

technische adviescommissie
voor de waterkeringen



Handreiking Constructief ontwerpen

Onderzoek en berekening
naar het constructief ontwerp
van de dijkversterking

Handreiking Constructief ontwerpen

**Onderzoek en berekening
naar het constructief ontwerp
van de dijkversterking**

**technische adviescommissie voor de waterkeringen
April 1994**

Voorwoord

Deze publicatie is een handreiking van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen aan de beheerder van rivierdijken bij zijn streven naar een volwaardig meewegen van landschap, natuur en cultuur bij het verbeteren van de dijk. De gehele handreiking bestaat uit vijf delen: 'visie-ontwikkeling', 'inventarisatie en waardering LNC-aspecten', 'beleidsanalyse', 'constructief ontwerpen' en 'ruimtelijk ontwerpen'. Voor het beheer is geen nieuwe handreiking gemaakt omdat hierin al was voorzien met de publicatie van Dr.L.M.Fliervoet in 1992: Aanleg en beheer van grasland op rivierdijken, uitgegeven door de Unie van Waterschappen. In diverse handreikingen zijn wel aanvullingen hierop opgenomen.

De minister van Verkeer en Waterstaat heeft de TAW opgedragen om deze nieuwe benadering van de dijkverbetering uit te werken volgens de aanbevelingen van de Commissie Boertien, die inmiddels zijn overgenomen door de Regering en Tweede Kamer. De gekozen benadering gaat ervan uit dat de dijk er is om ons te beschermen, maar tevens door zijn bijzondere vorm, ligging en geschiedenis ook andere functies heeft voor plant, dier en mens.

Onze samenleving, op zoek naar duurzaamheid, staat nu voor de opgave om de dijkbeheerder in staat te stellen zijn verantwoordelijkheid voor onze veiligheid te dragen, hem te helpen bij en hem te toetsen op de zorg voor die andere functies. Meer groepen voelen zich betrokken bij behoud en nieuwe ontwikkeling van waarden op en aan de dijk. Daardoor ontstaat bij een open besluitvormingsproces een breed draagvlak voor de keuzen die uiteindelijk worden gemaakt. Essentieel daarbij is de toegankelijkheid van kennis en informatie en de openbare discussie over de te maken keuzen. De ervaring die hierover is opgedaan bij milieu-effectrapportage kan worden benut nu die procedure ook bij de dijkverbetering wordt gevolgd.

Deze 'groene' versie van april 1994 moet zijn bruikbaarheid in de praktijk bewijzen. In de uiteindelijke versie worden gebleken tekorten aangevuld.

Dr.J.Th.de Smidt

voorzitter TAW projectgroep D-10: 'De dijk in het rivierenlandschap'

Prof. dr. ir. A. Verruijt,

voorzitter TAW projectgroep B: 'Constructief'

Ten geleide

Voorjaar 1993 nam de regering het advies van de 'commissie Boertien' vrijwel ongewijzigd over. De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen heeft toen opdracht gekregen gereedschappen te ontwikkelen om de aanbevelingen van 'Boertien' goed hanteerbaar te maken voor de praktijk. Daaruit zijn 'handreikingen' voortgekomen, omdat de 'leidraden' van voorheen te veel als voorschrift opgevat zijn; De handreikingen geven aan welke keuzen gemaakt moeten worden en hoe dat op een gestructureerde manier kan. Waar men voor moet kiezen wordt niet aangegeven omdat de uitkomst van het keuzeproces voor elk dijktraject verschilt.

De vijf handreikingen (visie-ontwikkeling, inventarisatie en waardering LNC-aspecten, beleidsanalyse, constructief ontwerpen, ruimtelijk ontwerpen) zijn informatiebronnen voor beheerder en gebruiker van de dijk, voor bestuurder en adviseur. Het klinkt paradoxaal, maar de belangrijkste informatie bestaat uit vragen. Twee soorten vragen moeten worden beantwoord om aan het eindpunt van het ontwerpproces tot een plan te komen. "Wat is er?" en "Wat wil ik?" De vraag wat er is (de bestaande situatie) wordt met inventarisaties beantwoord. De vraag wat men van de gewenste toestand kan realiseren wordt met behulp van beleidsanalyse beantwoord. Die methode helpt de complexe weg te structureren waarlangs het antwoord moet worden gevonden.

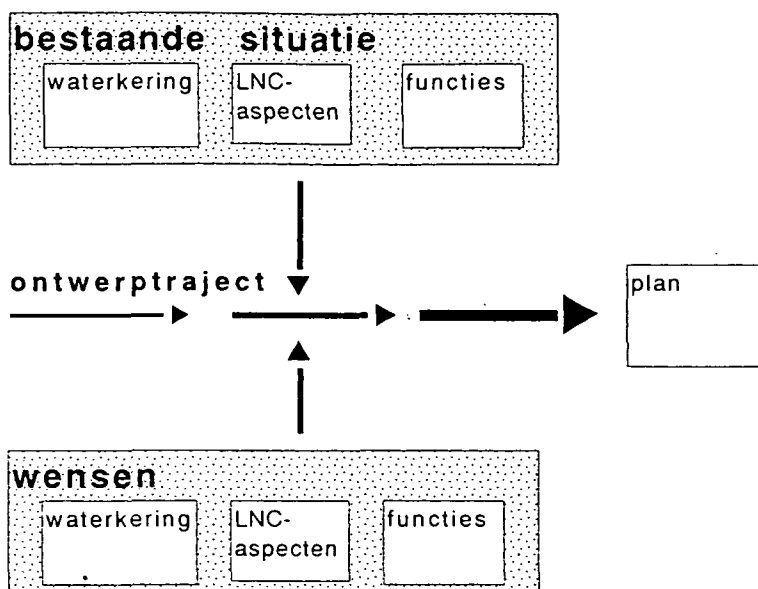
Natuur en techniek stellen grenzen aan wat men kan willen. Die grenzen moeten worden afgetast met kennis van landschap, natuur en cultuur (LNC) en van techniek. Ook worden grenzen gesteld door het verschil in wensen tussen mensen onderling. Het aftasten van die grenzen gaat met geven en nemen in een openbaar debat.

De beantwoording van deze vragen moet leiden tot een vorm van dijkverbetering die veiligheid integreert met natuur en leefbaarheid. Voor elk dijktraject moeten de vragen opnieuw worden beantwoord. Het eigene, bijzondere of karakteristieke van de dijk en zijn omgeving is per dijktraject zodanig verschillend dat geen standaardrecept is te geven voor de weg van inventarisatie via waardering naar behoud en ontwikkeling.

De handreikingen zijn niet meer dan een gereedschap. Ze zijn hulpmiddel voor het proces van ontwerpen dat uitmondt in het plan.

Dat proces begint al in de visie-ontwikkeling. Steeds worden de bestaande toestand en de wensen met elkaar geconfronteerd. In nevenstaande figuur wordt het ontwerpproces aangeduid met de pijl die dun in de visie begint en zich steeds meer prononceert in de richting van het plan. De confrontatie tussen bestaande en gewenste toestand wordt in de figuur verbeeld door de bovenste en onderste rij blokken. In de blokken bevindt zich kennis over de constructie van de dijk, de LNC-aspecten van de dijk en zijn omgeving en over de andere maatschappelijke functies van de dijk. Het ontwerpproces van visie tot plan wordt gevoed met kennis uit de blokken. Naarmate er meer kennis is, kan er beter worden geformuleerd wat er kan en wat men wil. Hierdoor kunnen gericht keuzen worden gemaakt.

Het vullen met kennis van de blokken geschiedt met behulp van de 'handreiking inventarisatie en waardering LNC-aspecten' en de 'handreiking con-



structief ontwerpen'. De 'handreiking beleidsanalyse' helpt bij het maken van de keuzen. De beleidsanalytische methode structureert het genereren en vergelijken van complex samengestelde keuzemogelijkheden. Ook de twee overige handreikingen (visie-ontwikkeling en ruimtelijk ontwerpen) zijn afgestemd op het complexe karakter van de dijkversterking; de een aan het begin van het proces, de ander voor het gehele ontwerpproces tot aan het eind.

Voor de eerste stap in dit proces geeft de '**handreiking visie-ontwikkeling**' houvast. De visie verwoordt wat de karaktertrekken zijn van het traject, waar men warm voor loopt, waar men aan gehecht is, waarvoor men zich verantwoordelijk voelt. Maar ook, wat een doorn in het oog is omdat het de leefbaarheid of de natuur aantast. De benadering is veelzijdig en omvat de rivier, het land, plant, dier en mens, hun historie en de kansen voor de toekomst. Dit veronderstelt de aanwezigheid van een zekere kennis. De sturing aan het verdere proces wordt gegeven door het benoemen van de hoogste waarden, de meest knellende punten en de liefste wensen. De visie stuurt ook door het maken van de keuzen over wat vooral geïnventariseerd moet worden (en wat dus niet), welke alternatieven en hun effecten uitgewerkt moeten worden (en welke dus niet) en wat in het uiteindelijk ontwerp zeker aan bod moet komen (en wat dus niet). Het bovenstaande beschrijft precies wat in de startnotitie moet staan voor de milieu-effect rapportage. De visie voorziet daarmee in dit voor de m.e.r. vereiste document. De andere handreikingen hebben een minder afgebakende positie in het planproces.

De '**handreiking inventarisatie en waardering LNC-aspecten**' bestaat uit twee delen. Het eerste deel richt zich op de beschrijving van de bestaan-

de toestand voor de aspecten landschap, natuur en cultuurhistorie. Dank zij twintig jaar ervaring in de provincies met milieu-inventarisaties kan nu een methode voor inventariseren worden aangeboden. Daardoor is 'inventarisatie' samen met 'constructief ontwerpen' het meest concrete deel van de handreikingen.

De inventarisatie is de beschrijving van LNC volgens geijkte methoden. De waardering in het tweede deel van de handreiking is daarentegen grotendeels een stap in het onbekende. Per project moet worden bepaald welke waarde aan de bij de inventarisatie gevonden organismen en objecten moet worden toegekend. Voor een klein deel is houvast te vinden in de lijsten van bedreigde soorten, monumenten, natuurreservaten en beschermde dorps- en stadsgezichten. Die bezitten een reeds geautoriseerde waarde. Echter, aan verreweg de meeste levende wezens en dingen in het landschap is nog geen waarde toegekend volgens een officiële procedure. Voor elk traject en project moet dat dus nog gedaan worden. Omdat waarde een eigenschap is die wordt toegekend en die dus niet zelfstandig door een organisme of een landschapselement wordt ontwikkeld, is waarde per definitie subjectief. Dit is geen diskwalificatie maar het vergt daardoor wel de inbreng van zoveel mogelijk betrokken personen (subjecten) om voldoende maatschappelijk draagvlak te verkrijgen. De TAW doet voor deze moeilijke stap een handreiking in de vorm van parameters waardoor de in een dijktraject aangetroffen LNC aspecten getalsmatig kunnen worden uitgedrukt. Deze parameters, zoals zeldzaamheid of kenmerkendheid zijn eigenschappen van het rivierdijkenlandschap en zijn uitgekozen omdat ze bruikbaar worden geacht als maat voor het bijzondere, eigene en kwetsbare. Deze parameters houden het proces doorzichtig en toetsbaar. De waardetoekenning ontkomt echter niet aan een laatste stap van subjectieve keuze.

De **'handreiking beleidsanalyse'** biedt een methode voor het ontwikkelen en voor het afwegen van alternatieven. De methode voor het ontwikkelen van alternatieven is erop gericht om het gehele complexe veld van mogelijke dijkverbeteringen hanteerbaar te houden en te reduceren tot een beperkt aantal essentieel verschillende alternatieven, terwijl er geen alternatieven over het hoofd gezien worden die achteraf van belang kunnen zijn. De methode voor het afwegen van alternatieven maakt het mogelijk om met veel eigenschappen en functies tegelijk rekening te houden, terwijl ondanks de complexiteit het overzicht behouden blijft. Daardoor biedt de methode de mogelijkheid om de sterke en zwakke kanten van alternatieven bespreekbaar te maken en tot weloverwogen keuzen te komen.

In de praktijk is met de afwegingsmethode al veel ervaring opgedaan, ook door dijkbeheerders. De alternatieven kunnen getoetst worden aan het provinciale beleid en aan de visie. Een risico is dat door de vereenvoudiging van de complexe werkelijkheid plaatselijke belangen uit het zicht kunnen raken.

De **'handreiking constructief ontwerpen'** geeft aan hoe de techniek ruimte schept voor het vervullen van maatschappelijke wensen. Hiervoor

worden geavanceerde technieken en uitgekende ontwerpen beschreven.

De **'handreiking ruimtelijk ontwerpen'** beschrijft het ontwerpproces dat al begint in de visie-ontwikkeling. Daar is een vormgever bij nodig. Die moet goed weten welke veiligheidseisen, LNC-eisen en andere maatschappelijke eisen er aan een dijktraject gesteld worden. Omgekeerd moet de opdrachtgever bij het kiezen van een architect goed weten wat voor vlees hij in de kuip heeft, is het een 'Ruisdael' of een 'Picasso'.

Als deze handreikingen verwarring oproepen is een belangrijk doel bereikt. Er is niet één oplossing. Er is ook niet één goed ontwerp. Wel moet de uiteindelijke keuze gedragen worden door het bevoegd gezag en de mensen van de streek op zoek naar verweving van functies, zelfs (of juist) aan een van de meest markante scheidingslijnen in ons land.

Inhoud

Voorwoord

Ten geleide

I	Inleiding	15
1.1	Algemeen	15
1.2	Overzicht van de belangrijkste nieuwe inzichten	16
2	Onderzoek en berekeningen	19
2.1	Belastingen	19
2.1.1	Hydraulische randvoorwaarden	19
2.1.2	Verkeersbelasting	19
2.2	Grondonderzoek	20
2.2.1	Omvang van het grondonderzoek	20
2.2.1.1	Algemeen	20
2.2.1.2	Veldonderzoek	20
2.2.1.3	Laboratoriumonderzoek	21
2.2.2	Gebruik peilbuizen bij bepaling waterspanningen	22
2.2.3	Karakteristieke waarden voor schuifsterkte bepaald uit proevenverzameling en lokaal onderzoek	24
2.3	Waterspanningen berekend met niet-stationaire grond- waterstromingsmodellen	25
2.4	Macro-stabiliteit onder opdrijfcondities	26
2.5	Stabiliteit van oppervlaktelagen	27
2.5.1	Afschuiven binnentalud door overslag	27
2.5.2	Erosie binnentalud door overslag	29
2.6	Piping en zand meevoerende wellen	31
2.7	Schadefactoren	33
2.7.1	Differentiatie van de schadefactor bij afschuiven	33
3	Constructief ontwerp en beheer van dijk uitgevoerd in grond	35
3.1	Kruinbreedte	35
3.2	Helling van het binnentalud	36
3.2.1	Macro-stabiliteit van het grondlichaam	36
3.2.2	Afschuiven binnentalud bij overslag	36
3.2.3	Erosie binnentalud bij overslag	38
3.2.4	Micro-stabiliteit onderaan binnentalud	42
3.2.5	Beheer en onderhoud	42
3.3	Afmetingen van de binnenberm	42
3.3.1	Algemeen	42
3.3.2	Wanneer binnenberm toepassen	45
3.3.3	Berekeningen	45
3.3.4	Dimensionering en materiaalkeuze	46
3.3.4.1	Stabiliteitsberm	46
3.3.4.2	Pipingberm	46

3.4	Beheer en onderhoud grastaluds	47
3.4.1	Algemeen	47
3.4.2	Begroeiing, sterkte en belasting	48
3.4.3	Invloed beheer en onderhoud	49
3.4.4	Conclusies	51
4	Bestaande niet-waterkerende objecten in, op en nabij de dijk	53
4.1	Beoordeling bestaande niet-waterkerende objecten	53
4.2	Beoordelingsprofiel	54
4.2.1	Inleiding	54
4.2.2	Het begrip beoordelingsprofiel	55
4.2.3	Nadere uitwerking filosofie beoordelingsprofiel	55
4.2.4	Doorsnijding van het beoordelingsprofiel	59
4.2.5	Bijzondere constructies als onderdeel van het beoordelingsprofiel	59
4.3	Bebouwing en tuintjes	59
4.4	Beplanting	60
4.5	Kabels en Leidingen	63
4.5.1	Algemeen	63
4.5.2	Watervoerende leidingen	63
4.5.3	Gas- en electraleidingen	67
4.6	Wegen	69
5	Toepassen van bijzondere constructies	71
5.1	Doel en overzicht	71
5.2	Aanpassen bestaand dijkmateriaal en toepassing aangepast materiaal bij uitbreiding dijkprofiel	74
5.2.1	Algemeen	74
5.2.2	Kern of uitbreiding uitvoeren met licht materiaal	74
5.2.3	Wapenen met geotextielen of geogrids	76
5.2.4	Zand-garen composities	77
5.2.5	Stabiliseren van zand of klei met cement	78
5.2.6	Verzwaard materiaal in de berm	79
5.3	Verbeteren bestaand materiaal van dijk of ondergrond	80
5.4	Beïnvloeden stijghoogte en stroming van grondwater	80
5.4.1	Algemeen	80
5.4.2	Filterconstructies en drains	80
5.4.3	Ontlastsloten	82
5.4.4	Kwelschermen	83
5.4.5	Scherf in de dijk	84
5.5	Gewapende grasmat of andere erosiebescherming	84
5.6	Constructieve elementen	85
5.6.1	Algemeen	85
5.6.2	Damwand of keermuur	85
5.6.3	Gewapende verticale grondconstructies	87
5.6.4	Gabions	88

	5.6.5 Diepwand of kistdam	88
	5.6.6 Groundnailing	90
5.7	Beweegbare kerende elementen	90
	5.7.1 Algemeen	90
	5.7.2 Van buitenaf aan te voeren keringen	91
	5.7.3 Roteerbare of verschuifbare keringen	91
	5.7.4 Opdrijvende constructies	92
5.8	Kostenindicaties	92
 Referenties		95
Bijlage I		96

BIJLAGEN:

1. Samenstelling en taakomschrijving van de werkgroep
2. Onderzoek en berekeningen
3. Constructief ontwerp en beheer van dijk uitgevoerd in grond
4. Bestaande niet-waterkerende objecten in, op en nabij de dijk
5. Toepassen van bijzondere constructies

De bijlagen 2 tot en met 5 zijn apart verkrijgbaar bij Rijkswaterstaat, dienst Weg- en Waterbouwkunde.

I Inleiding

I.1 Algemeen

Deze handreiking voor het ontwerp van rivierdijken kan worden beschouwd als de voorloper van het derde deel van de *“Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken”*. Het eerste deel verscheen in 1985 [TAW 1985]; het tweede in 1989 [TAW 1989 (1) en (2)]. In het eerste deel wordt het bovenrivierengebied besproken. Het tweede deel bevat aanvullende informatie nodig voor het ontwerpen van dijken in het benedenrivieren gebied, maar beschrijft ook de inzichten die in de periode 1985-1989 verworven zijn. Dit derde deel bevat de nieuwste inzichten van de laatste jaren. Het moet beschouwd worden als een aanvulling op de eerste twee delen. De delen zullen dan ook alle drie nodig zijn voor het optimaal ontwerpen van een dijk, of het nu een dijk in het bovenrivierengebied betreft of een in het benedenrivierengebied.

De betekenis van de leidraad blijft in die zin beperkt, dat het niet gaat om een voorschrift, doch om een advies. Oordeelkundigheid blijft essentieel bij het ontwerp van een dijk of een dijkverzwaring. Er zijn situaties denkbaar waarin het beter is af te wijken van de adviezen die hier in de leidraad zijn weergegeven.

De nieuwste inzichten zijn ontwikkeld in het kader van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Door de Commissie Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen, de Commissie “Boertien” [Waterloopkundig Laboratorium en EAC/RAND 1993], Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen] is aangedrongen op het snel toegankelijk maken van deze inzichten. Zij hebben vooral betrekking op de technische mogelijkheden die voorhanden zijn om, bij een gegeven normstelling voor de veiligheid, te komen tot een optimaler dijkontwerp en een betere afstemming met andere functies en waarden.

De inhoud van dit deel betreft enerzijds verbeterde methoden om de belastingen te bepalen, de grondeigenschappen vast te stellen en de weerstand tegen falen te berekenen. Met name wordt hier bedoeld een synthese van de nieuwste inzichten op het gebied van begroeiing, erosie en infiltratie van binnentaluds, een en ander met het doel om te komen tot optimaal ontwerpen van die binnentaluds. Anderzijds wordt veel aandacht besteed aan andere aspecten van het ontwerp en beheer die een meer uitgekiend ontwerp mogelijk moeten maken, zoals de aanvaardbaarheid van niet-waterkerende objecten en de toepasbaarheid van bijzondere constructies.

Bij dit deel 3 behoren vijf bijlagen. In de eerste is de samenstelling en de taakomschrijving te vinden van de “Projectgroep Constructief” die dit deel heeft opgesteld. In de andere bijlagen wordt dieper op de inhoudelijke aspecten ingegaan dan in het hoofdrapport mogelijk is. Herhaaldelijk zal dan ook naar deze bijlagen worden verwezen. Gezien het aanvullend karakter van dit deel 3 zal waar mogelijk ook worden verwezen naar de delen 1 en 2.

1.2 Overzicht van de belangrijkste nieuwe inzichten

Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste nieuwe inzichten die de laatste jaren zijn ontwikkeld op het gebied van het constructief ontwerp. Nieuwe inzichten ten aanzien van de hydraulische randvoorwaarden blijven hier buiten beschouwing.

Sinds het verschijnen van de Leidraad 2 in 1985 zijn nieuwe inzichten verworven op het gebied van het gebruik van *grondonderzoek en berekeningsmethoden van de macrostabiliteit*, die een scherper ontwerp mogelijk maken, waardoor in sommige gevallen steilere taluds en smallere bermen mogelijk zijn. Het betreft hier met name het gebruik van peilbuizen ter voorspelling van stijghoogtes bij MHW, de bepaling van de karakteristieke waarden van de schuifsterkte (in combinatie met voldoende grondonderzoek), niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen, stabiliteit van het grondlichaam onder opdrijfcondities en differentiatie van de schadefactoren voor binnenwaartse stabiliteit.

Het niet meer “automatisch” toepassen van de zogenaamde 5-H berm is een van de meest effectieve aanpassingen die leidt tot minder ruimtebeslag van het achterland.

Ook nieuwe inzichten ten aanzien van *piping* laten veelal een smallere binnenberm toe dan mogelijk zou zijn op basis van de oude inzichten.

Onderzoek op het gebied van begroeiing, erosie en afschuiven van binnentaluds onder invloed van overslag, heeft aangetoond dat een *binnentalud steiler dan 1:3* uit constructief oogpunt veelal mogelijk is mits het talud is afgedekt met matig zware tot zware bekledingsklei en goede grasmat. Als de *kruinhoogte* van de dijk zodanig is dat het overslagdebiet bij maatgevend hoogwater niet groter is dan 0,1 l/ms, heeft zelfs niet aan die eisen voor de taludbekleding te worden voldaan. De berekeningsmethode voor het afschuiven van het binnentalud is geoptimaliseerd door het in rekening brengen van de eindige lengte van het talud.

Beheer en onderhoud van het grastalud vereisen speciale maatregelen, vooral bij steile hellingen. Natuurtechnisch beheer voldoet daarbij aan alle eisen die uit waterstaatkundig oogpunt vereist zijn. Daarenboven levert een dergelijk beheer een positieve bijdrage aan het streven tot behoud van de LNC-waarden. Bij steile hellingen is ook aangepast agrarisch beheer mogelijk, mits aan een aantal randvoorwaarden, geformuleerd in een beheersplan, wordt voldaan. Ook dan wordt aan de waterstaatkundige eisen voldaan, maar dit type beheer levert landschappelijk gezien minder aantrekkelijke waarden op.

Een nuancering voor het wel of niet accepteren van bestaande *niet-waterkerende objecten* is in hoofdstuk 4 aangegeven. Acceptatie van een niet-waterkerend object gaat altijd gepaard met enige inspanning, omdat de normstelling bij de beoordeling van aspecten die de veiligheid van een waterkering beïn-

vloeden in het algemeen vrij gecompliceerd is. Voor een nadere beoordeling is een methodiek gegeven. Daarbij speelt het zogenaamde *beoordelingsprofiel* een belangrijke rol. Met onderzoek kan eventueel meer gerichte informatie worden verkregen. Per object worden een aantal conclusies gegeven.

Aanbevolen wordt om bestaande bebouwing, inclusief tuintjes, alleen als toelaatbaar te beschouwen indien die zich buiten het beoordelingsprofiel bevinden. De kans op falen van de bebouwing zelf met als gevolg inundatie lijkt niet erg groot, althans voor bebouwing op het binnentalud. Maar problemen zijn te verwachten met bijkomende zaken als nutsleidingen en de erosiebestendigheid van het talud bij de aansluiting van taludbekleding op bebouwing en in tuintjes.

Bebouwing binnen het beoordelingsprofiel lijkt alleen aanvaardbaar indien aangetoond kan worden dat de beïnvloeding van de veiligheid aanvaardbaar is en, vooral ook, blijft. Dat laatste impliceert een garantie van een goed beheer. In veel gevallen zal blijken dat alleen aan de eisen kan worden voldaan met voorzieningen buiten de bebouwing, waardoor het beoordelingsprofiel zodanig wijzigt, dat de bebouwing erbuiten komt te liggen. bijvoorbeeld door toepassing van een bijzondere constructie.

Aanbevolen wordt om bestaande *beplanting* (bomen en struiken) alleen als toelaatbaar te beschouwen indien die zich buiten het beoordelingsprofiel bevindt. Nader onderzoek naar de aspecten genoemd in paragraaf 4.4 kan aantonen of hiervan kan worden afgeweken, bijvoorbeeld door toepassing van een bijzondere constructie.

Leidingen dienen in principe aan de Pijpleidingcode danwel wel normbladen te voldoen. Bestaande kleine leidingen (druk < 10 bar en diameter ≤ 0,3 m) kunnen met de in dit rapport aangegeven methodiek mogelijk geaccepteerd worden. Van de kleine leidingen hebben de waterleidingen de meeste invloed op de veiligheid van de waterkering. Met name de waterleiding in de kruin van de waterkering kan bij lekkage of breuk de veiligheid voor wat betreft de stabiliteit van de waterkering aanzienlijk doen verlagen. Indien opdrijven van het achterland kan optreden, dienen de waterleidingen in de kruin en in de teen van de dijk te worden gecontroleerd, omdat tengevolge van opdrijven grote vervormingen kunnen optreden die op hun beurt lekkage c.q. breuk van de leiding kunnen doen ontstaan. Hierdoor zal de freatische lijn in en nabij de dijk stijgen en de vervormingen zullen extra toenemen.

Bij wegen op de kruin of de berm van waterkeringen zijn met name de verkeersbelasting en de erosie- en kwelgevoeligheid aspecten die onderzocht moeten worden.

De in rekening te brengen verkeersbelasting is ten opzichte van de Leidraden 1 en 2 gereduceerd door beter aansluiting te zoeken bij de V.O.S.B.

Een dijkverzwaring met traditionele middelen gaat altijd gepaard met een vergroting van het dwarsprofiel. In veel gevallen gaat dit ten koste van de belangen van bewoners, natuur en landschap. In dat geval kunnen *bijzondere constructies* soms een aantrekkelijk alternatief bieden dat enerzijds beantwoordt aan de eisen van veiligheid en anderzijds tegemoet komt aan de andere belangen. Als men de omvang van de vergroting van het dwarsprofiel wil beperken kan met name gedacht worden aan:

- het afhankelijk van het maatgevend faalmechanisme vervangen van een gedeelte van de bestaande zandkern van de dijk door klei of omgekeerd
- het gebruik van licht materiaal, zoals flugsand of gexpandeerde kleikorrels, ter vervanging van bestaand dijksmateriaal of als materiaal voor een uitbreiding. Het in geval van een benodigde gewichtsberm toepassen van extra zwaar materiaal
- toepassing van geotextielen, geogrids of zand-garen composities in bestaande kern of bij een uitbreiding
- filterconstructies, ontlastsloten, kwelkaden, kwelschermen of schermen in de dijk ter regulering van de stijghoogte van het grondwater
- bekleding van het talud of wapening van de grasmat ter voorkoming van erosie.

Dergelijke constructies zijn vaak kostbaar in aanleg, maar eisen vaak ook veel meer onderhoud. Daarom zullen ze veelal beperkt blijven tot de knelpunten. Datzelfde geldt in nog sterkere mate als men zoekt naar het voorkomen van iedere vergroting van het dwarsprofiel, hetgeen soms bereikt kan worden met:

- damwanden, keermuren, gewapende grond, gabions, diepwanden, kistdammen
- beweegbare keringen.

2. Onderzoek en berekeningen

2.1 Belastingen

2.1.1 Hydraulische randvoorwaarden

Op basis van een analyse van de uitkomsten van verschillende frequentieverdelingen voor de afvoeren van de Rijn is de Commissie Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen tot de conclusie gekomen dat de maatgevende afvoer van de Rijn, behorend bij een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar, gesteld kan worden op $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Dat is een verlaging ten opzichte van de voorheen aangenomen $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$. De maatgevende afvoer van de Maas wordt gehandhaafd op $3.650 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uitgaande van die maatgevende afvoer zijn of worden de Maatgevende Hoog Waterstanden berekend door de Rijkswaterstaat [Silva en Hartman 1993].

Voor de bepaling van de waakhoogte kan rekening gehouden worden met de nieuwste inzichten ten aanzien van golfoploop en golfoverslag. Verwezen wordt naar de TAW-publicatie "Golfoploop en golfoverslag bij dijken" [v.d. Meer 1993].

2.1.2 Verkeersbelasting

In de Leidraad, deel I is als één van de randvoorwaarden voor de stabiliteitsbeoordeling een gelijkmatig verdeelde belasting van 15 kN/m^2 op één rijstrook van 2,5m breedte aanbevolen. In de ontwerp praktijk is gebleken dat de verkeersbelasting vaak van grote invloed is op de stabiliteit en derhalve op het ontwerp. Daarom is nagegaan in hoeverre een optimalisatie in deze verkeersbelasting mogelijk is.

In bijlage 2 hoofdstuk 2.A wordt aangetoond dat de in de Leidraad I genoemde belasting vergelijkbaar is met de belasting aanbevolen in de VOSB 1963 voor klasse 60, de zwaarste verkeersbelasting klasse. Verder wordt afgeleid dat voor de beoordeling van de binnenwaartse standzekerheid met een iets lagere belasting kan worden gerekend. Hierbij wordt er vanuitgegaan dat ten tijde van het optreden van M.H.W. deze zwaarste verkeersbelasting niet aanwezig zal zijn. Aanbevolen wordt een laststelsel van 400 kN per 12 m , hetgeen overeenkomt met 13 kN/m^2 over een breedte van 2,5m. Op die belasting moet ook gerekend worden als er geen rijweg is. Ook in die situatie bestaat immers de kans dat in geval van een dreigende calamiteit transport van zwaar materiaal en zwaar materieel noodzakelijk is. Een rij zandauto's op de kruin van de dijk, c.q. op een aan de binnenzijde van de dijk aanwezige berm is dan mogelijk. In bijlage 2, hoofdstuk 2.A wordt in aanvulling op de Leidraad I aangegeven hoe de belasting rekentechnisch moet worden verdisconteerd.

2.2 Grondonderzoek

2.2.1 Omvang van het grondonderzoek

2.2.1.1 Algemeen

Eén aspect van uitgekiend ontwerpen is het ontwerpen op basis van een intensief onderzoek. In de Leidraad I, hoofdstuk 9 worden wel de technieken van een intensief grondonderzoek beschreven, maar er wordt onvoldoende aangegeven wat de minimaal gewenste omvang van een dergelijk onderzoek zou moeten zijn. Nu hangt de gewenste omvang, behalve van de mate waarin uitgekiend moet worden ontworpen, ook sterk af van de mate waarin variaties in de ondergrond aanwezig zijn. Daardoor zal de optimale omvang van gebied tot gebied sterk verschillen. Niettemin hier enige suggesties over de omvang, zoals die optimaal zou kunnen zijn voor een gebied, waarvan de grondopbouw matig gecompliceerd is.

Een en ander sluit aan op de opzet van een grondonderzoek zoals is besproken in het CUR handboek “Construeren met grond”, hoofdstuk 4 [CUR, 1992] en de NEN-normen 3680, 5104 t/m 5120. Voor een uitgebreide beschrijving wordt naar deze stukken verwezen. Hieronder is e.e.a. slechts kort samengevat.

Het grondonderzoek voor dijken dient naast informatie over de grondopbouw, de samenstelling, de sterkte en de vervormingseigenschappen van de diverse grondlagen in het bijzonder informatie te geven over:

- de aanwezigheid en de continuïteit van een afdekkend pakket en de ligging van het intreepunt in het watervoerend pakket buitendijks
- de samenstelling en de doorlatendheid van de kern van de dijk en de erosiebestendigheid van eventuele afdekkingen
- de aanwezigheid, de dikte en de volumieke massa van het afdekkend pakket aan de binnenzijde van de dijk en de grootte van de waterspanningen die onder maatgevende omstandigheden in het watervoerend pakket kunnen optreden.

2.2.1.2 Veldonderzoek

In Nederland is een grondonderzoek aan de hand van sonderingen en boringen gebruikelijk. Voorafgaand daaraan kan *geofysisch* (geo-elektrisch of elektro-magnetisch) onderzoek worden uitgevoerd. Deze aanpak heeft 2 grote voordelen. In de eerste plaats wordt continue informatie verkregen, zodat het risico dat informatie wordt gemist veel kleiner is dan bij onderzoek waar puntinformatie wordt verkregen. Vooral kennis over aanwezigheid van zandig opgevulde geulen is vaak van groot belang. In de tweede plaats kan op basis van een dergelijk onderzoek het vervolgonderzoek meer gericht worden uitgevoerd.

Vaak is het van belang om vooral van de bovenste grondlagen gedetailleerde

informatie in te winnen. Zo is de kwaliteit van de toplagen van het dijktaalud vaak essentieel, evenals de aanwezigheid en de dikte van het afdekkende kleipakket in voor- en achterland. Dan kunnen 2 tot 3 *handboringen* per hectare of per 100 m' talud veel relevante informatie geven. Het is soms handig om enige handboringen al in een vroeg stadium uit te voeren mede ter ondersteuning van de interpretatie van de geofysische metingen betreffende die grondlagen. Vervolgens kan dan een plan opgesteld worden voor sonderingen, gewone boringen en nog meer handboringen.

Bij de *sonderingen* dient ook de plaatselijke kleef bepaald te worden. Aanbevolen wordt daarbij de elektrische kleefmantelconus te gebruiken. De sonderingen dienen tot een aantal meters door de onderkant van de niet- of minder draagkrachtige laag te worden voortgezet. Over het algemeen zullen de ondieper gelegen lagen een belangrijker rol spelen in de grondmechanische beschouwingen dan de dieper gelegen formaties.

Vanwege de verschillen in voorbelasting en in ontstaansgeschiedenis dient per dijkprofiel tenminste één sondering aan de buitenzijde, één in de kruin en één aan de binnenzijde te worden gekozen. In het algemeen voldoet een interval tussen de te onderzoeken dijkprofielen variërend van 50 tot 150 m. Als de grondopbouw relatief weinig variatie vertoont kan men veelal volstaan per 50 tot 150 m met één sondering in de kruin en per 300 tot 500 m met drie sonderingen in een dwarsprofiel.

Per 1 tot 4 sonderingen dient één *boring* met ongeroerde monsternamen te worden uitgevoerd. Het vereiste aantal is afhankelijk van de mate waarin de samenstelling van de grondslag uit voorkennis van grondonderzoek in de omgeving bekend is, en afhankelijk van de mate waarin variaties in die ondergrond worden verwacht. Als een ontwerp kritiek blijkt te zijn voor een bepaald faalmechanisme, kunnen extra boringen nodig zijn om de lokale grondeigenschappen nauwkeuriger vast te stellen.

Als uit het onderzoek blijkt dat ergens discontinuïteiten in de laagopbouw optreden, is veelal aanvullend veldonderzoek naar die discontinuïteiten nodig. Met name zal dit vaak nodig blijken in knelpuntsituaties, bijvoorbeeld waar de acceptatie van niet-waterkerende objecten in het geding is, of als de invloed van de dijkversterking op de bebouwde omgeving moet worden beoordeeld. Aanvullend lokaal onderzoek is ook nuttig in situaties als beschreven in paragraaf 2.2.3.

2.2.1.3 Laboratoriumonderzoek

De volumieke massa dient bij iedere boring van elke grondlaag te worden vastgesteld. Soms is het nuttig of zelfs noodzakelijk om tevens de korrelverdeling en de Atterbergse grenzen vast te stellen. Deze grootheden spelen een rol in een groot aantal berekeningen, terwijl er tevens veel correlaties bestaan tussen deze en andere eigenschappen.

De gedraineerde schuifsterkte kan met *triaxiaalproeven* of *celproeven* worden bepaald als functie van de gemiddelde korrelnormaalspanning σ' . Dit moet per grondlaag en per locatie (dijkprofiel) bij een aantal monsters plaats vinden. Naarmate dit aantal groter is zal de maatgevende parameter in de stabiliteitsberekeningen (de karakteristieke waarde van de lokaal gemiddelde schuifsterkte; zie paragraaf 2.2.3) gunstiger worden. In de praktijk blijkt dat bij aantallen groter dan 8 tot 10 proeven niet veel winst meer behaald wordt. De omvang van het onderzoek dient daarop te worden afgestemd en op het belang van de winst voor de betreffende locatie.

De optimale aantallen *samendrukkingsproeven* zijn vergelijkbaar met de benodigde aantallen proeven ter bepaling van de gedraineerde schuifsterkte. Naarmate de ondergrond minder klei en veenlagen bevat (het oosten van het land) en de zetting van het dijklichaam een ondergeschikt probleem is, kan met minder proeven worden volstaan.

Het aantal *doorlatendheidsproeven* kan doorgaans beperkt blijven, zowel omdat aan de hand van samendrukkingsproeven bij klei en fractieanalyses in geval van zand schattingen mogelijk zijn, als omdat de lokale doorlatendheid niet altijd een even grote rol speelt als de doorlatendheid van een groter massief. In het laatste geval genieten veldmetingen de voorkeur. Zie paragraaf 2.2.2 over peilbuiswaarnemingen.

2.2.2 Gebruik peilbuizen bij bepaling waterspanningen

Peilbuiswaarnemingen van stijghoogten in de zandondergrond kunnen een belangrijke bron van informatie zijn bij het verkrijgen van inzicht in de grondwaterstroming bij dijken ten gevolge van de rivierwaterstand. Dit is van belang, zowel voor de stabiliteit tegen afschuiven als voor de weerstand tegen piping (zie ook paragraaf 2.6). Rekening moet worden gehouden met de volgende invloeden:

- de invloed van het bereiken van een “grenspotentiaal” bij “hydraulische grondbreuk” ofwel het “opdrijven” van een laag
- de invloed van het onder water lopen van het voorland
- de invloed van het niet-stationaire karakter van de veranderingen van de buitenwaterstand.

De eerste twee invloeden worden behandeld in de Leidraad 2, bijlage 13 en appendices C-5 & C-6, respectievelijk paragraaf 7.3.1.1 en appendix C-7. De invloed van niet-stationaire stroming wordt in de Leidraad 2 eveneens voldoende behandeld voor benedenrivieren. De invloed van de niet-stationaire hoogwatergolven bij bovenrivieren wordt in de bestaande leidraden nog niet behandeld. In het volgende zal hierop dan ook de nadruk worden gelegd.

In de Leidraad 1, paragraaf 10.3, worden twee manieren beschreven waarmee aan de hand van peilbuizen de respons op fluctuaties kan worden

bepaald: extrapolatie uit topstanden en extrapolatie uit momentane standen.

Bij extrapolatie uit topstanden wordt een verband gezocht tussen de hoogste waterstanden in de rivier en de corresponderende hoge waterstanden in de peilbuis. Omdat bij hoge waterstanden gegevens worden verzameld, kan aan de hand van de afwijkingen van een lineair verband tot de gemeten waterstanden vaak een indruk worden gevormd van de afwijking bij maatgevend hoogwater. Omdat geen rekening gehouden wordt met mogelijke verschillen in duur van de hoogwaters en van de componenten van de hoogwatergolf waarbij de metingen zijn uitgevoerd, is een dergelijke werkwijze in die gevallen waarin het niet-stationaire karakter van de grondwaterstroming overheerst, maar van beperkte betekenis.

Bij extrapolatie van momentane waterstanden naar extreme maatgevende waterstanden, worden peilbuismetingen gedurende een hoogwatergolf van enige duur geïnterpreteerd. Het gaat hierbij om een periode van dagen. Door peilbuiswaarnemingen als functie van de rivierwaterstandsvariatie uit te zetten ontstaat een verband, waarin effecten veroorzaakt door demping, vertraging en naijling zijn te herkennen. Demping en vertraging zijn verschijnselen, die bij de interpretatie van 13-uursmetingen in het benedenrivierengebied een rol spelen. In de Leidraad 2 (paragraaf 7.3.1 en bijlage 12 of appendix C) is uiteengezet hoe hieruit de karakteristieke parameters, de lekfactoren, kunnen worden bepaald. Naijling wordt veroorzaakt door het steeds langzamer wegstromen van het tijdens hoog water geborgen water, freatisch en/of elastisch, na de periode van hoogwater. Bij getijdebeweging speelt naijling een ondergeschikte rol, maar bij hoogwatergolven in het bovenrivierengebied maakt dit de interpretatie van peilbuiswaarnemingen lastig.

De procedure die is ontwikkeld voor het benedenrivierengebied kan worden toegepast indien peilbuiswaarnemingen op verschillende locaties in het dwarsprofiel gedurende de hele hoogwatergolfperiode zijn geregistreerd.

Door het toepassen van het superpositiebeginsel in de tijd kan voor iedere vorm van de hoogwatergolf de reactie ter plaatse van peilbuisobservatiepunten worden nagebootst op basis van dezelfde analytische modellen, die bij de interpretatie van 13-uursmetingen zijn gehanteerd. Door successieve aanpassingen van de lekfactoren, doorlatendheid en laagafmetingen, kan proberen-derwijs het gemeten peilbuisverloop in overeenstemming worden gebracht met het berekende verloop. Als dit over de gehele duur van de hoogwatergolf is gerealiseerd, zijn de gevonden parameterwaarden geijkt. De reactie van het grondwater kan dan worden vastgesteld met die waarden voor een extreem maatgevende hoogwatergolf. Voor deze aanpak is er de beschikking over een numeriek model (WATEX, zie ook par. 2.3), waarin op basis van analytische formules voor een aantal relevante dijkprofielen de superpositie in de tijd wordt geregeld, rekening houdend met demping, vertraging en naijling. Aldus kan rekening worden gehouden met de duur van hoogwater. Hiermee kan in sommige situaties een belangrijke winst worden bereikt. De

achtergrond van deze methode wordt uiteengezet in bijlage 2, hoofdstuk 2.B.

2.2.3 Karakteristieke waarden voor schuifsterkte bepaald uit proevenverzameling en lokaal onderzoek

Een belangrijk aspect van de in de Leidraden aanbevolen semi-probabilistische benaderingswijze is het rekenen met “representatieve waarden” van de grondparameters. Daarvoor worden meestal “karakteristieke waarden” met een over- of onderschrijdingskans van 5% genomen (Leidraad 1, paragraaf 6.3 en 9.7.1; Leidraad 2, paragraaf 7.5.2). In deel 2 wordt aangegeven dat het bij de bepaling van de veiligheid tegen afschuiven gaat om de karakteristieke waarde van de “lokaal (over een glijvlak) gemiddelde schuifsterkte”.

Als resultaten van grondonderzoek op de betreffende locatie beschikbaar zijn, kan men daaruit die karakteristieke waarde berekenen met de formule voor de karakteristieke gemiddelde waarde paragraaf 9.7.1 van deel 1. Is er lokaal geen onderzoek gedaan, dan kan deze waarde berekend worden uit een “proevenverzameling”, dat wil zeggen de resultaten van proeven op monsters die gestoken zijn in eenzelfde formatie over een groot gebied. Dit wordt in Leidraad 2 paragraaf 7.5.2 uiteengezet. Deze waarde wordt dan de “basiswaarde” genoemd.

De basiswaarde is relatief laag omdat rekening moet worden gehouden met de variaties in de lengterichting van de dijk en de mogelijkheid dat de beschouwde locatie juist een zwakke plek binnen de formatie zou kunnen zijn. De verhouding tussen het gemiddelde van de hele proevenverzameling en de basiswaarde is een indicatie voor de mate waarin de eigenschappen binnen de formatie variëren. Is deze verhouding veel groter dan 1, dan is de variatie sterk en loont het vaak de moeite om lokaal onderzoek naar de eigenschappen in te stellen, met name als het vermoeden bestaat dat de lokale sterkte in gunstige zin afwijkt én als het werken met de basiswaarde tot ongewenste consequenties leidt op de betreffende locatie.

Zo'n onderzoek levert een aantal nieuwe, lokale waarden van de schuifsterkte op. Nu kan men de karakteristieke waarde van de lokaal gemiddelde schuifsterkte berekenen met de formule uit de Leidraad 1 op basis van alleen die lokale waarden. Maar, als het aantal lokale waarden klein is en/of de spreiding groot, zou de karakteristieke waarde toch nog laag kunnen uitvallen, ook al is het gemiddelde van die lokale waarden hoger dan het gemiddelde van de hele proevenverzameling. Dat zou dan te pessimistisch zijn, omdat het niet waarschijnlijk is dat de locale spreiding groter is dan die van de hele proevenverzameling. Het kan verholpen worden door op de volgende wijze rekening te houden met de “voorkennis” over de spreiding, verkregen uit de hele proevenverzameling: Stel de karakteristieke waarde van de lokaal gemiddelde schuifsterkte gelijk aan het gemiddelde van de nieuwe lokale waarden minus het verschil tussen het gemiddelde van de hele proevenverzameling en

de basiswaarde. Deze methodiek is conservatief omdat schattingen van een lokaal gemiddelde die boven de basiswaarde, maar onder het gemiddelde van de proevenverzameling liggen, niet kunnen worden benut.

In het Technisch rapport voor het toetsen van boezemkaden (TAW, 1993) is een iets andere benadering gevolgd, gebaseerd op kennis over de algemeen in Nederland voorkomende variabiliteit van de grondeigenschappen. Die methode is bruikbaar als het gaat om het toetsen van een bestaande dijk, maar niet bij een dijkverzwaring.

2.3 Waterspanningen berekend met niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen

In de Leidraad 2 (bijlage 12 en appendix C) zijn enkele praktisch hanteerbare analytische modellen voor niet-stationaire grondwaterstroming beschreven. Deze modellen zijn bij uitstek geschikt voor cyclische waterstandsvariaties, zoals getijdebewegingen in het benedenrivierengebied, maar ook een hoogwatergolf in het bovenrivieren gebied. De ijking kan plaatsvinden via peilbuiswaarnemingen, waarin van nature de heterogeniteit is verdisconteerd (zie par. 2.2.3). Indien dergelijke waarnemingen niet beschikbaar zijn, moeten de benodigde parameterwaarden, zoals doorlatendheid, stijfheid en laagdikte, met ander grondonderzoek worden vastgesteld. De nauwkeurigheid van de uitkomsten van de analytische modellen is dan meestal minder, omdat er geen rekening kan worden gehouden met (onbekende) heterogeniteit.

De analytische modellen gaan uit van geschematiseerde stroming. Zij zijn quasi drie-dimensionaal. Er wordt rekening gehouden met consolidatie. Bij de toepassing wordt uitgegaan van het beginsel van superpositie, dat wil zeggen effecten van waterstandsveranderingen worden bij een nader te bepalen begintoestand opgeteld. Die begintoestand is een min of meer stationaire grondwaterstroming die afhangt van het seizoen. Het vaststellen hiervan is een probleem op zich. Peilbuiswaarnemingen bevatten van nature die begintoestand. Zowel bij de ijking van de modellen als bij de toepassing ervan voor extreem maatgevende situaties dient hiermee rekening te worden gehouden.

Naast voornoemde rekenmodellen wordt steeds vaker gebruik gemaakt van numerieke eindige elementenmodellen, welke steeds gebruikersvriendelijker worden door de menu-gestuurde invoer en de krachtige grafische postprocessing. Gangbare modellen zijn veelal geschikt voor twee-dimensionale stationaire grondwaterstroming in heterogene grondmassieven. Voor de toepassing van niet-stationaire grondwatermodellen is specialistische kennis vereist. De toepassing ervan is nog beperkt.

In bijlage 2, hoofdstuk 2.C wordt nader ingegaan op de toepassing van de verschillende rekenmodellen. Een en ander wordt geïllustreerd aan de hand van voorbeelden.

2.4 Macro-stabiliteit onder opdrijfcondities

Aan de binnenzijde van vele dijken bevindt zich een relatief dunne veen- of kleilaag rustend op een watervoerend pakket. Bij hoge rivierstanden kan deze veen- of kleilaag gaan opdrijven, waardoor de steun vermindert die deze laag aan de stabiliteit tegen afschuiven van het dijklichaam biedt. In de Leidraad 2, paragraaf 7.4.1 en bijlage 15 (of appendix C-5), is uiteengezet hoe deze stabiliteit in dat geval berekend kan worden: met de “drukstaafmethode”. Deze methode is sindsdien verbeterd. Deze verbetering is van invloed op de resultaten van de stabiliteitsberekeningen.

De “drukstaafmethode” berust op een separate berekening van stabiliteit en vervorming van de passieve zone. De stabiliteitsberekening bestaat uit een beschouwing van het krachten-evenwicht van cirkelvormige delen van een glijvlak, en een eventueel horizontaal stuk tussen deze cirkeldelen, de “drukstaaf”.

Indien de stabiliteit voldoende is, dient de vervorming van de passieve zone te worden getoetst.

In de Leidraad 2, paragraaf 7.4.1, is aangegeven dat de krachten kunnen worden berekend op basis van de methode van Bishop. Een betere berekening is echter mogelijk volgens de methode van Spencer. Het is zinvol deze verbeteringen toe te passen bij berekening van de stabiliteit met opdrijven. In bijlage 2, hoofdstuk 2.D is aangegeven hoe van de methode Spencer gebruik gemaakt kan worden bij de drukstaafmethode.

Tevens zijn in de afgelopen jaren de mogelijkheden van de eindige elementenmethode sterk toegenomen. Hierdoor zijn de methoden ook geschikt voor de berekening van de stabiliteit bij “opdrijfcondities”. Bij berekeningen met de elementenmethode moet bijzondere aandacht worden besteed aan de schematisatie van de grondopbouw, grondeigenschappen en waterspanningen en aan de besturing van het rekenproces. Deze eisen worden besproken in bijlage 2, hoofdstuk 2.D.

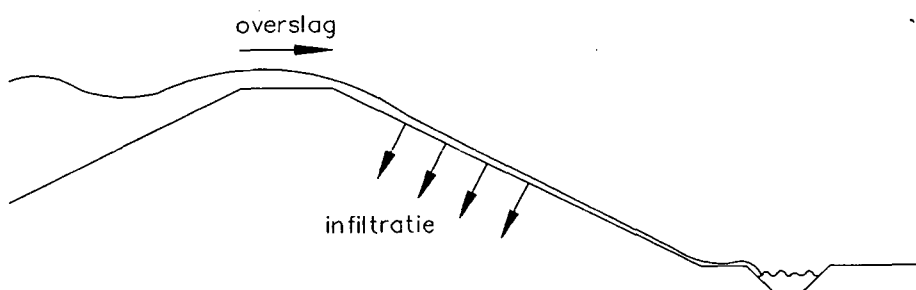
In die bijlage wordt eveneens een advies gegeven over de grootte van de “modelfactor”, een van de partiële veiligheidsfactoren. De “modelfactor” heeft betrekking op berekeningen met zowel de “drukstaafmethode” als de eindige elementenmethode. De grootte van deze modelfactor is niet wezenlijk veranderd t.o.v. Leidraad 2, maar de formulering is aangepast waardoor een betere aansluiting verkregen wordt met niet-opdrijf condities.

Wellicht ten overvloede zij vermeld dat glijvlakken zich niet alleen langs de bovenkant van de watervoerende zandlaag, maar ook in de opgedrukte lagen zelf kunnen ontwikkelen, afhankelijk van de mate waarin de extra stijghoogte tijdens hoge rivierwaterstanden doorgedrongen is in de kleilaag. De stabiliteit tegen afschuiven langs die glijvlakken kan in alle gevallen bepaald kan worden met (gedraineerde) Bishopberekeningen.

2.5 Stabiliteit van oppervlaktelagen

2.5.1 Afschuiven binnentalud door overslag

Bij overslag stroomt er water over de kruin van een dijk langs het binnentalud. Dit water infiltreert in het grondlichaam, zie figuur 1. Bij voldoende overslag zal de grond na zekere tijd verzadigen. Door de toename van de waterspanning neemt de korrelspanning af. Als de helling vrij steil is, bezwijkt de grond, omdat de verhouding tussen de schuifspanning en de normaalspanning groter wordt dan de grond kan mobiliseren. Dit leidt tot het afschuiven van het binnentalud.



Figuur 1. Overslag en infiltratie

Bij de watersnoodramp van 1953 zijn veel Zeeuwse dijken hierdoor bezweken. Het afschuiven van het binnentalud door overslag is eveneens waargenomen bij een proef op schaal 1 : 1 uitgevoerd door het 'Kystinspektoratet' in Denemarken.

In aansluiting op Leidraad 1, paragraaf 11.4 wordt in deze paragraaf besproken hoe kan worden nagegaan of afschuiven van het binnentalud kan optreden door infiltratie ten gevolge van overslag. Onderstaand is de methode beschreven hoe bij de constructie rekening kan worden gehouden met infiltratie ten gevolge van overslag. Een beschrijving van de fysische mechanismen is gegeven in bijlage 2, hoofdstuk 2.E, waar ook meer gedetailleerde informatie en randvoorwaarden zijn gegeven.

Belangrijke aspecten bij infiltratie ten gevolge van overslag als bezwijkmechanisme zijn het overslagdebiet, de helling van het binnentalud en de opbouw van de dijk.

Bij een overslagdebiet gelijk of kleiner dan 0,1 l/m/s, mag worden aangenomen dat niet voldoende infiltratie kan optreden om een verhoogde waterspanning in een potentieel glijvlak te doen ontstaan.

Wat de opbouw van de dijk betreft, kunnen twee karakteristieke situaties worden gezien:

- 1 de dijk is geheel uit klei opgebouwd
- 2 de dijk heeft een zandige kern en een kleiige top laag.

Ad 1

De klei aan het oppervlak is veel doorlatender dan de klei in de kern. Scheurtjes en wortelkanalen creëren een voor klei vrij hoge doorlatendheid van de orde van 10^{-5} tot 10^{-4} m/s. Bij overslag infiltreert water juist het sterkst in de top laag, waardoor de waterspanning oploopt. De korrelspanning neemt hierdoor uiteindelijk zoveel af, dat een glijvlak kan ontstaan op de grens van top laag en kern op een diepte van orde 1 m onder het maaiveld. Bij een te steil talud schuift de top laag af.

Ad 2

Ook bij een dijk met een zandige kern kan infiltratie de oorzaak van het bezwijken door overslag zijn. De doorlatendheid van de top laag is sterk anisotroop. Door scheurtjes en begroeiing is de doorlatendheid van de top laag vaak maar weinig minder dan die van de kern. In de richting loodrecht op het talud is de doorlatendheidswaarde veel groter dan in de richting langs het talud. Door deze anisotropie stroomt er relatief weinig water door de top laag evenwijdig aan het talud, het meeste zakt de zandige kern in. Als de kern niet is gedraineerd en verzadigd raakt met water, kan aan de teen een overdruk onder de top laag ontstaan. Deze kan de top laag oplichten, waarna de top laag langs het talud naar beneden schuift. Er treedt een glijvlak op in de directe nabijheid van het scheidingsvlak tussen de kern en de kleiige top laag.

Voor de dimensionering zijn er verschillende technieken beschikbaar: analytische en numerieke methoden.

Als analytische methode kan voor een homogeen oneindig lang talud de methode van Joustra en Edelman worden gebruikt, die overeenkomt met die van de Leidraad 1, paragraaf 11.4.2.

$$tg(\alpha) = \frac{\left[\frac{\rho - \rho_w}{\rho} tg(\phi) + \frac{c}{\rho * g * d * \cos(\alpha)} \right]}{\gamma_n * \gamma_d}$$

α = helling van het talud

ϕ = hoek van inwendige wrijving

ρ = volumiek gewicht van de grond

ρ_w = volumiek gewicht van het water

γ_d = modelfactor = 1,1

d = dikte afdekkende laag

c = cohesie

γ_n = schadefactor = 1,1

Voor steile taluds is de cohesie essentieel. Helaas is de waarde ervan voor grond in de toplaag moeilijk vast te stellen vanwege de lage spanning.

Deze formule levert een tamelijk conservatief resultaat op, omdat deze uitgaat van een oneindig lang talud. Extra steundruk ten gevolge van de aanwezigheid van de teen wordt daarom niet verdisconteerd in de korrelspanning. Deze extra steundruk speelt geen rol als de toplaag aan de onderzijde van het talud wordt afgedrukt. Bovendien wordt een tamelijk ongunstige stijghoogteverdeling aangenomen. Anderzijds leidt de formule mogelijk tot acceptatie van te steile taluds in gevallen waarbij de spanning evenwijdig aan het talud relatief gering is.

Een juist inzicht in de spanningsverdeling in de toplaag ontbreekt nog.

De eenvoudigste numerieke methode is een glijvlakberekening met de methode van Bishop (Leidraad 1, paragraaf 11.3.1). Het glijvlak is cirkelvormig. Net als bij bovenstaande formule, kan worden aangenomen dat het fretisch vlak samenvalt met het talud en dat de stijghoogte constant is langs lijnen loodrecht op het talud. Bij een zandige kern zal de stijghoogte verdeling veelal veel gunstiger zijn. Men kan die verdeling vaststellen met een grondwaterstromingsberekening.

Met behulp van eindige elementen methoden kan het grond gedrag nog beter worden gemodelleerd, omdat de vorm van het glijvlak niet à priori vastligt, zoals bij de methode van Bishop. In paragraaf 3.2 wordt de dimensionering verder uitgewerkt.

2.5.2 Erosie binnentalud door overslag

De laatste jaren is onderzoek gedaan naar de erosie van het binnentalud door overslag. De erosie is een functie van het overslagdebiet, de grondsoort waarmee het talud bedekt is, de kwaliteit van de begroeiing en de taludhelling. In figuur 3 (zie hoofdstuk 3) worden de voor erosie kritieke combinaties van deze grootheden weergegeven, uitgaande van de veronderstelling dat de overslag effectief gezien enige uren aanhoudt. In bijlage 2, hoofdstuk 2.F is aangegeven dat de totale duur van golfoverslag bij een periode van hoge rivierwaterstand ook enkele uren (3 à 5 uren) bedraagt. Figuur 3 uit hoofdstuk 3 is derhalve minimaal geldig voor een periode van extreem hoogwater. Hieronder volgt een toelichting op deze figuur. In bijlage 2, hoofdstuk 2.F worden de achtergronden uiteengezet.

Drie overslagdebieten, vijf taludhellingen, vier categorieën grond en vier kwaliteiten van de begroeiing worden onderscheiden. Het gaat om de volgende debieten: 0,1 & 1 & 10 liter per strekkende meter per seconde en de volgende taludhellingen: 1:3 & 1:2,5 & 1:2 & 1:1,5 & 1:1.

Het gaat om de volgende vier categorieën grond:

- Klei van categorie 1. Deze heeft een vloeigrens groter dan 45% en een plasticiteitsindex die groter is dan $0,73 \times (\text{de vloeigrens} - 20)$ en waarbij het zandgehalte lager is dan 40%. Deze "vette" klei is weinig erosiegevoelig.
- Klei van categorie 2. Deze heeft een vloeigrens lager dan 45% en een plasticiteitsindex die groter is dan 18% en waarbij het zandgehalte lager is dan 40%. Deze tussen de "vette" en de "schrle" klei gelegen categorie is weinig tot matig erosiegevoelig.
- Klei van categorie 3. Deze heeft een plasticiteitsindex die lager is dan 18% of lager dan $0,73 \times (\text{de vloeigrens} - 20)$ en/of een zandgehalte hoger dan 40%. De grond heeft echter wel een lutumgehalte van tenminste 8%. Deze "schrle klei" is sterk erosiegevoelig.
- Grond van categorie 4, dwz grond met een lutumgehalte lager dan 8%. Zand past in deze categorie.

Als extra eisen voor de categorieën 1 en 2 geldt bovendien dat de klei minder dan 25% gewichtsverlies door inwerking van HCl moet vertonen en minder dan 5% (gewicht) aan organische stof mag bevatten.

Bij de begroeiing wordt er in principe van uitgegaan dat het om een grasmat gaat. In het algemeen geldt dat een goede grasmat een homogene bedekking heeft en een goede doorworteling. Vereist voor een goede doorworteling is dat er veel soorten in te vinden zijn. Dit kunnen zowel grassen als kruiden zijn. Essentieel is dat er weinig voedingsstoffen in de bodem zitten, zie paragraaf 3.4 (Beheer en onderhoud van grastaluds).

Voor de indeling van drie van de vier categorieën grassen, A, B en C, is een matrix opgesteld, zie figuur 2.

			Doorworteling
B	A	A	Sterk
C	B	A	Matig
C	C	B	Weinig
50%	70%	85%	100%
Bedekking			

Figuur 2. Type grasmat als functie van bedekking en doorworteling

Gras van categorie A kan worden verkregen door waterstaatkundig of natuurtechnisch beheer. Wat dit type beheer inhoudt, is beschreven in paragraaf 3.4. Gras van categorie B kan worden verkregen door aangepast agrarisch of extensief agrarisch beheer. Gras van categorie C is meestal het resultaat van intensief agrarisch beheerde grond, of een talud, dat regelmatig en intensief wordt belopen of slecht wordt onderhouden. Voor de methode van bepaling van de bedekking en de doorworteling wordt verwezen naar de concept Leidraad "Toetsing". Tenslotte is er ook nog gras van categorie D: er is geen of hoegenaamd geen begroeiing.

Een debiet van 0,1 l/m's veroorzaakt alleen bij grotendeels onbedekte zandgrond (combinatie grond 4, gras C en D) erosie. Het andere uiterste, een debiet van 10 l/m's vereist bij niet te steile taluds hetzij een goede grasmat hetzij een zeer erosiebestendige grondsoort. Een en ander is verder uitgewerkt in paragraaf 3.2.

2.6 Piping en zand meevoerende wellen

In de Leidraad I (paragraaf 11.5) is uiteengezet onder welke omstandigheden zandmeevoerende wellen kunnen ontstaan. Het fenomeen wordt ook vaak met "piping" aangeduid, omdat iedere zand meevoerende wel het benedenstroomse einde is van een "pipe". In die Leidraad worden enerzijds voorlopige voorwaarden genoemd van het uittreeverhang dat kritiek is voor "grondbreuk" en daarmee voor het begin van piping. Het optredende uittreeverhang kan berekend worden met een grondwaterstromingsprogramma. Anderzijds wordt in de Leidraad de ontwerpmethode volgens de methode Bligh en de methode Lane aanbevolen voor de gevallen waarbij het optreden van de uittreeverhang groter is dan het kritieke. Bij die methode wordt het maximum verval over de dijk gelijk gesteld aan het produkt van de kwelweglengte en een coëfficiënt die alleen een functie is van de fijnheid van het zand van de watervoerende laag onder de dijk.

Uit onderzoek is gebleken dat niet alleen de kwelweglengte en de doorlatendheid van het zand van belang zijn, maar ook de dikte van het watervoerende pakket: hoe dunner, des te kleiner is het risico van piping [de Wit 1984]. Bovendien is door modelonderzoek aangetoond dat het bestaan van zandmeevoerende wellen op zich nog niet tot falen van de dijk behoeft te leiden [Sellmeyer 1988]: Bij een bepaalde buitenwaterstand begint een wel aan het eind van een heel korte "pipe". Bij iets hogere waterstanden ontstaat een nieuw evenwicht waarbij een iets langere pipe hoort. Pas bij een veel hogere waterstand blijft de pipelengte groeien en is geen evenwicht meer mogelijk. Uit hetzelfde onderzoek is verder gebleken dat de pipinggevoeligheid van nog meer parameters afhangt dan de reeds genoemde korreldiameter en dikte van het zandvoerende pakket. Ondermeer de uniformiteit van het zand is van belang.

Een en ander heeft geresulteerd in een nieuwe richtlijn voor controle op het mechanisme piping bij rivierdijken (bijlage 2, hoofdstuk 2.G) ter vervanging van de in paragraaf 11.5.1 van de Leidraad 1 genoemde aanbevolen methode van Bligh en Lane. De in diezelfde paragraaf genoemde voorlopige “voorwaarden” voor kritiek verhang kunnen in het vervolg wel gebruikt worden als criteria voor het optreden van grondbreuk, maar niet meer als harde voorwaarden (zie ook paragraaf 3.3). De kern van de nieuwe richtlijn wordt gevormd door een formule voor het maximale stabiele verval over de dijk. Belangrijke variabelen in die formule zijn:

- de kwelweg lengte
- de dikte van de zandlaag waarin piping kan optreden
- de doorlatendheid van het zand van die laag
- de representatieve afmeting van de grootste korrels
- de lengte van het verticale gedeelte van de kwelweg aan de binnenzijde van de dijk, gevormd door de dikte van de eventuele afdekkende klei- of veenlaag (die op kan barsten) en/of een kwelscherm.

Het rekenmodel volgens Sellmeijer is geldig voor een geïdealiseerde geometrie en parameters van de watervoerende zandlaag, dat wil zeggen een laag met homogene doorlatendheidseigenschappen en een constante dikte die zich uitstrekt tot ver voorbij het uittreepunt. In werkelijkheid komen echter vaak afwijkende geometrieën voor, terwijl de zandafzettingen allerm minst homogeen zijn. Het model is echter toch toepasbaar mits de doorlaatbaarheid van de zandlaag in het model gelijk genomen wordt aan die van het pakket in werkelijkheid. Onder de “doorlaatbaarheid” wordt het quotiënt van debiet en verval verstaan.

De doorlaatbaarheid kan enerzijds bepaald worden door het verloop van de laagdikte van elke watervoerende laag vast te stellen en door van een groot aantal zandmonsters de doorlatendheid te bepalen met behulp van laboratorium proeven. Dat laatste kan gedaan worden met doorlatendheidstests, maar ook met formules op basis van de fractieanalyse en het poringehalte.

De doorlaatbaarheid van het hele pakket kan anderzijds bepaald worden met in situ methoden. Gezien de variatie in de aard van de afzettingsprocessen en bijgevolg in de afmetingen van de deeltjes die de doorlatendheid van de ondergrond bepalen is het aan te bevelen ook daarvan zo mogelijk gebruik te maken. De meest voor de hand liggende in situ methode is die gebaseerd op peilbuiswaarnemingen, zoals besproken in paragraaf 2.2.2. Die methode wordt vooral gebruikt indien de rivierstand en de responsie metingen een substantiële tijdsafhankelijke (niet-stationaire) component bevatten. Door deze metingen te vergelijken met berekeningen kan echter ook veel worden geleerd van de doorlaatbaarheid onder stationaire omstandigheden. Er is echter wel een behoorlijk verval over de kering nodig om voldoende betrouwbare metingen te krijgen.

Peilbuiswaarnemingen kunnen in principe ook gebruikt worden voor een schatting van de plaats van het intreepunt ofwel de effectieve lengte van het

voorland, en daarmee de kwelweg lengte. Ook dat is echter alleen mogelijk, indien tijdens de meting een substantieel verval over de waterkering aanwezig is.

Overigens moet bij de bepaling van de lengte van het voorland nagegaan worden of gewaarborgd is dat de bestaande situatie in de toekomst niet in ongunstige zin gewijzigd wordt. Er moeten dus beheersmaatregelen worden genomen met betrekking tot bijvoorbeeld baggeren in de rivier of afgraven van de buitendijkse deklaag.

Meer informatie over pipinganalyse is te vinden in bijlage 2, hoofdstuk 2.G.

2.7 Schadefactoren

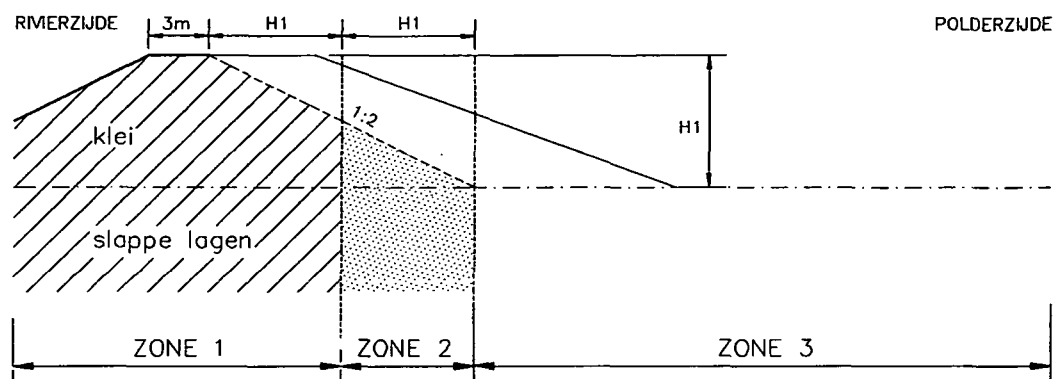
In de Leidraad 1, paragraaf 11.3.3 is de vereiste waarde voor de schadefactor voor de eindtoestand gedefinieerd. In deel 2, paragraaf 7.5.4.1 (figuur 7.8), is de factor uitgewerkt als produkt van drie deelfactoren. Eén deelfactor geeft de invloed weer van de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil, één de invloed van de eventuele correlatie van het optreden van de afschuiving met het optreden van hoog water en één de invloed van de dijkkringlengte.

In principe is er momenteel geen aanleiding tot het herzien van deze schadefactor. Bij het beoordelen van de binnenwaartse macro-stabiliteit is echter wel een nuancering mogelijk in de te hanteren schadefactor.

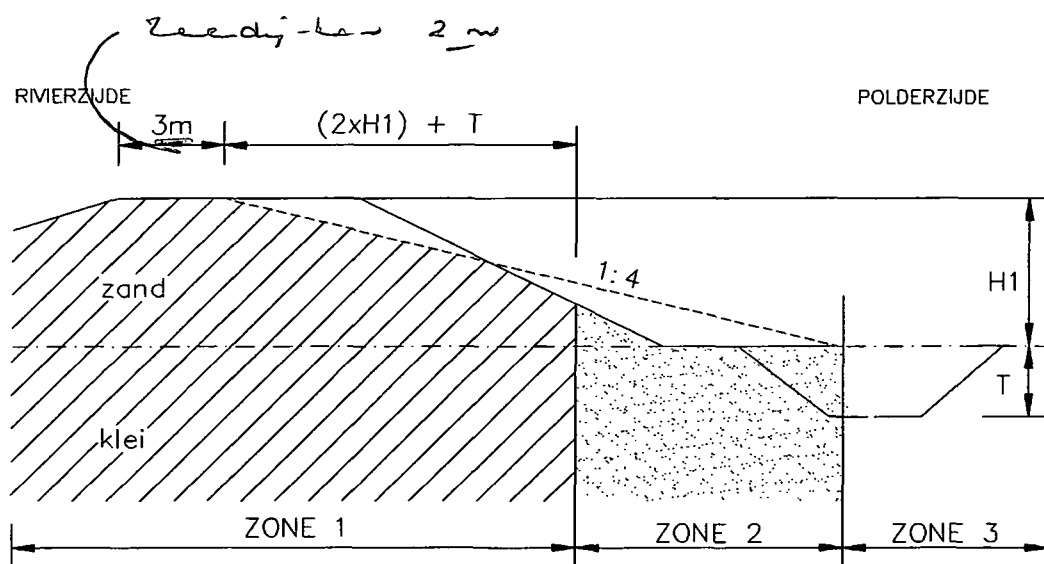
2.7.1 Differentiatie van de schadefactor bij afschuiven

Niet iedere instabiliteit hoeft te leiden tot de aantasting van het waterkerend vermogen van de dijk. Een nader oriënterend onderzoek heeft geleid tot een differentiatie van de schadefactor afhankelijk van de ligging van het intreepunt van het eventuele glijvlak. Een lagere factor wordt aanbevolen naarmate het ontstaan van het glijvlak het waterkerend vermogen minder direct in gevaar brengt.

Beschouwingen over de ligging van de afgeschoven moot grond en het ontstaan van eventuele nieuwe glijvlakken in het overblijvende grondlichaam, hebben geleid tot de indeling van het dijkprofiel in drie zones voor binnenwaarts gerichte glijvlakken. Voor de buitenwaarts gerichte glijvlakken is géén zonering aangebracht omdat voor die glijvlakken al een lagere schadefactor geldt (het waterkerend vermogend wordt niet direct aangetast). Afhankelijk van de zone waarin het intreepunt van het glijvlak ligt, mag een lagere schadefactor worden toegepast, althans onder bepaalde, in bijlage 2, hoofdstuk 2.H genoemde voorwaarden. In die bijlage zijn ook de zones gedefinieerd en is aangegeven hoe de grootte van de schadefactor bepaald kan worden. Daaruit blijkt bijvoorbeeld dat, als een factor 1,20 nodig is bij een glijvlak in zone 1, er een factor 1,12 toelaatbaar is in zone 2 en een factor 1,0 in zone 3.



Figuur 3a. Voorbeeld van zonering bij een kleidijk



Figuur 3b. Voorbeeld zonering bij een zanddijk met kleiafdekking en teensloot

3 Constructief ontwerp en beheer

van dijk uitgevoerd in grond

3.1 Kruinbreedte

De breedte van de kruin is mede bepalend voor de ruimte, die een dijk in beslag neemt. Indien bij het ontwerp ruimtebeslag een beperkende factor is, is het zinvol na te gaan of een smalle kruin mogelijk is. In bijlage 3, hoofdstuk 3.A is nader geanalyseerd wat de benodigde breedte van de kruin dient te zijn. Het blijkt dat grondmechanisch gezien de breedte van de kruin, als het buiten- en binnentalud stabiel zijn, geen extra onafhankelijke voorwaarde oplegt met betrekking tot de stabiliteit. Ook voor de waterkerende functie is er geen echte randvoorwaarde, slechts een overweging: bij een brede kruin zal water ten gevolge van overslaande golven op de kruin eerder tot stilstand kunnen komen en niet de polder inlopen. De minimale kruinbreedte blijkt meestal door secundaire aspecten, zoals verkeer en beheer, te worden bepaald. Op grond daarvan wordt het volgende aanbevolen.

- Dijk met verkeersweg

Voor een dijk met een openbare verkeersweg wordt de kruinbreedte gedomineerd door de breedte van de weg. De kruinbreedte is groter dan de minimale kruinbreedte, zoals die wordt vermeld in leidraad bovenrivieren. De breedte van de berm van de verkeersweg moet zodanig worden gedimensioneerd dat ook ter plaatse van de fundering van de weg de dikte van de afdekkende kleilaag op het talud minimaal 1 m bedraagt, zie afbeelding 3.A.1.

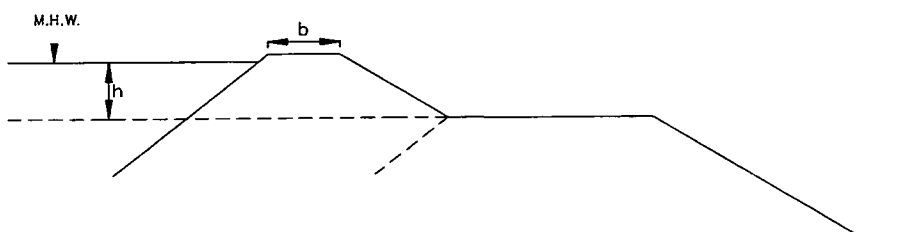
- Groene dijk

Voor een groene dijk wordt geadviseerd de kruin minimaal 3 m breed te maken met het oog op normaal onderhoud vanaf de kruin, alsmede inspectie en bereikbaarheid in geval van hoge waterstanden. Van een eventueel aanwezige verhardingslaag op de kruin wordt aangenomen dat deze boven MHW is gelegen (minimale waakhogte 0,5m). Aan de dikte van de afdekkende kleilaag ter hoogte van de onderkant van de verhardingslaag moet de eis worden gesteld dat zich hierop in ieder geval een goede begroeiing kan ontwikkelen.

- Paralleldijk

Voor een paralleldijk wordt de minimale kruinbreedte, net als voor de groene dijk, bepaald door onderhoud, inspectie en bereikbaarheid. De kruin van de paralleldijk is meestal niet verhard vanwege de transportcapaciteit van de direct achter de kruin gelegen weg op de voormalige kruin. Voor onderhoud vanaf de kruin is echter minimaal wel 3m kruinbreedte nodig. Indien MHW hoger is gelegen dan de bovenkant van de oude dijkskruin achter de paralleldijk, dient de veiligheid tegen horizontaal afschuiven te worden beoordeeld.

Indien er belangrijke overwegingen zijn om de kruin minder breed te maken, dan zullen aanvullende constructieve maatregelen moeten worden getroffen zoals beschreven in hoofdstuk 5.



Figuur 4. Kruinbreedte bij parallel dijk

3.2 Helling van het binnentalud

Een steile helling van het binnentalud kan vanuit landschappelijke overwegingen aantrekkelijk zijn, zowel bij het zo mogelijk handhaven van de bestaande situatie als bij het creëren van een nieuwe situatie. Zo'n helling is echter alleen aanvaardbaar als aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- macrostabiliteit van grondlichaam
- stabiliteit tegen afschuiven van binnentalud bij overslag
- weerstand tegen erosie van binnentalud bij overslag
- microstabiliteit onderaan binnentalud
- uitvoerbaarheid van beheer en onderhoud.

3.2.1 Macro-stabiliteit van grondlichaam

Voor de bepaling van de macro stabiliteit wordt verwezen naar paragraaf 1.1.3 van deel 1, paragraaf 7.4 van deel 2 en de paragrafen 2.4 en 2.7 van dit deel.

Indien de macro stabiliteit van het dijklichaam onvoldoende is, kan hieraan ofwel door middel van een flauwer talud ofwel door een binnenberm worden tegemoet gekomen. Uiteraard is een combinatie van beide maatregelen mogelijk. In de praktijk blijkt uit overwegingen van L.N.C.-aard vaak een voorkeur voor een bepaalde keuze.

3.2.2 Afschuiven binnentalud bij overslag

Een beschrijving van het mechanisme is gegeven in paragraaf 2.5.1. De stabiliteit tegen afschuiven bij infiltratie ten gevolge van overslag wordt in 4 stappen gekwantificeerd.

Stap 1.

Bepaal de maximale overslagdebieten. Indien het overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m's, behoeft met overslag geen rekening te worden gehouden. Zo niet, ga naar stap 2.

Stap 2.

Toets de helling van het binnentalud aan de analytische oplossing van Joustra en Edelman, zie paragraaf 2.5.1.

Bij een inhomogene (gelaagde) opbouw van het talud worden de eigenschappen van de laag gekozen, die de laagste hoek α opleveren. Bij een kleibedekking op een doorlatende zandkern wordt hiervoor de ϕ waarde van de kleibedekking gekozen. Bij een aanwijsbare aanwezigheid van cohesie mag hiermee ook rekening worden gehouden. Voor de dikte van de afschuivende laag (d) wordt bij een kleidijk de dikte van de gestructureerde toplaag (circa 1 m) genomen. Het is niet juist de wrijvingseigenschappen van de kleikern representatief te stellen voor deze gestructureerde klei.

Indien aan de vergelijking wordt voldaan, is er geen probleem met overslag te verwachten. Tot zover komt dat overeen met leidraad 1. De volgende verfijning is nieuw: ga naar stap 3, indien niet aan de formule van Joustra en Edelman wordt voldaan.

Stap 3.

Voer een twee dimensionale stabiliteitsanalyse uit, voorafgegaan door een grondwaterstromingsberekening. De stabiliteitsanalyse kan uitgevoerd worden volgens de methode van Bishop of met een eindig elementen programma. In het laatste geval wordt geen enkele beperking opgelegd aan de vorm en de ligging van het glijvlak en moet uit die vorm en uit de grootte van de deformaties worden bepaald of de taludhelling toelaatbaar is.

In alle gevallen moet aangenomen worden dat het talud volledig verzadigd is en dat het freatisch vlak samenvalt met het talud.

Ga naar stap 4 als uit een gecombineerde grondwaterstromings- en stabiliteitsberekening met een eindig elementen programma blijkt dat de taludhelling niet toelaatbaar is.

Stap 4.

Pas het ontwerp aan. Er zijn nu twee of drie mogelijkheden. De eerste is het talud flauwer te maken. De tweede is om de hoogte van de kruin van de dijk te vergroten om het overslagdebiet te verminderen. Een derde mogelijkheid doet zich voor als er sprake is van een dijk met een zandkern. Dan kan de freatische lijn soms aangepast worden door middel van een drainconstructie. L.N.C.-voorwaarden kunnen ook andere oplossingen (bijzondere constructies) nodig maken.

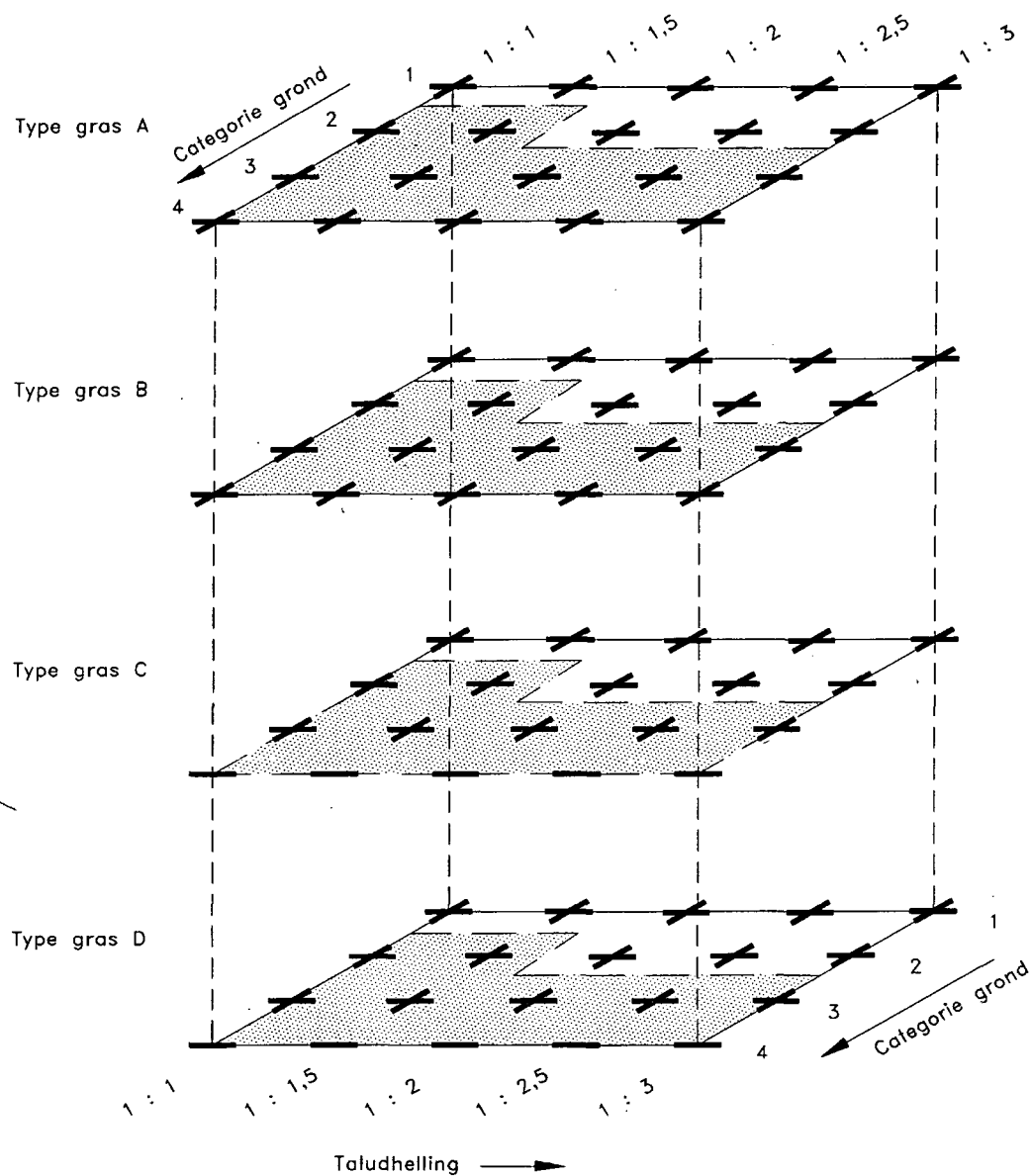
3.2.3 Erosie binnentalud bij overslag

Zoals beschreven in paragraaf 2.5.2, heeft onderzoek van de laatste jaren aangetoond welke combinaties van overslagdebiet, type grond, grasmat en taludhelling juist kritiek zijn voor erosie. In de figuren 5A tot en met 5C is met een '+' teken aangegeven welke combinaties een toelaatbare erosie geven; een ontoelaatbare combinatie is aangegeven met een '-' teken. Voor de omschrijving van de categorieën gras en klei wordt verwezen naar paragraaf 2.5.2.

Let wel, de '+' tekens geven slechts aan dat het talud erosiebestendig is. Daarnaast zal het talud ook voldoende stabiliteit moeten bezitten tegen afschuiven ten gevolge van infiltratie bij overslag. Een poging is gedaan om beide faalmechanismen te verenigen in één figuur. Daar waar in de figuren 5A tot en met 5C een arcering is aangegeven, blijkt uit afschattende berekeningen dat veelal afschuiven zal optreden, uitgaande van de veronderstelling dat de top laag geheel verzadigd raakt, hetgeen voor een overslagdebiet kleiner dan 0,1 l/m's niet waarschijnlijk is. Let wel, het gaat hierbij voor wat betreft het afschuiven slechts om een indicatie. De figuren kunnen niet als ontwerpdiagram voor stabiliteit bij infiltratie ten gevolge van overslag worden gebruikt.

Op een heel erosiebestendige klei (categorie 1) met een hoog lutumpercentage kan niet een zeer gevarieerde grasmat worden gerealiseerd, die een hoge landschappelijke waarde bezit. Toch kan bij een dergelijke ondergrond een erosietechnisch gezien optimale grasmat van type A worden gerealiseerd, maar deze kent wat minder variatie. In klei van categorie 2 kan zich de kruidenrijke gevarieerde grasmat wel vestigen.

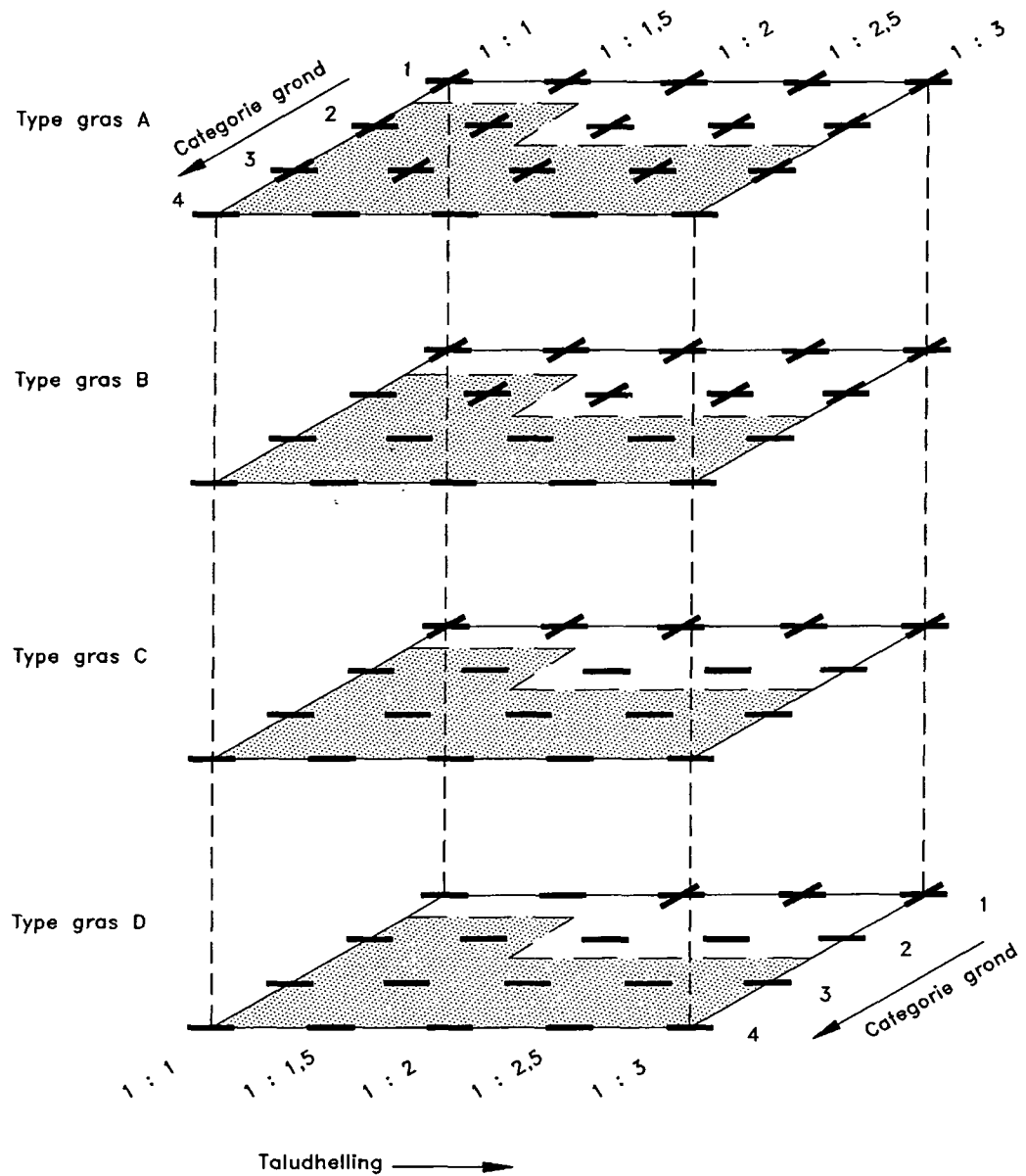
Als niet aan de erosiebestendigheid kan worden voldaan, moet het ontwerp worden aangepast. Alternatieven zijn een grotere kruinhoogte, zodat het overslagdebiet afneemt, een flauwere helling van het binnentalud of een betere bekleding. Randvoorwaarden kunnen ook andere oplossingen mogelijk maken.



Figuur 5a Combinatie van talud, grond en gras bij overslagdebiet 0,1 l/m/sec

Verklaring:

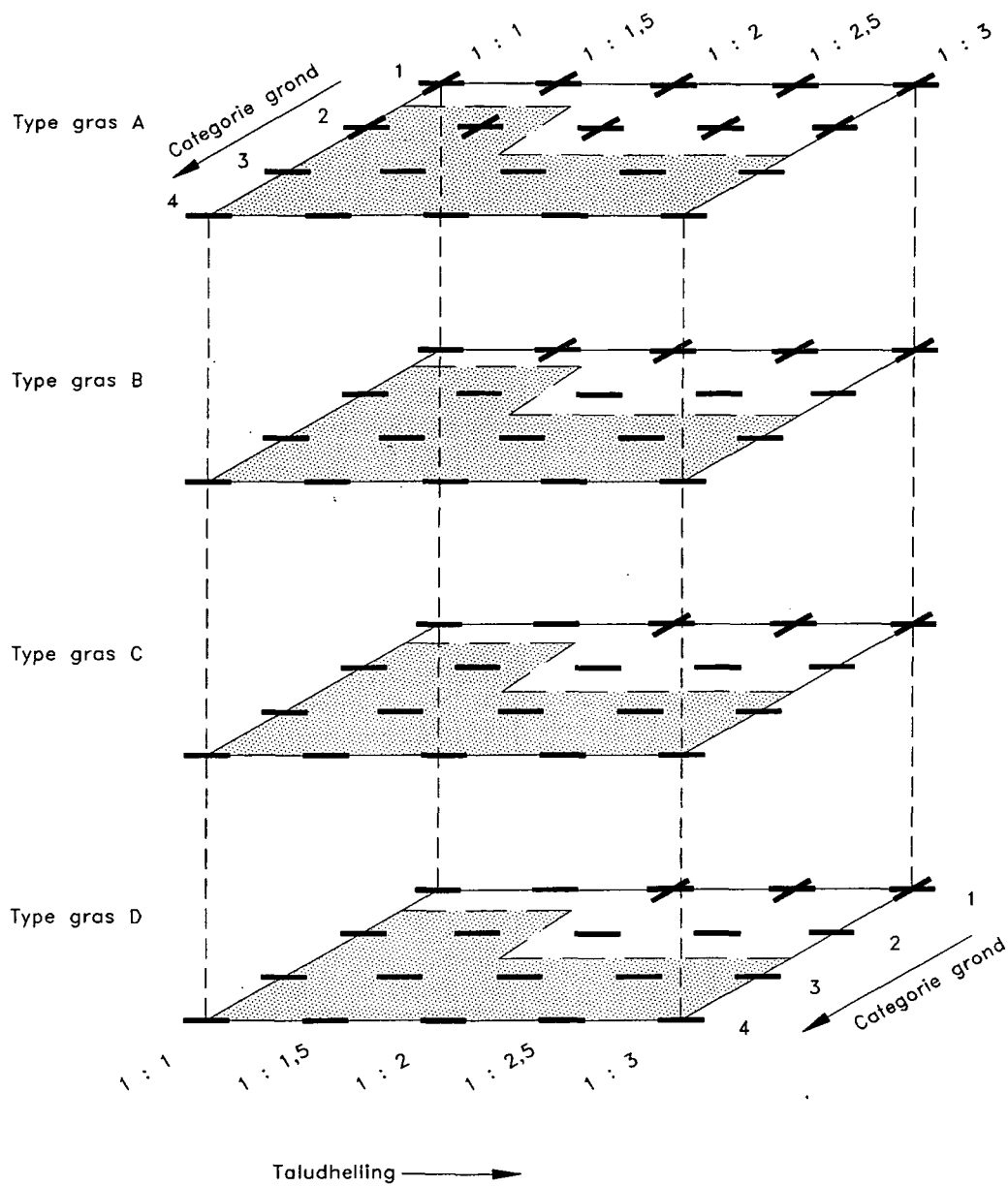
- + combinatie met aanvaardbaar weinig erosie
- combinatie met te veel erosie
- Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven
- Type gras zie figuur 2
- Categorie grond zie paragraaf 2.5.2



Figuur 5b Combinaties van taluds, grond en gras bij overslagdebiet 1 l/m/sec

Verklaring:

- + combinatie met aanvaardbaar weinig erosie
- combinatie met te veel erosie
- Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven
- Type gras zie figuur 2
- Categorie grond zie paragraaf 2.5.2



Figuur 5c Combinaties van talud, grond en gras bij overslagdebiet 10 l/m/sec

Verklaring:

- + combinatie met aanvaardbaar weinig erosie
- combinatie met te veel erosie
- Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven
- Type gras zie figuur 2
- Categorie grond zie paragraaf 2.5.2

3.2.4 Micro-stabiliteit onderaan binnentalud

In Leidraad I paragraaf 11.4 is aangegeven hoe de microstabiliteit bij uittredend water uit het binnentalud kan worden gecontroleerd.

Als de veel toegepaste maatregel om een binnenberm met een helling van 1 : 5 aan te leggen ter hoogte van het sijpelpunt op problemen van L.N.C.-aard stuit, kan een drainage een alternatief vormen (zie verder hoofdstuk 5).

Indien de dijk uit een zandkern met kleibekleding bestaat, dient ervoor te worden gezorgd dat deze kleibekleding niet kan worden opgedrukt door een verhoging van de freatische lijn.

3.2.5 Beheer en onderhoud

Ook het beheer en onderhoud kan voorwaarden aan de helling van het talud opleggen, zie paragraaf 3.4.3. Vooral het onderhouden van de grasmat op de kruin en de taluds moet mogelijk zijn. Dit is essentieel, omdat van het onderhoud de kwaliteit van de grasmat afhangt en daarmee de erosiebestendigheid van het talud.

De kruin en de taluds moeten daarom goed toegankelijk zijn om het gras te kunnen maaien en het maaisel af te voeren. Zo nodig, moeten er maatregelen worden getroffen om de toegankelijkheid te verbeteren. Aangepast agrarisch beheer is mogelijk tot taludhellingen van 1 : 2, als er tevens vlakker terrein beschikbaar is en als wordt voldaan aan het beweidingsplan, zie paragraaf 3.4.3.

Indien het uit constructief oogpunt steilste mogelijke talud vanuit het beheer van de dijk niet kan worden gerealiseerd, dient of het beheer te worden aangepast of een flauwer talud te worden gerealiseerd.

3.3 Afmetingen van de binnenberm

3.3.1 Algemeen

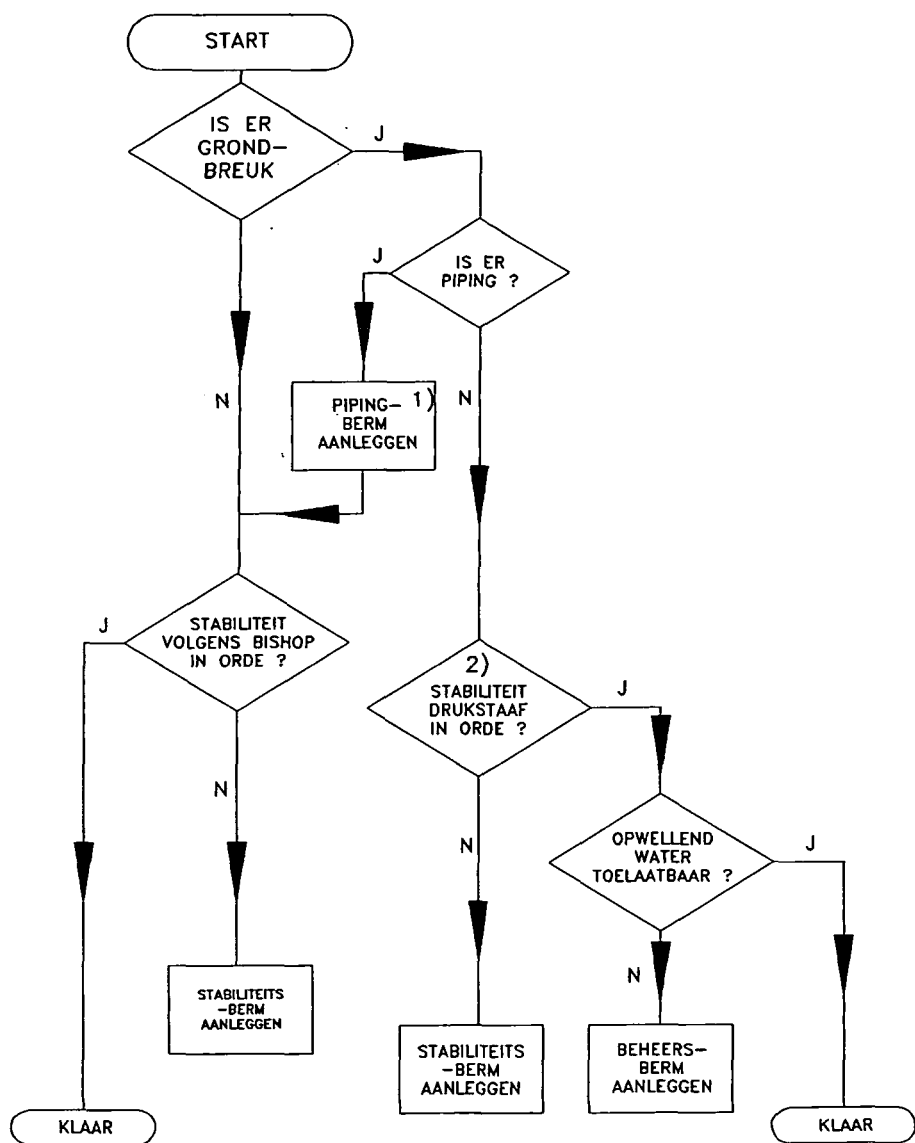
Volgens Leidraad I paragraaf 11.5.1 is een belangrijke reden voor het aanleggen van een binnenberm, het optreden van een voor grondbreuk kritiek verhang aan de teen van de dijk. Bij een afdekkende klei- of veenlaag leidt dat tot opdrijven en vaak opbarsten van die laag. De breedte van de berm wordt dan in eerste instantie op 5H gesteld, waarin H het hoogteverschil is tussen de maatgevende hoogwaterstand en het niveau van het binnenmaaveld. Vervolgens wordt gecontroleerd of die berm voldoende is voor het voorko-

men van onaanvaardbare piping. Als dan volgt dat een bredere berm noodzakelijk is, wordt de berm breder dan 5H gekozen. Controle op de macrostabiliteit vindt in de praktijk zelden plaats. Omdat vanuit de historie voor het veiligheidsgevoel van de samenleving grondbreuk en opwellend water in de nabijheid van de binnenteen als ongewenst werd gezien, wordt veelal géén reden gezien de 5H berm te optimaliseren.

Deze benadering is conservatief in die zin dat het niet evident is dat bij grondbreuk uit constructief oogpunt een berm noodzakelijk is. De benadering is verder conservatief doordat 5H slechts een veilige vuistregel is voor de benodigde breedte.

Leidraad 2 volgt de benadering zoals bovengeschetst niet. Er wordt geadviseerd de berm uitsluitend op grond van een pipinganalyse en/of macrostabiliteit te dimensioneren. Uit de praktijk blijkt niettegenstaande de goede benadering van Leidraad 2 de behoefte aan een duidelijker richtlijn. De 5H berm vormt een bron van verwarring. Bermen worden soms aangelegd zonder dat duidelijk is of uittredend water, piping, dan wel macrostabiliteit de drijfveer is.

Vanwege deze behoefte is een beslisschema opgesteld dat bij de dimensionering van een binnenberm kan worden doorlopen. Het schema is als figuur 6 opgenomen en in paragraaf 3.3.2 en 3.3.3 nader toegelicht.



- 1) in geval van afdekkend pakket altijd drukstaaf controle
 2) altijd controle Bishopp stabiliteit hoger gelegen cirkels

Figuur 6. Beslisschema dimensionering binnenberm

3.3.2 Wanneer binnenberm toepassen

Uit *constructief* oogpunt behoeft het mogelijk optreden van een voor grondbreuk kritiek verhang op zich niet een reden te zijn tot de aanleg van een berm. Dat is pas nodig indien tenminste één van de volgende situaties kan optreden:

- onaanvaardbare piping met zandmeevoerende wellen
- onvoldoende macrostabiliteit van de dijk.

Als een voor grondbreuk kritiek verhang optreedt, moet worden nagegaan of er ontoelaatbare piping kan optreden. Als uit de pipinganalyse volgt dat de beschikbare kwelengte te klein is, dient een berm te worden overwogen.

Als opdrijven optreedt door de aanwezigheid van een kritiek verhang over een afdekkende klei- of veenlaag, dient hiermee rekening te worden gehouden bij de macro-stabiliteitsbeschouwing. In leidraad 2, paragraaf 7.4.1, is aangegeven hoe dit mechanisme in rekening kan worden gebracht. In paragraaf 2.4 van dit deel is hierop een aanvulling gegeven. Het resultaat van de macro-stabiliteitsbeschouwing geeft aan of het dijkprofiel voldoet en als dat niet zo is kan een berm nodig zijn.

Een voor grondbreuk kritiek verhang achter de waterkering zal veelal tot opwellend grondwater leiden, hetgeen vanuit het oogpunt van *beheer* maar ook in geval van dijkbewaking bezwaarlijk kan zijn. Bij de aanwezigheid van een weg nabij de teen van de dijk kan het om schade aan de weg te voorkomen nodig zijn uit een oogpunt van beheer toch een berm aan te brengen. De hoogte van die berm zou in dat geval door wegbouwkundige motieven moeten worden ingegeven. De breedte zou uit het feitelijke gebruik van de berm moeten volgen.

3.3.3 Berekeningen

Uit het beslisschema van figuur 6 volgt dat een aantal berekeningen moet worden uitgevoerd.

- Onder grondbreuk wordt in dit verband verstaan: een opdrukveiligheid $< 1,2$ of een uittreeverhang $\geq 0,5$.

Het wel of niet optreden van een voor grondbreuk kritiek verhang kan worden berekend op de wijze zoals aangegeven in Leidraad 1, paragraaf 11.5.1.

- Het uittreeverhang achter de waterkering kan met behulp van een grondwaterstromingsprogramma berekend worden.
- Gegeven het optreden van grondbreuk, kan het mogelijk optreden van piping in eerste instantie worden afgeschat met de regels van Bligh en Lane (Leidraad 1, paragraaf 11.5.1). Als volgens die regels piping kan optreden en optimalisatie van de zo gedimensioneerde pipingberm wenselijk is, kan gebruik worden gemaakt van de nieuwe rekenregel voor piping zoals besproken in paragraaf 2.6 van dit deel.

- De macro-stabiliteit van het grondlichaam dient te worden geverifieerd op de wijze aangegeven in Leidraad 1, paragraaf 11.3 en Leidraad 2, paragraaf 7.4. Indien de stabiliteit moet worden berekend onder opdrijfcondities wordt verwezen naar de aanvulling gegeven in paragraaf 2.4 van dit deel. Er wordt op gewezen dat ook onder opdrijfcondities na dimensionering van de berm een controle van de cirkelvormige Bishop stabiliteit van hoger gelegen glijcirkels noodzakelijk is.

3.3.4 Dimensionering en materiaalkeuze

Zoals in het vorige hoofdstuk uiteengezet dienen de afmetingen van bermen in principe te worden gebaseerd op de resultaten van stabiliteits- of pipingberekeningen.

In algemene zin kan met betrekking tot dit onderwerp het volgende worden gezegd.

3.3.4.1 Stabiliteitsberm

Stabiliteitsbermen kunnen met in achtname van de gewenste veiligheid worden geoptimaliseerd in de breedte/dikte verhouding, afhankelijk van de omstandigheden (vaak de beschikbare ruimte).

Als opdrijven aan de orde is, is een brede berm het meest effectief. De dikte wordt zodanig gekozen dat een oprijfveiligheid van 1,2 ontstaat, de benodigde breedte is dan direct afhankelijk van de vereiste veiligheid voor macro-stabiliteit.

Als ophoogmateriaal voor de berm wordt bij voorkeur zand gekozen, vanwege de gewenste goede drainagecapaciteit van de berm. Uit praktische overwegingen zal zo'n berm altijd worden afgedekt door een laag teelaarde. Toepassing van een berm uit klei opgebouwd kan ook, maar er dient rekening mee te worden gehouden dat dit aanleiding kan zijn tot een verhoging van de freatische lijn in de kern van de dijk.

Zeker bij smalle bermen is vanwege erosiegevaar het aanbrengen van een kleibekleding op het zand van de berm gewenst. In dat geval dient wel gezorgd te worden voor een goede drainageconstructie.

Indien wordt overwogen op de berm bebouwing of bomen aan te brengen zou (bij smalle bermen) kunnen worden overwogen een extra kleilaag ter dikte van bijvoorbeeld 0,5 m aan te brengen. Bij bredere bermen wordt daartoe geen aanleiding gezien.

3.3.4.2 Pipingberm

Bij de dimensionering van een pipingberm dient onderscheid te worden gemaakt tussen gevallen waarbij achter de dijk een afdekkende laag aanwezig

is op de watervoerende zandlaag en gevallen waarbij de watervoerende laag tot aan het maaiveld reikt.

Het geval van een afdekkende laag

De dikte van de berm wordt zodanig gekozen dat een opdrukveiligheid $\geq$

1,05 wordt bereikt. De breedte volgt rechtstreeks uit de pipinganalyse.

Voor de keuze van het materiaal en verdere opbouw van de berm wordt verwezen naar hetgeen onder “stabiliteitsberm” is opgemerkt. Een extra aandachtspunt moet worden genoemd, dit betreft het al dan niet aanbrengen van overhoogte in geval van het aanbrengen van beplanting op de berm.

Het aanbrengen van overhoogte is alleen dan noodzakelijk indien verwacht moet worden dat de ontwortelingszone van een omgewaaide boom door de berm en de afdekkende laag heen reikt tot in het watervoerende zandpakket.

Het geval zonder afdekkende laag

Bij de aanleg van een zandberm op een zandondergrond direct achter de binnenteen van een kleidijk is het uittreeverhang maximaal op de overgang van de teen van de kleidijk op het zand. De grondwaterstand krijgt de gelegenheid in de zandberm te stijgen, het verhang zal in de beschikbare hoogte van de berm verminderen. Bij voldoende hoogte van de berm wordt het verhang tot aanvaardbare proporties teruggebracht. In principe zou dus een smalle zandberm voldoende zijn om piping te voorkomen. Aanbevolen wordt de dikte van die berm zodanig te kiezen dat voldaan wordt aan het criterium $i_{kr} \leq 0,5$. In principe kan in deze situatie geen piping meer optreden. Wel dient het talud van de berm zodanig flauw te worden gekozen dat de microstabiliteit is verzekerd. Eveneens dient de verhouding van doorlatendheden van de watervoerende laag en van het bermmateriaal aan de filtereisen te voldoen.

Van groot belang is dat er zekerheid bestaat dat de watervoerende zandlaag aan het oppervlak geen inhomogeniteiten (lees ondoorlatende zone's) bevat.

3.4 Beheer en onderhoud grastaluds

3.4.1 Algemeen

In deze paragraaf worden beheer en onderhoud van grastaluds besproken. Dit beheer en dit onderhoud hebben een belangrijke relatie met het ontwerp, met name waar het de steilheid van de binnentaluds betreft. Vanuit het oogpunt van veiligheid kan het binnentalud vaak steiler dan 1:3 worden aangelegd, mits er geen afschuiven door overslag optreedt (paragraaf 2.5.1) en de erosie beperkt blijft (paragraaf 2.5.2). Maar een steil talud leidt ook tot praktische problemen. Bij welke steilheid van het talud kan dit nog worden onderhouden? Welk beheer vereist een dergelijk steil talud? Hier zullen

beheer en onderhoud van steile grastaluds worden behandeld. Achtergrond informatie is te vinden in bijlage 3. hoofdstuk 3.B.

Er bestaat wisselwerking tussen de manier van onderhoud en het functioneren van de dijk:

- beheer en onderhoud van een dijk beïnvloeden de sterkte van de dijk en wel in het bijzonder de dijbekleding
- als er schade aan de dijbekleding optreedt, moet het praktisch mogelijk zijn deze schade te kunnen herstellen.

Door toepassing van beheer op maat kan een bepaalde dijbekleding en een bepaalde taludhelling technisch worden gerealiseerd, terwijl dat met een ander type beheer niet mogelijk zou zijn geweest.

Het beheer en onderhoud van grastaluds dient gericht te zijn op een evenwichtige behartiging van een aantal belangen: het waterstaatkundige (veiligheid), het natuurtechnische of landschappelijke en het agrarische. Hieronder zal blijken dat de belangen van waterstaatkundige en natuurtechnische aard grotendeels samenvallen en dat de agrarische daar slechts ten dele mee samenvallen. Afhankelijk van het belang waarop het accent gelegd wordt, kan men drie vormen van beheer [Fliervoet 1992] onderscheiden:

1 Waterstaatkundig beheer

Dit richt zich primair op de functie van de vegetatie in het kader van de waterkerende functie van de dijk. Andere functies van de vegetatie zijn bij deze vorm van beheer van ondergeschikt belang.

2 Aangepast agrarisch beheer

Naast de waterkerende functie heeft de vegetatie de functie om als voedselbron voor de veeteelt te dienen.

3 Natuurtechnisch beheer

Naast de waterkerende functie heeft de vegetatie een functie in het kader van het behoud en de ontwikkeling van natuurwaarden. Bij natuurtechnisch beheer ligt de nadruk op het handhaven van de soortenrijkdom.

3.4.2 Begroeiing, sterkte en belasting

De erosiegevoeligheid van talud en kruin, hangt bij een grasdijk in hoge mate van de begroeiing af. Bij een dichte en gevarieerde begroeiing is een dijk goed tegen erosie van langs- en afstromend water beschermd. Daarnaast heeft ook de kwaliteit van de grond in de toplaag invloed op de erodeerbaarheid van een talud, zie paragraaf 2.5.2.

Het gewas vervult qua bescherming tegen erosie twee functies. Het gedeelte boven de grond, de stengels, reduceert de belasting op de bodem, terwijl de wortels de losse delen van de bodem bijeenhouden. Effectief vertoont de grond door de doorworteling extra cohesie. De begroeiing beïnvloedt zodoende op twee manieren de verhouding tussen belasting en sterkte.

In welke mate de begroeiing het talud beschermt, hangt af van de aard en

dichtheid van de begroeiing. Voor een optimale bescherming dient het talud gelijkmatig te zijn bedekt. Tevens moet de begroeiing, met name in de winter en het voorjaar, voldoende lang zijn, zo'n 5 à 7,5 cm. Als bij de dimensionering van een dijk rekening wordt gehouden met het gewas, dient het gewas op ieder moment van het jaar de vereiste sterkte te kunnen leveren. Gedurende de winter en het voorjaar, als de grootste belastingen op het talud kunnen worden verwacht, mag het gewas niet afsterven of zijn afgestorven. Evenmin mag de begroeiing grote kale plekken vertonen. Het gedeelte van de begroeiing in de bodem vergroot de sterkte van de grond. De grootste invloed wordt door de doorworteling geleverd. Niet alleen dienen er nabij het oppervlak voldoende wortels te zijn, maar ook dieper in de grond dient het wortelpakket zich uit te strekken. Indien er door erosie een stuk van de toplaag is geërodeerd, is er nog steeds met wortels gewapende grond voorradig. Dit kan worden bereikt via een gevarieerde begroeiing met een gevarieerd en complex wortelsysteem, dat relatief diep wortelt. De kans op kale plekken is dan ook het kleinst.

3.4.3 Invloed van beheer en onderhoud

De soortenrijkdom kan worden beïnvloed door de hoeveelheid voedingsstoffen in de bodem. De soortenrijkdom neemt bij een toename van voedingsstoffen aanvankelijk toe, maar bij een verdere toename van voedingsstoffen weer af. Bij een overmaat aan voedingsstoffen ontstaat er boven en onder de grond een eenzijdig beeld. De wortels groeien maar matig diep door. Bovendien is de structuur van de wortels erg eenzijdig. De optimale soortenrijkdom kan momenteel worden bereikt door gebruik te maken van de 'natuurlijke' bodemvruchtbaarheid. Uit de atmosfeer infiltreert er voldoende stikstof de bodem in. Het is daarom het beste om niet te bemesten en het maaisel af te voeren. Hierdoor is natuurtechnisch beheer duurder dan zowel aangepast agrarisch beheer als waterstaatkundig beheer, zie bijlage 3.B.

Dit impliceert dat alleen heel extensieve agrarische toepassingen mogelijk zijn, hetgeen overeenkomt met het beheer dat ideaal is vanuit natuurtechnisch of waterstaatkundig oogpunt.

Bij toepassing van zware klei (paragraaf 2.5.2) neemt de variatie aan soorten af. Tevens groeien de wortels minder diep door. Ook neemt het absolute deel van de bodem dat door de wortels wordt ingenomen, af. Bij erosie is er dus eerder kans op het blootvallen van grond zonder wortelpakket, dan bij een wat lichtere klei. De hiermee gepaard gaande afname in sterkte wordt deels gecompenseerd door de grotere cohesie van de zwaardere klei. Met deze aspecten moet bij het ontwerp rekening worden gehouden.

Door jaarlijkse groei van het gewas moet het worden onderhouden. Dat kan op twee manieren: maaien en beweiden.

Maaien en afvoeren

Voor het maaien, inclusief het afvoeren van het maaisel, van taluds die steiler zijn dan 1:3, moet gebruik gemaakt worden van speciale apparatuur, zoals een maaïarm of een-assers. De maaïarm is ruwweg 8 m lang; hij wordt aan een tractor bevestigd. De lengte van de arm is in het algemeen te kort om het gehele talud vanaf alleen de kruin of de teen van de dijk te kunnen maaien. Een consequentie van een steil talud kan daarom zijn, dat bij wat hogere dijken de maaïmachine zowel over de kruin als langs de teen moet kunnen rijden. Om met een tractor over de kruin te kunnen rijden zal deze tenminste 3 m breed moeten zijn, zie paragraaf 3.1 (kruinbreedte). Indien het om een wat hogere dijk gaat, dient bovendien een onderhoudspad aan de teen te worden aangelegd, om ook via de onderzijde het talud te kunnen maaien. Bebouwing langs of onder aan de dijk is hierbij een belemmerende factor.

Er moet niet eerder worden gemaaid, dan dat het gewas heeft zaad geschoten. De bekleding regenereert zich immers door aanmaak van nieuwe aanwas. Van deze regel kan worden afgeweken als een bepaald type ongewenst gewas domineert. Er moet dan juist voordat dit ongewenste gewas in het zaad schiet, worden gemaaid. Hiervoor is het advies van een botanicus nodig.

Bij een arme bodem is het veelal voldoende om slechts eenmaal per jaar te maaien, in de periode half augustus tot half september. Bij een wat rijkere bodem kan er tweemaal worden gemaaid: in de periode half mei tot medio juni en in het tijdvak half augustus medio september. Een maaiplan moet voorkomen dat er te laat in het seizoen (oktober-november) wordt gemaaid. De dijkbekleding moet immers met voldoende lengte (5 à 7,5 cm) de winter in gaan. Tenslotte moet er op worden gelet, dat steeds op ongeveer dezelfde tijd in het seizoen wordt gemaaid. Natuurtechnisch beheer is kansrijker op een talud van 1 : 3 dan op steilere taluds, omdat het onderhoud van steile taluds lastiger uitvoerbaar is, zie bijlage 3.B.

Beweiden

Koeien en paarden zijn door hun hoge hoefdruk ongeschikt voor beweiding, ze vertrappen de top laag van het talud. Schapen zijn wel mogelijk.

Als de begroeiing door beweiden wordt kort gehouden, moet er voor worden gezorgd, dat gedurende de winter en het voorjaar het gewas voldoende krachtig is. Dat houdt in dat er niet continu kan worden beweiden, maar met tussenpozen. Het gewas heeft zo'n rustpauze nodig om weer aan te groeien en zich uit te zaaien. Gespreid beweiden voorkomt tevens de vorming van kale plekken, in het bijzonder looppaden naar en bij drinkbakken en hekken. Taludhellingen tot 1 : 2 kunnen door schapen worden beweiden, indien maar wordt voldaan aan de voorwaarden, te weten in de tijd gespreid beweiden, niet langer dan 3 à 4 weken achterelkaar. Tevens dient er voor de beesten een uitloop te zijn naar een minder steil stuk grond, zeker bij steile taluds. Beweiding in de winter en het voorjaar is ongeacht de taludhelling ontoelaatbaar.

De duur van beweiding van een perceel hangt van de produktie van het land af, al dan niet bemest. Als er helemaal niet wordt bemest, zijn twee periodes van vier weken voldoende, de eerste in mei en de tweede in augustus respectievelijk in juni en september en juli/oktober. De grond moet dan in drie percelen worden onderverdeeld, om toch continu de schapen tijdens de zomer uit de stal te houden. De hoeveelheid vee moet op de opbrengst en de grootte van de percelen worden afgestemd: 5 á 10 schapen per hectare.

Het is voor het gewas overigens beter met relatief veel schapen gedurende een korte periode (twee à drie weken) te beweiden, dan met weinig schapen continu. Beesten hebben hun favoriete voederplaatsen, waardoor gemakkelijk kale plekken kunnen ontstaan.

3.4.4 Conclusies

- Waterstaatkundig beheer houdt onder andere het volgende in:
 - * gras wordt gemaaid en afgevoerd, of er wordt beweid
 - * er dient niet te worden bemest
 - * er mogen géén chemische bestrijdingsmiddelen worden toegepast.
- Natuurtechnische beheer houdt ondermeer het volgende in:
 - * er dient niet bemest te worden
 - * het gras wordt onderhouden door maaien volgens een vrij strak maaiplan
 - * na het maaien moet het maaisel worden verwijderd
 - * het maaiplan is er op gericht de diversiteit in begroeiing te stimuleren.
- Aangepast agrarisch beheer houdt ondermeer in:
 - * de beweiding dient kortstondig te zijn, slechts enkele weken
 - * bij beweiding moet vaak van perceel worden gewisseld. Hiervoor moet een beweidsplan worden opgesteld
 - * land dat wordt beweid, moet ook eenmaal per twee à drie jaar worden gemaaid.
- Op een talud van 1 : 3 is natuurtechnisch beheer kansrijker dan op steilere taluds.
- Taluds tot 1 : 2 kunnen worden beweid indien aan de voorwaarden uit het beweidsplan wordt voldaan gespreid in de tijd
 - * niet langer dan 3 à 4 weken per keer
 - * uitloop naar een vlakker stuk land.
- Voor onderhoud van taluds die steiler zijn dan 1:3 (steile taluds), zijn speciale maaimachines nodig.
- Natuurtechnisch beheer vereist meer inspanning en is meestal duurder dan zuiver waterstaatkundig beheer, maar beantwoordt aan alle eisen van goed waterstaatkundig beheer.
- Natuurtechnisch beheer is vaak duurder dan aangepast agrarisch beheer.

4 Bestaande niet-waterkerende objecten in, op en nabij de dijk

4.1 Beoordeling bestaande niet-waterkerende objecten

Onder “niet-waterkerende objecten” worden alle objecten verstaan die niet tot het aarden lichaam van de doorgaande waterkering behoren en ook geen functioneel deel uitmaken van de waterkering. Deze objecten hebben dus geen waterkerende functie. In geval van combinaties van waterkerende en niet-waterkerende objecten (bijvoorbeeld keermuren die deel uitmaken van bebouwing) zal waar nodig in de beschrijving toch onderscheid gemaakt worden; in dat geval zal de bebouwing als niet-waterkerend element en de keermuur als waterkerend element worden beschouwd.

In, op en nabij vele rivierdijken zijn objecten zonder waterkerende functie aanwezig. Hoewel zij vaak een negatieve invloed zullen hebben op de veiligheid, is de maatschappelijke wens groot om bij dijkversterking te pogen deze objecten te handhaven. In dit hoofdstuk wordt die invloed besproken en wordt aangegeven onder welke omstandigheden deze elementen geaccepteerd kunnen worden met het oog op de waterkerende functie van de dijk. De niet-waterkerende objecten die worden beschouwd zijn:

- bebouwing, inclusief tuintjes;
- beplanting (voornamelijk bomen);
- (nuts)leidingen;
- wegen.

In bebouwde gebieden zullen combinaties van bovengenoemde objecten voorkomen. Grote leidingkruisingen, landhoofden, spoorwegen en tunnels worden hier niet in beschouwing genomen. Deze zijn al volgens verschillende voorschriften ontworpen, gebouwd en beheerd en het voert in het kader van deze Leidraad te ver om deze geheel opnieuw te behandelen.

In de volgende paragrafen wordt de beoordeling van de niet-waterkerende objecten methodisch behandeld.

De eerste stap bij deze beoordeling is de toepassing van het zogenaamde beoordelingsprofiel. Bestaande niet-waterkerende objecten die buiten dat beoordelingsprofiel vallen, kunnen in het algemeen worden gedoogd.

De stappen daarna behandelen de aspecten die een rol spelen als het object zich binnen het beoordelingsprofiel bevindt.

De beoordelingsmethodiek is noodzakelijk om bij een dijkversterking geschikte alternatieven te kunnen ontwikkelen waarbij deze objecten (mogelijk) behouden worden. De methodische behandeling wordt in de bijlage 4 uitgebreider behandeld en geïllustreerd met stroomschema's. In de bijlage wordt eerst per object uitgewerkt welke gebeurtenissen de functie van de waterkering kunnen verminderen of teniet doen (faalmechanismen). Deze gebeurtenissen zijn op een systematische wijze weergegeven in zogenaamde foutenbomen. Hierbij komt naar voren dat stabiliteit en erosie de twee belangrijkste aspecten zijn die een rol spelen bij de invloed van niet-waterkerende objecten op de functie van de waterkering. Het beheer wordt in de

bijlage ten behoeve van de duidelijkheid apart behandeld maar is in principe “verbonden” met de aspecten erosie en stabiliteit.

4.2 Beoordelingsprofiel

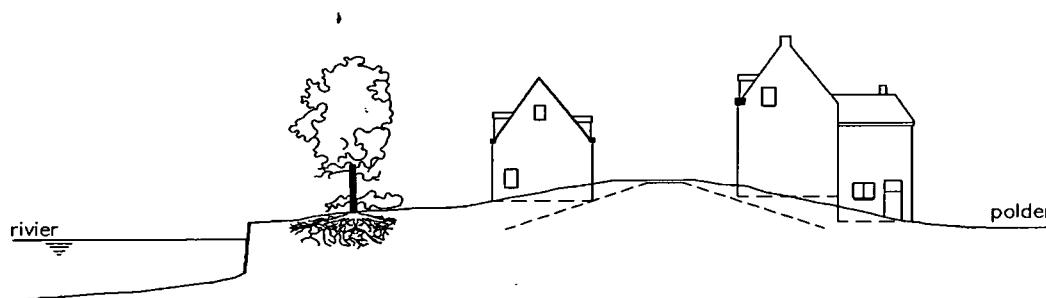
4.2.1 Inleiding

Door de Commissie Boertien is in navolging van Leidraad I gewezen op de mogelijkheid om bij het beoordelen van *bestaande* bebouwing en bomen gebruik te maken van wat in Leidraad I wordt genoemd het “theoretisch profiel”.

Dit begrip dat in de Leidraad niet is gedefinieerd wordt door de Commissie Boertien als volgt gedefinieerd:

“Een denkbeeldig minimum profiel van gedefinieerde afmetingen dat binnen het werkelijk aanwezige profiel moet passen.

}} Dit profiel mag niet door vreemde elementen worden doorsneden en moet op zichzelf de waterkerende functie kunnen vervullen”.



Figuur 7. Theoretisch profiel volgens Boertien

Door de Commissie Boertien wordt aanbevolen de filosofie met betrekking tot dit profiel nader uit te werken en bij de beoordeling van bestaande bebouwing en bomen te betrekken.

Over het begrip “theoretisch profiel” bestaat veel spraakverwarring. Buiten dat worden in het kader van het ontwerpen en beheren van dijken ook andere min of meer gedefinieerde “profielen” gehanteerd.

Om tot eenduidigheid in benamingen te komen wordt in bijlage 4, hoofdstuk 1.1 eerst een opsomming gegeven van begrippen en benamingen zoals deze bij voorkeur gebruikt zouden moeten worden.

In bijlage 4 wordt de benaming “theoretisch profiel” zoals door de Commissie gebruikt vervangen door de benaming *beoordelingsprofiel*. Om ver-

dere verwarring te voorkomen wordt het begrip “theoretisch profiel” niet meer gebruikt.

In bijlage 4, hoofdstuk 1.2 wordt de filosofie met betrekking tot het beoordelingsprofiel nader uitgewerkt.

Uit deze bijlage volgt dat het bij de uitwerking noodzakelijk bleek de door de Commissie geformuleerde definitie enigszins bij te stellen.

4.2.2 Het begrip beoordelingsprofiel

Het begrip beoordelingsprofiel is geïntroduceerd met als enig doel een gewogen oordeel te kunnen geven of *bestaande* bebouwing en bomen op een waterkering gedurende de restlevensduur getolereerd kan worden. In het vervolg van dit hoofdstuk zal dan ook regelmatig van dit begrip gebruik worden gemaakt.

Bij een nadere uitwerking van de filosofie met betrekking tot dit beoordelingsprofiel is de definitie van het begrip essentieel:

In de definitie van de Commissie Boertien is sprake van een “op zichzelf volledig de waterkerende functie kunnen vervullen”. Deze formulering geeft in die zin kans op misverstanden dat zou kunnen worden gedacht dat het werkelijk aanwezige profiel is overgedimensioneerd. Dit nu is allerm minst het geval. Het is niet de bedoeling dat het beoordelingsprofiel zondermeer de waterkerende functie volledig vervuld.

Wél moet worden geist dat, als door de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten, schade optreedt het aanwezige beoordelingsprofiel een garantie biedt dat ter plaatse *tijdelijk* voldoende veiligheid wordt geboden.

Aldus zou het beoordelingsprofiel als volgt moeten worden gedefinieerd.

Definitie

Het beoordelingsprofiel is een denkbeeldig minimum profiel van gedefinieerde afmetingen dat binnen het werkelijk aanwezige profiel moet passen. Dit profiel mag in het algemeen niet door niet-waterkerende objecten worden doorsneden en moet de garantie bieden dat schade aan de waterkering, ten gevolge van de aanwezigheid van het object, niet onmiddellijk tot falen van de waterkering leidt.

4.2.3 Nadere uitwerking filosofie beoordelingsprofiel

Het beoordelingsprofiel wordt zoals opgemerkt gebruikt bij de beoordeling van *bestaande* bebouwing en bomen in de waterkering, er is spraken van een gedoogsituatie. Deze beoordeling is onder meer noodzakelijk als in het kader van dijkversterking bij een beleidsanalytische studie, variant oplossingen gewogen dienen te worden.

In het kader van deze filosofie zijn niet-waterkerende objecten als bebouwing en bomen slechts dan acceptabel als duidelijk is dat ondanks hun aanwezigheid (ook in geval van calamiteiten met deze objecten, denk aan instorten en omwaaien) de waterkering voldoende veiligheid blijft bieden. Bij dit “voldoende veiligheid” wordt verondersteld dat er in geval van een calamiteit sprake is van een beheersbare situatie.

In feite vormt het gedogen van niet-waterkerende objecten een extra risico, zo zal bijvoorbeeld ter plaatse van een ontwortelde boom op het binnentalud in het algemeen een grotere erosiebelasting optreden dan overeenkomend met het veronderstelde gemiddelde debiet over de kruin. Dit geldt evenzeer voor de erosiebelasting naast één of meerdere aaneengesloten panden. Impliciet dient dus bij “voldoende veiligheid” bewaking en het tijdig kunnen treffen van maatregelen te worden verondersteld.

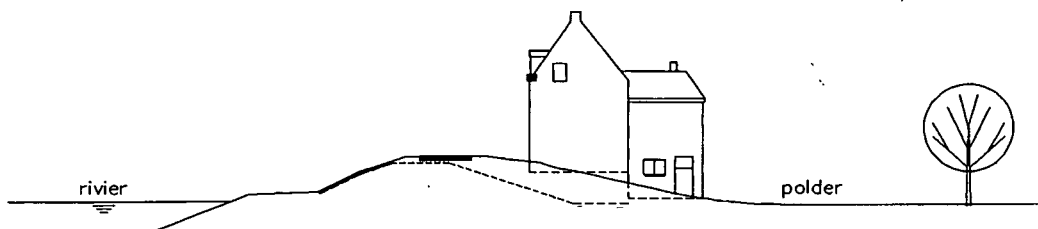
Bovenstaande geeft aan dat op basis van het beoordelingsprofiel zeker geen nieuwbouw- of beplantingsbeleid kan zijn gebaseerd. Eén en ander zou een ongebreidelde groei van het aantal risicofactoren inhouden die in geval van calamiteiten niet meer zijn te beheersen. Hoe nieuwbouw nabij een dijklichaam kan worden ingepast is weergegeven in bijlage 4, hoofdstuk 1.

Om aan te kunnen geven welk beoordelingsprofiel de gewenste “voldoende veiligheid” biedt, moet de belijning (de afmetingen) van het beoordelingsprofiel worden gedefinieerd. In principe moeten de afmetingen zodanig zijn dat schade aan een onderdeel van het dijklichaam tijdelijk kan worden “opgevangen”. Op basis van de huidige inzichten zou dan tot de volgende belijning worden gekomen.

Buitentalud

Bij de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten bijvoorbeeld bebouwing op of in het buitentalud zal, naast mogelijke discontinuïteit met betrekking tot waterdoorlatendheid, vooral het aspect erosie moeten worden beschouwd.

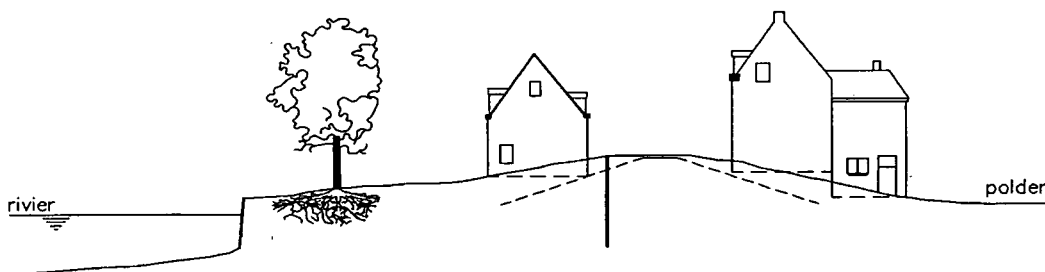
Bij het intact zijn van deze bebouwing maar zeker na instorten van deze bebouwing zal de erosiebestendigheid met name bij de aansluitpunten minder goed zijn dan op naast gelegen verdedigde taluds. Zolang geen volledig inzicht bestaat in de reststerkte bij erosie is het niet verantwoord in algemene termen een veilige helling van het denkbeeldige “buitentalud” vast te stellen. Met andere woorden het buitentalud van het beoordelingsprofiel zal in het algemeen worden gelegd op het fysiek aanwezige buitentalud.



Figuur 8. Beoordelingsprofiel bij verdedigd buitentalud

Daarmee is niet gezegd dat niet-waterkerende objecten op, in of nabij het buitentalud per definitie ontoelaatbaar zijn.

- Bij incidentele (waardevolle) bebouwing kan de diepgaande benadering zoals in het vervolg van dit hoofdstuk geschetst duidelijkheid verschaffen.
- In geval van een breed hoog gelegen voorland kan het probleem via de theorie van het afslagprofiel worden benaderd.
- Bij intensieve bebouwing op een meer of minder hoog gelegen niet al te breed voorland (zie figuur 9) kan vaak nauwelijks een fysiek buitentalud worden gedefinieerd laat staan beheerd. In dit soort situaties wordt de as van het beoordelingsprofiel gelijk gehouden met de as van de bestaande kruin. Bebouwing kan alleen worden geaccepteerd als de erosiebestendigheid van de buitenzijde kan worden gegarandeerd. Veelal is dit alleen maar het geval indien in het kader van dijkversterking bijzondere maatregelen worden genomen. Gedacht wordt hierbij bijvoorbeeld aan het inbrengen van een erosiescherm (zie ook hoofdstuk 5).



Figuur 9 Beoordelingsprofiel in 2-zijdig bebouwde situatie

Binnentalud

In geval van een calamiteit met de niet-waterkerende objecten moet er van worden uitgegaan dat er géén afdekkende laag meer op het binnentalud aanwezig is. Dit betekent dat ofwel kale klei ofwel zand door erosie wordt belast.

Uit hoofdstuk 3 kan worden afgeleid dat er bij belasting van onbeschermde grond eigenlijk niet meer overslag dan 0,1 l/m/sec zou moeten worden toegelaten (zowel uit een oogpunt van erosie als uit een oogpunt van infiltratie). Dit leidt er, zowel uit een oogpunt van stabiliteit als uit een oogpunt van erosie en infiltratie, vervolgens toe dat de vereiste helling van het “binnentalud” op 1 : 2 voor een kleidijk en 1 : 4 voor een zanddijk zou moeten worden gesteld. (Voor zandige toplagen op een kleidijk zou dan eveneens de helling van 1 : 4 moeten worden aangehouden).

Kruinbreedte

De “kruinbreedte” van het beoordelingsprofiel zou op basis van andere dan constructieve overwegingen (zie paragraaf 3.1) op minimaal 3 m moeten worden gesteld.

Binnenberm

Een binnenberm die op grond van stabiliteits- of pipingoverwegingen aanwezig is, dient onderdeel van het beoordelingsprofiel uit te maken.

Onderbrekingen in de vorm van kelders en te laag gelegen vloeren dienen met name aandacht te krijgen. Als afmetingen van het beoordelingsprofiel kunnen de minimaal benodigde afmetingen van de stabiliteits- of pipingberm volgens de ontwerpberekeningen gelden. Dit is niet altijd conform het leggerprofiel, dat om andere redenen ruimer kan zijn (zie bijlage 4).

Samenvatting

Aldus kunnen de randvoorwaarden en de afmetingen van het beoordelingsprofiel als volgt worden aangehouden.

kruinhoogte: vastgesteld bij een overslag van $\leq 0,1$ l/m/sec

kruinbreedte min. 3 m

buitentalud: valt samen met fysieke buitentalud 1) 2)

binnentalud: 1 : 2 bij kleikern

1 : 4 bij zandkern

binnenberm: conform minimaal ontwerpprofiel

1) indien een zeer breed hooggelegen voorland aanwezig is is het bij de beoordeling mogelijk gebruik te maken van de filosofie van het afslagprofiel.

2) indien vanwege (een beperkt) voorland het buitentalud niet als zodanig herkenbaar is dient de as van het beoordelingsprofiel te worden gekozen op de as van de bestaande kruin. Acceptatie van bebouwing is dan alleen mogelijk indien de erosiebestendigheid van de buitenzijde volledig is gegarandeerd.

Op basis van deze filosofie kan geconstateerd worden dat het handhaven van bestaande buitendijkse bebouwing en bomen in het algemeen niet mogelijk is, tenzij (zie het vervolg van dit hoofdstuk) de integriteit van de waterkering ook bij het instorten van de bebouwing of het omwaaien van bomen kan worden aangetoond, dan wel bewerkstelligd.

4.2.4 Doorsnijding van het beoordelingsprofiel

De eis dat het beoordelingsprofiel in principe niet door niet-waterkerende objecten mag worden doorsneden houdt in, dat dit profiel vrij moet zijn van bebouwing en van onderdelen daarvan. Dit geldt ten volle voor buitentalud, kruin en binnentalud. Ter plaatse van binnenbermen geldt een uitzondering in die zin dat geheel door grond omsloten gedeelten van funderingen op staal toelaatbaar zijn. Ook funderingspalen zijn toegelaten op voorwaarde dat deze zodanig zijn uitgevoerd dat zij geen aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van piping. Met andere woorden palen met een verzwaarde punt zullen in veel gevallen niet acceptabel zijn.

4.2.5 Bijzondere constructies als onderdeel van het beoordelingsprofiel

Bijzondere constructies zoals erosieschermen kunnen een deel van het beoordelingsprofiel uitmaken. Echter deze schermen zullen dan tevens een onderdeel van het leggerprofiel vormen.

4.3 Bebouwing en tuintjes

Bebouwing en tuintjes kunnen de veiligheid van een dijk op globaal op drie manieren beïnvloeden. Waar water over het grondoppervlak kan stromen, zoals op het buitentalud en, bij flinke overslag over de kruin en langs het binnentalud, zal de erosie langs de bebouwing veel groter zijn dan elders, enerzijds door stroomconcentratie langs de bebouwing, anderzijds door verstoring van de erosie bestendige kleilaag met grasmat. Laatstgenoemde verstoring mag men zeker ook bij tuintjes verwachten.

Een tweede vorm van invloed betreft de eventuele lekwegen langs wanden en vloeren, drainagesystemen en dergelijke die, afhankelijk van dijkopbouw en locatie de aanzet voor piping kunnen vormen.

Tenslotte kan de stabiliteit van het grondlichaam tegen afschuiven beïnvloed worden: Het eigen gewicht en de windbelasting op een gebouw vormen een extra belasting en het freatisch vlak kan plaatselijk verhoogd zijn door gebrekkige afvoer van hemelwater, aangetaste kleibedekking, lekkage langs wanden en vloeren, waterdichte kelderwanden e.d.

In bijlage 4, hoofdstuk 9.1 is een stappenschema weergegeven waarmee de aanvaardbaarheid van bebouwing of tuintjes binnen het beoordelingsprofiel beoordeeld kan worden. In veel gevallen zal blijken dat er onzekerheden zijn bij het aantonen van de veiligheid, omdat met name in de bebouwing géén goed beheer mogelijk is.

Om die redenen wordt aanbevolen bestaande bebouwing en tuintjes in principe alleen als toelaatbaar te beschouwen indien die zich buiten het beoordelingsprofiel bevinden. Zie ook paragraaf 4.2. Uitzonderingen zijn alleen aanvaardbaar indien aan getoond kan worden dat de beïnvloeding van de veiligheid aanvaardbaar is en, vooral ook, *blijft*. Dat laatste impliceert een garantie van een goed beheer. Bij handhaven van waardevolle bebouwing binnen het beoordelingsprofiel kan vaak alleen aan de eisen worden voldaan door het treffen van voorzieningen buiten de bebouwing (zie hoofdstuk 5), waardoor het beoordelingsprofiel zodanig wijzigt, dat de bebouwing erbuiten komt te liggen.

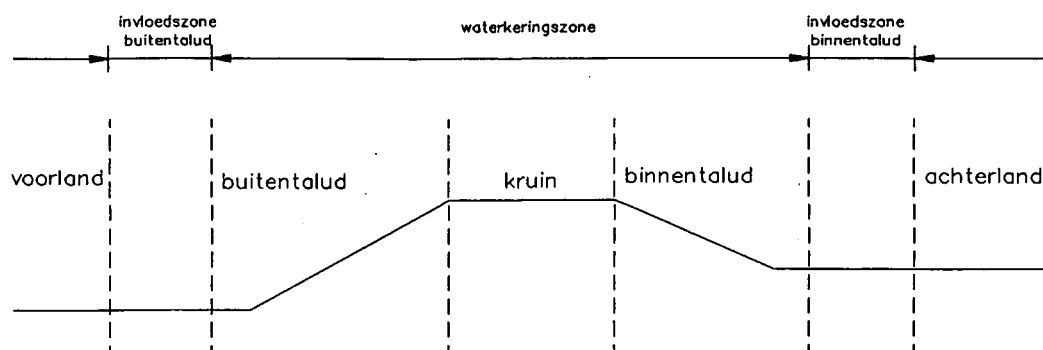
4.4 Bepanting

De negatieve invloed van bomen is het grootst doordat ze kunnen omwaaien en ontwortelen, waarna snelle erosie tot bresvorming kan leiden. Bij beoordeling staat dit mechanisme centraal; de boom wordt geacht bij ontworteling een gat te slaan met een diameter gelijk aan zijn kruindiameter en een diepte van 1 m. Daarnaast moet rekening worden gehouden met de invloed die wortels van bomen of struiken hebben op de toplaag: De toplaagdoorlatendheid kan onder andere door de aanwezigheid van afgestorven wortels groter worden hetgeen kan leiden tot verhoging van het freatisch vlak. Verder kan piping langs de wortels ontstaan. Tenslotte kan erosie van de veelal kale grond rond bomen en struiken optreden, maar die is nooit meer dan de erosie van de grond in een gat van een ontwortelde boom.

Hieronder is aangegeven welke stappen doorlopen moeten worden om de aanvaardbaarheid van bomen op en naast een dijk te kunnen beoordelen. Als bomen aanvaardbaar zijn, geldt hetzelfde voor struiken. In veel gevallen zal blijken dat bomen binnen het beoordelingsprofiel alleen aanvaardbaar zijn met voorzieningen buiten de bomen (zie hoofdstuk 5), waardoor het beoordelingsprofiel zodanig wijzigt, dat de bomen erbuiten komen te liggen.

stap 1 - beoordelingsprofiel

Het eerste criterium geeft een beschouwing van het profiel van de dijk. Bevindt de wortelzone zich buiten het beoordelingsprofiel (zie paragraaf 3.4), dan levert de boom geen direct gevaar op voor de dijk. Wordt hieraan niet voldaan, dan moet nader worden ingegaan op de verschillende invloeden van bomen op waterkeringen. Deze zijn in stap 2 tot en met 6 aangegeven.



Figuur 10. Indeling in locaties van het dijkprofiel.

stap 2 - boomsoort

De volgende soorten bomen kunnen tot goede ontwikkeling komen op kleigronden en zijn redelijk bestand tegen wisselende grondwaterstanden en wortelrot: grauwe els, zilverspar, wilg, winter- en zomereik, populier, berk, es, esdoorn, haagbeuk, iep. Voor deze soorten overgaan naar stap (3), voor andere soorten naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 3 - gezondheid

Slechts vitale, gezonde bomen kunnen worden gehandhaafd. dit moet beoordeeld worden door een vitaliteitsonderzoek. Voor gezonde bomen doorgaan naar stap (4), waarbij onderscheid wordt gemaakt in de locatie (zie figuur 10), in overige gevallen naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 4a - boom op buitentalud

Bij bomen op het buitentalud is ontworteling en andere aantasting van de kleibekleding in verband met erosieaspecten en verandering van water-spanningen in de dijk zeer onwenselijk. Ook moet de invloed op de stabiliteit van het buitentalud worden nagegaan. Bomen kunnen slechts worden gehandhaafd als aangetoond kan worden dat de stabiliteit niet nadelig wordt beïnvloed, en aannemelijk kan worden gemaakt dat ontworteling niet kan plaatsvinden, of dat na ontworteling de reststerkte van het overblijvende kleipakket voldoende is om direct gevaar te voorkomen. In andere gevallen doorgaan naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 4b - boom op kruin

Bij bomen op de kruin zijn speciale voorzieningen nodig om te voorkomen dat bij maatgevende omstandigheden de kruinhoogte ontoelaatbaar afneemt of de erosiegevoeligheid toeneemt. Deze voorzieningen kunnen bestaan uit alternatieve constructies maar ook uit beheersmaatregelen. Alleen als deze voorzieningen voldoende zijn om het beoordelingsprofiel in stand te houden kunnen bomen in de kruin gehandhaafd worden; in andere gevallen doorgaan naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 4c - boom op voorland

Bij bomen op het voorland kan de intredeweerstand van het voorland verminderen, waardoor de waterspanningen in de watervoerende pakketten hoger worden. Dit heeft gevolgen voor mogelijk opdrijven en stabiliteitsverlies. Deze invloed moet bij de beoordeling worden meegenomen. Als de boom binnen het invloedsgebied van het buitentalud komt moet ook de buitenwaartse stabiliteit nader beoordeeld worden. Is de invloed niet aanvaardbaar dan doorgaan naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 4d - boom op binnentalud

Voor bomen op het binnentalud geldt ten aanzien van erosie dat een overslag tot 0.1 l/m/s maximaal toelaatbaar is. Ten aanzien van stabiliteit tegen afschuiven langs een ondiep glijvlak zijn geen problemen te verwachten als de marge boven de vereiste stabiliteitsfactor > 0.2 is; is deze marge kleiner dan moet de stabiliteit inclusief de invloed van de ontwortelde boom nader geanalyseerd worden. Voldoet de situatie niet, dan doorgaan naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 4e - boom op het achterland

Een boom op het achterland kan invloed hebben op het ontstaan van zandmeevoerende wellen (piping). Binnen de invloedszone moet ook de invloed op de stabiliteit worden gecontroleerd, vooral als het om groepjes bomen gaat. Voldoet de situatie niet, dan doorgaan naar het vakje "uitzondering" (stap 5).

stap 5 - uitzondering

In gevallen waarbij met behulp van de voorgaande algemene regels in eerste instantie geconstateerd wordt, dat een boom op een bepaalde plaats niet kan worden gehandhaafd, is er de mogelijkheid om bij uitzondering hiervan af te wijken. Eis hierbij is dat dit gebeurt op basis van een goed onderbouwde studie.

stap 6 - controle en beheer

Een aantal factoren die de veiligheid van de waterkering nadelig kunnen beïnvloeden, zijn door een goed beheer te minimaliseren. Het betreft vooral:

- de aanwezigheid van dode wortels;
- beschadiging door wortels;
- aantasting door dieren;
- beschadiging van het grasdek;
- ziekte van een boom;
- te grote afmeting of leeftijd van een boom.

Door in het ontwerp deze aspecten mee te nemen zijn problemen in het gebruiksstadium te voorkomen.

4.5 Kabels en Leidingen

4.5.1 Algemeen

Indien bebouwing op de dijk voorkomt, zullen vrijwel altijd leidingen en kabels in en nabij de dijk aanwezig zijn die invloed kunnen hebben op de veiligheid van de waterkeringen. Een van de aspecten die een rol spelen zijn ontgrondingskuilen die kunnen ontstaan door explosie van een gasleiding of breuk van een (hoge druk) waterleiding met daarop volgende erosie. De orde van grootte kan geschat worden uit de tabellen van bijlage 4, hoofdstuk 5.3. Langa leidingen die in het voor- of achterland een slecht doorlatende laag doorsnijden, kan piping geïnduceerd worden. Dat geldt met name waar de leidingen aansluiten op gebouwen en zettingsverschillen kunnen ontstaan. Gedurende graafwerkzaamheden voor leidingen ontstaan sleuven. Die zijn weliswaar maar korte tijd open, maar kunnen niettemin (lokale) instabiliteit van het grondlichaam teweeg brengen. Ook opbarsten van de sleufbodem behoort tot de mogelijkheden. Sleuven voor een kruisende leiding vormen uiteraard een groot risico voor sterke erosie tijdens hoge waterstanden. Ook na het dichten van de sleuf, zullen de lokale grondeigenschappen (doorlatendheid en schuifweerstand) veranderd zijn.

In de Pijpleidingcode en de (ontwerp)normen NEN 3650, 3651 en 3652 komen deze aspecten aan de orde. Leidingen dienen in principe aan de hand hiervan beoordeeld te worden. Voor bestaande “kleinere” leidingen (druk < 10 bar en diameter $\leq 0,3$ m) kan de in dit rapport aangegeven methode aangehouden worden.

De Pijpleidingcode is in grote lijnen opgezet voor leidingen met grote diameters en hoge drukken. Het niet falen van de leiding zelf heeft dan de eerste prioriteit. Daarna worden maatregelen genoemd die noodzakelijk zijn om de waterkerende functie van de dijk te handhaven.

Redenerend vanuit “kleinere” leidingen is het zinvol om eerst af te vragen hoe ernstig een falende leiding zou zijn. Op grond van zo’n redenering kan worden aangegeven welk type leiding en de ligging ervan meer invloed heeft op de waterkerende functie.

Met name voor kleine parallelle lezingen is dit een andere aanpak dan de Pijpleidingcode. Daarbij wordt in aanvulling op hetgeen de Pijpleidingcode vermeldt ook de invloed van een hogere freatische lijn door lekkage of breuk beschouwd.

Uit bijlage 4, hoofdstuk 5.1 is af te leiden welke leidingen en locaties de meeste invloed kunnen hebben op de veiligheid van de waterkering. In tabel 1 is dit aangegeven, waarbij de leiding met prioriteitsnummer 1 naar verwachting de meeste invloed zal hebben.

Tabel 1

Prioriteiten voor de toetsing van leidingen.

prioriteit	type leiding en locatie in de dijk
1	Alle vloeistof- en gasleidingen met een druk van meer dan 10 bar of een diameter die groter is dan 0,3 m.
2	Parallele waterleiding of riool in buitentalud of paralleldijk.
3	Parallele waterleiding of riool in kruin, binnentalud of teen.
4	Kruisende waterleiding of riool.
5	Overige waterleidingen of riolen.
6	Parallele gasleiding in buitentalud of paralleldijk.
7	Kruisende gasleiding.
8	Overige gasleidingen.
9	Parallele PTT-, CAI- of electriciteitskabel in buitentalud of paralleldijk.
10	Kruisende PTT-, CAI- of electriciteitskabel.
11	Overige PTT-, CAI- of electriciteitskabels.

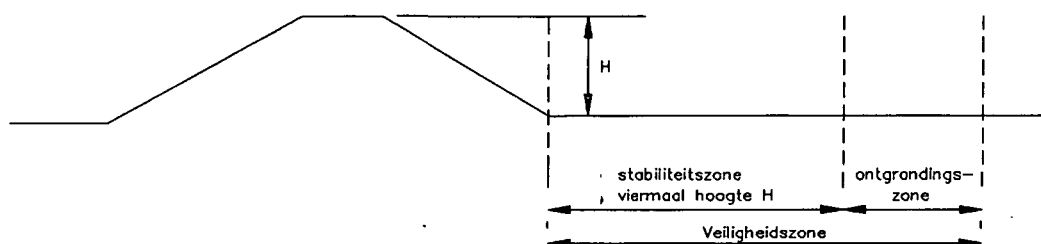
De type leidingen die in dit rapport worden beoordeeld zijn:

- (A)- lagedruk (<10 bar) waterleidingen met een diameter van maximaal 0,3 meter;
- (B)- rioleringen, drainageleidingen en kolken t.b.v. bebouwing en wegen met een diameter van maximaal 0,3 meter.
- (C)- lagedruk (<10 bar) gasleidingen met een diameter van maximaal 0,3 meter;
- (D)- PTT-, CAI- en electriciteitskabels met een diameter van maximaal 0,05 meter.

In de volgende paragraaf (4.5.2) is aangegeven welke stappen genomen moeten worden om de aanvaardbaarheid van "watervervoerende" leidingen type (A) en (B) in en naast een dijk te kunnen toetsen; in de daarop volgende paragraaf (4.5.3) zal dit gedaan worden voor gas- en electraleidingen type (C) en (D).

Alle leidingen die niet vallen onder type (A), (B), (C) of (D) dienen te worden beoordeeld aan de hand van de normbladen NEN 3650 en NEN 3651 of NEN 3652.

4.5.2 "Watervoerende" leidingen



Figuur 11. Veiligheidszone

stap 1 - bepaal veiligheidszone

Een leiding parallel aan de waterkering dient in principe te worden gelegd in een terreinstrook buiten de veiligheidszone van de dijk (zie figuur 11). De breedte van de veiligheidszone, gemeten vanuit de teenlijn van de waterkering, moet gelijk zijn aan de afstand van de ontgrondingszone vermeerderd met de stabiliteitszone. De grootte van de ontgrondingszone zal voor de beschouwde leidingen maximaal circa 5 meter bedragen. Voor een nauwkeuriger bepaling wordt verwezen naar bijlage 4, hoofdstuk 5.3.

De breedte van de stabiliteitszone moet worden gebaseerd op de invloed die een eventueel gat kan hebben op de afschuifstabiliteit van de dijk. Hij kan gelijk gesteld worden aan viermaal de hoogte van de waterkering boven het maaiveld, indien er geen bijzondere omstandigheden zijn. Indien echter zeer slappe lagen in de ondergrond voorkomen, de spanningstoestand nog niet aan de bestaande belastingtoestand is aangepast, voortgaande deformaties van de waterkering optreden of een sterk omhooggerichte grondwaterstroming optreedt, kan de stabiliteitszone grondmechanisch groter zijn. Dat kan met grondmechanisch onderzoek worden vastgesteld. Dergelijk onderzoek wordt ook aanbevolen in situaties waarbij het van belang is vast te stellen of de stabiliteitszone smaller is.

Indien de leiding buiten de veiligheidszone ligt kan verder worden gegaan naar stap 10.

stap 2 - in gebruik zijnde leidingen

Niet meer in gebruik zijnde waterleidingen en riolen moeten zoveel mogelijk worden verwijderd.

stap 3 - conditie

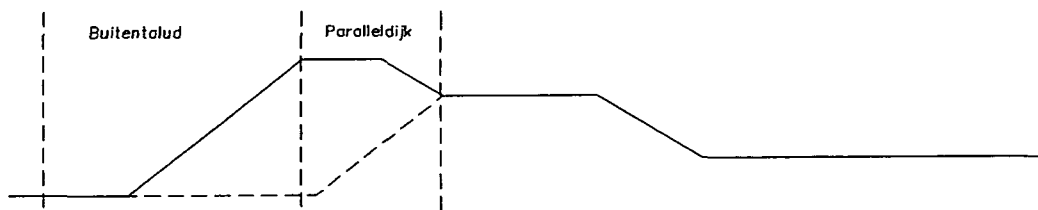
Indien verwacht kan worden dat de leiding of het riool in een slechte conditie is dient deze te worden hersteld, verwijderd of vervangen.

Bij stap 4 wordt onderscheid gemaakt in leidingen die de waterkering kruisen en die parallel aan de waterkering lopen.

stap 4a - Kruisende leiding

Bij kruisende leidingen is geen kwelscherm benodigd als de onderkant van de leiding gedurende de planperiode over een bepaalde lengte boven ontwerppeil ligt. Voor deze lengte wordt aanbevolen een maat van 3 meter te nemen. De zettingen die optreden gedurende de planperiode moeten hierbij in ogenschouw worden genomen.

Indien de leiding hieraan niet voldoet is een kwelscherm nodig. Deze moet tenminste 0.5 m buiten de leiding steken, waterdicht met de leiding zijn verbonden en zijn gevat in een kleikist van tenminste 1 m in de lengterichting van de leiding.



Figuur 12. Buitentalud en paralleldijk

stap 4b - Parallele leidingen

In verband met het mogelijk optreden van kwel moet de leiding inclusief sleuf bij aanleg) meer dan 3 meter binnenwaarts van de buitenkruinlijn zijn gelegen. Bovendien mag de leiding niet worden aangelegd in het buitentalud en niet in een paralleldijk (zie figuur 12). Als hieraan niet wordt voldaan moet de leiding ook als een kruisende leiding worden beschouwd en dienen aspecten zoals kwel en erosie te worden beoordeeld.

In het voorland is vooral van belang de invloed op de waterspanningen bij maatgevende omstandigheden. De intredeweerstand van het voorland kan verminderen waardoor de waterspanningen in de watervoerende pakketten hoger worden. Dit heeft zijn gevolgen in mogelijk opdrijven en stabiliteitsverlies. Vooralsnog lijkt het verstandig om bij leidingen in het voorland te onderzoeken in hoeverre slecht doorlatende lagen worden doorsneden.

Een leiding in het achterland, de berm, het binnentalud en het deel van de kruin dat meer dan 3 m binnenwaarts van de buitenkruinlijn is verwijderd moet worden afgekeurd als niet is voldaan aan een juiste uitvoering. Dit betekent dat tijdens de aanwezigheid van een sleuf de stabiliteit van de waterkering niet in gevaar komt en dat opdrijving en piping niet kunnen

optreden. Daarnaast moet de sleuf juist zijn aangevuld en verdicht; zie stap 10. Als aan de bij deze stap gestelde eisen niet kan worden voldaan dan doorgaan met stap 9.

stap 5 - controle freatische lijn bij lekkage

Bepaal de hoogte toename van de freatische lijn bij lekkage op grond van de ligging van de leiding en wel of niet doorlatende lagen. Indien de verhoging van de freatische lijn bij lekkage lager is dan de lijn bij maatgevend hoogwater kan verdergegaan worden met stap 7, anders naar stap 6.

stap 6 - controle stabiliteit met hogere freatische lijn

De stabiliteit van de waterkering dient te worden gecontroleerd met de verhoogde freatische lijn tengevolge van lekkage. Indien dit niet voldoet doorgaan naar stap 9, anders naar stap 7.

stap 7 - bepaal mate van ontgronding

De grootte van de ontgronding kan worden bepaald met behulp van bijlage 4. Indien de ontgronding buiten het beoordelingsprofiel (zie stap 1 in paragraaf 8.3.2) ligt, kan worden verdergegaan met stap 10, anders verder gaan met stap 8.

stap 8 - controle ontgronding

Stabiliteit, piping en opdrijving moeten worden gecontroleerd met in acht name van de ontgronding. Bij afkeuring verder gaan met stap 9, anders naar stap 10.

stap 9 - uitzondering

In uitzonderingsgevallen kan afgeweken worden van de bovengenoemde eisen. Eventueel kan dit door middel van een bijzondere constructie. Eis hierbij is dat dit gebeurt op basis van een gefundeerd oordeel aan de hand van de normbladen NEN 3650, NEN 3651 en NEN 3652.

stap 10 - controle en beheer

Voor leidingen is de aangewezen weg om via een vergunningenbeleid aanleg en onderhoud te reguleren. Hierbij dient rekening te worden gehouden met nog uit te voeren dijkversterkings-werkzaamheden. Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvulwerkzaamheden dient ervoor te worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvulmateriaal wordt gebruikt en de profielopbouw zoveel mogelijk wordt hersteld. Daarnaast dient de waterkering met een gegraven sleuf voldoende stabiel te zijn en moet de veiligheid tegen opdrijven of piping zijn gewaarborgd (zie verder bijlage 4, hoofdstuk 8). Deze werkzaamheden zijn in feite alleen toelaatbaar bij lage rivierwaterstanden.

4.5.3 Gas- en electraleidingen

stap 1 - beoordelingsprofiel

Een eerste criterium geeft een beschouwing van het profiel. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een nadere beoordeling van de leiding niet hoeft plaats te vinden als er

een beoordelingsprofiel aan is te geven waar de leiding geen deel van uitmaakt.

stap 2 -ingebruik

Niet meer ingebruik zijnde kabels en gasleidingen moeten zoveel mogelijk worden verwijderd.

stap 3 -conditie

Indien verwacht kan worden dat de gasleiding in een slechte conditie is dient deze te worden hersteld, verwijderd of vervangen.

Bij stap 4 wordt onderscheid gemaakt in leidingen die de waterkering kruisen en die parallel aan de waterkering lopen.

stap 4a - kruisende leidingen

Bij kruisende leidingen is geen kwelscherm benodigd als de onderkant van de leiding gedurende de planperiode over een bepaalde lengte boven ontwerppeil ligt. Voor deze lengte wordt aanbevolen een maat van 3 meter te nemen. De zettingen die optreden gedurende de planperiode moeten hierbij in ogenschouw worden genomen.

Indien de leiding hieraan niet voldoet is een kwelscherm nodig. Deze moet tenminste 0.5 m buiten de leiding steken, waterdicht met de leiding zijn verbonden en zijn gevat in een kleikist van tenminste 1 m in de lengterichting van de leiding.

stap 4b - Parallelle leidingen

In verband met het mogelijk optreden van kwel moet de leiding (inclusief sleuf bij aanleg) meer dan 3 meter van de buitenkruinlijn zijn gelegen. Bovendien mag de leiding niet worden aangelegd in het buitentalud en niet in een parallelle. Als hieraan niet wordt voldaan moet de leiding als een kruisende leiding worden beschouwd en dienen aspecten zoals kwel en erosie te worden beoordeeld.

In het voorland is vooral van belang de invloed op de waterspanningen bij maatgevende omstandigheden. De intredeweerstand van het voorland kan verminderen waardoor de waterspanningen in de watervoerende pakketten hoger worden. Dit heeft zijn gevolgen in mogelijk opdrijven en stabiliteitsverlies. Vooralsnog lijkt het verstandig om bij leidingen in het voorland te onderzoeken in hoeverre slecht doorlatende lagen worden doorsneden. In het achterland, de berm, het binnentalud en het deel van de kruin dat meer dan 3 m van de buitenkruinlijn is verwijderd mag de leiding worden aangelegd of aanwezig zijn mits is voldaan aan een juiste uitvoering. Dit betekent dat tijdens de aanwezigheid van een sleuf de stabiliteit van de waterkering niet in gevaar komt en dat opdrijving en piping niet kunnen optreden. Daarnaast moet de sleuf juist zijn aangevuld en verdicht; zie stap 6.

stap 5 - uitzondering (zie stap 9 in paragraaf 4.5.2)

stap 6 -controle en beheer

Hiervoor geldt hetzelfde als bij stap 10 van de “watervoerende” leiding (zie paragraaf 4.5.2).

4.6 Wegen

De eventuele invloed van een weg op het waterkerend vermogen van een dijk betreft enerzijds de belasting door verkeer (paragraaf 2.1.2), anderzijds mogelijke erosie bij de aansluiting van het wegdek op de bermen en kwel door de fundatie van de weg. Zie bijlage 4, hoofdstuk 6. Hieronder is aangegeven welke stappen doorlopen moeten worden om de invloed te kunnen toetsen.

stap 1 - belasting

Het eerste aandachtspunt betreft de macro-stabiliteit van de dijk met inachtneming van de verkeersbelasting (zie paragraaf 2.2.1).

stap 2 - kwel, erosie en micro-stabiliteit

Indien de wegfundering onder het ontwerppeil ligt moeten voorzieningen zijn getroffen zodat er geen kwel door deze lagen kan optreden. De wegconstructie en bekleding moet zodanig zijn ontworpen dat er geen water via de weg in de dijk loopt. Met name de aansluiting van de weg met de grasmat van de dijk is een erosiegevoelig punt dat aandacht verdient. Zie ook paragraaf 3.1. Wordt voldaan aan stap 2, dan naar stap 4. Zo niet, dan naar het vakje “uitzondering” stap 3.

stap 3 - uitzondering

In gevallen waarbij met behulp van de voorgaande regels in eerste instantie geconstateerd wordt, dat de weg niet kan worden gehandhaafd, is er de mogelijkheid om deze bij uitzondering toch toe te staan. Eis hierbij is dat dit gebeurt op basis van een goed onderbouwde studie, eventuele aanpassing van de wegconstructie en/of het toepassen van beheersmaatregelen.

stap 4 - controle en beheer

Voor wegen is de aangewezen weg om via een vergunningenbeleid aanleg en onderhoud (reconstructie) te reguleren waarbij rekening wordt gehouden met nog uit te voeren dijkversterkingswerkzaamheden (zie verder bijlage 4, hoofdstuk 8).

5 Toepassen van bijzondere constructies

5.1 Doel en overzicht

Een dijkverzwaring met traditionele middelen is een betrouwbare en veilige methode maar gaat veelal gepaard met een vergroting van het dwarsprofiel. In veel gevallen gaat dit ten koste van de belangen van bewoners, natuur en landschap. Dan kunnen bijzondere constructies soms een aantrekkelijk alternatief bieden dat enerzijds beantwoordt aan de eisen van veiligheid en anderzijds tegemoet komt aan de andere belangen. Toepassing van bijzondere constructies is er op gericht het bestaande dwarsprofiel of de contouren van het dijkprofiel zoveel mogelijk te handhaven.

Dergelijke constructies zijn in een aantal gevallen kostbaar en zullen om die reden veelal beperkt blijven tot de knelpunten. Voor de grotere gedeelten is vaak een minder kostbare of ingrijpende constructie denkbaar die toch kan voldoen aan de gestelde eisen.

Dit hoofdstuk is een samenvatting van bijlage 5 waarin de mogelijk denkbare constructies worden besproken. Een overzicht van deze constructies is gegeven in tabel 2, overgenomen uit de bijlage. In de laatste kolom zijn de meest kansrijke constructies met “a” of met “b” aangeduid. Constructies met “a” zijn min of meer standaard en zijn niet verder behandeld. Van de overige kansrijke constructies is in dit hoofdstuk aangegeven op welke wijze deze constructies in het ontwerp kunnen worden opgenomen, met welke (neven)aspecten en effecten in het ontwerp rekening moet worden gehouden, hoe ze moeten worden berekend, hoe ze worden uitgevoerd en welke controle en onderhoud wordt vereist.

Opgemerkt dient te worden dat een en ander is gebaseerd op de inzichten van dit moment.

Tabel 2
Selectietabel

	Duurzaamheid									
		Omgeving								
			Uitvoering							
				Kostenindicatie						
					Herstelbaarheid					
						Ervaring				
							Onderhoud			
								Uitbreidbaarheid		
										Uitwerking
aanpassing bestaand dijkmateriaal										
kleikern	++	B/N	--	-	++	++	o	+		a
licht materiaal										
flugsand	++	B/N	--	-	++	++	o	+		a
geëxp. kleikorrels	+	B/N	--	--	+	+	o	o		b
schuimbeton	o	B/N	--	--	+	+	-	o		c
geotextielen/grids	o	B/N	--	--	--	++	-	--		b
zand-garen composities	o	B/N	-	--	-	o	-	-		b
kern stabilisatie	+	B/N	--	--	+	+/-	o	+		c
zandkern	++	B/N	--	-	++	++	o	+		a
aangepast materiaal bij uitbreiding										
kleiophoging	++	B/N	+	o	++	++	o	+		a
licht materiaal										
flugsand	++	B/N	+	-	++	++	o	+		a
geëxp. kleikorrels	+	B/N	+	-	+	+	o	o		b
schuimbeton	o	B/N	o	--	+	+	-	o		c
geotextielen/grids	o	B/N	+	-	--	+	o	--		b
zand-garen composities	o	B/N	o	--	--	o	-	-		b
stabilisatie	+	B/N	-	-	+	+/-	o	+		c
verzwaarde berm	++	B/N	-	--	++	o	o	+		b
bestaand materiaal verbeteren										
kleistabilisatie	+	B/N	-	-	++	+	o	+		c
zandstabilisatie	+	B/N	-	-	++	+	o	+		c
electro-osmose	++	B/N	+	--	++	o	o	++		c
gel injectie	-	B/N	-	-	-	+	o	+		c
verbeteren ondergrond										
verticale drainage	o	B	+	-	++	++	-	+		a
vacuümconsolidatie	+	B	o	--	-	++	-	-		c
electro osmose	++	B	+	--	++	o	o	+		c
kalk en cement/kalkpalen	+	B	-	--	-	-	o	+		c
grindpalen	++	B	-	--	-	+	o	+		c
grondwaterpotentiaal beïnvloeden										
filterconstructies	+	B/N	o	o	+	++	-	-		b
ontlastsloten	+	B/N	+	o	++	++	-	+		b
kwelschermen	++	B/N	-	--	-	++	o	-		b
kwelkaden	++	B/N	+	-	++	++	-	+		a
scherm in de dijk	+	B/N	--	--	--	o	-	--		b
erosiebescherming										
gewapende grasmatten	-	N	++	o	-	++	o	+		b
honingraadstructuren	-	N	++	o	-	+	-	+		c
bekledingsconstructies	++	B/N	o	--	++	++	-	+		a

Vervolg tabel	Duurzaamheid									
		Omgeving								
			Uitvoering							
				Kostenindicatie						
					Herstelbaarheid					
						Ervaring				
							Onderhoud			
								Uitbreidbaarheid		
									Uitwerking	
constructieve elementen										
damwand/keermuur ++ B/N -- -- - ++ - -- a										
gewapende grond + B/N -- -- -- + o -- b										
gabions + B/N - -- - ++ o + b										
diepwand/kistwand ++ B/N -- -- -- + o -- b										
groundnailing + B/N -- -- - + o + b										
beweegbare keringen										
aanvoer van buitenaf + B/N -- -- - ++ -- -- c										
roteerbaar/verschuifbaar + B/N -- -- - + -- -- c										
opdrijvend + B/N -- -- - o -- -- c										
1) mits klei geen humus bevat										
++ = duurzaam + = duurzaamheid niet gegarandeerd o = tijdelijk in overgangsperiode - = onvoldoende										
B = bebouwing sparen N = heeft invloed op de natuurwaarden pos of neg !										
++ = eenvoudig uitvoerbaar + = zonder veel overlast uitvoerbaar o = geen overmatige overlast - = uitvoering vergroot overlast -- = aanzienlijke overlast										
-- = veel duurder > 2 - = duurder > 1,2-2 o = even duur 0,8-1,2										
++ = eenvoudig herstelbaar + = met moeite herstelbaar - = moeilijk herstelbaar -- = niet te herstellen, alleen volledig te vernieuwen										
++ = goede ervaring in dijksbouw + = goede ervaring buiten dijksbouw o = geen ervaring - = niet zonder zorg toepasbaar -- = slechte ervaringen										
++ = geen onderhoud + = weinig onderhoud o = geen extra onderhoud - = extra onderhoud -- = veel extra onderhoud										
++ = eenvoudig uitbreidbaar + = uitbreidbaar - = niet uitbreidbaar										
a = standaard ontwerpmethode b = uit te werken c = niet uit te werken										

5.2 Aanpassen bestaand dijkmateriaal en toepassing aangepast materiaal bij uitbreiding dijkprofiel

5.2.1 Algemeen

Wanneer een bestaande dijk niet voldoet aan de gestelde eisen kan het materiaal uit de dijk worden vervangen door een materiaal dat wel aan de eisen voldoet. Om dit te bereiken zal eerst de bestaande dijk geheel of gedeeltelijk moeten worden afgegraven. Er moet wel worden nagegaan of in de tijdelijke situatie geen falen optreedt.

Bij verbreding of verhoging van een dijk zal de keuze voor een ander materiaal minder gevolgen hebben dan in het geval dat het bestaande dijkmateriaal moet worden vervangen. Bij verbreding of verhoging wordt het bestaande profiel in ieder geval gewijzigd. Wel kan de keuze van het toe te passen materiaal van belang zijn om de gevolgen voor natuur, landschap en bebouwing zo klein mogelijk te houden. Verder kan in deze situatie gebruik worden gemaakt van de reeds bestaande dijk om aan een deel van de criteria te voldoen.

Bij het aanpassen van bestaand dijkmateriaal kan men in de eerste plaats denken aan het vervangen van de zandkern door klei of de kleikern door zand. Daarover behoeven hier geen bijzonderheden vermeld te worden.

5.2.2 Kern of uitbreiding uitvoeren met licht materiaal

Overzicht materialen

De kern van een bestaande dijk, gebouwd op een samendrukbare en slecht draagkrachtige ondergrond kan worden vervangen door een verhoudingsgewijs licht materiaal. Te noemen vallen de volgende materialen, die zinvol in een dijk kunnen worden toegepast:

- * Flugsand, een licht vulkanisch materiaal met een hoge interne haakweerstand. Met dit materiaal is reeds de nodige ervaring opgedaan. Voor toepassing van dit materiaal kan daarom worden verwezen naar de huidige voorschriften en de reeds eerder uitgevoerde projecten. De volumieke massa bij toepassing boven de grondwaterspiegel is circa 1200 kg/m^3 , onder de grondwaterspiegel circa 1400 kg/m^3 .

- * Geëxpandeerde kleikorrels. Dit zijn korrels die ontstaan door gasbelvorming in klei tijdens het bakken van klei. Daardoor ontstaan holle bolletjes met een dunne schil van gebakken klei. Het materiaal gedraagt zich als een loskorrelig materiaal. De volumieke massa is droog boven water $360\text{-}490 \text{ kg/m}^3$, nat onder water $1250\text{-}1300 \text{ kg/m}^3$.

* Schuimbeton, een beton dat door schuimvorming veel holle ruimte bezit, het is een licht en stijf materiaal. De volumieke massa is droog 400-1800 kg/m^3 , met water verzadigd 1240-2050 kg/m^3 .

* Polystyreen schuim, een extreem licht materiaal. Door het bijzonder lage volumegewicht is een met polystyreen opgebouwde dijk niet bestand tegen horizontale waterdrukken en zal bij een hoge waterstand de kern opdrijven als onvoldoende ballast op het polystyreen is aangebracht. Het materiaal is daardoor niet geschikt voor toepassing in een dijk. Het materiaal is daarom niet in dit rapport opgenomen.

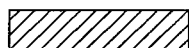
Doel

Het doel van het toepassen van lichte materialen in de dijk is het verbeteren van de macrostabiliteit zodat aan de eisen van stabiliteit kan worden voldaan of de dijk kan worden verhoogd zonder het toepassen van verbreding en het aanleggen van steunbermen. Daarnaast leiden lichte materialen tot een reductie van de deformaties hetgeen belangrijk kan zijn voor de bestaande bebouwing.

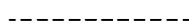
legenda



zand



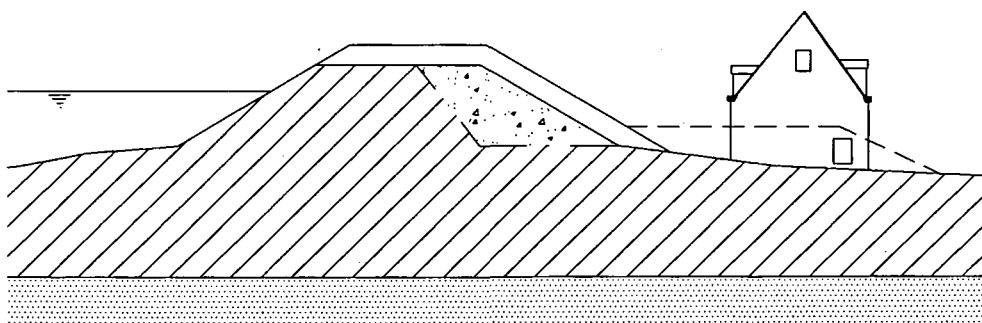
klei / veen



te voorkomen oplossing



ontgravings lijn



Figuur 13.

Toepassen licht materiaal i.p.v. stabiliteitsberm en amoveren woning.

Complicaties

Geëxpandeerde kleikorrels zijn duurzaam onder normale omstandigheden. Van de kleikorrels is bekend dat ze bij toepassing onder water na verloop van tijd water opnemen en volledig verzadigd raken, waardoor het voordeel van het lichte gewicht voor een deel teniet wordt gedaan. Verder moeten bij inpassing in een zandige dijk maatregelen worden genomen om inspoeling van het zand in het pakket kleikorrels te voorkomen. Omhulling met een geotextiel kan inspoeling voorkomen. Wegens het lage gewicht van de kleikorrels moet de horizontale stabiliteit van een dijklichaam waarbij de bestaande kern wordt vervangen door geëxpandeerde kleikorrels, worden getoetst.

Het gedrag van schuimbeton op de lange termijn is niet voldoende bekend. Er moet in ieder geval worden gerekend op wateropname na verloop van tijd bij toepassing onder natte omstandigheden. De duurzaamheid van het materiaal is afhankelijk van de samenstelling en daarmee van het soortelijk gewicht. Een bijkomend probleem bij toepassing van schuimbeton is het feit dat het stijf materiaal is. Wanneer onder het schuimbeton zetting en met name ongelijkmatige zetting optreedt ontstaan holle ruimtes onder het schuimbeton. Als op die plaatsen grondwaterstroming en uitspoeling kan optreden moeten maatregelen worden getroffen zoals bijvoorbeeld het plaatsen van extra schermwanden.

Flugsand is enkele malen zo duur als zand, gexpandeerde kleikorrels zijn circa 5 tot 6 maal zo duur, terwijl schuimbeton ongeveer 20 maal zo duur is.

Bij de keuze van het alternatieve materiaal moet gelet worden op de aanvaardbaarheid voor het milieu (bouwstoffenbesluit).

5.2.3 Wapenen met geotextielen of geogrids

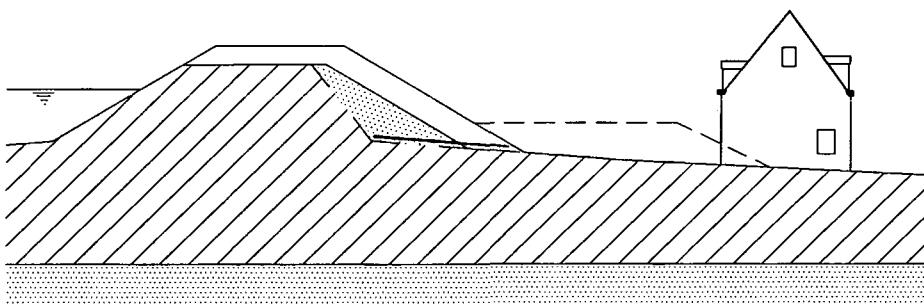
Geotextielen en geogrids worden gebruikt als wapening onder een ophoging of dijklichaam op een weinig draagkrachtige ondergrond. Een tweede toepassing is te vinden in het opzetten van steile taluds waarbij de geotextielen of geogrids het grondlichaam verankeren aan het achterliggende grondlichaam. Het doel van de toepassing is het verbeteren van de macrostabiliteit of het versteilen van een talud op plaatsen waar voldoende draagkracht aanwezig is, maar onvoldoende ruimte is voor toepassing van de gebruikelijke taludhellingen.

Bij toepassing van een geotextiel of geogrid als wapening onder een dijk of ophoging gaat het vaak om vergroting van de stabiliteit in de aanlegfase. Na consolidatie is de sterkte van de ondergrond verbeterd en heeft de wapening in de meeste gevallen geen functie meer. Bij toepassing van een geotextiel of geogrid onder een bestaande dijk in het geval de stabiliteit van de dijk onvoldoende is, geldt dit niet. Het gaat dan immers om een reeds langer bestaande dijk. Bij de keuze van de geotextielen moet daarmee rekening worden gehou-

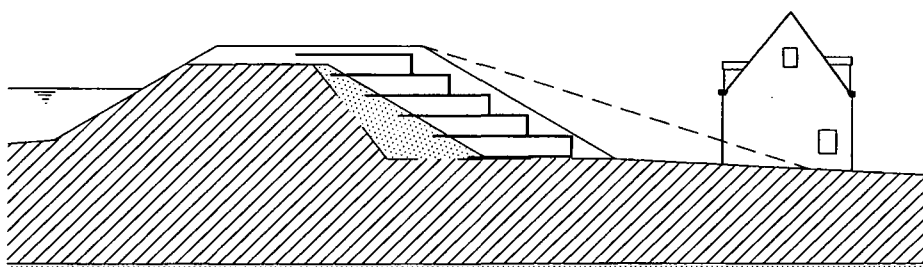
den. Bepaalde kunststoffen zijn niet geschikt voor langdurig gebruik, anderen wel. Ook de uiteindelijke samenstelling van de kunststoffen en de toevoegingen hebben hun invloed op het lange duur gedrag. Verder zal de toelaatbare sterkte worden gereduceerd in verband met afname van de breuksterkte als gevolg van veroudering en de toename van vervorming in de tijd.

Bij toepassing van een geotextiel of geogrid bij de opbouw van een steil talud moet eerst een steunconstructie worden gebouwd. Daarna kan het geotextiel of de geogrid worden uitgelegd, moet een laag zand worden aangebracht en verdicht. Het geotextiel of de geogrid wordt omgevouwen naar achteren, daarna wordt een volgende laag geotextiel of geogrid aangebracht en kan de volgende laag zand worden opgebracht. Na afloop kan de steunconstructie worden verwijderd en kan het steile talud worden afgedekt of bekleed.

Bij beschadiging van het geotextiel of de geogrid zal het in zijn geheel moeten worden vervangen. Bescherming tegen mechanische beschadiging en vandalisme door bijvoorbeeld het aanbrengen van bekleding is daarom zeker gewenst.



Figuur 14. Toepassen geotextiel i.p.v. stabiliteitsberm en amoveren woning



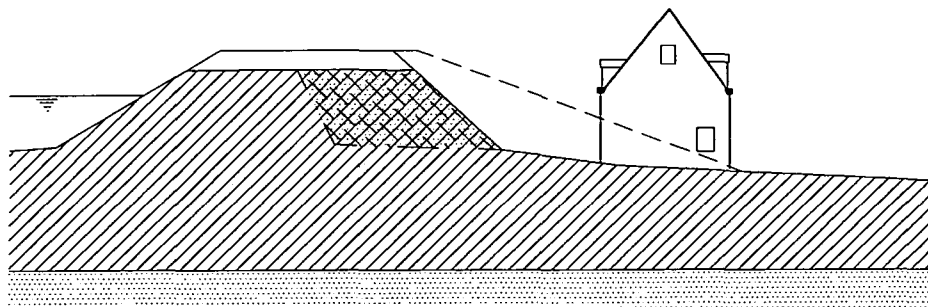
Figuur 15. Toepassen geogrid i.p.v. flauw talud en amoveren woning

5.2.4 Zand-garen composities

Een zand-garen composiet wordt gemaakt door een grote hoeveelheid dunne kunststofgarens in een sinusvormige beweging uit te spuiten tijdens het strooien van zand. Het zand is daardoor ingebed in een groot aantal draden in verschillende richtingen. De draden worden door de onderlinge korrel-

druk verankerd in het korrelpakket. Daarmee kunnen relatief steile taluds worden verkregen. Het composietmateriaal wordt dan opgebouwd als een soort keermuur. Het materiaal behoudt de wrijvingseigenschappen van zand, maar verkrijgt door de wapening met de draden een extra schijnbare cohesie. De samenhang in het materiaal wordt verkregen door de draden. Dit houdt tevens in dat een eenmaal verstoorde binding niet kan worden hersteld. Er kan dus geen nieuw stuk aan het oude worden aangeplakt, het is dus niet eenvoudig om een reparatie van een beschadigd deel uit te voeren.

Het materiaal bevat kunststof garens. De duurzaamheid hangt daardoor samen met de duurzaamheid van de garens. Door de juiste keuze van garens en toeslagstoffen is een duurzaam materiaal te verkrijgen. Het blijft echter gevoelig voor aantasting door oliën en chemicaliën. Bovendien is het verstandig toch enige bescherming aan te brengen tegen mechanische beschadiging of vandalisme, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een overmaat aan dikte.



Figuur 16. Zand-garen composiet i.p.v. flauw talud en amoveren woning

Bij de opzet van helling die niet steiler zijn dan 60° kan het talud worden ingezaaid met gras. Het talud verkrijgt hierdoor een natuurlijk aanzien. Dat betekent echter niet dat een goede erosiebestendige grasmat ontstaat. De zand-garen composities zelf zijn bestand tegen erosie door flinke regenbuien en daarom waarschijnlijk ook voor erosie door golfoverslag met een debiet van 0,1 l/ms. Of het bestand is tegen erosie bij hogere overslagdebieten is niet bekend.

5.2.5 Stabiliseren van zand of klei met cement

Een kern of uitbreiding van zand kan worden gestabiliseerd met cement. Daardoor is het mogelijk aanzienlijk steilere taluds toe te passen of de berm-breedte naast een weg op de dijk in breedte te beperken. Tevens neemt de doorlatendheid van het materiaal af. Een kern van klei kan van zichzelf voldoende steil worden uitgevoerd.

Stabilisatie met cement is duurzaam, wel kan op lange termijn enige uitlo-ging plaatsvinden.

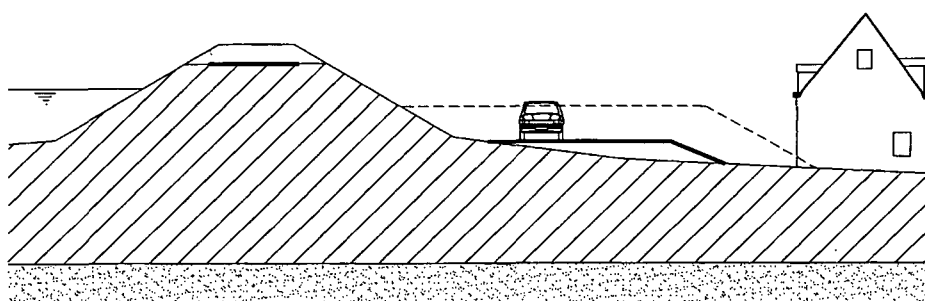
De cement moet met het zand worden gemengd. Bij een bestaande dijk moet hiervoor eerst de dijk worden ontgraven of moet met behulp van inject-

tie en mixing het materiaal worden gemengd zoals dat gebeurt bij de fabricage van kalk en cementpalen. De stabilisatie kan ook worden uitgevoerd door een cementslurry onder hoge druk in het zandmassief te spuiten. De kwaliteit van de injectie hangt in sterke mate af van de doorlatendheid van zand. In slecht doorlatende, fijne en relatief slibrijke zanden zijn de resultaten slecht. Mits na uitharding van de eerste stabilisatie toegankelijk, kan nieuw materiaal worden aangebracht dat zich hecht aan het oude materiaal. De kosten van het mengen kunnen vrij snel oplopen.

Na stabilisatie wordt het zandpakket stijf. Het is dan niet langer in staat ongelijkmatige zettingen te volgen. Wanneer wel ongelijkmatige zetting kan optreden met de kans op grondwaterstroming, scheurvorming, onderloopsheid of uitspoeling moeten voorzieningen worden getroffen om aantasting van de waterkerende functie van de dijk te voorkomen.

5.2.6 Verzwaard materiaal in de berm

Bij gevaar van opdrijven van de klei/veenlagen achter de dijk of kans op verlies aan stabiliteit door een te grote opwaartse druk onder de lagen kan een steunberm worden toegepast met een ander, zwaarder materiaal zoals beton met zware toeslagstoffen. Door toepassing van een verzwaarde berm kan de dikte van de oorspronkelijk benodigde berm worden beperkt en kan de berm mogelijk worden gebruikt voor andere doeleinden zoals de fundatie van een wegconstructie. Bij de keuze van het zware materiaal moet gelet worden op de aanvaardbaarheid voor het milieu (Bouwstoffenbesluit).



Figuur 17. Zwaar materiaal (eventueel wegverlegging) in plaats van stabiliteitsberm en amoveren woning

Afhankelijk van het gekozen materiaal zal de constructie meer of minder kostbaar zijn, deze moeten echter worden afgewogen tegen de normale kosten voor de aanleg van een weg op die plaats. Verlies aan landschapswaarde kan een belangrijk aspect zijn en zal bij de beoordeling moeten worden meegenomen.

Een verzwaarde berm is niet onder alle omstandigheden geschikt om te die-

nen als piping berm. Een betonweg zal in het algemeen na verloop van tijd scheuren vertonen en niet waterdicht zijn. Daarnaast kan plaatselijk enige ongelijkmatige zakking optreden en kan er ruimte ontstaan tussen de beton-berm en de aansluitende kleilaag waardoor ook de afdichting tegen stroming niet kan worden gegarandeerd.

5.3 Verbeteren bestaand materiaal van dijk of ondergrond

In de overzichtstabel is een aantal mogelijke maatregelen genoemd. De meeste zijn echter niet veel-belovend voor de toepassing in rivierdijken. Alleen de bekende techniek van verticale drainage is in een aantal gevallen goed bruikbaar. Overigens zal verticale drainage niet leiden tot een verkleining van het profiel van een dijk, ervan uitgaande dat het profiel gebaseerd wordt op de schuifsterkte van de ondergrond aan het eind van het consolidatieproces. Verticale drainage wordt dan gebruikt om de uitvoering te bespoedigen.

5.4 Beïnvloeden stijghoogte en stroming van grondwater

5.4.1 Algemeen

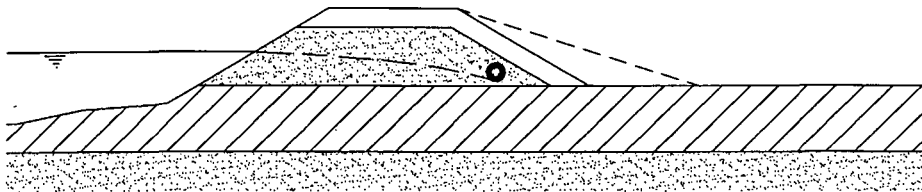
In een aantal gevallen blijkt dat maatregelen moeten worden getroffen om de grondwaterpotentiaal in de dijk of in de watervoerende lagen onder de dijk te beïnvloeden. Meestal bestaat deze beïnvloeding uit een verlaging bij hoge rivier-standen.

Hoge waterstanden in de dijk kunnen van invloed zijn op de micro- en macro-stabiliteit. Een hoge grondwaterpotentiaal in de watervoerende laag onder de dijk is vooral van invloed op de macrostabiliteit en de kans op het optreden van piping.

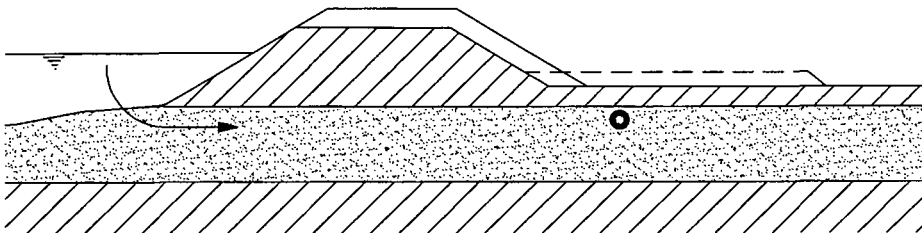
Bij normale rivierstanden is de hoogte van de grondwaterstand in het algemeen geen probleem. Maatregelen die worden genomen om alleen bij hoge waterstanden werkzaam te zijn vereisen een speciale controle om er zeker van te zijn dat onder die omstandigheden op de maatregelen kan worden vertrouwd. Een van de mogelijke maatregelen, het maken van kwelkaden is reeds vrij gebruikelijk en behoeft hier geen extra behandeling. De andere in de overzichtstabel genoemde mogelijkheden zullen hier besproken worden.

5.4.2 Filterconstructies en drains

Door middel van drains of een filterconstructie wordt het waterpeil kunstmatig verlaagd tot aan het filter of de drain of het afvoerpunt van het filter of



Figuur 18. Filterconstructie in plaats van flauw talud en/of berm



Figuur 19. Drainconstructie in plaats van flauw talud en/of berm

de drain als dat hoger ligt. Het grondwater stroomt naar het filter of de drain. Daardoor wordt op dat punt de grondwaterstand of de stijghoogte van het grondwater kunstmatig naar beneden getrokken. Afhankelijk van de doorlatendheid van de omringende grond en de mogelijke toestroming van grondwater wordt het peil in de rest van de dijk naar verhouding op dezelfde wijze beïnvloed.

Het doel van het verlagen van de grondwaterstand of de grondwater potentiaal is het voorkomen van uitstromend grondwater (microstabiliteit) of verlagen van grondwaterstand en/of stijghoogte in de diepe lagen (macrostabiliteit) of verminderen van de potentiaalverschillen in de grondwaterstroming (piping).

Drains kunnen machinaal worden aangelegd met een draineermachine. De drains bestaan uit een geperforeerde kunststofbuis, die is omwikkeld met een vlies. Een alternatief vormt de structuurmat, bestaande uit twee lagen vlies die door een ruimtelijke structuur van kunststofdraden op enige afstand worden gehouden. Het water kan tussen de vliezen afstromen. Een granulair filter wordt opgebouwd in een sleuf of aan de teen van de dijk en bestaat uit één of meerdere lagen die wel water doorlaten maar grond en de opvolgende lagen filtermateriaal tegenhouden. Bij toepassing van een geotextiel kan worden volstaan met één laag. Tenslotte bestaat het filter uit een laag grof materiaal waar doorheen het water wordt afgevoerd.

De doorlatendheid van filters en drains loopt terug in de tijd. Door specifiek onderhoud, zoals het doorspoelen en omkeren van de stroomrichting moeten de filters en drains worden schoongehouden. Verantwoorde toepassing van filters en drains eist een onderhoudsprogramma. Verder moet een monitoring systeem worden opgezet om de werking onder normale omstandighe-

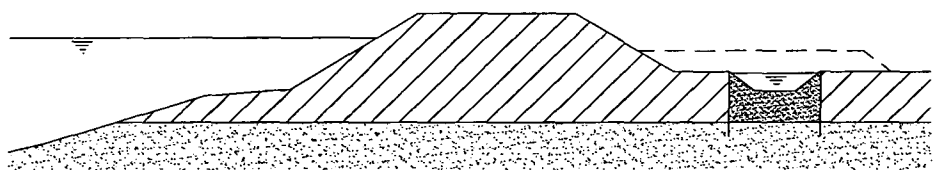
den te controleren. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door de drains en filters op een zodanig laag niveau aan te leggen dat ze ook in perioden met lage rivierstand een hoeveelheid water afvoeren. Afname van de hoeveelheid af te voeren water is dan een maat voor verstopping.

De kosten van de aanleg van een drain of filter zijn beperkt voor een eenvoudige kunststof drain, maar zijn omvangrijk voor een uit meerdere lagen opgebouwd filter in een sleuf. Daarnaast moet nog rekening worden gehouden met de kosten van controle, onderhoud en zonodig het afpompen van het water.

Een drain of een filter kan de huidige grondwaterstand beïnvloeden en daarmee veranderingen in het ecosysteem tot gevolg hebben. Blijft de verandering beperkt tot alleen extreme omstandigheden, dan is de beïnvloeding mogelijk beperkt.

5.4.3 Ontlastsloten

Een ontlastsloot is een sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft de grondwaterpotentiaal in het watervoerende pakket direct achter de dijk te verlagen. Daarmee wordt de opwaartse waterdruk in de lagen achter de dijk en onder de teen van de dijk verlaagd. Dit verlaagt uiteindelijk de kans op piping en vergroot tevens de macrostabiliteit.



Figuur 20. Ontlastsloot in plaats van stabiliteitsberm of pipingberm

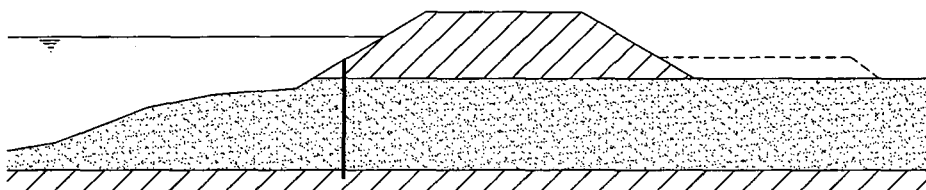
De sloot zal op gebruikelijke wijze worden gegraven, waarbij de aanleg kan plaatsvinden in perioden met lage waterstand.

Er moet een filterconstructie op de bodem worden aangebracht om grondtransport te voorkomen. De filterconstructie kan soms bestaan uit grindpalen. De onderhoudseisen voor de filterconstructie komen grotendeels overeen met die besproken in paragraaf 5.4.2.

De grondwaterstand dient vooraf, tijdens en na het graven op verschillende plaatsen te worden opgenomen om de vooraf berekende invloed op de grondwaterstanden te controleren en om op het juiste moment onderhoud te plegen en de eventuele filterconstructie in de sloot schoon te maken. Verlaging van de grondwaterstand, bij normale rivierstanden, kan invloed hebben op het ecosysteem.

5.4.4 Kwelschermen

Een kwelscherm is een waterdicht scherm dat verticaal in de grond wordt aangebracht. Met een kwelscherm wordt de stroming van het grondwater in de watervoerende laag onder de dijk tegen gegaan. Het verbreken van de grondwaterstroming in de watervoerende laag onder de dijk vermindert het gevaar van piping en verlaagt de opwaartse druk op de klei en veenlagen achter de dijk. Dit verhoogt de macro-stabiliteit.



Figuur 21. Kwelscherm in plaats van pipingberm

Een kwelscherm kan bestaan uit een houten, stalen of betonwand of een slurrywand, die de grond wordt ingedrukt, getrild, geheid of gegraven/gevuld. Bij de inpassing in het bestaande profiel moet rekening worden gehouden met de benodigde ruimte bij het installeren van het scherm. Verder moet men rekening houden met het door het scherm doorvoeren van kabels en leidingen.

Overigens zal ook een diepwand of kistdam in de dijk de grondwaterstroming op dezelfde wijze tegengaan. In dit onderdeel gaat het echter alleen om een wand die als enige functie heeft het tegengaan van grondwaterstroming in een laag onder de dijk. De wand zal daarom het beste aan de teen van de dijk kunnen worden aangebracht omdat in dat geval niet onnodig het dijkprofiel moet worden gepasseerd bij het inbrengen van de wand.

De grondwaterstand kan, met name bij hoge waterstanden, enigszins worden verlaagd door de vermindering van de omvang van kwel, dit kan invloed hebben op het ecosysteem.

Het scherm zal in de grond moeten worden aangebracht. Een damwand moet worden ingetrild of ingeheid. Kruisende kabels en leidingen zullen moeten worden verlegd. De waterdichtheid zal moeten worden gecontroleerd met peilbuizen, die de grondwaterstanden vooraf en achteraf vastleggen.

Een scherm is in het algemeen een kostbare oplossing. De uiteindelijke kosten hangen af van de materiaalkeuze van het scherm en van de benodigde lengte van het scherm in de bodem.

5.4.5 Scherm in de dijk

Met name in goed doorlatende zandige dijken maar zeker bij een sterk gelaagde opbouw van de dijk kern, kan men overwegen de stroming door de dijk te beletten door het aanbrengen van een ondoorlatend verticaal scherm in de dijk. In plaats van een scherm kan men ook een damwand plaatsen. Beide maatregelen kunnen een verbetering van de microstabiliteit tot gevolg hebben.

Er moet eerst een sleuf worden gegraven. In de sleuf moet vervolgens een bentoniet- of kleispoeling worden aangebracht. Door de juiste keuze van de klei of het bentoniet en voldoende breedte van de sleuf moet worden voorkomen dat de slurry in de wand bij lage waterstanden uitdroogt. Als alternatief kan ook gekozen worden voor een kunststof folie of scherm dat in een met steunvloeistof gevulde sleuf kan worden neergelaten. Lekkages in een kunststofwand zijn niet herstelbaar, lekkages in een slurrywand als gevolg van uitdroging kunnen zich door vocht opname na verloop van tijd herstellen. Een bijzondere vorm van een scherm is de zogenaamde kleikist. Een kleikist is een laag klei met "beperkte" breedte die tijdens de bouw van de dijk in de kern van de dijk wordt aangebracht. De kleikern wordt gemaakt uit klei en verdicht tijdens de bouw. De klei is naar verhouding stijver dan bij een achteraf gegraven wand en zal in het algemeen ook breder zijn dan de gegraven wand.

De werking van het scherm zal regelmatig, ook in perioden met lage waterstanden, moeten worden gecontroleerd. Dit kan ertoe leiden dat men bijvoorbeeld kunststof schermen dubbel uitvoert waarbij tussen de twee schermen water kan worden geïnjecteerd om in perioden met lage waterstanden te kunnen nagaan of er geen beschadiging van het scherm is opgetreden.

Het aanbrengen van een scherm, zeker als tot grotere diepte moet worden gegraven, kan kostbaar zijn.

5.5 Gewapende grasmat of andere erosiebescherming

Afhankelijk van de hoogte van de dijk ten opzichte van de ontwerp hoogwaterstand zal de hoeveelheid water, die in extreme omstandigheden over de dijk en het binnentalud stroomt, variëren. Bij een grotere hoeveelheid oversstromend water zullen extra voorzieningen moeten worden getroffen om erosie van het talud te voorkomen. Ook het buitentalud kan eroderen onder invloed van stroming en golfaanval.

Een grasmat bestaat uit losse graspollen die door hun wortelstel met elkaar en met de ondergrond zijn verbonden. Deze verankering kan worden versterkt met een samenhangende mat van kunststof of een natuurlijk materiaal. Door de verankering kan de erosie worden tegengegaan en kunnen met lokaal zwakke plaatsen als het ware worden overbrugd.

Een kunststof mat is onderhevig aan veroudering. Zowel een mat van natuurlijk materiaal als een kunststofmat is met name bedoeld totdat de grasmatt zelf voldoende sterk is.

De kosten van de aankoop en het uitleggen van een mat zijn gering. Wel moet zich bewust zijn van het feit dat het maaien en verzamelen van het afgemaaide materiaal extra voorzieningen aan de apparatuur kan vergen.

Uiteraard zijn ook andere, meer gebruikelijke mogelijkheden voor erosiebescherming, zoals steenzettingen, blokkenmatten, colloïdaal beton en diverse soorten asfalt, in een aantal gevallen goed toepasbaar, ook op het buitentalud.

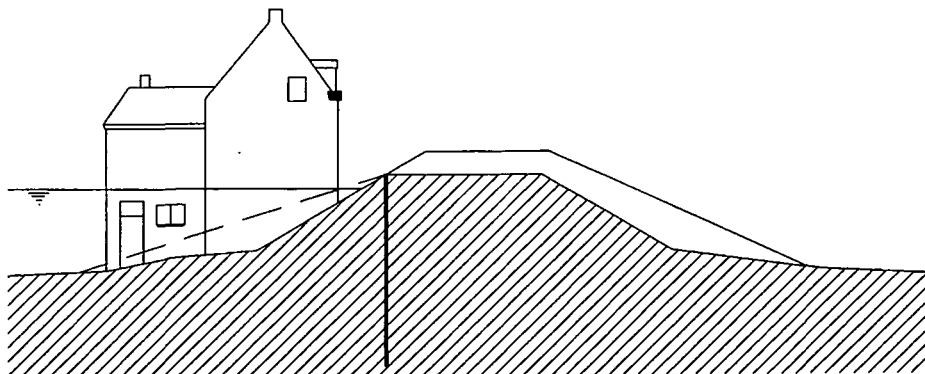
5.6 Constructieve elementen

5.6.1 Algemeen

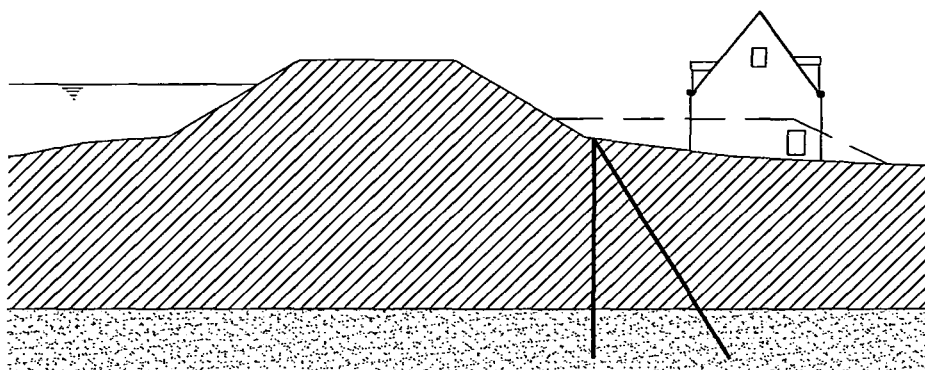
Onder constructieve elementen wordt verstaan elementen van kunststof, hout, staal en/of beton die in een zodanige vorm zijn toegepast dat ze een bijdrage kunnen leveren aan de waterkerende functies van de waterkering. Er zijn een aantal soorten constructies, die min of meer op hetzelfde principe berusten, maar verschillen in uitvoering en wijze van berekenen. Bij deze opsomming worden een aantal constructies bij elkaar genomen, die in de uitwerking in bijlage 5 apart worden behandeld.

5.6.2 Damwand/keermuur

Een damwand of keermuur is een stijve constructie van staal of beton, uitgevoerd als muur, die in staat is grond en water te keren.



Figuur 22. Erosiescherm i.p.v. verflauwing buitentalud en amoveren woning



Figuur 23. Stabiliteitsscherm i.p.v. stabiliteitsberm en amoveren woning

Het doel van de aanleg van een damwand of keermuur in of nabij een dijklichaam kan zijn:

- macrostabiliteit verhogen;
- vergroten van de kerende hoogte;
- grondwaterstroming verhinderen of beperken;
- erosie door over- of langsstromend water voorkomen.

Het ontwerp en de plaatsing van een damwand of keermuur is in Nederlandse omstandigheden een algemeen gangbare methode. Echter, bij toepassing in dijkconstructies spelen naast de algemene ontwerpaspecten met name de inpassing in het profiel een belangrijke rol.

Een damwand zal worden ingedrukt, geheid of getrild. Drukken en heien verlopen vaak moeizaam in dijken waar in het verleden vaak puin in is verwerkt. Heien levert bovendien hinder en kans op schade op voor nabijgelegen bebouwing. Bij het trillen is de kans op schade het geringste bij gebruik van hoog frequente trilblokken.

Damwanden en keermuren worden in het algemeen toegepast op plaatsen waar onvoldoende ruimte is voor ophogen en verbreden. Dit houdt in dat de werkruimte voor het installeren van de damwanden/keermuren gering is. Soms zal moeten worden gewerkt met aangepaste apparatuur.

Bij de inpassing van de damwand/keermuur in het dwarsprofiel moet rekening worden gehouden met een minimale afstand tot de bebouwing. Een minimale afstand is circa 2 m. Daarnaast moet er voldoende ruimte zijn om kabels en leidingen te kunnen aanleggen, ophalen en vervangen. Het aantal doorvoeren door de wand moet tot een minimum worden beperkt. Verder verdient het voorkeur een damwand of keermuur aan de rand van een eventueel aanwezig wegdek te situeren. Wanneer dit niet mogelijk is, zal na verloop van tijd door zetting de wand zich hinderlijk in het wegdek aftekenen. Bij de toepassing van een damwand als erosiescherm moet de damwand er

op worden ontworpen dat bijvoorbeeld na erosie aan de buitenzijde van de dijk de damwand in staat is voldoende veiligheid te bieden in een “ontgronde” situatie. Het erosiescherm zal om die reden een onderdeel van het beoordelingsprofiel vormen.

Tenslotte moet in het ontwerp rekening worden gehouden met corrosie gedurende de levensduur en moet men afwegen reeds nu te investeren in een zwaarder of langer profiel om aan het eind van de huidige ontwerpproductie te kunnen voldoen aan de te verwachten extra eisen voor de daarop volgende periode.

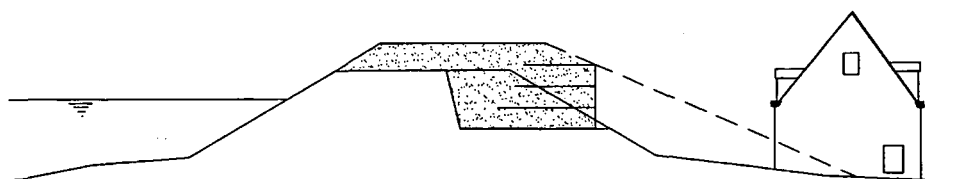
Een damwand of keermuur is te bestempelen als een dure constructie.

5.6.3 Gewapende verticale grondconstructies

Een gewapende verticale grondconstructie is een keermuur opgebouwd uit verticaal geplaatste betonplaten die zijn verankerd met horizontale strippen aan het achterliggende grondmassief. De kracht wordt geleverd door wrijving tussen verankeringsstrip en grond. Het wapeningsprincipe is hetzelfde als dat bij geotextielen of geogrids (paragraaf 5.2.3), maar daar gaat het om een hellend talud. Met een gewapende verticale grondconstructie kan men een verticaal talud vervaardigen om daarmee bij het ophogen van een dijk verbreding te voorkomen; landschappelijk zal deze oplossing echter zelden aantrekkelijk zijn.

Het gedeelte van de dijk waarin de verankering moet worden aangebracht wordt ontgraven. De verticale platen worden geplaatst. Ze worden daarbij tijdelijk ondersteund door een hulpconstructie. De verankeringsstrippen worden nu uitgelegd. De grond wordt vervolgens in lagen op de verankeringsstrippen aangebracht en verdicht.

De wand is in staat beperkte deformaties van de ondergrond te volgen, maar kan geen al te grote ongelijkmatige zettingen opnemen. Verder moet de ondergrond voldoende draagkrachtig zijn om het massief, bestaande uit bekledingselementen, strippen en de grond tussen de strippen te dragen zonder verlies aan stabiliteit. Bij het ontwerp moet men aandacht besteden aan



Figuur 24. Wand van gewapend beton in plaats van verflauwing buitentalud en amoveren woning

mogelijke opbouw van waterspanning achter de muur, lekkage tussen de elementen en uitspoeling van zand uit het achterliggende massief. Met toepassing van geotextielen en drainagematten kan dit soort problemen worden ondervangen.

Een verticale wand van gewapende grond is eveneens een dure constructie.

5.6.4 Gabions

Gabions of steenkorven zijn worsten of rechthoekige blokken gevuld met steen en omgeven door gazen of kunststof netstructuren. De blokken of worsten met steen worden op een talud aangebracht of op elkaar gestapeld. Uitgevoerd als keermuur kunnen ze het achterliggende grondlichaam keren. In dit geval gaat het uitsluitend om de op elkaar gestapelde gabions. Uitgelegd op het talud wijken ze in feite nauwelijks af van een normaal uitgevoerde steenbestorting. Met een op deze wijze opgebouwde "keermuur" kan een dijk worden verhoogd zonder dat verbreding is vereist. De gabions kunnen tevens dienst doen als golfwering.

De gabions kunnen elders vooraf worden geprefabriceerd. Na het gereedmaken van de bouwplaats op de dijk kunnen de gabions worden aangevoerd en geplaatst.

De stenen in de gabions zijn duurzaam, de duurzaamheid van de gazen of kunststof netstructuren hangt af van het type kunststof en de dikte van de draad. Bij beschadiging van het gaas of de kunststof korf kan dit in het algemeen niet worden hersteld. De korf zal dan moeten worden vervangen. Verder moeten maatregelen worden genomen om uitspoelen van het achterliggende zand in de korven te voorkomen. Een geotextiel kan deze uitstroming voorkomen.

De kosten van gabions zijn vergelijkbaar met kosten van een steenbestorting.

5.6.5 Diepwand/kistdam

Een diepwand is een in situ gemaakte of een prefab betonmuur. Het principe van de diepwand als constructie in de dijk is vergelijkbaar met het principe van de damwand in het midden van de dijk.

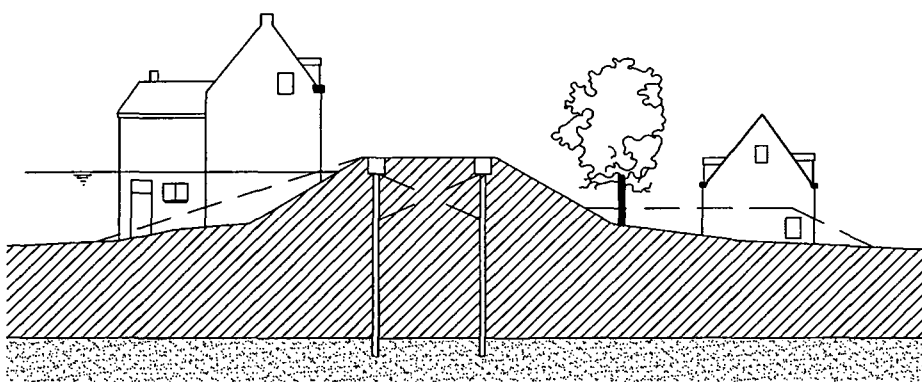
De kistdam bestaat uit een tweetal evenwijdige damwanden die een tussenliggende grondmassief opsluiten. De kistdam is een samenspel van damwand en grondmassief, de damwanden staan op een zodanige afstand dat ze elkaar beïnvloeden. De tussenliggende grond moet relatief stijf zijn, slappe klei is daarvoor niet geschikt. De wanden zullen onderling verbonden zijn.

Een kistdam of diepwand is een oplossing voor situaties waar aan beide zijden van de dijk bebouwing aanwezig is. Het beoordelingsprofiel kan bij toepassing van een diepwand of kistdam in hoofdzaak beperkt blijven tot deze constructies zelf. Een kistdam of diepwand zal de kerende hoogte zonodig kunnen vergroten (landschappelijk aspect), de macrostabiliteit vergroten en grondwaterstroming voorkomen of beperken.

Bij een diepwand wordt met behulp van grijpers een sleuf tot de gewenste diepte gegraven. De sleuf wordt met behulp van een bentonietspoeling open gehouden. Daarna wordt wapening aangebracht en wordt de bentoniet vervangen door beton of worden de prefab elementen neergelaten.

Damwanden worden in het algemeen ingetrild of soms geheid. Voor het plaatsen van een kistdam of diepwand is groot materieel vereist. De aspecten die hierbij en rol spelen zijn reeds genoemd bij de paragraaf over damwanden/keermuren. Bij de fabricage van diepwanden heeft men bovendien te maken met de aanvoer, menging, het verpompen, terugwinnen en schoonmaken van de bentonietslurry. Dit geeft hinder en vraagt extra ruimtebeslag bij de uitvoering.

De inpassing in het dwarsprofiel is zo mogelijk nog lastiger dan bij een enkele damwand of keermuur. Bij de plaatsing van een kistdam moeten er twee damwanden worden geplaatst, waarbij de onderlinge afstand al in grote lijnen vastligt. Bij een diepwand is meer werkbreedte vereist en moet de standzekerheid van de sleuf nabij de bebouwing voldoende zijn gewaarborgd.



Figuur 25. Kistdam in plaats van verflauwen buitentalud en amoveren woning buitendijks en amoveren woning binnendijks

5.6.6. Groundnailing

Groundnailing is een vorm van verankering waarbij de nails in de vorm van staven, eventueel aan de bovenzijde vastgemaakt aan betonnen platen, onder een helling of verticaal in een bestaand grondmassief worden ingebracht. Bij hoge waterstand onder de klei- en veenlagen kan door verankering van de platen aan het onderliggende zandmassief opdrijven van de lagen worden voorkomen. Door middel van het aantrekken van de nails kan bovendien een “voorspanning” op het onderliggende grondpakket worden uitgeoefend, die een soortgelijke uitwerking heeft als het aanbrengen van een bovenbelasting. De korrelspanningen worden daardoor verhoogd, dit komt de macrostabiliteit ten goede.

De spanning in de staven moet regelmatig worden gecontroleerd en zonodig moeten de staven weer op spanning worden gebracht ingeval het de bedoeling is een voorbelasting op de ondergrond uit te oefenen. De uiteindelijke verbetering van de ondergrond is blijvend.

Er bestaat enige ervaring met groundnailing, echter niet in dijken. Een vergelijkbare methode, de toepassing van groutankers, is in Nederland op groter schaal bekend. Toepassing van groundnailing in dijken is alleen te overwegen indien een goede controle en monitoring wordt opgezet en men voldoende inzicht heeft in het consolidatiegedrag van de samendrukbare lagen, de te verwachten zettingen en de wrijving tussen staaf en grond.

5.7 Beweegbare kerende elementen

5.7.1 Algemeen

Onder een beweegbare kering wordt verstaan een kering waarvan de kerende functie alleen in geval van hoogwater in werking treedt. De kering zal in normale gevallen dus geen kerende functie hebben en zo zijn uitgevoerd dat de hinder voor de omgeving minimaal is. In geval van hoogwater moet de kering in functie treden en mag de hinder voor de omgeving groter zijn. De kering moet voldoende betrouwbaar zijn om in geval van nood te kunnen functioneren.

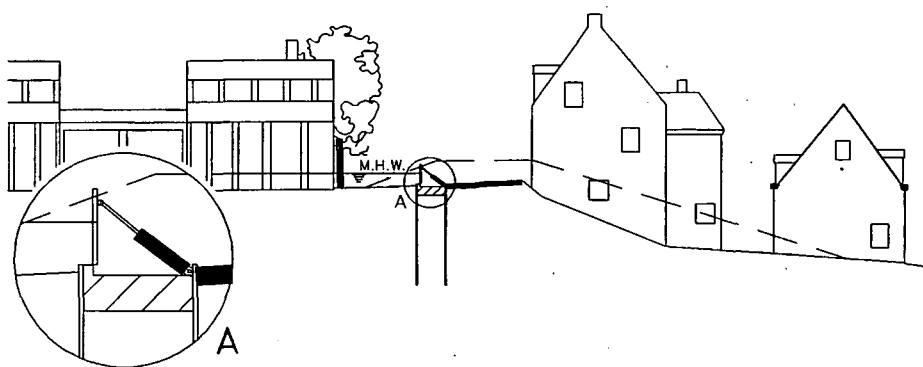
Het gaat in dit geval om een aantal bijzondere constructies, die van geval tot geval op de situatie moeten worden afgestemd. Wel zijn een aantal principe oplossingen aan te geven:

5.7.2 Van buitenaf aan te voeren keringen

Onder deze noemer vallen keringen zoals schotbalken, betonconstructies en dergelijke die in gevaarlijke situaties worden aangevoerd en geplaatst. Belangrijk bij dit type constructie is het gemak waarmee deze constructies kunnen worden aangebracht, de bewaking van het beschikbaar blijven van de afsluitende elementen en de bewaking van het in goede conditie en vrij van obstakels houden van de plaats waar de constructie moet worden geplaatst. Gezien de uit te voeren werkzaamheden dient dit een constructie te zijn die slechts in zeer uitzonderlijke situaties in werking moet treden en daarbij slechts over korte trajecten kan worden toegepast.

5.7.3 Roteerbare of verschuifbare keringen

Dit type kering omvat keringen die in normale omstandigheden zo zijn opgeborgen dat ze geen hinder voor de omgeving veroorzaken en die in geval van extreem hoog water door verschuiven of roteren hun werking kunnen uitoefenen. Te denken valt aan klepconstructies, schuifdeuren, roldeuren, hefdeuren of deuren die langs een kraanbaan met hooggelegen rails kunnen worden aangevoerd. De constructie kan al naar gelang de situatie meer of minder ingewikkeld worden uitgevoerd. Te denken valt aan beweging, besturing en bediening per element of per groep van elementen, autonoom of met behulp van extra te mobiliseren materieel, automatisch of niet automatisch.



Figuur 26. Klepkering i.p.v. amoveren woningen binnendijs

5.7.4 Opdrijvende constructies

Dit type constructies werkt op de kracht van het water dat het moet keren. Dit kan zowel met flexibele constructies die met behulp van water of lucht worden opgeblazen (type balgstuw) en dan hun kerende werking kunnen uitoefenen als met constructies die bij een stijgend waterpeil opdrijven en daarmee de zaak afsluiten.

De bijzondere beweegbare keringen worden in hoofdzaak toegepast als niet kan worden voldaan aan het hoogtecriterium of wanneer de overslag te groot dreigt te worden. Het grote aantal variabelen en de in het algemeen hoge kosten maken dat dit soort constructies vaak op maat wordt ontworpen. Het is dan ook niet zinvol deze constructies in dit rapport verder uit te werken.

Een goede checklist bij het ontwerp van bijzondere beweegbare keringen kan de lijst met selectiecriteria zijn.

5.8 Kostenindicaties

Toepassing van een bijzondere constructie vraagt in het algemeen extra kosten. Te denken valt daarbij aan:

- extra ontwerp kosten;
- extra begeleiding bij de uitvoering;
- duurdere materialen;
- duurdere uitvoering;
- extra tijdelijke maatregelen;
- extra beheer en onderhoud, monitoring.

Tegenover deze kosten staan besparingen in de vorm van:

- minder ruimte beslag;
- minder aantasting van natuur- en cultuurwaarden;
- minder afbraak van bebouwing.

De besparingen zijn niet in te schatten omdat deze sterk afhankelijk zijn van de plaatselijke omstandigheden. De kosten zijn globaal in te schatten, maar ook hier geldt dat de kosten van geval tot geval kunnen afwijken. Het is daarom niet mogelijk meer dan een globale indicatie van de kosten, onderverdeeld naar materiaalkosten, kosten voor aanleg en kosten voor beheer en onderhoud te geven. Dit overzicht is vermeld in tabel 3.

Tabel 3.
Kostenindicatie

Kostenoverzicht	Extra materiaalkosten		
		Extra kosten uitvoering	
			Extra kosten onderhoud
aanpassing bestaand dijkmateriaal			
geëxp. kleikorrels	-	--	o
geotextielen/grids	o/-	--	o
zand-garen composities	--	-	o
aangepast materiaal bij uitbreiding			
geëxp. kleikorrels	-	-	o
schuimbeton	--	-	o/-
geotextielen/grids	-	o	o/-
zand-garen composities	--	o/-	o
verzwaarde berm	--	o	o
grondwaterpotentiaal beïnvloeden			
filterconstructies	o/-	-	-
ontlastsloten	o	-	-
kwelschermen	-/-	--	o
scherm in de dijk	--	--	o/-
erosiebescherming			
gewapende grasmat	o	o	o
constructieve elementen			
damwand/keermuur	--	--	o
gabions	-	--	o
diepwand/kistwand	--	--	o/-
groundnailing	--	--	-
	--	--	--
beweegbare keringen			
aanvoer van buitenaf	--	--	-
roteerbaar/verschuifbaar	--	--	-
opdrijvend	--	--	-

- o = kosten nagenoeg gelijk: 0,8 tot 1,2 maal
- = kosten hoger: 1,2 tot 2 maal
- = kosten veel hoger: meer dan 2 maal

Referenties

TAW, 1985

Leidraad voor het ontwerpen van Rivierdijken,
Deel 1 - Bovenrivierengebied
Staatsuitgeverij

TAW, 1989 (1)

Leidraad voor het ontwerpen van Rivierdijken,
Deel 2 - Benedenrivierengebied
Staatsuitgeverij

TAW, 1989 (2)

Leidraad voor het ontwerpen van Rivierdijken,
Deel 2 - Benedenrivierengebied - Appendices
Staatsuitgeverij

Waterloopkundig Laboratorium en EAC/RAND 1993

Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen,
Onderzoek uitgevoerd in samenwerking met Grondmechanica Delft,
Bureau H+N+S en Bureau SME
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Silva, W. en Hartman, J., 1993

Maatgevende Hoogwaterstanden langs de Rijn en zijn takken
Rijkswaterstaat, RIZA, Nota 93.021

Meer, J.W. van der, 1993

Golfoploop en golfoverslag bij dijken
Waterloopkundig Laboratorium, H 638

CUR, 1992

Construeren met grond - Grondconstructies op en in sterk samendrukba-
re en weinig draagkrachtige ondergrond
CUR-publicatie 162 ISBN 90 376 0024 7

Wit, J.M. de, 1984

Onderzoek zandmeevoerende Wellen - Rapportage modelproeven
Grondmechanica Delft, CO-220887/10

Sellmeijer, J.B. 1988

On the mechanism of piping under impervious structures
Proefschrift TU Delft

Fliervoet, L.M., 1992

Aanleg en beheer van grasland op rivierdijken
Unie van Waterschappen en Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en
Visserij

Bijlage I

Opdracht aan de projectgroep

De opdracht behelst het uitvoeren van een studie naar de technische mogelijkheden van “creatief versterken” en “uitgekiende constructies” bij dijkversterkingswerken en het geven van constructieve aanbevelingen voor steile taluds.

De studie zal bestaan uit het inventariseren en samenbundelen van bestaande kennis; er zullen geen nieuwe onderzoeken worden opgestart teneinde nieuwe theorieën te ontwikkelen. Bij de opzet van de studie is uitgegaan van de TAV-notitie “Goede Dijken”.

Daarbij zijn de volgende drie studie-onderdelen onderscheiden:

1. Aanvulling op bestaande leidraden.

- rapporteren van bestaande kennis
- opstellen van een visie ten aanzien van de binnenberm (5-H)
- aanpassen pipingbermregel met lekfactor
- evalueren verkeersbelasting
- uitwerken van het theoretisch profiel (in relatie met “reststerkte”)
- evalueren effecten van in de dijk aanwezige elementen (bebouwing, bomen, kabels, leidingen en dergelijke).

2. Dimensionering van taluds.

- evaluatie van de kruinbreedte (vanuit technisch grondmechanisch oogpunt)
- beschrijving van het mechanisme “erosie” (in relatie tot vegetatie, bekledingskwaliteit, en dergelijke)
- beschrijven van de aspecten golfoverslag en infiltratie
- evalueren van het aspect beheer en onderhoud bij steile taluds.

3. Bijzondere constructies.

- inventariseren van diverse constructietypen
- evalueren, selecteren van constructietypen
- beschrijving van berekeningsmethoden
- beschrijving aspecten als levensduur, neveneffecten, herstelmogelijkheden en dergelijke
- beschrijving uitvoeringsaspecten.

De resultaten van de studie zullen in één notitie worden gerapporteerd.

Colofon

Deze handreiking is opgesteld voor de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) onder begeleiding van de projectgroep 'TAWB Constructief'

Samenstelling projectgroep

Prof.dr.ir. A. Verruijt (voorzitter), Technische Universiteit Delft
Prof.dr.ir. F.B.J. Barends, Grondmechanica Delft
Ing. J. Dekker (coördinator) Grondmechanica Delft
Ir. W.G. Epema, Hoogheemraadschap van de Al- blasserwaard en Vijfheerenlanden
Ir. W. de Haan (secretaris), Heidemij Adviesbureau B.V.
Ir. B.A.N. Koehorst, Rijkswaterstaat DWW
Ing. A. de Koning, Waterschap IJsselmonde
Ir. D.C. van Ooijen, Rijkswaterstaat DWW
Ing. P. Spaan, Waterschap Oost-Veluwe
Ing. R.J. Termaat, Rijkswaterstaat DWW
Prof.dr.ir. J.K. Vrijling, Rijkswaterstaat Bouwdienst

Samenstelling:

Grondmechanica Delft

Correspondentie-adres

Dienst Weg- en Waterbouwkunde
van der Burghweg 1
Postbus 5044
2600 GA Delft
tel. 015 - 699 442
fax. 015 - 611 361

Grafische vormgeving

Grafisch Atelier Wageningen (Harry Harsema)

Druk

Drukkerij Modern, Bennekom