

Effectiviteit tweede waterkeringen

fase 4.2 beoordelingssystematiek

Projectnummer
720301/ 30b definitief

Definitief

Datum
december 2001

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat
Dienst Weg en Waterbouwkunde
Postbus 5044
2600 GA Delft

Rapportnummer
720301/ 30b

Datum
december 2001

Samenvatting rapport

Definitief

Aantal pagina's
25

Titel / subtitel

**Effectiviteit tweede waterkeringen / fase 4.2
beoordelingssystematiek**

Projectnaam

Effectiviteit tweede waterkeringen

Projectleider(s)

Ir. J.G. Knoeff

Projectbegeleider(s)

Ir. E.O.F. Calle

Overige leden projectteam

Referentie opdrachtgever

DWW-1853 / 3100.1143

Verspreiding

**10 x Delft Cluster
3 x DWW
2 x GD**

Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Probleemomschrijving	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Opbouw van het rapport	2
2	Systematiek beoordeling tweede waterkeringen	3
2.1	categorieën	3
2.2	Belasting	4
2.3	Inundatieberekeningen, overstromingsscenario's	4
3	algemeen	5
4	Bekleding	7
4.1	Sterkte van de grasbekleding	7
4.2	Belasting op de bekleding	8
4.3	Asfaltbekleding, ballastbed spoorwegen	9
5	Geometrie, ondergrond en waterspanningen	11
5.1	Bezwijkmechanismen	11
5.1.1	Kruinhoogte	11
5.1.2	Stabiliteit	11
5.2	Waterspanningen	12
5.3	Funderingsconstructie	13
5.4	Historische dijkdoorbraken	13
6	Vreemde elementen	15
6.1	Bebouwing	15
6.2	Aansluitingen duikers, bruggen, aqua-, viaducten	15
6.3	Kabels en leidingen	15
6.4	Geluidsschermen	16
6.5	Bomen	16
6.6	Beoordeling vreemde elementen	16

Bijlage 1 Achtergrond beoordeling bekleding

Figuren

Figuur 3.1	Algemeen beoordelingsschema effectiviteit tweede waterkeringen	6
Figuur 4.1	Beoordeling grasmat	7
Figuur 4.2	Strijklengte versus windsnelheid volgens theorie van Brettschieder bij een windsnelheid van 10 m/s	9
Figuur 5.1	Minimale afmetingen bij toetsing binnenwaartse macrostabiliteit (talud 1:1)	12
Figuur 5.2	Beoordelingsschema geometrie, ondergrond en waterspanningen	14
Figuur 6.1	Beoordelingsschema vreemde elementen	17

1 Inleiding

1.1 Probleemomschrijving

In de loop van de tijd is in Nederland een stelsel van tweede waterkeringen achter de primaire waterkeringen ontstaan. Deels gaat het hier om dijken, deels ook om verheffingen in het landschap die van oudsher aanwezig zijn of die als aardebaan voor wegen en spoorwegen zijn aangelegd.

Het effect van deze tweede waterkeringen op inundatiepatronen blijkt uit de verschillende verslagen van overstromingen. Uit kaarten waarop de overstroming van 1953 is aangegeven volgt dat een aantal regionale waterkeringen en een enkel ander lijninfrastructuurobject effectief als waterkering hebben gefunctioneerd. Andere lijnobjecten faalden als waterkering maar hebben waarschijnlijk wel een invloed op het inundatiepatroon gehad. Ook bij de overstromingen van de Zuiderzee in 1916 valt het nut van tweede waterkeringen op. In het verslag van deze stormvloed is o.a. het volgende te lezen over de overstromingen in Noord Holland [Rijkswaterstaat 1916]:

Bij de overstroming van de Katwouder polder en Zuidpolder:

'In de namiddag van den 14den Januari dreigde het zanddijkje van den stoomtram Kwadijk – Edam in de onmiddellijke nabijheid door te breken en liep aldus de Polder Zeevang gevaar. Hoewel het dijkje zwaar werd beschadigd, wist men de Zeevang voor het ergste te behoeden.'

Bij de overstroming van de Anna-Polownapolder:

'Ten gevolge van de doorbraak (red: In de vroege morgen van 14 januari brak de Amsteldijk door) liep de Oostpolder den volgende dag geheel vol. Het overstromingswater werd gekeerd door de kade langs de oostzijde van de Van-Ewijcksvaart en van den boezem van de Zijpe. 15 Januari omstreeks 6 u. n.m. begon de kade over te lopen, waarna het water tot 16 Januari 3 u. vm. gekleerd werd door den weg langs de westzijde van de Van Ewijcksvaart en van den Boezem van den Zijpe tusschen Oudesluis en de Van Ewijcksluis en de met militaire hulp daarop aangebrachte noodbade. Na doorbraak van die waterkeering stroomde de Westpolder tot de Zandvaart onder water. In den spoorweg waren inmiddels alle bruggen en duikers afgedamd, zodat slechts weinig water naar de andere zijde daarvan doordrong Door tijdig aangebracht versterkingen wist men de spoordijk te behouden.'

Bij de overstroming van Waterland:

'De begrenzing werd begrensd door den Schinkeldijk langs de oostzijde van de Zaan, den zuidelijke dijk van den Wijden Wormer en den Nekkerweg. Tengevolge van bruggen in de spoorbaan Zaandam-Purmerend heeft deze spoorbaan geen waterkerend vermogen.'

Bij de beschrijvingen van inundaties valt verder op dat nadat een gat is ontstaan in een primaire waterkering voornamelijk wordt gesproken over het overlopen van tweede waterkeringen. Slechts in enkele gevallen wordt gesproken over doorbraak of schade aan tweede waterkeringen. Een reden hiervoor kan zijn dat de belasting op een tweede waterkering veel kleiner is dan op een primaire waterkering. Zowel de golfbelasting als het waterstandverschil over de kering is kleiner.

Om meer inzicht in het inundatiepatroon te verkrijgen is in augustus 2000 een onderzoeksplan opgesteld om te onderzoeken in hoeverre regionale waterkeringen en andere lijninfrastructuurobjecten bedoeld of onbedoeld tijdens een overstroming als compartimenteringsdijk werken en daarmee het inundatiepatroon bepalen [GD 2000]. Dit rapport maakt deel uit van dit onderzoek en betreft het opzetten van een generieke systematiek voor het beoordelen van tweede waterkeringen;

1.2 Doelstelling

De doelstelling van fase 4.2 is het opzetten van een generieke systematiek om de waterkerende werking van objecten te beoordelen aan de hand van die objectkenmerken.

In fase 4.1 is geconcludeerd dat een gecombineerde beoordelingssystematiek van wegen, spoorwegen en regionale keringen als tweede waterkeringen haalbaar lijkt omdat het mogelijk is om veel dezelfde elementen van het grondlichaam op dezelfde manier op waterkerendheid te toetsen. Opgemerkt wordt daarbij dat het onbekend is of de waterspanningen in aardebanen van wegen en spoorwegen op dezelfde manier kunnen worden geschematiseerd als in regionale of primaire waterkeringen. Voor een globale beoordeling van het gedrag van tweede waterkeringen is het dus niet noodzakelijk apart een systematiek voor regionale keringen en aardebanen van wegen en spoorwegen te ontwikkelen.

In fase 4.1 wordt eveneens geconcludeerd dat een aangepaste versie van de beoordeling uit de Leidraad Toetsen op Veiligheid slechts als basis voor een onderdeel van een beoordelingssystematiek voor het gedrag van tweede waterkeringen kan dienen.

1.3 Opbouw van het rapport

Het rapport is als volgt opgebouwd: Na deze inleiding volgt in hoofdstuk 2 een beschrijving van de opzet van de beoordelingssystematiek. In de daarop volgende vier hoofdstukken worden onderdelen uit deze systematiek verder uitgewerkt.

2 Systematiek beoordeling tweede waterkeringen

2.1 categorieën

In voorgaande fasen van deze studie zijn op basis van een beknopte literatuurstudie en een brainstormsessie de belangrijkste kenmerken van lijnobjecten bepaald op basis waarvan de effectiviteit als tweede waterkering tijdens inundatie van een polder kan worden beoordeeld. Deze elementen kunnen worden onderverdeeld in vijf categorieën: Algemene kenmerken, opbouw en geometrie van het grondlichaam, vreemde elementen in de constructie, bekleding en de waterspanningen in de tweede waterkering voor en tijdens de belasting. In onderstaande figuur zijn deze vijf categorieën weergegeven.



Op basis van vier van de vijf categorieën wordt in dit rapport een voorstel gedaan voor een eenvoudige systematiek om tweede waterkeringen te beoordelen. Bij de uitwerking van de categorieën in een beoordelingssystematiek bleek dat waterspanningen en geometrie sterk met elkaar samenhangen. Deze categorieën zijn daarom samengevoegd. De vier overgebleven categorieën worden in de volgende hoofdstukken afzonderlijk uitgewerkt.

Een eenvoudige beoordelingssystematiek wil zeggen dat op basis van uiterlijke en makkelijk verkrijgbare gegevens snel een inzicht van de effectiviteit als tweede waterkering dient te worden verkregen. Indien blijkt dat een bepaald grondlichaam een cruciale schakel in het inundatiepatroon van een polder vormt, kan ervoor worden gekozen om een gedetailleerdere beoordeling uit te voeren, bijvoorbeeld met behulp van de Leidraad Toetsen op Veiligheid [TAW 2000].

Uit de beoordeling volgt een score, voldoende, slecht of onzeker, voor de effectiviteit van een tweede waterkering. Voldoende geeft aan dat de effectiviteit groot is. Slecht betekent dat het grondlichaam waarschijnlijk geen water kan keren. Dat wil niet zeggen dat deze grondlichamen geen invloed hebben op het inundatiepatroon. Een score onzeker geeft aan dat een uitspraak over de effectiviteit van een tweede waterkering niet kan worden gegeven.

Bij de beoordeling is geen rekening gehouden met bresgroei en reststerkte. Deze aspecten zijn echter wel van belang bij het berekenen van overstromingsscenario's. Inundatiesnelheden zijn bijvoorbeeld afhankelijk van de bresvorming en – groei.

2.2 Belasting

De belasting op de tweede waterkering wordt uitgeoefend door water en (indirect) wind. Belasting door ijs en drijvende voorwerpen wordt niet meegenomen in deze studie.

Op basis van eisen die aan de bekleding worden gesteld, wordt de belasting door water en wind vertaald naar een maximaal overslagdebiet en een maximale golfhoogte. Het overslagdebiet bepaalt de minimale waakhogte (afhankelijk van golfhoogte) en daarmee de maximale inundatiediepte van de polder. Indien bij die golfhoogte de kans op erosie van het buitentalud te groot wordt bepaalt de maximale golfhoogte de inundatiediepte. Één en ander wordt nader toegelicht in hoofdstuk 5.

Er wordt geen rekening gehouden met eisen die eventueel aan begaanbaarheid en vluchtwegen worden gesteld. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat buistoten en -oscillaties geen rol spelen.

2.3 Inundatieberekeningen, overstromingsscenario's

Er wordt in deze studie aangenomen dat wanneer het overslagdebiet of golfhoogte te groot wordt de waterkering zal bezwijken. Bij inundatieberekeningen kan dit worden gemodelleerd door de effectiviteit van de tweede waterkering afhankelijk te maken van de inundatiediepte. Aangeraden wordt dan om bij inundatieberekeningen in de lijnelementen bressen te schematiseren die zullen optreden indien een bepaalde waterstand in de polder wordt bereikt.

Zoals uit de praktijksituaties blijkt, bepaalt niet alleen het overslagdebiet de effectiviteit van de tweede waterkering. Ook andere elementen van het grondlichaam spelen een rol. Zoals opgemerkt, wordt in deze studie een eenvoudige beoordelingssystematiek voorgesteld waarmee deze elementen kunnen worden beoordeeld. De score wordt uitgedrukt in 'voldoende', 'slecht' of 'onzeker'. Voor het bepalen van het inundatiepatroon kan worden uitgegaan van de werkhypothese dat bij een voldoende beoordeling van de tweede waterkering de kansorde 10 % is dat deze bezwijkt voordat de maximale inundatiediepte wordt bereikt. Slechte respectievelijk onzekere scores geven kansorden op doorbraak aan van 90 % en 50 %.

3 algemeen

Algemene eigenschappen geven een eerste indruk van de kwaliteit van de waterkerende functie van een lijnobject. Soms is deze indruk voldoende om een uitspraak te kunnen doen over de effectiviteit als tweede waterkering.

De huidige en historische functies van het lijnelement zijn van groot belang voor de effectiviteit als tweede waterkering. Indien het lijnobject ooit een waterkerende functie heeft gehad, wordt aangenomen dat alle noodzakelijke elementen voor een waterkering aanwezig zijn of zijn geweest. Natuurlijk geldt dat hoe langer de tijd dat de waterkering buiten werking is hoe onzekerder de waterkerendheid wordt. In de loop van de tijd kunnen allerlei geplande en ongeplande activiteiten de waterkerende werking hebben aangetast.

Als het lijnobject in de huidige situatie een waterkerende functie heeft, geldt dat de staat van een lijnobject beter wordt naarmate de kwaliteit van het beheer toeneemt. De kwaliteit van het beheer kan zijn geregeld in richtlijnen (bijvoorbeeld keur). Gerelateerd aan het beheer speelt ook onderhoud een grote rol bij de staat van een lijnobject. Door wie, en hoe frequent wordt het object onderhouden, vindt er controle plaats op het onderhoud zijn onderwerpen die van invloed zijn op het waterkerend vermogen van een lijnobject. Zowel waterkerende regionale keringen, bijvoorbeeld boezemkaden, als niet waterkerende waterkeringen, bijvoorbeeld secundaire waterkeringen, hebben in de huidige situatie een waterkerende functie.

Indien een lijnobject een waterkerende functie heeft en er een onderhouds- en beheersplan van het lijnobject bestaan, wordt ervan uitgegaan dat de conditie van het grondlichaam voldoende is om in geval van een overstroming effectief als tweede waterkering te kunnen functioneren.

Als het grondlichaam geen waterkerende functie heeft, maar in het verleden wel heeft bewezen water te kunnen keren, kan een voldoende score voor de effectiviteit van tweede waterkeringen worden verkregen. Voorwaarde is dat de status van het grondlichaam niet is veranderd en de belasting niet groter is dan de historische belasting. Deze voorwaarde is moeilijk aan te tonen omdat betrouwbare historische informatie vaak niet voorhanden is. Daarnaast bestaat vaak onzekerheid over de geohydrologische situatie van het grondlichaam toen en nu. Vooral nog wordt voorgesteld om alleen de buitenwaterstand te vergelijken met de historische belasting en te controleren of er na de historische belasting geen werkzaamheden aan de dijk hebben plaatsgevonden.

Indien de grondconstructie geen waterkerende functie heeft en in het verleden ook geen water heeft gekeerd, dient een controle van het grondlichaam plaats te vinden op geometrie, ondergrond en waterspanningen, de bekleding en mogelijke vreemde elementen. Een beschrijving van deze controles vindt plaats in hoofdstuk 4 tot 6. De resultaten van deze controles bepalen de beoordeling van de effectiviteit als tweede waterkering.

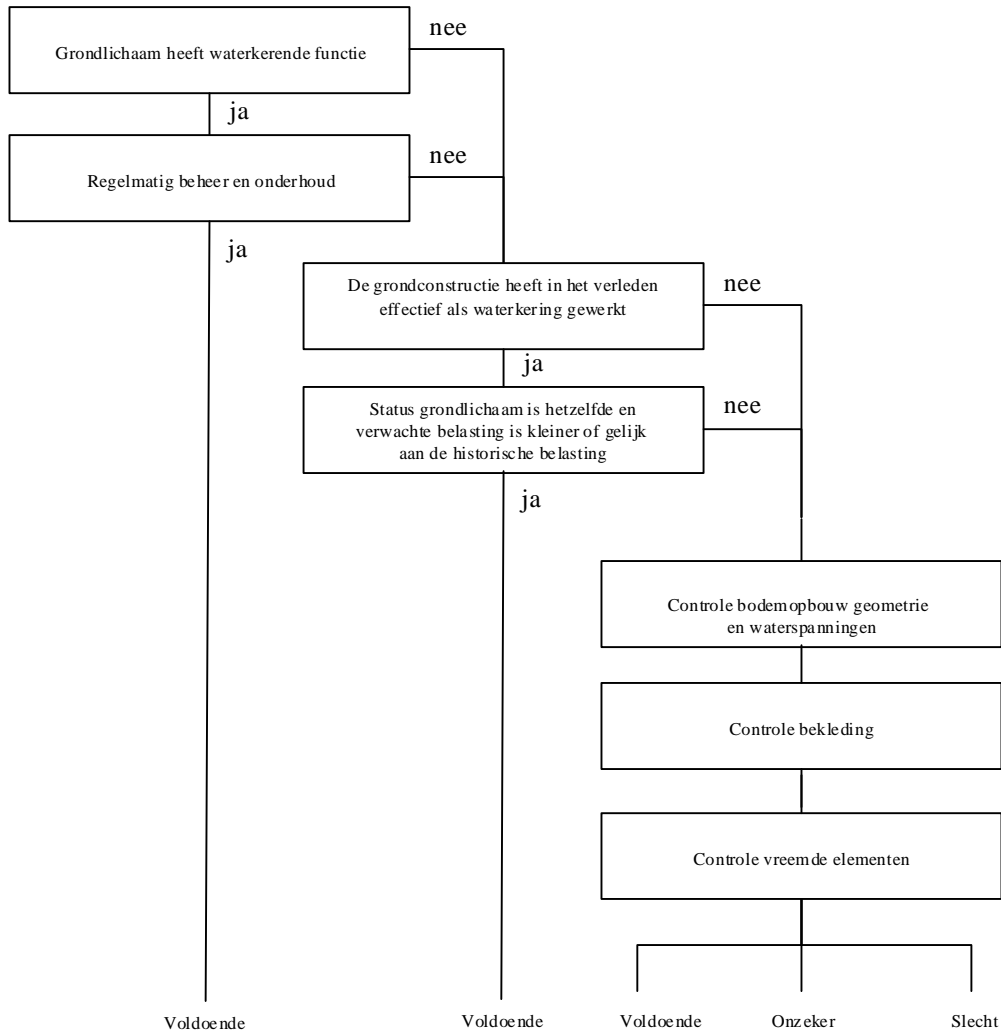
De waterkerende werking van een lijnobject wordt mede bepaald door nevenfuncties. Veelal liggen wegen op regionale keringen. Begrazing door schapen kan leiden tot schapenpaadjes. Daarnaast kan een boom, die uit landschappelijk oogpunt zeer belangrijk is, de dijk verzwakken. Een lijnobject kan ook dienen als vluchtweg tijdens een overstroming.

De controle van de verschillende categorieën is afhankelijk van de huidige functie van de tweede waterkering. Onderscheid wordt gemaakt tussen regionale waterkeringen die bedoeld zijn voor compartimentering (slaperdijken, compartimenteringdijken), waterkeringen die permanent een waterkerende functie hebben en bij een overstroming onbedoeld compartimenterend werken (bijv boezemkaden), wegen en spoorwegen. Bij waterkerende

waterkeringen is vooral van belang wat er gebeurt met water dat over de waterkeringen en watergang naar de droge polder stroomt.

De huidige en nevenfuncties worden waar nodig bij de beoordelingen in hoofdstuk 4 tot 6 meegenomen.

Het algemene beoordelingsschema is weergegeven in onderstaande figuur. Hierbij geldt dat na controle van bodemopbouw en geometrie, bekledingen en vreemde elementen de slechtste beoordeling ook de eindbeoordeling is. Dus indien één of meer van de (deel)beoordelingen slecht is, volgt een lage effectiviteit van de tweede waterkering. Als er geen slechte beoordelingen zijn maar wel onzekere is de effectiviteit als tweede waterkering ook onzeker. Indien alle beoordelingen voldoende zijn is ook het eindoordeel voldoende.



Figuur 3.1 Algemeen beoordelingsschema effectiviteit tweede waterkeringen

4 Bekleding

De functie van de bekleding bij een waterkerend grondlichaam is tweeledig:

- Bescherming van het onder- of achterliggende kernmateriaal.
- Het leveren van waterdichtheid aan de kering.

Er zijn vele soorten bekledingen. De meeste regionale waterkeringen hebben grasbekledingen. Dit is ook het geval bij taludbekledingen van wegen en spoorwegen. Veelal groeit hier echter ook andere vegetatie (zoals struiken) op de taludhellingen. Bij lijninfrastructuur is op de kruin echter geen (spoorwegen) of een andere bekleding (wegen – asfalt) aanwezig.

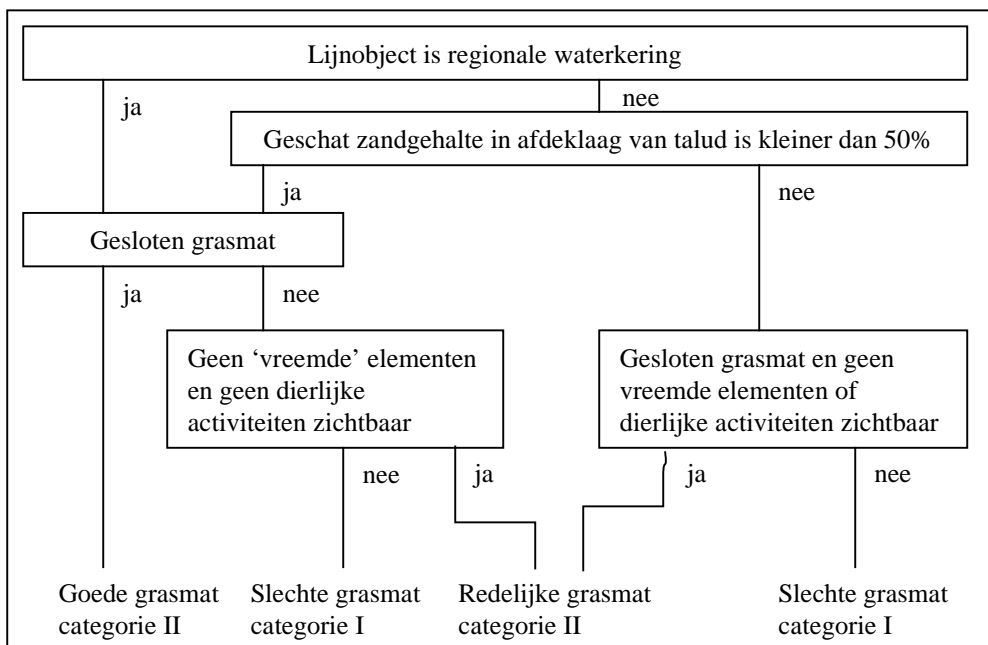
In het onderstaande wordt voornamelijk ingegaan op grasbekledingen. Als basis voor de beoordeling van grasbekledingen wordt de Leidraad Toetsen op Veiligheid gebruikt. Vervolgens worden enkele opmerkingen gemaakt over een asfaltbekleding van een weg en een ballastbed van een spoorweg.

Bij de beoordeling van de bekleding wordt een vergelijking gemaakt tussen de sterkte van en de belasting op de grasmat.

4.1 Sterkte van de grasbekleding

In de Leidraad Toetsen op Veiligheid (LTV) wordt, afhankelijk van de sterkte van de graszode, de kwaliteit van de klei onder de zode, de taludhelling en de golfhoogte, de kans op erosie en afschuiving gegeven. Er wordt uitgegaan van normaal beheer waarbij geen schadelijke dierlijke activiteiten voorkomen. Bij mogelijke tweede waterkeringen kan niet altijd van deze laatste twee aannamen worden uitgegaan en dienen deze aspecten worden meegenomen in de beoordeling.

De beoordeling van de sterkte van de grasbekleding van tweede waterkeringen vindt plaats volgens onderstaand schema.



Figuur 4.1 Beoordeling grasmat

In het schema wordt allereerst onderscheid gemaakt tussen lijnobjecten met en zonder waterkerende functie. De verwachte kwaliteit van de klei onder de zode is van belang voor de erosiebestendigheid van de bekleding. De erosiegevoeligheid wordt bepaald door de vloeigrens, de plasticiteitsindex en het zandgehalte van de klei onder de zode. Indien het lijnobject een regionale waterkering betreft, wordt minimaal een matige erosiebestendige klei verwacht. Voor wegen en spoorwegen is dat niet altijd het geval. Vanwege het hoge zandgehalte van spoorwegen en de meeste wegen hebben deze lijninfrastructuurobjecten een weinig erosie bestendige bekleding. Bij wegen in het benedenrivierengebied, die in een cunet zijn aangelegd, is veelal de verwijderde top laag gebruikt voor de berm. Deze top laag is dan veelal matig erosiebestendig (zandgehalte < 50%).

Daarnaast wordt gekeken naar de grasmat. Indien sprake is van een erosiebestendige klei en de grasmat er goed uitziet (er zijn geen open plekken aanwezig) wordt de bekleding positief beoordeeld. Een redelijke beoordeling vindt plaats indien de bekleding er weliswaar niet optimaal bijligt maar het zandgehalte van de klei onder de zode kleiner is dan 50% en er geen dierlijke activiteiten en vreemde objecten in de dijk aanwezig zijn. Deze beoordeling wordt ook gegeven bij een waterkering waarvan de laag onder de zode zandiger is maar geen dierlijke activiteiten en vreemde elementen in de kering aanwezig zijn en waarvan de grasmat in goede conditie is. Indien in het laatste geval één van de aspecten niet aanwezig is, wordt een slechte beoordeling van de grasmat gegeven.

4.2 Belasting op de bekleding

Schade aan de bekleding van het buitentalud kan ontstaan door golfklappen of golfploop (golfbelasting). Daarnaast kan schade aan bekleding ontstaan door drijvende voorwerpen. Hoewel er tijdens een overstroming meer drijvende voorwerpen aanwezig zijn dan tijdens hoogwater op de rivier wordt in deze studie aangenomen dat schade door drijvende voorwerpen beperkt van omvang en niet maatgevend is.

Schade aan het binnentalud ontstaat door overslag en overloop.

Bij een zeer lage golfbelasting ($4 H_s \tan \alpha < 0,2 \text{ m}$) veroorzaken, volgens de LTV, golfklappen geen schade aan de buitenbekleding. Daarnaast wordt opgemerkt dat golven tot een hoogte van 0,75 m in de golfklapzone geen schade aanrichten bij een gelijkmatig gesloten grasmat met een hoge worteldichtheid. Uit de praktijk blijkt dat er zelfs grasmatten zijn die golfhoogten groter dan 0,75 m kunnen weerstaan.

De golfhoogte is afhankelijk van de strijklengte, de windsnelheid en inundatiediepte. Met behulp van de formules van Brettschneider kan bij een opgegeven windsnelheid, inundatiediepte en maximale golfhoogte de maximale strijklengte worden bepaald.

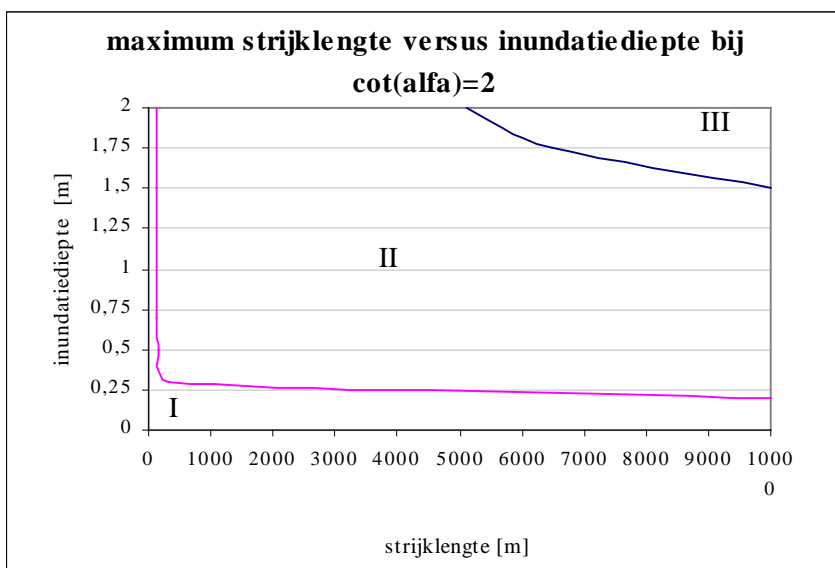
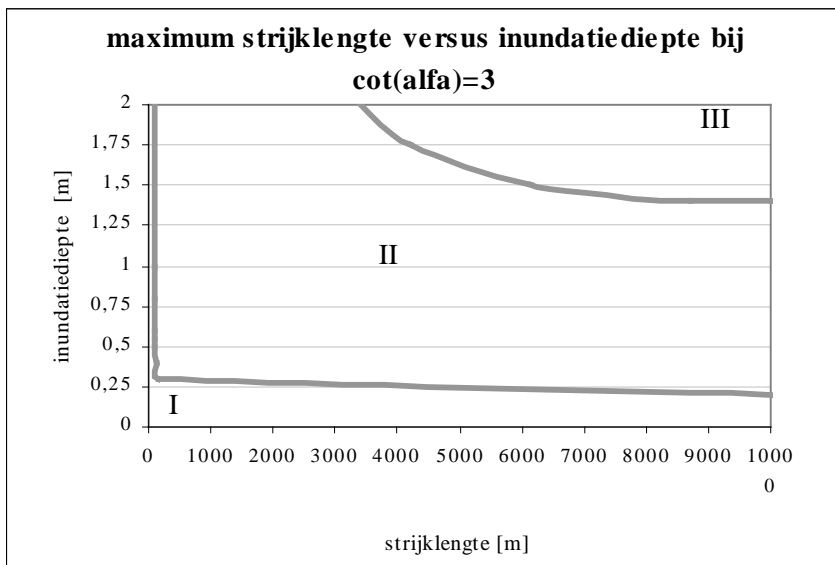
Een voldoende beoordeling van de buitenbekleding van tweede waterkeringen geldt voor:

- Een goede grasmat en belasting $4 H_s \tan \alpha < 0,75 \text{ m}$;
- Een slechte of redelijke grasmat en een maximale belasting $4 H_s \tan \alpha < 0,2 \text{ m}$.

Een onzekere beoordeling geldt voor:

- Een redelijke grasmat en een belasting $4 H_s \tan \alpha < 0,75 \text{ m}$.
Voor alle overige gevallen geldt een slechte beoordeling.

In onderstaande grafiek is de strijklengte tegen de maximale inundatiediepte volgens de theorie van Brettschneider uitgezet bij een windsnelheid van 10 m/s. Deze windsnelheid is arbitrair gekozen als representatieve windsnelheid bij overstroming van een polder.



Figuur 4.2 Strijklengte versus windsnelheid volgens theorie van Brettschieder bij een windsnelheid van 10 m/s

Overslag en overloop is afhankelijk van de waakhogte (kruinhoogte –inundatiediepte). Voor een redelijke tot goede grasmat (type II), waarvoor een belasting $4 H_s \tan \alpha$ kleiner dan 0,75 geldt, dient de kruinhoogte 1,6 maal de inundatiediepte te bedragen. Voor een slechte grasmat (type I) bedraagt de waakhogte minimaal 0,15 m.

Uit bovengenoemde beschouwing over de minimale waakhogte kan de maximale inundatiediepte worden afgeleid waarbij de bekleding nog functioneert als bescherming van het onder- of achterliggende kernmateriaal en het leveren van voldoende waterdichtheid aan de kering.

4.3 Asfaltbekleding, ballastbed spoorwegen

Veel wegen die als tweede waterkering kunnen dienen hebben een harde bekleding, zoals asfalt, betonplaten, elementverharding e.d. Het effect van een verharding op de waterkerendheid is niet bekend. Verwacht wordt dat de verharding een geringe rol speelt bij het initieel faalmechanisme. Waarschijnlijk heeft de verharding wel effect op de reststerkte van het waterkerend grondlichaam. Enkele algemene opmerkingen kunnen worden gemaakt.

Asfalt kan geen schuifkrachten opnemen. Bij ondermijning van de asfaltlaag zal deze daarom breken. Mogelijk dekt het afgebroken stuk asfalt de bres vervolgens af waardoor het doorbraakproces wordt vertraagd. Een andere mogelijkheid is dat turbulentie rondom het afgeschoven asfalt de erosie van de dijk juist bevordert.

Elementverharding draagt niet bij aan de reststerkte van de potentiële tweede waterkering. Nadat een gat in de dijk is ontstaan zullen de elementen in het gat rollen, en daarbij al of niet verdere schade veroorzaken. Betonplaten zijn groter en zullen pas na enige gatgroei in het gat rollen. Mogelijk vertraagt de betonplaat de gatgroei.

Vanwege de grote onzekerheid over het effect van een verharding op de effectiviteit van een tweede waterkering wordt deze niet meegenomen in de beoordeling van de bekleding.

Ook over het ballastbed van spoorwegen in relatie tot het waterkerend vermogen is weinig bekend. Enkele algemene opmerkingen kunnen worden gemaakt.

Bij een kleine hoeveelheid overslaand water kan dit water gemakkelijk via het ballastbed het dijklichaam binnenstromen. Infiltratie vindt voornamelijk verticaal plaats. Dit infiltratiepatroon heeft een negatieve invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit [GD 2001 b].

Als het overslagdebiet groter wordt kunnen de losse stenen uit het ballastbed met de stroom mee worden gevoerd. Langs de dwarsverbindingen zullen grotere stroomsnelheden en turbulentie optreden waardoor erosie van het ballastbed 'gemakkelijker' optreedt. De stenen rollen over het binnentalud naar beneden waarbij ze beschadigingen aan de bekleding veroorzaken. Erosie van het binnentalud is het gevolg.

De invloed van de spoorrails op de waterkerendheid is niet bekend. Vermoedelijk is deze verwaarloosbaar.

5 Geometrie, ondergrond en waterspanningen

Een bezwijkmechanisme van een waterkering is afhankelijk van geometrie, ondergrond en opbouw van het grondlichaam. De laatste twee aspecten bepalen ook mede de waterspanningen in en rondom de potentiële waterkering. In de Leidraad Toetsen op Veiligheid (van primaire waterkeringen) worden voor verschillende bezwijkmechanismen profielen met veilige afmetingen gegeven. Bij tweede waterkeringen is de belasting kleiner dan bij primaire waterkeringen waardoor een aantal bezwijkmechanismen waarschijnlijk niet zullen optreden. Hierop wordt in paragraaf 5.1 ingegaan.

Bijzondere omstandigheden in de opbouw van het grondlichaam kunnen zowel een positieve als negatieve bijdrage leveren aan de waterkerendheid. Hierop wordt in paragraaf 5.3 en 5.4 ingegaan.

5.1 Bezwijkmechanismen

In de leidraad Toetsen op Veiligheid wordt het waterkerend vermogen gekenmerkt door de kruinhoogte en de stabiliteit. Voor de stabiliteit wordt verder onderscheid gemaakt tussen binnen- en buitenwaartse stabiliteit, piping of heave en microstabiliteit.

5.1.1 Kruinhoogte

In het vorige hoofdstuk is een manier aangegeven om de maximale inundatiediepte bij een bepaalde kruinhoogte te bepalen. De kruinhoogte voldoet daarmee aan de eisen voor waterkerendheid.

5.1.2 Stabiliteit

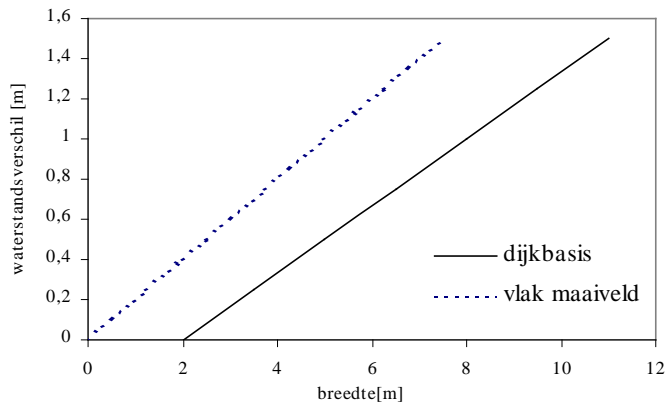
Naast de kruinhoogte is stabiliteit belangrijk voor de functie van waterkering. Voor stabiliteit wordt in de LTV onderscheid gemaakt tussen binnen- en buitenwaartse stabiliteit, piping of heave en microstabiliteit.

Voor de bepaling van de stabiliteit van tweede waterkeringen worden de volgende aannamen gemaakt:

- 1 Piping treedt bij regionale keringen niet zo snel op als bij primaire waterkeringen. Bij regionale waterkeringen ligt een intredepunt van een kwelweg vaak ver van de dijk. Alleen bij een dunne afdeklaag, waar de bodem van een teensloot van een regionale kering in een zandlaag steekt, kan piping optreden. Deze situatie is in deze studie niet meegenomen.
- 2 Regionale keringen zijn over het algemeen oude dijken. Voor 1953 werden dijken opgebouwd uit klei. Tijdens ophogingen van een dijk werd voor de weg op de kruin vaak puin gebruikt. Microinstabiliteit treedt niet op bij kleidijken. In deze studie wordt verondersteld dat regionale waterkeringen kleidijken zijn waarbij geen microstabiliteit optreedt.
- 3 Microinstabiliteit treedt niet op bij wegen en spoorwegen. Uit [GD 2001 b] blijkt dat het restprofiel van deze lijnobjecten vaak voldoende is. Bovendien is voldoende drainage in deze objecten aanwezig om microinstabiliteit te voorkomen.
- 4 Zettingsvloeiingen treden niet op. Regionale waterkeringen en andere lijninfrastructuurelementen liggen op dusdanige afstand van het buitenwater dat een zettingsvloeiing niet waarschijnlijk is.
- 5 Buitenwaartse macroinstabiliteit is niet van belang. Een snelle val van het hoogwater is niet te verwachten. Immers, het inundatiegebied is groot en het leeglopen duurt daarom lang. Tijdens het leegpompen kan, indien nodig, rekening worden gehouden met buitenwaartse macroinstabiliteit.

Uit het bovenstaande blijkt dat alleen binnenwaartse macrostabiliteit van belang is voor de stabiliteit van tweede waterkeringen, regionale waterkeringen of andere lijninfrastructuur objecten. Voorgesteld wordt om voor de toetsing op binnenwaartse macrostabiliteit de Leidraad Toetsen op Veiligheid aan te houden. Hierin wordt allereerst een profiel met veilige afmetingen gegeven.

Van belang voor het veilige profiel zijn de kruinbreedte, de helling van het binnentalud en de verhouding tussen de dikte van het slappe lagenpakket en de hoogte van het aardebaanlichaam boven maaiveld.



Figuur 5.1 Minimale afmetingen bij toetsing binnenwaartse macrostabiliteit (talud 1:1)

Voor het meest pessimistische scenario (een taludhelling van 1:1 en een dikte van het slappe lagenpakket, die minimaal 2 maal de hoogte van de aardebaan boven maaiveld) bedraagt de minimale breedte 2 + 6 maal de waterkerende hoogte. Daarnaast dient aan de binnenzijde van de dijk over een lengte van minimaal 5 maal de waterkerende hoogte een vlak maaiveld aanwezig te zijn. Binnen deze lengte mag wel een teensloot aanwezig zijn. In bovenstaande figuur is voor het meest pessimistische scenario het toelaatbare waterstandsverschil tegen de minimale breedte van de waterkering uitgezet.

Indien hier niet aan wordt voldaan dient voor een voldoende score voor de effectiviteit van tweede waterkeringen de procedure zoals die is gegeven in de LTV te worden doorlopen.

5.2 Waterspanningen

Naast de geometrie en ondergrond zijn de aanwezige waterspanningen belangrijk voor de sterkte van een tweede waterkering of als zodanig werkend ander lijnobject.

Hoe hoger de freatische lijn in het grondlichaam hoe minder de stabiliteit van de constructie. Bij een hogere freatische lijn nemen de waterspanningen toe en de korrelspanningen af. De (macro)stabiliteitsfactor neemt dan ook af. Daarnaast neemt bij een hogere freatische lijn in de dijk de kans op microinstabiliteit toe.

Indien het grondlichaam een waterkerende functie heeft, en continu water tegen het grondlichaam staat, loopt de freatische lijn in de dijk globaal van kanaalpeil aan de buitenzijde tot slootpeil ter plaatse van de teensloot. De lijn is bol of hol, afhankelijk van de grondopbouw doorlatendheid en drainage van het grondlichaam.

Bij een droge waterkering van klei ligt de initiële freatische lijn in de dijk iets hoger dan polderpeil. Hoe breder de dijkbasis van de dijk dat wil zeggen hoe groter de afstand tussen de (teen)sloten hoe hoger de opbolling en dus hoe hoger de freatische lijn in de dijk. De grond

boven de freatische lijn is gestructureerd waardoor het water gemakkelijk in en door de dijk heen kan stromen.

De drainage, doorlatendheid en de aanwezigheid van een teensloot bepalen het verloop van de waterspanningen in de tijd als er water tegen het object aanstaat.

Bij wegen en spoorwegen is zoveel drainage aanwezig dat de freatische lijn minimaal 1,0 (weg) à 1,8 m (spoorweg) onder de kruin ligt. Het grondlichaam is opgebouwd uit zand, in tegenstelling tot waterkeringen die meestal uit klei zijn opgebouwd. Hierdoor kan de freatische lijn na een calamiteit in de dijk snel stijgen. Het water kan echter ook snel uit de dijk lopen, vooral doordat het grondlichaam goed gedraineerd is. Er zijn te weinig gegevens bekend over waterspanningen in grondlichamen van waterkerende wegen en spoorwegen.

Waterspanningen in een waterkering spelen een belangrijke rol bij alle faalmechanismen, m.u.v overslag, zettingsvloeiing en piping. Impliciet zijn de waterspanningen in een waterkerend grondlichaam daarom al meegenomen bij de beoordeling van de stabiliteit van de kering. In de beoordeling wordt niet verder ingegaan op waterspanningen in het grondlichaam.

5.3 Funderingsconstructie

Met name lijninfrastructuurobjecten kennen verschillende funderingsconstructies. Genoemd worden

- Doorpersingen;
- zandcunetten;
- paalfunderingen;
- geotextiel;
- EPS constructies.

Met name EPS constructies kunnen bezwijken indien de lijninfrastructuur als waterkering moet dienen. Door de het stijgen van de grondwaterstand in het grondlichaam kan de EPS constructie op- en wegdrijven. Naast EPS worden ook andere lichte ophoogmaterialen (geëxpandeerde kleikorrels, flugzand, ...) toegepast. Deze lichte ophoogmaterialen zijn meestal zwaarder dan water zodat opdrijven kan worden uitgesloten.

Funderingsconstructies waarbij de oorspronkelijke grondslag wordt vervangen door zand, zoals bij cunetten en doorpersingen vergroten het watervoerend vermogen door de grondconstructie. Meer water zal door de constructie stromen. Mechanismen, zoals piping of microinstabiliteit zullen sneller optreden. Voor macrostabiliteit is een cunet of doorpersing echter gunstig. Een paalfundering zal in het algemeen een positieve invloed hebben op de waterkerendheid van een grondconstructie.

Geotextiel wordt in de wegebouw toegepast voor belastingspreiding. Daarnaast kan geotextiel de stabiliteit van een constructie vergroten. Een geotextiel zal in het algemeen een positieve bijdrage leveren aan de stabiliteit en daarom ook aan het waterkerend vermogen van een wegconstructie.

5.4 Historische dijkdoorbraken

In sommige waterkeringen zijn sporen te zien van historische dijkdoorbraken (bijvoorbeeld wielen). De sterkte van de dijk was bij die historische belasting te klein. Op de zwakste plek is de dijk doorgebroken. Hierdoor is de belasting op het resterende deel van de dijk verminderd. Dit wil niet zeggen dat de rest van de dijk wel sterk genoeg was.

De bressen zijn destijds zo snel mogelijk gedicht. Aangenomen wordt dat daarbij al het materiaal voorhanden was, is gebruikt. Dit betekent dat ter plaatse van historische doorbraken

potentieel zwakke plekken in de dijk zitten. In het verslag van de watersnoodramp uit 1916 wordt melding gemaakt van doorbraken op lokaties waar in het verleden ook doorbraken hebben plaatsgevonden.

In deze studie wordt aangenomen dat historische doorbraken in een regionale waterkering aangeeft dat de kering zwak is. Deze aanname zal in fase 4 worden gecontroleerd.

Voldoet het profiel aan het profiel van veilige afmetingen	
ja:	F3=1
nee	F3=0
Elementen funderingsconstructie:	
Grondverbetering	ja: x1=0,5, nee: x1=0
Paalfundering	ja: x2=1, nee: x2=0
Geotextiel	ja: x3=0,5, nee: x3=0
EPS constructie	ja: x4=-1, nee: x4=0
Indien:	x1+x2+x3+x4 > 0 F1=1
	x1+x2+x3+x4 = 0 F1=0
	x1+x2+x3+x4 < 0 F1=-1
Is er in het verleden een doorbraak van de kering opgetreden?	
Ja:	F2=-1, nee F2=0
Score geometrie en ondergrond:	
voldoende als F1+F2+F3 >0	
onzeker als F1+F2+F3=0	
slecht als F1+F2+F3<0	

Figuur 5.2 Beoordelingsschema geometrie, ondergrond en waterspanningen

6 Vreemde elementen

Vreemde elementen in en op de dijk of (spoor)weg leiden tot zwakke plekken in het betreffende object. Een obstakel op een lijnobject leidt bij overslag en overloop tot vergroting van de belasting door grotere stroomsnelheden en turbulentie. Daarnaast is de aanwezigheid van een niet waterkerend object in de dijk gevaarlijk uit het oogpunt van piping, kwel, stabiliteit en beheersveiligheid. De meest voorkomende elementen zijn hieronder opgesomd:

- Bebouwing (huizen, tuinschuren enzovoort);
- aansluitingen duikers / viaducten (wegen en spoorwegen);
- kabels en leidingen (loodrecht en evenwijdig aan het lijnobject);
- geluidsschermen langs wegen en spoorwegen.
- bomen

6.1 Bebouwing

Vooraf langs slaperdijken en andere regionale keringen komt om allerlei historische redenen veel bebouwing voor. Soms heeft de bebouwing langs een kering zelfs een landschappelijke waarde.

Naast de constructie zelf zijn ook op- en afritten, aansluitingen van nutsleidingen, riolen, putten en tuintjes van belang voor de waterkerendheid van constructies.

Ook bij wegen en spoorwegen staat soms bebouwing in of vlak bij het talud. Vaak betreft het hier kleine constructies zoals transformatiehuisjes e.d.

Bebouwing kan een negatieve invloed hebben op de waterkerendheid van een lijnelement. Langs of door de fundering kan een kortere kwelweg ontstaan. Daarnaast kan de stabiliteit van het grondlichaam negatief worden beïnvloed. Tenslotte heeft bebouwing een sterke invloed op de stroming bij overloop en overslag waardoor sneller schade aan de bekleding zal ontstaan. Juist ter plaatse van de aansluiting met het gebouw vertoont de bekleding vaak zwakke plakken.

6.2 Aansluitingen duikers, bruggen, aqua-, viaducten

Duikers, bruggen, aqua- en viaducten zijn zwakke schakels in een lijnobject die als waterkering moeten functioneren. Niet alleen omdat dit gaten zijn in de waterkering die (handmatig) afgesloten moeten worden maar ook doordat de aansluiting met de grondconstructie een zwakke schakel is. Door verzwakking van de bekleding kunnen bijvoorbeeld ongewenste waterspanningen en stromingen in het dijklichaam ontstaan.

Tijdens wateroverlast door extreme neerslag in oktober 1998 in Oost Groningen is besloten twee polders onder water te zetten. Door één van de polders, de Tussenklappenpolder loopt een spoordijk. Tijdens de inundatie van de polder zijn duikers in de spoordijk enkele meters opgeschoven en is ter plaatse van de duikers een bres ontstaan [video HKVlijn in water]. Overigens is de polder volgens planning ondergelopen en waren de duikers niet afgesloten.

6.3 Kabels en leidingen

Ook de aanwezigheid van kabels en leidingen in het dijkprofiel zijn een verzwakking van het dijklichaam. Zij kunnen bijdragen aan kwelproblemen of in geval van een evenwijdige leiding de stabiliteit beïnvloeden. Dit wordt ook onderkend in de Leidrad Toetsen op Veiligheid. Stabiliteit speelt overigens vooral een rol bij de aanleg van de leiding en in mindere mate tijdens de gebruiksfase.

Tijdens de aanleg van gasleiding onder het A.G. Wildervanckkanaal in 1992 ontstond een doorgaande verbinding (kwelweg) tussen het kanaal en de Tussenklappenpolder. Binnen enkele ogenblikken was de kade langs het kanaal ondermijnd en doorgebroken.

In de beoordeling in genoemde leidraad wordt onderscheid gemaakt tussen lage - en hoge drukleidingen. Lage drukleidingen, in goede conditie, scoren voldoende als de diameter kleiner is dan 0,5 m. Voor hoge drukleidingen geldt een uitgebreidere toetsing, met sterkteberekening, doordat de leidingen zelf, onafhankelijk van de buitenwaterstand, een potentieel gevaar vormen voor de waterkering. Bij de beoordeling van tweede waterkeringen wordt vooralsnog geen onderscheid gemaakt tussen hoge- en lage drukleidingen. Verwacht wordt dat veel hoge drukleidingen tijdens een calamiteit worden afgesloten. Indien dit niet het geval is de kans groot dat door vervormingen van het grondlichaam de leiding bezwijkt en een bres in de tweede waterkering veroorzaakt. Het al of niet afsluiten van de leiding is vaak afhankelijk van een calamiteitenplan.

Indien de kabels en leidingen in de tweede waterkering een diameter kleiner dan 500 mm hebben, wordt verwacht dat hun aanwezigheid in een lijnobject geen probleem is voor een eventuele waterkerende functie. Voorwaarde is wel dat geen doorgaande kwelweg langs de leiding kan ontstaan. De gevoeligheid voor kwel langs de kabel of leiding is sterk afhankelijk van de aanlegmethode. Een leiding aangelegd met een persing of een open sleuf methode is gevoeliger voor kwel dan een geboorde leiding. Geboorde leidingen liggen meestal dieper waardoor de kwelweglengte langer wordt. Gebruik van een mantelbuis met open einden beïnvloedt het optreden van kwel sterk. Het toepassen van kleikisten vermindert de kans op kwelproblemen.

Voor leidingen met een grotere diameter wordt in de LTV een sterkteberekening gevraagd.

6.4 Geluidsschermen

Langs wegen en spoorwegen staan dikwijls geluidsschermen. Deze schermen hebben een grote invloed op het inundatiepatroon. Voor berekeningen van overstromingsscenario's dienen zij als lijnelementen te worden ingevoerd. Daarbij dient de hoogte van het lijnelement afhankelijk te zijn van de maximale (water + wind) belasting die een geluidsscherm kan verdragen.

Nadat een geluidsscherm is bezweken, wordt ervan uitgegaan dat ook de weg of spoorweg niet meer als waterkering functioneert. De waterstand is immers gestegen tot boven de kruinhoogte van het betreffende grondlichaam. Overloop veroorzaakt dan snel schade aan de grondconstructie.

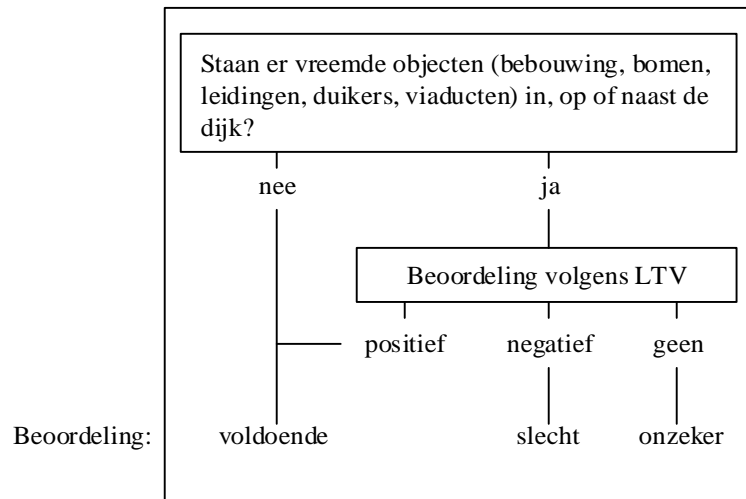
6.5 Bomen

Door ontworteling van bomen kan schade aan tweede waterkeringen ontstaan. Indien het omwaaien van bomen tegelijkertijd met de inundatie van de polder plaats vindt, kan ontworteling negatieve gevolgen hebben voor de effectiviteit van de tweede waterkering. In het bovenrivierengebied is deze situatie niet aannemelijk. In het benedenrivierengebied is deze combinatie wel mogelijk. Erosie van het gat kan dan tot snelle bresvorming leiden. Afhankelijk van de locatie van de boom heeft ontworteling invloed op piping en stabiliteit.

6.6 Beoordeling vreemde elementen

Zoals reeds opgemerkt leiden vreemde elementen in en op de dijk of (spoor)weg tot zwakke plekken in het betreffende waterkerende object. Dit wordt onderkend in de Leidraad Toetsen op Veiligheid. Uitgebreide beoordelingen met betrekking tot de veiligheid worden in deze leidraad gegeven. Voor de beoordeling van de effectiviteit wordt in eerste instantie alleen naar de aanwezigheid van deze objecten gekeken. Indien de elementen aanwezig zijn resulteert dat in

een negatieve beoordeling. Indien de objecten vervolgens getoetst worden aan de LTV kan deze negatieve beoordeling, afhankelijk van het resultaat, worden bijgesteld.



Figuur 6.1 Beoordelingsschema vreemde elementen

Literatuur

GD 2000,
Projectplan: Gedrag van secundaire waterkeringen
GeoDelft, augustus 2000

GD 2001 b,
Dijkdoorbraakprocessen
Beschrijving inintierende Faalmechanismen, Doorbraakprocessen en Reststerkte
CO-720201/26 – GeoDelft, september 2001

Rijkswaterstaat 1916,
Verslag over den stormvloed van 13/14 januari 1916,
Rijkswaterstaat, Gebrs. J.&H. van Langenhuysen, `s Gravenhage, 1916

Bijlage 1 Achtergrond beoordeling bekleding

De beoordeling van de bekleding bestaat uit het vergelijken van belasting en sterkte.

belasting

Twee categorieën belasting worden onderscheiden:

- In de golfklapzone wordt de belasting bepaald door golfklappen. De grote van de golfklappen wordt bepaald door de significante golfhoogte aan de teen van de dijk, de golfperiode en de taludhelling.
- In de overige zone's bestaat de belasting uit de maximaal optredende stroomsnelheid.

Golfklapzone

Bij een zeer lage golfbelasting ($4 H_r \tan \alpha < 0,2 \text{ m}$) is de score volgens de LTV van de buitenbekleding voor golfklappen altijd voldoende, afhankelijk van het zandgehalte soms zelfs goed. Daarnaast wordt opgemerkt dat golven tot een hoogte van 0,75 m in de golfklapzone geen schade aanrichten bij een gelijkmatig gesloten grasmat met een hoge worteldichtheid. Uit de praktijk blijkt dat er grasmatten zijn die golfhoogten groter dan 0,75 m kunnen weerstaan.

De golfhoogte is afhankelijk van de strijklengte, de windsnelheid en inundatiediepte. Met behulp van de formules van Brettschneider kan bij een opgegeven windsnelheid, inundatiediepte en maximale golfhoogte de maximale strijklengte worden bepaald.

Voor de beoordeling van tweede waterkeringen wordt aangenomen dat een grasmat in een goede een belasting van $4 H_r \tan \alpha = 0,75 \text{ m}$ kan weerstaan. Voor een grasmat in een slechte conditie wordt een maximale belasting aangenomen van $4 H_r \tan \alpha = 0,2 \text{ m}$. Deze belastingcategorieën worden afgeleid uit de beoordeling van grasbekledingen in de LTV.

kwaliteit grasmat	$4 H_s \tan \alpha <.. \text{ m}$			
	1,0 m	0,75 m	0,25 m	0,2
goed	5 uur	9 uur	80 uur	>>
matig	0 uur	5 uur	38 uur	>>
slecht	0 uur	0 uur	0 uur	>>

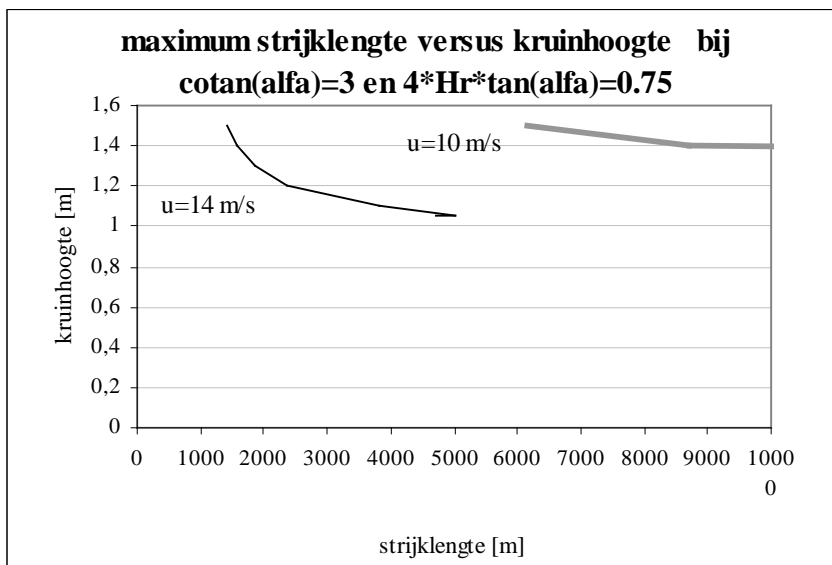
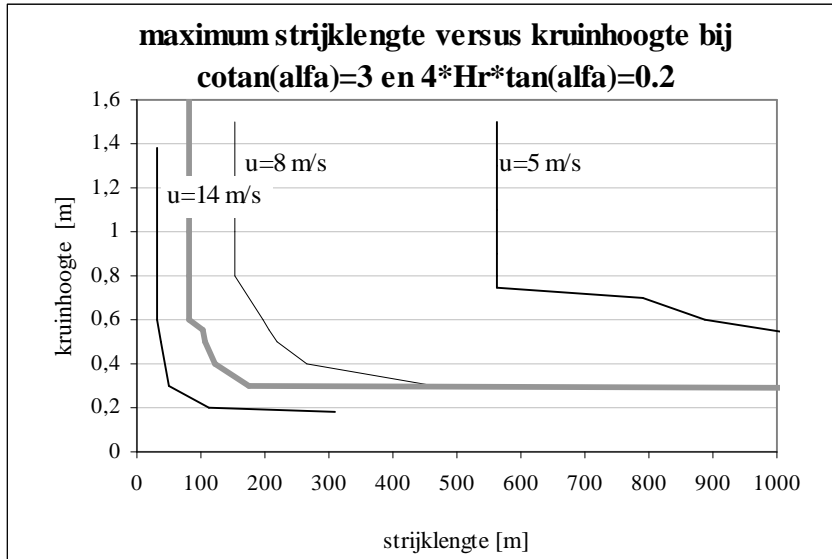
Voor de vertaling van deze categorieën moet rekening worden gehouden met het feit dat de LTV toetst op veiligheid en daarom zeer veilige schattingen geeft.

De grasmat bestaat uit verschillende onderdelen. Zo kan de grasmat worden onderverdeeld in een graszode en een kleilaag onder de zode. De sterkte van de zode wordt sterk beïnvloedt door het beheer van de grasmat. In de LTV worden vier beheersklassen onderscheiden. Bij elke klasse hoort een bepaalde worteldichtheid. Samen met de bedekkingsgraad geeft deze inzicht in de kwaliteit van de zode. Voor regionale keringen wordt verwacht dat de zode zich in klasse B of C bevindt. Bij (spoor) wegen wordt eerder een klasse C of D van de zode verwacht. Een nauwkeurige classificatie kan worden verkregen door een gedetailleerde toets. Deze toets bestaat uit het opzetten van een inventarisatie van de begroeiing en het meten van de worteldichtheid.

Om de erosiegevoeligheid van de onderliggende kleilaag te bepalen wordt de vloeigrens, de plasticiteitsindex en het zandgehalte van deze grond vastgesteld. Afhankelijk hiervan wordt een categorie 'erosiebestendig' tot 'weinig erosiebestendig' aan de onderliggende grondlaag gegeven. Vanwege het hoge zandgehalte van spoorwegen en de meeste andere wegen hebben deze lijninfrastructuurobjecten een

wenig erosie bestendige bekleding. Bij wegen in het benedenrivierengebied, die in een canal zijn aangelegd, is veelal de verwijderde top laag gebruikt voor de berm. Verwacht wordt dat deze matig erosiebestendig zal zijn. Bij regionale keringen kan de erosiebestendigheid sterk variëren. Vooral nog wordt uitgegaan dat regionale keringen ook matig erosiebestendig zijn.

De golfbelasting wordt bepaald door de windsnelheid, strijklengte, inundatiediepte en taludhelling. In onderstaande grafieken is de maximum strijklengte ten opzichte van de inundatiediepte voor verschillende windsnelheden uitgezet voor $4 H_r \tan \alpha = 0,2 \text{ m}$ en $4 H_r \tan \alpha = 0,75 \text{ m}$ bij een taludhelling van 1:3.



Windkracht 3 Beaufort komt overeen met een windsnelheid van 5 m/s, windkracht 5 met 10 m/s en windkracht 7 met 15 m/s. Als representatieve windsnelheid voor de beoordeling van de bekleding van tweede waterkeringen is arbitrair gekozen voor 10 m/s (windkracht 5). Argumenten voor deze keuze is de beperkte stormduur en de correlatie tussen overstromingen en stormen. Daarnaast is de strijklengte in een

gemiddeld gebied moeilijk te bepalen. Bomen, struiken, huizen, etc hebben invloed op zowel de windsnelheid boven het water als de strijklengte waardoor deze snel wordt overschat.

Hiermee zijn belastingcategorieën I-III ontstaan waaraan de verschillende grasmatten aan moeten voldoen (zie onderstaande grafieken).

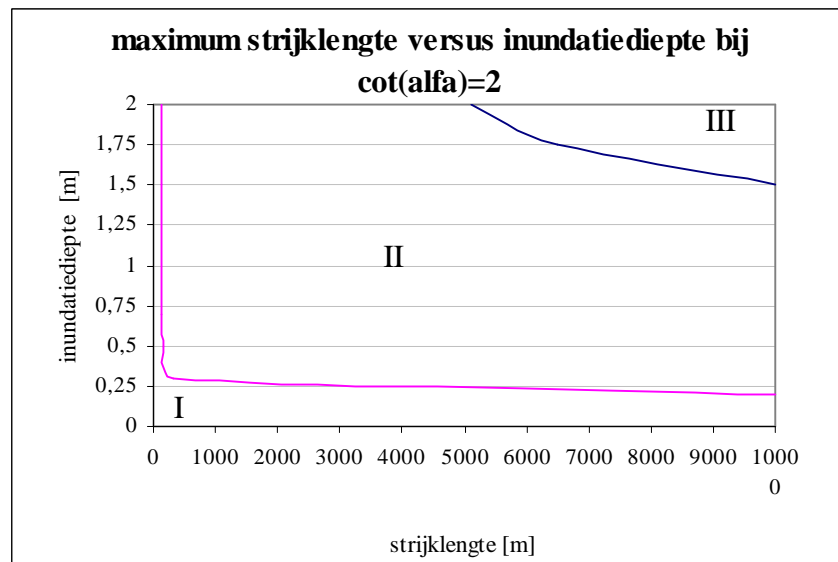
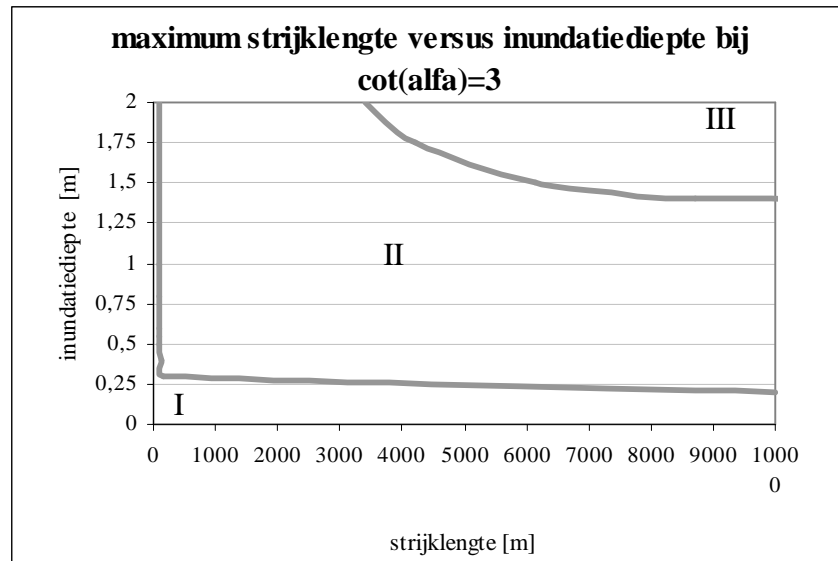
Een voldoende beoordeling van de buitenbekleding van tweede waterkeringen geldt voor:

- Een goede grasmatt en belasting $4 H_r \tan \alpha < 0,75$ m;
- Een slechte of redelijke grasmatt en een maximale belasting $4 H_r \tan \alpha < 0,2$ m.

Een onzekere beoordeling geldt voor:

- Een redelijke grasmatt en een belasting $4 H_r \tan \alpha < 0,75$ m.

Voor alle overige gevallen geldt een slechte beoordeling.



Voor het binnentalud geldt in de LTV een maximaal toelaatbaar debiet van 0,1 l/m/s. Bij een grotere debiet is er een kans dat de bekleding wordt beschadigd en erosie van het grondlichaam plaats vindt. Het overslagdebiet bepaald de benodigde waakhogte en daarmee minimaal benodigde kruinhoogte. Voor een

redelijke tot goede grasmat (type II), waarvoor een belasting 4 m , tanz kleiner dan $0,75$ geldt, dient de kruinhoogte 1,6 maal de inundatiediepte te bedragen. Voor een slechte grasmat (type I) bedraagt de waakhoogte minimaal $0,15 \text{ m}$.

Uit bovengenoemde beschouwing over de minimale waakhoogte kan de maximale inundatiediepte worden afgeleid waarbij de bekleding nog functioneert als bescherming van het onder- of achterliggende kernmateriaal en het leveren van voldoende waterdichtheid aan de kering.

Opgemerkt wordt dat de Leidraad Toetsen op Veiligheid een methode is om de veiligheid te beoordelen en niet om aan te geven wanneer een constructie zal falen. Een onvoldoende score wil niet zeggen dat de waterkering zal falen. Ook wordt reststerkte van de waterkering slechts in beperkte mate meegenomen. In werkelijkheid zal een waterkering nog een tijd functioneren nadat de bekleding is verdwenen.