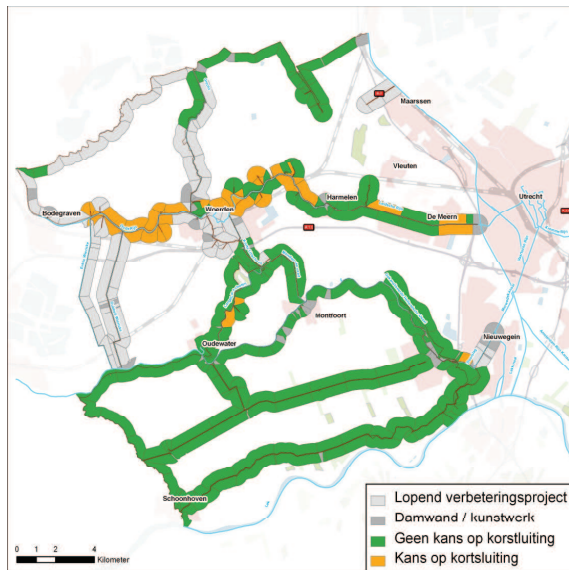


Figuur 4-4: Resultaten stabiliteitstoets binnentalud bij droogte (drukstaafanalyse)

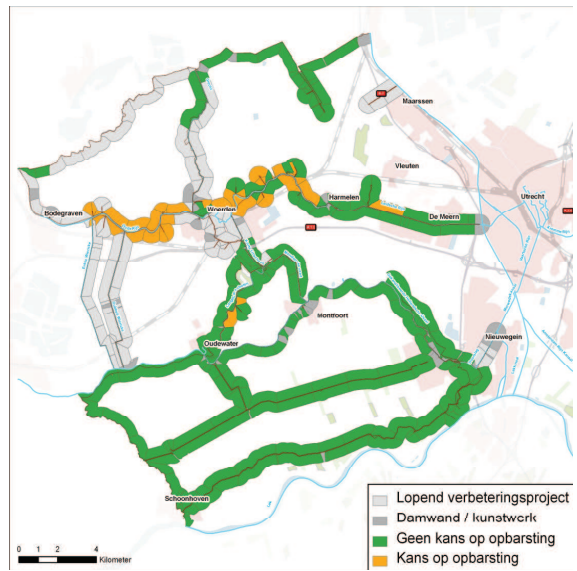
4.1.3 Piping

De toets op piping is conform de uitgangspunten in paragraaf 2.6 uitgevoerd.

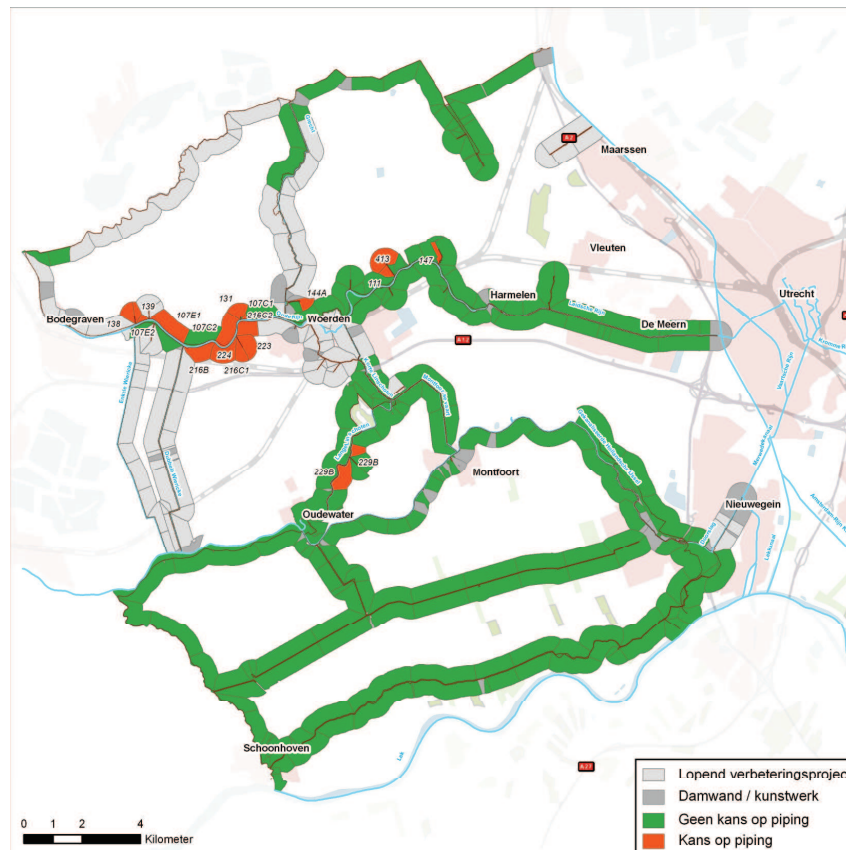
Uit deze analyse bleek dat er 17 profielen zijn waar een risico is op piping en dus onvoldoende scores op dit toetspoor. Dit geldt voor zowel de droge situatie als voor de hoogwater situatie (Figuur 4-5, Figuur 4-6 en Figuur 4-7).



Figuur 4-5: Risico op korstluiting (38 subsecties). In deze subsecties is een waterdoorlatende laag aanwezig



Figuur 4-6: Risico op opbarsten (35 van de 38 subsecties waar korstluiting kan optreden). In deze subsecties kan de opwaartse waterdruk hoger zijn dan de neerwaartse druk van de deklaag



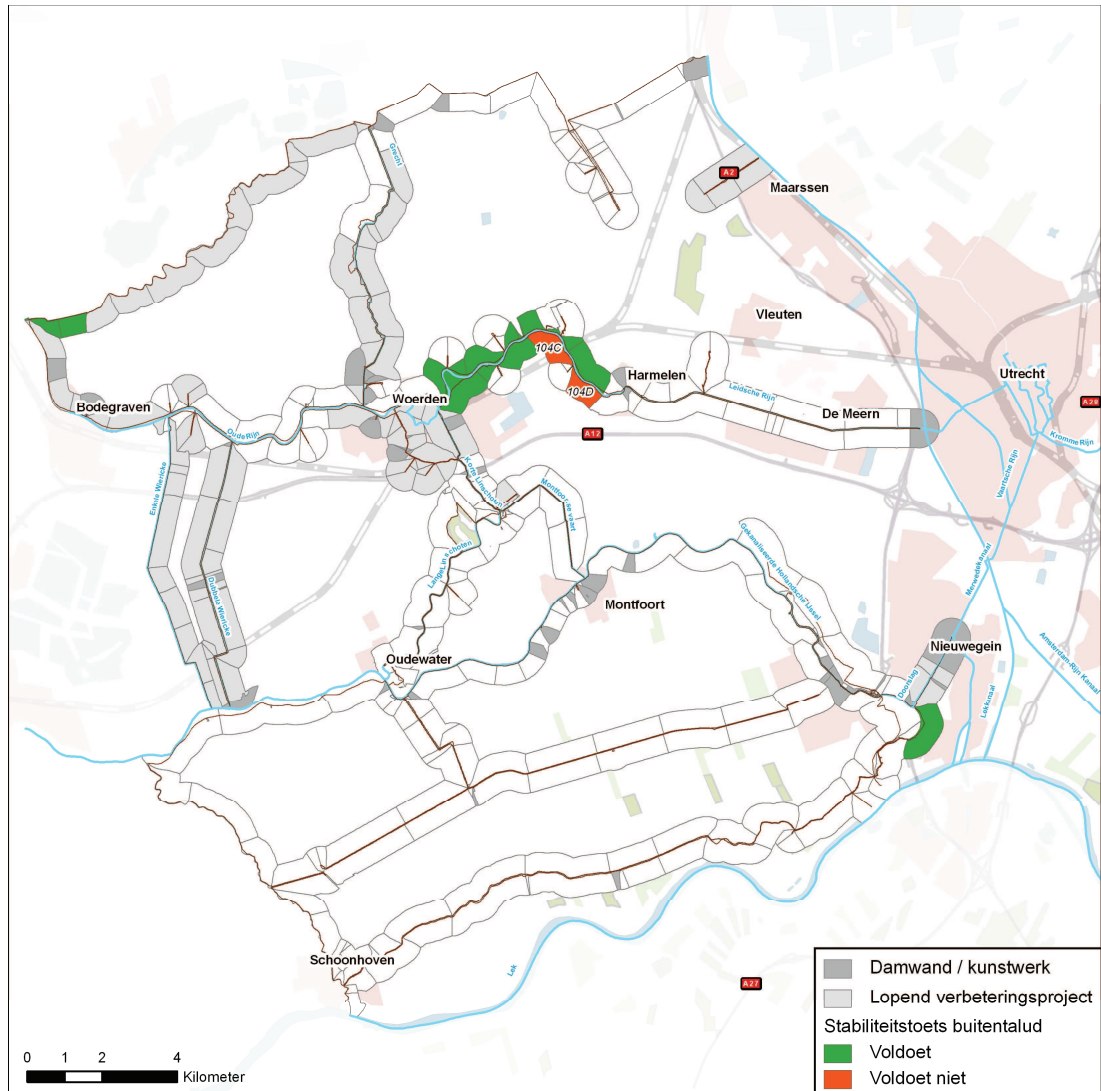
Figuur 4-7: Risico op piping door combinatie van korstluiting, opbarsting en voldoende kwelweglengte (17 subsecties onvoldoende)

4.1.4 *Macrostabieliteit buitentalud*

De toets op macrostabieliteit buitentalud is conform de uitgangspunten in paragraaf 2.7 uitgevoerd. Hierin is aangegeven dat dit toetspoor is bekeken voor de situatie waarbij lage boezemwaterstanden optreden door natuurlijke variatie en door een waterstandsval door een calamiteit elders. Hieruit bleek het volgende:

- Natuurlijke variatie: Uit een analyse van de waterstanden in de afgelopen 10 jaar is gebleken dat de natuurlijke variatie in het boezemsysteem van de Stichtse Rijnlanden zeer klein is.
- Waterstandsval door calamiteit elders: Een val van het boezempeil door een calamiteit elders is alleen relevant op locaties waar kades met een verschillend beschermingsniveau dicht bij elkaar liggen en als de stabiliteit van het binnentalud op alle plaatsen voldoet aan de eisen. De secties die dit betreft zijn 104, 105, 124, 154 en 323. Deze secties liggen langs de Oude Rijn bij Harmelen en bij Zwammerdam, en langs de Kromme IJssel bij Nieuwegein.

Uit deze analyse is gebleken dat drie subsecties niet voldoen aan de toets op macrostabieliteit binnentalud. Dit zijn subsecties 124 (Zwammerdam), 104C en 104D (Harmelen), weergegeven in Figuur 4-8. In bijlage VIII zijn alle resultaten van de analyse opgenomen.



Figuur 4-8: Resultaten van de toetsing op stabiliteit van het buitentalud.

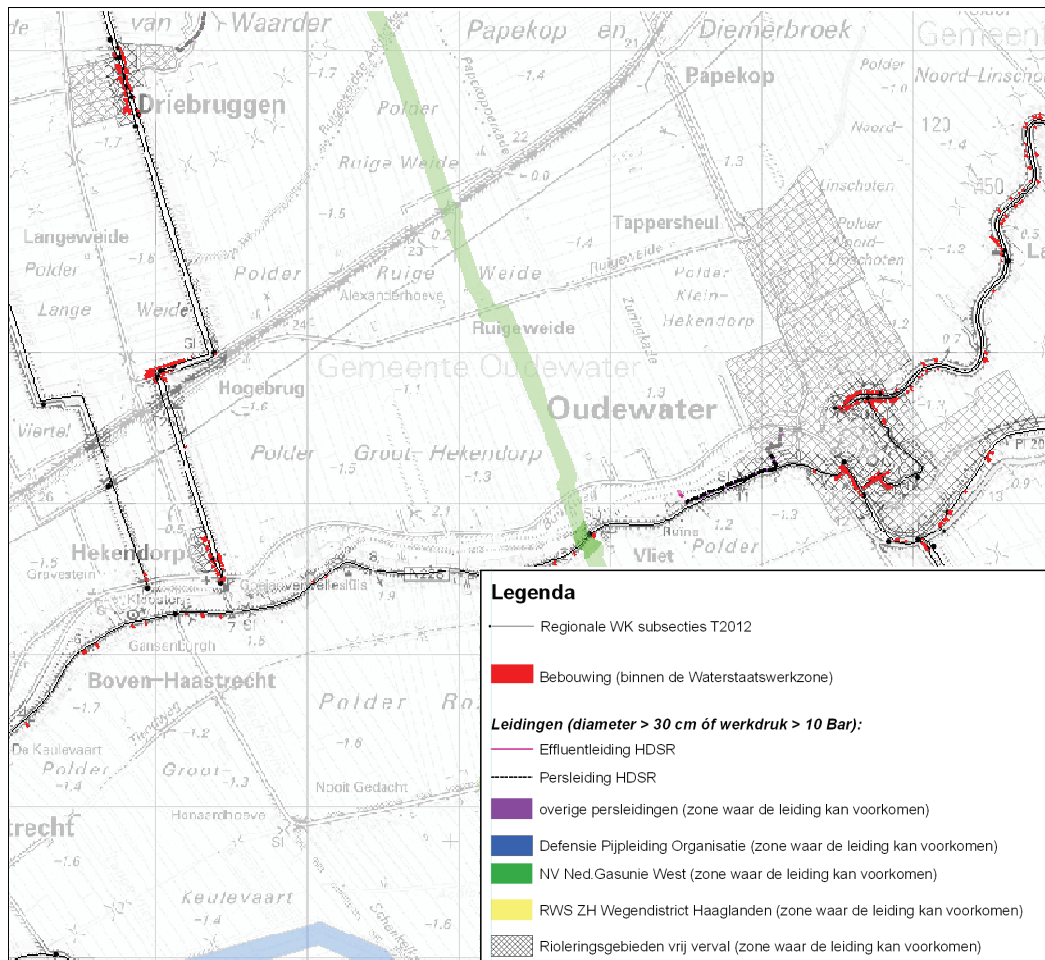
4.1.5 Bomen, kabels en leidingen

Conform the uitgangspunten in paragraaf 2.8 zijn de bomen die hoger dan 5 meter zijn en binnen de waterstaatswerkzone in kaart gebracht. Uit de inventarisatie bleek dat er ca. 8700 bomen aan de genoemde criteria voldoen. In bijlage IX is een A0-kaart opgenomen waarop deze bomen zijn aangegeven. In Figuur 4-9 is een detailkaart opgenomen van deze inventarisatie.



Figuur 4-9: Detailkaart van inventarisering bomen binnen de waterstaatswerkzone, bij de Bijleveldkade (west). De groen-gele vlekken zijn gegevens afkomstig van de hoogtekaart.

Conform de uitgangspunten in paragraaf 2.9 is een inventarisatie naar leidingen met een grote diameter ($D \geq 0,30$ meter) en de hogedrukleidingen ($p \geq 10$ bar) uitgevoerd. Hiervoor zijn de Klic-database (belangen beheerders), en het eigen beheerregister van persleidingen en rioolgebieden gebruikt. Uit de inventarisatie bleek dat er 71 kruisingen zijn van regionale keringen met leidingen die aan bovengenoemde criteria voldoen. Hierin zijn kabels en leidingen die in de langsrichting voorkomen niet meegenomen, zoals bijvoorbeeld rioleringsbuizen. In bijlage IX is een A0-kaart opgenomen waarop de leidingen en de bebouwing zijn aangegeven. Figuur 4-10 bevat een detailopname gemaakt van deze A0-kaart.



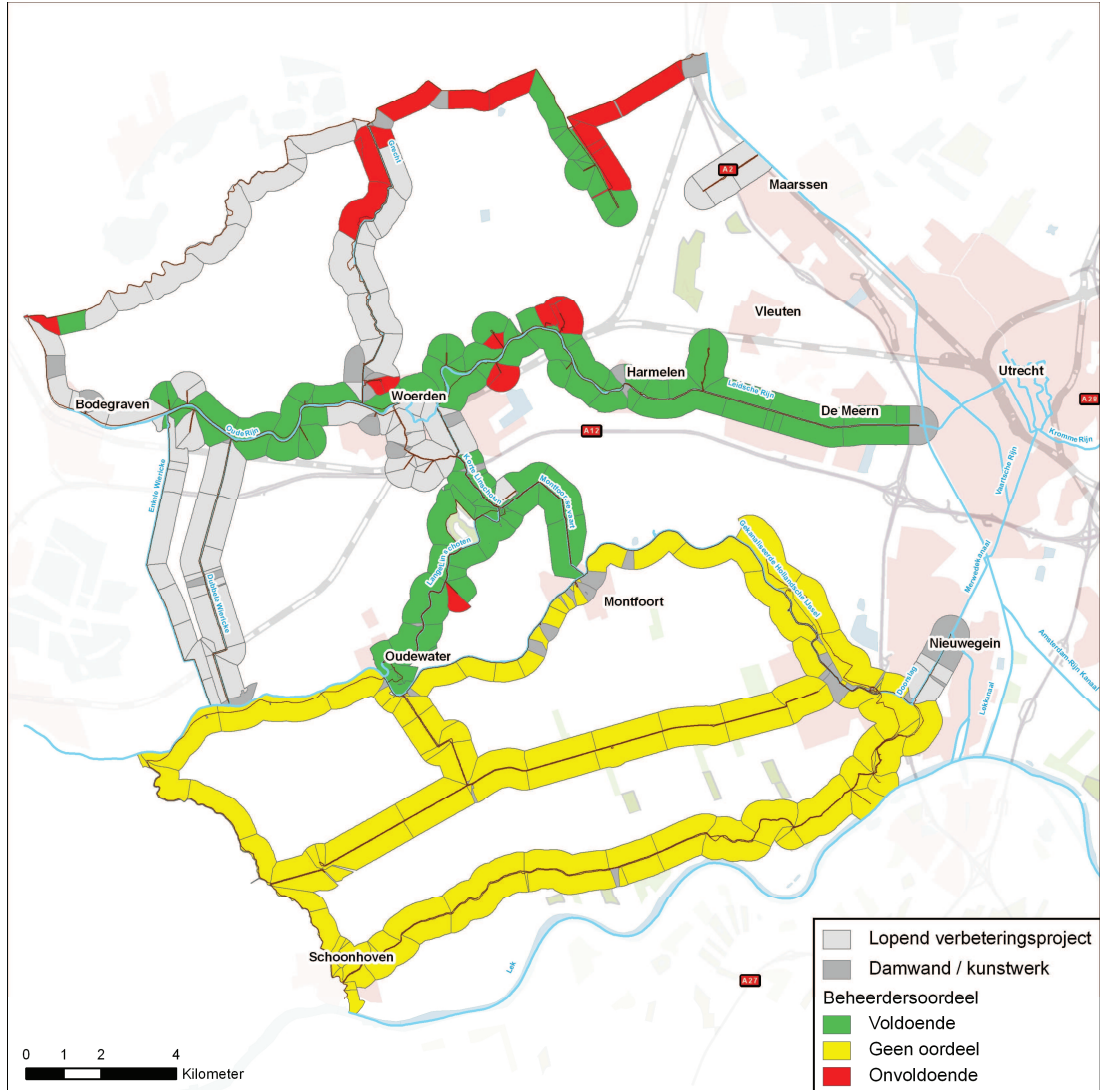
Figuur 4-10: Uitsnede uit kaart met kabels en leidingen

4.2 Beheerdersoordeel

Het beheerdersoordeel is gebaseerd op de volgende activiteiten:

1. Een bureau-inventarisatie van de medewerkers van het hoogheemraadschap die verantwoordelijk zijn voor het beheer van de regionale waterkeringen. Hiervoor is per dijkstrekking een standaard formulier gebruikt waarin visuele indicatoren van alle faalmechanismen opgenomen zijn. Dit formulier staat in bijlage X.
2. Een veldbezoek naar de locaties waarin de resultaten uit de bureau-inventarisatie niet in overeenstemming waren met de resultaten uit de berekeningen.

De eerste stap, de bureau inventarisatie, kon alleen voor de noordelijke helft van het gebied gedaan worden omdat de regiobeheerder van het zuidelijke deel relatief kort bij het waterschap werkte. Dit is niet als probleem ervaren, omdat het zuidelijk deel uit relatief homogene kades bestaat, in vergelijking met het noordelijke deel. Hierdoor was met name het beheerdersoordeel over het noordelijke deel van belang (Figuur 4-11).



Figuur 4-11: Globaal oordeel uit bureau-inventarisatie volgens het standaardformulier uit bijlage X



Figuur 4-12: Veldbezoek op 22 maart 2012

Na het veldbezoek, volgend op de bureau-inventarisatie, bleven uiteindelijk onderstaande discrepanties tussen de modelberekeningen en de veldervaringen over. Hierbij is, waar mogelijk, een aangepaste berekening gedaan en is aangegeven hoe hiermee wordt omgegaan in het eindoordeel. Al deze bevindingen (uit het de bureau-inventarisatie, het veldbezoek en de aanvullende analyses) zijn opgenomen in de tabel met de resultaten van de stabiliteitstoets in bijlage VIII.

- Secties 140 en 141 (verlengde Bijleveldkade) zijn afgesloten van de boezem met een Vlotterput. Zij zullen daarom hun status als regionale waterkeringen verliezen waardoor ze niet getoetst hoeven te worden in de toetsing Regionale Waterkeringen 2012;
- Secties 150 en 151 (voorboezem Kokengen molen) krijgen uit de berekeningen een oordeel onvoldoende, terwijl het beheerdersoordeel voldoende is. Uit een nadere beschouwing blijkt dat bij een variatie van grondsterkteparameters de keringen nog steeds niet voldoen aan de stabiliteitseis van 0.85. Een andere bepalende factor blijkt de verkeersbelasting te zijn. Wanneer het verkeer niet toegelaten zou worden, dan voldoet de veiligheid aan de stabiliteitseis. Aangezien de toetsing een extreme situatie betreft waarin verkeer niet mag worden uitgesloten wordt de voorkeur gegeven aan het rekenkundig oordeel;
- Subsectie 104D (zuidelijke Oude Rijndijk bij Harmelen) voldoet vanuit de bureau-inventarisatie en het veldbezoek, maar niet vanuit de berekeningen. Bij een nadere beschouwing is gebleken dat deze subsectie op de grens ligt van het grondparametergebied 2 en 3 (zie paragraaf 3.3). Worden de sterkteparameters van het iets zuidelijker gelegen gebied 3 gebruikt voor het veen, dan voldoet de subsectie aan de stabiliteitseis. Daarom voldoet deze kering ook in het uiteindelijke oordeel;
- Subsecties 341B ,341C en 339E (Lopikerweteringkade noord en zuid) voldoen vanuit de bureau-inventarisatie en het veldbezoek, terwijl ze niet voldoen in de berekeningen. Deze subsecties liggen langs de Lopikerwetering, waar veel 'hoogwatervoorzieningen'

aanwezig zijn. Dit zijn sloten, direct gelegen aan de polderzijde van de waterkering, waarin het waterpeil even hoog wordt gehouden als het boezempeil, met als bedoeling om de funderingen van de lokale bebouwingen nat te houden. Deze waterstand wordt gerealiseerd door pijpjes met een geringe diameter (meestal < 10cm) door de waterkering heen, die geen direct veiligheidsrisico geven. Bij een berekening waarin het polderpeil op gelijk niveau als het boezempeil is gezet bleken deze subsecties te voldoen (stabiliteitsfactor > 1.0). Hiermee is aangetoond dat er geen acuut stabiliteitsprobleem bestaat. Wanneer echter het peil van de hoogwatervoorziening wegvalt kunnen wel stabiliteitsproblemen ontstaan. Daarom wordt, in combinatie met het oordeel 'voldoende', geadviseerd om in het dagelijks beheer de, soms particuliere, kunstwerken die dit peil handhaven te inspecteren bij het dagelijkse beheer (zie paragraaf 5.4).

- Het oordeel over de overige subsecties, die onvoldoende stabiliteit hebben vanuit de berekeningen, wordt vanuit het veldbezoek bevestigd.

Een uitgebreid verslag van het veldbezoek is opgenomen in bijlage X.

4.3 Eindoordeel

Het eindoordeel bestaat uit een combinatie van alle scores op de theoretische toetssporen en het beheerderoordeel (zie vorige paragraaf). In onderstaande tabel is het eindoordeel weergegeven, zowel in totaal als per provincie. Hieruit blijkt dat:

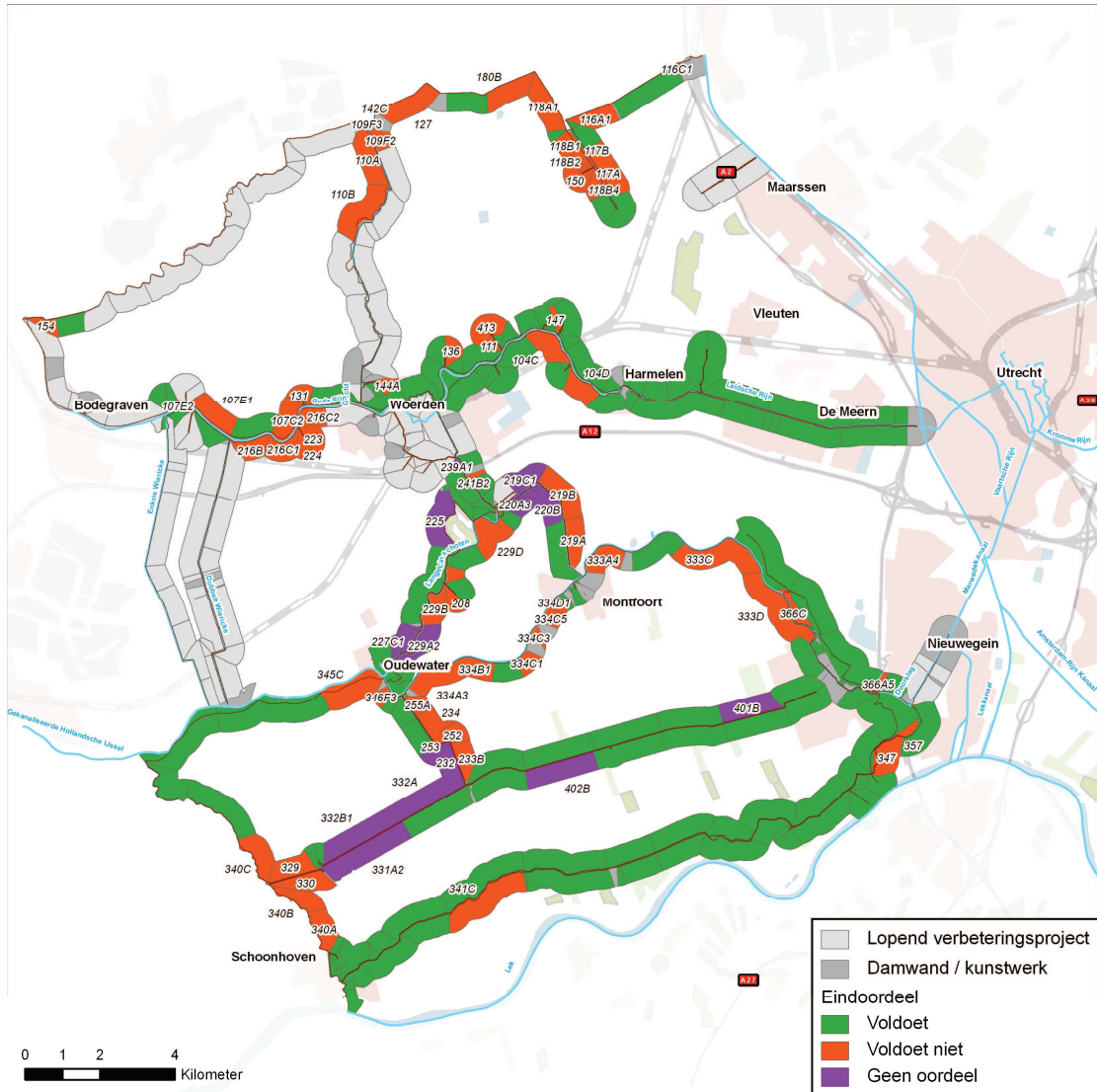
- 252,9 km (80%) voldoet
- 42,7 km (14%) niet voldoet
- 20,6 km (6%) geen oordeel krijgt wegens ontoereikende berekeningsmethodiek voor waterkeringen met veen in de ondergrond

Tabel 4-3: Eindoordeel toetsing

	Voldoet		Voldoet niet		Geen oordeel	
	Aantal subsecties	km	Aantal subsecties	km	Aantal subsecties	km
Totaal	307	252.9	68	42.7 ¹⁾	14	20.6
Utrecht	231	191.0	58	33.7	14	20.6
Utrecht/Zuid-Holland	14	12.6	2	0.3	0	0.0
Zuid-Holland	62	49.3	8	8.6	0	0.0

- 1) Van de subsecties die *alleen* niet voldoen op de toets op overlopen/overslag, is alleen de lengte meegenomen van de delen waarvoor dit geldt (dus niet de totale lengte van de betreffende subsecties)

Het eindoordeel per subsectie is weergegeven in onderstaande figuur en in de verzameltabel in bijlage XI.



Figuur 4-13: Eendoordeel met alle toetssporen gecombineerd. In bijlage XI zijn deze resultaten op een grote kaart weergegeven. Per subsectie is de reden van voldoen, niet voldoen of geen oordeel verantwoord in de verzameltabel in bijlage XI

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Toetsing algemeen

In deze toetsing zijn diverse nieuwe werkwijzen ontwikkeld. Belangrijk hierin waren de methode om de hoogte van de keringen te bepalen op basis van het AHN-2 en de methode om de grondsamenstelling te bepalen op basis van bestaande geologisch onderzoek, boringen, sonderingen, laboratoriumonderzoek en integrale workshops. Gevoeligheidsanalyses zijn in alle onderdelen van de toetsing uitgevoerd om steeds de invloed van bepaalde keuzes op de einduitkomsten in beeld te brengen. Zo is voor de toetsing op hoogte niet alleen de maximale hoogte over 1,5 meter breedte bepaald, maar ook de absolute hoogte van een kering. Ook zijn er per dijkstrekking meerdere grondopbouwen doorgerekend en zijn er verschillende parametersets gebruikt voor de sterkte-eigenschappen van de grond.

De procesmatige kant van het project is goed verlopen. Er is tijdens het gehele project gewerkt met een interne projectgroep, aangevuld met inhuurkrachten van Nelen & Schuurmans en Inpijn-Blokpoel. De projectgroep bestond uit fysisch geografen, geotechnici, GIS-specialisten, beheerders, een projectleider van het ingenieursbureau van het waterschap, een hydroloog en beleidsmedewerkers. Het project heeft ruim een jaar geduurd. Ieder kwartaal is er een overleg met de provincies geweest, waarin de belangrijkste keuzes zijn toegelicht en goedgekeurd. Door alle partijen is de samenwerking als prettig ervaren.

Om vanuit de uitkomsten van deze toetsing de stap te maken naar *doelmatige* maatregelen is een nadere concretiseringslag vereist. Doelmatige maatregelen zijn maatregelen die voldoende bescherming tegen wateroverlast bieden zonder dat hierbij de bescherming wordt 'overdreven'.

5.2 Vervolgstappen

5.2.1 IPO-classes

Naar aanleiding van de toetsresultaten wordt geadviseerd met de provincies te overleggen over een detaillering van de huidige toewijzing van IPO-classes. De huidige IPO-classes zijn gebaseerd op een vergelijking van boezemwaterstand en maaiveld en een schatting van de schade die bij deze dieptes optreedt. Met huidige overstromingsmodellen kan een betere inschatting worden gemaakt omdat hierbij ook het overstromingspatroon wordt meegenomen. Met name in relatief ondiepe polders, zoals de polders in het gebied van de Stichtse Rijnlanden, heeft dit veel effect op het uiteindelijke overstromingsbeeld. Ervaringen in andere waterschappen (Hh Hollands Noorderkwartier en Hh van Delfland) leren dat dit in het algemeen leidt tot een toewijzing van lagere IPO-classes

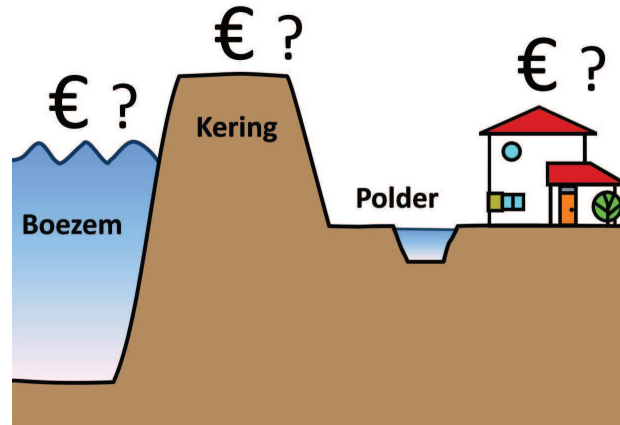
5.2.2 Integrale kosten-batenanalyse voor maatregelen

Om de resultaten van deze toetsing te vertalen naar doelmatige maatregelen, wordt een integrale kosten-batenanalyse geadviseerd. Twee punten zijn hierin van belang:

- Naast kadeversterking zijn er ook andere maatregelen om een boezemkade aan de veiligheidsnormen te laten voldoen, zoals waterstandsverlagende of verkeersbeperkende maatregelen. Voorbeelden van waterstandsverlagende maatregelen zijn het aanbrengen van stuwen of een wijziging in de boezembemaling. De haalbaarheid hiervan dient in samenwerking met de afdeling waterhuishouding onderzocht te worden. Voorbeelden van verkeersbeperkende maatregelen zijn het

permanent afsluiten van wegen of het beperken van zwaar verkeer op boezemkades waar de verkeersbelasting veel invloed heeft op de instabiliteit van een boezemkade.

- Het beheergebied van HDSR bevat veel boezemkades met lage IPO-classes (I of II). Met name bij deze boezemkades is het belangrijk om alternatieve maatregelen af te wegen ten opzichte de relatief dure ingreep van kadesversterking. De gevolgschade bij deze boezemkades is namelijk klein, waardoor de afname van deze gevolgschade door het nemen van maatregelen ook klein zal zijn. Deze afname in schaderisico (de baten) dient in balans te zijn met de kosten die hiervoor gemaakt worden (Figuur 5-1).



Figuur 5-1: Meerdere mogelijkheden om te investeren in maatregelen om de veiligheid te garanderen

5.2.3 Uitstellen eindoordeel voor subsecties met veen in de ondergrond

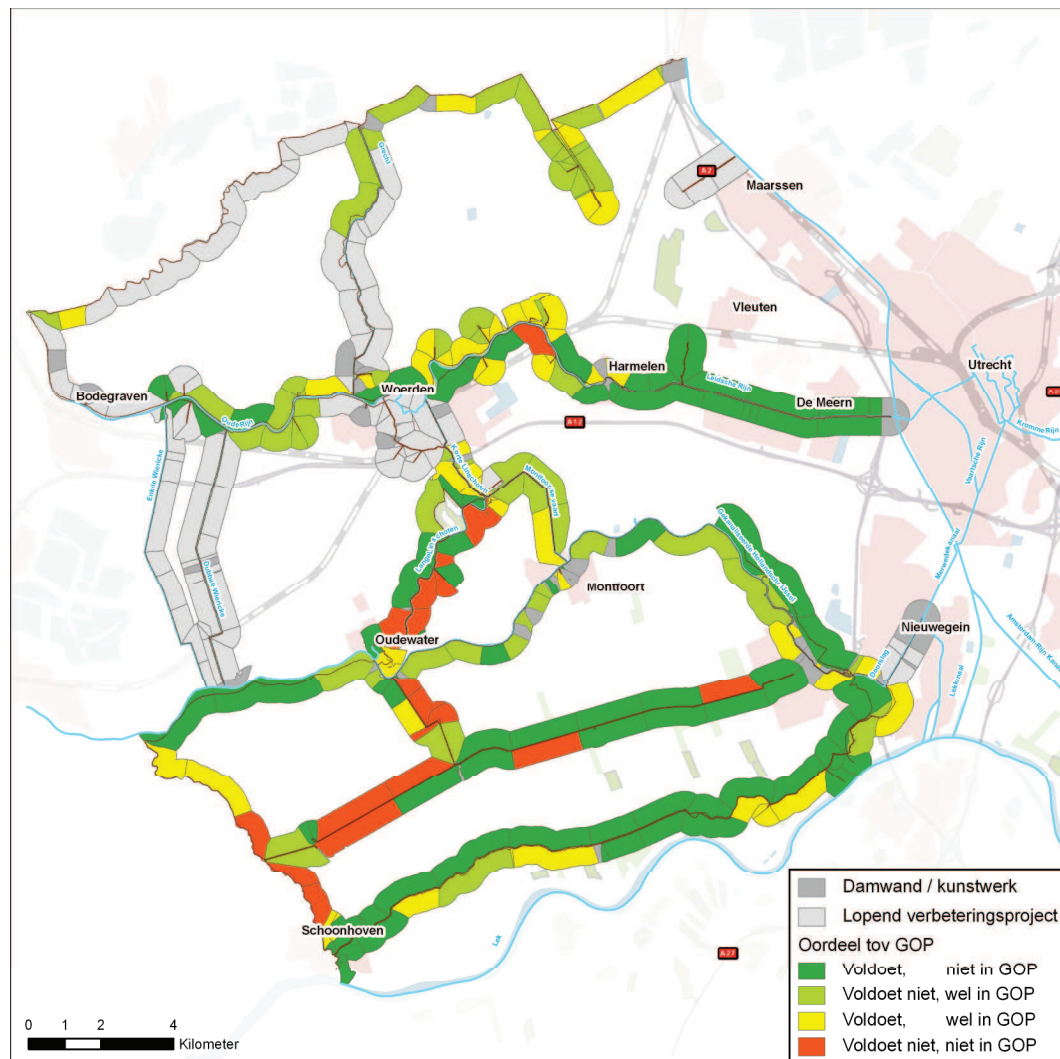
Voor de subsecties waar zich veen in de ondergrond of op het aanliggende maaiveld bevindt, wordt geadviseerd lopende landelijke onderzoeken af te wachten alvorens een eindoordeel te geven. De huidige rekenmethoden zijn namelijk niet geschikt om de stabiliteit van deze subsecties in kaart te brengen. In de landelijke onderzoeken wordt daarom naar nieuwe rekenmethoden gezocht.

5.3 Groot Onderhoudsprogramma (GOP)

De nieuwe inzichten, die vanuit de bovengenoemde integrale kosten-batenafweging en het landelijke onderzoek naar waterkeringen met veen in de ondergrond naar voren zullen komen, kunnen worden gebruikt voor een update van het GOP.

Als het eindoordeel wordt vergeleken met het huidige Groot Onderhoudsplan (GOP), dan blijkt dat er vier categorieën te onderscheiden zijn (zie ook onderstaande figuur):

- Subsecties die *niet* voldoen in de toetsing en die *wel* in het GOP staan. Voor deze subsecties wordt dus bevestigd dat er maatregelen nodig zijn (62 subsecties, in totaal 62,3 km)
- Subsecties die *wel* voldoen in de toetsing en *niet* in het GOP staan. Voor deze subsecties wordt bevestigd dat ze niet in het GOP thuishoren (86 subsecties, in totaal 98,3 km)
- Subsecties die *niet* voldoen in de toetsing maar *niet* in het GOP staan. Voor deze subsecties dient nader onderzocht te worden waarom ze niet in het GOP staan (19 subsecties, in totaal 26,5 km)
- Subsecties die *wel* voldoen in de toetsing maar toch *wel* in het GOP staan. Voor deze subsecties dient nader onderzocht te worden waarom ze in het GOP staan (67 subsecties, in totaal 43,1 km)



Figuur 5-2: Vergelijking uitkomsten toetsing met GOP

5.4 Beheersmaatregelen

5.4.1 *Inspectie*

Voor de waterkeringen die in de periode van nu tot en met het nemen van maatregelen nog onvoldoende veilig zijn of geen oordeel hebben, wordt een intensieve inspectie geadviseerd ten tijde van hoogwater en droogte. Dit betreft de kades die zijn afgekeurd op de toetssporen macrostabiliteit binnentalud en piping.

5.4.2 *Oefenen met afsluitvoorzieningen en compartimentering*

Voor waterkeringen van voorboezems, die in de huidige situatie nog onvoldoende veilig zijn of geen oordeel hebben, wordt geadviseerd te oefenen met afsluitvoorzieningen. De voorboezems zijn vaak afsluitbaar door het gebruik van schotbalken, die bij een eventueel falen van de voorboezemkades de uitstroom van water vanuit de boezem naar de polder sterk beperken.

Naast afsluitvoorzieningen in voorboezems zijn er ook compartimenteringswerken op andere locaties in het boezemsysteem. Ook hiervoor wordt geadviseerd de keuze om ze in te zetten en de operationele uitvoering hiervan te oefenen, met name nabij de kadetrajecten die niet voldoen aan de huidige veiligheidsnormen.

5.4.3 *Dagelijks beheer*

De controle van kunstwerken, behorende bij hoogwatervoorzieningen, dient te worden meegenomen in het dagelijks beheer van de boezemkades. Een waterstandsval in deze hoogwatersloten kan namelijk tot instabiliteit van de aangrenzende boezemkade leiden omdat de waterdruk aan de polderzijde dan wegvalt.

6 Literatuur overzicht

- [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, juni 2010.
- [3] Waterverordening Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Provinciale staten van Noord-Holland en Zuid-Holland, december 2009.
- [4] Toetsing Regionale Waterkeringen 2008, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, december 2008.
- [5] STOWA 2004, STOWA-cassette Droogteonderzoek Veenkaden, STOWA, 2004
- [6] Berendsen, Henk J.A. & Esther Stouthamer 2001, Palaeogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands, Assen: Koninklijke Van Gorcum
- [7] Berendsen, Henk J.A., 1982, Geomorfogenetische kaart, Universiteit Utrecht
- [8] Provincie Utrecht, Geomorfologische kaart. Precies bron onbekend. Inhoud is overeenkomstig met [6] en [7]
- [9] Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, 3D Geologische model Holocene Deklaag
- [10] Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Grondboringen database, Herkomst uit DINO Database en eigen onderzoeken
- [11] Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [TRW 2004], TAW, september 2004