



Toetsing Regionale Waterkeringen 2012

Hoofdrapport (definitief)

Project:

Toetsing Regionale Waterkeringen 2012

Hoofdrapport (definitief)

Projectgegevens:

Hoogheemraadschap De Stichtse
Rijnlanden

Postbus 550

3990 GJ HOUTEN

Datum : Mei 2012

Niets uit deze rapportage mag worden veeelvoudigd of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgever. Noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Samenvatting

In het Uitvoeringsbesluit Waterverordening Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden 2009 is bepaald dat voor 1 juli 2012 verslag wordt uitgebracht over de algemene waterstaatkundige toestand van de regionale waterkeringen (316 km) in het beheergebied. Daarom zijn in het project Toetsing Regionale Waterkeringen 2012 de genormeerde regionale waterkeringen getoetst voor de situatie die in 2015 wordt verwacht. Een deel van deze regionale waterkeringen (27%) bevindt zich in lopende verbeteringsprojecten. Bij deze trajecten is ervan uitgegaan dat ze in 2015 zullen voldoen.

Deze toetsing is volgens de meest recente landelijke leidraden uitgevoerd en bestaat uit zowel een theoretisch oordeel als uit een beheerdersoordeel. 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

In 2008 is ook een Toetsing Regionale Waterkeringen uitgevoerd. Bij deze toetsing werd 87% van de regionale waterkeringen als voldoende gekwalificeerd. Het verschil tussen de toetsing van 2008 en 2012 wordt ten eerste verklaard doordat er in 2012 meer toetssporen zijn beschouwd. Naast stabiliteit binnentalud en hoogte waren dit piping, macrostabiliteit buitentalud, bomen, kabels en leidingen. Ten tweede zijn de toetsporen stabiliteit binnentalud en hoogte op een hoger detailniveau uitgevoerd dan in 2008. Zo is de toets op stabiliteit in 2008 alleen op basis van geometrie gedaan, terwijl in 2012 ook de bodemeigenschappen zijn meegenomen. Ten derde zijn er nieuwe gegevens beschikbaar gekomen na 2008, zoals gedetailleerdere hoogtegegevens en nieuwe bodemgegevens. Een laatste verklaring voor het verschil zijn bodemdalingen en wijzigingen in het boezemsysteem na 2008.

Naar aanleiding van de uitkomsten van deze toetsing worden de volgende vervolgvactiteiten geadviseerd:

- Overleg met de provincies over een detaillering van de toewijzing van IPO-classes met behulp van daarvoor beschikbare overstromingsmodellen. Ervaringen in de hoogheemraadschappen Hollands Noorderkwartier en Delfland leren dat dit over het algemeen leidt tot lagere IPO-classes, waardoor meer boezemkades goedgekeurd kunnen worden.
- Integrale kosten-batenanalyse naar effectieve en efficiënte maatregelen om de waterkeringen die niet voldoen aan de veiligheidseisen voor 2020 wel te laten voldoen. Hierin dient naast kadeversterking ook bijvoorbeeld naar waterstandsverlagingen en verkeersbeperkingen te wordt gekeken.
- Uitstellen van het oordeel over trajecten waar zich veen in de ondergrond of op het aanliggende maaiveld bevindt, totdat er in landelijke onderzoeken nieuwe analysemethodes worden voorgedragen. In de huidige toetsing hebben deze trajecten nog geen oordeel gekregen.
- Aanpassing van het Groot Onderhoudsplan Regionale Waterkeringen, naar aanleiding van de uitkomsten van de bovengenoemde integrale kosten-batenafweging en het landelijke onderzoek naar waterkeringen met veen in de ondergrond.

- 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. Ook wordt geadviseerd te oefenen met noodmaatregelen, zoals boezemcompartimenteringen, om de mogelijke overstromingsschade die door deze waterkeringen kan optreden te zoveel mogelijk te beperken.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen.....	1
1.2	Beschrijving beheergebied	1
1.3	Toetsingsproces	2
1.4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	4
1.5	Leeswijzer	5
2	Uitgangspunten toetsing.....	6
2.1	Kadevakken (subsecties).....	6
2.2	Normering en stabiliteitsfactor	7
2.3	Hydraulische randvoorwaarden.....	8
2.4	Uitgangspunten toets overlopen/overslag.....	10
2.5	Uitgangspunten Macrostabiliteit binnentalud (STBI)	12
2.6	Uitgangspunten toets piping	15
2.7	Uitgangspunten overige beoordelingssporen.....	17
2.8	Inventarisatie bomen	19
2.9	Inventarisatie kabels en leidingen.....	19
3	Geometrie, ondergrond en maatgevende profielen	20
3.1	Onderzoek geometrie.....	20
3.2	Grondmechanisch onderzoek	21
3.3	Laboratoriumonderzoeken	25
3.4	Waterspanningen	30
3.5	Maatgevende en reguliere profielen	33
4	Resultaten toetsing	34
4.1	Theoretisch oordeel	34
4.2	Beheerdersoordeel	43
4.3	Eindoordeel.....	46
5	Conclusies en aanbevelingen	48
5.1	Toetsing algemeen	48
5.2	Vervolgstappen.....	48
5.3	Groot Onderhoudsprogramma (GOP)	49
5.4	Beheersmaatregelen	51
6	Literatuur overzicht	52

Bijlagen:

I	Overzicht subsecties
II	Inventarisatie veranderingen watersysteem
III	Toetshoogten
IV	Onderzoek grondopbouw
V	Onderzoek grondparameters
VI	Toets op overlopen/overslag
VII	Toets op macrostabiliteit binnentalud
VIII	Resultaten stabiliteitstoets buitentalud
IX	Inventarisatie bomen en leidingen
X	Beheerdersoordeel
XI	Verzameltabel

1 Inleiding

1.1 Algemeen

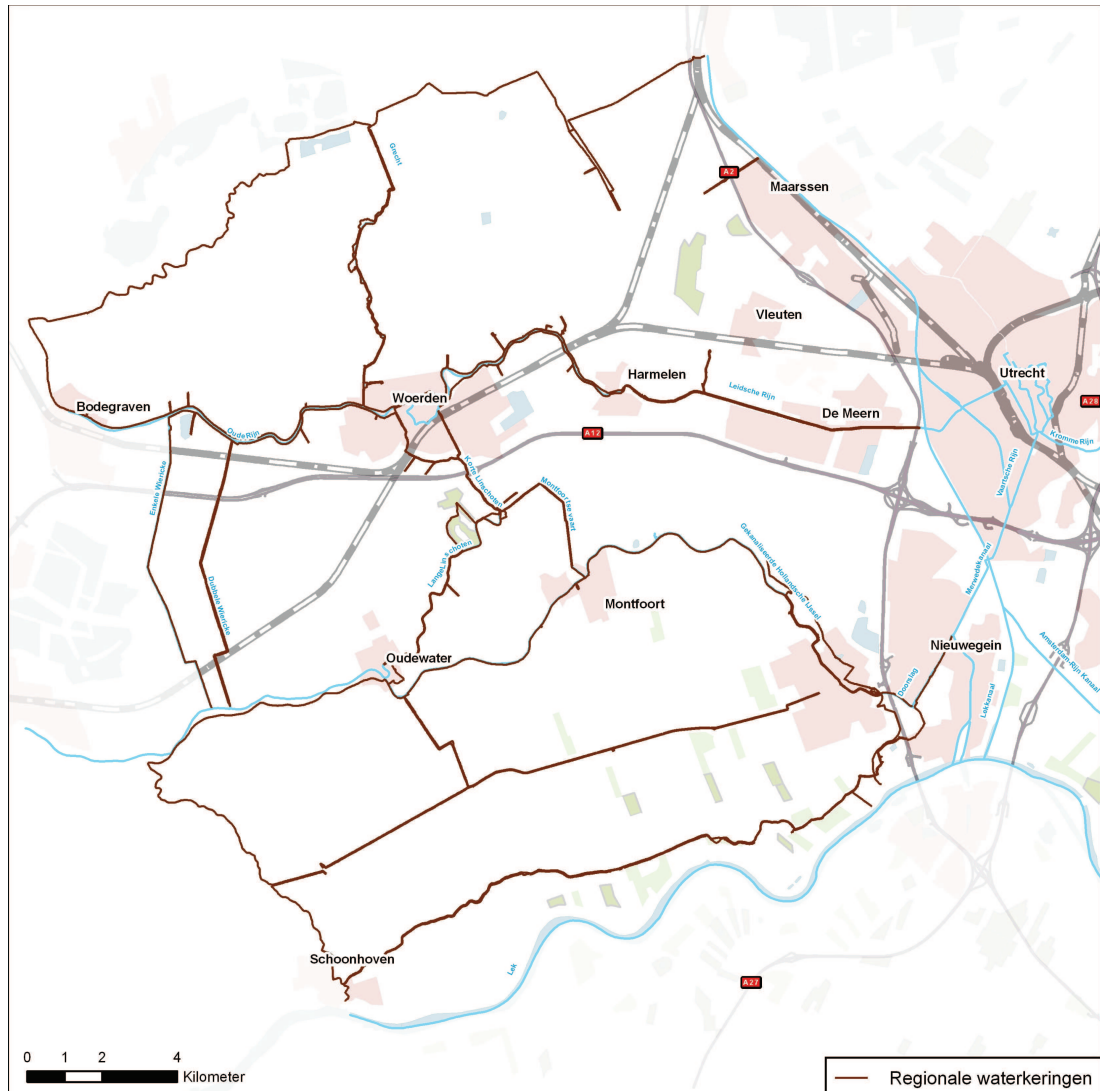
De zorg voor veilige dijken is één van de kernpunten van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Een belangrijk onderdeel daarvan is de veiligheidstoetsing van de regionale waterkeringen.

In de Provinciale waterverordening 2006 zijn veiligheidsnormen toegekend aan regionale keringen. Deze zijn vastgelegd in de nieuwe Waterverordeningen van de waterschappen in West-Nederland. Op grond van deze verordeningen zijn de waterschappen belast met de periodieke toetsing van hun regionale keringen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen (Leidraad toetsen, [1]) en het addendum daarop [2] die STOWA in opdracht van het IPO en de Unie van Waterschappen heeft ontwikkeld.

In het uitvoeringsbesluit waterverordening Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden 2009 is bepaald dat voor 1 juli 2012 verslag wordt uitgebracht over de algemene waterstaatkundige toestand van de regionale waterkeringen in het beheergebied. Voorliggend document bevat hiervan de resultaten. Dit vormt een vervolg op de eerste globale toetsing, waarvan de resultaten in januari 2009 zijn opgeleverd.

1.2 Beschrijving beheergebied

De genormeerde regionale waterkeringen binnen het beheergebied van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden bevinden zich ten westen van Utrecht en Nieuwegein (Figuur 1-1).



Figuur 1-1: Overzicht genormeerde regionale waterkeringen

1.3 Toetsingsproces

1.3.1 Resultaten Toetsing 2008

In het proces dat ten grondslag ligt aan deze rapportage zijn de resultaten van de toetsing 2008 als basis gebruikt. Hieruit bleek dat:

- 272 km (87 %) van de regionale waterkeringen voldoende veilig was;
- 9 km (3%) onvoldoende veilig was door een tekort aan hoogte;
- 32 km (10%) geen oordeel kreeg op basis van de stabiliteitstoets. Hierin is vastgesteld dat nader onderzoek nodig was om tot een eindoordeel te komen.

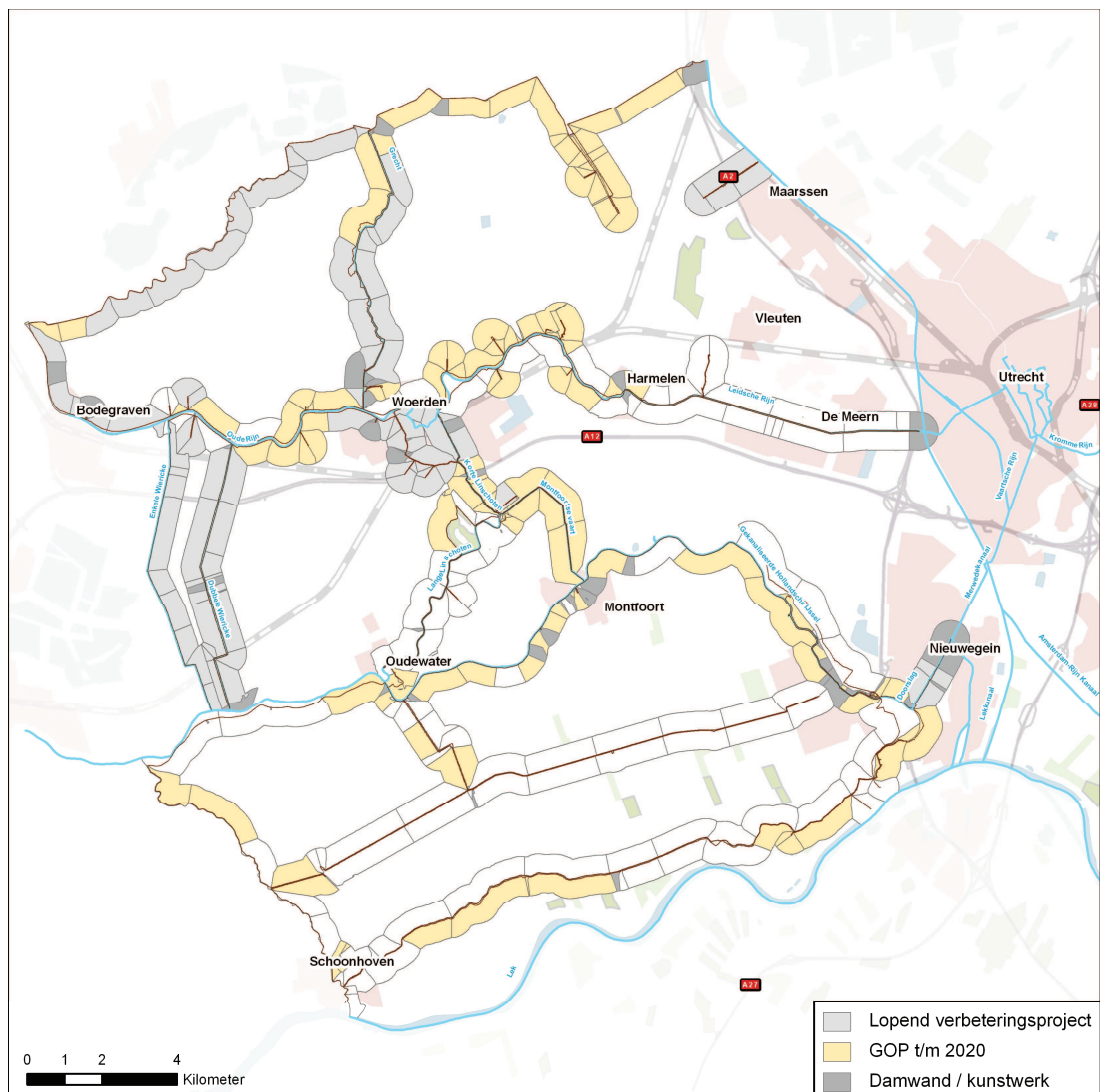
1.3.2 Groot onderhoudsplan tot 2020 (GOP)

Het hoogheemraadschap heeft naar aanleiding van de Toetsing 2008, de Legger 2010 en de verwachte bodemdaling in het gebied een Groot Onderhoudsplan (GOP) opgesteld. Het

doel van dit GOP is om alle regionale waterkeringen in 2020 te laten voldoen aan de veiligheidseisen.

De trajecten waar deze projecten uit het GOP plaatsvinden zijn weergegeven in onderstaande figuur. Dit betreft meer dan de helft van alle regionale waterkeringen.

De trajecten die bij de aanvang van het project Toetsing Regionale Waterkeringen 2012, in januari 2011, reeds in projecten van het ingenieursbureau van het waterschap waren opgenomen, worden individueel getoetst door het ingenieursbureau van het hoogheemraadschap en naar aanleiding daarvan versterkt. Voor deze trajecten is daarom aangenomen dat ze in 2015 zullen voldoen aan de veiligheidseisen, waardoor ze niet in deze toetsing zijn meegenomen. Het kan voorkomen dat er tussentijdse wijzigingen in deze planning hebben plaatsgevonden of dat projecten uitlopen. Deze planningsonzekerheid is niet meegenomen in dit rapport.



Figuur 1-2: Lopend verbeteringsproject en verbeteringsproject gepland tot 2020

1.3.3 *Verschillen tussen toetsing 2008 en 2012*

Sinds 2008 zijn er nieuwe gegevens beschikbaar gekomen, zoals een nieuwe en zeer gedetailleerde hoogtekaart (AHN-2), nieuwe modeleertools om deze hoogtedata te vergelijken met de toetshoogten en nieuwe gegevens over de grondopbouw. Ook is het boezemwatersysteem op enkele plekken in het beheergebied veranderd. Dit gaf voldoende aanleiding om de toetsing 2012 uit te voeren voor alle kadetrajecten, behalve de kadetrajecten die tot 2015 worden onderhouden en reeds in verbeterprojecten zijn opgenomen (zie voorgaande subparagraaf).

In de toetsing 2008 is voornamelijk gefocust op de hoogtetoets en de stabiliteitstoets van het binnentalud. De overige toetssporen, zoals bijvoorbeeld piping, zijn zeer globaal meegenomen. In voorliggende toetsing is, voor zover mogelijk, aan alle toetssporen gedetailleerd aandacht besteed.

1.3.4 *Proces toetsing 2012*

Tijdens het gehele proces van dataverzameling, berekeningen en analyses is gewerkt met een toetsteam, bestaande uit specialisten op het gebied van GIS, geotechniek, geologie en waterhuishouding. Alle uitgangspunten, keuzes en bevindingen, zijn tussentijds, eens per kwartaal, afgestemd met de provincies Utrecht en Zuid-Holland.

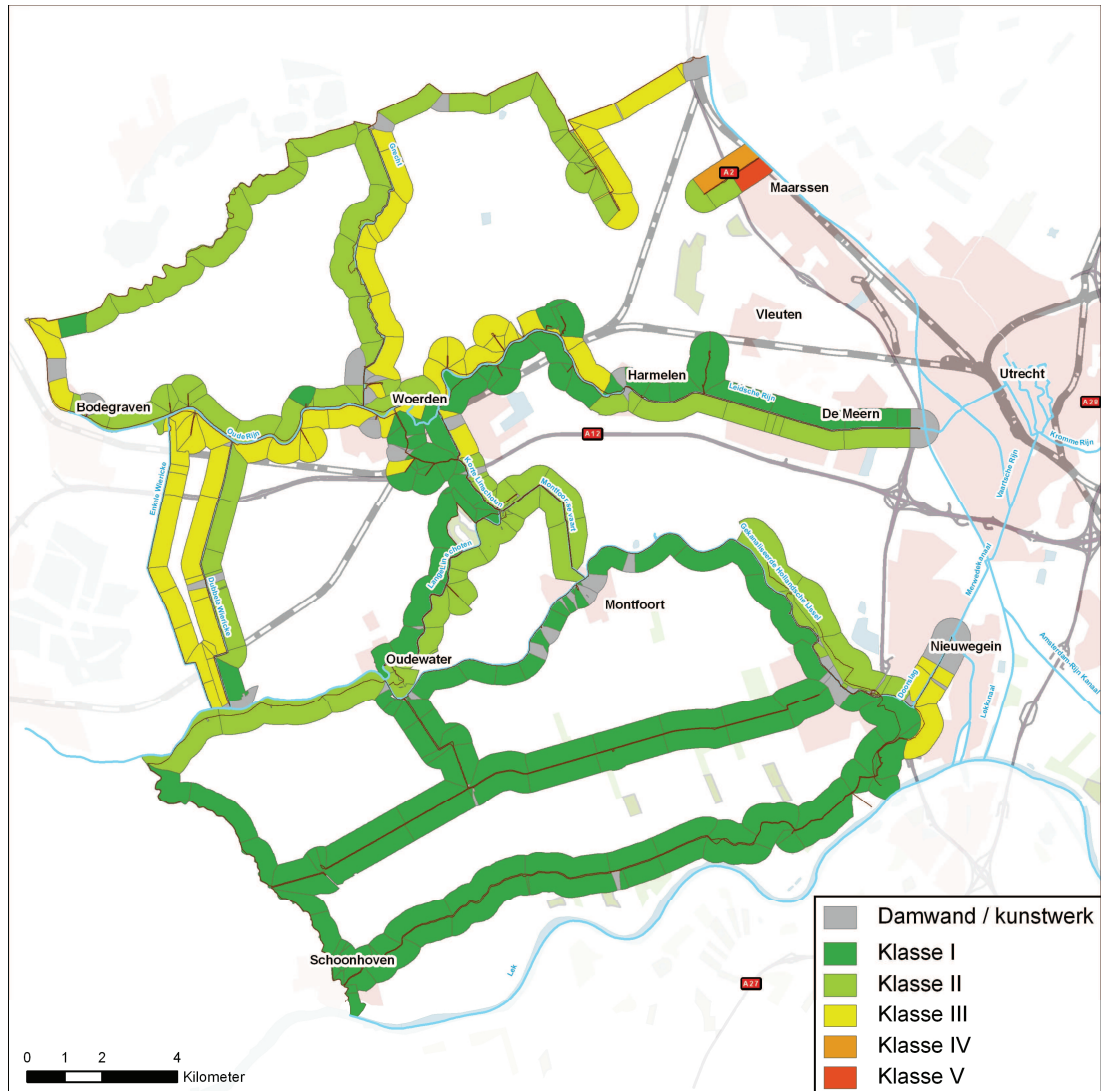
1.4 **Uitgangspunten en randvoorwaarden**

1.4.1 *Normen*

In het beheergebied van De Stichtse Rijnlanden is 316 km regionale waterkering aanwezig, vastgelegd in de waterverordening Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden [3]. Deze regionale waterkeringen zijn genormeerd volgens 5 IPO-klassen. Hoe hoger de mogelijke gevolgschade bij een dijkdoorbraak, hoe hoger de klasse en het vereiste beveiligingsniveau. Zo is aan klasse V een overstromingskans van maximaal 1/1000 per jaar gekoppeld en aan klasse I een overstromingskans van tussen de 1/30 en 1/10 per jaar. Onderstaande tabel en figuur geven een overzicht van de klassen en hun voorkomen binnen het beheergebied van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. Hieruit blijkt dat het grootste deel van de keringen klasse I of II heeft.

Tabel 1-1: *Verdeling genormeerde waterkeringen per veiligheidsklasse*

Veiligheids-klasse	Verwachte schade [miljoen €]	Beveiligingsniveau [jaar]	Lengte [km]
I	0 - 8	1/10	150,5
II	8 - 25	1/30	102,9
III	25 - 80	1/100	60,2
IV	80 - 250	1/300	1,7
V	> 250	1/1000	0,8
Totaal			316,2



Figuur 1-3: Veiligheidsklassen

1.4.2 Toetsing

De veiligheid van de genormeerde waterkeringen is getoetst op basis van de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen (groene versie 2007) [1] en het Addendum op de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen betreffende de Boezemkaden (2010) [2]. Daar waar nodig is onderbouwd en in overleg met de provincies afgeweken van deze leidraad.

1.5 Leeswijzer

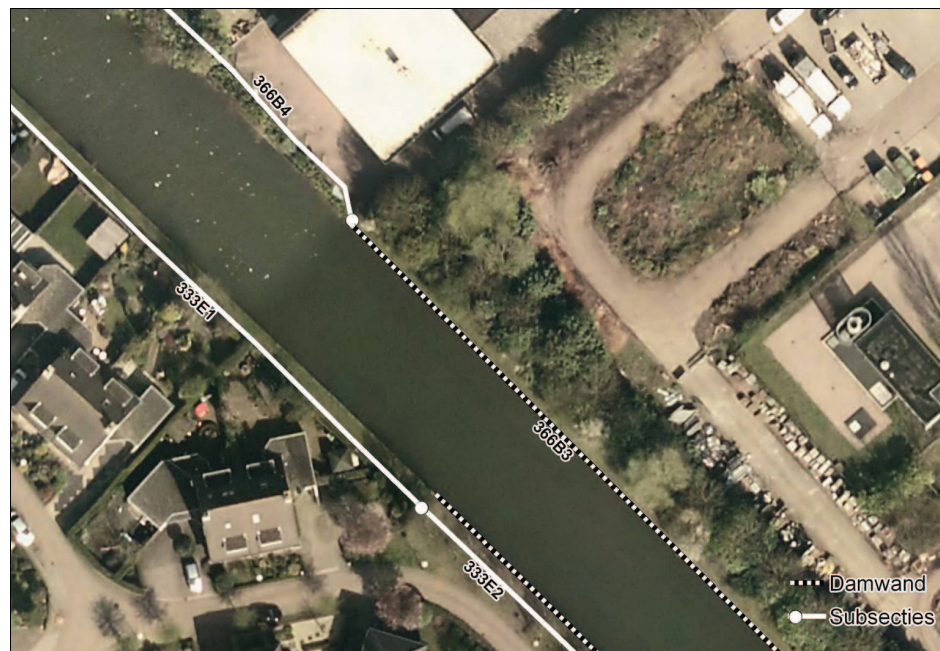
In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving van de uitgangspunten van de toetsing. In hoofdstuk 3 is verantwoord hoe het grondonderzoek is uitgevoerd. Hoofdstuk 4 bevat de resultaten. In hoofdstuk 5 worden de resultaten vertaald naar dijkverbeteringsprogramma's, vervolgonderzoek en beheersmaatregelen.

2 Uitgangspunten toetsing

2.1 Kadevakken (subsecties)

De totale lengte van de 316 km genormeerde boezemkeringen is opgedeeld in 389 subsecties. Bij de opdeling naar subsecties is het criterium geweest dat binnen de subsecties de eigenschappen die van belang zijn voor de toetsing ongeveer gelijk zijn. Hierbij is tevens gestreefd naar een werkbaar aantal subsecties. Het betreft de volgende eigenschappen:

- Hydraulische omstandigheden (boezempeil, polderpeil);
- Geotechnische eigenschappen (talud, kruinbreedte en globale grondsoort van de kade en de ondergrond);
- De aanwezigheid van constructies of objecten in de kade, zoals damwanden en wegen (Figuur 2-1).



Figuur 2-1: Scheiding tussen subsecties op basis van aanwezigheid van damwanden

Omdat wordt aangenomen dat deze subsecties homogeen zijn wat betreft sterkte en stabiliteit, zijn deze subsectie ook als eenheden gebruikt voor de analyses per bezwijkingsmechanisme. Zo is voor het bezwijkingsmechanisme Macrostabiteit Binnentalud per subsectie een maatgevend profiel (zwakste punt) en een regulier (meest voorkomend) profiel vastgesteld en doorgerekend. De hoogtetoets is op een hoger detailniveau uitgevoerd (elke 5 meter).

In bijlage I is de ligging van de subsecties in detail weergegeven.

2.2 Normering en stabiliteitsfactor

2.2.1 IPO-veiligheidsklassen

De toetsing bestaat uit het controleren van de normen die zijn opgesteld voor de regionale waterkeringen. Deze normen zijn door de provincies afgeleid uit de hoeveelheid schade die een doorbraak van een boezemkering kan veroorzaken. In Tabel 1-1 is reeds aangegeven dat er 5 IPO-veiligheidsklassen zijn, afgeleid uit een bijbehorend potentieel schadebereik en een toegestane frequentie van optreden.

2.2.2 Overschrijdingsfrequenties en schadefactoren

Per bezwijkingsmechanisme is vastgelegd wanneer voldaan wordt aan de gestelde IPO-veiligheidsklassen. Dit is bij het bezwijkingsmechanisme 'overlopen/overslag' uitgedrukt in een overschrijdingsfrequentie. Deze overschrijdingsfrequentie verschilt per IPO-veiligheidsklasse. Een kering wordt voldoende hoog geacht als de toetshoogte, behorende bij een overschrijdingsfrequentie, lager is dan de vastgestelde kruinhoogte van de betreffende kering.

Voor de toetssporen macrostabiliteit van het buiten- en binnentalud geldt dat er stabiliteitseisen zijn vastgelegd. Als een kade voldoet aan de onderstaande stabiliteitseis wordt hij voldoende stabiel geacht:

$$\frac{\text{Stabiliteitsfactor}_{\text{berekend}}}{\text{Schadefactor}} \geq 1.0 \quad (1)$$

Hoe hoger de IPO-veiligheidsklasse, hoe hoger ook de stabiliteitsfactor moet zijn (Tabel 2-1). Bijvoorbeeld, als de IPO-veiligheidsklasse bij een bepaalde subsectie I is, dan bedraagt de schadefactor 0,8. Een kade met deze veiligheidsklasse is dus voldoende stabiel als de berekende stabiliteitsfactor $\geq 0,8$ is.

Tabel 2-1: IPO-veiligheidsklassen en bijbehorende overschrijdingsfrequenties en schadefactoren

IPO-veiligheidsklasse	Overschrijdingsfrequentie [1/jaar]	Schadefactor
I	1/10	0,8
II	1/30	0,85
III	1/100	0,9
IV	1/300	0,95
V	1/1.000	1

2.2.3 Modelfactor

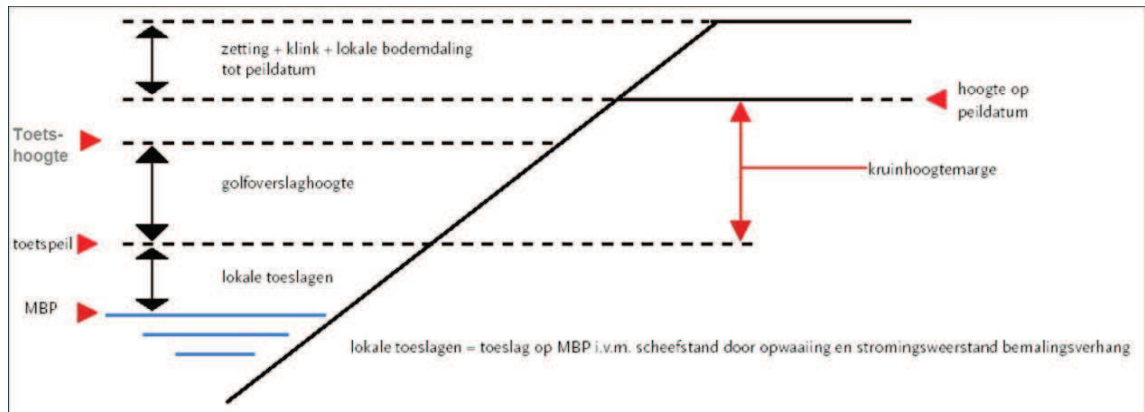
Bij de toetssporen macrostabiliteit binnen- en binnentalud dient rekening gehouden te worden met een modelfactor. Dit is een factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd. Bij een gedetailleerde stabiliteitsanalyse in de natte situatie met behulp van methode Bisshop is het toegestaan deze als 1,0 te veronderstellen en heeft hij dus geen invloed. Een stabiliteitsberekening voor de droge situatie met behulp van de methode 'horizontaal afschuiven', vereist een modelfactor van 1.2 [1]. Formule (1) verandert dan in:

$$\frac{\text{Stabiliteitsfactor}_{\text{berekend}}}{\text{Schadefactor} \times 1.2} \geq 1.0 \quad (2)$$

2.3 Hydraulische randvoorwaarden

2.3.1 Toetshoogte voor toetsspoor overlopen/overslag

De toets op overlopen/overslag schrijft de eis voor dat de waterstand (toetshoogte) altijd onder de kruinhoogte moet blijven. In Figuur 2-2 zijn de belangrijkste definities voor de toets op overlopen/overslag weergegeven.



Figuur 2-2: Definities in toets op overlopen / overslag

De toetshoogte is als volgt opgebouwd:

Het Toetspeil (Maatgevend Boezempeil (MBP) inclusief lokale toeslagen) is door de provincie vastgesteld. Deze is bepaald met Sobek-analyses die reeds waren uitgevoerd in diverse normeringstudies. Hierin is de langsopwaaiing en het bemalingverhang meegenomen, bepaald bij verschillende neerslagsituaties.

Om tot de toetshoogte te komen worden bij het toetspeil de dwarsopwaaiing en golfoverslaghoogte opgeteld. Deze zijn bepaald met Promotor 2008 berekeningen [4]. In Tabel 2-2 is weergegeven waar deze berekeningen hebben plaatsgevonden en wat het berekende effect is, inclusief een toelichting.

Omdat bovenstaande gegevens zijn bepaald voor de situatie van 2008, heeft een uitgebreide inventarisatie plaatsgevonden van wijzigingen of geplande wijzigingen in het watersysteem in de periode 2008-2015. Dit betreft bijvoorbeeld enkele kunstwerken die voorboezems permanent afsluiten. Op deze locaties zijn de hydraulische randvoorwaarden licht gewijzigd. In bijlage II is deze inventarisatie beschreven. In bijlage III is een kaart opgenomen waarop de uiteindelijke toetshoogten zijn weergegeven.

Kadevak Nr.	Naam	Veiligheids klasse	Aantal punten	Berekend lokaal effect [m]	Toelichting
102 103	Leidse Rijn kade	I en II	2	0,04 0,06	Hoge waterstanden bij hoge wateraanvoer naar het Amsterdam-Rijnkanaal
120A 120B	Hollandse Kade	II	2	0,08 0,30	Golfaanval vanuit Nieuwkoopse plassen
219 220	Montfoortse Vaart kade Oost en west	II	4	0,08 0,10	Grote strijklengte op overheersende windrichting noordwest
235 236	Dubbele Wiericke kade Oost en west	III	4	0,21 0,20	Volgens opgave beheerder aanzienlijke golfwerking
254 en 255	Voorboezemkade gemaal Benschop	I	2	0,18 0,18	Grote strijklengte op overheersende windrichting noordwest
117 en 118	Bijleveldkade	II	4	0,09 0,09	Grote strijklengte op overheersende windrichting noordwest
333 366	IJsselkade Montfoort-IJsselstein	I	4	0,09 0,13	Kritisch geachte kade
106 115	Haarrijnkade	V IV	2	0,07 0,08	Kadevakken met hoge veiligheidsklasse
TOTAAL			24		

Tabel 2-2. Uitkomsten analyse voor golfopslag en dwarsopwaaiing in Promotor 2008

2.3.2 Waterstanden natte situatie

Voor diverse toetssporen, zoals Macrostabiteit Binnentalud en Piping dient gerekend te worden met een Toetspeil 'natte situatie'. Hiervoor gelden de volgende uitgangspunten:

- Boezempeilen: Als hoogwatersituatie wordt de toetshoogte gebruikt (zie voorgaande paragraaf);
- Polderpeilen: Per poldersloot is veelal een zomer en winterpeil bekend. In de natte situatie wordt de hoogste van de twee gebruikt.

2.3.3 Waterstanden droge situatie

Voor het toetsspoor Macrostabiteit Binnentalud dient, naast een natte situatie, ook te worden gerekend met een situatie van droogte. Hiervoor gelden de volgende uitgangspunten:

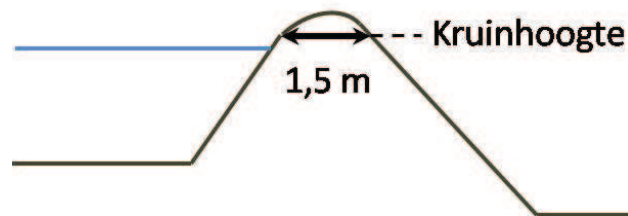
- Boezempeilen: De situatie droogte hoeft niet met de toetshoogte te worden berekend, omdat het optreden van de toetshoogte tijdens een periode van droogte als onrealistisch wordt beschouwd. Het volledig herstel van een verdroogde kade of dijk kan echter enkele maanden duren [5]. Binnen deze periode kan een situatie met veel neerslag optreden, zodat in de leidraad [1] wordt aanbevolen om veiligheidshalve als maatgevende waterstand een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van eens per jaar te hanteren. Voor dijkvakken waar de maatgevende waterstand voor de situatie droogte lager is dan het maaiveld is het beschouwen van de situatie 'droogte' niet relevant.
- Polderpeilen: Per poldersloot is veelal een zomer en winterpeil bekend. In de droge situatie wordt de laagste van de twee gebruikt.

2.4 Uitgangspunten toets overlopen/overslag

2.4.1 Methodiek en meegerekende processen

In de toets overlopen/overslag wordt gecontroleerd of de toetshoogte in alle gevallen onder de kruinhoogte blijft. De toetshoogte is de maximaal te verwachten waterstand en is vastgesteld zoals beschreven in paragraaf 2.3. Om de kruinhoogte te bepalen zijn hoogtekaarten gebruikt met een detail van 50x50 cm (AHN-2), in combinatie met de gemiddelde bodemdaling per subsectie. Hoe deze gemiddelde bodemdaling is bepaald is toegelicht in de volgende subparagraaf.

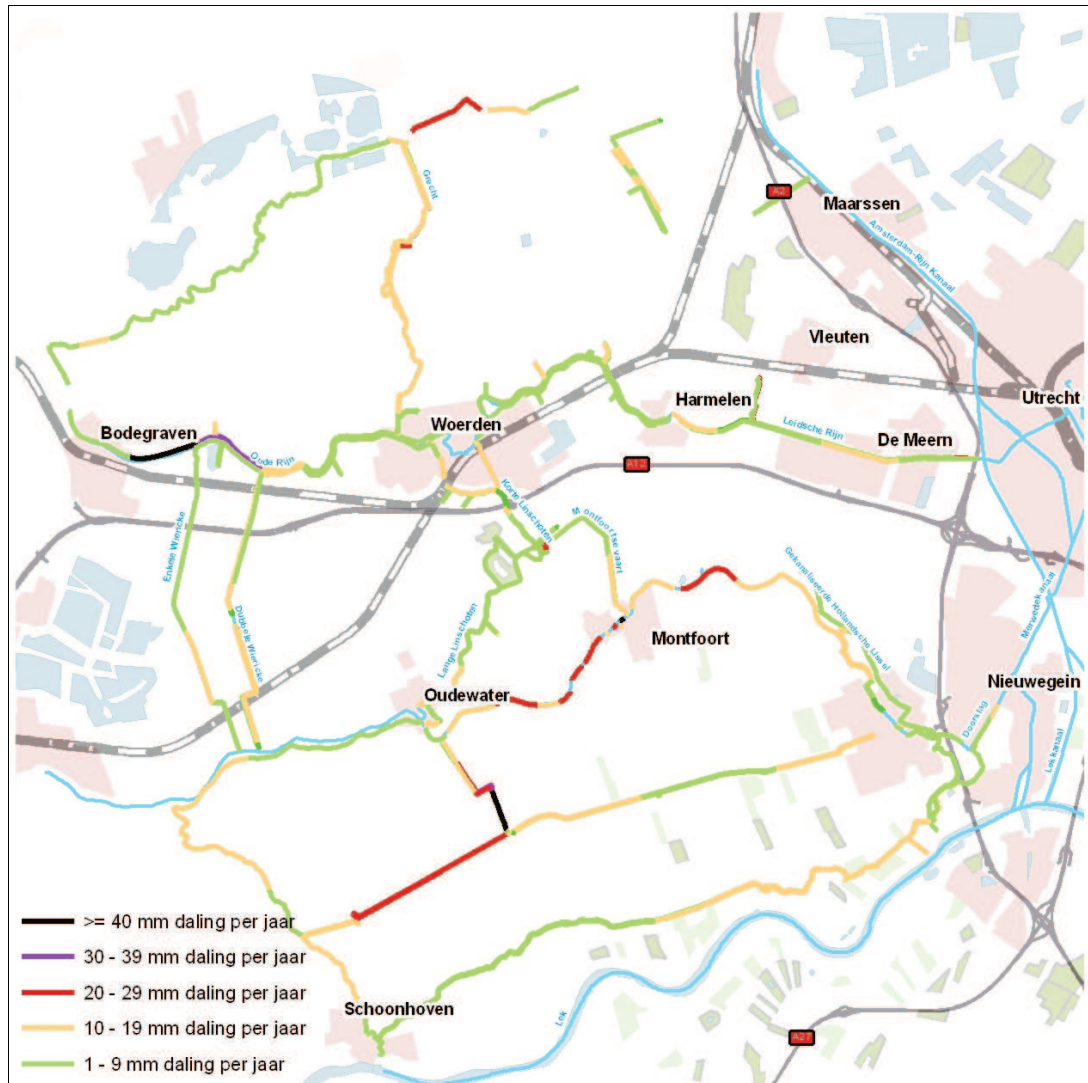
Voor de bepaling van de kruinhoogtes is over de lengte van alle subsecties op iedere 5 meter een dwarsprofiel gegenereerd, met de hoogtes uit het AHN-2 (zie ook paragraaf 3.1). Op punten waarvoor geen hoogte bekend is, zijn de omliggende hoogtes geïnterpoleerd. Vervolgens is per dwarsprofiel bepaald wat de maximale kruinhoogte is over minimaal 1,5 meter breedte (zie onderstaande figuur). Daarna is de hoogte verdisconteerd met de verwachte bodemdaling en is een vergelijking gemaakt met de toetshoogte.



Figuur 2-3: Maximale kruinhoogte: de hoogste waarde die over 1,5 meter wordt gegarandeerd.

2.4.2 Peildata

De peildatum is 1 januari 2015. Voor de kruinhoogte betekent dit dat de bodemhoogtes, afkomstig uit het AHN-2 uit 2008, verrekend zijn naar 2015 met behulp van een gemiddelde bodemdaling en zetting per jaar. Deze gemiddelde bodemdaling en zetting per jaar is per subsectie vastgesteld aan de hand van een vergelijking van de hoogtes in 2008 (AHN-2) en 2004 (Flimap-data) voor de subsecties die niet tussen 2004 en 2008 zijn opgehoogd. In Figuur 2-4 is de gemiddelde bodemdaling per jaar weergegeven. Verificatie van deze waarden heeft plaatsgevonden aan de hand van de gemiddelde bodemdaling (10-15 mm per jaar), waar bij regulier onderhoud aan de waterkeringen van wordt uitgegaan. Hieruit bleek dat de waarden in de zelfde orde van grootte lagen als deze gemiddelde bodemdaling.



Figuur 2-4: Gemiddelde bodemdaling per jaar op basis van vergelijking hoogtedata 2004 (Flimap) en 2008 (AHN-2)

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven, is ook bij de toetshoogtes uitgegaan van de peildatum 2015.

2.4.3 Kwantiteit en kwaliteit gebruikte gegevens

In Tabel 2-3 is een overzicht gegeven van de gebruikte gegevens voor de toets op overlopen/overslag. Per databron is aangegeven hoe de data is gebruikt en wat de kwantiteit en kwaliteit van de data was.

Tabel 2-3: Overzicht kwantiteit en kwaliteit gebruikte gegevens overlopen/overslag

Databron	Gebruik	Kwantiteit	Inschatting kwaliteit
AHN-2 (2008), gecorrigeerd voor maaiveld	Bepaling kruinhoogte. Elke 5 meter is een dwarsprofiel gegenereerd waarvan de maximale hoogte over 1,5 meter is bepaald	Hoge resolutie (50 x 50 cm)	Goed. In geval dat er geen waardes waren is geïnterpoleerd
Flimap 2004	Bepaling gemiddelde bodemdaling/zetting per jaar. Ook AHN-2 gebruikt	Hoge resolutie (50 x 50 cm)	Goed. In geval dat er geen waardes waren is geïnterpoleerd
Toetshoogten	Waterhoogte waarop de hoogte van de kruin is getoetst	Spreiding over hele boezem	Goed. Op basis van uitgebreide inventarisatie (zie bijlage II)
Maalstoppeilen	Controle van toetshoogten	Circa 20 punten in het gebied, geëxtrapoleerd.	Redelijk. Omdat dit om 20 punten gaat is de betrouwbaarheid met name op deze punten gegarandeerd.

2.4.4 Criteria voor voldoen, niet voldoen en geen oordeel

In onderstaande tabel is weergegeven welke criteria zijn gehanteerd voor het voldoen, niet voldoen of het niet kunnen geven van een oordeel over overlopen/overslag.

Tabel 2-4: Criteria hoogtetoets

Oordeel	Criterium
Voldoet	Kruinhoogte op peildatum \geq toetshoogte
Voldoet niet	Kruinhoogte op peildatum $<$ toetshoogte
Geen oordeel	Te weinig gegevens beschikbaar voor onderbouwd oordeel

2.5 Uitgangspunten Macrostabiele binnentalud (STBI)

Met macrostabiele binnentalud (STBI) wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam bedoeld. Dit afschuiven treedt op langs rechte of gebogen glijvlakken, door plastische zones, waarin door overbelasting geen krachtenevenwicht meer aanwezig is.

2.5.1 Toetsing op basis van geometrie

Kaden kunnen in sommige gevallen uitsluitend op basis van hun geometrie een voldoende toetsoordeel krijgen. Dit is het geval indien wordt voldaan aan ten minste één van de volgende criteria:

- Geen verval over de kade, de achterliggende polder ligt op minimaal het niveau van de toetshoogte;
- Geen wateroverlast bij doorbraak (afhankelijk van bergend vermogen van de polder in relatie tot beschikbare hoeveelheid water vanuit de boezem)

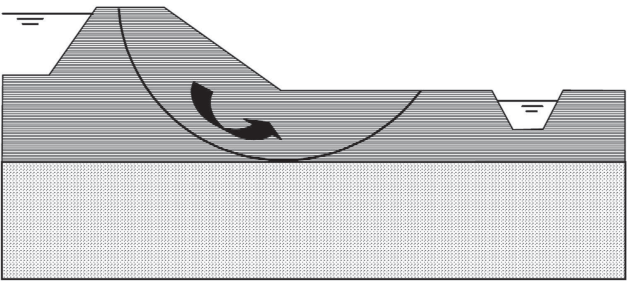
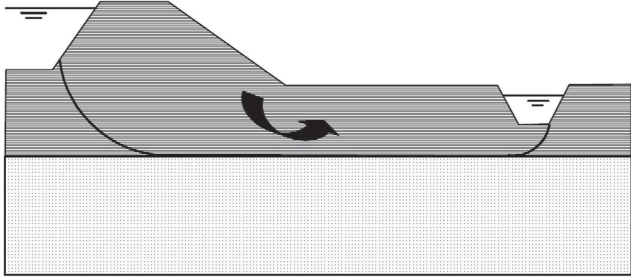
Wordt aan één van de bovenstaande criteria voldaan, dan is direct de score voldoende gegeven. In alle andere gevallen is de macrostabiliteit bepaald op basis van stabiliteitsberekeningen.

2.5.2 Toetsing op basis van stabiliteitsberekeningen (gedetailleerd, niveau 2)

Bij de gedetailleerde toetsing wordt een stabiliteitsanalyse uitgevoerd. De Leidraad toetsen maakt onderscheid tussen niveau 1 en 2, waarbij het verschil zit in de beschikbaarheid van laboratoriumonderzoek en waterspanningsgegevens. Op basis van de beschikbaarheid van laboratoriumonderzoek van monsters binnen het beheergebied is voor alle boezemkades op niveau 2 getoetst.

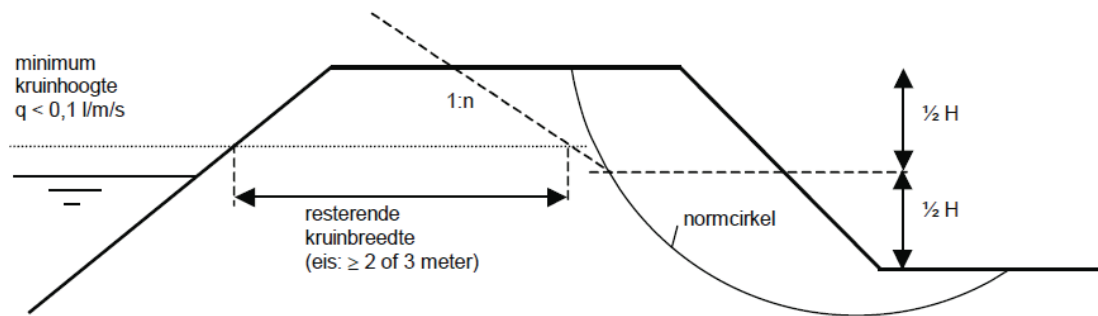
De stabiliteitsanalyse is in eerste instantie uitgevoerd door middel van een glijcirkelanalyse volgens de methode Bishop. In de gevallen waar de oprijfveiligheid lager was dan 1,2 is een drukstaafsom gemaakt (Tabel 2-5).

Tabel 2-5: Methodes Macrostabiliteit binnentalud

<p>Alle gevallen: Glijcirkelanalyse met de methode Bishop</p>	
<p>Als oprijfveiligheid ergens in het profiel < 1,2: Drukstaafsom volgens methode Spencer.</p>	

2.5.3 Restbreedte

Indien sprake is van een kade met ruime afmetingen waarvoor een te lage stabiliteitsfactor wordt berekend, kan op basis van een analyse van de restbreedte alsnog een voldoende toetsoordeel worden vastgesteld (Figuur 2-5). Deze methode is beschreven in het addendum op de Leidraad toetsen [2].



Figuur 2-5: Methode voor bepaling restbreedte

2.5.4 Veen in de ondergrond

Voor de subsecties waar zich veen in de ondergrond of op het aanliggende maaiveld bevindt, is in samenspraak met de provincies bepaald het oordeel op basis van het toetsspoor macrostabiliteit binnentalud uit te stellen. 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.

2.5.5 Criteria voor voldoen, niet voldoen en geen oordeel

In Tabel 2-6 is voor de onderzochte toetssporen aangegeven wanneer een kering voldoet, niet voldoet of wanneer geen oordeel gegeven kan worden:

Tabel 2-6: Criteria macrostabiliteit binnentalud

Deelspoor	Criterium voor voldoen	Criterium voor niet voldoen	Criterium voor geen oordeel
Natte situatie, Bishop	[Berekende stabiliteitsfactor] / [Schadefactor] ≥ 1.0 OF [Berekende stabiliteitsfactor] / [Schadefactor] < 1.0 EN Restbreedte $> 2\text{m}$	[Berekende stabiliteitsfactor] / [Schadefactor] < 1.0 EN Restbreedte $< 2\text{m}$	Te weinig gegevens beschikbaar voor onderbouwd oordeel
Natte situatie, Drukstaafsom	[Berekende stabiliteitsfactor] / [Schadefactor] ≥ 1.0	[Berekende stabiliteitsfactor] / [Schadefactor] < 1.0	Te weinig gegevens beschikbaar voor onderbouwd oordeel
Droge situatie, horizontaal afschuiven	[Berekende stabiliteitsfactor] / ([Schadefactor] * 1.2) ≥ 1.0	[Berekende stabiliteitsfactor] / ([Schadefactor] * 1.2) < 1.0	Te weinig gegevens beschikbaar voor onderbouwd oordeel

2.6 Uitgangspunten toets piping

2.6.1 Methodiek

Piping ontstaat door zandmeevoerende wellen welke de kade verzwakken. Piping treedt op wanneer de deklaag aan de binnenzijde van een kering opbarst door opwaartse waterdruk.

De eerste stap in de toets op piping is het controleren of deze opwaartse waterdruk kan ontstaan. Er dient hiervoor een zandlaag onder de kering aanwezig te zijn die de boezem met de teensloot verbindt (indien deze aanwezig is), een zogenaamde kortsluiting. Om dit te bepalen is gebruik gemaakt van de maatgevende en reguliere dwarsprofielen die op basis van het grondonderzoek zijn vastgesteld (zie paragraaf 3.2).

Vervolgens is gecontroleerd of er opbarsting kan optreden, als gevolg van een waterdruk die hoger is dan het gewicht van de deklaag. Voor opbarsten is de volgende formule gebruikt:

$$P_{boezem} \geq P_{polder} \quad (3)$$

Met $P = \rho * g * h$. Hierin is het soortelijk gewicht (ρ) van water 1,0 en het soortelijk gewicht van de grond afhankelijk van de lokaal aanwezige grondsoort. Zowel de deklaag als de eventuele teensloot in het achterland is meegenomen in deze berekening. Voor het waterpeil is in de boezem het toetspeil aangehouden, aan de binnenzijde van de kering is het minimum polderpeil gebruikt in de berekening als meest extreme situatie.

Als de deklaag kan opbarsten, is tenslotte getoetst of de aanwezige kwelweglengte voldoende lang is. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$L/18 \geq \Delta H - 0,3d \quad (4)$$

met L als de afstand tussen het in- en uittredepunt, H als hoogteverschil tussen het toetspeil en de waterstand of maaiveld achter de kering en d als de dikte van het afdekkend pakket met slecht doorlatende lagen bij het uittredepunt. Het intredepunt is altijd gekozen in het boezemwater, en niet eventueel in ander water dat tussen de boezem en de kade ligt. Er is sprake van kans op piping wanneer formule (4) niet geldt.

2.6.2 Kwantiteit en kwaliteit gebruikte gegevens

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gebruikte gegevens voor de toets op piping. Per databron is aangegeven hoe de data is gebruikt en wat de kwantiteit en kwaliteit van de data was.

Tabel 2-7: Overzicht kwantiteit en kwaliteit gebruikte gegevens

Databron	Gebruik	Kwantiteit	Inschatting kwaliteit
AHN-2 (2008), gecorrigeerd voor maaiveld	Bepaling geometrie. Per subsectie is een dwarsprofiel gegenereerd op een typerende locatie	Per dwarsprofiel iedere 0,5 meter een hoogtepunt	Goed. In geval dat er geen waarden waren is geïnterpoleerd
Beheerregister: Watervlakken	Bepaling locatie boezem/sloot	Ieder wateroppervlak is aanwezig	Goed, zeer accuraat
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 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)
Toetshoogten	Waterhoogte waarmee de waterdruk in de boezem is getoetst	Spreiding over hele boezem	Goed. Op basis van uitgebreide inventarisatie (zie bijlage II)
Polderpeil	Waterhoogte waarmee de waterdruk aan de binnenzijde kering is getoetst	Bijna overal aanwezig	Peil in teensloot komt vaak niet overeen met polderpeil door de aanwezigheid van hoogwatervoorzieningen (sloten met als doel houten funderingen van lintbebouwing langs boezemkades nat te houden). In deze gevallen is het peil ingeschat aan de hand van de bodemhoogte.
Grondopbouw	Bepaling kans op kortsluiting en opbarsten	Voor iedere subsectie regulier en maatgevende opbouw bepaald	Het detailniveau van de geotechnische grondopbouw is relatief grof in kaart gebracht voor deze toepassing (zie bijlage IV)
Grondparameters	Bepaling kans op opbarsting	Drie datasets binnen projectgebied	Op basis van laboratoriumproeven (zie bijlage V)

2.6.3 *Criteria voor voldoen, niet voldoen en geen oordeel*

Voor de toets op piping zijn er drie criteria waar het oordeel van afhankelijk kan zijn. De kering voldoet wanneer één van de criteria niet geldt, de kering voldoet niet wanneer alle criteria wel gelden. Zie hiervoor onderstaande tabel.

Tabel 2-8: *Criteria toets op piping*

Oordeel	Criterium
Voldoet	Geen kortsluiting Of: Geen kans op opbarsten (zie formule 3) Of: Kwelweglengte is voldoende groot (zie formule 4)
Voldoet niet	Kortsluiting En: Kans op opbarsten (zie formule 3) En: Kwelweglengte is te klein (zie formule 4)
Geen oordeel	Te weinig gegevens beschikbaar voor onderbouwd oordeel

2.7 **Uitgangspunten overige beoordelingssporen**

2.7.1 *Inleiding*

Naast de toetssporen overlopen/overslag, macrostabiliteit binnentalud en piping worden de volgende toetssporen genoemd in de Leidraad op Toetsen Regionale Waterkeringen [1]:

- Macrostabiliteit buitentalud
- Microstabiliteit
- Bekleding
- Stabiliteit voorland
- Kunstwerken, niet kerende constructies en niet waterkerende objecten

In onderstaande paragrafen is per toetspoor aangegeven hoe met deze overige toetssporen is omgegaan.

2.7.2 *Macrostabiliteit buitentalud*

De macrostabiliteit van het buitentalud is nodig om te voorkomen dat een kade richting de boezem afglijdt. Dit mechanisme kan de volgende oorzaken hebben:

1. Extreem lage boezemwaterstand door natuurlijke variatie;
2. Val van de boezemwaterstand door een calamiteit elders;
3. Verdieping van boezembodem of vooroever en schade aan beschoeiing;
4. Extreme belastingen, bijvoorbeeld door zwaar verkeer;
5. Extreme daling van de boezemwaterstand door menselijke activiteiten.

Een extreem lage boezemwaterstand door natuurlijke variatie (oorzaak 1) is geïnventariseerd door de gemeten boezemwaterpeil van de afgelopen 10 jaar te bekijken en hierin de laagste waardes te gebruiken voor een toets op stabiliteit.

Val van het boezempeil door een calamiteit elders (oorzaak 2) is alleen relevant als het verschil in veiligheidsklasse tussen de beschouwde kade en de nabij gelegen kade waar de calamiteit optreedt groot is. Een kade met een hoge klasse en een daarbij behorend

veiligheidsniveau van bijvoorbeeld 1:100 jaar kan hierdoor namelijk toch vaker dan eens per 100 jaar bezwijken als een nabijgelegen kade waar een calamiteit optreedt een lage veiligheidsklasse heeft, bijvoorbeeld 1:10 jaar. Er is daarom geïnventariseerd op welke locaties nabijgelegen boezemkades een groot verschil hebben in veiligheidsklasse (tenminste twee IPO-klassen [2]).

Deze locaties zijn onderzocht op macrostabiliteit van het buitentalud bij een boezempeil dat 0,3 m lager is dan het normale boezempeil (zie voorwaarden van het addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden [2], pagina 10, punt 3). Hierbij is uitgegaan van een minimale restbreedte van 1,5 m.

Oorzaken 3, 4 en 5 zijn geïnventariseerd in het beheerdersoordeel.

2.7.3 *Microstabiliteit*

Onder micro-instabiliteit wordt het uitspoelen van zand uit het binnentalud van de kade door uittredend grondwater verstaan. Hierdoor wordt het profiel van de kade aangetast.

Op basis van de ervaringen van de beheerders is vastgesteld dat dit tijdens hoogwatersituaties niet voorkomt binnen het gebied. Tijdens droogte kan er wel op microschaal scheurvorming en verzakking optreden. Er zijn echter geen ervaringen bekend waarbij er bij dergelijke scheuren en verzakkingen sprake was van uittredend grondwater.

2.7.4 *Bekleding*

De bekleding bestaat normaliter uit grasbekleding, begroeiing (riet), beschoeiing of steenbestortingen en –zettingen. Er is bekend dat de meeste waterkeringen in het beheergebied van Hoogheemraadschap de Stichte Rijnlanden een grasbekleding hebben, maar ook komen verharde oeverconstructies van zetwerk voor.

De bekleding van een kade kan instabiel zijn, wanneer het buitentalud niet goed is onderhouden. Ook moet de kruin en het binnentalud voldoende erosiebestendig zijn voor het toelaatbaar overslagdebiet over de boezemkade.

Om dit toetspoor te toetsen, is een inventarisatie van de stand van zaken van het onderhoud gemaakt, opgenomen binnen het beheerdersoordeel.

2.7.5 *Stabiliteit voorland*

Op een aantal locaties in het beheergebied van HDSR is er sprake van voorland, zoals bij Bodegraven en langs de Meije. Het criterium voor het toetsen op voorland is dat er een geul aanwezig moet zijn met een diepte groter dan 9 meter. Aangezien deze dieptes op de locaties met voorland niet voorkomen, kan falen op het toetspoor stabiliteit voorland worden uitgesloten.

2.7.6 *Kunstwerken, kerende constructies en niet-waterkerende objecten*

Kunstwerken, kerende constructies en niet-waterkerende objecten kunnen invloed hebben op de veiligheid van de kade:

- Kunstwerken kunnen invloed hebben op de kade door verankering en opstuwing. Een slechte verankering kan de kade verzwakken en opstuwing kan zorgen voor hoge stroomsnelheden en daarmee een grotere erosie.
- Kerende constructies. Met name houten of stalen damwandconstructies, komen in boezemkaden veelal langs de buitenkant van de kade voor, en vormen dan de verticale begrenzing tussen boezem en kade. Dergelijke constructies leiden alleen tot een overstroming vanuit de boezem indien zij falen en er dan sprake is van een kruinverlaging tot onder het toetspeil.

- Niet-waterkerende objecten, zoals kabels, leidingen, bebouwing, beplanting en wegen.

Voor de inventarisatie van de exacte invloed zijn vaak gedetailleerde analyses nodig die per geval anders zijn. In overleg met de provincies is besloten dat in deze toetsronde een inventarisatie van bomen en kabels/leidingen volstaat. De uitgangspunten hierbij zijn in de volgende paragrafen toegelicht.

2.8 Inventarisatie bomen

De aanwezigheid van bomen op de boezemwaterkeringen is geïnventariseerd door het gefilterde hoogtebestand (AHN-2 2008) te vergelijken met het ruwe hoogtebestand. De verschillen tussen beiden bestaan ondermeer uit bebouwing en beplanting. Uit aanvullende data, zoals de topografische kaart waarin de huizen zijn weergegeven, kunnen gebouwen worden uitgesloten. Vervolgens is op basis van vorm de aanwezigheid van bomen geïnventariseerd. Hierbij is tevens een indicatie van de hoogte en de omvang van de boomkruin gegeven.

Op basis van het addendum op de leidraad toetsing regionale keringen [2] zijn de volgende kenmerken in kaart gebracht:

- bomen die hoger dan 5 meter zijn;
- bomen die binnen de waterstaatswerkzone (2 meter vanaf het beoordelingsprofiel) staan.

In overleg met de provincies is vastgesteld dat een inventarisatie van bovenstaande punten voor deze toetsronde volstaat.

2.9 Inventarisatie kabels en leidingen

In overleg met de provincies is besloten te beginnen met het maken van een inventarisatie van de aanwezige kabels en leidingen, en vervolgens eerst de meest risicovolle leidingen te toetsen. Hiermee worden de grote diameter leidingen ($D \geq 0,30$ meter) en de hogedrukleidingen ($p \geq 10$ bar) bedoeld.

Hiervoor is de volgende data gebruikt:

- Belangen netbeheerders (Klic database);
- Beheerregister HDSR van persleidingen en rioolgebieden.

3 Geometrie, ondergrond en maatgevende profielen

Voor de toetsing is gebruik gemaakt van de hoogtegegevens van de keringen, geologische gegevens, grondmechanisch onderzoek en laboratoriumonderzoek. Daarnaast zijn er aannames gedaan voor de waterspanningen in de dijklichamen. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze onderzoeken in relatie tot de toetsing.

3.1 Onderzoek geometrie

In verband met de schaalgrootte van deze toetsing is geen gebruik gemaakt van landmeetkundig onderzoek, maar is gebruik gemaakt van laseraltimetrie (AHN-2). Hiermee zijn per subsectie dwarsprofielen bepaald, welke zijn gebruikt bij het berekenen van de macrostabiliteit van het binnen- en buitentalud en het in beeld brengen van het risico op piping. De hoogtes van het dwarsprofiel zijn ook gebruikt in de toets op overlopen/overslag.

In het AHN-2 zijn hoogtes beschikbaar met een resolutie van 50 cm. Hiermee is, dwars op de richting van de waterkeringen, om de 5 meter een hoogtedwarsprofiel geëxtraheerd. Dit heeft geresulteerd in ca. 60.000 dwarsprofielen. Hierbij is, naast de data uit het AHN-2, ook gebruik gemaakt van aanvullende databronnen, zoals waterbodemoogtes, polderpeilen en water-insteeklocaties. Daarnaast zijn gegevens gebruikt ter controle van de dwarsprofielen, zoals maalstopniveau's en streefpeilen (Figuur 3-1).



Figuur 3-1: Dwarsprofiel op basis van AHN-2 en aanvullende gegevens (maaiveld polder en waterbodemoogte). Maalstoppeil, streefpeil en polderpeil zijn ter controle gebruikt.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gebruikte gegevens. Hierin is tevens een indicatie van de kwantiteit en kwaliteit gegeven.