

Dijkbeoordeling bij hoogwater

waarnemingen, beoordelingen en maatregelen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Dienst Weg- en Waterbouwkunde

 **heidemij** advies

D I G I T A A L
B E S C H I K B A A R
KENNISPLEIN

KP 64965

Dijkbeoordeling bij hoogwater

Colofon

W-DWW-096-124

Deze publicatie is in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde opgesteld door Heidemij Advies BV. Voor advies over de inhoud en beoordeling van de teksten is een begeleidingsgroep opgesteld, die als volgt was samengesteld:

ir. P.J.L. Blommaart	-	Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
K. de Graaf	-	Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden
ir. R.E. Jorissen	-	Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
ing. E.C. Hazenoot	-	Provincie Utrecht, afdeling Waterstaat
ing. J.H. Spapens	-	Rijkswaterstaat, directie Oost-Nederland
ing. J.M. van Westen	-	Bouwdienst Rijkswaterstaat

Tekst

ir. J. Niemeijer, Heidemij Advies BV, regio Oost

Realisatie

Van Hasselt Van Everdingen & Partners

Fotografie

Dienst Weg- en Waterbouwkunde, behalve pagina 3, dijk tussen Winssen en Deest: Meetkundige Dienst, afdeling Grafische Technieken

BIDOC
Bibliotheek en
Documentatie

Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
015-2518363

Inhoud

Voorwoord	1
1 Inleiding	3
1.1 Doelstelling	3
1.2 Doelgroep	4
1.3 Leeswijzer	4
1.4 Groene versie	4
Deel A: Dijkbeoordeling bij hoogwater	7
2 Preventie en voorbereiding	9
2.1 Organisatie en communicatie	9
2.2 Oefeningen	9
2.3 Voorinspectie	9
2.4 Preventieve maatregelen	10
2.5 Materiaal en materieel	11
2.6 Literatuur	12
3 Waarnemingen	15
3.1 Algemeen	15
3.2 Externe factoren	16
3.3 Buitentalud	19
3.4 Kruin	21
3.5 Binnentalud	23
3.6 Achterland	25
3.7 Kunstwerken	28
3.8 Zeedijken	30
4 Beoordeling en maatregelen	31
4.1 Algemeen	31
4.2 Overslag	32
4.3 Overlopen	33
4.4 Buitentalud: beschadiging	34
4.5 Buitentalud: drijfvuil of scheepsgolven	36
4.6 Buitentalud: scheurvorming	37
4.7 Kruin: scheurvorming	38
4.8 Binnentalud: uittredend water en/of uitspoelen van grond	40
4.9 Binnentalud: scheur	41
4.10 Achterland: kwel en wellen en/of zandmeevoerende wellen	42
4.11 Achterland: vervormingen	44
4.12 Zeedijken	45
Deel B: Achtergronden	47
5 Begripsvorming	49
5.1 Algemeen	49
5.2 Dijkprofiel	49

Dijkbeoordeling bij hoogwater

5.3	Gebiedsindeling.....	49
5.4	Faalmechanismen.....	53
6	Golfoverslag en overloop.....	55
6.1	Golfoverslag.....	55
6.2	Overloop.....	56
6.3	Faalmechanismen.....	57
6.4	Waarnemingen.....	59
6.5	Beoordeling en maatregelen.....	59
7	Macrostabiliteit binnentalud.....	63
7.1	Afschuiving binnentalud.....	63
7.2	Faalmechanisme.....	64
7.3	Waarnemingen.....	65
7.4	Beoordeling en maatregelen.....	67
8	Macrostabiliteit buitentalud.....	71
8.1	Afschuiving buitentalud.....	71
8.2	Faalmechanisme.....	72
8.3	Waarnemingen.....	73
8.4	Beoordeling en maatregelen.....	73
9	Kwel en piping.....	75
9.1	Kwel.....	75
9.2	Piping.....	76
9.3	Faalmechanisme.....	77
9.4	Waarnemingen.....	77
9.5	Beoordeling en maatregelen.....	78
10	Bekleding buitentalud.....	81
10.1	Beschadiging bekleding.....	81
10.2	Faalmechanisme.....	83
10.3	Waarnemingen.....	83
10.4	Beoordeling en maatregelen.....	84
11	Microstabiliteit.....	87
11.1	Erosie van de binnenteen.....	87
11.2	Faalmechanisme.....	87
11.3	Waarnemingen.....	88
11.4	Beoordeling en maatregelen.....	89
12	Kunstwerken.....	91
12.1	Lekkage.....	91
12.2	Deuren en schuiven.....	91
12.3	Kwelkommen.....	92
12.4	Waarnemingen.....	92
12.5	Beoordeling en maatregelen.....	92
13	Zeedijken.....	95
13.1	Algemeen.....	95

13.2 Waarnemingen.....	95
13.3 Beoordeling en maatregelen	96
Verklarende woordenlijst	97
Literatuur.....	101

Voorwoord

De uitvoering van het Deltaplan Grote Rivieren vordert gestaag. De zwakste dijkvakken in het rivierengebied zijn inmiddels versterkt en de veiligheid is aanmerkelijk verbeterd. Toch kan zich in de winter 96/97 weer een hoogwater voordoen - een hoogwater dat mogelijk wederom het uiterste van de waterkeringen en hun beheerders zal vergen.

In december 1995 heeft de Dienst Weg- en Waterbouwkunde de publicatie *Veiliger de winter in?* uitgebracht. Dit was een handreiking aan beheerders voor de veiligheidsbeoordeling van rivierdijken tijdens het hoogwater. In *Veiliger de winter in?* is specifiek ingegaan op de stand van zaken van de uitvoering van het Deltaplan Grote Rivieren. Per dijkvak, opgenomen in de noodwet, werd een veiligheidsbeoordeling gegeven voor een extreme belasting. Verder werd een groot aantal mogelijke maatregelen beschreven, waarbij zoveel mogelijk op de zwakste dijkvakken is ingegaan.

Voor de winter 96/97 brengt de Dienst Weg- en Waterbouwkunde min of meer een vervolg op *Veiliger de winter in?* uit. De publicatie *Dijkbeoordeling bij hoogwater* gaat niet meer in op individuele dijkvakken, omdat de echt zwakke plekken inmiddels zijn versterkt.

Dijkbeoordeling bij hoogwater bestaat globaal uit twee delen. In het eerste deel fungeren de mogelijke waarnemingen aan een waterkering tijdens hoogwater als basis. Dit deel van de publicatie kan dan ook uitstekend gebruikt worden als handreiking, c.q. instructie voor de inspecties tijdens hoogwater. Het tweede deel gaat dieper in op faalmechanismen en het bepalen van de juiste maatregelen.

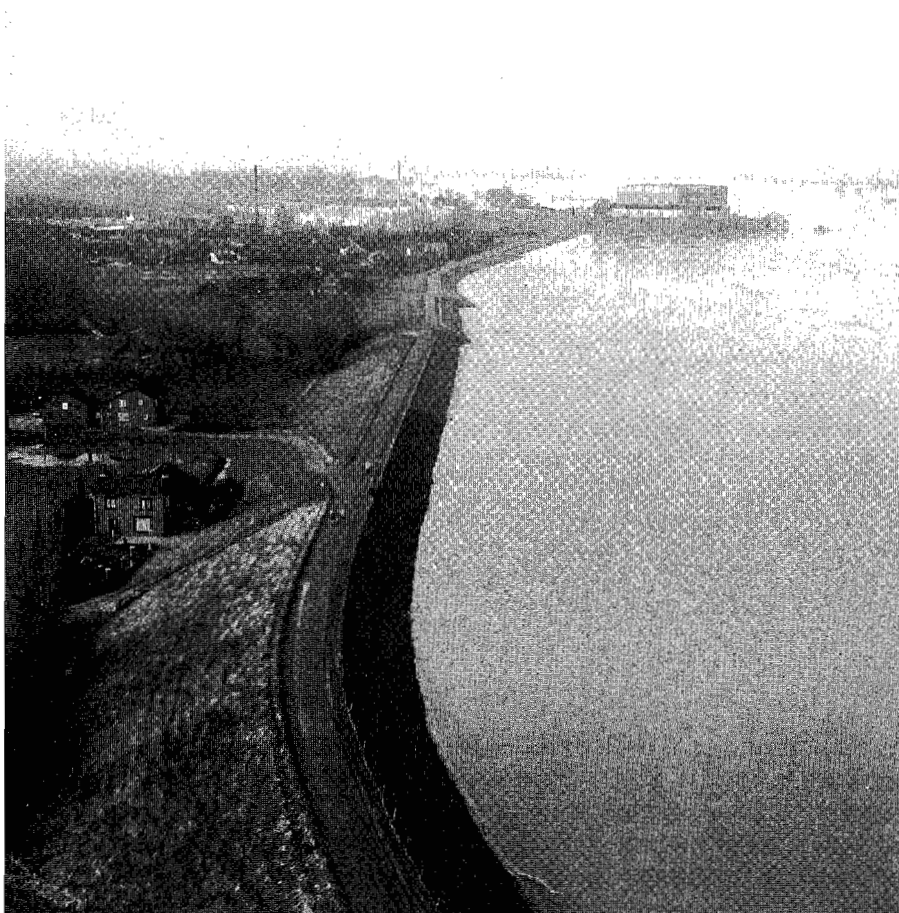
Het uitbrengen van *Dijkbeoordeling bij hoogwater* moet gezien worden als een vervolgstap om te komen tot een algemene handreiking voor veiligheidsbeoordeling van waterkeringen. De scope van de publicatie is dan ook voorzichtig uitgebreid naar zeedijken, zij het dat hier minder aandacht aan wordt geschonken dan aan de rivierdijken. Om in de nabije toekomst een geslaagde algemene handreiking voor de veiligheidsbeoordeling te maken, hoop ik dat gebruikers van *Dijkbeoordeling bij hoogwater* hun bevindingen en suggesties aan de opstellers kenbaar zullen maken.

Ir. R.E. Jorissen

Delft, 20 december 1996

1 Inleiding

Tijdens de hoogwaterperiodes van 1993 en vooral 1995 zijn de rivierdijken in veel trajecten tot het uiterste belast. Op tal van plaatsen zijn noodmaatregelen genomen om te voorkomen dat een dijk te veel beschadigd raakte of zelfs zou bezwijken. Vaak bestond ook onduidelijkheid over de ernst van de situatie, of over de beste noodmaatregel.



Tijdens onder andere het hoogwater van 1993 zijn veel dijken tot het uiterste belast. Ook de dijk tussen Winssen en Deest kreeg het moeilijk door de grote waterafvoer in de Waal.

1.1 Doelstelling

Deze publicatie is geschreven voor iedereen die bij het beheer van waterkeringen betrokken is en een rol speelt bij een volgende hoogwaterperiode of stormvloed. De hoofddoelstelling van deze publicatie is om mensen die de dijk inspecteren te helpen bij het doen van gerichte waarnemingen. Het handboekje helpt verder bij een eerste beoordeling van de sterkte van een dijk, afhankelijk van de waargenomen verschijnselen. Er worden tevens zinvolle noodmaatregelen gegeven.

Een nevendoelstelling is het geven van informatie over wat er onder de grond en in een dijk gebeurt tijdens hoogwater. Veel mensen zijn geïnteresseerd in deze achtergrondinformatie. Een uitgebreide kennis van zaken zal ook helpen om gericht inspecties te kunnen uitvoeren en om een betere beoordeling van de situatie te geven.

Het handboekje is bedoeld voor alle typen primaire hoofdwaterkeringen. Ook voor andere typen waterkeringen, zoals kaden, geeft het bruikbare informatie. Vanwege de brede opzet, is het niet mogelijk om voor elke situatie duidelijke uitspraken te doen. De beschreven noodmaatregelen zijn in veel gevallen bedoeld als eerste lijns-maatregelen, een soort 'EHBO voor dijken'. Vaak wordt er daarom ook aangeraden om nader advies in te winnen.

De noodmaatregelen die genoemd worden, zijn ook echt bedoeld als noodmaatregelen. Een permanente maatregel zal er meestal anders uitzien en vergt ook meer gericht onderzoek.

1.2 Doelgroep

Deze publicatie richt zich in eerste instantie op de mensen die tijdens hoogwater gevraagd wordt een dijk te inspecteren. Dit kunnen medewerkers van een waterschap zijn, maar ook vrijwilligers. Uitgangspunt bij het schrijven was dat de lezer geen of weinig specifieke technische kennis met betrekking tot waterkeringen heeft.

In tweede instantie is het handboekje bedoeld voor geïnteresseerden die op de een of andere manier tijdens een hoogwater bij waterkeringen betrokken zijn.

Het handboekje is niet bedoeld als handleiding voor het coördineren van werkzaamheden in verband met een hoogwater. Het is ook niet bedoeld als ontwerphandleiding. Hiervoor zijn andere boekwerken beschikbaar (zie onder andere paragraaf 2.6 en de literatuurlijst).

1.3 Leeswijzer

Deze publicatie is opgedeeld in twee delen. *Deel A* is als direct hulpmiddel tijdens en voorafgaand aan een hoogwater bedoeld. Beschreven wordt waarop men moet letten en wat voor noodmaatregelen er eventueel genomen kunnen worden.

Deel B bevat achtergrondinformatie. Hierin zijn beschrijvingen opgenomen van de diverse faalmechanismen of manieren waarop een dijk beschadigd kan raken of bezwijken. Dit deel zal meer inzicht geven in het waarom van de waarnemingen, beoordelingen en noodmaatregelen. Aanbevolen wordt om dit deel voorafgaand aan een hoogwater te lezen.

Achterin de publicatie treft u een verklarende woordenlijst aan, waar de meeste van de termen die bij dijkbeoordeling bij hoogwater van belang zijn, worden uitgelegd.

1.4 Groene versie

Deze versie is een zogenaamde 'groene versie'. Dit houdt in dat het een voorlopige uitgave is, die onder andere naar aanleiding van opmerkingen en bevindingen van gebruikers nog zal worden bijgesteld. De definitieve editie zal in 1997 worden uitgebracht.

Het onderdeel 'zeedijken' is in deze versie nog onderbelicht. Getracht wordt om dit in de definitieve editie verder uit te werken.

Voor aanvullingen, opmerkingen en commentaar kunt u terecht bij:

Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

P.J.L. Blommaart, tel.: (015) 2699299

Postbus 5044

2600 GA Delft

Deel A: Dijkbeoordeling bij hoogwater

2 Preventie en voorbereiding

Voordat het hoogwater wordt, kunnen er al veel voorbereidingen getroffen worden. Dankzij een goede voorbereiding kunnen de benodigde werkzaamheden efficiënter uitgevoerd worden, kan schade eerder ontdekt worden en kunnen maatregelen meer adequaat worden uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe een dijkwacht zich kan voorbereiden.

2.1 Organisatie en communicatie

Tijdens een hoogwater is een goede organisatie en communicatie van het grootste belang. Iedere beheerder van een waterkering heeft in principe een organisatie opgezet voor het geval er hoogwater optreedt. Daarnaast bestaan er ook provinciale en landelijke organisaties die speciaal voorafgaand aan en tijdens en na een hoogwater functioneren. De organisatiestructuren en werkzaamheden rond een hoogwater zijn veelal in draaiboeken tot in detail uitgewerkt (zie ook paragraaf 2.6). In deze publicatie wordt niet ingegaan op de specifieke organisatiestructuren die bestaan. Dijkwachters worden hierover in principe geïnformeerd door de betreffende beheerder.

Communicatie hangt nauw samen met de organisatie. De communicatielijnen moeten duidelijk zijn. Zo nodig dienen communicatiemiddelen ter beschikking worden gesteld.

2.2. Oefeningen

In de *Wet op de waterkering* is bepaald dat regelmatig oefeningen moeten worden gehouden. Bij deze oefeningen wordt de inzetbaarheid van personeel en materieel beproefd. Deze publicatie kan als hulpmiddel dienen bij zo'n oefening. Tijdens een oefening kunnen in principe aspecten aan de orde komen zoals:

- organisatie en communicatie;
- oproepbaarheid;
- transport van materiaal en personeel;
- inspecties;
- beoordeling;
- noodmaatregelen.

2.3. Voorinspectie

Het is aan te raden om voorafgaand aan een hoogwater, of zelfs voorafgaand aan een hoogwaterseizoen, tijd te besteden aan het leren kennen van de dijk. Tijdens een hoogwater is er meestal geen tijd voor. Als men de dijk al kent, is het bovendien gemakkelijker om tijdens een hoogwater veranderingen op te merken. Bij de voorinspectie kan men de tabellen uit hoofdstuk 3 (Waarnemingen) bij de hand houden en als richtlijn gebruiken voor de aspecten waarop gelet moet worden.

Let bij een voorinspectie of kennismaking in ieder geval op oriëntatiepunten, dijkpalen, bebouwing enzovoort. Het is van belang dat eventuele schade tijdens hoogwater snel en precies wordt doorgegeven. Een locatiebepaling is een onderdeel daarvan.

Een ander aspect van een voorinspectie is dat beschadigingen al in kaart gebracht kunnen worden. Zo nodig kunnen preventieve maatregelen genomen worden. Tijdens het hoogwater weet men dan dat de beschadiging niet door het hoogwater veroorzaakt is.

Bij een voorinspectie let men speciaal op de volgende punten:

- Waar komen coupures, duikers, sluizen en andere openingen in de dijk voor?
- Hebben er werkzaamheden plaatsgevonden in of nabij de dijk, of zijn er nog werkzaamheden aan de gang, waarbij gegraven is?
- Zijn er beschadigingen op de taluds of op de kruin, zoals gaten in het gras of ontbrekende of loszittende stenen?
- Waar stroomt de rivier dicht langs de dijk?
- Is er uitgestrekt water (bij laag water: uiterwaarden) voor de dijk en in welke windrichting ligt dit?
- Staat er bebouwing binnen- of buitendijs?
- Zijn er scheuren in de kruin aanwezig?

Niet in het veld te zien, maar wel bekend bij de beheerder zijn de volgende punten:

- Welke waterstanden zijn in het verleden al opgetreden en hoe hebben de dijken zich toen gehouden?
- Waar zijn in het verleden wellen of zandmeevoerende wellen geweest?
- Zijn er ooit afschuivingen, scheuren in de dijk of het asfalt of andere vervormingen waargenomen?
- Waar wordt de dijk gekruist door kabels, leidingen, riolen of andere zaken?
- Zijn er peilbuizen aanwezig en/of waterspanningsmeters aanwezig en zo ja, hoe moeten die worden afgelezen?
- Waar staan peilschalen voor het meten van de waterstanden buitendijs en eventueel binnendijs in sloten, sluiskolken, etc.?
- Zijn er mogelijkheden om het waterpeil in sloten te verhogen of te verlagen en wat moet hiervoor gebeuren (gemalen, stuwen etc. bedienen)?
- Wat is de conditie van kunstwerken, zijn er kwelschermen aanwezig, bij welke waterstand moeten coupures of schuiven gesloten zijn?
- Zijn er opslagplaatsen voor klei, zand of andere materialen?
- Waar zijn sluitingsmiddelen (schotbalken en dergelijke) opgeborgen en hoe zijn deze toegankelijk?
- Hoe luiden de sluitingsprocedures voor kunstwerken, bij welke waterstand moet een kunstwerk gesloten zijn of worden?

Het is handig om een overzichtskaart van een dijkvak bij de hand te hebben, waarop dijkpalen of andere locatieaanduidingen zijn aangegeven. Een schaal van 1:5.000 is het meest geschikt. Op de kaart kunnen aandachtspunten worden aangetekend.

2.4 Preventieve maatregelen

Op plaatsen waar mogelijk schade zou kunnen ontstaan, kunnen uit voorzorg maatregelen getroffen worden. Mogelijke maatregelen zijn:

- het controleren van de sluitmiddelen (schotbalken, schuiven) en het tijdig sluiten van coupures, duikers en sluizen (erop toezien dat dit tijdig gebeurt);
- het met klei, zand of zandzakken dichten van gaten tengevolge van werkzaamheden;
- het met zandzakken dichten of met geotextiel afdekken van gaten in taluds;
- het afdekken van onbeschermd taluds (bijvoorbeeld bij werk in uitvoering) met geotextiel, krammatten of iets dergelijks.

2.5 Materiaal en materieel

Materiaal dat gebruikt kan worden om schade te herstellen of om noodmaatregelen te nemen, moet zoveel mogelijk van tevoren klaar voor gebruik zijn.

2.5.1 Zandzakken

Zandzakken kunnen in allerlei situaties nuttig zijn. Ze worden gebruikt om gaten te dichten, om geotextiel of folie te ballasten, om noodkades op te bouwen, etc. De zandzakken moeten vaak van tevoren gevuld worden. Hiervoor kunnen machines beschikbaar zijn, of het moet met de hand gebeuren.

Het is nuttig om langs de dijken decentraal depots aan te leggen. De afstand waarover de zandzakken vervoerd moeten worden is zo kleiner dan bij centrale opslag.

2.5.2 Zand

Soms zijn grote hoeveelheden los zand nodig. Er moeten depots beschikbaar zijn en men dient vooraf maatregelen te nemen om in geval van nood over voldoende materieel en mankracht te kunnen beschikken om het zand te vervoeren en aan te brengen.

2.5.3 Grind, puin, stenen

In sommige gevallen kan zwaarder materiaal, zoals grind, puin of stenen nodig zijn. Per waterschap of per gebied zal besloten worden of dergelijke materialen aanwezig moeten zijn, of zo nodig tijdens hoogwater geleverd moeten kunnen worden.

2.5.4 Geotextiel

Geotextiel is een doek van kunstofvezels. In deze publicatie wordt met geotextiel altijd waterdoorlatend doek bedoeld. Voor noodmaatregelen is geweven geotextiel het meest aangewezen (in het Engels: 'woven'). Andere typen geotextiel zijn minder geschikt.

Naast waterdoorlatend moet het geotextiel voldoende zand tegenhouden. Daarom moeten de openingen in het doek klein zijn. Verder moet het geotextiel sterk zijn en zo nodig met de hand aan te brengen. Het geotextiel kan het beste van polypropreen (PP) of polyetheen (PE, LDPE of HDPE) gemaakt zijn. Polyester (PET) is stugger en daarom minder geschikt. Enkele kentallen voor geschikte geotextielen zijn:

- gewicht 200 tot 500 g/m²
- waterdoorlatendheid meer dan 50 l/m²/s
- zanddichtheid (O_{90}) kleiner dan 100 micron.

Ultra Violet licht maakt geotextiel bros. Daarom moet het zo min mogelijk aan daglicht worden blootgesteld en moet het bij voorkeur in een donkere ruimte worden opgeslagen.

Geotextiel voor het afdekken van grond waar water uitkomt, zoals (zandmeevoerende) wellen, kan evenals zandzakken decentraal verspreid worden opgeslagen. Een deel van het geotextiel kan in stukken van bijvoorbeeld 5 bij 5 meter gesneden worden, zodat het snel beschikbaar is in goed te hanteren stukken.

Daarnaast moeten centraal grotere oppervlakten geotextiel opgeslagen worden, die als noodvoorziening bij grotere calamiteiten eventueel machinaal kunnen worden aangebracht. Dit geotextiel kan zwaarder zijn, tot 1000 g/m².

2.5.6 Folie

Een folie is een waterdicht doek van kunststof. De meeste folies zijn van HDPE (polyethyleen) gemaakt. Ook folie moet eventueel met de hand te verwerken zijn. Het is niet erg sterk en raakt daarvoor vrij gemakkelijk beschadigd. Bij het hanteren van folie moet voorkomen worden dat er gaten in ontstaan.

Voor het beschermen van een (beschadigd) buitentalud is folie vaak de aangewezen oplossing. Omdat folie niet zo sterk is, kan voor deze toepassing een combinatie van folie en geotextiel (een 'composiet') worden gebruikt.

Evenals de eerder genoemde materialen kan ook folie gedeeltelijk centraal en gedeeltelijk decentraal worden opgeslagen.

2.5.7 Afdichtingen voor coupures

Voor het sluiten van coupures dienen schotbalken gereed te zijn en zo nodig in de juiste volgorde klaar te liggen. Verder moet er klei of paardenmest zijn om de ruimte tussen de schotbalken op te vullen. Om lekkages te dichten is het nuttig om folie of bijvoorbeeld PUR schuim bij de hand te hebben.

Rubberen afdichtstrips langs schotbalken of deuren moeten van te voren gecontroleerd worden. Zo nodig moeten deze ook van te voren gebruiksklaar worden gemaakt.

2.5.8 Krammen

Geotextiel moet meestal vastgezet worden. De beste methode is om het te ballasten met zandzakken. Als dit niet mogelijk is, kunnen krammen gebruikt worden waarmee het geotextiel aan de grond wordt bevestigd. Geschikte krammen kunnen ook van te voren decentraal verspreid worden.

2.5.9 Communicatie

Communicatie is van groot belang tijdens hoogwater. Verspreiding van telefoonnummers onder dijkwachters helpt hierbij. Hierbij kan gedacht worden aan telefoonnummers van de beherende instantie, een coördinatiecentrum, collega's en aannemers die opgeroepen kunnen worden. Waar weinig bebouwing is of waar reeds een evacuatie heeft plaatsgevonden, kan het handig zijn mobiele communicatiemiddelen te verstrekken.

2.5.10 Leveranciers

Voor het geval de voorraad materiaal tijdens een hoogwater niet toereikend blijkt te zijn, moet van te voren bekend zijn door wie de diverse materialen geleverd kunnen worden. Afspraken over bereikbaarheid en levertijden met leveranciers, aannemers en dergelijke moeten ook van te voren gemaakt worden.

2.5.11 Aannemers

Behalve afspraken over leveringen van materialen is het ook wenselijk om vooraf afspraken te maken over de inzet van materiaal, materieel en mankracht als de omstandigheden daartoe aanleiding geven.

2.6 Literatuur

Er is diverse literatuur waar meer informatie in te vinden is. Genoemd kunnen worden:

- de diverse verslagen van hoogwaterperioden die door de TAW zijn uitgegeven:
 - 1988: *Water tegen de dijk*;
 - 1994: *Water tegen de dijk*;
 - 1995: *Druk op de dijken*;
- de achtergrondverslagen bij bovengenoemde publicaties, waarin de opgetreden verschijnselen meer in detail zijn opgenomen;
- de DWW-publicatie *Veiliger de Winter in?* (1995), waarin diverse waargenomen verschijnselen, specifieke informatie per waterschap en noodmaatregelen worden besproken;
- het (hoogwater)draaiboek van de beheerder, waarin de organisatie besproken wordt;

- het collegedictaat voor het HTS-onderwijs Waterkeringen (1993), uitgegeven door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, de Nederlandse Vereniging Kust en Oeverwerken en het Onderwijs Innovatiecentrum Bouwnijverheid HBO, waarin dieper wordt ingegaan op de technische achtergronden die in dit boek globaal besproken worden;
- de diverse Leidraden van de TAW.

3 Waarnemingen

3.1 Algemeen

Een dijk zal zelden geheel onverwachts bezwijken. Voorspellingen van hoge waterstanden of hoge windsnelheden geven al een waarschuwing dat er een gevaarlijke situatie kan ontstaan. Het water stijgt vervolgens met een bepaalde snelheid, maar nooit met meters tegelijk. Tijdens het stijgen van het water wordt de dijk belast en gaat er langzaam water door en onder de dijk door stromen. De sterkte van de dijk neemt hierdoor af. Ook dan zal een dijk niet opeens bezwijken. Er ontstaan eerst scheuren of er sijpelt water uit de dijk of uit sloten. Of er treden beschadigingen op aan het buitentalud door golven of door andere oorzaken. Kortom, er zijn van te voren aanwijzingen te vinden dat het mogelijk mis kan gaan. Om deze aanwijzingen zo vroeg mogelijk op te merken, is een regelmatige inspectie door dijkwachters noodzakelijk tijdens hoogwater.

Als een bepaald fenomeen is waargenomen, zullen vaak verdere acties ondernomen moeten worden. In het volgende hoofdstuk (Beoordeling en maatregelen), worden de vervolgacties beschreven.

3.1.1 Checklist voor inspectie

In dit hoofdstuk wordt puntsgewijs aangegeven waar op gelet moet worden *tijdens het inspecteren* van een dijk. In tabellen worden kort en overzichtelijk de aandachtspunten vermeld. Onder iedere tabel staat een toelichting, waarin meer in detail vermeld is waar op te letten. In de toelichting is bovendien in het kort de achtergrond beschreven. Voor meer informatie wordt verwezen naar deel B. De waarnemingen in de navolgende tabellen zijn opgesplitst naar de diverse delen van een dijk: het buitentalud, de kruin, het binnentalud en het achterland. Het achterland is niet direct onderdeel van de dijk, maar speelt wel een belangrijke rol bij de sterkte en veiligheid van een dijk. De eerste tabel gaat niet specifiek over een deel van de dijk, maar over waarnemingen rond de dijk, met name buitendijks. Voor kunstwerken is een aparte tabel opgenomen. Voor zeedijken is ook een aparte tabel opgenomen. De overige tabellen zijn voor zeedijken ook van toepassing, maar minder relevant. Voor een verdere toelichting op de gebiedsindeling 'kust', 'riviervengebied' en 'overgangsgebied' wordt verwezen naar deel B.

3.1.2 Tijd en plaats

Het is altijd verstandig om aantekeningen te maken en de bevindingen te melden aan het centrale meldpunt of aan het coördinatiecentrum van de beherende instantie. Bij alle waarnemingen moet worden genoteerd:

- de tijd waarop de waarneming is gedaan;
- de plaats (locatie) waarop de waarneming betrekking heeft.

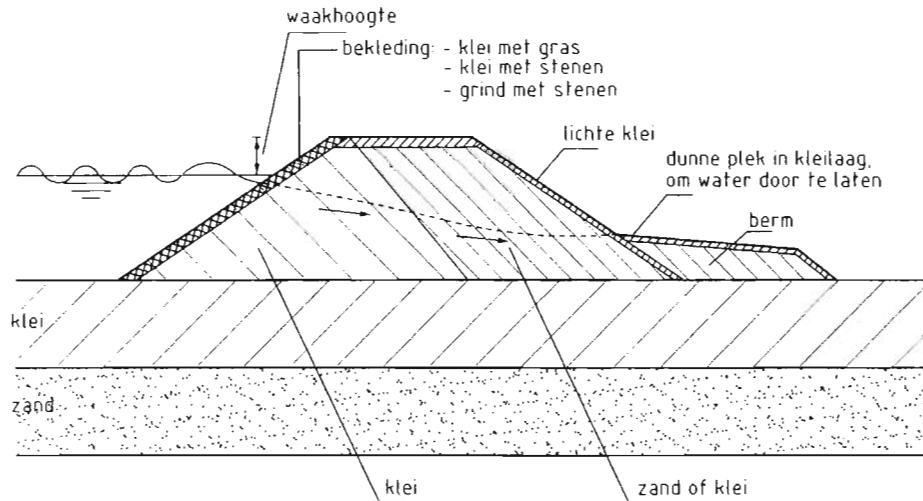
De plaats moet bij voorkeur ten opzichte van een hectometerpaal of dijkpaal worden genoteerd; als er geen dijkpalen zijn, dan ten opzichte van een huis, een afrit, of een ander duidelijk merkteken.

3.2 Externe factoren

Externe factoren: gebeurtenissen voor, op en achter de dijk	
voor de dijk	<i>de waterstand ten opzicht van de kruin van de dijk</i> - bij rivierdijken: de minimaal benodigde waakhogte bedraagt 0,5 à 1 meter; - in overgangsgebied: de waakhogte varieert van 0,5 tot ongeveer 2 meter, afhankelijk van de locatie van het dijkvak. Bij de beheerder is de vereiste waakhogte voor iedere locatie bekend.
	<i>Stroming</i> Staat er een sterke stroming vlak langs de dijk?
	<i>Golven</i> Lopen golven tegen het talud op, zo ja: hoever komen ze, wat is de afstand tussen de kruin en de hoogste golven? Komen er golven op of over de kruin?
	<i>Drijfvuil</i> Drijven er objecten voor de dijk of tegen de dijk? Zijn het grote objecten zoals boomstammen of planken, of kleinere dingen zoals takken of gras?
	<i>Scheepvaart</i> Is er scheepvaart voor de dijk en veroorzaakt deze golven tegen de dijk?
op de dijk	<i>verkeer</i> Wat voor verkeer rijdt op de dijk?
achter de dijk	<i>werkzaamheden</i> Zijn er werkzaamheden dicht bij de dijk aan de gang of kort geleden aan de gang geweest? Is hierbij grond weggegraven?
	<i>Sloten/waterpartijen</i> Wat is de waterstand in binnendijkse sloten of waterpartijen, ten opzichte van het maaiveld?

3.2.1. Waterstand

De waterstand tegen de dijk is een belangrijke factor in de beoordeling van de veiligheid. Verbeterde dijken zijn berekend op een bepaalde maximale waterstand. In de berekeningen is altijd rekening gehouden met een bepaalde vrijboord of waakhogte (zie figuur 3.1). Dit is het verschil tussen het waterniveau en de hoogte van de dijk, verticaal gemeten. Minimaal is dit 0,5 meter. Als de ligging van de dijk ten opzicht van de windrichting zodanig is dat er golven kunnen optreden tijdens hoogwater, dan is in het ontwerp een grotere waakhogte voorzien dan wanneer er geen golven worden verwacht.



figuur 1: Schematische weergave van de opbouw van een dijk

Bij een goede opbouw is ervoor gezorgd dat de waterdoorlatendheid toeneemt van de buitendijkse zijde naar de binnendijkse zijde. Er blijft dan geen water achter in de dijk. De bekleding beschermt het dijklichaam tegen erosie. De berm verhoogt de stabiliteit en vermindert de kans op *piping*. In sommige gevallen kan ook een berm buitendijks aangebracht zijn.

Als de waterstand hoger wordt dan waarop de dijk is berekend, dan kunnen op grote schaal problemen verwacht worden. Ook bij lagere waterstanden kunnen echter al problemen ontstaan.

3.2.2 Stroming

Stroming langs de dijk kan het buitentalud beschadigen of de bodem voor de dijk uitspoelen. Hierdoor komt de stabiliteit van de dijk in gevaar.

3.2.3 Golven

De dijken zijn erop berekend dat af en toe golven over de dijk heen komen. Als er veel of grote golven over een dijk slaan, kan het binnentalud beschadigd raken.

Golven kunnen ook het buitentalud beschadigen. Bij een grasmat op het talud kunnen pollen gras weggeslagen worden. Bij een harde bekleding van losse blokken kunnen blokken weggeslagen worden.

3.2.4 Drijfvuil

Tijdens een hoogwater drijft er allerlei vuil in het water. Dit verzamelt zich vaak op een paar plaatsen tegen een dijk, onder invloed van stroming en golven. Stukken hout of andere grote objecten kunnen de dijk beschadigen. Deze voorwerpen moeten zo snel mogelijk verwijderd worden.



Drijfvuil verzamelt zich bij de dijk. Omdat het de dijk kan beschadigen moet het zo snel mogelijk worden verwijderd.

3.2.5 Scheepvaart

De golven die door schepen worden veroorzaakt kunnen het buitentalud beschadigen. Bij een sterke wind in de richting van de dijk kunnen bovendien schepen op drift raken en tegen de dijk aankomen. Dit moet altijd voorkomen worden. Zo nodig kan de scheepvaart worden stilgelegd. Hiervoor is echter overleg op boven-regionaal niveau nodig.

3.2.6 Verkeer

Vooral vrachtverkeer kan tijdens hoogwater schade aan de dijk veroorzaken. Personenauto's en ander verkeer zal niet direct schade veroorzaken, maar kan wel de inspectie van de dijk bemoeilijken of gevaarlijk maken. Dit is zeker zo als er veel verkeer is (ramptoerisme). Zo nodig kan de dijk worden afgesloten voor het verkeer of kan éénrichtingsverkeer worden ingesteld. Dit moet overigens wel in regionaal verband gebeuren.

3.2.7. Werkzaamheden

In principe worden graafwerkzaamheden in de buurt van de dijk altijd in overleg met de beheerder gedaan. In de winterperiode, ongeveer van half oktober tot half maart, mogen in principe helemaal geen werkzaamheden nabij de dijken worden uitgevoerd. Deze periode wordt dan ook de 'gesloten' periode genoemd.

Om diverse redenen kan het echter voorkomen dat er toch gegraven wordt, zonder dat de beheerder hiervan op de hoogte is. Tijdens hoogwater, of vlak ervoor, mogen dit soort werkzaamheden zeker niet uitgevoerd worden. Als er toch graafwerk aan de gang is, is de veiligheid van de dijk minder groot. Dit moet dan ook direct gemeld worden.

3.2.8 Sloten/waterpartijen

Een stijging van de waterstand in binnendijkse sloten of andere waterpartijen, geeft aan dat er wa-

ter onder de dijk door komt. Op zich is dit geen probleem. Bij een sterke stijging kan er echter piping (zie paragraaf 9.2) op gaan treden. Bovendien zal niet alleen de waterstand in de sloten stijgen, maar ook de grondwaterstand naast de sloot. De sterkte van de grond neemt hierdoor af.

Bij grotere waterpartijen zoals kolken of vijvers, kan de oever gaan afkalven. Als deze oever dicht bij de dijk ligt, kan de stabiliteit van de dijk in gevaar komen.

Een stijging van de waterstand binnendijs geeft dus een indicatie van de sterkte van de dijk. Het registreren van de waterstand is daarom van belang.

Een stijging van de waterstand kan verder nog overlast veroorzaken en bemoeilijkt de inspecties.

3.3. Buitentalud

Buitentalud
<i>grasmat</i> - gaten in de grasmat, met name rond de waterlijn - scheuren in de grond - vervormingen van de grond
<i>blokken</i> - blokken verdwenen, loszittende blokken - spleten tussen rijen blokken - verzakkingen van blokken of rijen blokken
<i>asfalt</i> - scheuren in het asfalt - verzakkingen van delen van het asfalt
<i>onderwatertalud</i> - beschadigingen kunnen soms zichtbaar zijn aan verkleuring van het water, doordat grond uitspoelt
<i>overgangen</i> - alle soorten beschadigingen

Door golven en stroming kan het buitentalud beschadigd raken. De buitenste laag van het buitentalud is de bekleding. De bekleding is beter in staat om golven en stroming te weerstaan dan de lagen eronder. Als de bekleding beschadigd is, zal de rest van de dijk dus veel sneller aangetast worden.

De bekleding zal ook beschadigd raken als er een afschuiving optreedt. Hierdoor kunnen scheuren in de langsrichting ontstaan, meestal met een lengte van tenminste 10 m.

3.3.1 Grasmat

Bij een grasmat als dijkbekleding is het van belang om na te gaan of de beschadiging maar op één plek voorkomt of over een groot oppervlak. Als maar één plek beschadigd is, kan deze beschadiging veroorzaakt zijn door bijvoorbeeld drijfhout. Het kan ook zijn dat de grasmat al beschadigd was voordat het hoge water optrad. Konijnen en andere dieren veroorzaken beschadigingen. Daarnaast kunnen ook palen in het talud, een overgang van gras naar een harde bekleding of naar een weg op een afrit, een zwakke plek veroorzaken.



Dieren veroorzaken bergen, holen, gaten en gangen. Bij de inspectie van de dijk moet men dus bedacht zijn op konijnenholen, dassenburchten en molshopen en -gangen.



Gelet moet worden op de volgende aspecten:

- de omvang van de beschadiging;
- de diepte van een gat:
- mogelijke oorzaken: golven, stroming, drijfvuil, een zwakke plek in de grasmat, enzovoort;
- scheuren in de grond:
- verzakkingen van stukken grond.

3.3.2 Blokken

Een blokkenbekleding kan uit betonblokken, natuurstenen, basaltzuilen of andere losse elementen bestaan. Als één steen uit de bekleding is gelicht, zullen de omringende stenen minder vast zitten en daardoor makkelijker loslaten. Onder de bekleding kan klei of een laag grind of steenslag zitten.

Gelet moet worden op de volgende aspecten:

- Hoeveel blokken zijn verdwenen en hoe groot is het oppervlak waar de bekleding verdwenen?
- Is er ook een gat in de laag onder de blokken?
- Wat zijn de mogelijke oorzaken?
- Zijn er spleten tussen rijen blokken?
- Zijn één of meer blokken verzakt?

3.3.3. Asphalt

Een asfaltbekleding heeft weinig last van golven of stroming. Vooral na een hoogwater kan het asfalt beschadigd raken, doordat water dat uit de dijk wil stromen van binnen tegen het asfalt duwt. Ook door verschuivingen van delen van de dijk zal het asfalt kapot gaan.

Bij een asfaltbekleding moet gelet worden op:

- scheuren in het asfalt;
- verzakkingen.

3.3.4 Overgangen

Bij alle bekledingen komen overgangen van de ene soort bekleding naar een andere soort voor, zoals de overgang van een asfaltverharding bij een afrit of op de kruin of de overgang van een kunstwerk naar een grasmat. Zulke overgangen zijn meestal de meest kwetsbare plaatsen van een talud. Extra aandacht voor alle soorten beschadigingen of vervormingen is op deze plaatsen daarom vereist.

3.4. Kruin

Kruin
<i>scheuren</i> - plaats ten opzichte van binnen- of buitenkruinlijn - lengte - breedte - diepte
<i>vormingen</i> - verzakkingen naast scheuren - andere vervormingen
<i>andere beschadigingen</i>

Bij een stijgende waterstand dringt er water de dijk binnen, waardoor de grondwaterstand in de dijk stijgt. De sterkte van de grond in de dijk neemt hierdoor af. Ook de sterkte van de grond onder en achter de dijk wordt minder. Bovendien kan de grond uit gaan zetten doordat water opgezogen wordt. Door het verminderen van de sterkte of het uitzetten van de grond kunnen vervormingen gaan optreden. Deze vervormingen van de dijk of van grote delen van de dijk zijn vaak zichtbaar aan scheuren in de kruin van de dijk. Een scheur kan een aanwijzing zijn voor instabiliteit van het binnentalud of het buitentalud. De plaats van de scheur kan hiervoor een aanwijzing geven. Zo mogelijk moet worden nagegaan of de scheur voor het hoogwater ook al aanwezig was. De voorinspectie is hiervoor belangrijk.



Scheuren in de kruin wijzen vaak op vervormingen van de grond. Het is belangrijk om te weten of de scheur er al was voor het hoogwater of dat deze pas later is ontstaan.

3.4.1 Scheuren

Een scheur bij de buitenkruinlijn die *tijdens hoogwater* ontstaat kan veroorzaakt worden door:

- het zwellen van de grond;
- het naar beneden glijden van de bekleding of de bovenste grondlaag van de dijk;
- een afschuiving dieper in de grond, hetgeen kan wijzen op een ontgroning voor de dijk;
- een (in sommige gevallen) afschuiving in binnendijkse richting, waarbij een groot deel van de dijk meeschuift.

Een scheur bij de buitenkruinlijn die *tijdens of na daling van de waterstand* ontstaat kan veroorzaakt worden door:

- verlies van stabiliteit van het buitentalud door de waterstandsval;
- afschuiven of afdrukken van de bekleding door een hoge grondwaterstand in de dijk.

Een scheur bij de *binnenkruinlijn* kan ontstaan door een afschuiving in binnendijkse richting. Zo'n scheur is minder vaak het gevolg van het zwellen van grond. Een scheur *midden op de kruin* kan in principe door alle hierboven genoemde oorzaken ontstaan. Het meest waarschijnlijk is echter dat het om een afschuiving in binnendijkse richting gaat. Als er een scheur wordt waargenomen is het van belang om alle afmetingen te noteren en veranderingen bij te houden. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op acties die ondernomen moeten worden.

3.4.2 Vervormingen

Bij scheuren is het van belang om na te gaan of een deel van de kruin naar beneden zakt. Dit kan gedaan worden door de hoogte aan de ene kant van de scheur te vergelijken met de hoogte aan de andere kant.

Ook als er geen scheuren te zien zijn, dient op verzakkingen of andere vervormingen gelet te worden. Vervormingen zullen in asfalt snel scheuren veroorzaken. In dijken zonder verharding hoeft niet altijd een scheur te ontstaan.

3.4.3 Andere beschadigingen

Behalve scheuren kunnen andere beschadigingen ontstaan, door bijvoorbeeld golven die over de kruin slaan.

3.5 Binnentalud

Binnentalud
<i>vochtigheid</i> - de vochtigheid van de grond - water dat uit de grond sijpelt, vooral beneden aan het talud - water dat uit de grond stroomt, vooral beneden aan het talud
<i>uitspoelen van grond</i> - met name onderaan het talud nagaan of er grond uitgespoeld wordt of is, te herkennen aan een hoopje zand of een gat in de grond
<i>sterkte van de grond</i> - verweking door water, te beoordelen door onderaan het talud op de grond te stampen en voelen of het meegeeft
<i>scheuren en vervormingen</i> Over de hele hoogte van het talud: - scheuren - gaten - vervormingen, grond of graspollen die omhoog geduwd zijn of naar beneden gezakt zijn
<i>golfoverslag</i> - beschadigingen - infiltratie van water - afvoer van water en zand

3.5.1 Vochtigheid en uitspoelen van grond

Als er veel water door de dijk stroomt, wordt het binnentalud vochtig. In het ergste geval loopt het water met straaltjes langs het talud. Als er een waterdoorlatend stuk in de dijk zit, kan het water geconcentreerd op één plaats uit het talud gaan stromen. Als er water uit het talud stroomt, moet tevens worden nagegaan waar dat water blijft, zoals verderop bij golfoverslag is beschreven.

Water dat uit het binnentalud stroomt, kan zand meespoelen. Dit is te zien aan een hoopje zand dat onderaan het talud ligt. In sommige gevallen blijft het zand echter niet liggen, bijvoorbeeld als er een sloot onderaan het talud ligt of als het hard regent. Doordat er zand uit de dijk verdwenen is, zal een kleine verzakking of een gat ontstaan.

Samenvattend moet gelet worden op de volgende zaken:

- Is het talud vochtig?
- Sijpelt of stroomt er water uit het talud, zo ja: overal een beetje of op een paar plaatsen veel?
- Zijn er afzonderlijke locaties waar water uit het talud komt?
- Als er water uit het talud stroomt: waar gaat dat water naar toe?
- Wordt er grond uit het talud gespoeld?

Opgemerkt zij hier overigens dat een dijk vaak zo is opgebouwd, dat het water onder aan het talud naar buiten kan komen. Dit is zo gedaan, omdat de inspecties dan beperkt kunnen blijven tot een vrij smalle strook.

Een tweede opmerking betreft de vochtigheid van het talud met regen als oorzaak. Vochtigheid door regen is minder problematisch dan vochtigheid die van binnen de dijk komt. Als het regent moet men proberen om na te gaan of het talud alleen van de regen nat is, of dat er meer aan de hand is.

3.5.2 Sterkte van de grond

Door water in de grond kan de sterkte afnemen. Dit kan enigszins worden waargenomen, door op het talud of naast het talud te gaan staan en te springen. Als de grond veert of meegeeft, is er zeker sprake van verweking.



Bij een verschuiving van een moot grond boven aan de dijk, kan er onder aan de dijk grond omhoog gedrukt worden.

3.5.3 Scheuren en andere vervormingen

Kleine scheuren in een talud met gras zijn vaak moeilijk te zien. Let op oneffenheden in het oppervlak. Een scheur geeft aan dat grotere delen grond aan het verplaatsen zijn. Breng aan weerszijden van de scheur een piket, pin of andere markering in de grond aan. Deze markering wordt gebruikt om de eventuele groei van de scheur te kunnen volgen. Meet van een scheur de lengte, breedte en diepte (met een duimstok) op. Noteer ook waar de scheur gesignaleerd is: bovenaan, halverwege of onderaan het talud.

Behalve scheuren kan er ook sprake zijn van andere vervormingen. Bij een verschuiving van een moot grond wordt onderaan de verschuiving de grond samengedrukt. De grond zal hierdoor iets omhoog komen. Konijnen, mollen en andere dieren kunnen gaten en gangen veroorzaken, die bij hoogwater vol lopen en grond meespoelen. De gaten worden zo nog groter en kunnen leiden tot verzakkingen.

3.5.4 Golfoverslag

Als er golven over de dijk komen, moet nagegaan worden of het binnentalud hierdoor beschadigd wordt. Ook moet worden bekeken of het water alleen langs het talud naar beneden stroomt of in het talud infiltreert. Bij infiltratie verdwijnt het water in de dijk. De sterkte van de dijk neemt hierdoor af. Infiltratie kan op twee manieren worden waargenomen:

- inschatten of al het water dat over de kruin komt ook bij de binnentee terecht komt;
- nagaan of er plassen op het talud blijven staan, tussen de golven in.

Als plassen snel verdwijnen, is er sprake van infiltratie.

Ook van het water dat langs het binnentalud omlaag stroomt moet nagegaan worden waar het blijft:

- Stroomt het over het maaiveld verder van de dijk, bijvoorbeeld naar een sloot?
- Stroomt het langs de dijk?
- Blijft het staan bij de dijk?
- Infiltreert het in het maaiveld?

3.6 Achterland

Achterland
<i>vochtigheid/water</i> - de vochtigheid van de grond - kwel - wellen - waterstand in sloten
<i>zandmeevoerende wellen</i> - kratervorming - hoeveelheid zand: toename of afname
<i>sterkte van de grond</i> - als de grond vochtig is nagaan of de grond veert of schudt als men erop stampet of 'danst'
<i>vervormingen</i> - grond - sloten

Het achterland is het maaiveld dat binnendijs aansluit aan de dijk. Over een afstand van circa 30 meter vanaf de dijk kan dit gebied nog van belang zijn voor de veiligheid. De exacte afstand hangt af van veel omstandigheden en kan zelden in het veld bepaald worden.

Vaak is er een berm aanwezig. Een berm is een grondophoging aansluitend aan de dijk, die een tegendruk geeft tegen de dijk en er voor zorgt dat er geen water omhoog komt direct achter de dijk. Een berm kan min of meer horizontaal zijn en met een talud naar het maaiveld aflopen. Een berm kan ook geleidelijk van de dijk naar het maaiveld lopen. Er komen korte en hoge bermen voor (voor de stabiliteit), maar ook lange en lage bermen (tegen *piping*). Als er een berm aanwezig is, moet zowel op de berm zelf gelet worden, als op het maaiveld achter de berm.

3.6.1 Vochtigheid/water

Water dat door of onder de dijk door komt wordt kwel genoemd. Het maaiveld achter de dijk wordt hierdoor nat of kan zelfs blank komen te staan. Er moet op gelet worden of het water gelijkmatig naar boven komt of geconcentreerd op enkele locaties. Als het geconcentreerd naar boven komt, is er sprake van wellen. Op één of meerdere plaatsen borrelt dan water naar boven.



Door kwel kan het land achter de dijk blank komen te staan.

Speciale aandacht moet worden besteed aan sloten of andere plekken waar het maaiveld lager is. In sloten kan soms aan een vertroebeling van het water gezien worden, dat er water uit de grond opwelt. Ook een stijgende waterstand in een sloot geeft aan dat er water in komt. In gebieden waar de waterstand in sloten op peil gehouden wordt met een gemaal, hoeft de waterstand echter niet te stijgen. In dat geval zal het water door de sloten stromen.



Als water niet gelijkmatig maar op één plek geconcentreerd naar boven komt, is er sprake van een wel.

3.6.2 Zandmeevoerende wellen

Als er wellen zijn, kan er zand meegenomen worden door het water dat naar boven komt. In dit geval is er sprake van een zandmeevoerende wel. Het zand blijft rondom de wel achter in de vorm van een kratertje. Als de krater groter wordt, kan wand van de krater doorbreken waardoor het zand verderop terecht komt.



Een zandmeevoerende wel neemt zand mee in het water, dat achterblijft in de vorm van een kratertje.

Ook hier is speciale aandacht voor sloten, kolken, vijvers en andere waterpartijen nodig. In een sloot zal het zand lang niet altijd rondom de wel blijven liggen. Veel zand in het water van een sloot is een aanwijzing dat er een zandmeevoerende wel aanwezig is.

Bij een zandmeevoerende wel is het van belang om in te schatten of de hoeveelheid zand die uit de wel komt toeneemt, gelijk blijft of afneemt.

Een molshoop is ook een bergje zand. Hoewel een molshoop op zichzelf niet alarmerend is, kan de gang onder een molshoop wel een zwakke plek veroorzaken. Tijdens een voorinspectie kunnen mols-
hopen al gesignaleerd zijn.

3.6.3 Sterkte van de grond

Evenals bij het binnentalud, kan in het achterland de sterkte van de grond verminderen doordat er water in komt. In het ergste geval kan de grond gaan drijven. Het oppervlak krijgt hierdoor een hobbelige vorm.

Door op de grond te stampen of te 'dansen' kan een indruk gekregen worden van de sterkte van de bovenste laag grond. Als de grond veert of meegeeft is de sterkte nog maar beperkt.

De bodem van sloten kan omhoog gedrukt worden en daarna weer terugzakken. Hierbij zal water naar boven komen. De sterkte van de grond onder de sloot is in zo'n geval minimaal.

3.6.4 Vervormingen

Bij een afschuiving van het binnentalud zal de grond achter de dijk vervormen. Het binnentalud leunt min of meer tegen de grond achter de dijk. Gelet moet worden op hobbels, op graspollen die omhoog gedrukt worden en op andere vervormingen.

Bij een sloot dicht bij de dijk moet worden nagegaan of deze dichtgedrukt wordt, smaller wordt. Het is nuttig om de taluds van sloten te bekijken. Hier kunnen schèuren ontstaan als de sloot wordt dichtgedrukt.

3.7 Kunstwerken

Kunstwerken
<i>afdichting</i> - afsluitmiddelen aanwezig/ in goede staat - tijds sluiting - waterdichtheid deuren, schotbalken, schuiven enzovoort
<i>lekkage</i> - lekkages binnendijs, direct naast het kunstwerk - uitspoelend zand
<i>damwanden en keermuren</i> - verplaatsingen/vervormingen

Kunstwerken zijn allerlei bouwwerken in een dijk die op de een of andere manier het water tegen moeten houden. Alles wat geen grond of gras is, wordt in principe een kunstwerk genoemd. Sommige kunstwerken zijn open als er geen hoogwater is, zoals coupures, duikers door de dijk en sluizen. Deze moeten voor het hoge water gesloten worden.

Andere kunstwerken zijn damwanden of keermuren die de plaats innemen van een dijk of een dijk

versterken. Vooral in stedelijk gebied of bij bebouwing worden damwanden geplaatst, aangezien een dijk daar vaak te veel ruimte in neemt.

3.7.1 Afdichting

Bij coupures, duikers en sluizen moet worden nagegaan of de afdichting op tijd is aangebracht. Bij een coupure zijn dat meestal schotbalken, maar in sommige gevallen is een schuifdeur aanwezig. Als de afdichting nog niet is aangebracht, moet worden nagegaan of de afsluitmiddelen aanwezig zijn en snel genoeg aangebracht kunnen worden. Bij schuiven en dergelijke kan worden nagegaan of het bewegingswerk goed functioneert.

Duikers door de dijk worden met één of twee schuiven gesloten. Het mechanisme om de schuiven te sluiten is meestal op de kruin van de dijk aangebracht. Voor onderhoud en noodgevallen is vaak ook een schotbalkspinning aangebracht, aan de rivierzijde of aan de landzijde, of aan beide zijden.

Een sluis gaat dicht met deuren of schuiven. In sommige gevallen zal een sluis tijdens hoogwater een andere afsluiting moeten hebben dan de normale deuren. Dit kunnen bijvoorbeeld schotbalken zijn. Als de afdichtingen zijn aangebracht en het is hoogwater, dan moet regelmatig gecontroleerd worden of de afdichting voldoende waterdicht is. Er kan lekkage optreden bij de aansluiting van de afdichting op de omgeving. Bij een coupure is dit eenvoudig te zien. Bij een duiker kan meestal alleen maar gecontroleerd worden of er water uit de duiker stroomt. Bij een sluis is het nog moeilijker te zien. Beweging van het water achter de sluisdeur kan een aanwijzing zijn dat de deur niet goed dicht zit.



Een coupure in de dijk is gemakkelijk te controleren op lekkage.

3.7.2 Lekkage

Het kunstwerk sluit meestal aan op een dijk. Langs deze aansluiting kan lekkage optreden. Dit kan aan de zijkanten gebeuren (achterloopsheid), maar ook aan de onderkant (onderloopsheid). Voor zover mogelijk moet daarom tijdens hoogwater de aansluiting van het kunstwerk op de dijk binnendijks gecontroleerd worden. Men gaat na of er water langs het kunstwerk uit de dijk stroomt.

Bij een coupure is dit eenvoudig. Bij een coupure kan bovendien het maaiveld (meestal een straat) binnendijs gecontroleerd worden. Bij een duiker zal het soms mogelijk zijn om de zijkanten, die binnendijs uit de dijk steken, te controleren. De onderkant van een duiker is meestal in een sloot of watergang verborgen. In zo'n geval kan het water in de sloot gaan stromen, troebel worden, of stijgen als er water onder de duiker door komt.

Naast water moet men ook bedacht zijn op zand dat met het water wordt meegevoerd. Een verkleuring van het water geeft vaak aan dat er zand of grond meegevoerd wordt.

3.7.3 Damwanden en keermuren

Damwanden zijn vaak helemaal in de grond aangebracht en niet meer zichtbaar. Inspecties zijn dan niet mogelijk maar ook niet nodig. Een damwand wordt vaak aangebracht om het binnen- of buitentalud over een bepaalde lengte te vervangen. Schade aan het talud is dan niet erg, aangezien de damwand de functie overneemt. Het is nuttig om te weten waar damwanden of andere verborgen constructies zijn aangebracht, anders zouden mogelijk onnodige maatregelen aan beschadigde taluds worden genomen.

Bij keermuren die wel zichtbaar zijn, kan gelet worden op verplaatsingen of vervormingen van de grond. Bij een verplaatsing zal de grond vaak niet meer goed aansluiten en scheuren vertonen.

Ook de zijwanden van coupures en sluizen zijn keermuren, die tijdens hoogwater extra belast worden. De zijwanden houden het grondlichaam op zijn plaats. Bij hoogwater stijgt de grondwaterspiegel, waardoor de grond zwaarder wordt. De druk op de keermuren wordt dan groter. Daarnaast kan er water door de muren heen sijpelen of stromen.

3.8 Zeedijken

Zeedijken
<i>buitentalud</i> - controle op beschadiging van de bekleding op het buitentalud
<i>golfoverslag/overlopen</i> - de waterstand ten opzichte van de kruin - golfoploop ten opzichte van de kruin
<i>voorspellingen</i> - voorspellingen van de waterstand en windsnelheid en windrichting - aan de hand van de waarnemingen en voorspellingen inschatten of er golfoverslag of overlopen kan gaan optreden

Voor een toelichting wordt verwezen naar hoofdstuk 13 (Zeedijken).

4 Beoordeling en maatregelen

4.1. Algemeen

In de tabellen in dit hoofdstuk wordt aangegeven welke actie moet worden ondernomen als een bepaald fenomeen wordt waargenomen. In iedere tabel is onder nummer 1 het geconstateerde of verwachte probleem aangegeven. De volgende nummers beschrijven vervolgwaarnemingen of acties die uitgevoerd moeten worden. Deze acties worden opeenvolgend genummerd. Het komt voor dat de waarnemingen verder uitgesplitst worden. Dit wordt aangeduid met de letters: a, b, c etc. achter het volgnummer. In zo'n geval moet de juiste situatie gekozen worden. Soms kunnen verschillende situaties tegelijk optreden.

De tabellen moeten altijd helemaal doorlopen worden en meestal zelfs meerdere keren, tot het hoogwater voorbij is.

Op diverse plaatsen wordt vermeld dat advies nodig is. Hiermee wordt bedoeld advies van een waterbouwkundig of grondmechanisch specialist. Deze specialist moet de beschikking krijgen over:

- tekeningen met de geometrie en afmetingen (legger en beheersregister);
- voor zover aanwezig, grondmechanische onderzoeksrapporten en ontwerpberekeningen;
- waterstanden, windsnelheden en golfhoogten die in de voorgaande dagen zijn voorgekomen;
- voorspellingen van waterstanden en windsnelheden;
- een beschrijving van de waarnemingen.

In de meeste gevallen zal het uitvoeren van maatregelen vanwege de tijdsdruk beginnen als het advies nog niet beschikbaar is. De adviseur zal dan beoordelen op de gekozen maatregelen voldoende zijn en zo nodig aanvullende voorstellen doen.

De eerstvolgende tabellen hebben te maken met golfoverslag en overlopen: gevallen waarin de kruinhoogte onvoldoende is. De rest van de tabellen is, evenals bij de waarnemingen, onderverdeeld in buitentalud, kruin, binnentalud en achterland.



Bij overslag kan een kade op de dijk worden aangebracht die maximaal 0,75 meter hoog mag zijn.

4.2 Overslag

1	Door golven komen kleine hoeveelheden water op de kruin.
2	De weersverwachting geeft aan dat de wind toeneemt en/of de waterstandsverwachting geeft aan dat de waterstand stijgt.
	Inspecteer de kruin en het binnentalud op beschadigingen.
3	Breng materiaal/materieel in gereedheid voor ophoging van de kruin: bijvoorbeeld zandzakken/strobalen. Breng materiaal/materieel in gereedheid voor bescherming binnentalud: geotextiel of folie, zandzakken.
	Vraag advies over de verwachte hoeveelheid golfoverslag en vraag of de dijk hiertegen bestand is. Vraag tevens hoeveel de dijk opgehoogd zou moeten worden om de golf-overslag tegen te gaan.
4	Er wordt een grote hoeveelheid overslag verwacht, volgens het advies meer dan de dijk aan kan.
5	De begaanbaarheid van de dijk wordt slecht. Overleg over het afsluiten van de dijk voor verkeer, met uitzondering van het benodigde verkeer voor inspecties van de dijk of voor het aanbrengen van noodvoorzieningen.
	Breng een kade aan op de dijk: maximale ophoging 0,75 m. Sluit de dijk af voor vrachtverkeer, behalve voor het aanbrengen van de kade.
6	Vraag advies over de stabiliteit van de dijk met de kade en vraag of een verdere ophoging mogelijk is. Verhoog de kade als dat mogelijk en nodig is. Als het niet mogelijk is maar wel nodig: door naar 7.
7	Indien ophoging van de kruin niet of niet voldoende mogelijk is: breng geotextiel of folie aan op het binnentalud. Ballast het doek op de kruin en het talud, of bevestig het met krammen, zodanig dat er geen water onder het doek kan komen. Als het aanbrengen van geotextiel of folie niet mogelijk is: bedek het talud met zandzakken.
8	Let op bij grote overslaande golven en harde wind. Het kan gevaarlijk zijn om nog op de dijk te komen.
9	Blijf, als het betreden van de dijk zonder grote risico's mogelijk is, de kruin en het binnentalud inspecteren: - ga na of er grond wordt weggespoeld; - ga na of er water infiltreert.
10	Er infiltreert veel water in de kruin en/of het binnentalud: - verflauw het binnentalud met zandzakken; - verlaag zo mogelijk de waterstand in binnendijkse sloten, echter alleen na advies over <i>piping</i>.

4.3 Overlopen

1	Waterstand 0,5 à 1 m onder de kruin van de dijk (verticaal gemeten). De exacte maat is in het hoogwaterdraaiboek opgenomen of bij de beheerder bekend.
2	De waterstandverwachting geeft aan dat de waterstand stijgt.
	Inspecteer de kruin en het binnentalud op beschadigingen.
3	Breng materiaal/materieel in gereedheid voor ophoging van de kruin: zandzakken, folie, strobalen. Breng materiaal/materieel in gereedheid voor bescherming binnentalud: geotextiel of folie, zandzakken.
	Vraag advies over de verwachte waterstand. Vraag tevens hoeveel de dijk opgehoogd zou moeten worden om overlopen te voorkomen.
4	Er wordt een waterstand verwacht die hoger is dan de kruinhoogte.
5	De begaanbaarheid van de dijk wordt slecht. Sluit de dijk af voor verkeer, met uitzondering van het benodigde verkeer voor inspecties van de dijk of voor het aanbrengen van noodvoorzieningen.
	Breng een waterdichte kade aan op de dijk: maximale ophoging 0,75 m. Sluit de dijk af voor vrachtverkeer, behalve voor het aanbrengen van de kade.
6	Vraag advies over de stabiliteit van de dijk na aanleg van de kade en vraag of een verdere ophoging mogelijk is. Verhoog de kade als dat mogelijk en nodig is. Als het niet mogelijk is maar wel nodig: door naar 7.
7	Indien de ophoging niet of niet voldoende mogelijk is: breng geotextiel of folie aan op het binnentalud. Ballast het doek op de kruin en het talud, of bevestig het met krammen, zodanig dat er geen water onder het doek kan komen.
8	Let op als er water op de kruin staat, en bij harde wind. Het zal gevaarlijk zijn om nog op de dijk te komen.
9	Blijf, als het betreden van de dijk zonder grote risico's mogelijk is, de kruin, de noodkade en het binnentalud inspecteren: - ga na of er grond wordt weggespoeld; - ga na of er water infiltreert.
10	Er infiltreert veel water in de kruin en/of het binnentalud: - verflauw het binnentalud met zandzakken; - verlaag zo mogelijk de waterstand in binnendijkse sloten.

4.4 Buitentalud: beschadiging

1	Beschadiging van de grasmat of harde bekleding op rivierdijken.
2	Stel de oorzaak vast: golven, stroming, drijfvuil, zwakke plek in de bekleding, andere oorzaak? Als golven of stroming de oorzaak zijn: - ga na wat de voorspelling is; - verwijder eventueel drijfvuil; - blijf regelmatig inspecteren; - ga na of er zand onder de bekleding vandaan komt; - Voer de maatregelen volgens 3, 4 of 5 uit. Als duidelijk is dat de beschadiging groter wordt, of de golven groter worden, zijn mogelijk maatregelen nodig. In het vervolg van de tabel wordt een indicatie gegeven wanneer maatregelen nodig zijn, en waaruit de maatregelen kunnen bestaan. Handel bij inspecties en het nemen van maatregelen zorgvuldig om te voorkomen dat personen in het water glijden of vallen. Voer maatregelen altijd met minstens twee personen uit.
3	Gaten minder diep dan 0,2 m, waar geen zand uit komt: - geen maatregelen nodig, inspecteer wel regelmatig.
4	Gaten dieper dan 0,2 m, waar geen zand uitkomt: - inspecteer tweemaal per dag; - vul het gat op met zandzakken.
5	Gaten waar zand uit komt: - dek af met geotextiel en zandzakken.
6	Gaten onder water: - neem in overleg zo mogelijk maatregelen (geotextiel of folie aanbrengen).



Gaten die dieper zijn dan 20 cm, waar geen zand uitkomt, moeten opgevuld worden met zandzakken.



Gaten waar wel zand uitkomt moeten afgedekt worden met geotextiel en zandzakken.

1	Afschuiven van een buitentalud bij hoog water, zonder voorafgaande scheurvorming.
2	Probeer de omvang van de schade vast te stellen. Probeer de oorzaak vast te stellen, meest waarschijnlijk is sterke erosie of beschadiging van het buitentalud onder water. Neem in overleg maatregelen: - vul het talud onder water aan met zandzakken, indien mogelijk; - vraag advies.

4.5 Buitentalud: drijfvuil of scheepsgolven

1	Drijfvuil of scheepsgolven geconstateerd.	
2	Drijfvuil tegen het talud.	Grote scheepsgolven tegen het talud.
3	Verwijder grote objecten zoals boomstammen direct.	Overleg over de scheepvaart: snelheid minderen of stilleggen, verder van de dijk laten varen.
	Verwijder kleine objecten (takken, stro etc.) dagelijks. Let op bij het verwijderen van drijfvuil dat het talud niet beschadigd raakt.	
	Let op dat personen niet in het water glijden of vallen. Verwijder drijfvuil met tenminste twee personen.	
4	Controleer of het talud beschadigd is, zo ja, ga naar tabel 4.4: 'buitentalud: beschadiging' .	



Als het talud beschadigd is, moet nagegaan worden wat de oorzaak daarvan precies is.

4.6 Buitentalud: scheurvorming

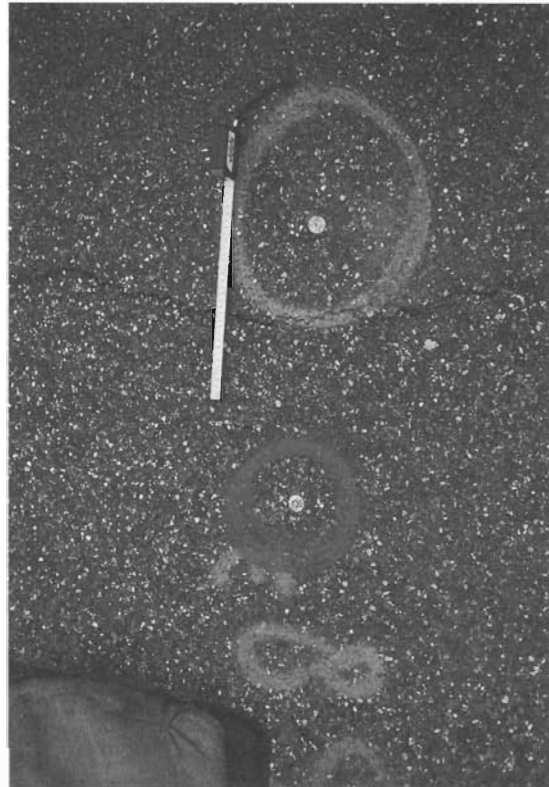
1	Scheurvorming bovenaan het buitentalud bij hoogwater.	
2	Meet de afmetingen van de scheur op: - breedte - diepte - lengte Noteer de plaats van de scheur op het talud. Ga na of er ook een verticale verplaatsing is opgetreden. Ga na of er een sterke stroming dicht bij de dijk aanwezig is. Herhaal de metingen eenmaal per uur in de eerste dag na het waarnemen van de scheur. Blijf, als de scheur niet groter wordt en geen verticale verplaatsingen optreden, de metingen enkele malen per dag herhalen. Als de scheur groter wordt, door naar 3.	
3	Sterke stroming voor de dijk.	Geen sterke stroming voor de dijk.
4	Laat de bodemhoogte onder water opmeten. Ga na of het talud beschadigd is.	De scheur wordt groter.
5	De scheur wordt groter en/of uitschuring onder water geconstateerd en/of verticale verplaatsing buitendijks.	Vraag advies.
6	Laat het gat onder water opvullen.	Vraag advies.

4.7 Kruin: scheurvorming

1	Scheur in de kruin geconstateerd.
2	Meet de afmetingen van de scheur op: - breedte - diepte - lengte Breng aan weerszijden van de scheur een markering aan (spijkers, verf), bij lange scheuren op meerdere plaatsen. Noteer de plaats van de scheur op het talud. Ga na of er ook een verticale verplaatsing (verzakking) aan de binnen- of buitenzijde van de scheur is opgetreden. Ga na of de scheur al aanwezig was voor het hoogwater. Herhaal de metingen eenmaal per uur in de eerste dag na het waarnemen van de scheur. Blijf, als de scheur niet groter wordt en geen verticale verplaatsingen optreden, de metingen enkele malen per dag herhalen. Als de scheur groter wordt, door naar 3.
	Ga na of: - een sterke stroming nabij de dijk aanwezig is; - het buitentalud beschadigd kan zijn.
	Controleer het binnentalud en het maaiveld binnendijs: - op vervormingen; - op water dat uit de grond geperst wordt.
3a	De scheur is nabij de buitenkruinlijn (minder dan 2 m van de buitenkruinlijn) en er zijn geen vervormingen binnendijs: ga naar tabel 4.6 ' buitentalud: scheurvorming '.
3b	De kruin verzakt buitendijs van de scheur: ga naar tabel 4.4 ' buitentalud: scheurvorming '.
3c	De maximaal verwachte waterstand is meer dan 2 meter beneden de kruin en de scheur is meer dan 5 m van de buitenkruinlijn verwijderd: - in principe geen maatregelen nodig; - vraag advies; - blijf verschillende malen per dag inspecteren volgens punt 2.
3d	De scheur is breder dan 2 cm en wordt groter of de kruin verzakt binnendijs van de scheur: - breng een steunberm tegen binnentalud aan van zand of zandzakken: hoog 1 m, breed 5m; - verlaag zo mogelijk de waterstand in binnendijkse sloten (bij verlagen van de waterstand moet op <i>piping</i> gecontroleerd worden; verlaag in <i>piping</i>gevoelige gebieden de waterstand niet); - vraag advies over verder te nemen maatregelen; - meet de scheur ieder uur op; - ga na of binnendijs vervormingen optreden.
3e	De scheur is minder dan 2 cm breed en wordt niet breder, de kruin is niet verzakt: - blijf verschillende malen per dag inspecteren volgens punt 2.
4	Als geen van de punten onder 3 van toepassing is: - blijf verschillende malen per dag inspecteren volgens punt 2.



Er is een scheur in de kruin geconstateerd. Om te beginnen moet de scheur goed opgemeten worden.



Aan weerszijden van de scheur moeten markeringen worden aangebracht met spijkers en verf.



Bij grotere scheuren kan een steunberm van zand worden aangebracht, die 1 meter hoog en 5 meter breed is.

4.8 Binnentalud: uittredend water en/of uitspoelen van grond

1	Het binnentalud is nat of er komt water naar buiten, al dan niet met grond.
2a	Het binnentalud is vochtig, er komt geen water uit: - geen maatregelen nodig.
2b	Er komt gelijkmatig water onderaan het talud naar buiten: - geen maatregelen nodig.
2c	Er komt gelijkmatig water uit het talud: - dek het buitentalud af met folie.
2d	Er komt geconcentreerd op één of meerdere plaatsen water uit het talud: - dek af met geotextiel en zandzakken.
2e	Er spoelt grond uit het talud: - dicht gaten met zandzakken; - dek af met geotextiel en zandzakken.
3	In alle gevallen: - controleer extra op vervormingen van de kruin en het binnentalud en uitspoelen van grond; - verlaag zo mogelijk waterstand in binnendijkse sloten, echter alleen na advies over <i>pi-ping</i> .



Als er water uit het talud komt, moet de grond worden afgedekt met geotextiel en zandzakken.



Als er behalve water ook grond meekomt, moeten de gaten worden gedicht met zandzakken.

4.9 Binnentalud: scheur

1	Scheur in het binnentalud.
2	Meet de afmetingen van de scheur op: - breedte - diepte - lengte Noteer de plaats van de scheur op het talud; Ga na of er ook een verticale verplaatsing (verzakking) is opgetreden. Herhaal de metingen eenmaal per uur in de eerste dag na het waarnemen van de scheur. Blijf, als de scheur niet groter wordt en geen verticale verplaatsingen optreden, de metingen enkele malen per dag herhalen. Als de scheur groter wordt, door naar 3.
	Controleer het binnentalud en het maaiveld binnendijs: - op vervormingen; - op water dat uit de grond geperst wordt.
3	Als de scheur groter is dan 2 cm en groter wordt, of als er verzakkingen optreden: - breng een berm aan onderaan het talud van zand of zandzakken, hoog 1 m, breed 5 m; - verlaag zo mogelijk de waterstand in sloten (hierbij is extra controle op <i>piping</i> nodig, in <i>piping</i>gevoelige gebieden de waterstand niet verlagen); - vraag advies over verder te nemen maatregelen; - blijf de omgeving controleren op vervormingen.



Er zit een scheur in het binnentalud. Op de eerste dag dat de scheur er is, moet ieder uur gekeken worden of de scheur groter wordt.

4.10 Achterland: kwel en wellen en/of zandmeevoerende wellen

1	Op de berm, in het achterland of in sloten/vijvers kwel, welvorming of zandmeevoerende wel geconstateerd.
2a	De kwel is gelijkmatig verspreid, geen geconcentreerde uitstroom: - geen maatregelen nodig.
2b	Op sommige plaatsen borrelt het water op (welvorming): - geen maatregelen nodig; - controleer of er zand wordt meegespoeld, met name in sloten, kolken en andere waterpartijen.
2c	Water borrelt op in een geconcentreerd gebied: - dek wellen af met geotextiel en zandzakken; - blijf controleren of er zand onder het geotextiel vandaan komt.
2d	Water spuit naar boven: - dek de wel af met geotextiel en zandzakken, zodanig dat het water niet tegengehouden wordt; - blijf controleren of er zand onder het geotextiel vandaan komt.
2e	Een zandmeevoerende wel geconstateerd: - ga direct na hoeveel zand er uit de wel is gekomen en of de hoeveelheid zand toeneemt of afneemt.
	Bij een afnemende hoeveelheid zand: - blijf inspecteren, niet direct maatregelen nodig. Bij een toenemende hoeveelheid zand: kist de wel op. - leg geotextiel over de wel; - bouw rond de wel een kade van zandzakken; - laat de waterstand binnen de zandzakken stijgen; - controleer of er zand buiten de opkisting wordt gespoeld en maak zo nodig de opkisting verder zanddicht; - maak de opkisting niet zo hoog dat het water ophoudt met stromen; Als opkisten niet mogelijk is: - dek de wel af met geotextiel en zandzakken; - blijf controleren of er zand onder het geotextiel vandaan komt; - sluit de wel niet waterdicht op, controleer of het water blijft stromen.
	Als de hoeveelheid water en zand zeer groot is en de maatregelen hierboven niet mogelijk zijn: vraag advies breng in overleg eventueel een <i>piping</i> berm aan (zand laten storten door een vrachtwagen), aansluitend aan de dijk tot voorbij de wel.
2f	Verschillende zandmeevoerende wellen geconstateerd op kleine afstand van elkaar: - leg een <i>piping</i> berm aan van zand: hoog 0,5 meter, vanaf de dijk tot voorbij de laatste wel of: - dek de wellen af met geotextiel, ballast het geotextiel met rijen zandzakken, controleer of er zand onder het geotextiel vandaan komt, ballast het zo nodig meer; - inspecteer de omgeving intensief om nieuwe wellen tijdig te ontdekken; - vraag advies.

2g	Verschillende zandmeevoerende wellen geconstateerd op grotere afstand van elkaar: - verhoog zo mogelijk de waterstand in sloten (controleer in dat geval de stabiliteit en vraag advies over de stabiliteit); - dek de wellen afzonderlijk af met geotextiel en zandzakken of kist ze op.
3	In alle gevallen: inspecteer de omgeving op welvorming en (nieuwe) zandmeevoerende wellen.



Als er wel is geconstateerd, moet deze afgedekt worden met geotextiel en zandzakken.



Bij een zandmeevoerende wel moet de wel opgekist worden; er wordt een kade van zandzakken gemaakt.



Als er verschillende zandmeevoerende wellen naast elkaar liggen, moet het hele stuk met geotextiel en rijen zandzakken worden afgedekt.

4.11 Achterland: vervormingen

1	Vervormingen op de berm, in het achterland of in sloten/waterpartijen geconstateerd.
2a	Het maaiveld wordt bobbelig over een groter gebied (meters tot tientallen meters). Vermoedelijk is er sprake van opdrukken (blaasvorming): - ga na of het maaiveld veert als erop gesprongen wordt; - controleer het binnentalud en kruin op vervormingen.
2b	De grond wordt in elkaar gedrukt, scheuren of scheurtjes in de grond: - controleer het binnentalud en kruin op scheuren en andere vervormingen; - leg bij verschuivingen groter dan 10 cm en groeiend en/of scheuren/vervormingen in kruin of binnentalud een stabiliteitsberm aan; - vraag advies.
2c	Een sloot wordt smaller, talud van een sloot, kolk, vijver vertoont scheuren: - controleer het binnentalud en kruin op scheuren en andere vervormingen; - demp bij vervormingen groter dan 10 cm en toenemend de sloot met zand; - vraag advies.
3	Verschuivingen groter dan 10 cm en/of scheuren/vervormingen in kruin of binnentalud: - leg een stabiliteitsberm aan, hoog 1 m, breed 5 m aansluitend aan het talud; - vraag advies.

4.12 Zeedijken

1	Beschadiging grasmat of harde bekleding bij zeedijken.
2	Stel de oorzaak vast: golven, stroming, drijfvuil, zwakke plek in de bekleding, andere oorzaak? Als golven of stroming de oorzaak zijn: - ga na wat de voorspelling is; - ga na of er zand onder de bekleding vandaan komt.
3	Blijf als de weersomstandigheden het toelaten regelmatig inspecteren.
4	Breng bij geconstateerde beschadigingen materiaal en materieel in gereedheid. Neem bij de eerstvolgende laagwaterperiode maatregelen.

1	Golfoverslag.
2	Bescherm bij een verwachting van een grote hoeveelheid golfoverslag, als de tijd het toelaat, het binnentalud met folie. Ballast het folie voldoende om wegspoelen te voorkomen.
3	Bij geconstateerde golfoverslag: - inspecteer zo mogelijk binnendijks het binnentalud op beschadigingen; - breng materiaal en materieel in gereedheid bij beschadiging en neem gedurende de eerstvolgende laagwaterperiode maatregelen.

Deel B: Achtergronden



5 Begripsvorming

5.1. Algemeen

In dit deel wordt voor ieder faalmechanisme een beschrijving gegeven. Per faalmechanisme wordt vervolgens aangegeven wat voor fenomenen optreden en welke noodmaatregelen zinvol zijn. In deel A zijn deze fenomenen en maatregelen ook al aan de orde geweest, daar echter gerangschikt volgens de geometrie van de dijk.

Deel B begint algemeen met de uitleg van enige algemene kenmerken en termen. Achterin is bovendien een lijst opgenomen waarin diverse termen kort worden omschreven.

In de eerstvolgende paragraaf wordt de opbouw van een dijk besproken. Daarna worden de verschillen tussen diverse gebieden in Nederland besproken. Tenslotte wordt uitgelegd wat een faalmechanisme precies is en welke fasen er in een faalmechanisme te onderkennen zijn.

5.2 Dijkprofiel

Een dijk is in principe niet meer dan een berg grond, die netjes is afgewerkt. Een oude dijk is meestal opgebouwd uit allerlei verschillende grondsoorten: klei, zand of een combinatie. De dijken zijn in de loop van vele honderden jaren opgebouwd. Iedere keer als de dijk weer verhoogd werd, kan een andere grondsoort gebruikt zijn.

Bij een recente verbetering van een oude dijk zal meer aandacht besteed zijn aan het toepassen van de goede grondsoort, en zal de grond beter zijn verdicht bij het aanbrengen. Een verbetering van een oude dijk aan de binnenzijde, wordt meestal met zand gedaan. Op het zand, op het binnentalud, wordt een dunne laag klei aangebracht om te voorkomen dat het zand wegspoelt en om er gras op te laten groeien. Bij de binnenteen is deze kleilaag meestal dunner, zodat water dat in de dijk terecht is gekomen, op deze plaats naar buiten kan (zie figuur 1).

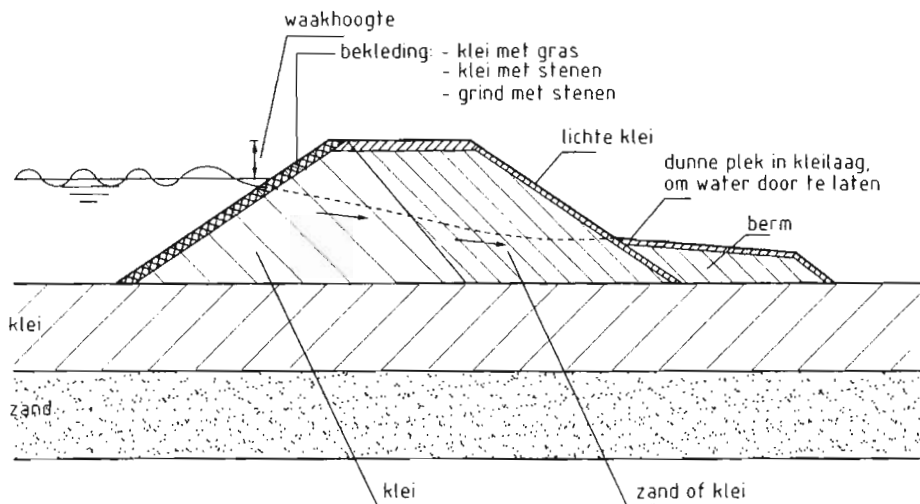
Een verbetering van een oude dijk aan de buitenzijde wordt in principe in klei uitgevoerd. In sommige gevallen kan echter ook een zandaanvulling aan de buitenzijde zijn aangebracht, vooral als de benodigde aanvulling groot was.

Een geheel nieuwe dijk is meestal uit zand opgebouwd, met een dikke kleilaag aan de buitenkant. Het ideale dijkprofiel is aan de rivierzijde het meest waterdicht, en aan de binnenzijde het meest waterdoorlatend (figuur 1). Door de waterdichte laag aan de rivierzijde wordt voorkomen dat het water makkelijk naar binnen dringt. Het water dat toch naar binnen komt, kan relatief makkelijk verder door de dijk gaan, zonder dat het in de dijk achterblijft.

Zeedijken worden soms geheel uit zand opgebouwd. Omdat het hoogwater hier veel korter duurt, is de waterdichtheid minder van belang dan bij rivierdijken.

5.3 Gebiedsindeling

Een dijk heeft een paar kenmerken die overal in het land hetzelfde zijn. Het is een grondlichaam, met taluds, een bescherming van de taluds en mogelijk een berm aan de landzijde of aan de waterzijde of aan beide zijden. In figuur 1 is een schematische dwarsdoorsnede van een dijk getekend.



figuur 1: Schematische weergave van de opbouw van een dijk

Bij een goede opbouw is ervoor gezorgd dat de waterdoorlatendheid toeneemt van de buitendijkse zijde naar de binnendijkse zijde. Er blijft dan geen water achter in de dijk. De bekleding beschermt het dijklichaam tegen erosie. De berm verhoogt de stabiliteit en vermindert de kans op *piping*. In sommige gevallen kan ook een berm buitendijks aangebracht zijn.

Toch zijn er enkele kenmerkende verschillen, afhankelijk van het gebied waar de dijk zich bevindt. De verschillen hebben enerzijds te maken met het soort hoogwater en anderzijds met de ondergrond.

Aan de *kust* wordt een hoogwater veroorzaakt door de combinatie van hoog tij en storm. Op het *IJsselmeer* en de randmeren wordt een hoogwater veroorzaakt door een storm. In beide gevallen duurt het hoogwater vrij kort, bijvoorbeeld één of twee dagen, inclusief de stijging en daling van de waterstand. De stijging van het water gaat erg snel. In sommige gevallen kan de waterstand binnen een halve dag enkele meters stijgen. De waarschuwing voor een hoogwater is afhankelijk van een correcte weersvoorspelling. Meestal zal een waarschuwing niet meer dan enkele dagen voor de stormvloed gegeven kunnen worden. Een hoogwater aan de kust komt snel op en er is ook altijd sprake van een harde wind.

In het *rivierengebied* wordt een hoogwater veroorzaakt door een grote afvoer van de Rijn uit Duitsland of de Maas uit België. Het water stijgt relatief langzaam. De hoogwatergolf is bovendien al enkele dagen van tevoren te voorspellen omdat vanuit Duitsland en België waarschuwingen worden doorgegeven, voordat de hoogwatergolf Nederland bereikt. In het rivierengebied is daarom al lang van tevoren bekend dat het hoogwater wordt. Langs de Maas is de waarschuwingstijd korter dan langs de Rijn, omdat de Maas korter is en sneller reageert op een periode met veel regen.

In het westen van het land komen dikke klei en veenlagen voor. Diktes van 10 meter zijn niet ongebruikelijk. Naar het oosten toe komt minder veen voor en worden de kleilagen dunner. Rond Arnhem

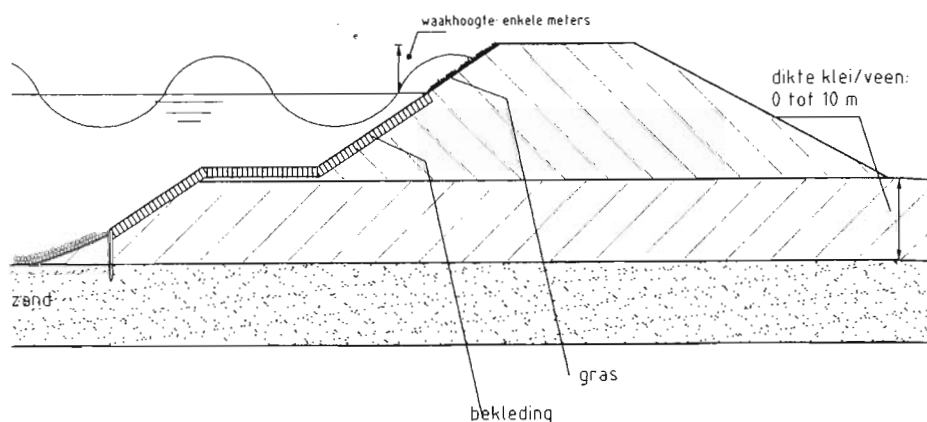
bijvoorbeeld is een kleilaag met een dikte tussen de 2 en 4 meter heel gebruikelijk. In sommige gebieden is in het geheel geen klei aanwezig. Dat is bijvoorbeeld het geval op een aantal trajecten langs de IJssel. Omdat klei en veen heel andere eigenschappen hebben dan zand, is het nuttig een onderscheid te maken. Klei en veen zijn slecht waterdoorlatend. Zand laat water goed door. Klei en veen zijn slapper dan zand. Klei en veen zijn samenhangend, ze hebben cohesie, terwijl zand loskorrelig is. En tenslotte: klei en met name veen zijn lichter dan zand.

Vanwege deze verschillen in eigenschappen maakt het veel uit of een dijk op een kleilaag is gebouwd of op zand. Bij een dijk op zand zal bijvoorbeeld makkelijker water onder de dijk door stromen. Een dijk op een kleilaag heeft weer eerder problemen met de stabiliteit. Ook de dikte van de kleilaag maakt veel verschil.

Vanwege de verschillen in hoogwater en ondergrond wordt een aantal gebieden onderscheiden:

- het kustgebied;
- het merengebied;
- het rivierengebied;
- het overgangsgebied.

Het *kustgebied* wordt gekenmerkt door stormvloeden, veroorzaakt door hoog tij en een storm (zie figuur 2). In de ondergrond komen vaak dikke pakketten klei en veen voor. Dit is het gebied dat direct grenst aan de Noordzee, de Waddenzee of de Zeeuwse wateren, exclusief het Haringvliet en het Hollandsch Diep.



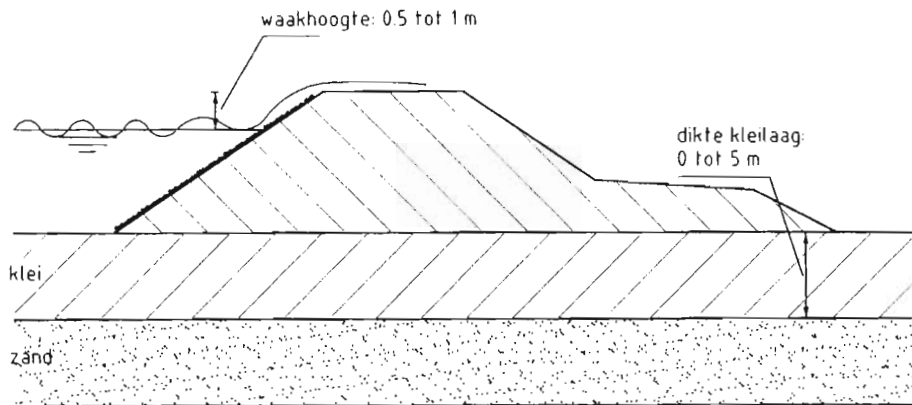
Figuur 2: Schematische weergave van een dijk in het kustgebied

Veelal is een kleine berm aan de buitenzijde aangebracht, voornamelijk in verband met onderhoud. In sommige gevallen zal ook een berm binnendijs aanwezig zijn. De taludhellingen zijn relatief flauw.

Het *merengebied* wordt gekenmerkt door stormvloeden. Ook hier komen in de ondergrond dikke pakketten klei en veen voor. Dit is het gebied dat grenst aan het IJsselmeer of de randmeren.

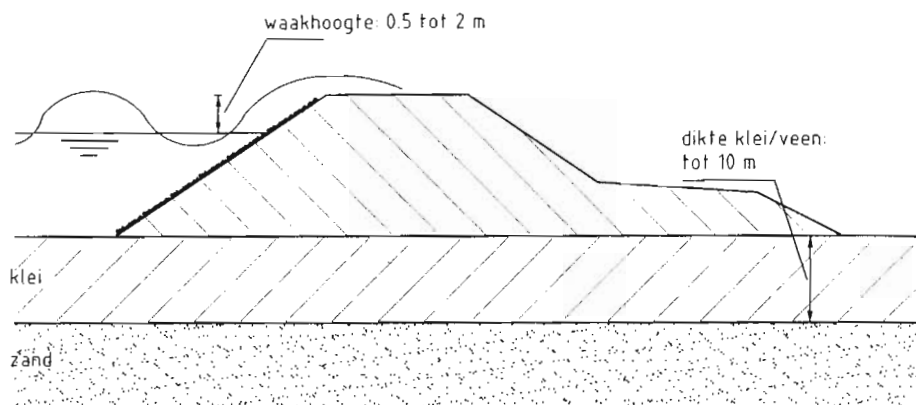
Het *rivierengebied* (ook wel bovenrivierengebied genoemd) wordt gekenmerkt door hoge watertanden die veroorzaakt worden door hoge rivierafvoeren (zie figuur 3). Er zijn kleilagen met een dik-

te van 1 tot enkele meters aanwezig. Op sommige locaties is in het geheel geen kleilaag aanwezig. Het rivierengebied betreft de rivieren de Rijn en zijn takken, de Maas, de IJssel en de Vecht, vanaf de landsgrenzen tot ongeveer Raamsdonksveer, Gorkum, Schoonhoven, Kampen en Zwolle.



Figuur 3: Schematische weergave van een dijk in het rivierengebied
De waakhoogte is minder groot als bij dijken in het kust- en overgangsgebied. Veen komt slechts sporadisch voor en de kleilaag is in het algemeen dunner dan in het overgangsgebied.

Het *overgangsgebied* is het gebied tussen het kustgebied of IJsselmeer en het rivierengebied (zie figuur 4). Dit gebied wordt ook wel het benedenrivierengebied genoemd. Een hoogwater kan hier zowel door een stormvloed als een hoge afvoer veroorzaakt worden, of door een combinatie van beide. Hoe dichterbij de kust, hoe groter de invloed van zee en hoe kleiner de invloed van de rivier, en omgekeerd. In de ondergrond komen veelal dikke lagen klei en veen voor.



Figuur 4: Schematische weergave van een dijk in het overgangsgebied
De waakhoogte kan enkele meters bedragen. De ondergrond bestaat vaak uit een dikke laag klei en veen.

Opgemerkt wordt dat de bovenstaande informatie slechts globaal is. In de ondergrond komen overal uitzonderingen voor. Bijvoorbeeld bij wielen en kolken. Daar is vaak bij een dijkdoorbraak de ondergrond verstoord. De ondergrond kan ook verstoord zijn doordat de rivier in het verleden een andere loop heeft gevolgd. Op zulke plaatsen kan klei vervangen zijn door zand of andersom. Een kolk is goed te herkennen in het landschap; niet alleen door het water, maar ook door de bocht die de dijk maakt om de kolk heen. Een kolk kan echter ook zijn dichtgeslibd of aangevuld. Met oude stroomgeulen, op de plaats waar nu een dijk ligt, is dat vanzelfsprekend altijd het geval. Door de bochten in de dijk, of soms zettingen van de dijk, kan soms toch nog iets af te leiden zijn van de geschiedenis van de dijk en de ondergrond. Specifieke informatie over een dijkvak is te vinden in de grondmechanische rapporten die voor de dijkverbetering geschreven zijn.

5.4 Faalmechanismen

Een dijk bezwijkt zelden in één keer. Eerst treedt een verzwakking of beschadiging op. De dijk geeft een 'waarschuwing' af, voordat er iets echt mis gaat. Daarna wordt de beschadiging groter en tenslotte bezwijkt of faalt de dijk. Een serie van opeenvolgende gebeurtenissen, die uiteindelijk uitmondt in falen van een dijk, wordt een faalmechanisme genoemd.

Met het falen van een waterkering wordt bedoeld dat ontoelaatbare hoeveelheden water binnendijs komen. Eén van de gebeurtenissen kan bestaan uit het bezwijken van een deel van de waterkering, maar dat hoeft niet. Er wordt ook van falen gesproken als de waterkering intact blijft, maar toch water doorlaat. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren indien een coupure niet tijdig gesloten is, of als een dijk overstroomt, waardoor in het achterliggende gebied wateroverlast optreedt.

Voor alle faalmechanismen wordt de volgende indeling aangehouden:

- *Begin of inleidende gebeurtenissen en fenomenen.* Enige schade of verzwakking begint op te treden.
- *Vervolg of aanspreken reststerkte.* Nadat de eerste schade is opgetreden, kan het nog aanzienlijke tijd duren voordat de waterkering faalt; er is nog de nodige sterkte in de waterkering aanwezig. De sterkte die aanwezig is na de initiële schade wordt 'reststerkte' genoemd. Bij sommige faalmechanismen en/of typen van waterkeringen, kan de reststerkte zeer beperkt zijn.
- Van *falen* worden gesproken in de volgende gevallen:
 - als er totaal geen sterkte of weerstand meer over is en het water vrij naar binnen stroomt;
 - als er water over de dijk stroomt, zonder dat de dijk beschadigd is (*falen zonder bezwijken*).

Een dijk kan ook beschadigd raken of bezwijken, zonder dat er van falen sprake is. Als een dijk bijvoorbeeld afschuift na een snelle daling van de waterstand, is de dijk bezwiken. Omdat de waterstand dan laag is, stroomt er geen water naar binnen (*bezwijken zonder falen*).

6 Golfverslag en overloop

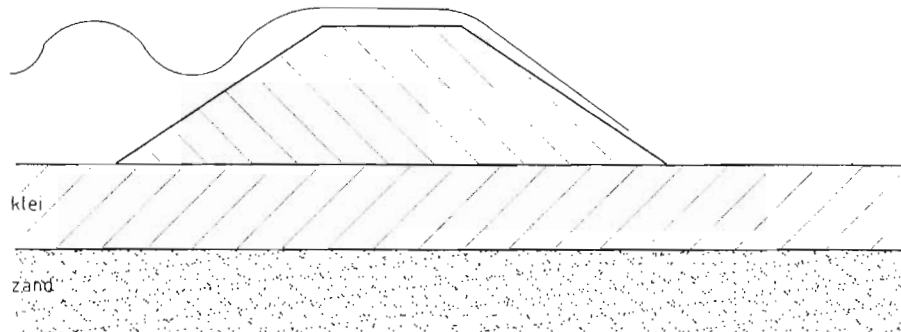
Er is sprake van golfverslag als de golven die tegen het talud oplopen of breken, over de kruin van de dijk slaan (zie figuur 5). Als de waterstand hoger is dan de kruin van de dijk stroomt het water erover heen, wat overloop genoemd wordt (zie figuur 6). Deze mechanismen hebben hetzelfde gevolg, namelijk aantasting van het binnentalud door erosie of verweking.



Bij overloop is de hoeveelheid water die over de kruin stroomt al snel groter dan bij overslag.

6.1 Golfverslag

Golven worden veroorzaakt door wind, althans de golven die hier bedoeld worden. Scheepvaart veroorzaakt ook golven, maar die zijn slechts af en toe aanwezig en spelen bij golfverslag geen belangrijke rol. De wind veroorzaakt de golven door langs het water te strijken. Hoe groter de afstand waarover dit gebeurt, hoe groter de golven worden. Dit houdt dus in dat golfverslag alleen optreedt bij dijken met uitgestrekt water voor de dijk. In het kustgebied en het overgangsg gebied wordt een hoogwater veroorzaakt door wind. In deze gebieden zal dan ook altijd sprake zijn van golven als er een hoge waterstand is. In het bovenrivierengebied hoeft dit niet zo te zijn.

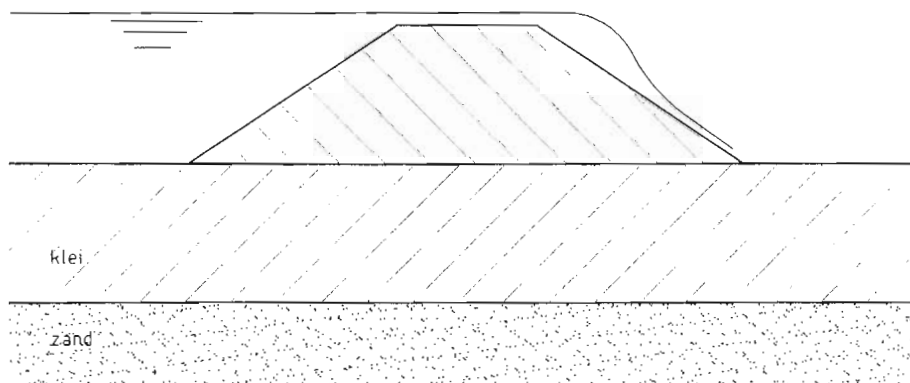


Figuur 5: Golfoverslag
Golven breken tegen het talud van de dijk en slaan op en over de dijk.

In de meeste gevallen zullen alleen golven tegen een dijk oplopen indien de wind van een buitendijkse richting komt. In sommige gevallen kan golfoverslag optreden bij een dijk die van de wind af ligt. Dit kan gebeuren als de golven voor de dijk bijdraaien en alsnog tegen de dijk aanlopen. Golfoverslag is in enige mate voorspelbaar, omdat de windsnelheid, de windrichting en de waterstand voorspeld kunnen worden.

6.2 Overloop

Bij een goed ontworpen dijk zal geen overloop optreden bij waterstanden lager dan de ontwerpwaterstand. Bij overloop zal de hoeveelheid water die over de kruin stroomt snel groter zijn dan bij golfoverslag.



Figuur 6: Overloop
De waterstand is hoger dan de kruin van de dijk. Het water loopt over de dijk heen. Evenals bij golfoverslag kan het binnentalud hierdoor weggespoeld worden.

6.3 Faalmechanismen

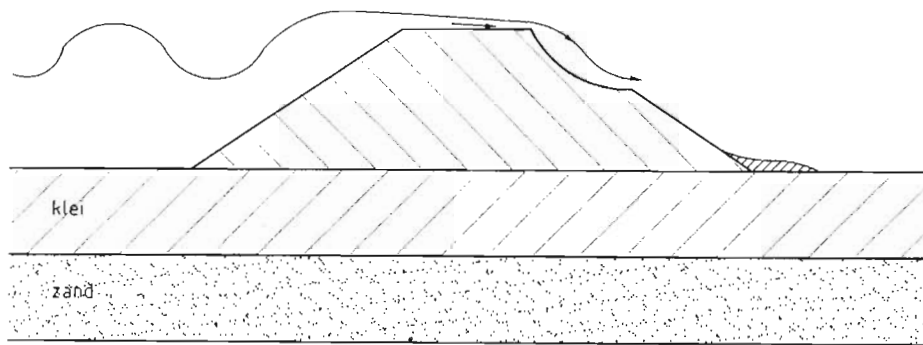
Door golfoverslag of overlopen kunnen twee verschillende faalmechanismen optreden:

- wegspoelen (**erosie**) van grond van het binnentalud;
- **verweking** van de grond.

Door **erosie van het binnentalud** kan het volgende faalmechanisme ontstaan:

begin

- a. Water stroomt over de kruin en het binnentalud
- b. Door erosie worden delen van de bovenste laag van de kruin en/of het binnentalud verwijderd, waardoor onderliggende lagen vrij komen (zie figuur 7). Het binnentalud wordt steiler en de eerste aanzet van een bres is gevormd.



Figuur 7: Erosie bij golfoverslag

Het water dat door golfoverslag over de dijk stroomt kan het binnentalud aantasten. De dijk wordt hierdoor smaller. Als de golfoverslag lang genoeg aanhoudt kan de dijk geheel wegspoelen.

De erosiebestendigheid van het binnentalud speelt hier een belangrijke rol. Met erosie wordt het wegspoelen van gras, grond of andere zaken bedoeld. De weerstand tegen wegspoeling hangt af van de samenhang van het materiaal. Zand is loskorrelig en heeft een lage weerstand tegen uitspoeling. Klei heeft een grotere weerstand. Door een goede grasmat wordt de weerstand vergroot omdat de wortels van het gras de grond bijelkaar houden. Daarnaast is de taludhelling van belang. Bij een steil talud is de snelheid van het water groter dan bij een flauw talud. Door de grotere stroomsnelheid treedt bij een steil talud eerder erosie op.

vervolg (reststerkte)

- c. De bres vreet zich van binnen naar buiten een weg door de dijk.
De snelheid waarmee dit proces plaatsvindt is met name afhankelijk van het materiaal waar de dijk uit is opgebouwd. Bij klei zal het in het algemeen langzamer gaan dan wanneer de dijk uit zand is opgebouwd.

falen

- d. Op gegeven moment is de bres geheel door de dijk heen. De bres is nog relatief smal.
- e. De breedte van de bres neemt toe waardoor steeds meer water door de bres gaat stromen.
- f. Ook de diepte van het gat groeit.



Door erosie van het binnentalud kan er een bres in de dijk ontstaan.

Door **verweking** kan het volgende faalmechanisme optreden:

begin

- a. Water stroomt over de kruin en infiltreert in het binnentalud met b als gevolg.
- b. De grond in de dijk wordt nat. Hierdoor neemt de sterkte van de grond af.

vervolg

- c. Doordat de sterkte is afgenomen glijdt een moot grond naar beneden, in het uiterste geval als een soort vloeibaar zand.
- d. Water blijft over de kruin stromen, waardoor steeds meer grond naar beneden glijdt en een bres gevormd wordt.

falen

- f. De bres is helemaal door de dijk heen. Het vervolg is hetzelfde als hierboven beschreven is.

Een belangrijk verschil tussen de twee faalmechanismen is dat door verweking direct grote stukken grond kunnen gaan schuiven. Bij erosie worden in eerste instantie kleine delen grond of alleen maar korrels weggespoeld.

Verweking zal alleen optreden als het water makkelijk de dijk in kan stromen. Als de dijk min of meer waterdicht is, zal het water over het talud naar beneden stromen. Er treedt dan geen verweking op.

Het bovenstaande beschrijft falen nadat de dijk bezwiken. Er kan ook falen optreden zonder dat de dijk bezwijkt, namelijk doordat zoveel water over de dijk stroomt of slaat, dat het achterliggende gebied overstroomd raakt terwijl de dijk zelf intact blijft.

6.4 Waarnemingen

Vaak kan aan de hand van de weersvoorspellingen en waterstandsvoorspellingen van te voren al een inschatting gemaakt worden of golfoverslag of overloop zal gaan optreden.

Tijdens inspecties dient dan op de volgende punten gelet te worden:

- Komt er water over de kruin van de dijk door golven?
- Wat is de voorspelling van de wind?
- Wat is de voorspelling van de waterstand?

Als er door golven water op de kruin terecht komt en de voorspellingen aangeven dat de windsnelheid toeneemt of de waterstand stijgt, dan kan golfoverslag verwacht worden. De voorspelling van de windrichting is eveneens van belang. Als de wind gaat draaien, dan kunnen vanzelfsprekend andere dijkvakken door golven bedreigd worden.

Om voorbedacht te zijn op overlopen, dient men ook te letten op de waterstand ten opzichte van de kruin van de dijk.

Als al golfoverslag of overloop optreedt dient bovendien het binnentalud geïnspecteerd te worden:

- Stroomt het water (grotendeels) over het talud naar beneden of:
- infiltreert een deel van het water of al het water in de dijk?
- Wordt er grond uitgespoeld van het binnentalud?
- Is er sprake van verweking?

Infiltratie is niet altijd eenvoudig te zien. Als er langdurig plassen op de kruin blijven staan, of plassen in kuiltjes op het binnentalud, dan is er weinig infiltratie. Plassen verdwijnen snel als het water infiltreert. Op een recht afgewerkt talud zullen echter zelden plassen blijven staan. In zo'n geval kan men bij de binnenteen kijken, of er water langs het talud stroomt. Als er geen water langs stroomt, terwijl er wel water over de kruin spoelt, dan zal het water in het binnentalud geïnfiltreerd zijn.

Om na te gaan of er verweking is, kan men op het talud of maaiveld bij de binnenteen gaan staan en voelen of de grond meegeeft.

Bij golfoverslag en zeker bij overlopen, is de dijk zelf al snel niet meer begaanbaar. Een enkele grote golf, zoals deze in het kustgebied voorkomen, kan een man van de dijk spoelen, of een auto tijdelijk onbestuurbaar maken. Bij een laagje water op de dijk van enkele centimeters is het al niet meer verstandig om over de dijk te rijden. De weg is niet meer zichtbaar waardoor men makkelijk van de dijk af kan rijden. Bovendien kan even verderop de dijk lager zijn, waardoor daar meer water over de kruin stroomt. Bij een laag water van een decimeter of meer kan een persoon zich moeilijk of niet staande houden.

Bij golven die over de dijk slaan, zeker in het kustgebied, of in situaties waar water op de dijk staat, moet daarom worden afgeraden om de dijk nog te betreden. In het overgangs- en kustgebied stormt het bovendien bij een hoogwater. Alleen al door de wind kan het moeilijk zijn om staande te blijven. De wind kan ook nog grote hoeveelheden water over de dijk blazen.

6.5 Beoordeling en maatregelen

Bij golfoverslag of overloop, of een verwachting daarvan op basis van de waterstands- en/of weersvoorspelling, dienen altijd maatregelen genomen te worden. Het faalmechanisme kan zeer snel verlopen en de dijk wordt onbegaanbaar door het water dat erover heen stroomt. Maatregelen zijn dan nauwelijks meer mogelijk.

Mogelijke maatregelen tegen golfoverslag zijn ophoging van de kruin en bescherming van het binnentalud.

6.5.1 Ophoging van de kruin

Na het aanbrengen van een ophoging mag er geen verkeer meer over de dijk rijden. Omdat het extra gewicht van de ophoging de dijk instabiel kan maken, moet per geval bekeken worden hoe de ophoging het best kan worden uitgevoerd. Bij de verbeterde dijken is rekening gehouden met een extra gewicht op de kruin in verband met verkeer. Het extra gewicht komt overeen met een laag van circa 0,75 meter zand. Dit houdt in dat bij een verhoging van de kruin van meer dan 0,75 meter de stabiliteit in gevaar kan komen. Bij smalle dijken zal dit eerder het geval zijn dan bij brede.



Bij een smalle dijk worden stobalen gebruikt om de kruin op te hogen.

Bij een smalle, steile dijk kunnen daarom bijvoorbeeld beter stobalen gebruikt worden. Bij een brede dijk kunnen meestal zwaardere materialen worden gebruikt. Er kan dan een noodkade worden gebouwd. Deze kan bestaan uit zandzakken, eventueel ingepakt met een folie. Bij een ophoging van meer dan 0,4 meter verdienen geobags de voorkeur. Dit zijn grote zakken, gevuld met grond. De ophoging moet zodanig geplaatst worden dat de doorgang vrijblijft. De ophoging moet echter ook weer niet direct tegen de buitenkruinlijn geplaatst worden, om afschuiven van het buitentalud te voorkomen.

6.5.2 Bescherming binnentalud

Als een verhoging van de kruin niet mogelijk is, kunnen maatregelen om het binnentalud te beschermen worden toegepast. Om erosie tegen te gaan wordt geotextiel of folie op het binnentalud aangebracht. Folie verdient de voorkeur, omdat hiermee voorkomen wordt dat het water het talud inloopt. Het geotextiel of folie wordt op de kruin en bij de binnenteen geballast om wegspoelen tegen te gaan en om te voorkomen dat er water onder het geotextiel door gaat stromen. Eventueel

kan het geotextiel of folie met krammen op de kruin worden vastgezet. Dit verdient niet de voorkeur, omdat het oppervlak hierdoor beschadigd raakt.

6.5.3 Maatregelen tegen overloop

Mogelijke maatregelen tegen overloop zijn in principe hetzelfde als hierboven genoemd bij golf-overslag. Lichte materialen zullen echter veelal de waterdruk niet kunnen weerstaan. Bij overloop moet meer aandacht besteed worden aan de waterdichtheid van de ophoging. Zandzakken moeten nu met een folie worden ingepakt, bij golfoverslag is dat niet noodzakelijk. Bij verhogen van de dijk met zware materialen, zoals zandzakken of containers, dient de stabiliteit eerst gecontroleerd te worden. Het is veelal verstandiger enige overloop toe te staan, dan de stabiliteit van de dijk in gevaar te brengen.

Versterking van het binnentalud, met geotextiel, of bijvoorbeeld zandzakken, is aan te bevelen. Hiermee kan voorkomen worden dat de dijk bezwijkt en een bres ontstaat.

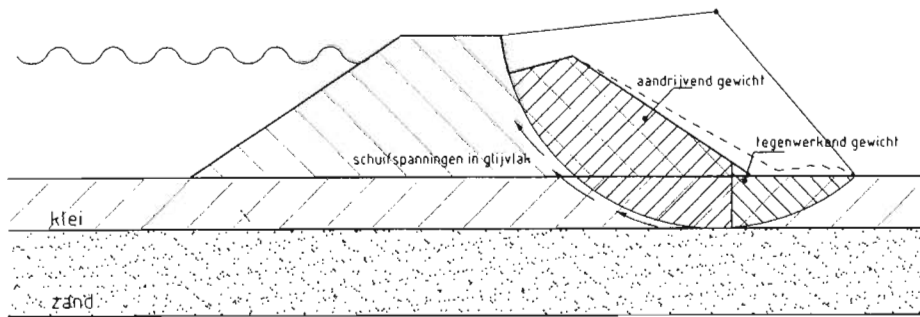
De prioriteit bij overloop ligt in het behouden van de dijk en pas in tweede instantie bij het tegengaan van de overloop. Indien een bres ontstaat, zal altijd veel meer en sneller water binnenstromen. Bovendien zal het herstel van de situatie langer duren.

Zodra de waterstand gaat dalen, moet de ophoging zo snel mogelijk verwijderd worden om afschuiven van het buitentalud te voorkomen.

7 Macrostabiliteit binnentalud

7.1 Afschuiving binnentalud

In een dijk is er een gebrek aan macrostabiliteit, meestal kortweg stabiliteit genoemd, als grote delen grond verschuiven (zie figuur 8). Onder normale omstandigheden zijn de krachten in de grond in evenwicht, en is er geen beweging. Het evenwicht kan echter verstoord worden. Veelal volgt een afschuiving een min of meer cirkelvormig glijvlak, waarbij het gedeelte boven het glijvlak verschuift ('roteert') ten opzichte van het middelpunt van de glijcirkel. Het gewicht van het deel links van het middelpunt is de aandrijvende kracht voor de afschuiving, terwijl het gewicht rechts als tegenwerkende kracht werkt. Langs het cirkelvormige afschuifvlak is in de grond wrijving aanwezig (schuifspanningen), die helpt het evenwicht te bewaren. Zolang de tegenwerkende kracht en de wrijving de werking van de aandrijvende kracht overtreffen, is het evenwicht verzekerd.



Figuur 8: Afschuiving van het binnentalud bij een dunne kleilaag
Een groot deel van de kruin zal bij een dergelijke afschuiving nog op hoogte blijven. De sterkte van de kleilaag en van de grond in de dijk neemt af doordat water de grond indringt. Hierdoor nemen de schuifspanningen langs het glijvlak af en kan de stabiliteit in gevaar komen.

Het evenwicht kan verstoord worden door:

- een toename van het aandrijvende gewicht;
- een afname van het tegenwerkende gewicht;
- een afname van de schuifspanningen in het glijvlak.

7.1.1 Toename van het aandrijvende gewicht

Het aandrijvende gewicht wordt groter doordat er water in de dijk komt. De grond wordt hierdoor nat en natte grond is zwaarder dan droge grond.

Het aanbrengen van extra gewicht op de kruin veroorzaakt eveneens een toename het aandrijvende gewicht. Hierbij kan gedacht worden aan een verhoging van de kruin met zandzakken, of (vracht)verkeer dat over de dijk rijdt.

7.1.2 Afname van het tegenwerkende gewicht

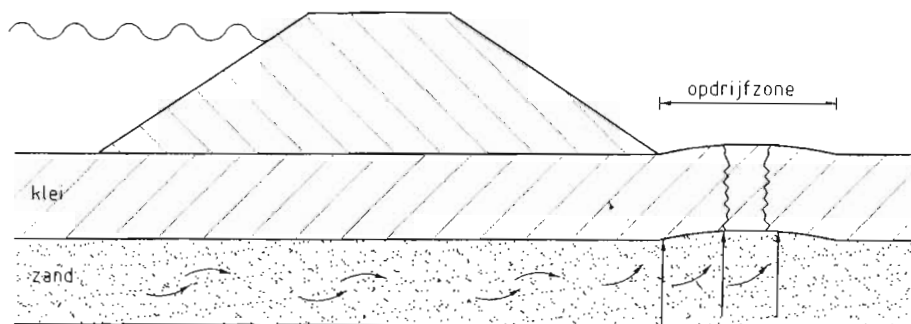
Dit kan veroorzaakt worden doordat gewicht wordt verwijderd, zoals door graafwerkzaamheden. Tijdens hoogwater zal dit natuurlijk niet gebeuren. In andere perioden kunnen graafwerkzaamheden worden uitgevoerd in verband met onderhoud aan kabels, leidingen, bebouwing en dergelijke.

7.1.3 Afname van de schuifspanningen

De schuifspanningen nemen af als er meer water in de grond komt. Tijdens een hoogwater komt er meer water in de dijk zelf, maar ook in de kleilaag achter de dijk. Doordat er meer water in de grond komt, neemt de sterkte van de grond af.

Er is van een speciaal geval sprake, als de kleilaag achter de dijk wordt opgedrukt (zie figuur 9). Bij opdrukken van de kleilaag drijft de laag klei min of meer op het water en is de sterkte van de grond zeer beperkt. In de praktijk zal niet de hele laag klei gaan drijven, omdat de kleilaag op één locatie opbarst. Water zal hierdoor vanuit de diepe zandlaag naar boven stromen.

De toe- of afname van gewicht gaat snel en werkt direct door in de stabiliteit. De afname van de schuifspanningen gaat echter langzaam. Dit komt omdat het enige tijd kost voordat het water in het dijklichaam of in de kleilaag doordringt. Dit kan een periode van dagen tot weken in beslag nemen. In sommige gevallen kan de stabiliteit zelfs nog afnemen, nadat de buitenwaterstand is gaan zakken, doordat de stroming van het water in de dijk zelf traag verloopt. In die gevallen duurt het tenminste enige dagen, na afname van de waterstand, voordat deze verlaging doorwerkt in de dijk en de stabiliteit weer toeneemt.



Figuur 9: Opbarsten van de kleilaag

Door de wateroverdruk in de diepe zandlaag kan de relatief waterdichte kleilaag achter de dijk omhoog gedrukt worden. De sterkte van de kleilaag neemt hierdoor aanzienlijk af.

7.2 Faalmechanisme

Het faalmechanisme kent de volgende stappen:

begin

- a. Vermindering van de stabiliteit door een of meerdere van de oorzaken die hierboven beschreven zijn.

vervolg

- b. Verlies van stabiliteit. Eerst ontstaan een scheur in de kruin en vervormingen in het binnentalud of in het maaiveld binnendijs. In dit stadium zijn maatregelen nog mogelijk.
- c. Daarna groeit de scheur en daalt het deel van de kruin dat binnendijs van de scheur zit. Er zijn nu grote delen grond aan het verschuiven, waardoor maatregelen moeilijk worden. Vaak zal een deel van het dijklichaam nog stand houden en is er sprake van bezwijken zonder falen.

- d. Als een deel van het dijklichaam nog in stand is gebleven, zal het binnentalud door uitstromend water geërodeerd kunnen worden, zie ook hoofdstuk 11 (Microstabiliteit), waardoor het resterende dijklichaam langzaam wordt aangetast. Dit proces is vergelijkbaar met de laatste stappen van het faalmechanisme overlopen/golfoverslag, zie ook hoofdstuk 6 (Golfoverslag en overlopen).



Als de dijk zijn stabiliteit verliest, kunnen grote delen van de grond gaan afschuiven. Vaak zal het dijklichaam nog wel stand houden en is er sprake van bezwijken zonder falen.

bezwijken en falen

- e. Uiteindelijk resteert een smal grondlichaam dat geheel door het water weggeduwd en meegevoerd wordt, waarna het water vrij door de dijk stroomt.
- f. Het is ook mogelijk dat door de afschuiving het grootste deel van de kruin weggezakt is. De effectieve kruinhoogte is dan verlaagd, waardoor overlopen of golfoverslag kunnen gaan optreden. Hierdoor kan het resterende dijklichaam snel eroderen.

7.3 Waarnemingen

De vermindering van de stabiliteit is zelden direct waar te nemen. Dit komt omdat het proces zich in de grond afspeelt en pas goed zichtbaar is aan het oppervlak van de dijk tijdens het afschuiven. Het tijdig waarnemen van een begin van afschuiven is daardoor erg belangrijk. Daarnaast zijn er enkele aanwijzingen die in de periode voorafgaand aan het afschuiven onderkend kunnen worden.

De belangrijkste punten tijdens inspecties zijn:

- Is er bij de teen van het talud sprake van verweking van de grond of staat er water op het maai-veld?

- Zijn er bij de teen vervormingen van de grond zichtbaar (bijvoorbeeld het dichtgedrukt worden van sloten)?
- Zijn er scheurtjes zichtbaar in de kruin?

Als het vermoeden bestaat dat een talud niet voldoende stabiel is, kan een vervorming soms zichtbaar gemaakt worden door een rechte streep of lijn op de kruin aan te brengen. Na verloop van tijd zal de lijn een bocht vertonen als het talud of de dijk wegschuift. Hiervoor kunnen ook de verkeersstrepen worden gebruikt die al op het wegdek zijn aangebracht, maar dan moet bekend zijn of die strepen wel recht waren voor het hoogwater.

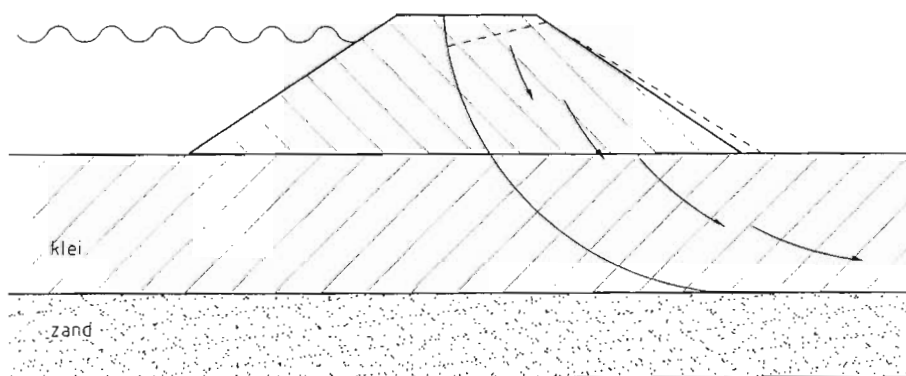
Voordat een afschuiving optreedt is vaak een aantal zaken waar te nemen:

- *Verweking van het binnentalud en de grond achter de dijk.*
Als de grond onderaan het binnentalud en op het maaiveld achter de dijk vochtig is, heeft het een deel van de sterkte verloren. Als de grond meegeeft als iemand erop staat of springt, is de sterkte nog maar minimaal.
- *Water op het maaiveld binnendijs* geeft vaak aan dat de kleilaag is opgebarsten. Overigens kunnen ook andere oorzaken bestaan voor water op het maaiveld (zie hoofdstukken Golfoverslag en overloop, en Kwel en *piping*).

De omvang van de afschuiving en de snelheid waarmee deze optreedt bij hoogwater, hangen sterk samen met de opbouw van de bodem waarop de dijk is aangelegd. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen gebieden met een dikke kleilaag en gebieden met een dunne of zelfs geen kleilaag.

7.3 1 Dikke kleilaag

Onder een dikke kleilaag wordt een laag met een dikte van tenminste enkele meters verstaan. Overigens is het gedrag van een dikke laag die naast klei ook veen bevat, of zelfs uitsluitend uit veen bestaat, vergelijkbaar met dat van een dikke kleilaag. Tijdens de hoogwaterperiode neemt de sterkte van de hele laag af. Hierdoor zal de glijcirkel vrij diep onder de grond lopen (zie figuur 10), met als gevolg dat een groot deel van het dijklichaam kan gaan schuiven.



Figuur 10: Afschuiving van het binnentalud bij een dikke kleilaag
Doordat de afschuiving diep in de grond zit, kan een groot deel van de kruin naar beneden zakken. De sterkte van de kleilaag binnendijs is sterk afgenomen en wordt daardoor weggeduwd.

De eerste symptomen hiervoor zijn:

- sloten binnendijks die langzaam worden dicht gedrukt;
- het ontstaan van scheurtjes in de kruin.

Ook andere vervormingen binnendijks, in het talud of op de kruin wijzen op verlies van stabiliteit. Het kan uren of zelfs dagen duren, voordat de grondmoot die is gaan schuiven weer een evenwicht heeft gevonden en de vervormingen dus afnemen. Het is daarom van belang dat de eerste symptomen opgemerkt worden, omdat het dan nog mogelijk is de vervorming met maatregelen te beperken. Door de mate van vervorming meerdere malen per dag te meten, kan de snelheid van de afschuiving bepaald worden. Het meten is bij een dijk met wegverharding vrij eenvoudig. Aan weerszijden van de scheur in de kruin wordt een merkpunt aangebracht, bijvoorbeeld een bout in het asfalt. Als er geen asfaltverharding aanwezig is, kan aan weerszijde van de scheur een stalen pen in de grond geduwd worden als merkteken. De afstand tussen de merkpunten wordt eenmaal per uur gemeten. Gelijktijdig met de scheurbreedte wordt de lengte van de scheur gemeten. Ook meting van de diepte van de scheur, bijvoorbeeld met een duimstok, kan in sommige gevallen zinvol zijn. Als de afmetingen van de scheur toenemen, is het duidelijk dat de grond nog in beweging is. Bij grote vervormingen zal ook een deel van de kruin dalen. Ook dit kan regelmatig gemeten worden. Voor het rivierengebied geldt nog speciaal dat men niet alleen tijdens het hoogwater bedacht moet zijn op instabiliteit, maar ook nog in een periode van enkele dagen na de hoogste waterstand. De verweking van de grond neemt enige tijd in beslag. Deze periode kan dagen tot weken zijn. Dit proces ijlt daarom na op de hoogwatergolf. De stabiliteit van het binnentalud kan dus nog afnemen, zelfs als het rivierwater al weer aan het dalen is.

7.3 2 Dunne kleilaag

In gebieden zonder kleilaag of met dunne kleilaag zal de afschuiving sneller verlopen. Een scheur in de kruin wordt snel gevolgd door daling van het binnendijkse deel van de kruin. De kleilaag speelt een minder grote rol in de stabiliteit en is bovendien sneller verzadigd met water. Een glijcirkel is kleiner dan in gebieden met een dikke kleilaag (zie figuur 7.1). Het is zelfs mogelijk dat alleen het binnentalud afschuift, terwijl de kruin nagenoeg geheel intact blijft. Ook in dit geval dient zo mogelijk eventuele scheurvorming gevolgd te worden.

7.4 Beoordeling en maatregelen

Als er verweking van de grond wordt geconstateerd, zijn nog niet direct maatregelen nodig, maar is extra alertheid wel geboden.

Als vervormingen van de grond, hetzij binnendijks, in het talud of van de kruin, worden waargenomen, is de stabiliteit niet meer voldoende gewaarborgd. Het eerste wat men moet doen, is de vervormingen zo goed mogelijk proberen te meten. In de kruin van de dijk met behulp van spijkers in het asfalt, in het achterland of het talud, eventueel met behulp van piketten. De metingen moeten ieder uur gedaan worden, totdat de vervormingen niet meer toenemen.

In de meeste gevallen zal het talud in een stabielere positie gaan liggen na een afschuiving. Met andere woorden: op een gegeven moment stopt de vervorming. Mede hierom is het van belang dat de snelheid van de vervormingen gemeten worden. Er kan dan worden nagegaan of er een nieuwe, stabielere positie is bereikt of bereikt gaat worden, of dat de vervorming nog doorgaat.

Bij twijfel over de stabiliteit van het binnentalud kunnen berekeningen nadere informatie verschaffen. Voor nauwkeurige berekeningen is inzicht in de afname van de sterkte van de kleilaag noodzakelijk. Dit kan met behulp van waterspanningsmeters worden verkregen. Deze waterspanningsmeters worden geplaatst op aanwijzing van een grondmechanicus. Na plaatsing moeten ze regelmatig worden afgelezen, bijvoorbeeld twee keer per dag.

Op sommige locaties zijn permanent peilbuizen aanwezig. De gemeten waterstanden in deze buizen geven eveneens zinvolle informatie voor de stabiliteitsberekening. Het is verstandig om peilbuizen regelmatig op te nemen, bijvoorbeeld dagelijks, ook als er geen problemen zijn. Het verloop van de waterstand in de peilbuizen gedurende een langere periode kan namelijk belangrijke aanvullende informatie geven.

Maatregelen die getroffen kunnen worden bij dreigend stabiliteitsverlies zijn:

- verkeersmaatregelen;
- aanbrengen van een steunberm.

7.4.1 Verkeer op de dijk

De eerste maatregel die men neemt bij twijfel over de stabiliteit, is het weren van vrachtverkeer. Als het vrachtverkeer niet geheel te vermijden is, bijvoorbeeld omdat noodmaatregelen genomen worden, dan is het verstandig om het zo ver mogelijk van de binnenkruinlijn te laten rijden, éénrichtingverkeer in te stellen en de asdrukken te beperken.

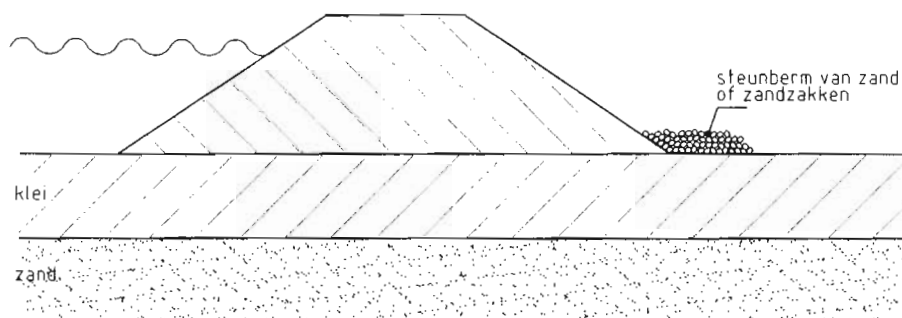
Als de waterstand gaat dalen, moet het verkeer juist zo ver mogelijk van de buitenkruinlijn blijven, om de stabiliteit van het buitentalud niet in gevaar te brengen.

Verder moet voorkomen worden dat de auto's bumper aan bumper rijden of gaan staan. Er moet altijd een ruime tussenafstand tussen de (vracht)auto's blijven.

7.4.2 Steunberm

Indien scheurvorming of andere vervormingen geconstateerd worden, die binnen een dag groter worden, dan zijn maatregelen nodig om de stabiliteit te verbeteren.

Verhoging van de stabiliteit kan praktisch alleen verkregen worden door het tegenwerkende gewicht te vergroten. Dit wordt bereikt door materiaal, meestal zand of zandzakken, op het maaiveld binnendijks te plaatsen (zie figuur 11). De afmetingen van een dergelijke steunberm zijn afhankelijk van de situatie. Gemiddeld zal een berm van 1 meter hoog en 5 meter breed voldoende steun geven. Als begonnen wordt met het aanbrengen van de berm moet een grondmechanicus worden ingeschakeld om de benodigde maatregelen meer in detail te berekenen.

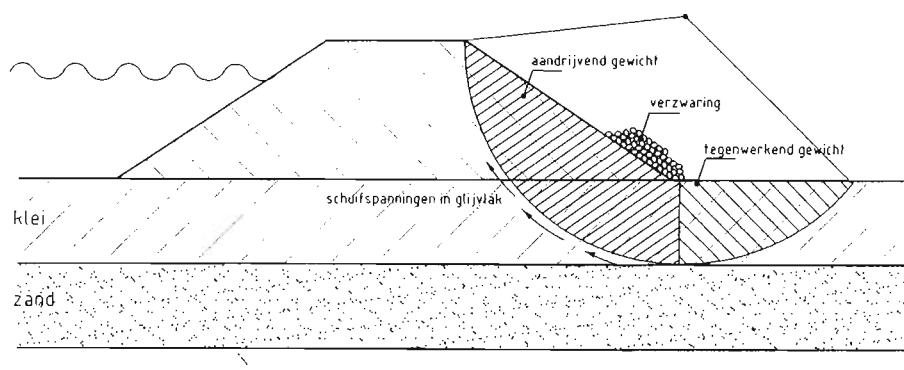


Figuur 11: Steunberm bij afschuivingsgevaar

Bij gevaar voor verlies van de stabiliteit van het binnentalud kan een steunberm aangelegd worden op het maaiveld, tegen de dijk aan.

Bij het aanbrengen van een berm zijn enkele waarschuwingen op zijn plaats:

- Bij een te grote en te snelle ophoging binnendijs kan de stabiliteit weer afnemen. Voordat grote ophogingen aangebracht worden, moet daarom altijd deskundig advies worden gevraagd.
- Het verzwaren van het binnentalud (zie figuur 12) is zelden een effectieve maatregel. Dit komt omdat hierdoor het aandrijvend gewicht van het glijvlak wordt vergroot, waardoor de stabiliteit afneemt.
- Het materiaal voor de steunberm dient bij voorkeur over het maaiveld binnendijs aangevoerd te worden, en niet over de kruin van de dijk. Bij transport over de kruin kan de stabiliteit van de dijk in gevaar komen en kan de kruin beschadigd raken.



Figuur 12: Verzwaring binnentalud

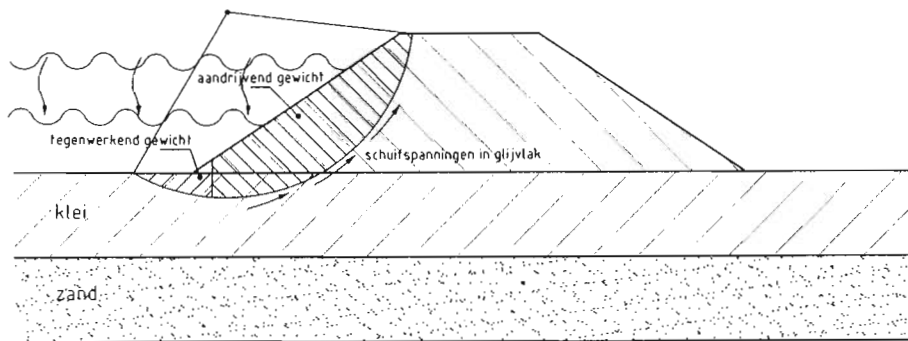
Verzwaring van het binnentalud is geen goede maatregel. De stabiliteit van het binnentalud kan hierdoor afnemen.

In verband met *piping* of kwel wordt soms de waterstand binnendijs verhoogd. Ook hierbij is een waarschuwing op zijn plaats. Verhogen van de waterstand binnendijs kan de stabiliteit verlagen. Pas als de waterstand meer dan één meter boven maaiveld komt, neemt de stabiliteit weer toe.

8 Macrostabiliteit buitentalud

8.1 Afschuiving buitentalud

Net als bij het binnentalud wordt het evenwicht van het buitentalud bepaald door het aandrijvende gewicht, het tegenwerkende gewicht en de schuifspanningen in het glijvlak (zie figuur 13). Het onderscheid is dat de kleilaag onder de dijk een minder grote rol speelt in de stabiliteit van het buitentalud.



Figuur 13: Afschuiving van het buitentalud

Door daling van de waterstand neemt de tegendruk van het water af. De grond in de dijk is nog nat en daardoor zwaarder dan voor het hoogwater. De stabiliteit wordt hierdoor minder.

In principe zijn er drie oorzaken waardoor het buitentalud instabiel kan worden:

- een snelle val van het rivierwater;
- ontgronding van het voorland nabij de dijk;
- erosie van het buitentalud.

8.1.1 Een snelle val van het rivierwater

De waterstand in de dijk heeft zich gedurende hoogwater aangepast aan de buitenwaterstand. Bij een snelle val van de buitenwaterstand kan de waterstand in de dijk zich vaak niet zo snel aanpassen aan deze val. Met name bij een kleidijk verloopt deze aanpassing langzaam. Doordat er nog water in de dijk aanwezig is, is de grond in de dijk zwaarder dan voor het hoogwater. Daardoor is het aandrijvende gewicht van het cirkelvormig afschuifvlak groter. De hoge buitenwaterstand die eerst als tegenwerkend gewicht fungeerde, is in deze situatie echter weggevalen.

8.1.2 Ontgronding van het voorland nabij de dijk

Tijdens hoogwater treden hoge stroomsnelheden op. Hierdoor kunnen ontgrondingen plaatsvinden waardoor een kuil kan ontstaan voor het talud. De tegendruk aan de buitenteen van de dijk verdwijnt hierdoor. Dit fenomeen kan met name bij schaar dijken optreden, in situaties waar een sterke stroming langs de dijk aanwezig is.

8.1.3 Erosie van het buitentalud

Door sterke erosie van het buitentalud, kan de helling steiler worden. Dit mechanisme wordt verder beschreven in het hoofdstuk Erosie van het buitentalud.

Afschuiving als gevolg van ontgronding en erosie van het buitentalud kunnen beide tijdens hoogwater optreden. Een afschuiving van het buitentalud is meestal vrij ondiep (zie figuur 8.1). Kenmerkend is dat de onderkant van het glijvlak meestal nabij de buitenteen ligt. De bovenkant van het glijvlak ligt veelal nabij de overgang van kruin naar het buitentalud.

8.1.4 Andere oorzaken

Behalve een afschuiving met een min of meer cirkelvormig glijvlak, als gevolg van de boven omschreven oorzaken, kunnen nog andere vervormingen aan de dijk optreden:

- Doordat water in de dijk komt gaat de grond opzwellen. De grond zuigt het water aan en neemt daardoor in volume toe. Dit leidt zelden tot een gevaarlijke situatie, maar er kunnen wel scheuren in de kruin van de dijk ontstaan tijdens hoogwater.
- De buitenste laag kan van het talud schuiven. Dit kan gebeuren als er ooit een laag grond tegen de dijk is aangebracht, die niet goed aansluit op het oude dijklichaam. Ook bij een taludverdediging van steen kan dit gebeuren. Op dit fenomeen, dat direct na hoogwater optreedt, wordt in hoofdstuk 10 (Bekleding Buitentalud) verder ingegaan.

8.2 Faalmechanisme

Het faalmechanisme kent de volgende stappen:

begin

- a. Vermindering van de stabiliteit, door een of meerdere van de oorzaken die hierboven beschreven zijn.

vervolg

- b. Verlies van stabiliteit, resulterend in een afschuiving. Eerst ontstaat een scheur in de kruin of bovenaan het buitentalud, meestal vrij snel daarna gevolgd door de daling van de grond buitendijks van de scheur. Vaak zal een deel van het dijklichaam nog stand houden.
- c. Als nog een deel van het dijklichaam overeind is gebleven, zal de bekleding op het buitentalud, de grasmat of een harde bekleding, verdwenen zijn. De erosiebestendigheid van het talud is daardoor sterk verminderd. Door sterke erosie kan het resterende deel van het dijklichaam verdwijnen. Het verdere verloop is beschreven in het hoofdstuk 10 (Bekleding Buitentalud). Bij een afschuiving die optreedt na val van het rivierwater, zal niet direct erosie optreden. Het gevaar in deze situatie treedt pas op als het rivierwater weer gaat stijgen.

bezwijken en falen

- e. Uiteindelijk resteert een smal grondlichaam dat geheel door het water weggeduwd en meegevoerd wordt, waarna het water vrij door de dijk stroomt.
- f. Het is ook mogelijk dat door de afschuiving het grootste deel van de kruin weggezakt is. De effectieve kruinhoogte is dan verlaagd, waardoor overlopen of golfoverslag kunnen gaan optreden. Hierdoor kan het resterende dijklichaam snel eroderen.

bezwijken zonder falen

- g. Als de afschuiving optreedt nadat de waterstand is gedaald, dan stroomt er geen water door de dijk. De dijk is wel bezweken maar faalt niet.

8.3 Waarnemingen

Evenals bij de stabiliteit van het binnentalud geldt hier dat er weinig te zien is, totdat het afschuiven optreedt. Dit wordt nog versterkt doordat het buitentalud en het voorland beide tijdens hoogwater aan het oog onttrokken zijn.

Tijdens de inspecties moeten de volgende punten de aandacht krijgen:

- Is er sprake van erosie van het buitentalud?
- Is scheurvorming in de kruin of op het buitentalud waarneembaar?

Erosie aan het buitentalud is in sommige gevallen nog wel te zien, met name boven de hoogwaterlijn. Voor instabiliteit van het talud is echter met name de erosie in de onderste helft van het talud van belang. Bij hoge waterstanden is dit niet of moeilijk waar te nemen.

Op locaties waar een sterke stroming langs de dijk voorkomt kan erosie van het voorland of de stroomgeul optreden. Tussen kribben kan een sterke retourstroom optreden, waardoor ontgronding plaatsvindt. Alertheid bij locaties met een sterke stroming is aan te bevelen.

Wel duidelijk waarneembaar is een snelle val van het rivierwater. Onder snel wordt verstaan een val van 2 à 3 meter of meer in een periode van circa zes dagen of minder. Bij een dergelijke val kan de stabiliteit in gevaar komen. De eerste symptomen die zichtbaar zijn, zijn vervormingen in de kruin van de dijk, veelal in de vorm van scheuren.

Door de mate van vervorming te meten, meerdere malen per dag, kan de snelheid van de afschuiving bepaald worden. Vaak zal de afschuiving opgegeven moment ophouden, omdat een stabielere positie is bereikt.

Het meten is bij een dijk met wegverharding vrij eenvoudig. Aan weerszijden van de scheur in de kruin wordt een merkpunt aangebracht, bijvoorbeeld een bout in het asfalt. Als er geen asfaltverharding aanwezig is, kan aan weerszijde van de scheur een stalen pen in de grond geduwd worden als merkteken. De afstand tussen de merkpunten wordt eenmaal per uur gemeten. Gelijktijdig met de scheurbreedte wordt de lengte van de scheur gemeten. Ook meting van de diepte van de scheur, bijvoorbeeld met een duimstok, kan in sommige gevallen zinvol zijn. Als de afmetingen van de scheur toenemen, is het duidelijk dat de grond nog in beweging is. Bij grote vervormingen zal ook een deel van de kruin dalen. Ook dit kan regelmatig gemeten worden.

8.4 Beoordeling en maatregelen

Instabiliteit van het buitentalud kan zowel tijdens als na hoogwater optreden. Het beoordelen van de oorzaak en het bepalen van maatregelen hangt sterk samen met het moment waarop de vervormingen optreden.

8.4.1 Tijdens hoogwater

Omdat beoordeling van de toestand van het buitentalud en het voorland in deze fase beperkt of niet mogelijk is, is het aan te bevelen om vervormingen en scheuren zo goed mogelijk te meten. Indien de scheurvorming in de verharding optreedt kunnen scheurbreedte en scheurlengte met behulp van spijkers in het asfalt worden gemeten. Buiten de verharding kunnen hiervoor piketten worden gebruikt. De metingen moeten ieder uur worden herhaald.

Als er tijdens hoogwater twijfel bestaat over de stabiliteit van het talud, doordat scheurvorming optreedt of anderszins, is de eerste maatregel die genomen kan worden het weren van verkeer op de dijk. Hierdoor wordt voorkomen dat het aandrijvende gewicht toeneemt.

Bij waarneembare sterke erosie van het buitentalud dienen maatregelen genomen te worden. Hier wordt in hoofdstuk 10 (Bekleding Buitentalud) verder op ingegaan.

Bij sterke stroming nabij de dijk zal extra aandacht aan erosie van het talud, het onderwatertalud of het voorland geschonken moeten worden. Dit geldt met name als bekend is dat er geen harde verdediging aanwezig is.

Bij scheurvorming nabij de buitenkruinlijn is het van belang om de oorzaak te achterhalen. Mogelijkheden zijn:

- zwellen van de grond doordat water opgenomen wordt;
- afschuiven van de bekleding;
- een diepe afschuiving doordat in het voorland of in de rivierbodem voor de dijk een gat is ontstaan door stroming;
- een diepe afschuiving van het binnentalud.

Bij het zwellen van de grond zijn er geen andere symptomen dan de scheur.

Afschuiven van de bekleding kan diverse oorzaken hebben. Nagegaan moet worden of de bekleding beschadigd is, of zou kunnen zijn. Als er een sterke stroming voor de dijk aanwezig is, kan het raadzaam zijn om peilingen te doen voor de dijk. Hiervoor moet een boot gebruikt worden. Als er een gat in de bodem geconstateerd wordt, dan is de enige effectieve maatregel het dichtmaken van het gat. Meestal kan dat echter niet tijdens het hoogwater. Als duidelijk is dat de bekleding intact is en er geen sterke stroming voor de dijk staat, dan blijven als oorzaken voor de scheur nog over het zwellen van de grond, of een diepe afschuiving van het binnentalud. In gebieden met een dikke kleilaag kan bij een afschuiving naar binnen toe de hele dijk zakken, waardoor zelfs bij het buitentalud een scheur kan ontstaan. Extra controle binnendijs is dan nodig.

8.4.2 Na hoogwater

Indien scheurvorming wordt geconstateerd na val van het rivierwater, is het van belang om, naast het meten van de optredende vervormingen, de waterstandsvoorspellingen te volgen. Directe maatregelen zijn alleen nodig bij een (voorspelde) stijgende waterstand als er een afschuiving is opgetreden en het buitentalud niet meer erosiebestendig is. De meest voor de hand liggende maatregel is het aanbrengen van geotextiel op het talud met voldoende ballast bij de teen en op de kruin om het geotextiel vast te houden.

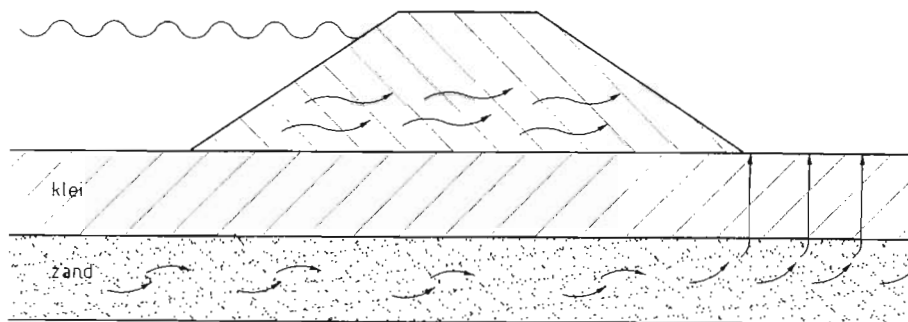
Indien geen stijging van de waterstand wordt verwacht kunnen tijdelijke maatregelen veelal achterwege blijven.

9 Kwel en piping

9.1 Kwel

Kwel is het verschijnsel waarbij water binnendijs uit de grond stroomt.

Dit verschijnsel ontstaat doordat water door de dijk stroomt, of zoals in de meeste gevallen, onder de dijk door stroomt. In de meeste gebieden in Nederland is onder de dijk een klei- of veenlaag aanwezig. Onder deze slecht waterdoorlatende laag is een goed doorlatende zandlaag aanwezig. De dikte van deze zandlaag varieert van enkele meters tot tientallen meters. De zandlaag staat meestal in verbinding met de rivier. Het water stroomt daardoor via de zandlaag onder de dijk door (zie figuur 14).



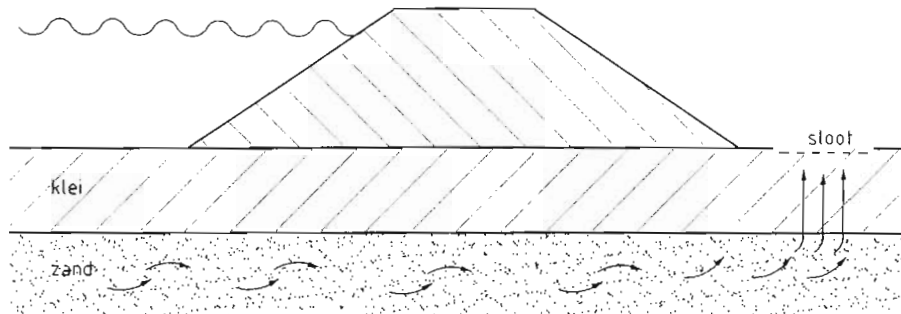
Figuur 14: Kwel

Bij hoogwater gaat er water door en onder de dijk door stromen. Bij een kleidijk gaat het water moeilijk door de dijk heen. Onder de dijk bevindt zich meestal een zandlaag, waar het water vrij makkelijk doorheen stroomt.

Binnendijs kan tijdens hoogwater de druk van het water in de zandlaag sterk toenemen. Deze druk werkt tegen de bovenliggende kleilaag aan. De kleilaag kan hierdoor omhoog komen of opbarsten. Als de kleilaag is opgebarsten, is er een breuk aanwezig, waardoor het water naar boven kan stromen (zie figuur 9). Het water kan ook naar boven komen zonder dat de kleilaag opbarst, als de kleilaag lokaal afwezig is of is ingesneden door een sloot (zie figuur 15). In dergelijke situaties stroomt het water zeer plaatselijk naar buiten, en is er sprake van wellen.

Kwel of welvorming hoeft op zich geen probleem te zijn voor de veiligheid. De hoeveelheid water die binnendijs terecht komt is beperkt en kan meestal worden afgevoerd of kan in de sloten en op het maaiveld blijven staan. Enige wateroverlast is er dan wel. Bij dijkverbeteringen worden zelden specifieke maatregelen genomen om kwel tegen te gaan.

Er kan wel een probleem ontstaan als zand wordt meegespoeld door het kwelwater. Er is sprake van een gebrek aan microstabiliteit als zand uit het binnentalud wordt meegespoeld. In hoofdstuk 11 (Microstabiliteit) wordt hier op ingegaan. Als in het achterland geconcentreerd zand wordt meegespoeld is er sprake van een zandmeevoerende wel. Bij zandmeevoerende wellen bestaat de mogelijkheid dat het verschijnsel *piping* optreedt.



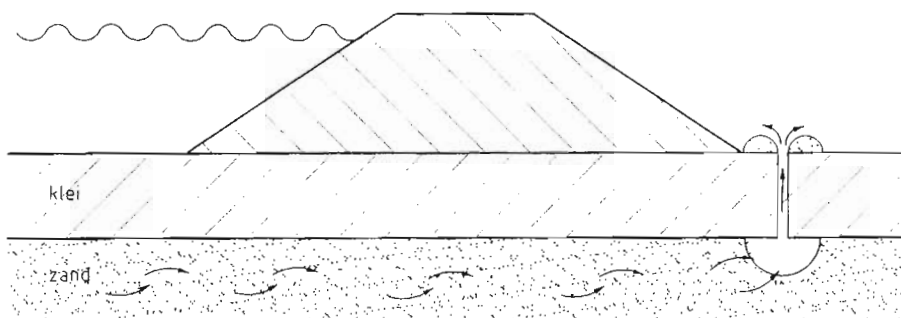
Figuur 15: Kwel in binnendijkse sloot

Het kwelwater zoekt de weg met de minste weerstand. In de binnendijkse sloot, of op een plaats waar de kleilaag dunner is, zal het kwelwater aan het oppervlak komen.

9.2 Piping

Zand wordt meegevoerd uit de zandlaag als de stroomsnelheid van het grondwater groot genoeg is. In het algemeen zal dit alleen zo zijn, als er een geconcentreerde uitstroom van water is, dat wil zeggen bij welvorming. In gebieden waar geen kleilagen voorkomen, zal het water gelijkmatig uit het oppervlak komen, zonder voldoende snelheid te krijgen om zand mee te nemen.

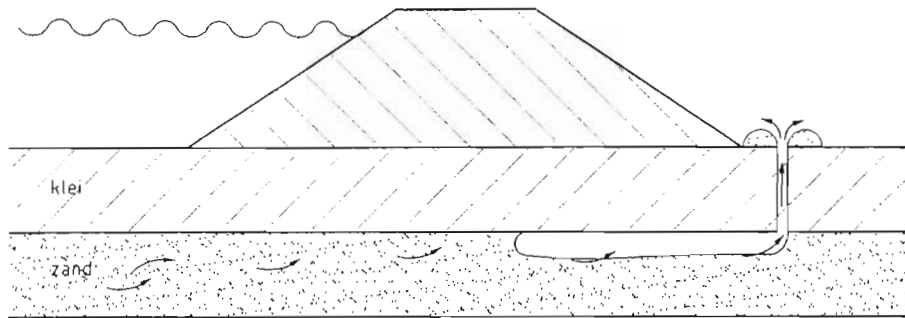
Waar sprake is van welvorming, kan een zandmeevoerende wel ontstaan (zie figuur 16). Doordat het zand uit de zandlaag verdwijnt, ontstaat een holle ruimte die begint ter plaatse van de wel. Meestal zal deze holle ruimte direct onder de kleilaag ontstaan, omdat de klei door zijn samenhang (cohesie) de holle ruimte blijft overbruggen. De holle ruimte groeit vervolgens, in de richting van de rivier in de vorm van een buis. Vandaar de term *piping* (van het Engelse woord '*pipe*', in het Nederlands 'pijp' of 'buis').



Figuur 16: Zandmeevoerende wel

Als het kwelwater op een plaats geconcentreerd aan het oppervlak komt ontstaat er een wel. De stroomsnelheid van het water in de wel is groter, dan op plaatsen waar het water gelijkmatig aan het oppervlak komt. Door de grotere stroomsnelheid kan zand meegespoeld worden. Er is dan een zandmeevoerende wel.

Op een gegeven moment zal de holle ruimte zijn uitgebreid tot onder de dijk en kan deze grote afmetingen hebben bereikt (zie figuur 17). De kleilaag, met daarop het gewicht van de dijk, kan dan de holle ruimte niet meer overspannen en zakt in de holle ruimte. De dijk zakt hierdoor ter plaatse ook in. De kruinhoogte wordt lager en de bekleding kan beschadigd raken. Door overlopen, golf-overslag of erosie kan vervolgens het resterende dijklichaam verdwijnen.



Figuur 17: *Piping*

Als er veel zand meegespoeld wordt uit een zandmeevoerende wel, dan ontstaan een holle ruimte onder de dijk. Dit wordt *piping* genoemd

Het zand dat uit een zandmeevoerende wel komt, wordt direct naast de wel afgezet. Er ontstaat een kleine 'zandkade' of krater rond de wel, waardoor de waterstand in de wel mee stijgt met de hoogte van de zandkade. De hoeveelheid water en zand die uit de wel omhoogkomen, kunnen hierdoor afnemen. Wanneer de zandkade echter doorbreekt en de waterstand in de wel zakt, zal de wel weer met hernieuwde kracht gaan stromen.

9.3 Faalmechanisme

Het faalmechanisme heeft puntsgewijs de volgende stappen:

begin

- a. Kwel en welvorming binnendijks.
- b. Vorming van zandmeevoerende wellen op het maaiveld of in sloten.

vervolg

- c. Vergroting van holle ruimtes onder de dijk, piping.

falen

- d. Instorten van holle ruimtes onder de dijk, inzakken van de dijk.
- e. Wegspoelen van het resterende deel van de dijk door overlopen, golfoverslag of erosie.

9.4 Waarnemingen

Kwel en daaropvolgend het ontstaan van zandmeevoerende wellen als aanzet tot het ontstaan van *piping* zijn in het algemeen redelijk tijdig waarneembaar in het achterland van de dijk.

De waarnemingen tijdens de dijkinspectie moet zich richten op de volgende punten:

- Ontstaan er in het achterland natte plekken op het maaiveld?
- Zijn er wellen op het maaiveld en in sloten zichtbaar?
- Indien er wellen zijn, wordt er door het uitstromende water zand meegevoerd?
- Indien er sprake is van zandmeevoerende wellen, hoeveel zand komt er uit de wel en verandert deze hoeveelheid in de loop van de tijd?

Kwel is waarneembaar doordat natte plekken ontstaan in het achterland, doordat de waterstand in sloten stijgt en door verhoogde afvoer vanuit sloten. Welvorming op het maaiveld is ook makkelijk waar te nemen. Er borrelt dan water op, op één of enkele locaties. Welvorming in sloten is niet altijd eenvoudig te zien. Soms kan aan het wateroppervlak stroming als gevolg van opkwellend water te zien zijn.

Zandmeevoerende wellen op het maaiveld zijn duidelijk te herkennen doordat rond de wel het meegevoerde zand achterblijft. Een zandmeevoerende wel in een sloot is vaak pas te zien als het achterblijvende zand al zover is opgehoopt, dat het boven water uit gaat steken. Als er zandmeevoerende wellen geconstateerd zijn, is het van belang om in te schatten of de hoeveelheid zand die uit de wel komt toeneemt, afneemt of gelijk blijft.

Wellen zullen vaak op dezelfde plaats verschijnen bij ieder optredend hoogwater. Deze plaatsen verdienen dan ook extra aandacht. Bij hoogwaters die hoger zijn dan wat in het verleden al is voorgekomen kunnen echter ook op andere plaatsen wellen ontstaan. Dit geldt ook na een dijkverbetering. Als er bij een dijkverbetering een binnenberm is aangebracht, of een binnendijkse maaiveldophoging, dan zullen vaak verder landinwaarts nieuwe wellen ontstaan.

9.5 Beoordeling en maatregelen

Is er uitsluitend sprake van kwel of welvorming dan is er geen reden voor speciale aandacht. Bij zandmeevoerende wellen is waakzaamheid geboden. Als binnen één of enkele uren de hoeveelheid zand die meegevoerd wordt sterk toeneemt, dan zijn maatregelen nodig. Als de hoeveelheid zand blijft toenemen, ook op langere termijn, dan zijn maatregelen eveneens aan te bevelen.

De maatregelen kunnen bestaan uit:

- Afdekken van de wel met geotextiel. Het geotextiel wordt geballast met zandzakken. Deze methode is effectief als er meerdere wellen zijn, op korte afstand van elkaar. Het geotextiel moet voldoende waterdoorlatend zijn en het moet het zand tegenhouden. Na aanleg moet gecontroleerd worden of er zand onder het geotextiel vandaan komt.
- Het opkisten van de wel. De wel wordt afgedekt met een geotextiel, dat goed waterdoorlatend is. Daarna wordt er direct om de wel een kleine kade gebouwd. De kade kan worden opgebouwd uit zandzakken. De binnenkant van de kade wordt bekleed met een folie. Na de aanleg van de kade dient nog gecontroleerd te worden of er nog zand buiten de opkisting gespoeld wordt. De opkisting moet niet zo hoog worden gemaakt dat de hoeveelheid water die uit de wel komt aanzienlijk afneemt. In dat geval kan namelijk ergens anders een nieuwe wel gaan ontstaan.
- Verhogen van het waterpeil in sloten en zo nodig op het maaiveld. Een nadeel hiervan is dat de wel niet meer goed zichtbaar is. Deze maatregel is niet altijd effectief. Intensieve controle van de wellen blijft hierbij dan ook noodzakelijk. Door het verhogen van het waterpeil neemt de stabiliteit af. Controle van de stabiliteit is daarom nodig.
- Het aanleggen van een kwelkade. Dit is een kade rond het gebied waar wellen voorkomen. De kade sluit aan op de dijk. Nadat de kwelkade is aangelegd, wordt de waterstand binnen de ka-

- de verhoogd. Deze maatregel is vrij rigoureuus. Op sommige locaties is echter al een kwelkade aanwezig. Het is dan eenvoudig om de waterstand binnen de kade te verhogen. Intensieve controle op wellen blijft noodzakelijk, niet alleen in het gebied binnen de kade, maar ook erbuiten.
- Het aanleggen van een *piping*berm. Dit wordt gedaan als er meerdere wellen vrij kort bij elkaar aanwezig zijn. Een *piping*berm sluit aan op het binnentalud. Na aanleg moet in de omgeving van de berm extra gecontroleerd worden om na te gaan of er nieuwe wellen ontstaan.

Het geheel afdekken van de wel, zodanig dat de kwelstroom beperkt wordt of geheel wordt afgesloten, is niet aan te bevelen. Meestal zal dan een nieuwe wel ontstaan op een andere locatie.

10 Bekleding buitentalud

10.1 Beschadiging bekleding

De bekleding van de dijk op het buitentalud beschermt de dijk tegen erosie door stroming of golven. Door diverse oorzaken kan de bekleding beschadigd raken, waardoor de bescherming onvoldoende wordt. De oorzaken hangen samen met het type bekleding op het buitentalud. De meest voorkomende typen van bekleding zijn:

- een grasmatt op een kleilaag met een dikte in de orde van minimaal 1 meter;
- een harde bekleding, zoals betonblokken, op een kleilaag;
- een harde bekleding op een granulair filter (bijv. grof zand, grind, gebroken puin);
- asfalt.

10.1.1 Beschadiging tijdens hoogwater

Bij een grasmatt kan beschadiging ontstaan door:

- grof drijfvuil, bijvoorbeeld boomstammen, grote takken, losgeslagen bootjes etc.;
- dierlijke activiteiten (mollen, konijnen, dassen), waarbij vóór het hoogwater gaten en holen in de grasmatt zijn ontstaan;
- erosie door golven en stroming, al dan niet nadat beschadiging door drijfvuil, dierlijke activiteiten of andere oorzaken is ontstaan.



Tijdens hoogwater kan de grasmatt geschadigd worden door golven en stroming of door drijfvuil.

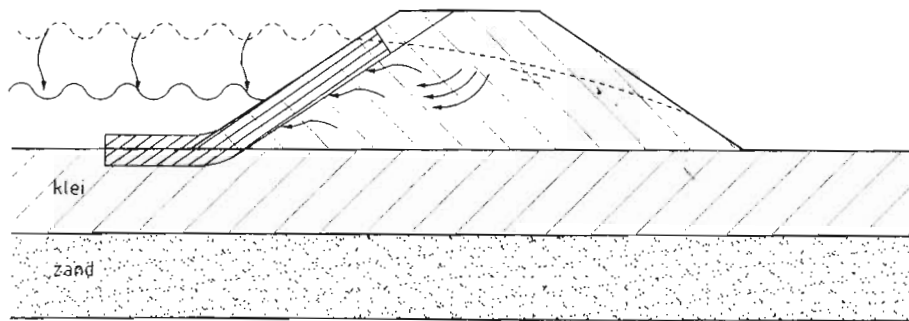
De erosiebestendigheid van een grasmat op klei wordt bepaald door zowel de kleikwaliteit als de kwaliteit van de grasmat. Naarmate de grasmat dichter en beter doorworteld is, zal de erosiegevoeligheid kleiner zijn.

Bij een harde bekleding zal een begin van beschadiging meestal ontstaan door golven. Slechts in sommige gevallen kan door stroming beschadiging ontstaan.

Bovenstaande oorzaken voor beschadiging komen van buitenaf, direct van het water. Een andere oorzaak kan van binnenuit komen. Bij een verbetering van de dijk wordt vaak een laag klei op de dijk aangebracht. Als deze laag niet goed aansluit op de oude dijk, kan de laag bij een stijging van de waterstand loskomen. In het ergste geval glijdt de nieuwe laag naar beneden. Als de dijkverbetering goed is uitgevoerd, zal dit niet gebeuren, maar er wordt niet altijd voldoende zorgvuldig gewerkt.

10.1.2. Beschadiging tijdens daling waterstand

Ook na hoogwater kunnen beschadigingen aan het buitentalud optreden. Na hoogwater en een snelle val van de waterstand, kan bij dijkconstructies waarbij de kern van de dijk uit zand bestaat, met een bekleding die slecht waterdoorlatend is, de bekleding van het buitentalud worden gedrukt (zie figuur 18).



Figuur 18: Afschuiving bekleding buitentalud

Bij daling van de waterstand wil het water uit het dijklichaam gaan stromen. Het duwt hierbij tegen de bekleding op het buitentalud. In het ergste geval kan de bekleding opgelicht worden en naar beneden schuiven.

Dit komt omdat het water in de dijk de tegendruk van het hoogwater niet meer ondervindt en daardoor uit de dijk wil stromen. Bij een dichte bekleding is stroming door de bekleding niet mogelijk. In dat geval kan het water in de dijk de bekleding van het talud afdrukken.

Dit fenomeen kan alleen optreden bij dichte of in ieder geval slecht waterdoorlatende bekledingen. Een slecht waterdoorlatende bekleding is een asfaltbekleding, maar ook een grasmat op een kleilaag. Een bekleding die uit blokken bestaat, is in principe waterdoorlatend, omdat het water tussen de blokken door kan uitstromen. In de loop der tijd kan het lage gedeelte van een blokkenbekleding echter minder goed doorlatend worden. Dit komt doordat de ruimten tussen de blokken, waar regelmatig water tegen aan staat, is dichtgeslibd (zie figuur 9.2). Kenmerkend voor beschadiging door afdrukken van de bekleding is dat dit uitsluitend na daling van de waterstand buitendijks kan optreden.

10.2 Faalmechanisme

Het faalmechanisme kent puntsgewijs de volgende stappen:

begin

- a. Beschadiging van de bekleding door een van de genoemde oorzaken, waardoor een klein of groter gat ontstaat.
- b. Vergroting van het gat door de invloed van golven en/of stroming.

vervolg

- c. Volledige verdwijning van de bekleding, inclusief aantasting van de onderliggende steunlaag (klei/filtermateriaal), over een groter oppervlak, waardoor de kern van de dijk vrijkomt.
- d. Aantasting van de kern van de dijk door golven, stroming, mogelijk versterkt doordat plaatselijk kleine afschuivingen optreden.
- e. Verlaging van de kruin van de dijk door het wegspoelen van materiaal en het afschuiven van het talud boven de beschadiging.

falen

- f. Volledig wegspoelen van het resterende deel van het dijklichaam.

De aantasting en erosie van de kern van het dijklichaam zal relatief snel gaan als de kern uit zand is opgebouwd. Klei daarentegen heeft een veel betere weerstand tegen erosie dan zand, waardoor een beschadiging van het buitentalud bij een kleidijk tot minder grote aantasting en erosie van de dijk leidt.

Als de eerste beschadiging optreedt ná het hoge water, dan zullen de vervolgstappen vanzelfsprekend niet optreden. Er is dan alleen schade aan het buitentalud. Het is echter goed mogelijk dat een tweede hoogwatergolf optreedt, vrij kort na de eerste hoogwatergolf waarbij de beschadiging is ontstaan. In dat geval kan het vervolg van het faalmechanisme alsnog plaatsvinden.

10.3 Waarnemingen

Het meest kwetsbare gedeelte voor het begin van beschadiging van de bekleding ligt rond de waterlijn, in de zone waar de golven tegen het talud slaan. Gedurende een stijging van de waterstand verdwijnt eventuele schade, ontstaan tijdens de stijging van de waterstand, onder water. Schade aan het talud is in deze periode daarom vaak moeilijk te zien.

Als het water vervolgens langdurig op een min of meer constant peil blijft, zal de meeste schade door golven en stroming ontstaan. In deze fase van hoogwater moet het buitentalud goed worden geïnspecteerd. De inspectie moet met name worden toegespitst op trajecten met golfaanval of met een sterke stroming langs de dijk.

Tijdens de inspecties moet op de volgende punten worden gelet:

- Licht er voor de dijk drijfafval dat het buitentalud kan beschadigen?
- Is er schade aan de bekleding van het buitentalud?
- Is er bij schade aan het talud ook sprake van aantasting van het materiaal onder de bekleding?

Schade zal meestal het eerst ontstaan op plaatsen met onderbrekingen in de bekleding van het buitentalud. Dit is bijvoorbeeld het geval bij afritten, op plaatsen waar palen of andere objecten in het talud staan of bij de overgang van gras naar stenen. Ook plaatsen waar een grasmat minder goed

onderhouden kan worden zijn sneller onderhevig aan erosie. Te denken valt aan de 'oksels' van afritten en andere scherpe knikken in het talud.

Als er een gat gesignaleerd is, is het nuttig om na te gaan of er zand of klei onder de bekleding vandaan komt. Klei heeft een veel betere weerstand tegen erosie dan zand. Zand daarentegen spoelt vrij eenvoudig uit, wat al bij een geringe waterbeweging gebeurt.

Hoewel de schade zelf vaak moeilijk is te constateren, zijn de oorzaken vaak goed waar te nemen. Zoals hierboven al vermeld is, zijn golven en stroming een belangrijke oorzaak van schade. Daarnaast is, met name bij rivierdijken, ook drijfvuil een bron van schade. Stukken hout kunnen schade aan een grasmat veroorzaken, doordat het hout tegen het talud aan schuurt. Dit zal vooral gebeuren op locaties die in de stroomluwte liggen. Het drijfvuil verzamelt zich hier en blijft gedurende langere tijd tegen het talud liggen.

In ernstige gevallen kan ook vervolgschade zichtbaar worden. Dat is het geval als het talud onder water flink beschadigd is geraakt, waardoor een gat in het talud is ontstaan. Het deel van het talud boven het gat kan dan naar beneden schuiven.

Ná hoogwater dient de inspectie van het buitentalud te worden voortgezet, met name bij een snelle val van de buitenwaterstand. Beschadigingen als gevolg van het opdrukken van de bekleding treden juist in deze fase op.

10.4 Beoordeling en maatregelen

Beschadiging van het buitentalud kan zowel tijdens als na hoogwater optreden. Oorzaak, gevolg en daardoor de te treffen maatregelen zijn voor beide fasen verschillend.

10.4.1 Tijdens hoogwater

Een preventieve maatregel die tijdens hoogwater genomen wordt, is het verwijderen van drijfvuil. Stukken hout, maar ook ander drijfvuil, bijvoorbeeld afkomstig van bebouwing in de uiterwaarden, komen vaak voor.

Vanzelfsprekend moet voorkomen worden dat het talud beschadigd wordt bij het weghalen van het vuil. Als dit met een (hydraulische) machine gebeurt, dan dient de machine zo ver mogelijk van de buitenkruinlijn te blijven. Als de machine op de buitenkruinlijn gaat staan, zou een kleine afschuiving van het buitentalud kunnen optreden.

Als er alleen kleine beschadigingen in een grasmat worden waargenomen dan zijn meestal geen maatregelen nodig. Wel is het dan noodzakelijk dat via regelmatige inspectie wordt gecontroleerd of de beschadiging groter wordt. Bij grote beschadigingen, waarbij de grasmat over een oppervlak van bijvoorbeeld een vierkante meter of meer is verwijderd, is het aan te bevelen een bescherming op het talud aan te brengen. Zeker als de omvang van de beschadiging blijft toenemen is het aanbrengen van een bescherming gewenst. Een bescherming kan bestaan uit geotextiel of folie waarmee de beschadiging wordt afgedekt. De afdekking moet in ieder geval langs de randen van het doek te worden geballast. Het doek dient zo strak mogelijk tegen het talud te worden gelegd om te voorkomen dat het talud verder erodeert door stroming onder het doek of waterbeweging onder het doek ten gevolge van golven.

Bij beschadigingen van een harde bekleding geldt in principe hetzelfde als bij beschadiging van een grasmat. Als één of enkele blokken verdwenen zijn, zijn niet altijd direct maatregelen nodig. Alleen als het filtermateriaal onder de blokken verdwijnt of de bekleding over een groter oppervlak is verdwenen, is bescherming van het talud noodzakelijk.



Afdekking met geotextiel of folie moet aan de randen worden geballast.

Diepe gaten in de bekleding kunnen worden aangevuld met zandzakken. Regelmatige inspectie is ook daarna nodig, om te controleren of het gat toch niet verder groeit. Mocht de beschadiging wel groter worden dan dient alsnog een bescherming met geballast folie of geotextiel te worden aangebracht.

10.4.2 Na hoogwater

Als beschadiging van het buitentalud optreedt na of tijdens de val van de buitenwaterstand, is het direct treffen van maatregelen in het algemeen niet nodig. Wel dienen de waterstandsvoorspellingen gevolgd te worden omdat herstel van het talud vóór een volgende hoogwaterperiode moet zijn verricht.

11 Microstabiliteit

11.1 Erosie van de binnenteen

Omdat het waterpeil tegen het buitentalud van de dijk hoger is dan het binnendijkse waterpeil, stroomt er tijdens hoogwater water door en onder het dijklichaam door. Het water stroomt onderaan het binnentalud uit de dijk.

Door het uitstromende water kan erosie van de toplaag van het talud optreden. Grond kan worden meegevoerd en vervolgens kan door het stromende water zand vanuit de dijk worden meegenomen. Indien dit laatste verschijnsel zich voordoet is er sprake van interne erosie van de dijk. Hierbij wordt het evenwicht van een gedeelte van het binnentalud bij de teen (de microstabiliteit) op lokale schaal verstoord. Dit verschijnsel treedt vooral op bij dijken die overwegend uit zand bestaan met relatief steile taluds.

De aanzet tot beschadiging van de dijk kan op twee manieren ontstaan:

- Het water stroomt boven de teen het talud uit en neemt gronddeeltjes uit de dijk mee. Het water stroomt langs het talud naar beneden. Onderaan het talud blijft het zand dat is meegespoeld liggen.
- Het water kan niet door de slecht doorlatende afdekkende laag en blijft in de dijk. De waterstand in de dijk neemt toe en het water gaat aan de binnenkant tegen de afdekkende laag drukken. Hierbij ontstaan scheuren waar het water door kan afstromen. Door deze stroming worden de scheuren breder.

In beide gevallen gaat aan het proces van interne erosie ('zandtransport') een beschadiging van de afdekkende kleilaag vooraf.

In sommige gevallen heeft men bij het ontwerp van de dijk rekening gehouden met het uittreden van water uit het binnentalud. Daarbij is de dikte van de afdekkende kleilaag bij de teen of op de aangrenzende berm kleiner dan op het overige gedeelte van het binnentalud. De bedoeling van deze maatregel is om beschadiging van de deklaag door het uitstromende water te beperken tot een gebied waar dit niet leidt tot interne erosie. In een dergelijk geval kan het treffen van maatregelen overbodig zijn, omdat de opgetreden beschadiging onderdeel uitmaakt van het ontwerp van de dijk.

Watergangen (kolken, grachten) direct achter de dijk zijn speciale plekken waar interne erosie kan optreden. Het onderwatertalud van deze binnendijkse verdiepingen is, als dit dicht bij de teen van de dijk ligt, in feite een verlenging van het binnendijkse talud onder water. Uitstroming van het water dat door de dijk stroomt kan, bijvoorbeeld door de afwezigheid van een afdekkende laag op het talud, hier makkelijker plaats vinden dan op het talud boven de waterlijn.

11.2 Faalmechanisme

Het faalmechanisme kent de volgende stappen:

begin

- a. Water stroomt of sijpelt uit het binnentalud.
- b. Het water neemt zand mee uit de dijk of door erosie worden delen van de deklaag bij de teen van het talud verwijderd, waardoor onderliggende lagen vrij komen.

De erosiebestendigheid van het binnentalud, met name bij de teen, speelt hierbij een belangrijke rol. De mate van erosie hangt sterk af van de samenhang van de grond en de grasmat.

vervolg

- c. Water kan bij de geërodeerde plekken vanuit de onderliggende lagen stromen en hierbij materiaal vanuit deze lagen meevoeren, waardoor de beschadiging dieper wordt.
- d. Boven de beschadiging vinden kleine afschuivingen plaats.
- e. Het dijklichaam wordt smaller door het uitspoelen aan de teen en het afschuiven boven het gat.

De snelheid waarmee de gebeurtenissen in de vervolgfase plaatsvinden is afhankelijk van de opbouw van het dijklichaam en de taludhelling van het binnentalud.

falen

- f. Uiteindelijk resteert een smal grondlichaam dat geheel door het water weggeduwd en meegevoerd wordt, waarna het water vrij door de dijk stroomt.

11.3 Waarnemingen

Verlies van de microstabiliteit doet zich altijd voor in de omgeving van de teen van het binnentalud. Inspectie van dit gebied kan daardoor uitsluitsel geven of dit probleem zich voordoet.

Tijdens inspecties moet op de volgende punten worden gelet:

- Is het binnentalud vochtig bij de teen?
- Stroomt er water over het onderste gedeelte van het talud naar beneden, of:
- is er welvorming bij de teen waarneembaar?
- Als er water over of uit het talud stroomt, wordt hierbij dan zand meegevoerd?

Natte plekken op het binnentalud zijn als zodanig geen probleem voor de veiligheid van de dijk. Water op het binnentalud kan bovendien door andere oorzaken zijn veroorzaakt (overslag, regen). Voor de microstabiliteit is vooral de uitstroming van water in de omgeving van de teen van de dijk van belang.

Zeer geconcentreerde uitstroming door welvorming bij de teen is gemakkelijk waar te nemen. Hierbij borrelt er water op uit één of meer verstoringen in de deklaag. Een gelijkmatige uitstroming is vaak moeilijker te zien, zeker als dit nog niet gepaard gaat met transport van zand. Ligt er direct achter de binnenteen een sloot of een andere waterpartij, dan kan de uitstroming ook in het talud onder het water optreden. In die situaties is het waarnemen van dit fenomeen vaak moeilijker. In sommige gevallen is er aan het wateroppervlak stroming te zien als gevolg van het water dat uit het onderwartertalud stroomt.

Bij de teen van de dijk is het meevoeren van zand veelal duidelijk te herkennen, doordat het zand bij de teen blijft liggen. Als het zand via wellen wordt getransporteerd, is een kratervormige afzetting rond de wel waarneembaar.

Moeilijker is het om te constateren of met de waterstroming uit de dijk zand wordt meegevoerd als dit onder de waterlijn plaatsvindt. Deze situatie kan ontstaan in binnendijkse waterpartijen (kolken, grachten).

Zichtbaar is dit meestal pas als er zoveel zand is getransporteerd dat er een ophoping ontstaat die tot de waterlijn reikt. Een vertroebeling van het water kan aangeven dat er materiaal uit de dijk wordt meegespoeld.

11.4 Beoordeling en maatregelen

Het stromen van water uit het binnentalud leidt op zichzelf niet tot falen van de dijk. Om stabiliteitsverlies op lokale schaal te veroorzaken is zandtransport uit het dijklichaam nodig. Omdat een gering transport van zand echter al aanleiding kan geven tot plaatselijke afschuivingen bij de teen van het talud, is het raadzaam om al bij het vaststellen van uitstromend water maatregelen te treffen.

De maatregelen die getroffen kunnen worden zijn afhankelijk van de aard van de uitstroming van het water uit het talud:

- Wanneer sprake is van een uitstroming van water over een groot gedeelte van het binnentalud, is het raadzaam de stroming van water door de dijk te beperken. Hiertoe kan op het buitentalud een (waterdicht) folie worden aangebracht. Dit folie moet met zandzakken worden geballast.
- Indien er sprake is van lokale uitstroming van water uit het talud kunnen de plekken waar dit gebeurt met (waterdoorlatend) geotextiel worden afgedekt. Dit geotextiel moet met zandzakken wordt geballast. Het doel van deze maatregel is niet om de uitstroming van water te beperken, maar om te voorkomen dat met deze stroming zand met deze stroming vanuit de dijk wordt getransporteerd.
- Als er al sprake is van zandtransport, moeten de ontstane gaten eerst worden opgevuld met zandzakken voordat er geotextiel over wordt gelegd.
- Als het aanbrengen van een geotextiel niet mogelijk is, kan men een grofkorrelig filter van grind op het binnentalud aanbrengen. Voordat hiertoe echter wordt besloten, moet wel worden onderzocht of de macrostabiliteit van het binnentalud niet in gevaar komt door het aanbrengen van extra gewicht op het binnentalud. Het filter dient bij voorkeur vanaf de teen van het binnentalud te worden aangebracht. Een laagdikte van enkele decimeters volstaat.

De maatregelen aan het binnentalud zijn er dus op gericht om het transport van dijkmateriaal te voorkomen, zonder dat de hoeveelheid water die uitstroomt wordt beperkt. Men dient er wel op bedacht te zijn dat bij een ongecontroleerde afvoer van dit uitstromende water alsnog erosie van het lagergelegen talud gedeelte of de berm kan optreden. In gevallen waar erosie van de teen of de aangrenzende berm denkbaar is, kan overwogen worden op deze plaatsen een filterlaag aan te brengen die bestaat uit grind.

12 Kunstwerken

Met een kunstwerk in een dijk wordt een constructie bedoeld die de dijk vervangt. Een kunstwerk kan een dijk helemaal vervangen, maar vaak wordt maar een deel van de dijk vervangen. Voorbeelden zijn coupures, sluizen en keermuren. Ook een duiker is een kunstwerk dat de dijk deels vervangt. Met een kunstwerk kan van alles misgaan als het hoogwater is. Er kan lekkage optreden, er kan water langs lopen, een deur kan open staan of de constructie kan bezwijken. In deze publicatie wordt alleen ingegaan op lekkages langs het kunstwerk, en op deuren of schuiven.

12.1 Lekkage

Veel kunstwerken zijn constructies die helemaal door de dijk heen gaan. Aan de onderkant en aan de zijkanten zit grond tegen het kunstwerk, zoals bij coupures en sluizen. Een duiker is geheel door grond omgeven. Bij hoogwater is het mogelijk dat er water langs het kunstwerk gaat stromen. Als er water aan de zijkanten van een kunstwerk stroomt wordt dit *achterloopsheid* genoemd. Stroomt het water onder het kunstwerk door, dan is er sprake van *onderloopsheid*. Het water stroomt vaak makkelijker langs een constructie dan door een dijk, omdat de grond niet helemaal goed aansluit tegen de wanden van de constructie. Als een constructie op palen staat, kunnen er zelfs holle ruimte ontstaan waar het water erg makkelijk doorheen stroomt.

Om onder- en achterloopsheid tegen te gaan worden bij de aanleg schermen van staal of hout aangebracht. Deze schermen zijn aan de wanden van de constructie vastgemaakt en steken loodrecht op de constructie de grond in en houden zo het water tegen. Bij oudere kunstwerken ontbreken deze schermen soms of zijn ze te klein.

Op zich is het niet erg als er een beetje water langs een constructie naar binnen stroomt. Het is hooguit lastig. Het water kan echter, net zoals bij zandmeevoerende wellen en microstabiliteit, grond meenemen. Er ontstaan dan holle ruimten waardoor steeds meer water en grond komt. Uiteindelijk kan dan een gat ontstaan.

12.2 Deuren en schuiven

Sluizen, coupures, duikers en dergelijke zijn bedoeld om schepen, verkeer of water door de dijk te laten. Er is dus een opening in de dijk die voor een hoogwater gesloten moet worden. Bij sluizen wordt de opening gesloten door de sluisdeuren of soms door speciale hoogwaterdeuren of schotbalken. Een coupure wordt meestal met schotbalken gesloten, soms met een schuifdeur. Een duiker zal meestal met een schuif gesloten worden. Voor de veiligheid zijn vaak twee deuren of schuiven aanwezig die beide gesloten moeten worden. Een schotbalkkering bestaat altijd uit twee sets schotbalken, waar tussen een waterdicht materiaal wordt aan gebracht. Een enkele schotbalkkering is niet voldoende waterdicht.

Er is een aantal redenen waarom tijdens hoogwater problemen met dit soort afsluitingen kunnen ontstaan:

- De afsluiting is niet op tijd aangebracht omdat het vergeten is, of omdat degene die het moest doen niet op tijd gekomen is;
- Bij het aanbrengen van de afsluiting blijkt dat de deur, schuif of schotbalken kapot zijn, niet passen of zelfs niet te vinden zijn;
- Als er water tegenaan staat kan blijken dat de afsluiting niet waterdicht is.

Voorals het hoogwater is en de opening niet is gesloten, kan een gevaarlijke situatie ontstaan. Het is vaak heel moeilijk om een deur of schotbalk te plaatsen, als er al water door de opening stroomt.

12.3 Kwelkommen

Achter sommige sluisen bevindt zich een kwelkom. Dit is een waterpartij (kolk) achter de sluis, die zelf omgeven is door kaden en waarin een tweede stel deuren aanwezig is. Voor het goed functioneren van de sluis zal in sommige gevallen de waterstand in de kwelkom verhoogd moeten worden. Controle van de kaden rond de kwelkom en de deuren is noodzakelijk. De waterstand in de kwelkom moet om diverse redenen worden gecontroleerd. De waterstand dient voldoende hoog te zijn om de sluis goed te laten functioneren. Bij een te lage waterstand kan onder- of achterloopsheid of *piping* optreden of kunnen de sluisdeuren te zwaar belast worden. Daarnaast moet worden nagegaan of de waterstand stijgt door kwelwater. Opborrelend water duidt op een wel in de bodem van de kwelkom. Een vertroebeling van het water duidt erop dat er zand wordt meegevoerd, wat een verzwakking van de sluis of de aanliggende grondlichamen kan betekenen.

12.4 Waarnemingen

Vóór hoogwater, terwijl het water aan het stijgen is, moet erop gelet worden of deuren en schuiven tijdig gesloten zijn en of schotbalken tijdig aangebracht zijn. Schuiven in duikers worden meestal gesloten met een mechaniek dat op de kruin van de dijk is aangebracht. Aan de stand van het mechaniek kan gezien worden of de schuif dicht is. Als een constructie wordt aangetroffen die nog niet is gesloten, moet dit altijd onmiddellijk gemeld worden.

Tijdens hoogwater gaat men na of er:

- lekkage van een afsluitmiddel optreedt;
- water langs het kunstwerk uit de grond sijpelt of stroomt en zo ja, of er ook grond wordt mee-gepoeld.

Tevens gaat men na of er wanden, deuren en andere onderdelen vervormen door de gronddruk of de waterdruk.

12.5 Beoordeling en maatregelen

12.5.1 Afsluiten tijdens hoogwater

Als een afsluiting niet tijdig gesloten is, moet vanzelfsprekend onmiddellijk geprobeerd worden om dit alsnog te doen. De methode is afhankelijk van het soort van kunstwerk.

Sluis: Afhangelijk van de situatie, er zijn geen algemene maatregelen te geven.

Duiker: Afhangelijk van de situatie. Mogelijk kan geprobeerd worden de opening aan de rivierzijde te dichten, met zand of klei vanaf de kruin van de dijk met een kraan. Lukt het niet aan de rivierzijde, dan kan geprobeerd worden om de opening aan de landzijde te dichten door een grote hoeveelheid zand of klei te storten. Indien er schotbalksponningen zijn, kan hiervan gebruik gemaakt worden.

Coupure: De opening kan gedicht worden met een grote hoeveelheid materiaal, bijvoorbeeld zand of klei die direct vanaf een vrachtwagen wordt gestort. Een andere mogelijkheid is het plaatsen van een container. Dit moet zo mogelijk aan de rivierzijde van de schotbalksponningen gebeuren, zodat de schotbalken later alsnog geplaatst kunnen worden.

12.5.2 Vervormingen en uitspoelen van grond

Er dienen onmiddellijk maatregelen genomen te worden als:

- onderdelen van een constructie vervormen;
- er grond wordt uitgespoeld.



Er wordt grond uitgespoeld. Er moeten onmiddellijk maatregelen worden getroffen.

Maatregelen bij vervormingen van (onderdelen van) kunstwerken zijn helemaal afhankelijk van de lokale situatie. Er kunnen geen algemene maatregelen voor gegeven worden.

Als er grond uitspoelt binnendijs, naast het kunstwerk, moet de grond worden afgedekt met geotextiel, dat met zandzakken op zijn plaats gehouden wordt. Regelmatige controle blijft nodig om na te gaan of er nog zand onder het geotextiel uit komt.

Als er alleen water naast het kunstwerk uit de grond komt zijn niet altijd maatregelen nodig. Voorkomen moet echter worden dat er grond meegespoeld wordt. Bij grote hoeveelheden lekwater wordt de grond met een geotextiel afgedekt.

12.5.3 Lekkage van deuren of schotbalken

Bij lekkage van een deur of schotbalkkering kan geprobeerd worden de lekkage te stoppen. Maatregelen zijn afhankelijk van de grootte van het gat. Mogelijkheden zijn:

- het aanbrengen van folie aan de rivierzijde bij ernstige lekkage;
- het dichten van gaten en schotbalkspooningen met PUR schuim;
- het aanbrengen van een kleikade binnendijs bij ernstige lekkage.

Bedacht moet worden dat een folie vaak geen goede aansluiting geeft op een constructie. Lekkage tussen het folie en de constructie kan een probleem blijven. Klei geeft een betere aansluiting maar is minder makkelijk aan te brengen en spoelt makkelijker weg.

In plaats van klei wordt in schotbalkkeringen ook paardenmest gebruikt, vermengd met stro. In klei blijven vaak nog ruimten over na het aanbrengen, in paardenmest niet. Mest functioneert daarom beter, maar het is tegenwoordig niet altijd makkelijk verkrijgbaar.

Een folie moet geballast worden om het op z'n plaats te houden. Ballasten van een folie kan het best met zand of zandzakken gebeuren. Ballasten met klei heeft geen zin en klei is moeilijker aan te brengen dan zand.

13 Zeedijken

13.1 Algemeen

De problematiek rond zeedijken tijdens een hoogwater is veel minder ver uitgewerkt dan bij rivierdijken. In de volgende versie van deze uitgave wordt dit hoofdstuk zo mogelijk uitgebreid.

Bij zeedijken treden enkele kenmerkende verschillen op in vergelijking met rivierdijken.

13.1.1 Duur hoogwater

Het grootste verschil wordt gevormd door de duur van het hoogwater. Een hoogwater (stormvloed) aan zee duurt hooguit enkele dagen met een piek van enkele uren. Hierdoor krijgt het water geen tijd om ver in de dijk door te dringen of om onder de dijk door te stromen. De faalmechanismen die hiermee samenhangen, krijgen daarom bij zeedijken in het algemeen weinig kans. Het gaat met name om de stabiliteit van het binnentalud, *piping* en microstabiliteit.

13.1.2 Harde wind

Een tweede verschil is dat er altijd harde wind staat, en daardoor golven zijn tijdens een hoogwater. De faalmechanismen beschadiging buitentalud en golfoverslag spelen daarom de hoofdrol.

13.1.3 Snelle stijging

Een derde, en zeker niet het minst belangrijke verschil, is dat de stijging van de waterstand zeer snel verloopt, waardoor schade en mogelijk falen in korte tijd aan de orde kunnen zijn. Noodmaatregelen zijn zelden mogelijk bij stijging van de waterstand. Niet alleen door de korte tijdsduur die beschikbaar is, maar ook omdat de dijken snel onbegaanbaar worden door harde wind en/of overslaand water. Men zal in het algemeen moeten wachten tot de eerstvolgende laagwaterperiode, alvorens noodmaatregelen genomen kunnen worden.

13.1.4. Andere materialen

Ten slotte is het dijklichaam van een zeedijk meestal anders opgebouwd dan een rivierdijk. Er zal altijd een harde taludbekleding op het buitentalud aanwezig zijn, behalve op het bovenste deel van het talud. Veelal is het dijklichaam van een zeedijk uit zand opgebouwd. Dit houdt in dat bij beschadiging van de taludbekleding erosie van het dijklichaam snel kan plaatsvinden.

13.1.5 Faalmechanismen

Voor meer gedetailleerde informatie over de faalmechanismen wordt verwezen naar de hoofdstukken 6 (Golfoverslag en overlopen) en 10 (Bekleding buitentalud). De overige faalmechanismen zijn van minder belang. Toch is met het oog de overige faalmechanismen enige alertheid geboden.

13.2 Waarnemingen

De waarnemingen hebben voornamelijk te maken met golfoverslag en beschadiging van het buitentalud. Er moet daarom gelet worden op:

- de waterstand ten opzichte van de kruin van de dijk;
- de stijging van de waterstand;
- de golven;
- het golfpatroon voor de dijk: zijn er locaties waar de golven die tegen de dijk slaan duidelijk hoger zijn dan elders;

- voorspellingen van waterstand, windsnelheid en windrichting;
- beschadigingen aan het buitentalud;

13.3 Beoordeling en maatregelen

13.3.1 Beschadiging van het buitentalud

Bij beschadiging van het buitentalud bij stijgende waterstand ontstaat een ernstige situatie. Verdere inspectie wordt bemoeilijkt of onmogelijk, doordat het beschadigde deel van het talud onder water verdwijnt. Door erosie van de onderliggende lagen kan snel een gat gevormd worden.

Directe maatregelen zijn vaak niet mogelijk. Wel kan materiaal en materieel in gereedheid gebracht worden, om bij de eerstvolgende laagwaterperiode het gat te dichten.

13.3.2 Golfoverslag

Als er (veel) golfoverslag optreedt zijn maatregelen meestal niet meer mogelijk. De dijk is onbe-
gaanbaar voor personen en verkeer. Zo mogelijk kunnen nog inspecties binnendijs worden uitge-
voerd, om na te gaan of het binnentalud beschadigd raakt.

Ook in dit geval moet meestal gewacht worden tot de volgende laagwaterperiode om eventuele schade te herstellen.

Bij een verwachting of voorspelling van grote hoeveelheden golfoverslag kan nog getracht worden om het binnentalud te beschermen tegen infiltratie en erosie. Hiertoe wordt folie op het binnentalud aangebracht.

Verklarende woordenlijst

<i>Aanleghoogte</i>	de hoogte van de kruin, onmiddellijk na voltooiing van de dijkverbetering
<i>Achterland</i>	het gebied aan de landzijde van de dijk
<i>Achterloopsheid</i>	verschijnsel waarbij water langs een kunstwerk stroomt en mogelijk grond meespoelt
<i>Afsluitmiddel</i>	deur, schuif, schotbalken en dergelijke waarmee een sluis, duiker of coupure gesloten wordt
<i>Basaltonzuilen</i>	onregelmatig gevormde betonblokken met een hoogte variërend van 0,15 tot 0,40 meter
<i>Bekleding</i>	afdekking van het dijklichaam, met name op het binnen- en buitentalud, die voorkomt dat de grond uit de dijk wegspoelt, bestaat uit klei en gras, stenen of asfalt
<i>Berm</i>	grondaanvulling op het maaiveld of tegen het talud, binnen- of buitendijks
<i>Bezwijken</i>	zodanig verlies van sterkte of vorm dat de dijk of kunstwerk geen water meer kan keren
<i>Binnen</i> (-kruin, -dijks, -teen, -berm)	aan de kant van het land
<i>Binnenkruinlijn</i>	overgang tussen kruin en binnentalud
<i>Bres</i>	(beginnende) breuk in een waterkering
<i>Buiten</i> (-kruin, -dijks, -teen, -berm)	aan de kant van de rivier
<i>Buitenkruinlijn</i>	overgang tussen kruin en buitentalud
<i>Damwand</i>	verticaal, naast elkaar in de grond geplaatste slanke constructie-elementen van staal, beton of hout, die door middel van een voegconstructie met elkaar zijn verbonden
<i>Dijkprofiel</i>	doorsnede van de (opbouw van) dijk

<i>Dijkringgebied</i>	een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog oppervlaktewater van één van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan. Nederland is ingedeeld in 53 dijkringen. In een bijlage bij de <i>Wet op waterkering</i> is een overzicht gegeven van deze dijkringen.
<i>Duiker</i>	ronde of rechthoekige buis door of onder een grondlichaam
<i>Erosie</i>	de afslijting of uitschuring door de invloed van het water op het dijklichaam
<i>Faalmechanisme</i>	een serie van logisch opeenvolgende gebeurtenissen die leidt tot falen van de dijk
<i>Falen</i>	situatie waarin de dijk niet meer in voldoende mate het water tegenhoudt
<i>Geotechniek</i>	vakgebied dat zich bezighoudt met het evenwicht en de bewerking van grondlichamen en de daarin aanwezige constructie-elementen
<i>Geotextiel</i>	waterdoorlatend gronddicht doek, meestal van geweven kunststof
<i>Golfoverslag</i>	het verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt, waarbij de waterstand lager is dan de kruin, maar het water opgezwiept wordt door golven ten gevolge van wind of scheepvaart
<i>Keermuur</i>	een verticale slanke constructie, die in staat is grond te keren
<i>Kolk</i>	bij doorbraak van een dijk gevormde waterpartij, ook wel genoemd
<i>Krammat</i>	folie, geotextiel of kraagstuk, dat door middel van krammen wordt vastgezet op een grondlichaam
<i>Krib</i>	stenen dam die loodrecht op de oever de rivier insteekt ten behoeve van waterstroomregulering
<i>Kruin</i>	het bovenste vlakke gedeelte van een dijk
<i>Kunstwerk</i>	een constructie of constructiedeel dat deel uitmaakt van de waterkering en is samengesteld uit andere materialen dan grond
<i>Kustgebied</i>	het gebied dat direct grenst aan de Noordzee, de Waddenzee of de Zeeuwse wateren, exclusief het Haringvliet en het Hollandsch Diep
<i>Kwel</i>	het aan de oppervlakte treden van (rivier)water ter plaatse van het binnendijks talud van de dijk of in het achterland, dat direct aan de dijk grenst

<i>Macrostabiliteit</i>	stabiliteit tegen afschuiven van grote delen van een grondlichaam langs rechte of gebogen glijvlakken, waarin door overbelasting geen krachtevenwicht meer aanwezig is
<i>Merengebied</i>	het gebied dat direct grenst aan het IJsselmeer en de randmeren
<i>Microstabiliteit</i>	stabiliteit tegen het uitspoelen van gronddeeltjes door uitstromend water, waardoor het binnentalud in sterkte kan worden aangetast
<i>Onderloopsheid</i>	verschijnsel waarbij water onder een constructie door stroomt en mogelijk grond meespoelt
<i>Ontwerpwaterstand</i>	de waterstand waarop de dijk berekend is, in het rivierengebied wordt dit MHW genoemd
<i>Opkisten</i>	omringen van een zandmeevoerende wel met zandzakken, zodanig dat er geen zand meer wegspoeld en de waterstand boven de wel hoger wordt
<i>Overgangsgebied</i>	(ook wel benedenrivierengebied) gebied tussen het kustgebied of IJsselmeer en het rivierengebied, waar een hoogwater veroorzaakt kan worden door een hoge afvoer van de rivier, een hoge waterstand op zee of een combinatie van beide
<i>Overloop</i>	het verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt omdat de waterstand in de rivier hoger is dan de kruin
<i>Piping</i>	het bij hoog water onder de dijk doorstromen van water, met een zodanige stroomsnelheid dat gronddeeltjes worden meegenomen, waardoor zich onder de dijk holle ruimten kunnen ontwikkelen die tot stabiliteitsverlies van de dijk kunnen leiden
<i>Rivierengebied</i>	(ook wel: bovenrivierengebied), het gebied van de rivieren de Rijn en zijn takken, de Maas, de IJssel en de Vecht, vanaf de landsgrenzen tot ongeveer Raamsdonkveer, Gorkum, Schoonhoven, Kampen en Zwolle
<i>Schaardijk</i>	dijk waar de rivier direct naast stroomt, zonder uiterwaard
<i>TAW</i>	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ingesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat
<i>Voorland</i>	uiterwaard, buitendijks terrein
<i>Waakhoogte</i>	de afstand tussen de kruin van de dijk en de hoogste waterstand, verticaal gemeten
<i>Wel</i>	geconcentreerde uitstroming van kwelwater door een gat of langs een paal in de afdekkende laag

Dijkbeoordeling bij hoogwater

<i>Wiel of waai</i>	bij doorbraak van een dijk gevormde waterpartij, ook kolk genoemd
<i>Zandmeevoerende wel</i>	wel die zand meevoert uit de ondergrond en die zo onbeheersbaar kan worden dat dit kan leiden tot <i>piping</i>
<i>Zetting</i>	bodemdaling als gevolg van inklinking, krimp en /of de bouw van kunstwerken

Literatuur

- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad voor het Ontwerpen van Waterkeringen. Deel 1 - Bovenrivierengebied, september 1985
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad voor het Ontwerpen van Waterkeringen. Deel 2 - Benedenrivierengebied, september 1989
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Water tegen de dijk, De toestand van de rivierdijken tijdens de hoge Rijnaflow van maart 1988, Delft, december
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Water tegen de dijk, Delft, maart 1994
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Handreiking Constructief Ontwerpen, Delft, april 1994
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Handreiking Constructief Ontwerpen, Bijlagen 2-5, Delft, april 1994
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Druk op de dijken, Delft, augustus
- Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Hoogwaterslag 1995. Resultaten van een inventarisatie bij de rivierdijkbeheerders, gerangschikt naar waterschap, Delft, 1995
- Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Veiliger de Winter in?, Delft, 1995
- Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken, Waterkeringen, Collegedictaat t.b.v. het HTS onderwijs, 1993
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad Toetsen op Veiligheid, concept 3, Delft, 6 maart 1996
- A. Verruijt, Grondmechanica, vierde druk, Delft, 1993



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst voor techniek en milieu voor de weg- en waterbouw, die onderzoekt, adviseert en kennis overdraagt in de constructieve weg- en waterbouw, de natuur- en milieutechniek van fysieke infrastructuur, waterkeringen en watersystemen, en de grondstoffenvoorziening voor de bouw, inclusief de milieu-aspecten.

Voor meer informatie:

Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Van der Burghweg 1, Postbus 5044, 2600 GA DELFT, 015-2699285

W-DWW-96-124