

Grond voor kaden

Praktijkonderzoek naar de ontwikkeling
van fysische kwaliteitseisen voor grond
in boezemkaden



2002 38

Grond voor kaden

**Praktijkonderzoek naar de ontwikkeling van fysische
kwaliteitseisen voor grond in boezemkaden**

Arthur van Schendelstraat 816

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

Telefoon: 030 - 232 11 99

Fax: 030 - 232 17 66

E-mail: stowa@stowa.nl

<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-overzicht
van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:

Hageman Fulfilment

Postbus 1110

3300 CC Zwijndrecht

Telefoon: 078 - 629 33 32

fax: 078 - 610 42 87

E-mail: info@hageman.nl

o.v.v. ISBN- of STOWA rapportnummer
en een duidelijk afleveradres.

ISBN 90-5773-192-4

2002 **38**

Colofon

Utrecht, november 2002

Uitgave:
Stowa, Utrecht

Begeleidingscommissie:

ing. G.L. van Hiele (voorzitter) Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
ir. M. Lips, Hoogheemraadschap van Schieland
ing. W. Louwe, Hoogheemraadschap van Delfland
ing. A.D. Bongaards, Waterschap Wilck & Wiericke
ing. F. Sijsma, Wetterskip Boarn en Klif
ing. D.H. Grootveld, Waterschap De Oude Rijnstromen (tot 1 januari 2002)
ing. R.W.N. Beijloo, Waterschap De Oude Rijnstromen (vanaf 1 januari 2002)
ing. J.G. Bastiaans, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwwunde
ir. L.R. Wentholt, STOWA

Uitvoerders:

Grontmij Advies & Techniek bv.
ir. W. de Haan
ing. R. Muntjewerff
drs. C. Spoorenberg
dhr. R. Prakken (veldwerk)
GeoDelft
drs. G.A.M. Kruse (interpretatie van de veldonderzoeksresultaten)

Druk:
Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA-rapportnummer 2002-38

ISBN nummer 90-5773-192-4

Ten geleide

Het voornaamste doel van dit in januari 2001 opgestarte onderzoek is het ontwikkelen van fysische kwaliteitseisen voor grond bestemd voor het ophogen van permanent kerende boezemkaden.

Permanent kerende boezemkaden moeten achterland tegen overstroming beschermen. Daarom is het noodzakelijk om, in het kader van het beheer en onderhoud, de boezemkaden met een zekere regelmaat aan te vullen en/of op te hogen met grond.

Er bestaan echter geen algemeen geldende fysische kwaliteitseisen voor grond bestemd voor verwerking in boezemkaden.

Wegens het ontbreken van dergelijke eisen wordt door waterschappen veiligheidshalve veelal gekozen voor erosiebestendige klei. Deze beoordelingscriteria zijn echter ontwikkeld voor primaire waterkeringen, die in tegenstelling tot permanent kerende boezemkaden, incidenteel een hoge waterstand moeten keren. Daarnaast bestaat er bij waterschappen een grote behoefte om lokaal aanwezige kleiige grond of gerijpte baggerspecie te benutten voor het ophogen van boezemkaden, ook al voldoet deze niet aan de kwalificaties van erosiebestendige grond. Er zijn voorbeelden bekend van oude boezemkaden, waarin geen erosiebestendige grond is verwerkt, maar die wel jarenlang stand hebben gehouden.

Uit het onderzoek blijkt dat door het toepassen van een adequate aanvullende oeververdediging mogelijkheden worden geschapen voor het toepassen van matig tot weinig erosiebestendige grond op het buitentalud en dat indien de kruin en het binnentalud bedekt zijn met een redelijk tot goed gesloten grasmatt, kansrijke mogelijkheden aanwezig zijn voor het toepassen van matig tot weinig erosiebestendige grond of gerijpte baggerspecie.

De uitkomsten van het onderzoek zijn weergegeven in een stroomdiagram waarin aan de hand van de hydraulische condities, de nevenfuncties (agrarisch, ecologisch, infrastructureel) en de gewenste onderhoudsfrequentie, richtlijnen worden gegeven voor de mate van erosiebestendigheid van de grond in relatie tot het wel of niet toepassen van een op de belasting afgestemde aanvullende oeververdediging.

Dit onderzoek maakt deel uit van het STOWA-onderzoeksprogramma waterwieren en is voor 100% gefinancierd door de waterschappen.

Een belangrijk onderdeel van het onderzoek betrof veldwerk ter plaatse van vijftien geselecteerde boezemkaden. Al de onderzochte kaden zijn gelegen in klei- en veengebieden. Na enige stagnatie in verband met de MKZ-crisis is het veldwerk uitgevoerd in de periode augustus – oktober 2001. Hierbij is informatie verzameld over de eigenschappen van de grond in de kade, de belastingssituatie, het schadebeeld en het beheer en onderhoud van de betreffende kade. De in de begeleidingscommissie participerende waterschappen en specialisten hebben hierbij een belangrijke bijdrage geleverd.

Samenvatting Grond voor kaden

Aanleiding

Permanent waterkerende boezemkaden vervullen een belangrijke functie bij het instandhouden van het boezempeil en het beschermen van het lager gelegen achterland tegen overstroming. Vanwege zetting, inklinking en/of beschadigingen moeten boezemkaden regelmatig worden opgehoogd of aangevuld met grond. Er bestaan echter geen fysische kwaliteitseisen voor grond bestemd voor verwerking in boezemkaden.

Wegens het ontbreken van dergelijke eisen wordt door waterschappen veiligheidshalve veelal gekozen voor erosiebestendige klei. De beoordelingscriteria voor erosiebestendige klei zijn echter ontwikkeld voor primaire waterkeringen die, in tegenstelling tot permanent kerende boezemkaden, incidenteel een hoge waterstand moeten keren. Daarnaast bestaat er bij waterschappen een grote behoefte om lokaal aanwezige kleiige grond of gerijpte baggerspecie te benutten voor het ophogen van boezemkaden, ook al voldoet deze niet aan de kwalificaties van erosiebestendige grond. Er zijn voorbeelden bekend van oude boezemkaden, waarin geen erosiebestendige grond is verwerkt, maar waarvan het buitentalud geen excessieve erosie vertoonde en die verder ook goed functioneerden.

Het voorgaande gaf aanleiding tot de vraag:

Aan welke fysische kwaliteit moet grond voor boezemkaden voldoen?

Doelstellingen van het onderzoek

De onderzoeksvraag is vertaald in een primaire - en een secundaire doelstelling van het project.

Primaire doelstelling:

Het op basis van praktijkervaringen vaststellen van de minimale fysische kwaliteitseisen voor grond voor verwerking in permanent kerende boezemkaden.

Secundaire doelstelling:

Het nagaan van de mogelijkheden en eventueel het ontwikkelen van een eenvoudige en in het veld toepasbare beoordelingssystematiek ter bepaling van de fysische kwaliteit van grond (quick-scan methode).

Uitgangspunten en randvoorwaarden

Het onderzoek heeft betrekking op permanent kerende boezemkaden met een vrijwel constant, relatief hoog boezemwaterpeil.

Het onderzoek richt zich alleen op de fysische kwaliteit en niet op de milieuhygiënische kwaliteit, van de grond.

Onderzoeksopzet

Het onderzoek is in drie fasen uitgevoerd:

1. Literatuuronderzoek naar de relevante bodemfysische parameters en beschikbare (veld)onderzoeksmethoden.
2. Veld- en laboratoriumonderzoek naar bodemfysische kenmerken van toegepaste grond in boezemkaden en het testen van meetmethoden ter beoordeling van grond in het veld;
3. Interpretatie van de resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek en het ontwikkelen van ontwerprichtlijnen.

Veld- en laboratoriumonderzoeken

Op basis van de literatuurstudie is een onderzoeksprogramma opgesteld, bestaande uit een veld- en laboratoriumonderzoek ter plaatse van vijftien geselecteerde boezemkaden. Het veldonderzoek bestond uit een algemene inventarisatie en een bodemkundige opname.

Bij de algemene inventarisatie is gekeken naar de belastingssituatie (dynamiek, frequentie), de onderhoudstoestand en -historie, het grondgebruik van de kade en eventuele aanvullende voorzieningen ter bescherming van de oever.

Bij de bodemkundige opnamen zijn relevante bodemkundige eigenschappen beoordeeld, gemeten en/of aan de hand van monsters bepaald in het laboratorium. Bij de veldmetingen is ook gebruik gemaakt van enkele eenvoudige instrumenten met het oog op de ontwikkeling van een mogelijke quick-scan methode. Tevens zijn de grondwaterstanden in de kaden gemeten.

Interpretatie onderzoeksresultaten

Primaire doelstelling

In verband met de waterkerende functie van een boezemkade dient de grond in de kade weerstand te bieden tegen vervormingen en ontgrondingen (erosiebestendigheid) en tegen stroming van grondwater door de kade (slecht doorlatend).

Uit de bodemopnamen blijkt een diversiteit aan toegepaste grondsoorten in de boezemkaden. Van de grond in de buitentaluds bleek de helft te voldoen aan de kwalificatie van erosiebestendig en de andere helft aan die van matig tot weinig erosiebestendig. Het buitentalud is afhankelijk van de strijklengte en het eventuele scheepvaartverkeer, in meer of mindere mate onderhevig aan dynamische hydraulische belastingen (golven en/of stroming). Het buitentalud is daardoor het meest kwetsbare onderdeel van de kade. Uit het onderzoek is gebleken dat door het toepassen van een adequate aanvullende oeververdediging ruimte wordt geschapen voor het toepassen van matig tot weinig erosiebestendige grond of gerijpte baggerspecie op het buitentalud. De mate van erosiebestendigheid van de grond en een aanvullende oeververdediging zijn in zekere zin uitwisselbaar. De eisen ten aanzien van erosiebestendigheid van de grond en de keuze voor de meest doelmatige aanvullende oeververdediging hangen samen met de belastingssituatie, beschikbare ruimte, landschappelijke overwegingen en de gewenste onderhoudsfrequentie.

Op de kruin en het binnentalud van de onderzochte kaden is geen schade ten gevolge van hydraulische belastingen aangetroffen, ook al treedt bij enkele gevallen met een grote strijklengte (meerkaden) af en toe golfoverslag op. Uit het onderzoek is gebleken dat indien de kruin en het binnentalud bedekt zijn met een redelijk tot goed gesloten grasmat, kansrijke mogelijkheden aanwezig zijn voor het toepassen van matig tot weinig erosiebestendige grond en gerijpte baggerspecie. Uiteraard dient de stabiliteit van de boezemkade gewaarborgd te blijven.

De uitkomsten van het onderzoek zijn weergegeven in een stroomdiagram waarin aan de hand van de hydraulische condities, de nevenfuncties (agrarisch, ecologisch, infrastructureel) en de gewenste onderhoudsfrequentie, indicatieve richtlijnen worden gegeven voor de mate van erosiebestendigheid van de grond in relatie tot het wel of niet toepassen van een op de belasting afgestemde aanvullende oeververdediging.

Secundaire doelstelling

De veldmethoden geven een redelijke indicatie van de samenstelling en de doorlatendheid van de grond. Gebleken is echter dat de weerstand tegen erosie niet op een eenduidige wijze is te bepalen in het veld. Een beoordeling in het veld geeft daarom slechts een eerste indicatie van de geschiktheid van grond voor toepassing in boezemkaden. Voor een definitief oordeel blijft laboratoriumonderzoek noodzakelijk

De STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefteinventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

Inhoud

Colofon
Ten geleide
Samenvatting
STOWA in het kort

1	Inleiding.....	1
1.1	Aanleiding tot het onderzoek.....	1
1.2	Onderzoeksvragen.....	1
1.3	Doelstellingen.....	2
1.4	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	2
1.5	Onderzoeksopzet.....	2
1.6	Leeswijzer.....	2
2	Boezemkaden.....	5
2.1	Inleiding.....	5
2.2	Functies van boezemkaden.....	5
2.3	Opbouw van boezemkaden.....	6
2.4	Onderhoud van boezemkaden.....	7
3	Grond in boezemkaden.....	9
3.1	Inleiding.....	9
3.2	Eigenschappen van grond in kaden.....	9
3.3	Belasting van boezemkaden.....	10
3.3.1	Algemeen.....	10
3.3.2	(Hydro)statische belasting op de gehele kade.....	10
3.3.3	(Hydro)dynamische belasting op de zone rond de waterlijn.....	11
3.4	Aandachtspunten boezemkaden.....	11
3.4.1	Het insluiten van doorlatende lagen.....	11
3.4.2	Aanvullende oeverbeschermingsconstructies.....	11
3.4.3	Stabiliteit en sterkte eigenschappen gehele kade na ophogen.....	12
3.4.4	Vreemde objecten.....	12
4	Veld- en laboratoriumonderzoeken.....	13
4.1	Inleiding.....	13
4.2	Selectie en keuze onderzoekslocaties.....	13
4.3	Algemene inventarisatie.....	13
4.4	Bodemkundig onderzoek.....	17
4.4.1	Algemeen.....	17
4.4.2	Uitgevoerd veldonderzoek.....	17
4.4.3	Uitgevoerd laboratoriumonderzoek.....	18
4.5	Resultaten bodemkundig onderzoek.....	18
4.5.1	Granulaire samenstelling.....	18
4.5.2	Bodemstructuur.....	19
4.5.3	Waterdoorlatendheid.....	19
4.5.4	Consistentie.....	22
4.5.5	Indringingsweerstand.....	22
4.5.6	Ongedraineerde schuifsterkte.....	22
4.5.7	Grondwaterhuishouding.....	22
4.5.8	Atterbergse waarden en afgeleide parameters.....	23
4.5.9	Voedingstoestand.....	23

4.6	Analyse onderzochte boezemkaden	23
4.6.1	Belastingssituatie.....	23
4.6.2	Verdediging	24
4.6.3	Erosiebestendigheid kademateriaal	24
4.6.4	Beweiding.....	28
4.6.5	Onderhoudstoestand	28
4.6.6	Schadebeeld.....	29
5	Interpretatie relatie belasting en grond.....	31
5.1	Inleiding.....	31
5.2	Interpretatie en indexering.....	31
5.3	Synthese ten aanzien van ontgronding door erosie	32
5.4	Resumé	35
6	Richtlijnen voor boezemkaden.....	37
6.1	Inleiding.....	37
6.2	Richtlijnen materiaaleigenschappen boezemkaden	37
6.3	Toelichting richtlijnen voor boezemkaden	37
7	Beoordelingsmethoden	41
7.1	Inleiding.....	41
7.2	Toepasbaarheid veldbeoordelingsmethoden.....	41
7.3	Beoordeling in het veld	42
7.3.1	Algemene keuringseisen.....	42
7.3.2	Minerale delen.....	42
7.3.3	Organische stofgehalte	42
7.3.4	Boven- en onderkant gleyzone	42
7.3.5	Rijpingsgraad.....	42
7.3.6	Indringingsweerstand	44
7.3.7	Erosiebestendigheid.....	44
7.4	Laboratoriumonderzoek	45
	Literatuurlijst	47
Bijlage 1	Kwaliteitseisen Klei voor dijken	
Bijlage 2	Samenvattend overzicht analyseresultaten	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

Permanent waterkerende boezemkaden vervullen een belangrijke functie bij het instandhouden van het boezempeil en het beschermen van het lager gelegen achterland tegen overstroming. Een boezemkade kan worden beschouwd als een grondmassief dat voortdurend onderhevig is aan hydraulische belastingen. Om de waterkerende functie nu en in de toekomst te kunnen blijven vervullen, is een op de belastingen afgestemd beheer en onderhoudsprogramma noodzakelijk. Hierbij dienen eisen te worden gesteld aan de fysische samenstelling van de grond die wordt toegepast voor het aanvullen en ophogen van boezemkaden. Voor boezemkaden bestaan echter geen specifieke fysische kwaliteitseisen.

Een belangrijk aanknopingspunt voor het formuleren van eisen biedt de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken van de Technische Adviescommissie voor Waterkeringen (TAW). In de Leidraad is namelijk een normering ontwikkeld voor de beoordeling van klei voor toepassing in primaire waterkeringen. De beoordeling is vooral gericht op de erosiebestendigheid van het materiaal.

Kenmerkend voor primaire waterkeringen is, dat deze incidenteel worden belast met hoge waterstanden, een sterke stroming en golfaanvallen van meer dan 0,50 m. Het merendeel van de boezemkaden wordt daarentegen permanent belast met een vrijwel constante, naar verhouding, hoge waterstand. Voor dergelijke boezemkaden gelden daarom andere hydraulische condities dan voor primaire waterkeringen. Wegens het ontbreken van op boezemkaden toegespitste normen wordt door waterschappen vaak gebruik gemaakt van de normering zoals vastgelegd in het 'Technisch rapport: Eisen klei voor dijken' (TAW 1996). Veelal wordt in bestekken voor het ophogen van boezemkaden erosiebestendige klei voorgeschreven.

De wens is groot om lokaal aanwezige of beschikbare kleiige grond of gerijpte baggerspecie te benutten voor het herstellen en/of ophogen van een boezemkade, ook al is het geen erosiebestendige klei. Het werken volgens het principe 'werk met werk maken' biedt de beheerders echter de mogelijkheid meerder doelstellingen (denk aan natuurontwikkeling e.d.) gelijktijdig te realiseren. Er zijn zelfs voorbeelden bekend van oude boezemkaden in veengebieden die vrijwel volledig zijn opgebouwd uit veengrond en jaren stand hebben gehouden.

1.2 Onderzoeksvragen

De genoemde argumenten leidden tot de volgende vraag, die de directe aanleiding vormde voor uitvoering van het praktijkonderzoek 'Grond voor kaden':

Welke kwaliteiten moet grond voor boezemkaden hebben en, daarmee samenhangend, hoe verhouden de belastingen zich met andere waterkeringen waarvoor wel richtlijnen ten aanzien van grond zijn opgesteld, zoals bijvoorbeeld voor primaire waterkeringen?

De geschiktheid van grond wordt over het algemeen bepaald aan de hand van laboratoriumproeven. Deze proeven nemen enige weken in beslag en zijn niet goedkoop. In de praktijk bestaat er echter behoefte aan een eenvoudige veldmethode ('quick-scan') waarmee een eerste inschatting kan worden gemaakt van de geschiktheid van de grond. Vooral bij de mogelijkheid van hergebruik van grond is deze behoefte aanwezig. Deze behoefte gaf aanleiding tot de volgende onderzoeksvraag:

Is het mogelijk om met bestaande veldproeven een eerste inschatting te maken van de geschiktheid van de grond?

1.3 Doelstellingen

De onderzoeksvragen zijn vertaald in een primaire- en een secundaire doelstelling van het project 'Grond voor Kaden':

Primaire doelstelling:

Het op basis van praktijkervaringen vaststellen van de minimale fysische kwaliteitseisen voor grond voor verwerking in permanent kerende boezemkaden.

Secundaire doelstelling:

Het nagaan van de mogelijkheden en eventueel het ontwikkelen van een eenvoudige en in het veld toepasbare beoordelingssystematiek ter bepaling van de fysische kwaliteit van grond; een zogenaamde quick-scan methode.

1.4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Het onderzoek heeft betrekking op permanent kerende boezemkaden met een vrijwel constant boezemwaterpeil (fluctuatie hooguit enkele decimeters). Boezemkaden die incidenteel een hoge boezemwaterstand keren vallen derhalve buiten het kader van het onderzoek.

Het onderzoek richt zich alleen op de fysische kwaliteit en niet op de milieutechnische kwaliteit van de grond. Voorwaarden die voortvloeien uit de bepalingen van het Bouwstoffenbesluit of de Vrijstellingsregeling grondverzet vallen daardoor buiten het kader van dit onderzoek.

1.5 Onderzoeksoptzet

Het onderzoek is in drie fasen uitgevoerd:

4. Literatuuronderzoek naar de relevante fysische parameters, de eisen die daaraan gesteld worden bij verschillende belastingssituaties en de beschikbare (veld)onderzoeksmethoden;
5. Veld- en laboratoriumonderzoek naar de bodemfysische kenmerken van de in de praktijk toegepaste grond en het testen van meetmethoden ter beoordeling van de grond in het veld;
6. Interpretatie van de resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek en het ontwikkelen van ontwerprijtlijnen.

1.6 Leeswijzer

De resultaten van het onderzoek Grond voor kaden zijn gerapporteerd in twee rapporten, namelijk het voorliggende Hoofdrapport en het Bijlagenrapport Veld- en Laboratoriumonderzoeken. Het Hoofdrapport bevat de hoofdtekst van het onderzoek, inclusief enkele bijlagen die een directe relatie hebben met de hoofdtekst. In het Bijlagenrapport zijn per onderzochte locatie alle resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek (fase 2 van het onderzoek) overzichtelijk weergegeven.

De fasering van het onderzoek is in grote lijnen terug te vinden in de opbouw van het voorliggende Hoofdrapport. De resultaten van de literatuurstudie, fase 1 van het onderzoek, zijn voornamelijk verwoord in de hoofdstukken 2, 3 en deels in 4. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de functies, de opbouw en het onderhoud van boezemkaden. In hoofdstuk 3 wordt ingezoomd op

de benodigde eigenschappen van grond in kaden in relatie tot de belastingen waaraan boezemkaden onderhevig (kunnen) zijn.

De opzet en de resultaten van de veld- en laboratoriumonderzoeken, fase 2 van het onderzoek, zijn beschreven in hoofdstuk 4.

De interpretatie van de onderzoeksresultaten, fase 3 van het onderzoek, zijn beschreven in de hoofdstukken 5, 6 en 7. De hoofdstukken 5 en 6 hebben betrekking op de primaire doelstelling van het onderzoek. In deze beide hoofdstukken wordt ingegaan op de relatie tussen belasting-situatie en het type grond, waarna vervolgens een aanzet wordt gegeven tot richtlijnen voor boezemkaden. Hoofdstuk 7 heeft betrekking op de secundaire doelstelling van het onderzoek en gaat in op beoordelingsmethoden in het veld waarmee een eerste indicatie kan worden verkregen van de geschiktheid van grond voor verwerking in boezemkaden.

2 Boezemkaden

2.1 Inleiding

Boezemkaden in Nederland vervullen een veelheid aan functies, waarvan de waterstaatkundige vanuit praktisch en historisch oogpunt als hoofdtaak gezien kan worden. Tijds- en omgevingsfactoren werken in op boezemkaden en kunnen het functioneren ervan ondermijnen. Om het vervullen van de functies in de loop van de tijd en in relatie met wisselende omgevingsfactoren te kunnen garanderen, is onderhoud aan boezemkaden noodzakelijk.

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de functionele taken van boezemkaden in Nederland. Hierin worden de functies toebedeeld aan de constructieve elementen die in kaden te onderscheiden zijn. Tevens wordt aandacht besteed aan het onderhoud van kaden, dat noodzakelijk is om het functioneren met het verstrijken van de tijd en onder veranderende omstandigheden te garanderen.

2.2 Functies van boezemkaden

De belangrijkste functie die het overgrote deel van de boezemkaden vervullen is die van het permanent keren van water. Daarnaast zijn enkele nevenfuncties te onderscheiden, die in wisselende mate van toepassing kunnen zijn op boezemkaden, waaronder landschappelijke, agrarische en infrastructurele functies.

Het keren van water heeft als voornaamste doelen het garanderen van de veiligheid van de achter de kaden gelegen (polder)gebieden tegen inundatie en tevens het in stand houden van de boezem (inclusief de vaarweg). Een boezemkade kan worden opgevat als een constructie, die door een bepaalde opbouw en specifieke eigenschappen in staat is een permanent waterkerende functie te vervullen. Twee belangrijke aandachtspunten hierbij zijn de doorlatendheid van de gehele kade en de stabiliteit van de kade. De doorlatendheid van de kade als geheel wordt aangeduid met bulk doorlatendheid.

De landschappelijke functie bevat zowel cultuurhistorische als ecologische elementen. Boezemkaden vormen door hun verschijning duidelijk herkenbare elementen en dragen hierdoor bij aan de belevingswaarde van het landschap. De vorm van de kade speelt hierbij een belangrijke rol. Daarnaast kunnen boezemkaden door hun lijnvormige karakter dienen als verbindingszone in het kader van de ecologische hoofdstructuur. Het inrichten van natuurvriendelijke oevers ten behoeve van deze natuurfunctie is hierbij een aandachtspunt dat specifiek betrekking heeft op de zone rond de waterlijn. Het toepassen van alternatieve of aanvullende oeververdedigingen (steenbestorting, rietoever, beschoeiing) kan de landschappelijke beleving beïnvloeden.

Boezemkaden kunnen tevens een agrarische functie vervullen, hoofdzakelijk in de vorm van beweiding door vee. Speciale aandacht gaat hierbij uit naar de zone rond de waterlijn die door vertrapping schade kan oplopen.

In sommige gevallen vervult de boezemkade tevens een functie van infrastructurele aard, bijvoorbeeld in de vorm van een weg of een fietspad. Met name de fundering van wegconstructies is een belangrijk aandachtspunt met betrekking tot de opbouw van de kade. Verder kan een wegconstructie andere eisen stellen aan de kruinbreedte van de kade. Beide aspecten kunnen hun weerslag hebben op de totale waterdoorlatendheid en stabiliteit van het kadelichaam, hetgeen van belang kan zijn voor het vervullen van de waterkerende functie.

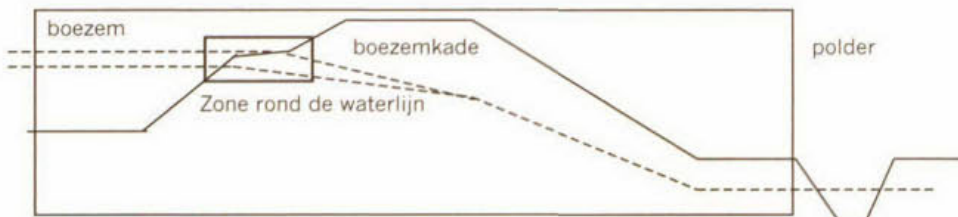


Foto 1: Traditionele boezemkade bij Aarlanderveen

2.3 Opbouw van boezemkaden

De hierboven genoemde functies hebben betrekking op verschillende onderdelen uit de constructie van de boezemkade. De belangrijkste onderdelen die in de opbouw van de boezemkade onderscheiden kunnen worden ten aanzien van de te vervullen functies zijn het kadelichaam als geheel en de zone rond de waterlijn in specifieke zin.

In figuur 2.1 is een schematische dwarsdoorsnede van een boezemkade weergegeven. Het grote kader omvat het gehele grondmassief van de kade. Daarbinnen is de zone rond de waterlijn als functioneel onderdeel afzonderlijk omkaderd.



Figuur 2.1: Schematische doorsnede opbouw boezemkade

De gehele kade vervult hoofdzakelijk de functie waterkering, waarbij de belangrijkste eigenschappen van het kadelichaam betrekking hebben op de doorlatendheid en de stabiliteit. Aandachtspunten met betrekking tot de waterkerende functie zijn omgevingsfactoren, waaronder hydrostatische belasting (onder meer het permanente waterpeil), de ondergrond (zettingsgevoelige en/of waterdoorlatende lagen) en eventueel infrastructuur. De fundering van eventuele (wegen)infrastructuur heeft invloed op zowel de doorlatendheid als de stabiliteit. Daar beide eigenschappen van belang zijn bij het vervullen van de waterkerende functie, dient de fundering nadrukkelijk te worden betrokken bij het ontwerp van de kade als geheel.

De zone rond de waterlijn neemt een speciale positie in de opbouw van boezemkaden in. Specifieke omgevingsfactoren, waaronder met name de hydraulische belasting door golven en stroming die hoofdzakelijk op deze zone werkzaam is, verlangen een aantal functionele eigenschappen van deze zone. Vanuit landschappelijk oogpunt is met name de zone rond de waterlijn een punt van aandacht in verband met de inrichtingsmogelijkheden hiervan. De vorm van de gehele kade dient te voldoen aan de verwachtingen volgend uit (cultuur)historische achtergrond. De zone rond de waterlijn speelt tevens een belangrijke rol in de agrarische invulling van het gebruik. Vertrapping van de bekleding in het algemeen en van de zone boven de waterlijn (door veedrenking), kan resulteren in een kadeprofiel dat gevoeliger is voor erosie door andere vormen van belasting.

Het binnentalud is, enigszins afhankelijk van het gebruik en de situering van de kade, veelal nauwelijks onderhevig aan hydraulische belastingen. Een goede vegetatie zal de kade al in voldoende mate kunnen beschermen.

Dit deel van de kade is primair van belang voor de stabiliteit van de kade. De taludhelling en de laagopbouw zijn in dit kader belangrijke factoren.

2.4 Onderhoud van boezemkaden

In het vervullen van de verschillende functies speelt de factor tijd een belangrijke rol. Door de aanwezigheid van zettingsgevoelige grondlagen in de ondergrond, zal de kadehoogte in de loop van de tijd afnemen. Dit kan consequenties hebben voor de veiligheid, doordat de functie van waterkeren niet meer naar behoren vervuld kan worden.

De beheerder zal moeten voorkomen, dat de kade niet aan de vereiste hoogte voldoet, en daar het profiel-onderhoud op afstemmen. In de tussenliggende periode zal de kade ook aan de overige functies moeten voldoen. In deze periode wordt het zogenaamde dagelijks onderhoud uitgevoerd.

De mate van zowel het groot-onderhoud (profiel) als het dagelijks onderhoud wordt enerzijds bepaald door omgevingsfactoren, zoals hydraulische belasting, ondergrond en gebruik (al of niet beweiding) en anderzijds door het type grond dat is toegepast in (onderdelen van) de boezemkade.

De ontwikkelingen van eigenschappen van de grond worden beïnvloed door bodemprocessen, die zich in een bepaalde tijd voornamelijk in de onverzadigde zone af kunnen spelen. De grond die wordt toegepast in boezemkades, is dus in belangrijke mate bepalend voor het functioneren van de kade.

De keuze van de eigenschappen waaraan de grond moet voldoen, kan alleen goed worden gemaakt indien ontwerp (bijv. wel of geen oeververdediging) en het dagelijks gebruik ook bekend zijn.

3 Grond in boezemkaden

3.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn de functies en de opbouw van boezemkaden aan de orde gekomen. Dit hoofdstuk gaat dieper in op de grond in boezemkaden en de relatie met de voorkomende belastingen. Hierbij wordt in paragraaf 3.2 ingegaan op de benodigde eigenschappen van de grond in kaden. De eigenschappen van de grond zijn op hun beurt weer afhankelijk van omgeving en ontwikkeling in de tijd. De verschillende belastingen waaraan boezemkaden onderhevig (kunnen) zijn, zijn beschreven in paragraaf 3.3. In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op enkele aandachtspunten bij het beheer en onderhoud van boezemkaden.

3.2 Eigenschappen van grond in kaden

De grond die in kaden verwerkt is, bepaalt in samenhang met de opbouw van de constructie het functioneren van de boezemkade. De grond in de kade dient te voldoen aan eisen aan doorlatendheid en gevoeligheid voor vervorming en afkalving (door ontgronding). De samenhang met de opbouw van de kade blijkt uit het in hoofdstuk 2 vermelde verband tussen de verschillende onderdelen in een kade en de functionele eigenschappen die hieraan verbonden zijn.

Van oudsher zijn boezemkaden opgebouwd uit en onderhouden met in de regio beschikbare grond, hoofdzakelijk klei en in enkele gevallen veen. De geschiedenis van het ophogen van kaden heeft in grote mate de opbouw van de kaden beïnvloed. Ophogingen en versterkingen waren nodig om zettingen te compenseren en om de toenemende kerende hoogte, als gevolg van de inklinking van de achterliggende polder, bij te kunnen houden.

Eigenschappen van grond in kaden veranderen in de loop van de tijd. Bepaalde processen (compactie, bodemvorming, waaronder structuurvorming en rijping van grond) spelen een rol in het verloop van de eigenschappen van klei zoals waterdoorlatendheid en weerstand tegen ontgronding. Het is bekend dat de waterdoorlatendheidseigenschappen in de onverzadigde zone in grote mate bepaald worden door de mate van structuurvorming die heeft plaatsgevonden. Naarmate de structuurvorming toeneemt, neemt de waterdoorlatendheid van de grond toe en neemt de weerstand tegen ontgronding af. Ook als deze lagen worden afgedekt (bijvoorbeeld door ophoging), blijven de verworven eigenschappen deels aanwezig: de doorlatendheid verandert nauwelijks.

Boezemwateren hebben over het algemeen een vast hoog waterpeil, waardoor het vormen van bodemstructuur in de afdekkende buitendijkse laag grond beperkt wordt. Het optreden van scheurvorming en de hiermee samenhangende toename van de waterdoorlatendheid komt hier nauwelijks voor. Boven het heersende waterpeil (de onverzadigde zone) is echter in de tijd in toenemende mate sprake van structuurvorming.

In de verzadigde zone zijn de sterkte- en waterdoorlatendheidseigenschappen daarentegen, ook in de loop van de tijd, weinig onderhevig aan veranderingen. Wel is in de verzadigde zone sprake van een toenemende compactie.

De genoemde grondeigenschappen hebben hoofdzakelijk betrekking op de opbouw van de kade als geheel. De belastingen die van invloed zijn op de gehele kade, met uitzondering van de processen die tijdsgebonden optreden, zijn te benoemen als statische belastingen. Op de zone rond de waterlijn spelen daarnaast een aantal dynamische belastingen die van invloed zijn op en eisen stellen aan de eigenschappen van de grond in deze zone.

3.3 Belasting van boezemkaden

3.3.1 Algemeen

Verreweg de belangrijkste belastingen ondervinden boezemkaden, direct of indirect, van het te keren water. Deze hydraulische belastingen zijn onder te verdelen in hydrostatische belastingen (hydraulisch verhang) die werkzaam zijn op het gehele kadeprofiel, en dynamische belastingen van golven en stroming die invloed uitoefenen op uitsluitend de zone rond de waterlijn. Indien er sprake is van golfoverslag, bij boezemkaden langs wateren met een grote strijklengte, is er ook sprake van een zekere belasting op de kruin en het binnentalud. Naarmate het talud steiler is neemt de invloed van golfoverslag toe. Een bekend gegeven is dat de grasmat in belangrijke mate bescherming biedt tegen erosie van het binnentalud.

Daarnaast kan het gebruik van de boezemkade in meer of mindere mate bijdragen aan de belasting op de boezemkade. Voorbeelden zijn het betreden door vee (agrarisch gebruik), door recreatie of (wegen)infrastructuur.

De verschillende in belastingen op delen van de kaden kunnen de aanleiding zijn voor toepassing van grond met specifieke bodemkundige eigenschappen. Voorwaarde is dat de grond voldoende weerstand biedt tegen een bepaalde belastingssituatie. Het lijkt niet noodzakelijk om op alle delen grond met gelijkwaardige eigenschappen toe te passen. Er kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt naar grond geschikt voor toepassing in het buitentalud en grond die geschikt is voor toepassing in het binnentalud.

3.3.2 (Hydro)statische belasting op de gehele kade

Het hydraulisch verhang ofwel het verloop van de verzadigde zone, wordt bepaald door omgevingsfactoren (boezempeil (fluctuaties), polderpeil en variaties in neerslaghoeveelheden) en de waterdoorlatendheid van de grond in de kade. Naarmate de structuurvorming toeneemt (tijdsaspect) neemt ook de doorlatendheid van de grond toe. Dit is van invloed op het verloop van de verzadigde zone in het kadeprofiel. Als gevolg van toenemende doorlatendheid stijgt het freatische niveau in de kade, met name bij hoge neerslag en bij hoge waterstanden, waardoor de kans dat water aan de teen van de kade uittreedt, toeneemt.

De kade zelf is bovendien onderhevig aan belasting door de zwaartekracht. Het eigen gewicht van de kade vormt een permanente belasting op zowel de kade zelf (inklinking) als op de ondergrond (consolidatie, zetting en stabiliteit).



Foto 2: Beroepsvaart op de Groeneveldse Watering

3.3.3 (Hydro)dynamische belasting op de zone rond de waterlijn

Golven en stroming zijn werkzaam in de zone rond de waterlijn. Ten gevolge van deze vorm van belasting kan erosie van het buitentalud plaatsvinden. Dit kan consequenties hebben voor de veiligheid, doordat de geometrie (onderdeel van de opbouw) van de kade ondermijnd wordt en de stabiliteit van de kade niet langer gewaarborgd kan worden.

Het erosiemechanisme dat een rol speelt op met name de zone rond de waterlijn van boezemkaden omvat twee componenten. De ene component veroorzaakt afname van de sterkte van het kademateriaal (onder invloed van omgeving en tijd). Voor het optreden van deze verzwakking kunnen verschillende processen verantwoordelijk zijn, zoals dispersie, verweking, vertrapping en/of vergraving door wormen, insecten en muskusratten. Het verzwakte materiaal biedt niet voldoende weerstand en kan door verschillende transportmechanismen worden afgevoerd, waaronder golven en stroming. De processen gaan door tot het kadeprofiel dusdanig is aangetast dat de kade niet meer naar behoren functioneert en de veiligheid van het achterland in het geding is.

Indien het boezemwater een vaarfunctie heeft, dient rekening te worden gehouden met de hydraulische gevolgen van golven en stromingen die door de scheepvaart worden opgewekt. Van belang voor de belasting door scheepvaart op boezemkaden zijn met name de frequentie en het type (recreatie- of beroepsvaart). Ook de breedte van de boezem speelt hierbij een belangrijke rol. Stroming en golfwerking ten gevolge van schepen zijn intensiever naarmate de boezem smaller is en wanneer er meer scheepvaart is.

3.4 Aandachtspunten boezemkaden

Enkele gebruiks- en/of onderhoudsgerelateerde aspecten verdienen bijzondere aandacht omdat zij verband houden met (de verandering van) grondeigenschappen in boezemkaden en relevant zijn voor de veiligheid tegen inundatie (waterkerende functie).

3.4.1 Het insluiten van doorlatende lagen

Het insluiten van sterk waterdoorlatende lagen (zand of wegfundering) is van groot belang voor de stabiliteit en doorlatendheid van de kade als geheel. Wegen op boezemkaden beschikken vanuit wegbouwkundige uitgangspunten (o.a. drooglegging ter voorkoming van vorstschade aan het wegdek en draagkracht) veelal over een fundering die is opgebouwd uit sterk doorlatend materiaal zoals zand en/of puin. Als gevolg van zakking van de kade (klink, zetting) zakt ook de wegfundering. Bij onderhoud (ophoging) wordt de kruinhoogte aangepast. De dikte van de funderingslaag neemt toe en de onderzijde van deze sterk doorlatende laag ligt lager in de kern van de kade. Wanneer de onderzijde van de funderingslaag beneden de freatische lijn komt te liggen, zal het goed doorlatende zandpakket vollopen met grondwater, waardoor de stabiliteit van de kade in gevaar kan komen. Het is derhalve van groot belang de effecten van ophoging ten aanzien van de opbouw van de gehele kade goed in beeld te houden. Door het aanbrengen van bijvoorbeeld een drainage in de onderbouw van de wegen en/of een kleikist kunnen negatieve effecten worden beperkt.

3.4.2 Aanvullende oeverbeschermingsconstructies

Aanvullende oeverbeschermingsconstructies vergroten de weerstand tegen eroderende processen door het verlagen van de ontgrondingssnelheid. Afhankelijk van omgevingsfactoren (mate van belasting) kunnen dergelijke maatregelen het gemis aan erosiebestendigheid van grond in kaden compenseren. Kwaliteit van grond en beschermingsconstructies zijn grotendeels inwisselbaar. Dit betekent dat ter plaatse van een kade die onderhevig is aan golfbelasting de golfwerking bijvoorbeeld gereduceerd kan worden door het aanbrengen van een rietbegroeiing. In voorkomende situaties kunnen hierdoor lagere eisen aan de grond worden gesteld ten aanzien van erosiebestendigheid van de grond tegen golfwerking.

3.4.3 Stabiliteit en sterkte eigenschappen gehele kade na ophogen

Ophogen van boezemkaden kan consequenties hebben voor het functioneren. De stabiliteit en sterkte eigenschappen van de toegepaste grond hangen sterk samen met de wijze van aanbrengen. Het goed verdichten van grond verdient hierbij de voorkeur.

3.4.4 Vreemde objecten

In, op of nabij boezemkaden aanwezige vreemde objecten zijn onder andere:

- Bomen en struiken
- Bebouwing
- Kabels en leidingen

De aanwezigheid van vreemde objecten op of nabij boezemkaden kunnen een bedreiging vormen voor het waterkerend vermogen van de kaden. Door aanleg en onderhoud aan voorzieningen wordt het kadeprofiel verstoord en bestaat de kans dat specifieke eigenschappen van de kade worden aangetast. In de regel zijn dit relatief kwetsbare locaties, die maatgevend kunnen zijn voor de stabiliteit van de kade.

Ook kunnen vreemde elementen een belemmering vormen bij uit te voeren onderhoudswerkzaamheden en noodzakelijke kadeverbeteringen.

Omdat de aanwezigheid van vreemde objecten niet van invloed is op het in boezemkaden te verwerken materiaal, is dit aspect bij de uitvoering van het onderzoek niet nader in beschouwing genomen.



Foto 3: Bomen op de Kade langs de Middelwatering

4 Veld- en laboratoriumonderzoeken

4.1 Inleiding

Zoals in voorgaande hoofdstukken is aangegeven, zijn de grondeigenschappen essentiële factoren om aan de waterstaatkundige functies te kunnen voldoen. Bekend is evenwel dat in de over het land verspreid gelegen kaden een diversiteit aan materialen is verwerkt. In het kader van het onderzoek wordt nadere informatie over het gevoerde beheer, in relatie tot de in de kaden verwerkte grond, van belang geacht. De ervaringen die beheerders hebben opgedaan met het beheer en onderhoud van kaden kunnen mogelijk nieuwe inzichten opleveren in de fysische eisen die aan grond voor verwerking in boezemkaden kunnen worden gesteld.

Om inzicht te verkrijgen in de belastingssituatie, de onderhoudstoestand van de kade (schadebeeld), aanvullende oeverbeschermingsmaatregelen en de in de kaden verwerkte grond, is op een aantal geselecteerde kaden een inventariserend onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek heeft bestaan uit een algemene inventarisatie en een bodemkundige opname. Deze onderdelen van het veldonderzoek hebben betrekking op de primaire doelstelling van het onderzoek. De onderzoeksopzet is mede gericht geweest op het vinden van handvatten voor het opzetten van een eenvoudige en in het veld toepasbare beoordelingsmethode, om de geschiktheid van grond voor verwerking in boezemkaden vast te stellen. Dit overeenkomstig de secundaire doelstelling.

Een nadere beschrijving van de voorselectie, de onderzoeksopzet en de uitgevoerde veldopnamen, alsmede de verslaglegging van de onderzoeksresultaten zijn in dit hoofdstuk behandeld.

4.2 Selectie en keuze onderzoekslocaties

Bij de selectie van de te beoordelen permanent kerende boezemkaden is onder andere onderscheid gemaakt naar kaden gelegen in klei- en veengebieden. De in de kaden verwerkte grond en de lokale omstandigheden kunnen namelijk per gebied (sterk) variëren. Ook is bij de selectie van de kaden rekening gehouden met verschillende belastingssituaties.

In overleg met de participerende waterschappen zijn op basis van bovengenoemde criteria in totaal vijftien kaden geselecteerd. Samen met de beheerder is op het geselecteerde traject de meest representatieve onderzoekslocatie bepaald.

Een overzicht van de geselecteerde kaden is weergegeven in tabel 4.1.

4.3 Algemene inventarisatie

In samenspraak met de beheerders is per kade een algemene inventarisatie uitgevoerd. Met deze inventarisatie is met name beoogd een beeld te krijgen van de huidige (onderhouds)toestand van de kade. Hierbij is hoofdzakelijk aandacht besteed aan het schadebeeld, de aanwezigheid en toestand van eventuele aanvullende oeverbescherming en het gebruik (nevenfuncties) en beheer van de kade. Aanvullende informatie met betrekking tot onderhoudsmethoden en -intensiteiten, onderhoudsfrequentie, vaarfrequentie, type scheepsbelasting is verkregen uit interviews met de beheerders.

Ter plaatse van het onderzochte dwarsprofiel (bodemkundige beoordeling) is de kade ingemeten. Het dwarsprofiel is ingemeten ten opzichte van de oeverlijn (nulpunt) en de maaiveldhoogten zijn ten opzichte van het boezempeil gewaterpast.

In het bijlagenrapport 'Veld en Laboratoriumonderzoeken' zijn de resultaten van de uitgevoerde veldinventarisaties opgenomen. Een samenvattend overzicht van de algemene inventarisatie is opgenomen in tabel 4.2.

Bij alle in de beoordeling betrokken boezemkaden is sprake van een vrijwel constant waterpeil. De verschillen tussen de diverse kaden zijn vrij groot en komen tot uiting in de dwarsprofielen van de kaden, de al dan niet aanwezige oeververdedigingen en het gebruik van de boezem. Ook de onderhoudsfrequentie en het jaar waarin de laatste onderhoudswerken hebben plaatsgevonden is hierop van invloed.



Foto 4: Beschoeiing langs de Hollandse Kade

Ondanks de verschillen, is uit de veldopname gebleken dat met name de overgangszone tussen de boezem en de kade het meest kwetsbare deel van de boezemkade is. Aantastingen die van invloed (kunnen) zijn op het functioneren van de kade, zijn vrijwel alleen aan het buitentalud waargenomen. Het schadebeeld varieert van geringe schade door verweking en een niet draagkrachtig talud tot uitspoeling en afkalving op de waterlijn, waardoor het talud langzaam ondermijnd wordt en het kademateriaal gestaag onder de waterlijn verdwijnt.

Goed beschermde oevers blijken veelal minder schade als gevolg van afkalving (oevererosie) te vertonen. Vooral oeverconstructies bestaande uit een lichte beschoeiing (tot op de waterlijn) met daarachter een met riet begroeide vooroever bieden een goede bescherming te oevererosie. Tevens beschermt de rietkraag de oever tegen golfaanvallen. Daar waar geen rietkraag aanwezig is, biedt alleen een beschoeiing lang niet altijd een afdoende bescherming tegen stroming en golfslag (vooral scheepsgolven). Type en kwaliteit van de beschoeiing zijn dus mede bepalend voor het al dan niet optreden van erosie op de waterlijn. Vooral bij oevers die zijn beschermd door een lichte en lage beschoeiing is geconstateerd dat door scheepvaart veroorzaakte golfbewegingen over en door de beschoeiing heen slaan en vervolgens het talud kunnen aantasten. De grond achter de beschoeiing wordt langzaam weggeërodeerd.

In het kader van het onderhoud van de kaden zijn veelal meerdere grondaanvullingen, ophogingen en herstelwerkzaamheden uitgevoerd. Reparatie van plaatselijke erosie wordt lang niet altijd direct uitgevoerd. Er wordt zoveel mogelijk aangesloten op het groot onderhoud, waarbij het hele profiel wordt hersteld. De onderhoudsfrequentie van het groot onderhoud blijkt onder andere sterk afhankelijk te zijn van de zettingsgevoeligheid van de ondergrond, en kan uiteenlopen van 7 - 12 jaar in veengebieden tot 15 - 25 jaar in kleigebieden.

Tabel 4.1 Samenvattend overzicht algemene beoordeling geselecteerde kaden

Beheerder	Kade	Vorm kade	Belasting	Aanvullende verdediging	Grondgebruik	Onderhoud	Schadebeeld
1	Boarn en Klif	Elahuizen	Breed, diep achterland Meerkade	Golfslag (vnl. door wind), golfoverslag	Steenbestorting, volledig	Koeien en schapen	Erosie achter steen- bestorting - Zettingen.
2	Boarn en Klif	Vierhuis	Smal, diep achterland Meerkade	Golfslag (vnl. door wind), golfoverslag	Steenbestorting en rietoevoer, volledig	Schapen	Teen talud drassig, weinig schade
3	Delfland	Groeneveldse Watering	Smal, diep achterland, met binnenberm.	Scheepsgolven (vnl. recreatief), stroming gemaal	Beschoeiing, volledig	Schapen	Veel schade achter beschoeiing (dispersie). Beschoeiing is verzakt.
		West	Klei/veengebied				Weinig schade.
		Oost	Smal, diep achterland				
4	Delfland	Middelwatering	Klei/veengebied	Scheepsgolven (vnl. recreatief), stroming gemaal	Beschoeiing, volledig	Schapen en hoiland	2001 opgehoogd en aangevuld
			Smal, diep achterland	Beperkte kleine recreatievaart, stroming gemaal	Beschoeiing, niet volledig (verouderd).	Schapen	
5	Marne Middelsee	Franckervaat	Breed, hoog achterland	Beperkte scheepvaart geringe golfslag	Rietbegroeiing, niet volledig	Koeien en schapen	Verwaking, beperkte erosie t.p.v. gaten in beschoeiing
6	Marne Middelsee	Huinservaat	Klei/veengebied	Geen scheepvaart. Stroming gemaal.	Rietbegroeiing, niet volledig	Koeien	Wat afkalving op waterlijn
7	Oude Rijnstromen	Aarlanderveen	Smal, diep achterland	Geen scheepvaart, geringe stroming	Beschoeiing, volledig	Koeien	Weinig afkalving, wel vertrapping
8	Oude Rijnstromen	Braasmermeer	Breed, diep achterland	Golfslag door wind en recreatievaart, golfoverslag bij storm	Steenbestorting + asfalt, volledig	Schapen en maatbeheer	Door beschoeiing nauwelijks aantasting Weinig schade.
			Klei/veengebied				
		Meerkade					
9	Schieland	Bermweg	Smal, diep achterland	Ext. Recreatief gebruik. Geen golfslag	Rietbegroeiing, volledig	Maaibeheer	Nauwelijks schade door rietkraag. Zetting
			Brede onderberm				
10	Schieland	Grindweg	Veengebied	Geen scheepvaart. Geen golfslag	Bodem verzwaard stenen, niet volledig	Maaibeheer	Erosie op waterlijn. Zetting +
			Smal, diep achterland				
		Veengebied					
11	Stichtse Rijnlanden	Dubbele Wiericke	Smal, diep achterland	Golfslag door scheepvaart (vnl. recreatief)	Bodemverzwaring met puin en stenen, niet volledig	Schapen	Geringe afkalving (erosiebestendig materiaal).
		Oost	Veengebied				
		West	Smal, diep achterland	Golfslag door scheepvaart (vnl. recreatief)	Bodemverzwaring met puin en stenen, niet volledig	Schapen	Weinig schade (erosiebestendig materiaal)
12	Stichtse Rijnlanden	Hollandse IJssel	Smal, diep achterland	Scheepvaart. Golfslag m.n. door recreatievaart	Damwand / beschoeiing en steenbestorting, volledig. Beschoeiing in slechte staat	Koeien	Veel erosie achter beschoeiing.
			Veengebied				
		Asfaltweg op kruin					
13	Stichtse Rijnlanden	Hollandse Kade	Breed, met weg, diep achterland	Ext. Scheepvaart (kleine recreatie). Geringe golfslag	Beschoeiing, riet, niet volledig	Maaibeheer	Veel erosie op waterlijn
14	Wilck en Wiericke	Kleine Geer	Smal, diep achterland	Ext. Scheepvaart (recreatief), beperkte golfslag	Rietbegroeiing, niet volledig	Koeien en geiten	Iets afkalving op waterlijn
			Klei/veengebied				
15	Wilck en Wiericke	Middelburgse Kade	Breed, diep achterland	Zeer beperkt scheepsbelasting. Beperkte golfslag	Geen	Schapen	Schade door vertrapping
			Veengebied				Schade door vertrapping doorlatend, vervangen?

4.4 Bodemkundig onderzoek

4.4.1 Algemeen

Zowel in het veld als in het laboratorium zijn enkele bodemkundige parameters van de verschillende onderzochte kaden bepaald. De zogenaamde intrinsieke eigenschappen van grond zoals granulaire samenstelling van het materiaal, aard en samenstelling van de kleifractie, humusgehalte en dergelijke bepalen mede het gedrag van de grond. Daarnaast is het vochtgehalte bepalend voor de weerstand die het materiaal biedt tegen vervormingen.

Er zijn reeds diverse onderzoeken verricht naar de relatie tussen erosiebestendigheid en overige grondparameters. Uit de resultaten van deze onderzoeken kan worden afgeleid dat de weerstand van grond tegen erosie nauw samenhangt met een complex van fysische eigenschappen van grond.

Dit onderzoek heeft niet tot doel de relaties die gevonden zijn in eerder onderzoek te controleren of te bevestigen. Derhalve wordt in de beschrijving van de onderzoeksresultaten niet verder ingegaan op het voorkomen van dergelijke relaties. Wel wordt aandacht besteed aan het verband tussen in het laboratorium en in het veld bepaalde grondeigenschappen die gerelateerd kunnen worden aan weerstand tegen erosie en waterdoorlatendheidskarakteristieken.

4.4.2 Uitgevoerd veldonderzoek

Ter plaatse van de geselecteerde dwarsprofielen zijn per kade de volgende werkzaamheden verricht:

- drie à vier boringen met een edelmanboor tot diepten van 2 à 4 m. In principe zijn boringen in het buitentalud, de kruin (kern) en in het binnentalud uitgevoerd. De bij de boringen vrijkomende grond is op basis van schattingen beoordeeld. Er is een schatting gemaakt van zand, silt, klei en organische stofgehalten van de te onderscheiden bodemlagen. De beoordelingen zijn uitgevoerd conform NEN 5104. Tevens zijn de lagen beoordeeld op consistentie, rijpingsgraad, doorlatendheid, en structuurkenmerken.
- ter plaatse is ook een (ondiepe) profielkuil gegraven om structuurkenmerken en laagscheidingen in de bovenlaag goed te kunnen waarnemen en beoordelen. Bijzondere aandacht is besteed aan de overgangszone in het buitentalud, vanaf de waterlijn naar de kruin van de kade.
- per boorpunt is tot een diepte van 1,50 m de indringingsweerstand (opgenomen in MN/m^2) gemeten. Hiervoor is gebruik gemaakt van een penetrometer (conus nr. 2).
- in de boorgaten is met behulp van een zogenaamde handvin, op verschillende dieptes beneden maaiveld, de ongedraineerde schuifsterkte gemeten.
- bij de boringen/profielkuilen in het buitentalud en de kruin van de kaden zijn monsters genomen van de diverse bodemlagen. Deze monsters zijn voor analyse aangeboden aan het materiaalkundig laboratorium van Fugro bv. De analyseresultaten dienen ook ter verificatie van de veldwaarnemingen.
- per kadeprofiel is van de zodelaag een mengmonster gestoken. Dit ter bepaling van de voedingstoestand van de grond. De analyses zijn uitgevoerd door het in Deventer gevestigde laboratorium Koch Bodemtechniek.
- het opnemen van de grondwaterstanden in de open boorgaten en het beoordelen van de mogelijke fluctuatie in grondwaterstanden aan de hand van hydromorfe profielkenmerken (bepalen de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden, respectievelijk GHG en GLG).

De resultaten van de uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoeken zijn opgenomen in het bijlagenrapport 'Veld en Laboratoriumonderzoeken'. In een schematisch dwarsprofiel is per kade de situering van de onderzoekspunten weergegeven. Voor zover mogelijk is in de dwarsprofielen ook een schematische weergave opgenomen van het hydraulisch profiel (GHG, GLG en eventueel de gemeten waterstanden).

4.4.3 Uitgevoerd laboratoriumonderzoek

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat de te verwerken grond aan enkele specifieke materiaaleigenschappen moet voldoen. Belangrijke eigenschappen zijn de doorlatendheid en erosiebestendigheid van de grond. Naast een (indicatieve) beoordeling in het veld zijn deze eigenschappen op basis van gerichte laboratoriumproeven nader te bepalen. Refererend aan de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, is voor de te beoordelen boezemkaden het onderstaande onderzoeksprogramma aangehouden. Dit is mede gedaan om vergelijking van onderzoeksresultaten en ervaringen mogelijk te maken.

Van de geselecteerde monsters zijn de volgende parameters bepaald:

- granulaire bepalingen
 - gehalte $>63\ \mu\text{m}$ (zandgehalte)
 - gehalte $<16\ \mu\text{m}$ (afslibbaar)
 - gehalte $<2\ \mu\text{m}$ (lutum)
 - gehalte organische stof (H)
- Atterbergse waarden en afgeleide parameters
 - vloeigrens (W_l)
 - uitrolgrens (W_p)
 - plasticiteits-index (I_p)
 - consistentie-index (I_c)
 - vloeibaarheids-index
 - A-lijn
 - Watergehalte (A-cijfer)
 - W_{max}
 - rijpingsfactor (n)
 - erosiebestendigheidscategorie volgens TAW
- geleidingsvermogen
- zoutgehalte bodemvocht
- voedingstoestand (macroparameters)

Een samenvattend overzicht van de analyseresultaten is opgenomen in Bijlage 2. In de volgende paragraaf zijn de onderzoeksresultaten nader besproken.

4.5 Resultaten bodemkundig onderzoek

4.5.1 Granulaire samenstelling

Vrijwel alle kaden zijn opgebouwd uit klei of klei en veen. Twee kaden, Vierhuis en Braassemermeer, zijn gedeeltelijk opgebouwd uit zand. In de kade rond het Braassemermeer is alleen zand aangetroffen in het binnentalud.

De variatie aan kleigrond is echter relatief groot: van grofweg matig zandige klei ($>12\%$ lutum) tot matig siltige klei ($<50\%$ lutum). Er is dus sprake van een grote diversiteit in de samenstelling van de in de kaden in de verwerkte grond.

In vele boringen is ook veen aangetroffen. Bij slechts enkele boringen is ook veen in de bovenlaag, ondieper dan 0,50 m, waargenomen. De laagdikten variëren echter van enkele centimeters tot enkele meters ter plaatse van de kaden in de veengebieden. De samenstelling varieert van mineraalarm tot kleilig en sterk zandig.

Met de variatie in lutumgehalten, varieert ook het organische stofgehalte van de onderscheiden kleiige bodemlagen. In de kleiige bovenlagen (dikte 0,10 - 0,30 m) liggen de geschatte organische stofgehalten gemiddeld genomen tussen de 3 en 6 % tot maximaal 8%. De veldschattingen blijken veelal iets boven de in het laboratorium bepaalde waarden te liggen.

Een goed overzicht van de variatie in samenstelling van de geanalyseerde grondmonsters is weergegeven in de textuurdriehoeken, zoals opgenomen in de figuren 4.1 en 4.2.

4.5.2 Bodemstructuur

De macrostructuur van grond is visueel te beoordelen op basis van rangschikking van de elementen, poriën, bewortelbaarheid én sporen van activiteit van bodemleven. Bij het bepalen van de structuurgraad in het veld is gelet op het gedrag van de grondmassa bij verstoring. Soms raken de structuurelementen al bij het lossteken van de grond van elkaar geïsoleerd, in andere gevallen kunnen ze na het lossteken slechts voorzichtig met de hand worden geïsoleerd. Indien geen duidelijke elementen zijn te onderscheiden, is sprake van een macrostructuur zonder elementen. Te onderscheiden hoofdvormen zijn: gatenstructuur, gelaagd complex, korststructuur, structuurloos.

Op basis van de in het bijlagenrapport aangegeven systematiek is de bodemstructuur ter plaatse van het buitentalud beoordeeld en vergeleken met de structuur ter plaatse van de kruin van de kade. Hieruit valt in algemene zin op te maken dat het bodemprofiel in het buitentalud gemiddeld genomen tot net boven de waterlijn (boezempeil) een redelijke bodemstructuur heeft. Door het vrij constante waterpeil worden de diepere bodemlagen plastisch en neemt de structuurgraad sterk af.

In de kruin van de kaden is gemiddeld genomen tot een diepte van 1,00 tot 1,30 m sprake van structuurvorming. Deze structuur is van belang voor het hydraulisch profiel en heeft derhalve ook grote invloed op het vochtgehalte van de grond.

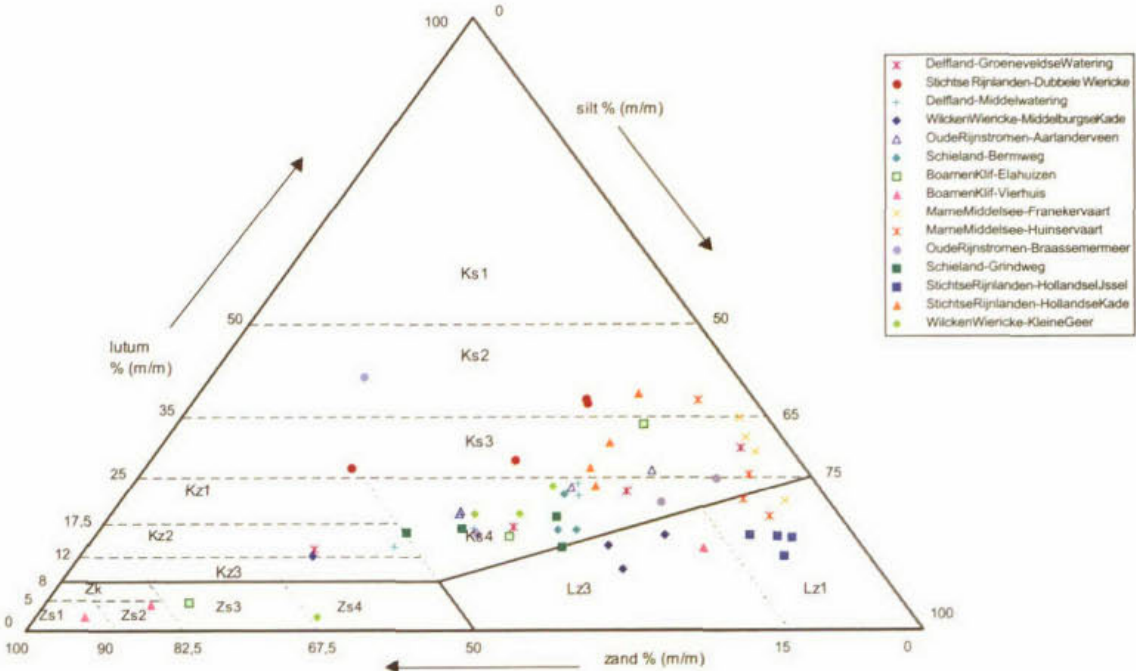
4.5.3 Waterdoorlatendheid

In het bijlagenrapport is een praktische richtlijn voor het schatten van de verzadigde doorlatendheid in grond opgenomen.

Verreweg de grootste hoeveelheid geïnfiltreerd water stroomt door de grotere poriën. In het veld zijn poriën als wormgangen en grotere scheuren direct zichtbaar en als zodanig in het kader van de bodemkundig beoordeling beschreven.

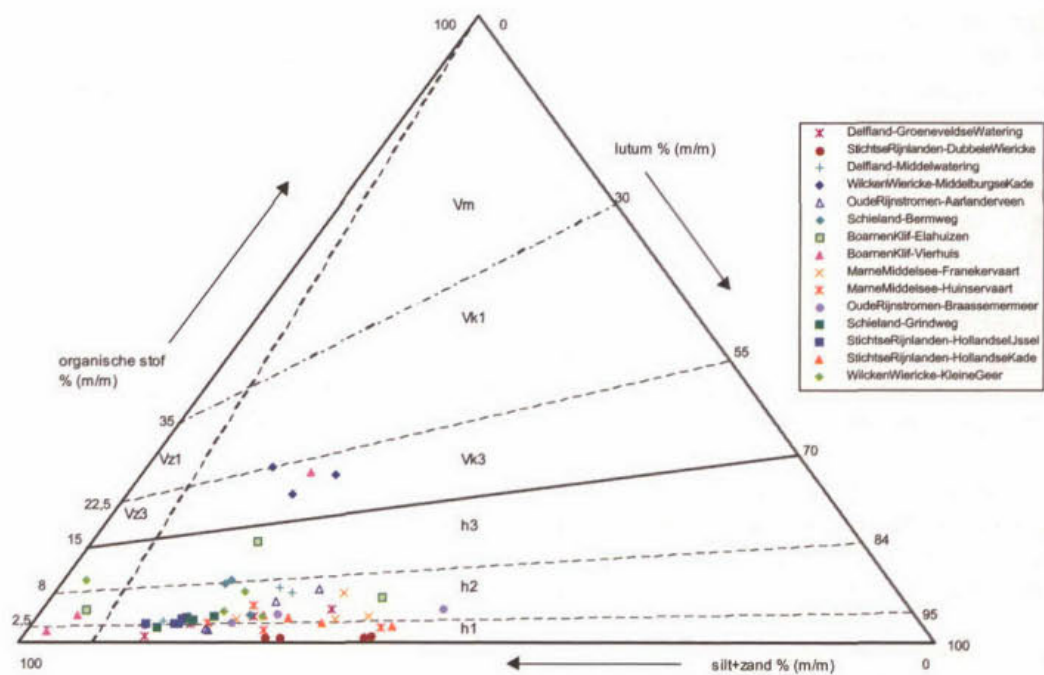
De veldwaarnemingen tonen aan dat de bodemlagen met een ontwikkelde bodemstructuur duidelijk beter waterdoorlatend zijn dan de diepere bodemlagen. In de gestructureerde bovenlagen zijn op basis van materiaalkenmerken doorlatendheden geschat van 0,20 tot 0,50 m/etm, met uitschieters tot circa 0,80 m/etm. Opgemerkt wordt dat metingen in het algemeen waarden van 2 – 3 m/dag aangeven voor zulke lagen. Mede door de bodemstructuur, wormgangen en dergelijke zal de bulk doorlatendheid veelal groter zijn dan

*Figuur 4.1 Indeling op benaming naar de gehalten aan lutum, silt en zand
Gebaseerd op NEN 5104*



veld	Benaming mengsel		
	hoofdnaam	toevoeging uit naamgevende driehoek	toevoeging uit niet naamgevende driehoek
Ks1	klei	zwak siltig	toevoeging volgt uit indeling en benaming naar de gehalten aan: lutum+silt, zand en grind organische stof, lutum en silt+zand
Ks2	klei	matig siltig	
Ks3	klei	sterk siltig	
Ks4	klei	uiterst siltig	
Kz1	klei	zwak zandig	
Kz2	klei	matig zandig	
Kz3	klei	sterk zandig	
Lz1	leem	zwak zandig	
Lz3	leem	sterk zandig	
Zk	zand	kleiig	
Zs1	zand	zwak siltig	
Zs2	zand	matig siltig	
Zs3	zand	sterk siltig	
Zs4	zand	uiterst siltig	

Figuur 4.2 Indeling op benaming naar de gehalten aan organische stof, lutum en silt+zand
Gebaseerd op NEN 5104



veld	Benaming mengsel			
	hoofdnaam	toevoeging uit naamgevende driehoek	toevoeging uit niet naamgevende driehoek	toevoeging aan andere hoofdnamen
Vm	veen	mineraalarm	toevoeging volgt uit benaming naar de gehalten aan lutum+silt, zand en grind	
Vk1	veen	zwak kleiig		
Vk2	veen	sterk kleiig		
Vk3	veen	zwak zandig		
Vk4	veen	sterk zandig		
h1	Benaming volgt uit indeling en benaming naar de gehalten aan lutum, silt en zand			zwak humeus
h2				matig humeus
h3				sterk humeus

de geschatte waarden. In de plastische kleiige lagen worden de doorlatendheden gemiddeld genomen tussen de 0,15 en 0,05 m/etm geschat. De doorlaatfactor van de diepere zand- en veenlagen is veelal wat groter (0,50 tot >1,0 m/etm).

4.5.4 Consistentie

Met behulp van zogenaamde consistentieaanduidingen is in het veld de consistentie van de diverse bodemlagen te bepalen. Hierbij wordt onder consistentie verstaan de mate van weerstand die het bodemmateriaal biedt tegen vervorming door manipulaties. Een overzicht van de gehanteerde beoordelingen toegekende scores is opgenomen in het bijlagenrapport.

Bij beschouwing van de meetresultaten valt op dat de beoordeling sterk afhankelijk is van de structuurgraad en het vochtgehalte van de grond. Sterk verdichte bodemlagen, ook de dieper in het profiel voorkomende, zijn als relatief stevig beoordeeld.

4.5.5 Indringingsweerstand

Bij de boringen in het buitentalud en de kruin van de kaden is tevens de indringingsweerstand (m.b.v. een hand-penetrometer) gemeten. Dit ter onderbouwing van de visuele waarnemingen en het vastleggen van een indicatie van de sterkte van de grond en de verticale variatie daarin.

De bij de boringen gemeten conusweerstand zijn over het algemeen vrij laag en nemen met de diepte verder af. In het buitentalud variëren de waarden in de bovenlaag gemiddeld genomen van 0,02 tot 0,12 MN/m² terwijl de waarden op de kruin variëren van 0,04 tot 0,40 MN/m². Op grotere diepte liggen de waarnemingen veelal tussen 0,02 en 0,08 MN/m².

4.5.6 Ongedraineerde schuifsterkte

Van de ondiepe grondlagen is met behulp van een handvin de ongedraineerde schuifsterkte gemeten. De ongedraineerde schuifsterkte is te beschouwen als een maat voor de beoordeling van bindingskrachten tussen de bodemdeeltjes, ook wel geclassificeerd als de hardheid van de grond. De hardheidsaanduiding is enerzijds een maat voor de consistentie van de kleilagen en geeft anderzijds informatie over de verwerkbaarheid van de klei.

In het bijlagenrapport is een classificatieschema opgenomen van de hardheidsindeling, in relatie tot de ongedraineerde schuifsterkte en de zintuiglijke beoordeling.

De bewortelbare bovengrond is gemiddeld genomen als zacht tot stevig beoordeeld. De dieper in het profiel voorkomende, verdichte kleilagen zijn overwegend als stevig of stug beoordeeld. De verschillen zijn te verklaren door verschillen in structuurgraad van de bodemlagen; met de diepte nemen de bindingskrachten toe.

4.5.7 Grondwaterhuishouding

In de open boorgaten zijn voor, voorzover waarneembaar, de actuele grondwaterstanden opgenomen.

De gemeten waterstanden geven een indicatie van de freatische lijn. Een indicatie voor de jaarlijkse fluctuatie van de grondwaterstanden is afgeleid aan de hand van hydromorfe profielkenmerken. De bovenkant van deze zone geeft een indicatie voor het niveau van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). De zogenaamde gleyzone wordt aan de onderkant begrensd door de permanent verzadigde zone.

Op basis van de veldwaarnemingen is gebleken dat de grondwaterstanden op korte afstand van de waterlijn worden bepaald door het boezempeil. Het gehele kadeprofiel overziend, blijkt dat mede afhankelijk van de doorlatendheid een meer of minder stijl aflopend verloop in grondwaterstanden wordt waargenomen. Vooral in de wat smallere kaden zijn ook in het binnentalud relatief hoge waterstanden waargenomen. Plaatselijk kunnen de grondwaterstanden tot dicht onder het maaiveldniveau stijgen.

Voor zover mogelijk is in de dwarsprofielen (zie bijlagenrapport Veld- en Laboratorium-onderzoeken) ook een schematische weergave opgenomen van de GHG, GLG (gemiddeld hoogste/laagste grondwaterstand) en de gemeten waterstanden.

4.5.8 Atterbergse waarden en afgeleide parameters

De structuurstabiliteit van de grond kan door middel van de vloeigrens worden aangegeven. Dit is een Atterbergse grens of consistentiewaarde en wel het vochtgehalte van de grond waarbij deze bij een geringe verstoring reeds gaat vervloeien. De vloeigrens is in feite een maat voor de interne bindingskracht en neemt dus toe met toenemend lutum- en organische stofgehalte en in mindere mate ook met de zuurgraad. Een hoge vloeigrens betekent een sterke binding.

In tabel 4.3 zijn de consistentiewaarden van de geanalyseerde monsters weergegeven. In tegenstelling tot hetgeen op voorhand werd verwacht, blijkt dat in een groot aantal kaden erosiebestendige grond is verwerkt.

4.5.9 Voedingstoestand

Omdat de voedingstoestand een factor kan zijn voor de ontwikkeling van een gesloten, diep wortelende vegetatie, zijn naast de bodemkundige factoren, ook de zuurgraad en de gehalten aan fosfaat, kalium en stikstof bepaald. Bekend is dat met een goed gesloten vegetatie en een goede doorworteling van de toplaag de kaden voldoende zijn beschermd tegen externe belastingen.

Lage voedingswaarden zijn gunstig voor de ontwikkeling van een meer natuurlijke vegetatie. Met name de diversiteit zal dan groter zijn. Tevens heeft een lage voedingswaarde een positief effect op de bewortelingsdiepte en -intensiteit van deze vegetatie. Indien een goed gesloten grasmat wenselijk is (bijvoorbeeld i.v.m. intensieve beweiding) kunnen de lage gehalten een minder optimale ontwikkeling tot gevolg hebben.

Uit de resultaten valt op te maken dat de totale voorraad stikstof in de monsters van Groeneveldse Watering, Braassemermeer, Grindweg en Dubbele Wiericke relatief hoog zijn. Mede vanwege de diversiteit in beheervormen (gebruik) is geen verklaring voor deze wat hogere waarden te geven. Gemiddeld genomen blijken de voedingwaarden echter relatief laag te zijn (vergeleken met op weidepercelen gangbare normen). Volgens de beschikbare informatie zijn de kaden niet aanvullend bemest.

4.6 Analyse onderzochte boezemkaden

4.6.1 Belastingssituatie

In eerste instantie is onderscheid gemaakt tussen twee typen belasting, golfwerking als gevolg van windbelasting en golven en stroming die veroorzaakt worden door schepen en bemaling. Omdat er weinig bekend was over de belasting door schepen (beroepsvaart, recreatievaart, aantal schepen per jaar) is deze scheepsbelasting op dit moment niet te kwantificeren. De mate van golfbelasting door wind is inzichtelijk gemaakt door een inventarisatie van de ligging ten opzichte van de windrichting van de kaden en strijklengte. Hieruit blijkt dat met name de drie meerkaden (Elahuizen, Vierhuis en Braassemermeer) onderhevig kunnen zijn aan golfwerking en opstuwing als gevolg van wind. Bij alle meerkaden is er sprake van golfoverslag bij stormcondities.

In relatie tot de belasting door windgolven is de belasting door scheepvaart op deze kaden gering. De invloed van scheepsgolven, voornamelijk veroorzaakt door recreatievaart, is waarneembaar aan de kaden langs de Groeneveldse Watering, Middelwatering, Franekervaat, Dubbele Wiericke, Hollandse IJssel, Hollandse Kade, Kleine Geer en Middelburgse Kade. In de Groeneveldse Watering en de Middelwatering is tevens een wat sterkere stroming mogelijk als gevolg van de nabijheid van eenemaal. In de boezemwateren van de Huinservaat, Aarlanderveen, Bermweg en Grindweg vindt geen scheepvaart plaats. De belasting op deze kaden is minimaal.

4.6.2 Verdediging

De kaden aan de Middelwating, Franekervaart, Huinservaart, Grindweg, Dubbele Wiericke, Hollandse Kade, Kleine Geer en Middelburgse Kade hebben ofwel geen aanvullende oeververdediging ofwel een verdediging die onvolledig of in zeer slechte staat verkeert. Langs de Bermweg is een volledige rietbegroeiing aanwezig. De kaden Groeneveldse Wating, Aarlanderveen en Hollandse IJssel beschikken allen over een volledige beschoeiing of damwandconstructie. De meerkaden Elahuizen, Braassemermeer en Vierhuis zijn alledrie beschermd door een volledige steenbestorting, waarbij Vierhuis tevens beschikt over een volledige rietoever.



Foto 5: Steenbestorting bij Elahuizen

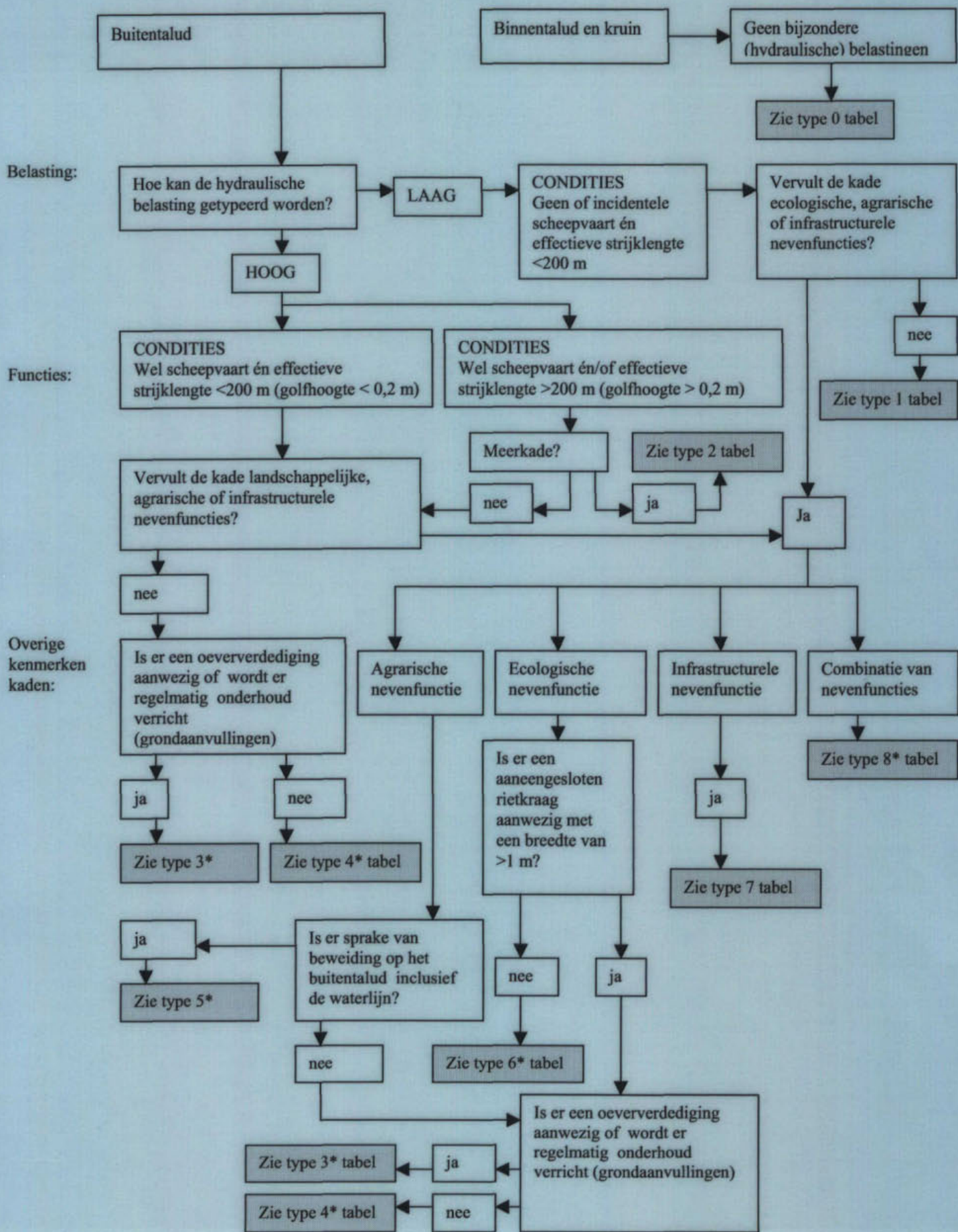
4.6.3 Erosiebestendigheid kademateriaal

Zowel in het veld als op basis van laboratoriumanalyses (Atterbergse grenzen) is de erosiebestendigheid van het gebruikte kademateriaal bestudeerd. De erosiebestendigheid in het veld is geschat met behulp van een visuele beoordeling, beschreven in het bijlagenrapport. In het veld is niet het materiaal van alle kaden bekeken, zodat geen compleet beeld gegeven wordt van de erosiebestendigheid op basis van veldwaarnemingen.

De laboratoriumgegevens met betrekking tot de plasticiteitskenmerken van de grond zijn uitgezet in het zogenaamde plasticiteitsdiagram. In dit diagram is de vloeigrens uitgezet tegen de plasticiteitsindex (het verschil tussen vloeigrens en uitrolgrens). In het diagram is een aantal lijnen weergegeven, op basis waarvan een punt wordt ingedeeld in de categorieën erosiebestendig, matig of weinig erosiebestendig. In figuur 4.3 is het plasticiteitsdiagram weergegeven waarin de gegevens van alle meetpunten zijn vermeld. In figuur 4.4 is hetzelfde diagram weergegeven waarin uitsluitend de meetgegevens van de meetpunten op de waterlijn zijn vermeld. In deze figuur is tevens zoveel mogelijk per meetpunt de beoordeling in het veld weergegeven. In figuur 4.5 zijn de verschillende watergehaltes (vloeigrens, uitrolgrens en het natuurlijk watergehalte) per meetpunt uitgezet. In deze figuur is tevens de indeling in erosiebestendig, matig en weinig erosiebestendig weergegeven.

Figuur 6.1

Stroomdiagram typering boezemkaden

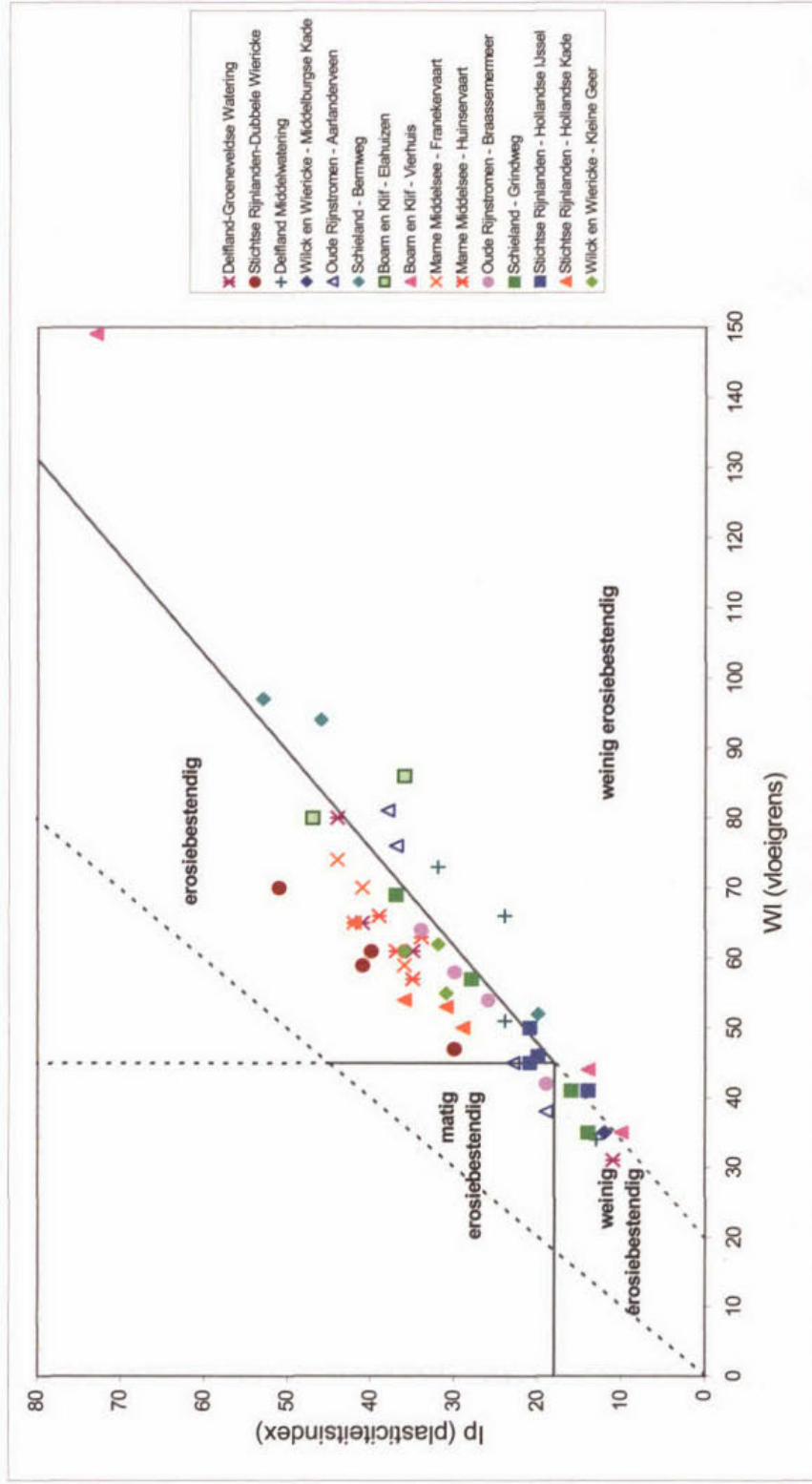


* De typen 3 tot en met 6 en 8 bevatten zowel kaden met hoge als lage hydraulische belasting. Dit onderscheid is vanuit oogpunt van vereenvoudiging niet in het schema aangebracht. In de bijbehorende tabel 6.1 is wel aandacht besteed aan dit verschil in belastingssituatie.

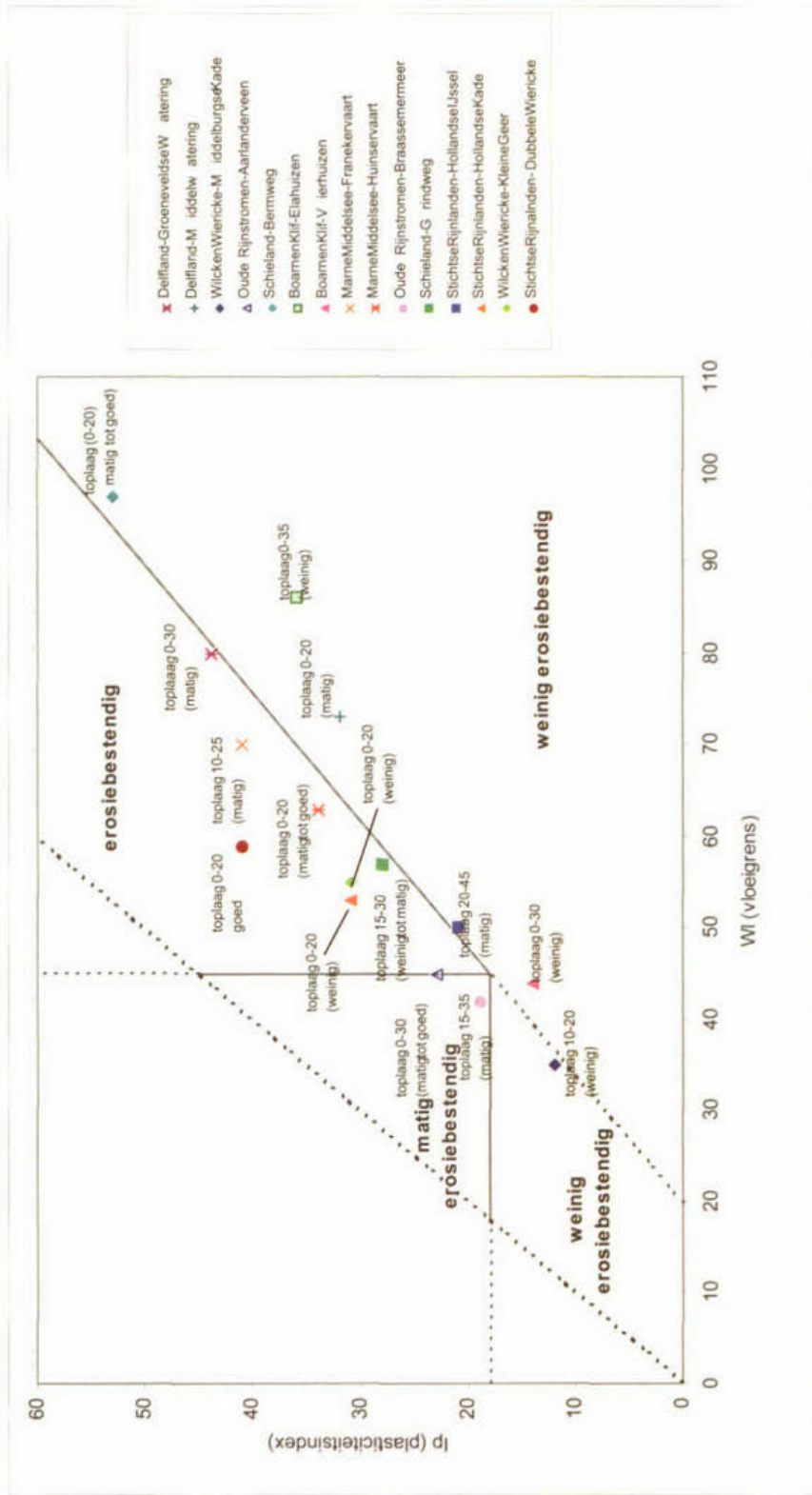
Tabel 6.1: Indicatieve typering kaden behorend bij stroomdiagram boezemkaden

Type-aanduiding	Typering kade	Beheer/onderhoud	Oeververdediging	Materiaal
Type 0	Geen eisen aan veiligheid m.b.t. erosiesnelheid (binnentalud en kruin)	Handhaving gesloten vegetatie (grasmat)	n.v.t.	Geen bijzondere materiaaleisen Van toepassing op kruin/binnentalud
Type 1	Geen nevenfuncties én Hydraulische belasting laag	Onderhoud afstemmen op erosiesnelheid	Geen aanvullende oeververdediging noodzakelijk bij normale onderhoudsfrequentie	Toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk bij normale onderhoudsfrequentie
Type 2	Vnl. meerkaden, hoge belastingindex: speciale aandacht voor oeververdediging en overslag	Uitsluitend maaibeheer geadviseerd. Geen beweiding toestaan op buintentalud. Grasmat binnentalud in tact houden i.v.m. overslag.	Altijd harde oeververdediging (stortsteen) van - 0.5 tot +0.5 stormwaterpeil eventueel aangevuld met rietkraag	Toepassen erosiebestendig materiaal en oeververdediging .
Type 3 hoog	Geen nevenfuncties of nevenfuncties zonder nadelige invloeden op de veiligheid	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Zonder oeververdediging erosiebestendig materiaal toepassen. Met oeververdediging toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk
Type 3 laag	Hydraulische belasting hoog	Uitsluitend maaibeheer geadviseerd	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk vanuit veiligheids-overwegingen
Type 4 hoog	Geen nevenfuncties of nevenfuncties zonder nadelige invloeden op de veiligheid	Geen regelmatig onderhoud/herstelwerk Geen beweiding toestaan op buintentalud Uitsluitend maaibeheer geadviseerd.	Geen aanvullende oeververdediging aanwezig	Beperkte oeververdediging of erosiebestendig materiaal toepassen
Type 4 laag	Hydraulische belasting laag	Geen regelmatig onderhoud/herstelwerk	Geen aanvullende oeververdediging aanwezig	Toepassen erosiebestendig materiaal wenselijk in verband met onderhoudsfrequentie
Type 5 hoog	Agrarische nevenfunctie, hoofdzakelijk beweiding	Indien mogelijk geen beweiding toestaan voorbij insteek talud (raster plaatsen) of regelmatig herstelwerk oeverlijn uitvoeren	Indien mogelijk geen beweiding toestaan of een aanvullende oever-/taludverdediging toepassen (grasbetontegels)	Toepassen erosiebestendig materiaal wenselijk in verband met belastingsituatie (mede i.v.m. draagkracht).
Type 5 laag	Hydraulische belasting hoog	Indien mogelijk geen beweiding toestaan voorbij insteek talud (raster plaatsen) of regelmatig herstelwerk oeverlijn uitvoeren	Indien mogelijk geen beweiding toestaan of een aanvullende oever-/taludverdediging toepassen (grasbetontegels)	Toepassen erosiebestendig materiaal aanbevolen (mede i.v.m. draagkracht). Met oeververdediging toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk
Type 6 hoog	Ecologische nevenfunctie	Aanpassen aan functie-gerelateerde wensen en veiligheid toetsen	Aanpassen aan functie-gerelateerde wensen en veiligheid toetsen	Zonder rietkraag erosiebestendig materiaal toepassen
Type 6 laag	Hydraulische belasting hoog			
Type 7	Ecologische nevenfunctie	Bij ophoogwerkzaamheden letten op insluiting van drainerende lagen. Aandacht voor weerstand buintentalud.	Geen aanvullende oeververdediging noodzakelijk bij normale onderhoudsfrequentie	Zonder rietkraag erosiebestendig materiaal wenselijk
	Hydraulische belasting laag			
Type 8 hoog	Infrastructurele nevenfunctie			
Type 8 hoog	Diverse nevenfuncties	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met hoge hydraulische belasting	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met hoge hydraulische belasting	Toepassen erosiebestendig en weinig doorlatend materiaal is wenselijk en soms vereist. Bij opsluiten sterk waterdoorlatende lagen drainage toepassen. Indien noodzakelijk constructieve elementen inbouwen bij te grote doorlatendheid. Nadere detaillering/uitwerking is noodzakelijk.
Type 8 laag	Hydraulische belasting hoog			Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met hoge hydraulische belasting
Type 8 laag	Diverse nevenfuncties	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met lage hydraulische belasting	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met lage hydraulische belasting	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met lage hydraulische belasting
Type 8 laag	Hydraulische belasting laag			

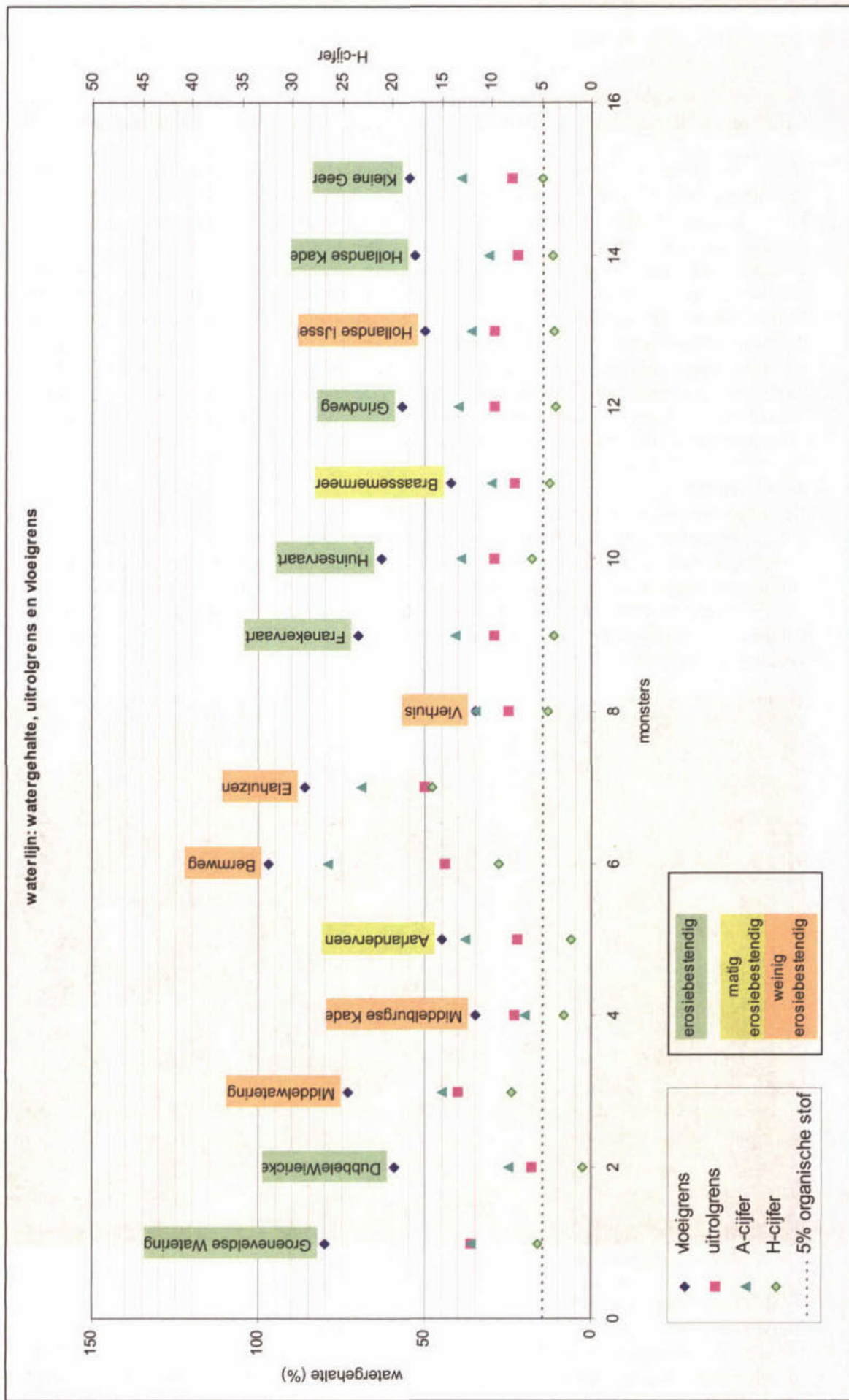
Figuur 4.3 Plasticiteitsdiagram van alle geanalyseerde grondmonsters



Figuur 4.4 Plasticiteitsdiagram van monsters uit de zone rond de waterlijn



Figuur 4.5: Watergehalte, uitrolgrens en vloei-grens in relatie tot het organisch stofgehalte en de erosiebestendigheid



De grond in de kaden Groeneveldse Watering, Dubbele Wiericke, Franekervaart, Huinzervaart, Grindweg, Hollandse Kade en Kleine Geer is in figuur 4.4 als erosiebestendig beoordeeld. In deze figuur is ook te zien dat voor deze kaden geldt dat de vloeigrens altijd hoger is dan 45%. Het natuurlijk watergehalte ligt dicht bij de uitrolgrens, het zandgehalte is lager dan 45% en het organische stofgehalte is lager dan 7%. De kaden Aarlanderveen, Braassemermeer, Middelburgse Kade en Vierhuis hebben een vloeigrens kleiner dan 45%. De grond in deze kaden wordt gekenmerkt door een hoog zandgehalte ($>40\%$; matig erosiebestendig en $>60\%$; weinig erosiebestendig). Het hoge zandgehalte veroorzaakt de lage vloeigrens van het materiaal. De kaden Middelwatering, Elahuizen en Bermweg liggen onder de A-lijn (weinig erosiebestendig). Deze kaden hebben wel een hoge vloeigrens, maar de plasticiteitsindex is onvoldoende. De grond in deze kaden heeft een relatief hoog organisch stofgehalte ($>8\%$). Het hoge organisch stofgehalte is verantwoordelijk voor een hoge uitrolgrens, de monsters verbrossen gemakkelijk bij een relatief hoog watergehalte. Ook de kade langs de Hollandse IJssel is in het plasticiteitsdiagram beoordeeld als weinig erosiebestendig. Opvallend is de lage plasticiteitsindex, als gevolg van een laag zandgehalte en een laag organische stofgehalte.

4.6.4 Beweiding

De kaden Bermweg, Grindweg en Hollandse Kade worden onderhouden door middel van maai-beheer. Omdat koeien verondersteld worden grotere vertrappingsschade te veroorzaken dan schapen, wordt er onderscheid gemaakt tussen beweiding door koeien en/of schapen/geiten. Vierhuis, Groeneveldse Watering, Middelwatering, Braassemermeer, Aarlanderveen, Dubbele Wiericke en Middelburgse Kade worden hoofdzakelijk beweid door schapen. De overige kaden (Elahuizen, Franekervaart, Huinzervaart, Hollandse IJssel en Kleine Geer worden begraasd door koeien en/of schapen/geiten.



Foto 6: Beschadigingen aan het buitentalud langs de Hollandse IJssel door vertrapping

4.6.5 Onderhoudstoestand

Ten aanzien van de onderhoudstoestand van de kaden is alleen een onderscheid gemaakt in de tijdsduur die verlopen is sinds de laatste onderhoudswerkzaamheden. Het betreft hier voornamelijk groot onderhoud. Hierin is de grens gelegd bij meer of minder dan 5 jaar geleden. De grens van vijf jaar is een arbitraire grens. Uitgangspunt hierbij is dat in de eerste vijf jaar na het on-

derhoud nauwelijks schade mag optreden. Een periode van vijf jaar komt bovendien overeen met een normaal monitoringsprogramma.

Aan de kaden Vierhuis, Groeneveldse Watering (oost), Bermweg en Dubbele Wiericke (west) heeft de afgelopen 5 jaar nog onderhoud plaatsgevonden. Voor de overige kaden is het meer dan 5 jaar geleden dat er onderhoudswerkzaamheden aan de kaden zijn verricht. Uit informatie van de waterschappen/beheerders blijkt dat groot onderhoud van de kaden om de 7 tot 25 jaar plaatsvindt. Een belangrijke factor in het bepalen van de noodzaak voor onderhoud blijkt te liggen in het zettingspatroon van de kaden. Wanneer het kruinpeil van de kade niet meer voldoet aan de norm volgens de keur, wordt besloten tot ophogen, waarmee tevens de overige onderhoudswerkzaamheden aan de kade worden meegenomen.

4.6.6 Schadebeeld

In het veld is tevens het schadebeeld geïnventariseerd. Hierbij is niet alleen naar het meetpunt zelf gekeken, maar is een strook van circa 100 m (circa 50 m aan beide zijden van het dwarsprofiel) in de beoordeling meegenomen. Het schadebeeld is geïnventariseerd. Bij de kaden van Braassemermeer en Dubbele Wiericke is geen of weinig schade geconstateerd. De kaden van Vierhuis, Groeneveldse Watering (oost), Huinservaart, Aarlanderveen, Bermweg en Kleine Geer vertonen geringe schade in de vorm van een drassig talud, vertrapping of geringe afkalving. Middelwatering en Middelburgse Kade vertonen matige schade als gevolg van bijvoorbeeld verweking ter plaatse van gaten in de oeververdediging. De kaden Elahuizen, Franekervaart, Grindweg en Hollandse Kade laten behoorlijke erosieverschijnselen zien. Het betreft voornamelijk afkalving op de waterlijn. De kaden Groeneveldse Watering (west) en Hollandse IJssel geven het grootste schadebeeld. Hier wordt met name veel schade achter de beschoeiing waargenomen.



Foto 7: Een beschadigde oever langs de Groeneveldse Watering

5 Interpretatie relatie belasting en grond

5.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk zijn de onderzochte boezemkaden geanalyseerd en beoordeeld op de volgende factoren:

- de intensiteit van hydraulische belastingen;
- de oeververdediging;
- de erosiebestendigheid van de grond in de kade;
- het beheer van de kade (maaibeheer en/of beweiding);
- de tijdspanne tot het laatste groot onderhoud.

Het schadebeeld aan beoordeelde kaden wordt in meer of mindere mate bepaald door bovengenoemde factoren. Door uitvoering van gericht beheer en onderhoud dienen de kaden blijvend te voldoen aan de functionele (veiligheids)eisen. Bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten is met name gekeken naar de mate van oevererosie in relatie tot de kwetsbaarheid van de kade. Met betrekking tot het uit te voeren onderhoud en de te gebruiken grond in kaden, dient derhalve de volgende vraag beantwoord te worden:

“Waar en onder welke omstandigheden heeft het zin om erosiebestendig materiaal te gebruiken?”

In dit hoofdstuk worden relaties gelegd tussen de verschillende factoren en de invloed daarvan op de erosiebestendigheid van de kade. Hiertoe is voor iedere factor afzonderlijk een indexering opgesteld. De indexering maakt het mogelijk om de invloed van iedere factor op een overzichtelijke wijze weer te geven, waardoor het eenvoudiger wordt om verbanden te leggen. Centraal hierbij staat een diagram waarin de onderzochte boezemkaden zijn gegroepeerd naar de mate van hydraulische belasting en de mate van verdediging. Op basis van het diagram worden verbanden gelegd tussen bovengenoemde factoren en vertaald in de belangrijkste conclusie van het onderzoek

5.2 Interpretatie en indexering

Op basis van de verzamelde gegevens is getracht de relatie tussen de erosietoestand van de verschillende kaden in verband te brengen met de belastingsituatie en de bodemkundige eigenschappen. Hierin is verder aandacht besteed aan al dan niet aanwezige aanvullende oeververdediging, grondgebruik en de onderhoudstoestand. Gepoogd is de kaden onder te verdelen in klassen met vergelijkbare eigenschappen. In de praktijk blijkt dit lastig door het grote aantal variabelen waarop de onderverdeling is gebaseerd. Basis voor de indeling in klassen is de indexering van afzonderlijke factoren.

Het doel van de indexering is inzicht te verschaffen in het functioneren van boezemkaden in relatie tot onderhoud en materiaal en om eventuele dwarsverbanden, overeenkomsten en verschillen tussen de kaden aan te tonen. Hiertoe zijn de in hoofdstuk vier beschreven resultaten geïndexeerd op basis van de beoordeling van belastingsituatie, verdediging, nevengebruik, onderhoudstoestand, erosiebestendigheid van de grond en schadebeeld.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de indexering veelal gebaseerd is op subjectieve beschrijvingen. Ter controle is de beoordeling daarom voorgelegd aan de betreffende waterschappen en beheerders.

De volgende indexering is gehanteerd:

Belastingindex (BI)	De belastingindex is hoofdzakelijk gebaseerd op verschillen in de hydrodynamische belastingssituatie van boezemkaden
0	Minimale belasting
1	Uitsluitend scheepvaart
2	Scheepvaart en stroming door nabijheid gemaal
3	Golfwerking en opstuwing als gevolg van wind
Verdedigingsindex (VI)	In de verdedigingsindex worden de verschillende typen aanvullende oeververdediging onderscheiden
0	Geen of onvolledige oeververdediging
1	Rietbegroeiing met breedte > 1,00 m
2	Beschoeiing of damwand
3	Steenbestorting
4	Steenbestorting in combinatie met een rietoever
Erosiebestendigheid (EI)	Hier zijn de erosiebestendigheidscategorieën uit de leidraad toegepast
1	Erosiebestendig
2	Matig erosiebestendig
3	Weinig erosiebestendig
Gebruikersindex (GI)	De gebruikersindex heeft hoofdzakelijk betrekking op de agrarische belasting (type beheer)
0	Uitsluitend maaibeheer
1	Begrazing door uitsluitend schapen/geiten
2	Begrazing door koeien (en evt. schapen/geiten)
Onderhoudsindex (OI)	Hierin is onderscheid gemaakt naar tijdsduur die verlopen is sinds de laatste onderhoudswerkzaamheden
0	Tijdsduur sinds laatste onderhoud < 5 jaar
1	Tijdsduur sinds laatste onderhoud > 5 jaar
Schade-index (SI)	De schade-index geeft een beeld van de mate waarin schade aan de kade is waargenomen
0	Geen tot weinig schade
1	Geringe schade (drassig, vertrapping of geringe afkalving)
2	Matige schade (verweking, gaten in oeververdediging)
3	Behoorlijke schade (afkalving waterlijn)
4	Aanzienlijke schade (veel schade achter beschoeiing)

De resultaten van de indexering is per kade weergegeven in tabel 5.1.

5.3 Synthese ten aanzien van ontgroning door erosie

Alle factoren die van belang worden geacht voor het al dan niet optreden van erosieverschijnselen aan kademateriaal zijn beschreven en geïndexeerd. Samenvattend kan geconcludeerd worden dat boezemkaden bloot staan aan verschillende typen belasting.

Tabel 5.1 Indexering beoordeelde boezemkaden

Kade	EI (*)	Vorm kade	Belasting	BI	Aanvullende verdeling	AI	grondgebruik	G Onderhoud	OI	schadebeeld	SI
1 Boarn en Klif Elahuizen	3	Breed, diep achterland Meerkade	Golfslag (vnl. door wind), golfoverslag	3	Steenbestorting, volledig	3	Koeien en schapen	2 1967 ophogen v.a. '80 bijstorten steen/grond	0	Erosie achter steen- bestorting . Zettingen.	3
2 Boarn en Klif Vierhuis	3	Smal, diep achterland Meerkade	Golfslag (vnl. door wind), golfoverslag	3	Steenbestorting en rietoevoer, volledig	4	Schapen	1 '96/'97 ophogen aanvullen steenbestorting	0	Teen talud drassig, weinig schade	1
3 Delfland Groeneveldse Watering West Oost	1	Smal, diep achterland, met binnenberm. Klei/veengebied	Scheepsgolven (vnl recreatief), stroming gemaal	2	Beschoeiing, volledig	2	Schapen	1 '93 deels opgehoogd beschoeiing geplaatst	1	Veel schade achter beschoeiing (dispersie). Beschoeiing is verzakt.	4
	1	Smal, diep achterland Klei/veengebied	Scheepsgolven (vnl recreatief), stroming gemaal	2	Beschoeiing, volledig	2	Schapen en hooiland	1 2001 opgehoogd en aangevuld	0	Weinig schade.	1
4 Delfland Middelwatering	3	Smal, diep achterland Kleigebied	Bepaalde kleine recreatievaart, stroming gemaal	2	Beschoeiing, niet volledig (verouderd).	0	Schapen	1	1	Verweking, beperkte erosie t.p.v. gaten in beschoeiing	2
5 Marne Middelsee Franekevaart	1	Breed, hoog achterland Kleigebied	Bepaalde scheepvaart geringe golfslag	1	Rietbegroeiing, niet volledig	0	Koeien en schapen	2	1	Wat afkalving op waterlijn	3
6 Marne Middelsee Huinservaart	1	Smal, hoog achterland Kleigebied	Geen scheepvaart. Stroming gemaal.	0	Rietbegroeiing, niet volledig	0	Koeien	2 Maalboot Baggerplannen 2002	1	Weinig afkalving, wel vertrapping	1
7 Oude Rijnstromen Aarlanderveen	2	Smal, diep achterland Klei/veengebied	Geen scheepvaart, geringe stroming	0	Beschoeiing, volledig	2	Koeien	2 '95 nieuwe beschoeiing '97/'98 herstel na doorbraak	0	Door beschoeiing nauwelijks aantasting	1
8 Oude Rijnstromen Braasmermeer	2	Breed, diep achterland Klei/veengebied Meerkade	Golfslag door wind en recreatievaart, golfoverslag bij storm	3	Steenbestorting + asfalt, volledig	3	Schapen en maalbeheer	1 '82 kadeverbetering	1	Weinig schade.	0
9 Schieland Bermweg	3	Smal, diep achterland Brede onderberm Veengebied	Ext. Recreatief gebruik. Geen golfslag	0	Rietbegroeiing, volledig	1	Maalbeheer	0 '90 herstelwerk 2001 verbeteringswerk	0	Nauwelijks schade door rietkraag. Zetting	1
1 Schieland Grindweg	1	Smal, diep achterland Veengebied	Geen scheepvaart. Geen golfslag	0	Bodem verzwaard stenen, niet volledig	0	Maalbeheer	0	1	Erosie op waterlijn. Zetting +	3
1 St. Rijnlanden Wiericke	1	Smal, diep achterland Veengebied	Golfslag door scheepvaart (vnl. recreatief)	1	Bodemverzwareing met puin en stenen, niet volledig	0	Schapen	1 Voor '90 opgehoogd	1	Geringe afkalving (erosiebestendig materiaal).	0
	1	Smal, diep achterland Veengebied	Golfslag door scheepvaart (vnl. recreatief)	1	Bodemverzwareing met puin en stenen, niet volledig	0	Schapen	1 '97 gedeeltelijk opgehoogd	0	Weinig schade (erosiebestendig materiaal)	0
1 St. Rijnlanden Hollandse IJssel	3	Smal, diep achterland Veengebied Asfaltweg op kruin	Scheepvaart. Golfslag m.n. door recreatievaart	1	Damwand / beschoeiing en steenbestorting, volledig. Beschoeiing in slechte staat	2	Koeien	2 Laatste 8 jaar geen verbeteringen	1	Veel erosie achter beschoeiing.	4
1 St. Rijnlanden Hollandse Kade	1	Breed, met weg, diep achterland	Ext. Scheepvaart (kleine recreatie). Geringe golfslag	1	Beschoeiing, riet, niet volledig	0	Maalbeheer	0	1	Veel erosie op waterlijn	3
1 Wilck en Wiericke Kleine Geer	1	Smal, diep achterland Klei/veengebied	Ext. Scheepvaart (recreatief), beperkte golfslag	1	Rietbegroeiing, niet volledig	0	Koeien en geiten	2 '97/'98 ophoging	0	Iets afkalving op waterlijn	1
1 Wilck en Wiericke Middelburgse Kade	3	Breed, diep achterland Veengebied	Zeer beperkt scheepsbelasting. Beperkte golfslag	1	Geen	0	Schapen	1 '98 ophoging klei, slecht doorlatend, vervangen?	0	Schade door vertrapping	2

Bij de diverse kaden zijn uiteenlopende vormen van oeververdedigingen toegepast. De mate van belasting in relatie tot de mate van verdediging wordt gezien als belangrijke indicatie voor het al dan niet optreden van schade. Verwacht mag worden dat bij een grote mate van belasting en een geringe verdediging het schadebeeld groot is. Anderzijds mag worden aangenomen dat bij een geringe belasting en een relatief zware verdediging de schade gering zal zijn.

De praktijkonderzoeken blijken bovenstaande situatie te bevestigen, zoals ook uit het onderstaande diagram kan worden opgemaakt. In het diagram zijn de mate van hydraulische belasting en de mate van verdediging gekwantificeerd in twee klassen: respectievelijk hoog - laag voor de belastingssituatie, en zwaar - geen voor het type oeververdediging. De onderzochte kaden zijn volgens deze beoordeling in het diagram weergegeven.

kade	erosiebestendigheid			Schade	Zware verdediging	kade	erosiebestendigheid			schadebeeld
	onderhoud						onderhoud			
△ Aarlanderveen	2	1995		1		□ Elahuizen	3	1993		3
◆ Bermweg	3	2001		1		▲ Vierhuis	3	1996/1997		1
						● Braassemermeer	2	1982		0
Lage belasting						Hoge belasting				
× Franekervaart	1	voor 1980		2	Geen verdediging	× Groeneveldse Watering	1	1993		4
× Huinservaart	1	voor 1980		2		+ Middelwatering	3	1993		2
◆ Dubbele Wiericke	1	1998		0		■ Hollandse IJssel	3	voor 1980		4
▲ Hollandse Kade	1			3						
◆ Kleine Geer	1	1990		1						
◆ Middelburgse Kade	3	1995		2						
■ Grindweg	1	1975		3						

In het kwadrant hoge belasting, geen verdediging (rechtsonder) vallen de kaden Groeneveldse Watering, Middelwatering en Hollandse IJssel. Bij deze kaden is veel schade waargenomen ter plaatse van de waterlijn. Wat ook opvalt is dat de gebruikte grond in twee van de drie gevallen als weinig erosiebestendig wordt beoordeeld (weergegeven als erosie in het diagram).

Vermoedelijk is de schade een gevolg van een combinatie van een vervallen of niet afdoende oeververdediging en een geringe erosiebestendigheid van de grond. De tijdsduur tussen het veldonderzoek en het laatst uitgevoerde groot onderhoud speelt echter ook een belangrijke rol. Naarmate de tijdsduur toeneemt zal de mate van schade uiteraard ook toenemen.

Aarlanderveen en Bermweg vallen in het kwadrant waarin een geringe belasting en een sterke verdediging vertegenwoordigd zijn (linksboven). De kaden vertonen weinig schade, ondanks de geringe erosiebestendigheid van het toegepaste kademateriaal.

In het kwadrant linksonder behoren de kaden die bloot staan aan een geringe erosieve belasting, maar die tevens over een matige verdediging beschikken. Alhoewel de toegepaste grond doorgaans erosiebestendig is, is het schadebeeld zeer wisselend. De mate van schade wordt grotendeels bepaald door ofwel de beweiding door koeien ofwel de (lange) tijdsduur tot het laatst uitgevoerde groot onderhoud.

De kaden die onderhevig zijn aan een hoge belasting, maar die hier ook door middel van een stevige verdediging op zijn toegerust (rechtsboven), vertonen eveneens een wisselend schadebeeld. Overeenkomst tussen de kaden is dat het uitsluitend de meerkaden uit het onderzoek betreft. Opvallend is ook dat geen erosiebestendig materiaal is gebruikt in de kaden. De hoge mate van verdediging wordt voornamelijk gegarandeerd door de steenbestorting, al dan niet in combinatie met een rietkraag. Het schadebeeld aan de kaden Vierhuis en Braassemermeer is dan ook gering. De matige onderhoudstoestand (geen compensatie van opgetreden zettingen) is de oorzaak van de schade aan de kade Elahuizen.

5.4 Resumé

Resumerend kan opgemerkt worden dat de (mate van) belasting en de mate van verdediging van groot belang zijn voor het schadebeeld dat bij de kaden is vastgesteld. Een complicerende factor hierin is de onderhoudstoestand van de kaden in relatie tot de onderhoudsfrequentie. De kaden hebben, afhankelijk van het zettingsgedrag van de ondergrond, een onderhoudsfrequentie van zeven tot vijftientig jaar. Deze tijdsgebonden factor is lastig uit te filteren, zodat moeilijk een gelijkwaardige vergelijking gemaakt kan worden. Bovendien is het vaak niet de slechte toestand van de kade (bijvoorbeeld sterke afkalving of slechte grasmat), als wel de afwijkingen ten opzichte van de vereiste keurhoogte, die een doorslaggevende rol speelt in het plegen van onderhoudswerkzaamheden aan de kade. De onderhoudsfrequentie staat echter min of meer vast en is niet in eerste instantie afhankelijk van het schadebeeld aan het buitentalud van de kade.

Op basis van het diagram valt te concluderen dat:

1. wanneer een adequate verdediging wordt toegepast en matig of weinig erosiebestendige grond toegepast kan worden, de schade bij regelmatig onderhoud acceptabel is. Kortom, het gebruikelijke onderhoudsschema is afdoende om de kaden in goede conditie te houden.
2. bij een geringe verdediging in combinatie met gebruik van een erosiebestendig kademateriaal, blijkt het schadebeeld eveneens bij het heersende onderhoudsschema acceptabel te zijn, mits de belasting niet te groot is.

Hieruit kan worden afgeleid dat de erosiebestendigheid van de grond en aanvullende verdedigingsmaatregelen uitwisselbaar zijn. Een ruime interpretatie van toepasbare materiaaleigenschappen lijkt te kunnen worden gerechtvaardigd, indien het verlies aan sterkte wordt gecompenseerd door een aanvullende oeververdediging. De eisen t.a.v. erosiebestendigheid (grondeigenschappen) en de keuze voor de meest doelmatige verdediging hangt samen met de belastingssituatie, beschikbare ruimte, landschappelijke overwegingen en de gewenste onderhoudsfrequentie.

6 Richtlijnen voor boezemkaden

6.1 Inleiding

Uit het inventariserend veldonderzoek is naar voren gekomen dat op basis van een aantal kenmerken verschillende typen boezemkaden kunnen worden onderscheiden. De kenmerken op basis waarvan boezemkaden onderscheiden kunnen worden, blijken volgens hoofdstuk 5 een centrale rol te spelen bij het beantwoorden van de vraag waar en onder welke omstandigheden het zin heeft erosiebestendig materiaal te gebruiken. Hieruit vloeit voort dat, naast een aantal algemene onderhouds- en uitvoeringstechnische richtlijnen, er een aantal (boezemkade)type-specifieke richtlijnen kunnen worden opgesteld met betrekking tot onderhoud, aanvullende oeververdediging en toe te passen materialen in de onderscheiden zones.

In dit hoofdstuk worden richtlijnen voor boezemkaden gepresenteerd, zoals deze volgen uit de typering op basis van functionele eigenschappen van de verschillende kaden. Een en ander is uitgewerkt in de vorm van een stroomdiagram. In de bijbehorende tabellen zijn vervolgens de karakteristieke kenmerken en specifieke richtlijnen per type en algemene richtlijnen uiteengezet.

6.2 Richtlijnen materiaaleigenschappen boezemkaden

Teneinde indicatieve richtlijnen op te kunnen stellen voor de verschillende typen boezemkaden, dienen deze typen onderscheiden te worden. Hiertoe is een stroomdiagram opgesteld, waarin door middel van een aantal criteria een achttal boezemkade-typen wordt onderkend. De criteria die hierbij zijn gehanteerd hangen direct samen met de in hoofdstuk 5 geïntroduceerde tweedeling in belasting en verdediging. Ten aanzien van de belastingssituatie wordt onderscheid gemaakt in hoge en lage hydraulische belasting. Verder is aandacht besteed aan het vervullen van verschillende nevenfuncties. Voor zover van toepassing is voor bepaalde typen tevens onderscheid gemaakt naar onderhoud en/of de aanwezigheid van een aanvullende oeververdediging.

Een voorstel voor typering van de boezemkaden is uitgewerkt in tabel 6.1.

In het diagram worden op bepaalde punten stromen samengevoegd, die op een hoger niveau van elkaar gescheiden waren. Dit is gedaan om dubbelingen in de vraagstelling zoveel mogelijk te voorkomen en niet te eindigen met een veelheid aan typen die slechts op onbeduidende punten van elkaar afwijken. De resulterende typen kunnen hierdoor worden aangeduid als de acht hoofdtypen. Omwille van de volledigheid is bij de typen 3 tot en met 6 en 8 echter onderscheid gemaakt in een hoge en een lage hydraulische belasting, die op functie-niveau samengevoegd waren. Het "Stroomdiagram typering boezemkaden" is weergegeven in figuur 6.1.

6.3 Toelichting richtlijnen voor boezemkaden

In het stroomdiagram en de bijbehorende tabel worden de indicatieve richtlijnen gepresenteerd met betrekking tot beheer/onderhoud, oeververdediging en materiaal. In deze toelichting worden deze begrippen nader omschreven.

Met het begrip beheer/onderhoud wordt uitsluitend het groot onderhoud bedoeld. Dit betreft hoofdzakelijk grondaanvullingen, ophogingen en herstelwerkzaamheden. De onderhoudsfrequentie blijkt onder andere sterk afhankelijk te zijn van de zettingsgevoeligheid van de ondergrond, en kan uiteenlopen van 5 - 10 jaar in veengebieden tot 10 - 25 jaar in kleigebieden.

Een eventuele aanvullende oeververdediging kan bestaan uit verschillende typen harde of zachte keringen. Bij meerkaden wordt overwegend stortsteen voorgeschreven. Dit in verband met de hoge hydraulische belasting waaraan deze kaden blootstaan. De overige boezemkaden kunnen volstaan met een houten beschoeiing bestaande uit palen en planken, al dan niet in combinatie met een grondkerend doek. De meest natuurvriendelijke variant is een dichte rietkraag met een breedte van tenminste 1,00 m. Deze variant neemt echter meer ruimte in beslag dan een harde verdediging. Een rietkraag kan ook in combinatie met andere oeververdedigingen worden toegepast. Het type en de onderhoudstoestand van een grondkering kunnen van invloed zijn op het materiaal dat in de kade/oeverlijn verwerkt wordt. Zoals in hoofdstuk 5 is geconcludeerd, is deze relatie wederkerig; het type materiaal dat is toegepast kan bepalend zijn voor de het al dan niet toepassen van een (bepaald type) aanvullende oeververdediging.

Voorop staat dat alleen natuurlijk voorkomend materiaal, maar geen zand en veen, te gebruiken is voor aanleg en verbetering van boezemkaden.

In tabel 6.1 is sprake van erosiebestendige en weinig erosiebestendige grond. Met erosiebestendig materiaal wordt klei bedoeld die voldoet aan de voorwaarden zoals weergegeven in tabel 1 van bijlage 1. Met weinig erosiebestendige grond wordt klei bedoeld die niet binnen deze grenzen valt. In feite betreft dit klei waaraan geen eisen worden gesteld met betrekking tot de weerstand tegen erosie. Wel dienen aan het toelaatbare organische stofgehalte grenzen te worden gesteld. Dit in verband met de krimp die zal optreden en andere niet wenselijke eigenschappen van materiaal met een zeer hoog gehalte aan organische stof. *Op basis van de resultaten van het inventariserend veldonderzoek is geconcludeerd dat een percentage organische stof tot 8 % toelaatbaar is.*

Met betrekking tot het toepassen van baggerspecie dient rekening te worden gehouden met de rijpingsgraad van het materiaal. Gerijpte specie die aan genoemde criteria voldoet, is zonder nadere voorwaarden, ervan uitgaande dat de specie niet verontreinigd is, toepasbaar.

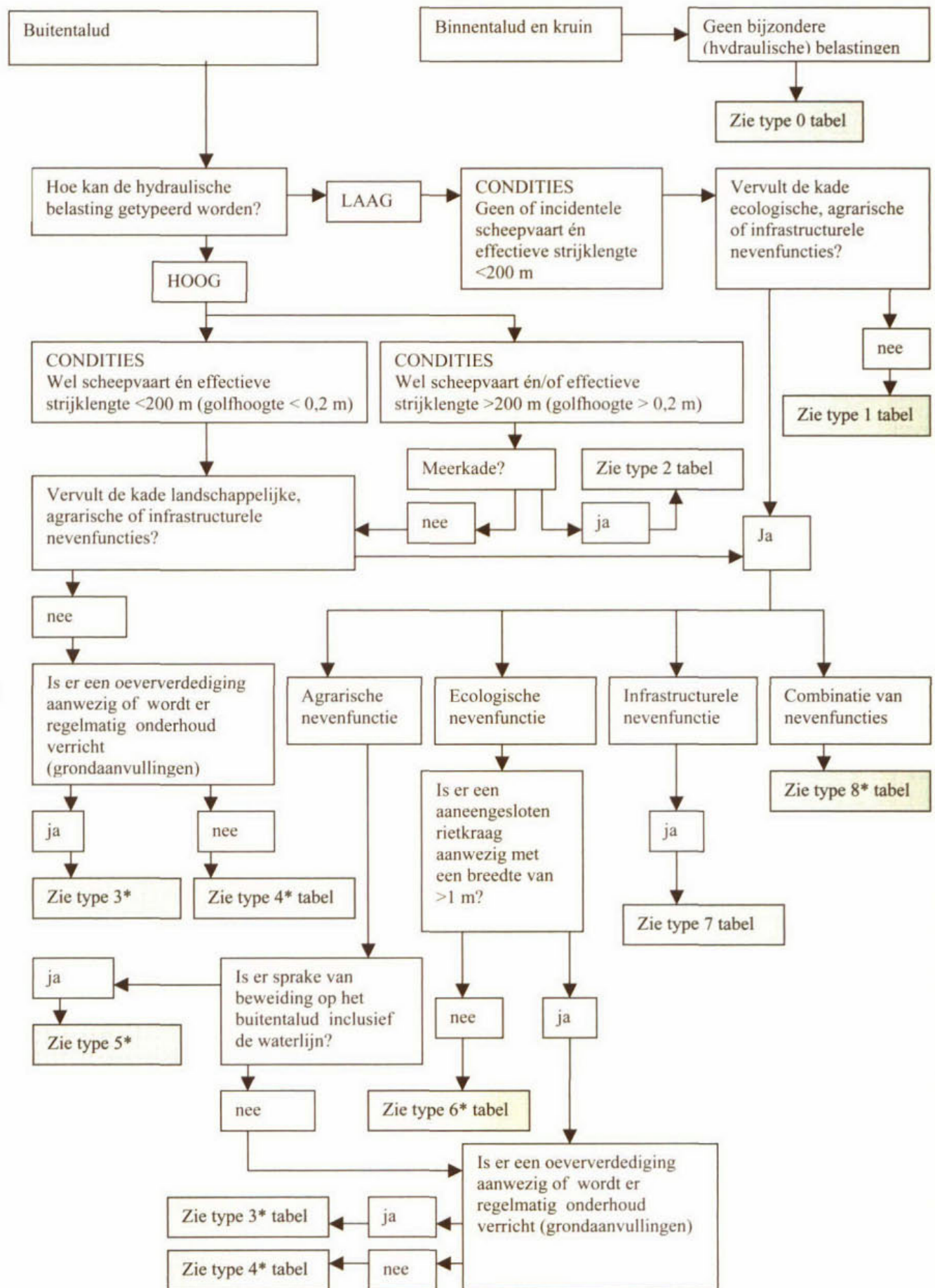
Het diagram en de bijbehorende typering van de kaden kunnen worden gezien als een aanzet voor ontwerp of beoordeling van boezemkaden. Om tot meer definitieve richtlijnen te komen voor de toepassing van kwalitatief verschillende grondsoorten in boezemkaden, is het wenselijk de criteria in de praktijk toetsen.

Tabel 6.1: Indicatieve typering kaden behorend bij stroomdiagram boezemkaden

Type-aanduiding	Typering kade	Beheer/onderhoud	Oeververdediging	Materiaal
Type 0	Geen eisen aan veiligheid m.b.t. erosiesnelheid (binnentalud en kruin)	Handhaving gesloten vegetatie (grasmat)	n.v.t.	Geen bijzondere materiaaleisen Van toepassing op kruin/binnentalud
Type 1	Geen nevenfuncties én Hydraulische belasting laag	Onderhoud afstemmen op erosiesnelheid	Geen aanvullende oeververdediging noodzakelijk bij normale onderhoudsfrequentie	Toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk bij normale onderhoudsfrequentie
Type 2	Vnl. meerkaden, hoge belastingindex: speciale aandacht voor oeververdediging en overslag	Uitsluitend maaibeheer geadviseerd. Geen beweiding toestaan op buitentalud. Grasmat binnentalud in tact houden i.v.m. overslag.	Altijd harde oeververdediging (stortsteen) van - 0.5 tot +0.5 stormwaterpeil eventueel aangevuld met rietkraag	Toepassen erosiebestendig materiaal en oeververdediging .
Type 3 hoog	Geen nevenfuncties of nevenfuncties zonder nadelige invloeden op de veiligheid	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Zonder oeververdediging erosiebestendig materiaal toepassen. Met oeververdediging toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk
Type 3 laag	Geen nevenfuncties of nevenfuncties zonder nadelige invloeden op de veiligheid	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Regelmatig onderhoud gepleegd of aanvullende oeververdediging aanwezig	Toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk vanuit veiligheids-overwegingen
Type 4 hoog	Hydraulische belasting laag Geen nevenfuncties of nevenfuncties zonder nadelige invloeden op de veiligheid.	Geen regelmatig onderhoud/herstelwerk Geen beweiding toestaan op buitentalud Uitsluitend maaibeheer geadviseerd.	Geen aanvullende oeververdediging aanwezig	Beperkte oeververdediging of erosiebestendig materiaal toepassen
Type 4 laag	Geen nevenfuncties of nevenfuncties zonder nadelige invloeden op de veiligheid	Geen regelmatig onderhoud/herstelwerk	Geen aanvullende oeververdediging aanwezig	Toepassen erosiebestendig materiaal wenselijk in verband met onderhoudsfrequentie
Type 5 hoog	Hydraulische belasting laag Agrarische nevenfunctie, hoofdzakelijk beweiding	Indien mogelijk geen beweiding toestaan voorbij insteek talud (raster plaats) of regelmatig herstelwerk oeverlijn uitvoeren	Indien mogelijk geen beweiding toestaan of een aanvullende oever-/taludverdediging toepassen (grasbetontegels)	Toepassen erosiebestendig materiaal wenselijk in verband met belastingssituatie (mede i.v.m. draagkracht).
Type 5 laag	Hydraulische belasting hoog Agrarische nevenfunctie, hoofdzakelijk beweiding	Indien mogelijk geen beweiding toestaan voorbij insteek talud (raster plaatsen) of regelmatig herstelwerk oeverlijn uitvoeren	Indien mogelijk geen beweiding toestaan of een aanvullende oever-/taludverdediging toepassen (grasbetontegels)	Toepassen erosiebestendig materiaal aanbevolen (mede i.v.m. draagkracht).
Type 6 hoog	Ecologische nevenfunctie Hydraulische belasting hoog	Aanpassen aan functie-gerelateerde wensen en veiligheid toetsen	Aanpassen aan functie-gerelateerde wensen en veiligheid toetsen	Met oeververdediging toepassen erosiebestendig materiaal niet noodzakelijk
Type 6 laag	Ecologische nevenfunctie Hydraulische belasting laag			Zonder rietkraag erosiebestendig materiaal toepassen
Type 7	Infrastructurele nevenfunctie	Bij ophoogwerkzaamheden letten op insluiting van drainerende lagen. Aandacht voor weerstand buitentalud.	Geen aanvullende oeververdediging noodzakelijk bij normale onderhoudsfrequentie	Zonder rietkraag erosiebestendig materiaal wenselijk
Type 8 hoog	Diverse nevenfuncties Hydraulische belasting hoog	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met hoge hydraulische belasting	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met hoge hydraulische belasting	Toepassen erosiebestendig en weinig doorlatend materiaal is wenselijk en soms vereist. Bij opsluiten sterk waterdoorlatende lagen drainage toepassen. Indien noodzakelijk constructieve elementen inbouwen bij te grote doorlatendheid. Nadere detaillering/uitwerking is noodzakelijk.
Type 8 laag	Diverse nevenfuncties Hydraulische belasting laag	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met lage hydraulische belasting	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met lage hydraulische belasting	Zie specifieke kenmerken type 5, 6 en 7 met lage hydraulische belasting

Figuur 6.1

Stroomdiagram typering boezemkaden



* De typen 3 tot en met 6 en 8 bevatten zowel kaden met hoge als lage hydraulische belasting. Dit onderscheid is vanuit oogpunt van vereenvoudiging niet in het schema aangebracht. In de bijbehorende tabel 6.1 is wel aandacht besteed aan dit verschil in belastingssituatie.

7 Beoordelingsmethoden

7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is de aandacht voornamelijk gericht geweest op de primaire doelstelling van het onderzoek. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de resultaten die betrekking hebben op de secundaire doelstelling, namelijk: het beoordelen en eventueel ontwikkelen van een eenvoudige en in het veld toepasbare beoordelingssystematiek ter bepaling van de fysische kwaliteit van grond.

In paragraaf 7.2 wordt concreet ingegaan op mogelijke verbanden tussen de toegepaste beoordelingsmethoden in het veld en de resultaten van analysebepalingen in het laboratorium. Als uitgangspunt bij te verrichten keuringen geldt dat de beoordeling representatief moet zijn voor het gehele gronddepot of een gedeelte daarvan. Enkele relevante veldmethoden om te komen tot een eerste oordeel over de geschiktheid van de grond zijn beschreven in paragraaf 7.3. Voor de beoordeling van de erosiebestendigheid van grond blijft laboratoriumonderzoek noodzakelijk (paragraaf 7.4).

7.2 Toepasbaarheid veldbeoordelingsmethoden

Op basis van de uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoeken is vastgesteld dat de consistentiegrenzen, zoals deze in het laboratorium zijn bepaald, niet of nauwelijks zijn gerelateerd aan de in het veld bepaalde parameters die betrekking hebben op de stevigheid van de grond. Er is geen verband aangetoond tussen grondparameters als ongedraineerde schuifweerstand, rijpingsgraad en/of conusweerstand. De bepaling van de erosiebestendigheid in het veld blijkt voornamelijk gebaseerd te zijn op de interpretatie van consistentie en structuurgraad. Deze interpretatie blijkt echter geen verband te hebben met de bepaling van weerstand tegen erosie op grond van klassificatieproeven in het laboratorium.

Een verklaring voor het ontbreken van een eenduidige relatie met onder andere de rijpingsfactor hangt samen met het gegeven dat grond die in kaden wordt verwerkt is, altijd vergraven en verkneed is. De rijpingsgraad, ofwel het vochtgehalte van de grond in relatie tot de samenstelling, geeft wel inzicht in de verwerkbaarheid van de grond. De zogenaamde consistentie-index (I_c) geeft voor kleigrond eenzelfde inzicht in de verwerkbaarheid en krimp van grond in relatie tot watergehalte.

Aan de hand van de in paragraaf 7.3 beschreven bodemkundige veldonderzoeken, is een eerste indicatie te verkrijgen ten aanzien van de bruikbaarheid van de grond.

Indien hoge eisen worden gesteld aan de erosiebestendigheid van de in boezemkaden te verwerken grond, dient naast de visuele beoordeling van de grond tevens een laboratoriumonderzoek te worden uitgevoerd. Een definitieve keuring met klassificatieproeven zal derhalve mede op basis van laboratoriumonderzoek moeten plaatsvinden. De visuele beoordeling kan alleen als richtlijn dienen bij het zoeken naar de geschikte grond.

7.3 Beoordeling in het veld

7.3.1 Algemene keuringseisen

De te verrichten beoordelingen moeten een representatief beeld opleveren van het gehele grond-depot of een gedeelte daarvan. Bodemkundige opnamen kunnen plaatsvinden door het verrichten van boringen en eventueel het graven van profielkuilen. De boorintensiteit is sterk afhankelijk van de lokale bodemkundige situatie, met name de variatie in eigenschappen en dient derhalve per locatie te worden vastgesteld. Voorwaarde is dat een representatief beeld wordt verkregen van de bodemopbouw. Tevens moet het mogelijk zijn per te onderscheiden bodemlaag enkele grondmonsters te verzamelen. Het aantal monsters is afhankelijk van de omvang van de te bemonsteren bodemlagen en de ruimtelijke variatie.

7.3.2 Minerale delen

Door een ervaren karteerder of bodemkundige is het lutumgehalte door middel van schatting te bepalen (conform NEN 5104).

De in NEN 5104 gebruikte fractiegrenzen voor de verschillende fracties zijn:

zand:	equivalente korreldiameter $\geq 63 \mu\text{m}$ en $< 2 \text{ mm}$.
silt:	equivalente korreldiameter $\geq 2 \mu\text{m}$ en $< 63 \mu\text{m}$.
lutum:	equivalente korreldiameter $< 2 \mu\text{m}$.

De lutum- en siltgehalten worden per te onderscheiden laag geschat door de grond te wrijven tussen duim en wijsvinger en door het beoordelen van aspecten als glimmen, kneedbaarheid en plakken. Stugge en uitgedroogde grond moet vooraf worden bevochtigd.

Van veenlagen wordt het organische stofgehalte niet geschat. De veenlagen worden met een aparte aanduiding gekarteerd en zijn te herkennen op basis van kleur, geur en de aanwezigheid van onverteerde plantenresten.

Van zandgrond wordt naast het lutumgehalte ook het M_{50} -cijfer (mediaan van de zandfractie) geschat op basis van een gemiddelde korreldiameter van de fracties tussen 50 en 2000 μm .

7.3.3 Organische stofgehalte

Het organische stofgehalte van de grond wordt voor klei-, leem- en zandgronden uitgedrukt als een gewichtspercentage van de droge grond (conform NEN 5104).

Schatting van het organische stofgehalte vindt plaats op basis van kleur en geur en de wijze van versmering bij wrijving van de grond tussen duim en wijsvinger. Tevens kunnen de structuur van de grond en de vochttoestand een indicatie zijn voor het organische stofgehalte.

7.3.4 Boven- en onderkant gleyzone

De bovenkant van de gleyzone geeft een indicatie van het niveau van wat de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) wordt genoemd. De gleyzone wordt aan de onderkant begrensd door de permanent verzadigde zone. Een kenmerkend beeld van de gleyzone is het naast elkaar voorkomen van roest- en reductievlekken.

De boven de GHG voorkomende bodemlagen kunnen als (volledig) gerijpt worden beschouwd. Met de diepte neemt het watergehalte toe. Beneden het GLG-niveau kan de grond als volledig ongerijpt worden aangemerkt.

Een praktische methode om kleurverschillen (roest – en reductievlekken) te herkennen bestaat uit het vergelijken van een brok grond uit het onderste gedeelte van de fluctuatietoneel met een achtereenvolgens steeds hoger gelegen deel.

7.3.5 Rijpingsgraad

Rijping (fysische rijping) van grond is een proces dat optreedt als gevolg van drooglegging en ontwatering van volledig verzadigde sedimenten. Hierbij daalt het watergehalte (indroging) en

het organische stofgehalte (oxidatie), zodat het volume afneemt en het volumegewicht toeneemt.

Door rijping van de kleigrond verandert de samenstelling en de microstructuur van de grond. Als gevolg van een verminderd vochtgehalte nemen de onderlinge binding en schuifsterkte (c_u -waarde) toe, met als gevolg dat de plasticiteit afneemt.

Door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders is op basis van het watergehalte in de grond een beoordelingsmethode ontwikkeld voor beoordeling van de rijpingstoestand van oorspronkelijk slappe kleigrond zoals die aanwezig is in droogvallende droogmakerijen. Een en ander is door Pons en Zonneveld vertaald in het onderstaande classificatieschema, echter voor grond die in een dijk of boezemkade is verwerkt gelden niet alle opgegeven kenmerken. In plaats van de rijpingsgraad kan de consistentie-index I_c , gebaseerd op de vloeï- en uitrolgrens, worden gebruikt die speciaal voor dit doel zijn opgesteld.

Zand valt op basis van de beoordeling van de rijpingsfactor niet nader te karakteriseren. De beoordeling van zandgronden zal derhalve voornamelijk op basis van de korrelgrootteverdeling en de lutum- en organische-stofgehalten plaatsvinden.

Goed verwerkbare kleigrond heeft een rijpingsfactor (n-factor) van 1,0 tot 0,7. Klei met rijpingsfactor $>1,0$ moet eerst in depot worden geplaatst, om het watergehalte te laten afnemen en de stevigheid te laten toenemen. Voor verwerking van klei geldt dat de I_c hoger dan 0.6 dient te zijn.

Tabel 7.1 Classificatieschema voor rijpende gronden (Pons en Zonneveld, 1965)

n-factor	aanduiding	beschrijving van consistentie
<0,7	gerijpt	Stevige grond, duidelijke structuurelementen zichtbaar. De grond is stijf en kleeft weinig; kleeft niet aan de handen en kan niet tussen de vingers doorgeperst worden.
0,7 – 1,0	vrijwel gerijpt	Tamelijk stijf/matig stevig, er zijn duidelijke grote structuurelementen te onderscheiden. De grond is klevend maar niet smerend; kleeft enigszins aan de handen en kan niet gemakkelijk tussen de vingers doorgeperst worden.
1,0 – 1,4	half gerijpt	Tamelijk slap, roest en reductieplekken waarneembaar. De grond is smeerbaar; kleeft aan de handen en kan gemakkelijk tussen de vingers doorgeperst worden.
1,4 – 2,0	vrijwel ongerijpt	Slap, meestal geheel gereduceerd. De grond kleeft sterk aan de handen en kan zeer gemakkelijk tussen de vingers doorgeperst worden.
>2,0	ongerijpt	Zeer slap, volledig gereduceerd. De grond loopt vrijwel tussen de vingers door.

7.3.6 Indringingsweerstand

Naast beoordeling van de rijpingsgraad in combinatie met structuurkenmerken van de grond, kan een aanvullende meting met een penetrometer inzicht verschaffen in de stevigheid van het materiaal. Ongelijpt materiaal zal nauwelijks enige weerstand geven bij het inbrengen van een penetrometer.

7.3.7 Erosiebestendigheid

Naast de beoordeling van de materiaaleigenschappen kan een eerste indicatie van de erosiebestendigheid worden gekregen door beoordeling in het veld. In verband met de onnauwkeurigheid en omdat de beoordelingsresultaten sterk kunnen afwijken van de resultaten van uit te voeren laboratoriumonderzoeken, kan de uitkomst van de beoordeling in het veld alleen worden gebruikt als een eerste toets.

Werkwijze:

1. Neem voldoende monsters. Wrijf het materiaal tussen de vingers. Voel en kijk of het uitgesmeerde materiaal ruw, melig of glimmend glad is;
2. Benoem de grond dan als zand, silt of klei, al of niet met bijmengingen (bv: sterk zandige, siltige klei). Belangrijk is een schatting van het zandgehalte;
3. Categoriseer de grond. Richtlijnen voor de categorisering zijn o.a. het zandgehalte (bv: kleiig zand en sterk zandige klei behoren tot categorie c3) en de structuurelementen.

De grond is als erosiebestendig te beoordelen als:

- de grond in geroerde vochtige toestand (maar niet nat) erg kleverig is (de mate waarin de klei aan de vingers blijft kleven);
- cirkels gemaakt kunnen worden van ongeveer 40 mm lange rolletjes met een diameter van ongeveer 4 mm zonder dat de rolletjes gemakkelijk breken, als het vochtgehalte niet te laag of te hoog is. Hiervoor is enig experimenteren met het vochtgehalte van de grond nodig.

De grond is weinig erosiebestendig als:

- de grond op het oog (schatting) voornamelijk uit zand bestaat;
- de grond weinig kleverig is (er blijft weinig of geen grond aan de vingers hangen na knijpen in de grond);
- de vochtige grond niet tot een balletje of draad te kneden is;
- relatief snel (binnen enige minuten) droogt als het op de handpalm wordt heen en weer gewreven en gekneet waarbij de grond veelal in poeder of korreltjes uiteen valt.

7.4 Laboratoriumonderzoek

Erosiebestendige klei voor primaire waterkeringen dient te voldoen aan de in bijlage 1 geformuleerde eisen. Om te toetsen of de grond voldoet aan de gestelde eisen wordt gebruik gemaakt van gestandaardiseerde proeven (zie hoofdstuk 22 uit de Standaard RAW bepalingen, uitgegeven door C.R.O.W). Van belang zijn de vloeigrens, de uitrolgrens, de plasticiteitsindex, het zandgehalte, het kalkgehalte, het organische stofgehalte en het zoutgehalte.

Voor het bepalen van de erosiebestendigheid van de grond mogen geen mengmonsters worden gebruikt. De reden hiervan is dat bij het voor onderzoek tevens een indruk verkregen dient te worden van de spreiding van de eigenschappen in de winplaats.

8 Literatuurlijst

Technisch rapport klei voor dijken

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 1996

Technisch rapport voor het toetsen van boezemkaden

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, juni 1993

Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden

Fugro Ingenieursbureau in opdracht van de provincie Zuid-Holland, Dienst Water en Milieu, maart 1998

Taluds van Waterlopen

Rapport van de werkgroep taluds, ingesteld door de Studiekring voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Genootschap voor Landbouwwetenschappen en de Sectie Cultuurtechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, 1969

Nieuwe veiligheidsnormen voor boezemkaden in Fryslân

Gedeputeerde Staten van Fryslân, februari 1999

Aanleg en beheer van grasland op rivierdijken

L.M. Fliervoet, september 1992; uitgave van de Unie van Waterschappen en de Adviesgroep vegetatiebeheer van IKC-NBLF

Klei, bestekseisen t.b.v. constructie en uitvoering

Overzicht huidige kennis en onderzoeksvoorstel. Centrum voor Onderzoek Waterkeringen Den Haag, COW, onderzoek S-81.023, 1984

Kleigrond voor de bekleding van dijken

Opmerkingen over het zwellen en krimpen en het ontwikkelen van structuur. Grondmechanica Delft, rapport CO-275923/29, 1987

Onderzoek naar het beoordelen van de geschiktheid van kleigrond voor bekleding van dijken met grasbedekking

Grondmechanica Delft, rapport CO-275925/14, 1988

Validatie keuringseisen klei voor bekleding van dijken met gras

Grondmechanica Delft, rapport CO-307280/10, 1990

Voorlopige bevindingen onderzoek aanbrengen en verdichten klei voor dijken

Grondmechanica Delft, rapport CO-319080/11, '91

NEN-5104: Classificatie van onverharde grondmonsters

Nederlands Normalisatie Instituut, NNI, 1989

Standaard RAW-bepalingen 1995

Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water-, en Wegenbouw en de Verkeerstechniek, 1995

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: deel 1 – bovenrivierengebied

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Den Haag, Staatsuitgeverij, 1989

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: deel 2 – benedenrivierengebied

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Den Haag, Staatsuitgeverij, 1989

Concept-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden

Interprovinciaal overleg, Den Haag, 1998

Bijlage 1

Kwaliteitseisen Klei voor dijken

'Technisch rapport klei' voor dijken en 'Leidraad toetsen op veiligheid'

De nadruk bij de beoordeling van de grond voor de toepassing in de dijkenbouw ligt tegenwoordig op de toetsing van de erosiebestendigheid van het materiaal. Volgens publicaties van de TAW (zie 'Technisch Rapport Klei voor Dijken' en 'Leidraad toetsen op veiligheid') is de erosiebestendigheid goed te karakteriseren met behulp van de consistentiegrenzen, bepaald aan de hand van de Atterbergse Waarden.

Proefondervindelijk zijn ten behoeve van de dijkenbouw de volgende categorieën te onderscheiden:

- erosiebestendig
- matig erosiebestendig
- weinig erosiebestendig

In tabel 1 zijn de grenswaarden van de drie erosiebestendigheidscategorieën weergegeven.

Tabel 1: Overzicht grenswaarden erosiebestendige klei

Erosiebestendigheidscategorie	grenswaarden classificatieproeven 1)
erosiebestendige klei	$W_L \geq 45 \%$ $I_p \geq 0,73 \cdot (W_L - 20)$ Zandgehalte $< 40 \%$
matig erosiebestendige klei	$W_L < 45 \%$ $I_p \geq 18,25 \%$ Zandgehalte $< 40 \%$
weinig erosiebestendige klei	$I_p < 0,73 \cdot (W_L - 20)$ $I_p < 18,25 \%$ Zandgehalte $\geq 40 \%$

1)	W_L	= vloeigrens
	I_p	= plasticiteitsindex
	I_p	= $0,73 \cdot (W_L - 20)$ is de zogenaamde A-lijn in het plasticiteitsdiagram

In aanvulling op de indeling naar erosiebestendigheidscategorie moet de te verwerken grond tevens voldoen aan de in tabel 2 aangegeven criteria.

Tabel 2: Overzicht algemene toetsingscriteria

Omschrijving	Toetsingswaarde
Organische stofgehalte	<5%
Zoutgehalte	>4 g NaCl/l bodemvocht
Watergehalte bij verwerken:	
- deklagen	$I_c \geq 0,75$
- kern (vulmateriaal)	$I_c \geq 0,60$
- kern (waterdicht)	$I_c \geq 0,60$
Kalkgehalte (HCl massaverlies)	< 25%
Visuele kenmerken:	
Geen extreme verkleuringen bij ontgraven of drogen	-
Geen afwijkende sterke geur	-
Algemeen:	
Voorkeur voor voedselarme grond	-

In vergelijking met de oude toetsingscriteria is het lutumgehalte niet meer als keuringcriterium opgenomen. De achtergrond hiervan is dat de consistentiegrenzen een betere relatie hebben met het gedrag van klei dan het lutumgehalte.

Het maximaal toelaatbare organische stofgehalte voor erosiebestendige en matig erosiebestendige klei is gesteld op 5%. Deze eis is opgenomen met het oog op beperking van de krimp. Door afbraak van organisch materiaal kan namelijk een volumevermindering ontstaan. Verder wordt het organische stofgehalte beperkt door de eisen ten aanzien van het watergehalte (consistentiegrenzen).

Bijlage 2

Samenvattend overzicht analyseresultaten

laboratoriumgegevens															veldgegevens														
locatie	code	diepte (m -mv)	ds gew%	zout% g/l	A-cijfer %water	H-cijfer %org.stof	W1 vloei grens	Wp uitrofgrens	Ip plasticiteit	A-lijn zand >63	Afsd. <16	lutum microS/cm	Wmax Wp+0,25Ip	Ic	II 1-Ic	conus MN/m2	consistentie	F-undr	Erosie	k	structuur	lutum org.stof	%zand						
Aarlanderveen	aabo 1-1	0,00-0,30	72,9	0,44	38	38	2	45	22	23	18	42,7	26,7	19,7	27	0,29	0,71	0,03	5	1,6	1	0,25 matig	23	3					
Aarlanderveen	aabo 1-2	0,30-0,50	64,3	0,44	55	55	6,6	76	40	37	41	29,5	39,4	24,9	49	0,57	0,43	0,02	4,5	1,4	1	0,3 matig	26	6					
Aarlanderveen	aabo 2-2	0,30-0,50	76,8	<0,05	29	29	2,2	38	20	19	13	43,1	29,7	19,4	24	0,5	0,5	0,04	4,5	2,2		0,1 matig	27	2					
Aarlanderveen	aabo 2-3	0,50-0,70	62,8	0,11	55	55	8,5	81	43	38	45	18,6	44,9	28,6	52	0,68	0,32	0,05	4,5	2		0,15 matig	26	7					
Bermweg	cabe 1-1	0,00-0,20	53,2	0,2	79	79	9,3	97	44	53	56	35,0	28,4	18	58	0,34	0,66	0,02	5	0,6		0,2 matig	20	12					
Bermweg	cabe 1-2	0,20-0,35	54,6	0,24	87	87	10	94	48	46	54	35,9	26,4	18,3	60	0,16	0,84	0,01	6	1		0,1 matig	15	10					
Bermweg	cabe 2-1	0,10-0,30	76,4	0,29	29	29	4,3	52	31	20	23	30	37,8	23,2	37	1,14	0,12	4	3,4		0,15 sterk	33	4						
Bermweg	cabe 2-2	0,30-0,55					veen									0,08	4,5	2,8			0,5 zwak	100							
Braassemermeer	brme 1-2	0,15-0,35	76,2	0,2	30	30	4,2	42	23	19	16	43,7	25,1	16,5	28	0,63	0,37	0,08	4,5	4,4		0,25 matig	20	4					
Braassemermeer	brme 1-3	0,35-0,70	69,9	0,3	43	43	4,5	64	30	34	32	11,1	43,1	26	39	0,62	0,38	0,06	4	4		0,4 matig tot sterk	28	1					
Braassemermeer	brme 2-2	0,15-0,55	74,1	0,27	34	34	3,2	54	28	26	25	19,3	35,9	21,7	35	0,77	0,23	0,12	4	4,8		0,25 matig	26	2					
Braassemermeer	brme 2-3	0,55-0,85	72,7	0,2	36	36	5,3	58	28	30	28	43,8	28,1	43,8	36	0,73	0,27	0,08	4	4,6		0,1 sterk	22	5					
Dubbele Wiericke	drwl 1-1	0,00-0,20	73,4	0,27	25	25	0,8	59	18	41	28	31,8	46,8	28,1	28	0,83	0,17	0,06	4	0,8	2	0,1 matig	26	3					
Dubbele Wiericke	drwl 2-1	0,00-0,30	77,2	0,34	22	22	0,7	61	21	40	30	18,9	60	37,4	31	0,98	0,02	0,16	2	4,5	3	0,2 sterk	29	3					
Dubbele Wiericke	drwl 2-2	0,30-0,80	66,8	0,25	32	32	0,9	70	19	51	37	18,8	60,3	38,1	32	0,75	0,25	0,14	4	2,6	1	0,3 sterk	33	1					
Dubbele Wiericke	drwl 4-1	0,20-0,50	76,3	0,26	23	23	0,7	47	17	30	20	50,8	42,3	26,6	25	0,8	0,2	0,1	5	2	1	0,15 matig	20						
Elahuizen	elme 1-1	0,00-0,35	57,9	0,26	69	69	1,6	86	50	36	48	45,7	27,3	18,1	59	0,46	0,54	0,01	5			sterk	10	20					
Elahuizen	elme 1-2	0,45-0,65	64,2	0,19	52	52	7,1	80	33	47	44	15,3	54,7	36,2	45	0,59	0,41	0,1	5	1,5		sterk	27	3					
Elahuizen	elme 1-3															0,1	5	2,2			matig	100							
Franekevaart	oofv 1-2	0,10-0,25	70,1	0,15	41	41	3,7	70	29	41	37	4,9	60,4	22	39	0,71	0,29	0,02	4,5	2,7		0,4 matig	38	5					
Franekevaart	oofv 1-3	0,25-0,70	71,5	0,28	40	40	4,1	65	23	42	33	3,1	64,5	36,3	34	0,6	0,4	0,04	4,5	2,5		0,1 matig tot sterk	46	2					
Franekevaart	oofv 1-4	0,70-1,10	73	0,62	39	39	3,8	59	23	36	28	4,1	61,2	32,7	32	0,56	0,44	0,02	5	1,8		0,15 zwak	45	1					
Franekevaart	oofv 2-1	0,30-0,70	68,7	<0,05	45	45	7,9	74	30	44	39	4,4	60,8	31,7	41	0,66	0,34	0,06	4	3,4		0,5 matig	36	4					
Grindweg	bebe 1-2	0,15-0,30	70,8	0,33	40	40	3,6	57	29	28	27	44,6	28,9	17,3	36	0,61	0,39	0,04	5	1		0,2 sterk	22	7					
Grindweg	bebe 1-3	0,30-0,55	65,2	0,17	53	53	4,1	69	32	37	36	32,9	36,1	19,3	41	0,43	0,57	0,02	5	2		0,3 matig tot sterk	22	3					
Grindweg	bebe 2-2	0,15-0,25	79,6	0,19	24	24	2,4	35	21	14	11	34,2	21,5	14	25	0,79	0,21	0,18	4	3		0,2 matig	17	6					
Grindweg	bebe 2-3	0,25-0,45	79,1	0,31	27	27	3,9	41	25	16	15	51,6	24,6	16,5	29	0,88	0,12	0,25	4	3,2		0,15 matig	17	6					
Groeneveldse Watering	limo 1-1	0,10-0,30	63,2	0,18	36	36	5,4	80	36	44	44	5,7	51,3	31,5	47	1	0	0,06	5	1		0,15 matig	26	3					
Groeneveldse Watering	limo 1-2	0,40-0,60	69,2	0,25	29	29	3	61	26	35	30	38,3	30,8	17,3	35	0,91	0,09	0,01	5	1,4		0,3 zwak	26	5					
Groeneveldse Watering	limo 2-2	0,40-0,85	74,8	0,39	25	25	4,1	65	24	41	33	22,6	37,9	23,6	34	0,98	0,02	0,1	3,5	3		0,2 sterk tot matig	30	3					
Groeneveldse Watering	limo 2-3	0,85-1,30	80,7	0,2	21	21	1	31	20	11	8	61,9	19,3	13,3	23	0,91	0,09	0,06	5	1,19		0,1 zwak	13	2					
Hollandse IJssel	hoys 1-2	0,20-0,45	75,1	0,21	36	36	3,7	50	29	21	22	8,8	39,6	16	34	0,68	0,32	0,06	4	2,6		0,25 matig	26	2					
Hollandse IJssel	hoys 1-3	0,45-0,70	73,1	0,25	37	37	3	45	24	21	18	7,2	32,5	15,5	29	0,38	0,62	0,08	4	3,2		0,1 zwak	28	1					
Hollandse IJssel	hoys 2-2	0,20-0,30	79	0,24	29	29	3	41	27	14	16	9,7	26,5	12,5	31	0,87	0,13	0,12	4	3,2		0,15 sterk	19	1					
Hollandse IJssel	hoys 2-3	0,30-0,85	74,5	0,17	33	33	3	46	26	20	19	11,8	35,3	16	31	0,68	0,32	0,1	4	2,8		0,4 sterk	28	2					
Hollandse Kade	hoka 1-1	0,00-0,20	76,4	0,44	31	31	3,9	53	22	31	24	24,8	47,2	27,6	30	0,71	0,29	0,03	4	1,8		0,1 sterk	32	4					
Hollandse Kade	hoka 1-2	0,20-0,45	69,8	0,47	51	51	2,6	65	23	42	33	12,7	67,2	39,6	33	0,33	0,67	0,02	5	1,2		0,1 sterk	40	1					
Hollandse Kade	hoka 2-1	0,00-0,20	75,2	0,26	32	32	4,4	50	21	29	22	25,9	42,6	24,6	29	0,64	0,36	0,05	4	3,2		0,05 matig	27	4					
Hollandse Kade	hoka 2-2	0,20-0,50	74,9	0,26	34	34	3,1	54	19	36	25	20,2	54,1	31,6	28	0,56	0,44												

