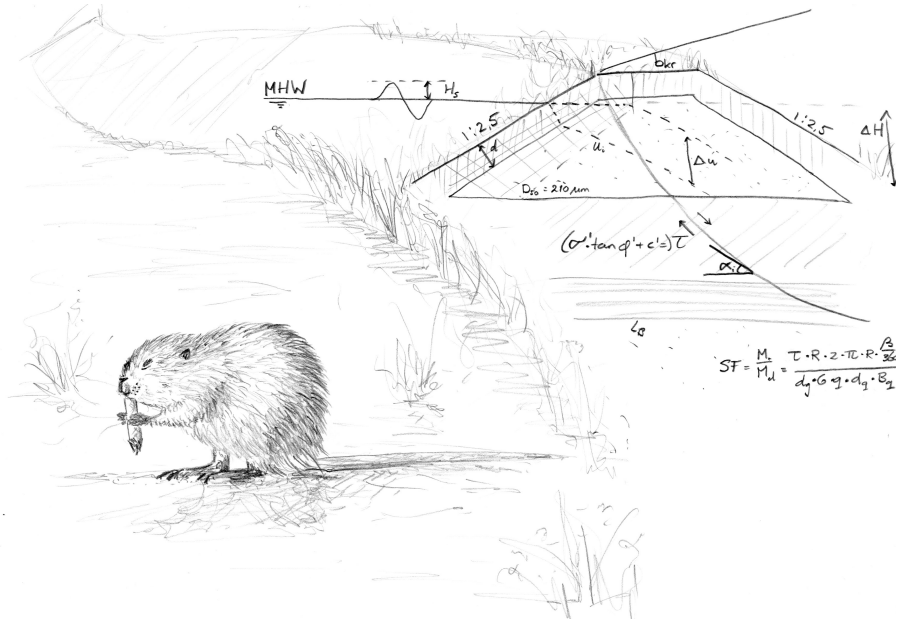
Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen



BCM

oktober 2006
definitief

Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen

dossier : A2998.01.001
registratienummer : WG-SE20060948
versie : D1

BCM

oktober 2006
definitief

© DHV Groep Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. drukwerk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DHV Groep, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.
Het kwaliteitssysteem voor beleidsvorming en besturing van de DHV Groep is gecertificeerd volgens ISO 9001.

SAMENVATTING

De beveiliging tegen overstroming vormt een wezenlijke vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die veiligheid tegen overstromen wordt verzorgd door waterkeringen. Sinds de jaren ’40 van de vorige eeuw komen in Nederland muskusratten en beverratten voor. Graverij door muskus- en beverratten veroorzaakt onder andere schade aan waterstaatkundige werken, zoals waterkeringen. De muskusrat wordt al ruim zestig jaar bestreden. De beverrat wordt structureel bestreden sinds 2002, maar incidenteel al sinds de jaren ’60. Belangrijke reden voor de bestrijding is onder andere het voorkomen van schade aan waterkeringen door graverij. Het nut en de noodzaak van de bestrijding van muskusratten en beverratten is regelmatig onderwerp van bestuurlijke en maatschappelijke discussie. Naar aanleiding van deze discussie heeft de Landelijk Coördinatie Commissie Muskusrattenbestrijding (LCCM) een studie naar de gevolgen van graverij door muskus- en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen laten uitvoeren, als onderdeel van een programma van zeven onderzoeken.

Aanpak

De studie kent een gefaseerde aanpak:

1. inventarisatie van de aard en omvang van graverij door muskus- en beverratten en de resulterende schade aan waterkeringen, uitgevoerd door middel van een literatuurstudie, veldonderzoek en interviews met bestrijders en waterkeringbeheerders.
2. opstellen van een representatieve schematisering van de graverij en schade aan waterkeringen; dit op basis van de resultaten van de inventarisatie in combinatie met enkele belangrijke uitgangspunten, speciaal ten aanzien van het regiem van bestrijden en het beheer & onderhoud van de waterkering.
3. vaststellen van de invloed van de graverij en de schade aan de waterkering op de veiligheid van waterkeringen.

Bij de veiligheidsanalyse zijn acht verschillende typen waterkeringen beschouwd, aangezien uit fase 1 is gebleken dat de aard van de graverij en de ernst van de resulterende schade onder andere afhankelijk is van de aard van de dimensie (dwarsprofiel) en de hydraulische belasting van een waterkering. Voor elk type waterkering is een representatief dwarsprofiel vastgesteld.

Gestreefd is de invloed van graverij op de veiligheid zoveel mogelijk kwantitatief vast te stellen. De daartoe gevolgde uitwerking is gebaseerd op de verschillende faalmechanismen met de daarbij behorende toetsregels, zoals onderscheiden en beschreven in het wettelijk vastgestelde Voorschrift Toets op Veiligheid (VTV, 2004). Per faalmechanisme is:

- een representatieve schade door graverij geschematiseerd;
- vastgesteld of de veiligheid van een kering met schade door graverij nog voldoet aan de gestelde veiligheidsnorm; en indien dit niet het geval is:
- vastgesteld bij welke maximaal toelaatbare waterstand de veiligheid van de waterkering met schade nog juist wel voldoet aan de gestelde veiligheidsnorm;
- aan de hand van de overschrijdingskans van deze waterstand de afname van de veiligheid van de waterkering afgeleid.

De kwantificering is dus gebaseerd op de zgn. overbelasting- of overschrijdingskansbenadering. Deze benadering is conform de Wet op de Waterkering (1996). Opgemerkt wordt dat bij enkele faalmechanismen de toepassing van de toetsregels niet resulteert in een “veiligheidsgetal”. Daarom is bij deze faalmechanismen de invloed van de graverij niet uitgedrukt in een toename van de overschrijdingskans, maar is de invloed op de veiligheid relatief of soms kwalitatief uitgedrukt.

Resultaten inventarisatie

Graverij door muskus- en beverratten wordt in waterkeringen voornamelijk aangetroffen bij waterkeringen die zich bevinden in of grenzen aan een leefgebied (sloten, greppels, plassen, verlandingszones, etc.) van muskus- en beverratten. Over de omvang van graverij door muskusratten is veel informatie aangetroffen, graverij door beverratten is weinig gedocumenteerd. Karakteristieke graverij door muskusratten betreft een bouw met een uitgebreid stelsel van pijpen (diameter: ca. 0,15 m) en enkele nestkommen. De graverij beperkt zich overwegend tot een geringe diepte (< 1 m) in het talud, over de zone van juist onder het laagwaterniveau (overwegend < 0,35 m diep) tot boven een gemiddelde hoogwaterstand. Zodoende komt alleen bij betrekkelijk kleine kaden graverij tot in of zelfs door de kruin van de waterkering voor. Graverij door muskusratten resulteert in een intensief vergraven toplaag van het talud, met gemiddeld één pijp of gang per strekkende meter kade over een aanzienlijke strekkende lengte (meer dan 50 m). Karakteristieke graverij door beverratten betreft een enkele pijp of gang (diameter: ca. 0,25 m) met aan het eind een nestkom. Gang en nestkom bevinden zich overwegend horizontaal in het dijklichaam, op een niveau van juist boven een gemiddelde waterstand. Waargenomen en geregistreerde schaden aan waterkeringen door graverij door muskus- en beverratten zijn:

- schade aan het buitentalud en de (harde) bekleding (ook: rietkragen), waardoor erosie van het buitentalud en afkalving van het dijklichaam is opgetreden;
- ondermijning van het buitentalud, waardoor afschuiving van het talud is opgetreden;
- schade aan en ondermijning van het binnentalud, waardoor afschuiving en inzakking van het talud is opgetreden;
- vergraving van stabiliteits- of pipingbermen, waardoor verzakking van deze bermen is opgetreden;
- verzakking van de kruin, waardoor tijdens hoogwatersituaties overlopen is opgetreden;
- doorgraving van het dijklichaam, waardoor doorsiepeling of kwel is opgetreden;
- doorbraak van kleine kaden (m.n. langs visvijvers en vloeivelden).

Voorts veroorzaakt perforatie van de bekledingslaag op het buitentalud een sterkere verzadiging van het dijklichaam. Dit vormt geen directe schade aan de waterkering, maar de sterkte van het binnentalud neemt hierdoor wel af.

Bij deze waarnemingen gelden twee belangrijke opmerkingen:

- waargenomen schade aan (primaire) waterkeringen wordt in de meeste gevallen snel hersteld (beheer & onderhoud). Zodoende komt het in de praktijk normaliter niet voor dat gedurende een hoogwaterperiode zichtbare schade aan de waterkering, welke een evidente bedreiging van de veiligheid vormt, nog aanwezig is. Het is denkbaar dat zonder dergelijk tijdig herstel meer en omvangrijkere schaden aan waterkeringen zouden zijn voorgekomen;
- graverij door beverratten en vooral muskusratten wordt soms gedurende meerdere jaren niet opgemerkt. Hierdoor is veelal geen direct oorzakelijk verband (meer) aantoonbaar tussen schade aan een waterkering en graverij, zeker niet op het moment van falen van een waterkering.

Veiligheidsanalyse: uitgangspunten

De analyse is per faalmechanisme gedetailleerd uitgevoerd. Het is mogelijk dat meerdere mechanisme gelijktijdig optreden of dat een faalmechanisme aanleiding geeft tot een volgend mechanisme. Met een dergelijke stapeling of opeenvolging van gevolgen is slechts beperkt rekening gehouden, omdat dit deels als “kans-op-kans” is beschouwd. Dit uitgangspunt onderschat de ernst van de mogelijke gevolgen.

Bij de uitwerking van de veiligheidsanalyse is een representatieve omvang van de graverij geschematiseerd. Ten aanzien van deze schematisering is geconstateerd dat:

- schade door graverij soms gedurende meerdere jaren niet wordt ontdekt;
- verschillende vormen van schade aan waterkeringen (m.n. aantasting van de bekleding) zonder herstel een evidente aantasting van de sterkte van een waterkering veroorzaken, waarbij het uiteindelijke bezwijken van de waterkering slechts een kwestie van tijd is;
- waterkeringen in het kader van een regulier beheer & onderhoudsprogramma periodiek worden onderhouden, waarbij allerlei vormen van schade wordt hersteld.

Een belangrijk uitgangspunt bij de schematisering is dat zichtbare schade aan de waterkering altijd is hersteld, voorafgaand aan het optreden van een maatgevende belastingsituatie. De schematisering van de graverij betreft zodoende uitsluitend onzichtbare schade, of schade die pas tijdens een hoogwater – situatie zichtbaar wordt. Uitzondering vormen permanent belaste waterkeringen, zoals boezemkaden. Voor dit type keringen geldt dat zichtbare schade wel aanwezig kan zijn tijdens een hoogwaterperiode, omdat bij permanente belasting de kans groter is dat kort na de waarneming van een schade een maatgevende belastingsituatie optreedt. Het veronderstelde herstel van zichtbare schade voor het optreden van een maatgevende belastingsituatie heeft belangrijke consequenties voor het regiem van inspectie en beheer & onderhoud van een waterkering.

Veiligheidsanalyse: resultaten

De resultaten van de analyse van de gevolgen van de graverij voor de veiligheid zijn gepresenteerd in onderstaande tabellen, respectievelijk van muskus- en beverratten.

Toelichting ten aanzien van de interpretatie van de tabellen 1 en 2

De gepresenteerde afname van het veiligheidsniveau is steeds gebaseerd op een representatief profiel wat juist aan de vereiste veiligheid voldoet. De uitkomsten zeggen niets over het werkelijk resulterende (absolute) veiligheidsniveau van de waterkeringen. Dit is nader toegelicht in §3.3 en 5.1. Daarenboven gelden de resultaten voor de afname van de veiligheid van een dwarsprofiel, de gevolgen voor de veiligheid van een dijkring zijn niet bepaald.

Tabel 1 Overzicht invloed graverij muskusratten op veiligheid waterkeringen

Type waterkering	**Faalmechanisme**					
	Hoogte	**Stabiliteit**				**Bekleding**
		binnenwaarts	**buitenwaarts**	**Piping**	**Micro**	**buiten en binnen**
Bovenrivieren	0	-- (1250 → 520)	0	-- (1250 → 400)	--	---
Benedenrivieren	0	--- (4000 → 400)	0	--- (4000 → 700)	--	---
Maaskaden	--	0/-	0	0	--	---
Meerdijken	0	--- (2000 → 200)	0	0	--	---
Zeeweringen	0	0	0	- (4000 → 2000)	0	0
Boezemkaden (>2 m)	--- (100 → 10)	--- (100 → 10)	0	0	--	---
Boezemkaden (<2 m)	--- (100 → 10)	--- (100 → 15)	0	0	0/-	---

Tabel 2 Overzicht invloed graverij beverratten op veiligheid waterkeringen

Type waterkering	**Faalmechanisme**					
	Hoogte	**Stabiliteit**				**Bekleding**
		binnenwaarts	**buitenwaarts**	**Piping**	**Micro**	**buiten en binnen**
Bovenrivieren	0	-- (1250 → 520)	0	-- (1250 → 400)	--	0
Benedenrivieren	0	--- (4000 → 400)	0	--- (4000 → 700)	--	0
Maaskaden	0	0/-	0	0	--	0
Meerdijken	0	--- (2000 → 200)	0	0	--	0
Zeeweringen	0	0	0	- (4000 → 2000)	0	0
Boezemkaden (>2 m)	0	--- (100 → 10)	0	0	--	0
Boezemkaden (<2 m)	0	--- (100 → 15)	0	0	0/-	0

0 geen nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme
0/- geringe nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, afname van de veiligheid factor < 1,5
- nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, afname van de veiligheid factor 1,5 à 2,5
-- aanzienlijk nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, afname van de veiligheid factor 2,5 à 5
--- sterk nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, sterke afname van de veiligheid factor 5 à 10
1250 → 520: toename van de overschrijdingskans (1/1250 naar 1/ 520 per jaar)

De aangeduide factor geldt alleen voor de faalmechanismen waarbij het effect kwantificeerbaar is in termen van een toename van de overschrijdingskans, dit betreft de faalmechanismen Hoogte, Stabiliteit binnen en piping.

Uit de tabellen blijkt dat de schade aan waterkeringen door graverij van zowel muskusratten als beverratten een vermindering van de veiligheid veroorzaakt. Voor enkele faalmechanismen neemt de overschrijdingskans toe met een factor 10, ofwel de veiligheid neemt met factor 10 af. De gevolgen van graverij door muskus- en beverratten is niet geheel gelijk, graverij door muskusratten vormt een ernstiger bedreiging. Deze conclusie volgt deels uit het uitgangspunt dat veel vormen van schade aan een waterkering door graverij door beverratten veelal zijn hersteld voorafgaand aan een hoogwatersituatie, omdat de graverij meestal eenvoudiger herkenbaar is vanwege de ligging van de gangen boven het waterniveau.

Graverij door muskusratten heeft met name invloed op de volgende faalmechanismen:
- hoogte: overwegend bij permanent waterkerende keringen;
  de overschrijdingskans neemt toe met max. een factor 10;
- stabiliteit binnentalud: bij alle type keringen behalve zeeweringen;
  de overschrijdingskans neemt toe met een factor 2,5 tot 10;
- piping: met name bij rivierdijken;
  de overschrijdingskans neemt toe met een factor 2,5 tot 5;
- microstabiliteit: overwegend indien sprake is van een zanddijk met een kleibekleding;
- bekleding: bij alle type keringen behalve zeeweringen.

Graverij door beverratten heeft met name nadelige invloed op de volgende faalmechanismen:
- stabiliteit binnentalud: bij alle type keringen behalve zeeweringen;
  de overschrijdingskans toe met een factor 2,5 tot 10;
- microstabiliteit: overwegend indien sprake is van een zanddijk met een kleibekleding.

Belangrijk faalmechanisme betreft het verlies van erosiebestendigheid van de bekleding op het buitentalud, hoewel dit niet tot uitdrukking komt in een kwantitatieve score. Na aantasting van de bekleding start een voortschrijdend erosieproces door golf- en/of stromingbelasting waardoor de veiligheid van de waterkering ernstig wordt bedreigd (afkalving).

Conclusie

Geconcludeerd wordt dat de veiligheid van een waterkering afneemt door graverij door muskus- en beverratten. Deze conclusie geldt voor alle type waterkeringen, met uitzondering van zeeweringen. De afname van de veiligheid wordt vooral veroorzaakt door een afname van de kruinhoogte van een kering, de stabiliteit van het binnentalud en de erosiebestendigheid van de bekleding. De grootte van de afname van de veiligheid verschilt per type waterkering, alsmede door welk faalmechanisme deze afname wordt veroorzaakt. Door aantasting van de waterkering voldoet de veiligheid van een waterkering niet meer aan de gestelde veiligheidsnorm. De veiligheid voldoet nog juist wel aan de gestelde normen bij een lagere maatgevende waterstand, welke een overschrijdingskans heeft die per type kering en per faalmechanisme globaal varieert van ca. 2 tot max. 10 zo groot als de oorspronkelijke normfrequentie van de waterkering. Ofwel, in termen van overschrijdingskansen neemt de veiligheid door graverij af met een factor 2 tot max. 10.

Aanbevelingen

Belangrijke onzekerheid bij deze studie vormt het graafgedrag van muskus- en beverratten na stopzetting van de bestrijding. Het is denkbaar dat graverij in waterkeringen omvangrijker wordt indien zich een hoge populatiedichtheid ontwikkelt en mogelijk een tekort aan voedsel en/of leefruimte ontstaat. Hierdoor kan de ernst van de bedreiging van graverij voor de veiligheid van waterkeringen toenemen. De schematisering van de schade is gebaseerd op de waarnemingen van graverij, zoals gedaan bij het huidige regiem van bestrijding. Dit uitgangspunt onderschat mogelijk de gevolgen van graverij voor de veiligheid van waterkeringen, indien graverij daadwerkelijker omvangrijker wordt. Indien meer inzicht in deze potentiële toename van de bedreiging gewenst is, wordt aanbevolen nader onderzoek te verrichten naar het graafgedrag en - de omvang hiervan - door muskus- en beverratten.

De gehanteerde uitgangspunten bij deze studie hebben belangrijke implicaties voor het beheer & onderhoud van waterkeringen:

- een forse toename van de inspanning betreffende de inspectie van de waterkeringen;
- meer nadruk op een spoedig en goed herstel van waargenomen schade.

Tijdens de inventarisatie is gebleken dat schade aan waterkeringen door graverij niet structureel wordt geregistreerd, inclusief details over omvang, etc.. Met name over graverij door beverratten is weinig gedocumenteerd. Aanbevolen wordt tenminste extreme vormen van schaden door graverij in waterkeringen voortaan uniform en structureel te registreren.

VOORWOORD

Muskusratten en beverratten worden in Nederland bestreden voor de veiligheid van onze waterkeringen en ter voorkoming van economische en ecologische schade. In de huidige situatie met bestrijding zijn tot nu toe onveilige situaties en belangrijke schades uitgebleven. Door stijgende vangsten in de beginjaren van deze eeuw zijn maatschappelijke en bestuurlijke vragen ontstaan over nut en noodzaak van de muskusrattenbestrijding. Te denken valt aan de vraag of de veiligheid werkelijk in het geding is, bestrijden effectief is, bijvangsten verder voorkomen kunnen worden etc. Een onderzoek uitgevoerd door Alterra maakte duidelijk dat veel vragen nog onbeantwoord zijn en verder onderzoek noodzakelijk is. Daarom is in 2006 een onderzoekprogramma, van in totaal 7 onderzoeken, gestart naar de verschillende aspecten van bestrijding van muskusratten en beverratten in Nederland. Eind 2007 zal het totale onderzoeksprogramma zijn afgerond.

Bij de verschillende onderzoeken uit dit programma komen twee aspecten nadrukkelijk aan de orde. Er wordt onderzocht of bestrijding om redenen van veiligheid en economische schade überhaupt moet worden voortgezet en zo ja, hoe bestrijding in de toekomst dan zou moeten worden uitgevoerd. In dat verband wordt o.a. gekeken naar strategie, organisatie, middelen en methoden.

Dit voorliggende onderzoek naar de gevolgen van graverij van muskusratten en beverratten in waterkeringen is een van de 7 onderzoeken uit dit programma. Het maakt inzichtelijk wat graverij van muskusratten en beverratten betekent voor de betrouwbaarheid van onze waterkeringen. Dit rapport levert een belangrijke bijdrage aan de discussie over nut en noodzaak van de bestrijding in Nederland. Deze rapportage kan echter niet los worden gezien van de resultaten van de overige 6 onderzoeken uit het onderzoekprogramma. De onderzoeken uit het onderzoeksprogramma vormen dan ook één samenhangend geheel. Een goede bestuurlijke afweging over het nut en de noodzaak van muskusrattenbestrijding kan het beste gemaakt worden wanneer alle onderzoeksresultaten beschikbaar zijn en in samenhang kunnen worden beoordeeld.

De 7 onderzoeken zijn:
- graverij en waterkeringen (veiligheid);
- populatieontwikkeling en veiligheid van waterkeringen;
- (economische) schade;
- alternatieve bestrijdingsmethodieken;
- preventieve maatregelen;
- vangmiddelgebruik;
- organisatie van de bestrijding.

Begeleidingscommissie onderzoek “graverij in waterkeringen”

INHOUD BLAD

SAMENVATTING
VOORWOORD
INHOUDSOPGAVE

1 MUSKUSRATTEN & BEVERRATTEN EN WATERKERINGEN 9
1.1 Inleiding 9
1.2 Leefgedrag muskusratten en beverratten 9
1.3 Waterkeringen in Nederland 10
1.4 Muskusratten- en beverrattenbestrijding 11
1.5 De gevolgen van graverij op de veiligheid van waterkeringen 11
1.6 Leeswijzer 12
1.7 Totstandkoming 12

2 GRAVERIJ DOOR MUSKUSRATTEN EN BEVERRATTEN 13
2.1 Inleiding 13
2.2 Inventarisatie omvang graverij en schade waterkeringen 13
2.3 Omvang van graverij 14
2.3.1 Omvang graverij door muskusratten 14
2.3.2 Omvang graverij door beverratten 20
2.4 Waarnemingen schade aan waterkeringen 20
2.5 Aanvullende conclusies ten aanzien van denkbare schade door graverij 23
2.6 Belangrijke onzekerheid ten aanzien van de graverij in waterkeringen 25

3 VEILIGHEID VAN WATERKERINGEN 26
3.1 Inleiding 26
3.2 Veiligheidsbenadering 26
3.3 Algemene aanpak beoordeling invloed 26
3.4 Aanpak per faalmechanisme 28
3.4.1 Hoogte 28
3.4.2 Macrostabiliteit binnenwaarts 29
3.4.3 Macrostabiliteit buitenwaarts 30
3.4.4 Piping en heave 30
3.4.5 Microstabiliteit 32
3.4.6 Bekleding 32
3.5 Uitgangspunten bij schematisering graverij en schade aan waterkering 33
3.6 Algemene uitgangspunten bij beoordeling gevolgen voor veiligheid 35
3.7 Implicaties van gehanteerde uitgangspunten voor beheer waterkering 37
3.8 Schematisering van de graverij in waterkeringen 37

4 GEVOLGEN GRAVERIJ VOOR VEILIGHEID WATERKERINGEN 42
4.1 Inleiding 42
4.2 Rivierdijken: boven- en benedenrivierengebied 43
4.2.1 Schematisering waterkering 43
4.2.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van rivierdijken 44
4.2.3 Uitwerking veiligheidsanalyse 44
4.2.4 Opmerkingen 50
4.2.5 Conclusies 50

4.3 Maaskaden 51
4.3.1 Schematisering kade 51
4.3.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van maaskaden 52
4.3.3 Uitwerking veiligheidsanalyse 52
4.3.4 Opmerkingen 54
4.3.5 Conclusies 54
4.4 Meerdijken 55
4.4.1 Schematisering waterkering 55
4.4.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van meerdijken 56
4.4.3 Uitwerking veiligheidsanalyse 56
4.4.4 Opmerkingen 59
4.4.5 Conclusies 59
4.5 Zeeweringen 60
4.5.1 Algemene situatiebeschrijving en schematisering 60
4.5.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van zeeweringen 61
4.5.3 Uitwerking veiligheidsanalyse 61
4.5.4 Opmerkingen 63
4.5.5 Conclusies 64
4.6 Boezemkaden (met grote kerende hoogte) 64
4.6.1 Schematisering kade 64
4.6.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van boezemkaden 65
4.6.3 Uitwerking veiligheidsanalyse 65
4.6.4 Opmerkingen 70
4.6.5 Conclusies 71
4.7 Boezemkaden (met geringe kerende hoogte) 72
4.7.1 Schematisering kade 72
4.7.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van kleine boezemkaden 73
4.7.3 Uitwerking veiligheidsanalyse 73
4.7.4 Opmerkingen 76
4.7.5 Conclusies 76
4.8 Compartimenteringskaden en droge keringen 77
4.8.1 Compartimenteringskaden 77
4.8.2 Droge keringen 78

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 79
5.1 Conclusies 79
5.2 Aanbevelingen 84

6 REFERENTIES 85

7 BEGRIPPENLIJST 86

8 COLOFON 90

BIJLAGEN

1 Figuren graverij muskusratten en beverratten
2 Literatuurlijst muskusratten en beverratten
3 Resultaten berekeningen macrostabiliteit
4 Overschrijdingsfrequentielijnen

1 MUSKUSRATTEN & BEVERRATTEN EN WATERKERINGEN

1.1 Inleiding

De beveiliging tegen overstroming vormt een wezenlijke vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die veiligheid tegen overstromen wordt verzorgd door waterkeringen. Sinds de jaren ’40 van de vorige eeuw komen in Nederland muskusratten voor, beverratten worden reeds sinds circa 1930 aangetroffen. Muskusratten en beverratten graven in waterkeringen. De resulterende schade aan de waterkeringen wordt vanuit oogpunt van de veiligheid als onwenselijk beschouwd. De muskusrat en de beverrat worden al ruim zestig jaar bestreden, de beverrat op meer incidentele wijze en sinds 2002 structureel. Belangrijkste reden van de bestrijding is het waarborgen van de veiligheid van waterkeringen en het voorkomen van dijkdoorbraken. Het nut en de noodzaak van de bestrijding van muskus- en beverratten is onderwerp van bestuurlijke en maatschappelijke discussie. Naar aanleiding van deze discussie wordt thans in opdracht van de Landelijk Coördinatie Commissie Muskusrattenbestrijding (LCCM) een onderzoeksprogramma uitgevoerd omtrent het nut en de noodzaak van de bestrijding en de effectiviteit en efficiency van de bestrijding. Binnen het onderzoek naar het nut en de noodzaak wordt onder andere deze studie naar de gevolgen van graverij voor de veiligheid van waterkeringen uitgevoerd. Dit rapport presenteert de resultaten van deze studie.

1.2 Leefgedrag muskusratten en beverratten

De beschikbare literatuur[1] over muskusratten en beverratten omvat veel informatie met betrekking tot hun levenswijze. In het kader van onderhavig onderzoek wordt hier hoofdzakelijk ingegaan op enkele voor dit onderzoek relevante aspecten van het leefgedrag, zoals migratie, woonplaatsen en territorium van muskusratten en beverratten en omvang en groei van populaties.

Muskusratten
In Nederland leven muskusratten voor het overgrote deel in ondergrondse holen (bouwen). De toegang tot de bouw bevindt zich onder water. Belangrijke voorwaarden voor de keuze van een vestigingsplaats zijn de aanwezigheid van water (sloten, greppels, plassen, etc.) en voedsel (hoofdzakelijk waterplanten, gras en riet). De keuze wordt ogenschijnlijk niet beïnvloed door een voorkeur voor een bepaalde grondsoort of vorm van de oever. Muskusratten creëren rond hun bouw een eigen territorium, dat ze verdedigen tegen soortgenoten. Een muskusrat beweegt zich niet uitsluitend binnen zijn territorium, voedsel wordt in een ruimere omgeving gezocht, het leefgebied. De grootte van territorium en leefgebied zijn sterk afhankelijk van met name de dichtheid van de populatie ter plaatse. De diameter van een territorium varieert van 45 tot 200 m. Het leefgebied is veel groter en heeft een diameter van ongeveer 2 km.

De groei van een populatie muskusratten wordt bepaald door een veelheid aan factoren. De muskusrat is een exoot en heeft weinig natuurlijke vijanden. Ook hoeft de muskusrat niet om zijn biotoop te concurreren met inheemse diersoorten. Deze gunstige omstandigheden, alsmede de

[1] Dit hoofdstuk is gebaseerd op zeer veel bronnen. Het opnemen van alle verwijzingen in de tekst zou de leesbaarheid niet ten goede komen, zodat uitsluitend indien letterlijk is geciteerd een bronverwijzing in de tekst is opgenomen. Voor de overige bronvermelding geldt een algehele verwijzing naar de opgenomen literatuurlijst in bijlage 2.

overvloed aan vestigingsplaatsen en de aanwezigheid van voldoende voedsel, hebben een positieve invloed op de populatiegroei. Het gemiddeld aantal nakomelingen (na neststerfte) van een paartje muskusratten ligt rond de 10 per jaar. Gedurende het jaar blijven de jongen, die uit meerdere worpen kunnen voortkomen, binnen het ouderlijk territorium. Gedurende de najaarstrek (september) verplaatsen muskusratten zich over een groter gebied om een eigen territorium te bezetten. De migratie afstand kan wel 70 km bedragen.

De bestrijding is verreweg de belangrijkste van alle doodsoorzaken van muskusratten. Door die bestrijding wordt een muskusrat in Nederland gemiddeld één en maximaal twee jaar oud. Onder natuurlijke omstandigheden kan een muskusrat circa 4 jaar oud worden.

Beverratten
Beverratten zijn de grootste knaagdieren die in Nederland in het wild voorkomen. Beverratten komen van oorsprong voor in warmere gebieden, in Nederland sterven in koude winters veel beverratten als gevolg van voedselgebrek. In tegenstelling tot muskusratten graven beverratten de ingangen tot hun holen overwegend op of boven het waterniveau. Uit schriftelijke mededelingen van verschillende muskusratbestrijders (via F. Barends) blijkt echter dat in enkele gevallen de ingangen zich ook onder het waterniveau bevinden. Verondersteld wordt dat dit situaties betreft waarbij een beverrat zich heeft gevestigd in een (verlaten) bouw van een muskusrat. Beverratten leven in groepen van 2 tot meer dan 13 individuen. Ook beverratten zijn hoofdzakelijk vegetarisch, hun dieet wordt gevormd door plantenmateriaal, waaronder bladeren, stammen, wortels en boombast. Beverratten krijgen minder jongen per jaar dan muskusratten, maar door een lagere neststerfte kan de gemiddelde reproductie per wijfje eveneens op 10 nakomelingen liggen.

Omdat de omstandigheden en leefwijze van de muskusrat en beverrat vergelijkbaar zijn, is het niet ondenkbaar dat zij elkaar om voedsel en ruimte zullen beconcurreren. Van deze situatie zijn in Nederland echter geen voorbeelden bekend. Wel zijn waarnemingen bekend van gebruik van bouwen van muskusratten door beverratten.

1.3 Waterkeringen in Nederland

De beveiliging tegen overstroming vormt een wezenlijke vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die veiligheid tegen overstromen wordt verzorgd door waterkeringen[2]. De totale lengte aan waterkeringen bedraagt circa 17,5 duizend km, waarvan 3,5 duizend km primaire en 14 duizend km regionale keringen. Primaire waterkeringen beschermen het achterland tegen direct buitenwater, zoals de dijken langs de grote rivieren, de kust en het IJssel- en Markermeer. Regionale waterkeringen zijn keringen die ander dan buitenwater keren, zoals boezemkaden, keringen langs regionale rivieren en compartimenteringskeringen.

[2] De term waterkeringen heeft in dit verband hoofdzakelijk betrekking op grondconstructies met een waterkerende functie. Overige waterkerende constructies (sluizen, keermuren, etc.) worden hooguit zijdelings besproken, indien graverijen van muskus- of beverratten een negatieve invloed uitoefenen op de waterkerende functie van deze objecten. Binnen Nederland zijn twee (bestuurlijke) typen dijken: de primaire waterkeringen en regionale waterkeringen welke veelal secundaire waterkeringen worden genoemd. Primaire waterkeringen beschermen ons tegen het buitenwater (de zee en delta, grote rivieren en het Marker- en IJsselmeer. Regionale waterkeringen beschermen ons tegen het binnenwater in meren, boezems en kanalen. In het westen van Nederland zijn dit veelal boezemkaden. Onder de regionale keringen vallen ook zgn. slaperdijken.

1.4 Muskusratten- en beverrattenbestrijding

De muskusrat wordt al ruim zestig jaar bestreden met als belangrijkste reden de veiligheid van de waterkeringen te waarborgen en doorbraken te voorkomen. De wet waarin de verantwoordelijkheid voor de bestrijding is geregeld, benoemt deze preventieve functie als volgt: “in het belang van een doelmatige bestrijding van de muskusrat in het gehele land, en ter voorkoming van schade aan waterstaatswerken in het bijzonder, dragen gedeputeerde staten van iedere provincie zorg voor de inzet van muskusrattenvangers in ambtelijke dienst”. Uit het Landelijk Verslag Muskusratten-bestrijding blijkt dat het landelijk aantal vangsten per uur de laatste bijna 20 jaar zo rond de 0,8 schommelt. Dit is hoger dan het vastgestelde aantal van 0,25 vangsten per uur, waarbij de populatie onder controle zou zijn. Zowel het aantal vangers als het aantal vangsten is de laatste jaren toegenomen. Deze toename is niet gelijk verdeeld over Nederland. Het totaal aantal vangsten is van ruim 200 duizend in 1985 toegenomen tot ruim 400 duizend in 2004.

De beverrat wordt sinds 2002 met grotere inspanning bestreden met als doel de diersoort binnen een termijn van vijf jaar uit te roeien. Een knelpunt voor de beverratbestrijding wordt gevormd door het aantal beverratten dat ons land met name vanuit Duitsland en België weet te bereiken. Met name gedurende hoogwaterperioden wordt een sterke instroom via Rijn, Maas en Roer gesignaleerd.
Uit de evaluatie beverratbestrijding (bijlage 2) blijkt dat het aantal beverrattenvangers is toegenomen van 5 in 1999 naar 22 in 2005, terwijl het aantal vangsten gedaald is van 3300 naar bijna 1900. De daling van het aantal vangsten per velduur (van 0,57 naar 0,08) wordt gezien als indicator voor de afname van de populatieomvang.

1.5 De gevolgen van graverij op de veiligheid van waterkeringen

Het nut en de noodzaak van de bestrijding van muskus- en beverratten is regelmatig onderwerp van bestuurlijke en maatschappelijke discussie. Naar aanleiding van een bestuurlijk symposium in 2004 waar het nut en de noodzaak ook ter discussie is gesteld, heeft de Landelijke Coördinatie Commissie Muskusrattenbestrijding (LCCM) in 2005 een verkennend onderzoek laten uitvoeren door Alterra [bijlage 2, nr. 88]. Op basis van dit onderzoek is geconcludeerd dat betrouwbare gegevens ontbreken en een uitgebreider vervolgonderzoek nodig is. Een van de punten waar weinig inzicht in is betreft het gevolg van de graverij door muskus- en beverratten op de veiligheidstoestand van waterkeringen. De LCCM heeft een onderzoeksprogramma gestart om de gerezen onderzoeksvragen te beantwoorden. Eén van de onderzoeken is gericht op het verkrijgen van inzicht in de relatie tussen de graverijen van muskus- en beverratten en de waterkerende functie van dijken en kaden. Dit vormt het onderwerp van voorliggende studie.

Doelstelling en onderzoeksvragen
Doelstelling van onderhavig onderzoek is het vaststellen van de invloed van de graverij door muskus- en beverratten op de veiligheid van waterkeringen.

Het onderzoek moet een bijdrage leveren aan een gefundeerde besluitvorming over de bestrijding van muskus- en beverratten in de toekomst. Meer specifiek zijn de volgende onderzoeksvragen gesteld:
- wat zijn de gevolgen van de graverijen door muskus- en beverratten voor de stabiliteit en faalkans van verschillende typen waterkeringen?
- in hoeverre wordt het veiligheidsniveau van de verschillende soorten waterkeringen bedreigd indien zich graverij van muskus- en beverratten in de waterkering bevindt?

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de inventarisatie van graverij van muskus- en beverratten. Aan de hand van de inventarisatie van aangetroffen schadebeelden wordt de basis gelegd voor de schematisatie van graverij door muskusratten en beverratten ten behoeve van de beoordeling van de invloed op de veiligheid van waterkeringen. Hoofdstuk 3 behandelt de methodiek van de veiligheidsanalyse, de werkwijze wordt per faalmechanisme algemeen toegelicht. Hoofdstuk 4 beschrijft per type waterkering ingegaan op de invloed van muskus- en beverrattengraverij op het veiligheidsniveau. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en aanbevelingen. In hoofdstuk 6 zijn de (technische) referenties opgenomen, terwijl in bijlage 2 een lijst is opgenomen van relevante literatuur ten aanzien van muskusratten en beverratten. In de tekst wordt naar de nummering in bijlage 2 verwezen. Hoofdstuk 7 vormt de begrippenlijst ten aanzien van waterkering gerelateerde begrippen en definities, voor zover deze in de tekst niet verklaard worden.

Foto 1 Een gedeeltelijk open gegraven bouw van een muskusrat

1.7 Totstandkoming

Deze studie is namens de BCM begeleid door een begeleidingscommissie, bestaande uit:

L. Wijlaars	LCCM (voorzitter Bcie / leider onderzoeksprogramma)
N. Bosma	Wetterskip Fryslân
B. de Bruijn	Waterschap Rivierenland
H. Eikelenboom	Provincie Noord-Holland
M.G. Gosma	Provincie Noord-Brabant
J. Gronouwe	LCCM
M. Jacobs	IPO (Provincie Gelderland)
H.J. Verhagen	TU-Delft, faculteit Civiele Techniek

Tijdens de uitvoering is de heer F.K.N. Barends (provincie Zuid-Holland) frequent geconsulteerd.

2 GRAVERIJ DOOR MUSKUSRATTEN EN BEVERRATTEN

2.1 Inleiding

Teneinde een beeld te verkrijgen van de omvang van graverij door muskusratten en beverratten en de resulterende schade aan waterkeringen is een inventarisatie van schadebeelden uitgevoerd. Bij deze inventarisatie is gebruik gemaakt van:

- informatie uit beschikbare literatuur;
- interviews met waterkeringbeheerders, in combinatie met consultatie van muskusratbestrijders (deels ook schriftelijk, met medewerking van TC Muskusratten);
- een eigen veldonderzoek (o.a. ter verificatie van het resulterende beeld).

De resultaten van de inventarisatie zijn opgenomen in onderstaande paragrafen.

2.2 Inventarisatie omvang graverij en schade waterkeringen

In het verleden zijn reeds inventarisaties van de omvang van graverij en resulterende schade aan de waterkeringen uitgevoerd. Met name het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen heeft nuttige informatie verzameld van gerapporteerde schadegevallen (o.a. in 21 t/m 23; bijlage 2). Alle schetsen van waargenomen graverijen die in de literatuur zijn aangetroffen zijn gepresenteerd in bijlage 1. Opgemerkt wordt dat van graverijen door muskusratten aanzienlijk meer illustraties beschikbaar zijn gevonden dan van graverijen door beverratten. Graverij door beverratten is weinig gedocumenteerd.

Voorts heeft DHV in het kader van deze studie landelijk onder de muskusratbestrijders de vraag uitgezet om een beschrijving van de schadebeelden van met name muskusrattengraverijen. De vraag omvat tevens een beschrijving van verwachtingen ten aanzien van de omvang van graverij en het resulterende schadebeeld indien de bestrijding wordt stopgezet, dus bij een hoge populatiedichtheid. De verwachting is gebaseerd op in het veld geconstateerde dichtheden van graafschade. Deze verwachtingen ten aanzien van een eindsituatie waren van belang bij deze studie, waarbij een situatie zonder bestrijding uitgangspunt is.

Belangrijke kanttekening bij de uitgevoerde inventarisaties is dat de waarnemingen betrekking hebben op een situatie met een actieve bestrijding van de muskusratten. Indien de bestrijding wordt stopgezet, zal de populatie (-dichtheid) van muskusratten toenemen. Het is daarbij denkbaar dat het (graaf- en vraat-) gedrag van een muskusrat verandert ten opzichte van de huidige situatie waarin de populatie frequent wordt verstoord. Ten aanzien van de inventarisatie moet daarom worden bedacht dat de omvang van de graverij in de toekomst dus kan veranderen, bijvoorbeeld doordat zich op een kadestrekking meer muskusratten bevinden dan wat thans gebruikelijk is. Bij de interpretatie van de inventarisatie is vanwege dit aspect ook veel waarde gehecht aan waargenomen schadebeelden in gebieden waarvan bekend is dat daar veel muskusratten aanwezig waren (of eigenlijk: gebieden waar ten tijde van de waarneming van de schades veel muskusratten zijn gevangen.

Ten aanzien van de graverij door beverratten wordt opgemerkt dat hiervan in Nederland nog niet veel waarnemingen zijn geregistreerd. Ook ten aanzien van beverratten geldt dat onbekend is of een afwijkend graafgedrag zal ontstaan indien de bestrijding wordt stopgezet.

2.3 Omvang van graverij

Deze paragraaf presenteert een samenvatting van de resultaten van de inventarisatie van de graverij. Dit betreft allereerst een algemeen beeld van de graverij, zoals afgeleid uit de literatuur, interviews en het veldonderzoek. Bij de inventarisatie van graverij is waar mogelijk onderscheid gemaakt in onder meer type kade, waterkerende hoogte, bijzondere constructies (zoals harde bekleding, damwanden) en samenstelling van het materiaal waaruit de waterkering is opgebouwd (klei, zand, veen). Onderstaand zijn waar mogelijk specifieke opmerkingen betreffende de waargenomen schade per type kering of de grondsoort gepresenteerd.

2.3.1 Omvang graverij door muskusratten

Algemeen beeld graverij door muskusratten
De muskusrat leeft voornamelijk in oeverzones en bewoont bij voorkeur zelf gegraven nestkommen (bouwen) in de oevers. De muskusrat prefereert een weinig variabele waterstand en een rustige voedselrijke omgeving. Boezemkaden en dijken welke direct aan water grenzen, schaardijken en dijken die nabij strangen of wielen gelegen zijn, zijn hierdoor het meest gevoelig voor graverij. Muskusratten hebben geen voorkeur voor een bepaalde grondsoort, wel kunnen oeverbescherming en/of bekleding een belemmering vormen voor vestiging.

De bouw van een muskusrat bestaat uit één of meerdere nestkommen met vele gangen of pijpen. De verschillende gangen zijn soms door middel van verbindingsgangen evenwijdig aan de oever met elkaar verbonden. Sommige bouwen hebben ook een luchtpijp. Deze mondt niet uit onderwater, maar loopt vanaf de nestkamer naar boven. Een dergelijke luchtpijp wordt doorgaans dichtgestopt met een prop plantaardig materiaal. De pijp wordt slechts tijdelijk gebruikt in de periode waarin de jongen de bouw niet via de pijpen onderwater kunnen verlaten (vanwege het vetgehalte kunnen ze niet duiken).

De nestkamer wordt doorgaans aangelegd met een drooglegging van enkele decimeters. De uiteindelijke hoogteligging van de nestkamer in de kering is daarmee afhankelijk van de variatie in de buitenwaterstand, en kan enkele meters boven een gemiddelde waterstand bedragen. Soms ook worden nestkamers op verschillende niveau's aangelegd, dit betreft een zgn. etagebouw.

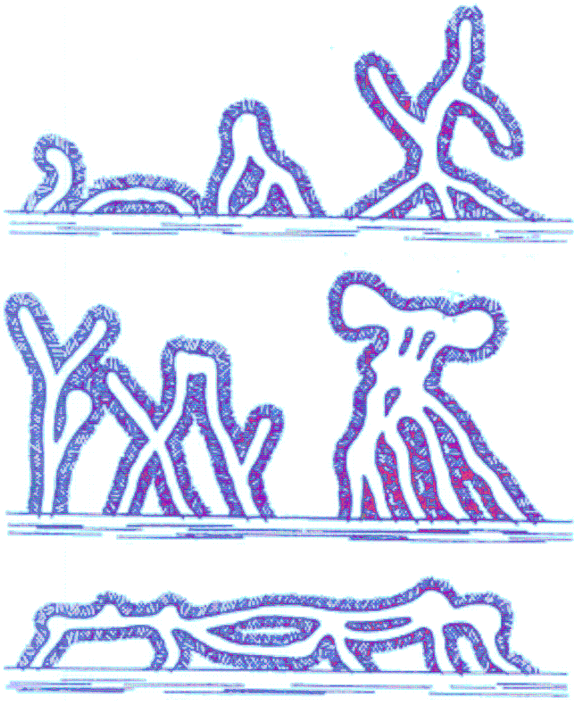
Doorgaans bevindt de ingang van een pijp zich tot 0,35 m onder de waterspiegel. Vanuit de ingang loopt de gang schuin omhoog naar de nestkamer. De lengte van de gang hangt af van de grondsoort, de drooglegging en de geometrie van de waterkering (m.n. de taludhelling). Maximaal aangetroffen ganglengtes (enkele gang) bedragen circa 20 m. De totale lengte van het gangenstelsel kan tientallen meters bedragen (TAW, 1981). De gangen hebben een diameter van 0,15 à 0,2 m, de nestkamers meten circa 0,35 m.

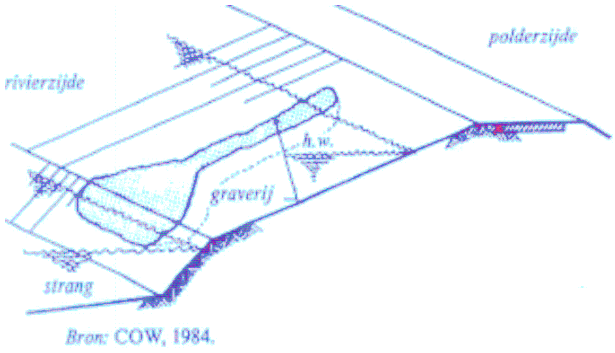
De bouw heeft meestal een gronddekking van 0,5 tot 0,7 m, maar in kaden met minimale afmetingen wordt met 0,2 m gronddekking volstaan. Ogenschijnlijk lijkt de gewenste drooglegging bepalend bij de hoogte van de nestkom in het dijklichaam, de gronddekking is een resultante. In figuur 2.1 zijn enkele illustraties van muskusrat - bouwen opgenomen.

Bovenstaand beeld van de graverij behoort bij een permanente bewoning van de bouw. In sommige gevallen wordt een waterkering door muskusratten gebruikt als vluchtplaats, bijvoorbeeld indien de uiterwaarden overstromen. In dergelijke gevallen verschilt de aard van de graverij van bovenstaand beeld. Graverij in geval van vluchtplaats betreft overwegend een enkele gang recht omhoog het talud op, welke start op een niveau juist onder de waterstand ten tijde van de vlucht tot een niveau zo hoog

als nodig om boven het stijgende waterniveau in de rivier te blijven. De muskusrat is daarbij in staat voldoende snel te graven om het stijgende water voor te blijven.

Figuur 2.1 Illustraties muskusrat - bouwen



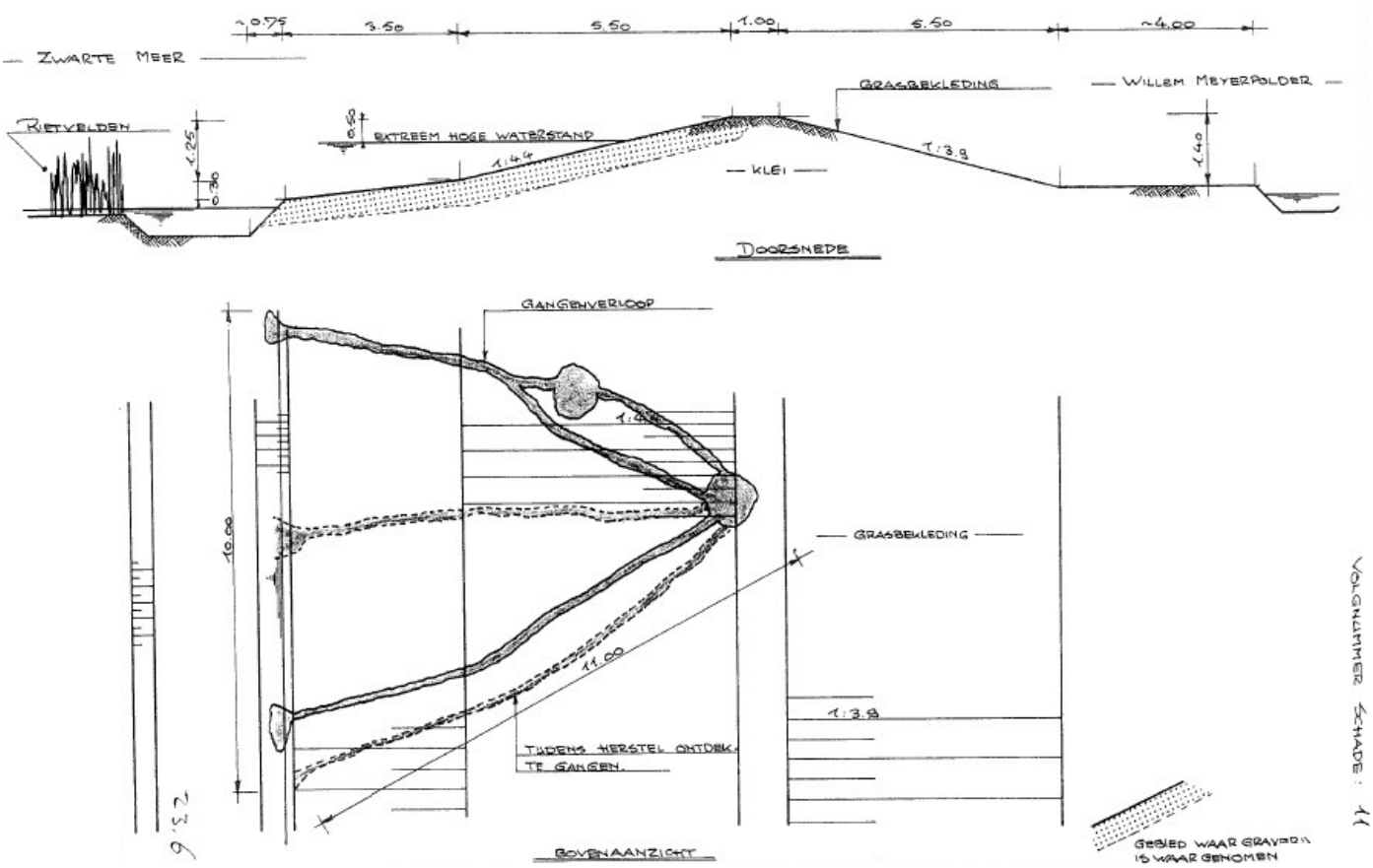


links: bovenaanzichten
boven: in dwarsdoorsnede

Gebruik van de waterkering als vluchtplaats houdt in dat ook bij waterkeringen waar zich geen permanent water ter plaatse van de binnen- of buitenteen voorkomt, toch graverij in het buitentalud kan voorkomen.

Indringing in de waterkering
De graverij van een muskusrat is overwegend oppervlakkig, en beperkt zich tot een betrekkelijke ondiepe zone op het talud. De diepte van de pijpen is overwegend zo'n 0,5 tot 0,75 m beneden maaiveld. Een diepte van ca. 1 m minus maaiveld wordt slechts een enkele keer waargenomen (bijv. Nieuwe Merwede, TAW 1981). De zone met graverij strekt zich uit van juist beneden waterpeil tot een tot enkele meters daarboven, afhankelijk van de variatie in de waterstanden. Diepe horizontale indringing van het dijklichaam is niet aangetroffen (anders dan de nestkom zelf).

Figuur 2.2 Dwarsprofiel met representatieve graverij



Maximale diepte ingang

Uit een onderzoek in de periode 1974 – 1980 (ca. 8.000 bouwen) blijkt dat de ingangsdiepte van een bouw overwegend (75% van de ingangen) minder dan 0,35 m beneden het waterpeil bedraagt (TAW, 1981). Een diepte groter dan 1 m komt weinig (< 1%) voor. In de genoemde studie wordt een maximaal aangetroffen ingangsdiepte genoemd van 2 meter. Het is daarbij de vraag of dit werkelijk de maximale ingangsdiepte is, dan wel de maximaal onderzochte diepte (gezien lengte muskusratbestrijder). Dit beeld resulteert eveneens uit de inventarisatie onder muskusratbestrijders. Ook het veldonderzoek bevestigt een overwegend ondiep niveau van de ingangen.

Waargenomen grotere ingangsdieptes komen met name voor in combinatie met de aanwezigheid van niet – doorgraafbare oeverconstructies, zoals een beschoeiing of steenbestorting. Dit duidt erop dat een muskusrat uitsluitend een diepere ingang maakt indien deze daartoe wordt gedwongen. Voor het zonder enige reden aanleggen van een diepe ingang ontbreken ogenschijnlijk ook ecologische redenen.

Maximale omvang bouw

De omvang van een bouw is afhankelijk van de duur van de bewoning. Normaliter wordt bij iedere worp (ca. 3 keer per jaar) een nieuwe nestkom gegraven, inclusief de bijbehorende pijpen. Muskusratbestrijders treffen regelmatig bouwen aan die zich over een breedte van 30 m uitstrekken, met een veelheid aan nestkommen en een hoge dichtheid aan pijpen. Regelmatig worden dichtheden van 1 pijp per meter gevonden. Soms ook wordt een aaneenschakeling van bouwen aangetroffen, verondersteld wordt dat dit een familiebouw betreft (o.a. Hoeksche Waard). Dit is met name aangetroffen in gebieden met een hoge dichtheid.

Foto 2 Verspreiding van ingangen van één bouw (een vlag markeert een ingang)

Enkele waarnemingen worden onderstaand gepresenteerd:

- Vloeiveld CSM: verzakkingen kade over een lengte van 35 en 15 m (TAW, 1981) op een strekking van 100 meter;
- Nieuwe Merwede: grootte populatie, (TAW, 1981) op 1500 m in totaal 36 aantastingen cq. verzakkingen in grootte variërend van 1 bij 2 meter (2 m^2) tot 7 bij 13 meter (ca. 90 m^2). De gemiddelde grootte bedroeg ruim 15 m^2;
- Mariapolder: (TAW, 1981) op 1500 m in totaal 9 aantastingen cq. verzakkingen in grootte variërend van 3 bij 2 meter (6 m^2) tot 7 bij 5 meter (ca. 35 m^2). De gemiddelde grootte bedroeg ca. 17,5 m^2;
- Frieslan: tijdens het eigen veldonderzoek is een bouw aangetroffen waarbij zich over een oeverbreedte van ca. 20 meter gemiddeld één pijp per meter bevond (zie foto 2).
- kade Haastrecht – Hoenskoop (Krimpenerwaard, schriftelijke mededeling J. Zijderlaan - bestrijder): bouwen die een oeverlengte beslaan van 50 à 100 meter, met max. ca. 30 pijpen, gemiddeld een pijp per ca. 3 m. Naar veronderstelling betreft dit bouwen van jongen die zich in het territorium van de ouders vestigen;
- kade Oude vaart (schriftelijke mededeling B. Roosenboom - rayonambtenaar): aaneengeschakeld complex over een oeverlengte van ca. 150 m, met een hoge intensiteit pijpen (foto 3).

Intensiteit bouwen op een kadestrekking
Veelal bevinden de verschillende bouwen zich op onderlinge afstanden van overwegend meer dan ca. 300 meter. Dit hangt samen met de grootte van het territorium van een muskusrat. Uit verschillende waarnemingen blijkt echter dat bouwen van muskusratten soms op korte onderlinge afstanden van elkaar kunnen voorkomen. Dit betreft dan zowel situaties waarbij alle bouwen bewoond worden, als situaties met gedeeltelijk verlaten bouwen. Ten aanzien van de (deels) verlaten bouwen wordt verondersteld dat:

- een muskusrat één of enkele malen is verhuisd binnen zijn eigen territorium;
- ofwel verschillende muskusratten zich achtereenvolgens in het kadevak hebben gevestigd.

In geval van bewoonde bouwen wordt verondersteld dat het een zgn. familiebouw betreft, waarbij de jongen zich op korte afstand van de oorspronkelijke bouw vestigen. Dit is o.a. aangetroffen in een zomerkade in de Merwelanden (S. 't Mannetje: schriftelijke mededeling), een gebied met een hoge populatie muskusratten. Op basis van bovenstaande informatie wordt verondersteld dat de graverij van muskusratten uiteindelijk kan resulteren in een min of meer continue aaneenschakeling van bouwen (zie foto 3).

Enkele waarnemingen:

- kade langs de Boomvaart (1979, TAW 1981): tijdens een inventarisatie naar aanleiding van een 4-tal doorbraken, zijn op een lengte van 1250 m totaal 36 bouwen aangetroffen, ofwel één bouw per ca. 35 m.
- zomerkade Merwelanden en enkele waterkeringen in de Hoeksche Waard en het Eiland van Dordrecht (o.a. Strijen, Gravendeel, Numansdorp) (schriftelijke mededeling muskusratbestrijder): een aaneenschakeling van bouwen over een afstand van meer dan 100 meter, met iedere 5 tot 15 meter een complex van nestkommen met pijpen;
- boezemkade Papenkop (Van Veen, schriftelijke mededeling): over een afstand van 1000 m zijn ca. 350 pijpen aangetroffen;
- kade langs de Oostvaart nabij Zoeterwoude – Rijndijk (Van Veen, schriftelijke mededeling): over een afstand van minder dan 1000 m zijn ca. 110 pijpen aangetroffen.

Bouw met pijpen aan 2 zijden van de waterkering
Het is denkbaar dat door graverij van een muskusrat een open verbinding ontstaat tussen beide zijden (binnen- en buitentalud) van een waterkering. Een dergelijk verbinding kan ontstaan doordat:

- één enkele bouw pijpen heeft naar beide zijden van de waterkering;
- bouwen aan weerszijden van de kering contact met elkaar maken;
- bouwen van muskusratten verbinding krijgen met holen of gangenstelsels van andere gravende diersoorten.

In de literatuur (bijlage 1; figuur 5.2) zijn schetsen aangetroffen waarbij een bouw van een muskusrat ingangen heeft aan beide zijden van de waterkering. In een kade bij Bijleveld (TAW, 1981) heeft een dergelijke bouw ernstige kwel / doorsiepeling veroorzaakt. Uit de inventarisatie is echter gebleken dat door de muskusratbestrijders een dergelijke bouw niet vaak wordt aangetroffen. Een enkele waarneming betreft:

- kade langs wetering nabij Meerkerk (Vijfheerenlanden, schriftelijke mededeling Witzier), kwel door stroomgat door de kade.

Foto 3 Oude Vaart met volledig vergraven oever over lang traject

Verondersteld wordt dat een muskusrat normaliter slechts in één zijde van de kade een bouw graaft. Voor het graven van een doorgaande gang naar de andere zijde van een waterkering ontbreken ogenschijnlijk (ecologische) redenen, speciaal wanneer aan de andere zijde geen aantrekkelijke leefomgeving aanwezig is. Ook het onopgemerkt blijven van een kortsluiting met graverij door andere diersoorten is onwaarschijnlijk. Het komt voor dat een bouw wordt open gegraven vanaf kruin of talud. Dergelijke graverij ligt altijd boven water (konijnen, mollen of predatoren) en valt bij inspectie meestal direct op. In deze studie wordt uitsluitend

Ten aanzien van de situatie met een hoge muskusratpopulatie (bij stopzetting bestrijding) geldt dat de kans op een verbinding door kortsluiting tussen 2 bouwen of een bouw en een ander type graverij zal toenemen.
Belangrijke voorwaarden voor een dergelijke verbinding is dat aan beide zijden van de waterkering waterpartijen aanwezig zijn en dat de breedte van de kering betrekkelijk gering is. Het optreden van een verbinding bij grote keringen is minder realistisch, omdat:

- de graverij van een muskusrat tot minder ver in de kern van de waterkering reikt;
- de kans dat pijpen en gangen elkaar raken sterkt afneemt door de grotere omvang van het dijklichaam.

Vooralsnog wordt het optreden van deze situatie alleen als realistisch beschouwd bij kleine kaden met permanent water aan beide zijden. Dit betreft boezemkaden. Ook voor deze waterkeringen geldt echter dat de situatie als “bijzondere omstandigheid” wordt gezien. De beschouwing van de veiligheid gaat derhalve niet uit van deze situatie, wel zal in de paragraaf “speciale aandachtspunten” aandacht aan deze graverij worden besteed.

2.3.2 Omvang graverij door beverratten

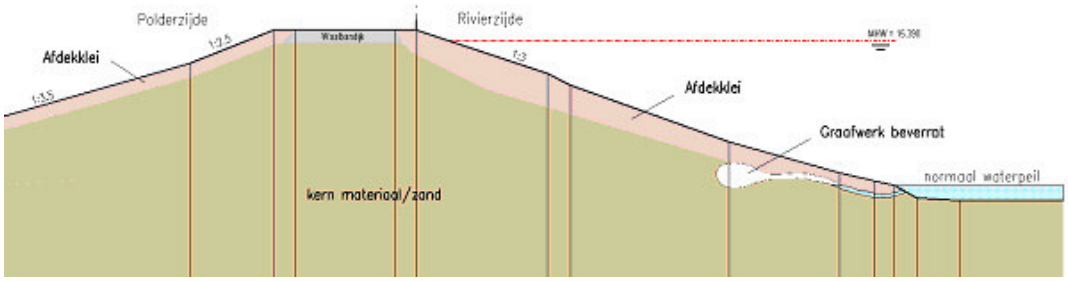
Algemeen beeld graverij door beverratten
De beverrat leeft voornamelijk in moerassige gebieden en ook langs traagstromende rivieren, estuaria en langs de kustlijn. Ze hebben een voorkeur voor stilstaande wateren met dichte begroeiing. Als hol graaft hij een gang in een steile rivieroever of een dijk, overwegend vlak boven de waterspiegel. Deze holen hebben een diameter van twintig centimeter en zijn tot zes meter diep. In het hol maakt hij een plat nest van dode grassen. De nestkamer heeft een diameter van zo'n 30 centimeter. Bij hoogwater bouwen beverratten takkenplatforms in struikvormige wilgen.

Beverratten graven op of boven waterniveau een of meer pijpen (0,2 tot 0,7 m in diameter), met ingangen op verschillende hoogten bij wisselende waterstanden. Het aantal ingangen kan variëren van een tot tien. Deze gaan landinwaarts naar een droog gelegen nestkom, vanwaar soms gangen naar het maaiveld lopen.

Indringing in de waterkering
De horizontale indringing van de gang en nestkom in de waterkering bedraagt ca. 2 m tot max. 10 m.

Intensiteit op kadestrekkingen
Een waarneming uit 1975 vermeldt dat op 7550 m oever 6,5% beschadigd was met 109 inzakkingen van 2 tot maximaal 10 landinwaarts. Dit veroorzaakte verzakkingen in de taluds en zelfs het wegdek.

figuur 2.3 Dijkprofiel met daarin aangegeven de graafwerkzaamheden beverrat



2.4 Waarnemingen schade aan waterkeringen

In de literatuur zijn weinig voorbeelden gevonden van primaire of regionale waterkeringen die zijn doorgebroken door (indirecte) schade aan de waterkering ten gevolge van graverij door muskusratten en beverratten. Dit komt grotendeels door het tijdige herstel van de schades, zodat een eventuele doorbraak van de kering en overstroming van het achterliggende land is voorkomen. In de literatuur wordt wel melding gemaakt van doorbraak van kleinere waterkeringen, zoals die bijvoorbeeld voorkomen langs visvijvers en vloeivelden.

Deze paragraaf beschrijft een overzicht van waargenomen schadebeelden aan waterkeringen. Veel waarnemingen zijn van de periode 1975 – 1984. Dit komt voort uit de uitgebreide inventarisatie van schaden aan waterkeringen die in deze periode is uitgevoerd en gedetailleerd gerapporteerd [bijlage

2; diverse bronnen]. Ook na deze periode zijn schaden waargenomen en hersteld. Deze zijn echter minder goed gerapporteerd en zijn daarmee minder bruikbaar voor deze studie. Recent waargenomen schadebeelden komen echter overeen met de waarnemingen uit de periode 1975 - 1984. Ook het uitgevoerde veldonderzoek bevestigt het beeld van de schade aan waterkeringen.

In de literatuur gevonden schades en bijbehorende faalverschijnselen aan primaire of regionale waterkeringen betreffen overwegend:

- schade aan het buitentalud en bekleding: waardoor uitschuring van het buitentalud en afkalving van de kruin is opgetreden;
- ondermijning van het buitentalud, waardoor afschuiving van het talud is opgetreden;
- verzakking van de kruin: waardoor deze overliep tijdens hoogwater situaties;
- doorgraving van het dijklichaam, waardoor doorsiepeling of kwel is opgetreden.

Enkele voorbeelden van dergelijk schades zijn onderstaand beschreven:

- Waalbandijk nabij Dreumel: afgeschoven buitentalud (TAW, 1984);
- zomerkade langs de Waal: doorbraak (TAW, 1984);
- dijk langs Zwarte Meer: verzakking in buitentalud en kruin (TAW, 1984);
- kade langs Boomvaart: enkele (4) doorbraken en sterke kwel (wellen / doorsiepeling) op ruim 20 plekken, tijdens optreden hoge waterstand (TAW, 1981);
- boezemkaden in Friesland, op veel locaties: overlopen tijdens hoogwater situatie in 1998;
- boezemkade nabij Sneek: doorsiepelen door doorgraving van de kade (veldonderzoek, 2006);
- zomerkade Ooijpolder (beverrat): graven van een horizontale gang in de zomerkade, op maaiveldniveau met een indringing in de kade van ca. 7 m (waterschap Rivierenland, 2005).

Onderstaand volgt een nadere beschrijving van waargenomen schadebeelden aan waterkering.

Ondermijning en aantasting grasbekleding

Graverij ondermijnt de grasbekleding op de taluds. Na het uiteindelijk verzakken of intrappen van de bouw wordt de grasbekleding aangetast, waardoor de erosiebestendigheid van de taluds afneemt. In combinatie met golfaanval vindt hierdoor uitschuring van de beschadigde plekken plaats. In TAW (1984) worden enkele waarnemingen genoemd waarbij aantasting van het buitentalud is opgetreden door uitschuring van de beschadigde plekken. Dit treedt op wanneer ter plaatse een waterpartij aanwezig is, zoals een strang in genoemde locaties. Aantasting van de grasbekleding kan soms aanzienlijk zijn, zowel qua grootte / oppervlakte van de aantasting als de opeenvolging van beschadigde plekken. Onderstaand zijn enkele uitersten beschreven:

- Nieuwe Merwede: grootte populatie, (TAW, 1981) op 1500 m in totaal 36 aantastingen cq. verzakkingen in grootte variërend van 1 bij 2 meter (2 m^2) tot 7 bij 13 meter (ca. 90 m^2). De gemiddelde grootte bedroeg ruim 15 m^2;
- Mariapolder: (TAW, 1981) op 1500 m in totaal 9 aantastingen cq. verzakkingen in grootte variërend van 3 bij 2 meter (6 m^2) tot 7 bij 5 meter (ca. 35 m^2). De gemiddelde grootte bedroeg ca. 17,5 m^2.

Ondermijning en aantasting harde bekleding

Op het buitentalud van een waterkering is harde bekleding aanwezig, indien sprake kan zijn van een harde stroming of forse golfaanval. Dergelijke bekleding vormt een cruciaal onderdeel van het waterkerend vermogen van de kering. Belangrijke constatering is dat graverij door muskusratten

tevens onder harde bekleding is waargenomen, met als resulterende schade de verzakking van de bekleding. Enkele waarnemingen betreffen bijvoorbeeld:

- Waalbandijk nabij Rossum (TAW, 1984): op het buitentalud is een harde bekleding (basalt) ingezakt over een lengte van totaal 30 m ten gevolge van een gang van een muskusrat (met een totale lengte van ca. 70 m);
- Waalbandijk nabij Druten (TAW, 1984): op het buitentalud is over een afstand van 100 m op diverse locaties de basaltbekleding ingezakt door graverij van muskusratten;
- Voorhavendijk Amsterdam - Rijnkanaal: over 30 en 60 m lengte diverse verzakkingen in bekleding buitentalud (klinkerkeien (TAW, 1984).

Waargenomen verzakking kruin (bij intrappen)

De graverij kan resulteren in verzakkingen van de kruin van de waterkering door het inzakken of intrappen van de bouw. Verzakking vindt overwegend plaats na het verlaten van de bouw door de muskusrat, en kan worden veroorzaakt door het intrappen door vee of inrijden met (landbouw-) voertuigen of door inwerking van neerslagwater. Tijdens het veldonderzoek zijn enkele van dergelijke inzakkingen aangetroffen. De grootst waargenomen inzakking (tijdens dit veldonderzoek) had een breedte van ca. 4 meter met een maximale aantasting van de kruin van ca. 1,5 meter (ca. 3 m vanaf oever), met een maximale diepte van ca. 0,3 m.

Tijdens een inventarisatie van een kade langs de Nieuwe Merwede (n.a.v. zware beschadiging kade door graverij) zijn op een kadevak van 1500 m op ca. 40 locaties verzakkingen aangetroffen, met max. verzakking ter plaatse van de kruin van 0,5 m (TAW, 1981).

Foto 4 Verzakte kruin van een boezemkade

Afkalving kade door combinatie schade aan bekleding en afwezigheid rietkraag
Een aantal waarnemingen betreft een vergaande afname van de kruinbreedte door afkalving (zie o.a. foto 6). Deze afkalving wordt veroorzaakt door golfslag, waarbij:

- enerzijds de erosiebestendigheid van het talud afneemt door beschadiging van de (gras-) bekleding;
- anderzijds de golfaanval heviger wordt door aantasting van de rietkraag (door vraat van de muskusrat aan de rietwortels).

Verbreding van de pijpen door verweking en golfslag
Gedurende de inventarisatie is opgemerkt dat de omvang van de verzakkingen omvangrijk lijkt ten opzichte van de gevonden diameter van de pijpen. Tijdens het veldonderzoek is geconstateerd dat de wanden van de pijpen sterk verweekt zijn. Daarbij geldt dat de waterstand in de pijpen fluctueert bij elke golf (windgolven en passerende schepen). Tijdens het veldonderzoek zijn uitmondingen van de pijpen met een diameter van ca. 0,3 m aangetroffen. Verondersteld wordt dat de golfslag in combinatie met de verweking van de wand een sterke uitschuring van de pijpen en gangen veroorzaakt, waardoor de diameter sterk toeneemt.

Schade aan bekleding na intensieve neerslag
Door beheerders van waterkeringen wordt opgemerkt dat relatief veel schade wordt waargenomen na perioden van veel neerslag. Door verzadiging van de toplaag en hierdoor een toename van het gewicht, storten bouwen in of vinden plaatselijk afschuivingen van de bekleding plaats. Deze schades hebben geen directe relatie met het optreden van maatgevende omstandigheden, zodat een rechtstreeks verband met de veiligheid evenmin aan de orde is. Dit type schade is uitsluitend relevant voor boezemkaden, hier wordt in hoofdstuk 4 nader op ingegaan.

Beverrattenschade Ooijpolder
In 2003 is forse schade aan de primaire waterkering langs het natuurgebied de Oude Waal in de Ooijpolder geconstateerd. De schade is veroorzaakt door graverij door beverratten, in voormalige holen van muskusratten. Langs de oeverlijn zijn over een lengte van 30 meter diverse holen aangetroffen. Foto 5 geeft een beeld van de schade. Het gangenstelsel liep gemiddeld tot 7 meter door in het dijklichaam. De afdekkende kleilaag van 1 à 1½ meter was geheel doorgraven, waardoor het gangenstelsel zich ook in het (kleiachtige) kernmateriaal van het dijklichaam bevond.

2.5 Aanvullende conclusies ten aanzien van denkbare schade door graverij

Op basis van bovenstaande beschrijving van de omvang van graverij en schade aan de waterkering worden in deze paragraaf enkele aanvullende veronderstellingen genoemd ten aanzien van denkbare schade aan de waterkering door graverij. De veronderstellingen richten zich op de waarschijnlijkheid van schade aan specifieke constructieve onderdelen van de waterkering. De veronderstelling zijn gebaseerd op interpretatie van het beeld van de graverij zoals ontstaan op basis van de inventarisatie, en niet op waarnemingen.

Perforatie van kleidek op zanddijken
Sommige dijken zijn opgebouwd uit een zandkern met een slecht doorlatende kleidek. De belangrijkste functie van dit kleidek is de erosiebestendigheid en het voorkomen van kwel van water in het dijklichaam. Voorbeelden van dergelijke dijken zijn bijvoorbeeld de dijken van de IJsselmeerpolders, dammen in Zeeland maar ook dijken langs grote rivieren zijn soms (lokaal) zo opgebouwd. Met name bij rivierdijkverbeteringen wordt het dijklichaam veelal opgebouwd van zand

en afgedekt met een kleilaag. De kleidekken hebben een dikte overwegend variërend tussen 0,5 tot ca. 1 meter, waarbij normaliter de deklaag op het binnentalud een geringere dikte heeft. Gezien de aard van de graverij is het zeer aannemelijk dat een muskusrat tot door deze kleidekken graaft.

Foto 5 Oude Waal: schade aan de oeverlijn als gevolg van graverij door een beverrat

Geen doorgraving afdekkende kleilaag in voorland

De aanwezigheid van een slecht doorlatende kleilaag in het voorland vormt soms een belangrijk onderdeel van de waterkering. Doorgravingen van dergelijke kleilagen resulteert in:

- een verhoging van de waterspanningen in de zandondergrond, wat de opdrijfveiligheid verlaagt (toename kans op grondbreuk) en de macro-stabiliteit binnenwaarts verlaagt;
- verkorting van de kwelweglengte buitendijks.

Op basis van de informatie uit de literatuur en interviews wordt geconstateerd dat ingangen en pijpen altijd vanuit het water omhoog de waterkering in zijn gericht. Soms is daarbij sprake van een horizontaal deel over een kleine afstand. Een omlaag gerichte (verticaal / diagonaal) ingang (dus vanuit het onderwater talud omlaag dieper de kering in) is in de literatuur niet aangetroffen. Dit beeld wordt bevestigd door informatie van de waterkeringbeheerders en muskusratbestrijders. Vanuit de veiligheid van een waterkering betekent dit dat de graverij zich nooit dieper zal bevinden dan de ingangsdiepte van de pijpen, overwegend dus 0,35 m minus waterpeil. Het doorgraven van diepere grondlagen is daarmee uitgesloten.

Belangrijke uitzondering betreft de situatie wanneer een beschoeiing aanwezig is. In dergelijke gevallen wordt soms wel vanaf de ingang eerst verticaal omlaag gegraven, teneinde onder de beschoeiing door te graven.

Geen of geringere aantasting taluds bij aanwezigheid stabiliteits- of pipingbermen
Op basis van het beeld van de graverij ontstaat de indruk dat bij aanwezigheid van stabiliteits- of pipingbermen, de graverij zich overwegend beperkt tot de berm zelf en niet doordringt tot in het dijklichaam. Voorwaarde daarbij lijkt dat de berm voldoende breed is (ca. > 5 m) en voldoende drooglegging heeft ten opzichte van het oppervlaktewater (ca. > 0,5 meter) meter). De indruk is dat in dergelijke situaties geen graverij in het talud wordt aangetroffen. Zoals genoemd betreft dit een indruk, specifieke waarnemingen zijn beperkt zodat dit niet met zekerheid kan worden gesteld. Bovendien geldt dit met name voor bermen ter plaatse van het binnentalud, waar het waterpeil veelal wordt beheerd. Ter plaatse van het buitentalud is ondanks de aanwezigheid van een berm wel graverij in het talud aangetroffen (TAW, 1981), mogelijk vindt deze graverij plaats tijdens of vanwege periodiek optredende hoge waterstanden.

Geen aantasting buitentalud bij zeeweringen
In de literatuur zijn geen waarnemingen aangetroffen van graverij aan de buitenzijde (zeezijde) van zeeweringen. Gezien de voorkeuren van een muskusrat en beverrat is het ook aannemelijk dat deze zich niet zullen vestigen aan de zeezijde, vanwege de golven en de sterke variatie in waterstanden.

2.6 Belangrijke onzekerheid ten aanzien van de graverij in waterkeringen

Alle waarnemingen betreffende de graverij door muskus- en beverratten en resulterende schade aan waterkeringen zijn gedaan in een situatie waarbij:
- muskus- en beverratten actief worden bestreden;
- de levensverwachting en gemiddelde leeftijd van muskus- en beverratten laag is;
- de populatiedichtheid niet maximaal is;
- ogenschijnlijk voldoende voedsel aanwezig is.

Eventuele stopzetting van de bestrijding en het met rust laten van de muskus- en beverratten resulteert naar verwachting in een toename van de populatie. Het is denkbaar dat ook het graafgedrag onder dergelijke omstandigheden wijzigt. Mogelijk resulteert dit in een afwijkende schade aan waterkeringen. Bedacht moet worden dat op basis van de waarnemingen in de huidige situatie niet kan worden uitgesloten dat de graverij door muskus- en beverratten ernstigere vormen kan aannemen, indien ze daartoe worden gedwongen door bijvoorbeeld gebrek aan leefruimte en voedsel op optimale locaties. Een gevolg kan zijn dat uitgeweken wordt naar minder optimale leefgebieden en dat het verspreidingsgebied uiteindelijk groter zal zijn dan nu op basis van de bestaande kennis wordt aangenomen. Deze leemte in kennis vormt een belangrijke onzekerheid bij deze studie. De invloed van de graverij op de veiligheid van waterkeringen wordt hierdoor mogelijk onderschat. Zie hieromtrent paragraaf 5.2.

3 VEILIGHEID VAN WATERKERINGEN

3.1 Inleiding

In voorliggend hoofdstuk is allereerst de veiligheid van een waterkering nader toegelicht. Vervolgens is kort ingegaan op de aanpak van de studie en de uitwerking van de veiligheidsanalyse aan de hand van de faalmechanismen, zoals de bij een veiligheidstoets van een waterkering beschouwd worden. Tot slot zijn de uitgangspunten bij de analyse ten aanzien van de schematisering van graverij en schade aan waterkeringen toegelicht.

3.2 Veiligheidsbenadering

De veiligheidsfilosofie van de waterkeringen in Nederland laat zich omschrijven als een afweging van risico's. In deze afweging spelen kosten (van aanleg en onderhoud) enerzijds en baten (het voorkomen van economische schade) anderzijds, een belangrijke rol. De veiligheidsnorm van een waterkering wordt uitgedrukt in termen van een overschrijdingskans. De veiligheid van een waterkering dient voldoende te zijn bij een waterstand met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de normfrequentie van de waterkering. Voor alle primaire waterkeringen in Nederland is de veiligheidsnorm vastgelegd in de Wet op de Waterkering (WoW, 1996). De normering van regionale keringen wordt momenteel uitgevoerd door de provincies.

Beheerders van waterkeringen zijn verantwoordelijk voor het toetsen en onderhouden van hun waterkering aan de hiervoor vastgestelde norm. Voor primaire waterkeringen geschiedt deze controle in de vorm van een vijfjaarlijkse toetsing op veiligheid tegen overstromen aan de hand van een vastgesteld toetsvoorschrift. In dit toetsvoorschrift (Voorschrift Toetsen op Veiligheid - VTV, 2002) staan de faalmechanismen beschreven waarop de waterkering beoordeeld moet worden. De beoordeling omvat een toetsing van de aanwezige sterkte en hoogte van een waterkering tegen de optredende maatgevende belastingen (hydraulisch en van overige aard). Teneinde de beoordeling uit te voeren zijn rekenregels opgesteld, aan de hand waarvan de toetsing wordt uitgevoerd. De toetsprocedure voor regionale keringen is momenteel in ontwikkeling.

3.3 Algemene aanpak beoordeling invloed

Zoals genoemd in hoofdstuk 1, worden verschillende typen waterkeringen onderscheiden. Belangrijke verschillen tussen de genoemde typen waterkeringen betreft onder andere de aard van de (hydraulische) belasting. Enige voorbeelden:

- de variatie in buitenwaterstand: boezemkaden (en kanaaldijken) worden overwegend permanent belast, door een waterstand die weinig lager is dan de maatgevende waterstand;
- bij zeeweringen en in mindere mate meerdijken vormt wind een belangrijke aanleiding voor de hoogwatersituatie, waardoor de hoogwatersituatie betrekkelijk kort duurt en golven een belangrijk aspect bij de veiligheidsbeoordeling vormen (qua bekleding en hoogte van de kering);
- Maaskaden dienen het water te keren tot een bepaalde waterstand (Toetspeil) en vervolgens te overstromen zonder te bezwijken.

Naast de aard van de belastingsituatie varieert (daarmee samenhangend) bovendien de geometrie / dimensie van de verschillende typen waterkering en soms de bodemopbouw. Gegeven deze verschillen varieert per type kering de invloed van de schade aan de kering door graverij op de

(afname van de) veiligheid van de waterkering. Zodoende is bij deze studie onderscheid gemaakt naar verschillende typen keringen. Beschouwd worden:

- primaire waterkeringen: rivierdijken (met onderscheid in het boven- en benedenrivierengebied en Maaskaden), meerdijken, zeeweringen;
- regionale waterkeringen: boezemkaden met onderscheid naar de kerende hoogte en compartimenteringskeringen.

Uiteraard verschilt ook binnen een type kering de geometrie en komen bijzondere situaties voor, zoals (onder meer):

- lokaal kan sprake zijn van een forse overdimensionering van de waterkering;
- variatie in de kerende hoogte door lokale laagtes in de maaiveldhoogte van het achterland, of zelfs de aanwezigheid van strangen en kolken of wielen binnen en/of buitendijks;
- aan- of juist afwezigheid van teensloten, hoofdzakelijk binnendijks;
- de aanwezigheid van bijzondere waterkerende constructies (damwanden, keermuren, drainages, etc.);
- de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten (bebouwing, kabels & leidingen, bomen, etc.);
- een afwijkende opbouw van het dijklichaam of ondergrond (zandkern met kleidek, etc.);
- een bescherming van de dijk door harde bekleding.

Voorts bevindt zich een waterkering niet altijd in of in de nabijheid van het leefgebied van muskus- en beverratten. De kans dat graverij in een waterkering plaats vindt is daarmee niet overal gelijk, niet gelijk voor de verschillende type keringen en niet gelijk voor verschillende dijkvakken van een type kering. Opgemerkt wordt dat de veiligheidsanalyse alleen ingaat op de invloed van graverij door muskus- en beverratten op de veiligheid van een waterkering, indien de waterkering door graverij is beschadigd. Niet ingegaan wordt op de vraag of beschadiging van de waterkering daadwerkelijk kan optreden.

De invloed die graverij heeft op de veiligheid is in deze studie per type waterkering bepaald voor een representatief profiel, waarbij:

- wel rekening is gehouden met de belangrijkste verschillen tussen de onderscheiden typen keringen;
- beperkt rekening is gehouden met realistische variaties in enkele specifieke kenmerken (boezemkade: grote en kleine kerende hoogte; opbouw dijklichaam: wel of geen zandkern, etc.);
- overwegend geen rekening is gehouden met lokale variaties binnen een type waterkering,
  voor enkele variaties qua geometrie, (bodem-) opbouw en belasting zijn de gevolgen van de graverij soms kwalitatief beschouwd;
- geen rekening is gehouden met eventuele overdimensionering van het dwarsprofiel,
  de afname van de veiligheid is steeds gekwantificeerd ten opzichte van een dwarsprofiel wat juist aan de veiligheidsnorm voldoet.

Bepaling invloed op veiligheid volgens toetssporen VTV en LTV[3] - regionale waterkeringen

Voor de bepaling van de invloed op de veiligheid zal per faalmechanisme een beoordeling worden uitgewerkt. Deze beoordeling wordt uitgevoerd op basis van de toetssporen zoals weergegeven in de (wettelijk vastgestelde) Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV), Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen - katern Boezemkaden (LTV-regionaal).

[3] VTV = Voorschrift Toetsen op Veiligheid (voor primaire waterkeringen) en LTV = Leidraad toetsten op Veiligheid (voor regionale keringen). Beide documenten worden toegepast voor de periodieke beoordeling van de veiligheidstoestand van de betreffende waterkeringen.

3.4 Aanpak per faalmechanisme

Niet alle toetssporen van de verschillende faalmechanismen resulteren in een “veiligheidsgetal”. Bij sommige beoordelingen resulteert slechts een kwalitatief oordeel of de veiligheid betreffende het beschouwde faalmechanisme wel of niet voldoet aan de gestelde veiligheidsnorm. Bij de beoordeling van de invloed van de graverij op de veiligheid is het effect zoveel mogelijk gekwantificeerd, uitgedrukt in een afname van de overschrijdingskans van een waterstand die met voldoende zekerheid kan worden gekeerd. Kwantificering is dus gebaseerd op een zogenaamde overbelasting-benadering. Ten aanzien van enkele belangrijke faalmechanismen worden onderstaand de uitwerkingen gedetailleerd gepresenteerd. Opgemerkt wordt dat per type kering soms een afwijkende uitwerking is gevolgd, bijvoorbeeld doordat voor de betreffende kering:

- de variatie in waterstand gering is;
- de schadefactor juist wel of niet constant is met het veiligheidsniveau van de kering;
- het oordeel voor een faalmechanisme soms uitsluitend het wel of niet voldoen aan de gestelde eisen betreft.

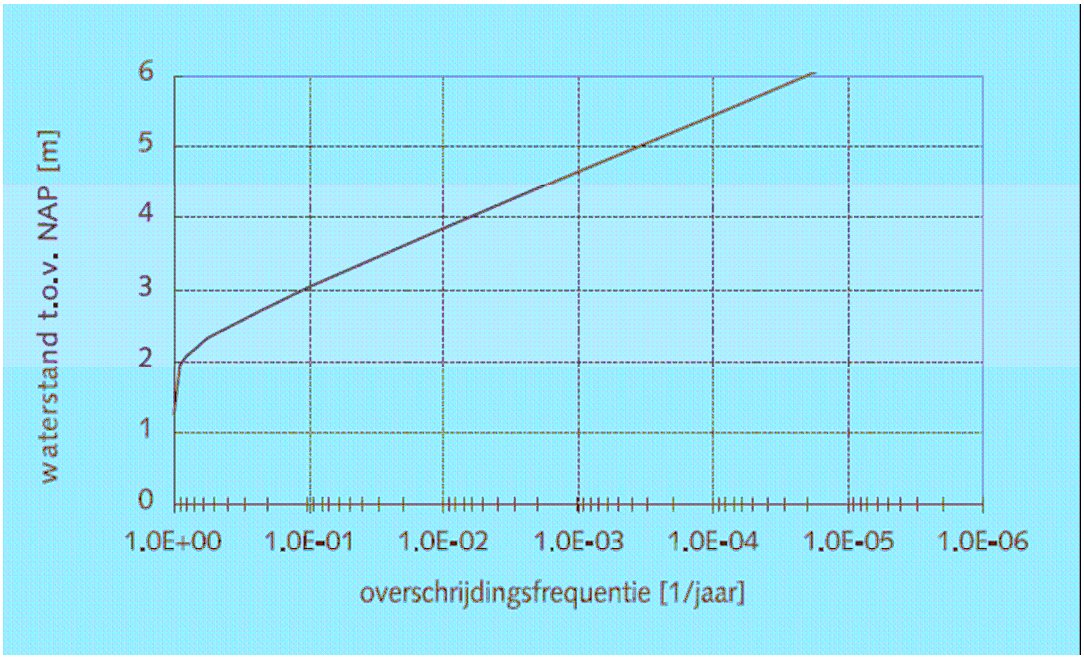
3.4.1 Hoogte

De hoogte van een dijk of kade wordt getoetst aan een maatgevende waterstand (MHW), behorende bij de veiligheidsnorm van de waterkering. Deze waterstand heeft een bepaalde kans van voorkomen, de overschrijdingsfrequentie. Ten aanzien van de hoogte worden twee faalmechanismen onderscheiden:

- overlopen van de waterkering: de kruin is lager dan MHW of Toetspeil;
- golfoverslag over de waterkering: door een te lage kruinhoogtemarge slaan golven over de kade, waardoor erosie van de kruin en het binnentalud kan optreden, alsmede de kade verweekt.

Een toename van het overloop- en overslagdebiet kan leiden tot erosie van kruin en binnentalud. Hierop wordt ingegaan bij het faalmechanisme bekleding.
De afname van de kruinhoogte als gevolg van graverij kan worden vertaald in een lagere maatgevende waterstand welke met voldoende veiligheid kan worden gekeerd. Op basis van de bijbehorende overschrijdingskans van die lagere waterstand kan de afname in veiligheid worden vastgesteld, uitgedrukt in termen van een overschrijdingskans. Een en ander is toegelicht in figuur 3.1.

figuur 3.1: Voorbeeld overschrijdingsfrequentie van maatgevende waterstanden



Opgemerkt wordt dat deze methode met name geschikt is voor primaire waterkeringen, of beter keringen met een grote (tot orde grootte 5 m) variatie van de buitenwaterstand. Boezemkaden kennen doorgaans een geringe (< 1 m) variatie in de buitenwaterstand voor verschillende overschrijdingsfrequenties. De absolute variatie in buitenwaterstand is gering, de relatieve variatie ten opzichte van de afmetingen van dergelijke kaden - en de kruinhoogtemarge of waakhoogte - kan wel aanzienlijk zijn. De hoogte van de maatgevende waterstand hangt voor dit type keringen veelal samen met een maalstop en scheefstand door opwaaiing in plaats van een afvoerdebiet op een rivier of stormvloed (kust en deels benedenrivieren). Voor boezemkaden wordt de koppeling tussen de hoogte en het veiligheidsniveau van de waterkering hoofdzakelijk beschrijvend uitgevoerd.

3.4.2 Macrostabiliteit binnenwaarts

Het faalmechanisme macrostabiliteit van een waterkering wordt gekenmerkt door een beschouwing van het evenwicht tussen een (hydraulische) belasting en de sterkte van de waterkering en ondergrond. Een diepe glijcirkel wordt hierbij maatgevend beschouwd.
Voor een representatieve kering wordt de stabiliteitsfactor berekend, voor zowel de situatie zonder als met graverij. De veiligheid van een waterkering tegen binnenwaartse macro-instabiliteit wordt getoetst aan de schadefactor. Deze schadefactor is gerelateerd aan de veiligheidsnormering van de waterkering. Door middel van deze relatie kan de afname van de stabiliteitsfactor gebruikt worden om de afname van het veiligheidsniveau van een waterkering vast te stellen. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden per type kering, omdat de vereiste schadefactor per type varieert.

- Boezemkaden (meest eenvoudig): o.b.v. min of meer gelijkblijvende waterstand (maalstop) wordt de stabiliteitsfactor getoetst aan de vereiste schadefactoren conform de IPO Richtlijn Normering. Vanuit deze Richtlijn kan op basis van de veiligheidsklasse (IPO I t/m V) direct het nieuwe veiligheidsniveau worden afgeleid.

- Rivierdijken - bovenrivierengebied[4]: vastgesteld zal worden bij welke waterstand de stabiliteit nog juist voldoet, hierbij wordt een schadefactor van 1,1 gehanteerd (conform het VTV). Op basis van de bijbehorende overschrijdingskans van die lagere waterstand kan de afname in veiligheid worden uitgedrukt in een toename van de overschrijdingskans.
- Rivierdijken - benedenrivierengebied: voor dit type keringen is de vereiste schadefactor afhankelijk van het veiligheidsniveau. Aldus ontstaat bij bovenstaand genoemde werkwijze een iteratief proces, met als belangrijke beperking dat voor veiligheidsniveau's beneden 1/1250 geen schadefactor is vastgesteld.

De modellering van de graverijen ten aanzien van de binnenwaartse macrostabiliteit zal plaatsvinden op basis van het verhogen van de freatische lijn in de dijk/kade. Hierbij wordt verondersteld dat ter plaatse van het buitentalud het buitenwater 2 à 3 m (afhankelijk van taludhelling, zie figuur 3.2) verder in de dijk/kade indringt dan in de situatie zonder graverij. Deze indringing treedt integraal op over de gehele breedte van een denkbaar glijvlak (ca. 50 meter), gezien de denkbare omvang en intensiteit van bouwen. Door toename van de waterspanningen nemen de korrelspanningen in het kadelichaam af, resulterend in een afname van de stabiliteitsfactor. De mate waarin de stabiliteitsfactor afneemt ten opzichte van de oorspronkelijke situatie (zonder graverij) is hierbij representatief beschouwd voor de afname van het veiligheidsniveau (procentuele afname).

3.4.3 Macrostabiliteit buitenwaarts

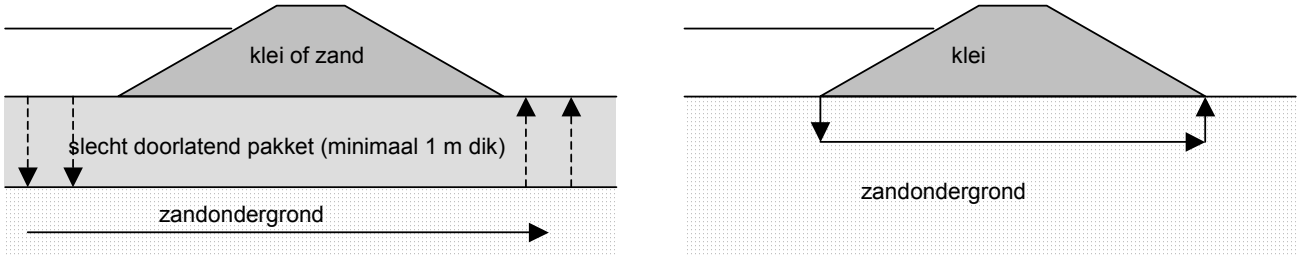
Evenals bij macrostabiliteit binnenwaarts wordt voor een representatieve kering de stabiliteitsfactor berekend, voor zowel de situatie zonder als met graverij. De veiligheid van een waterkering tegen binnenwaartse macro-instabiliteit wordt getoetst aan de schadefactor. De maatgevende situatie voor de beschouwing van dit faalmechanisme betreft een snelle val van de buitenwaterstand na het optreden van een hoogwatersituatie. Hierbij geldt dat instabiliteit van het buitentalud bij een daling van de waterstand in beginsel vanaf elk niveau van de piekwaterstand kan optreden. Met andere woorden, ten aanzien van dit faalmechanisme bestaat geen directe koppeling met een maatgevende waterstand (en bijbehorende overschrijdingskans). De afname van de veiligheid door graverij kan derhalve niet worden uitgedrukt in een toename van de overschrijdingskans. Voor dit mechanisme zal het effect worden gekwantificeerd in termen van een afname van de stabiliteitsfactor.

3.4.4 Piping en heave

Stabiliteitsverlies door piping kan ontstaan wanneer gronddeeltjes uit de onderliggende grondlagen worden meegevoerd door een kwelstroom bij (langdurige) hoge waterstanden. Onder heave wordt het ontstaan van drijfzand bij verticaal uittredend grondwater verstaan. Een belangrijke definitie ten aanzien van beide mechanismen omvat het uitgangspunt dat beide processen betrekking hebben op een onder het dijklichaam aanwezige zandlaag. Stabiliteitsverlies tengevolge van stroming van water door het dijklichaam wordt beoordeeld onder het spoor microstabiliteit. In figuur 3.2 zijn de twee belangrijkste situaties waarop piping van toepassing is grafisch toegelicht.

[4] In het rivierengebied wordt onderscheid gemaakt tussen dijken die al dan niet in het invloedsgebied van getijwerking gelegen zijn. Bovenrivieren kennen uitsluitend belasting uit waterstandsfluctuaties in rivierstanden, benedenrivieren worden daarnaast blootgesteld aan fluctuaties in waterstandsbelasting ten gevolge van getijden.

figuur 3.2 faalmechanisme piping

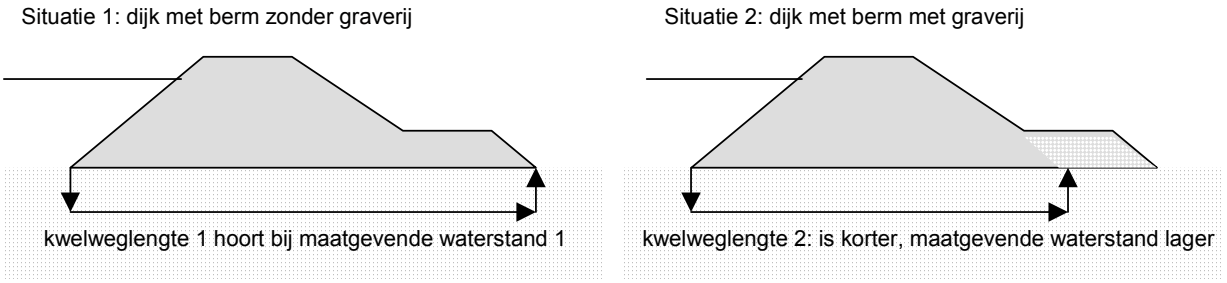


Bij dit faalmechanisme is een deel van de beoordeling gecorreleerd aan de optredende waterstand, zodat de afname van de veiligheid kwantitatief in termen van een toename van de overschrijdingskans kan worden uitgedrukt. Bij de gevolgde werkwijze is de overschrijdingsfrequentie vastgesteld van de maximale waterstand waarbij de waterkering inclusief graverij door muskusratten of beverratten nog voldoende veilig is.

Bij de beoordeling wordt allereerst vastgesteld of schade door graverij een verkorting van de aanwezige kwelweglengte kan veroorzaken, door:
- het doorgraven van een afdekkende kleilaag in het buitendijkse gebied;
- het doorgraven van een afdekkende kleilaag binnendijks;
- een gewichtsafname van een pipingberm, waardoor grondbreuk of heave kan optreden.

Indien een verkorting denkbaar is (uitsluitend in geval van de aanwezigheid van een pipingberm), is vervolgens vastgesteld tot welke maximale waterstand de waterkering wel voldoende veilig is cq. de veiligheid juist gelijk is aan de (oorspronkelijke) veiligheid van een waterkering zonder graverij bij een maatgevende hoogwater situatie. De graverij wordt op deze wijze vertaald in een maximaal toelaatbare maatgevende hoogwaterstand. Op basis van de bijbehorende overschrijdingskans van die lagere waterstand kan de afname in de veiligheid in termen van een toename van de overschrijdingskans worden uitgedrukt.
Verkorting van de kwelweglengte in geval van aanwezigheid van een pipingberm hangt samen met het doorgraven van deze berm. De berm verliest hierdoor gewicht dat noodzakelijk is voor de opdrijfveiligheid. Een en ander is verduidelijkt in figuur 3.3.

figuur 3.3 Verkorten kwelweglengte als gevolg van graverij in pipingberm



3.4.5 Microstabiliteit

Microstabiliteit (of interne erosie) betreft de stabiliteit van grondlagen van zeer beperkte dikte aan het oppervlak van het binnentalud onder invloed van door een grondlichaam stromend grondwater. Bij microstabiliteit komt de bedreiging voor de stabiliteit van binnen: eventuele problemen worden veroorzaakt door een hoge freatische lijn in het grondlichaam. Dit is anders dan de stabiliteit van het binnentalud onder invloed van golfoverslag; hier komt de bedreiging van buiten.

Het faalmechanisme microstabiliteit beschouwt:

- de weerstand van de kleibekleding op het binnentalud tegen opbarsten en afschuiven, ten gevolge van een hoge (grond-) waterdruk in het dijklichaam;
- de weerstand van de losse gronddeeltjes tegen uitspoelen, op basis van het hydraulisch (uittrede-) verhang van het grondwater in het dijklichaam.

Dit faalmechanisme is evenals de binnenwaartse macrostabiliteit gerelateerd aan de verhoogde freatische lijn door de waterkering ten gevolge van graverij aan de buitenzijde. De hoogte van het sijpelniveau in het binnentalud stijgt, waardoor de kans op het optreden van micro-instabiliteit toeneemt. De controle op dit mechanisme omvat een oordeel wel of niet stabiel tegen het optreden van micro-instabiliteit en is niet op deze wijze gekoppeld aan een overschrijdingsfrequentie. De gevolgen van graverij op dit faalmechanisme worden derhalve beschrijvend weergegeven.

3.4.6 Bekleding

De belangrijkste functie van de bekleding van een waterkering betreft de bescherming van het dijklichaam tegen erosie door stroming en golven (buitentalud) en door overslaand water (kruin en binnentalud). Verder levert de bekleding soms een bijdrage aan de waterdichtheid van de kering.

Verschillende typen bekleding worden onderscheiden, grofweg in te delen in harde en grasbekleding. De bekleding van een waterkering is altijd opgebouwd uit meerdere lagen, die tezamen de bekledingsconstructie vormen. De dikte en samenstelling van de bekleding hangt samen met de belasting waarop de bekleding ontworpen is.
Indien één van de bekledinglagen bezwijkt betekent dit niet noodzakelijk dat de veiligheid van de gehele kering in gevaar is. Het doel van de bekleding is zorgdragen dat de aantasting van het dwarsprofiel tijdens maatgevende omstandigheden zodanig binnen de perken blijft dat geen gevaar voor bresvorming optreedt.
Ten aanzien van het buitentalud wordt opgemerkt dat indien de bekleding beschadigd raakt en bezwijkt, rekening gehouden mag worden met de erosiebestendigheid van de kern van de waterkering. Wanneer de kern bestaat uit klei of keileem, heeft het dijklichaam soms nog voldoende weerstand om bresvorming te voorkomen. Indien de kern van de kering uit zand bestaat moet echter wel degelijk rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat bresvorming ontstaat. Bresvorming kan uiteindelijk leiden tot het bezwijken van de waterkerende functie van de dijk of kade.

3.5 Uitgangspunten bij schematisering graverij en schade aan waterkering

Deze paragraaf beschrijft de verschillende uitgangspunten zoals die zijn gehanteerd bij de schematisering van de schade aan de waterkering door graverij van muskus- en beverratten.

Schade door graverij wordt goed hersteld (in het kader van Beheer & Onderhoud)
In een situatie zonder beheer en onderhoud van de waterkering zal schade door graverij resulteren in het uiteindelijk bezwijken van de kade. Dit gebeurt deels indirect, schade aan de kering door graverij (zoals schade aan het buitentalud en de bekleding) faciliteert de verdere aantasting van de waterkering door andere mechanismen, zoals afkalving van de kering door golfaanval. In een situatie zonder herstel in het kader van beheer en onderhoud lijkt het dus meer de vraag hoe snel de aantasting verloopt en hoe lang het bezwijken van de kering op zich laat wachten. Dat de kering uiteindelijk bezwijkt staat daarbij op voorhand vast.

Foto 6 Afgekalfde kade in Akkrum na aantasting buitentalud door graverij

Belangrijk uitgangspunt bij deze studie is dat schade door graverij wordt hersteld. Doorgaande aantasting zonder herstel wordt niet beschouwd. Het herstel van de schade vindt bovendien plaats binnen afzienbare tijd cq. tenminste voordat een evident onveilige situatie optreedt. De beschikbare reactietijd is daarbij afhankelijk van de aard van de schade en bijbehorend faalmechanisme, en kan variëren van het direct moeten uitvoeren van (nood-) maatregelen tot het herprioriteren van de kade in het langjarige onderhoudsprogramma. Dit uitgangspunt stelt dus nadrukkelijk eisen aan het regiem van Beheer & Onderhoud van de waterkering door de waterkeringbeheerder. Geconstateerd is dat thans niet bij alle waterkeringbeheerders het Beheer & Onderhoud programma voorziet in dergelijke

mogelijkheden tot herprioritering van de kaden op basis van het aspect schade door graverij van muskus- en beverratten.

Ten aanzien van het herstel wordt in relatie tot de omvang van de graverij en de schade opgemerkt dat graverij veelal niet direct wordt waargenomen. De denkbare omvang van graverij en schade aan de waterkering betreft zodoende een situatie zoals die kan ontstaan in de periode vanaf de start van de graverij tot aan het herstel na ontdekking. Ten aanzien van deze periode is het denkbaar dat een muskus- of beverrat gedurende die periode een of enkele keren is verhuisd, zodat meerdere bouwen op korte onderlinge afstand kunnen voorkomen.

Afgeleid uitgangspunt is vervolgens dat de schade door graverij goed wordt hersteld, zodat ter plaatse van de graverij geen zwakke plek resteert. Onder een goed herstel wordt bijvoorbeeld verstaan:
- het volledig dichten van alle gangen, pijpen en nestkommen van de bouw;
- toepassing van de juiste grondsoorten en bij een goede verdichting;
- herstel van de bekleding.

Dit uitgangspunt stelt strenge eisen aan de uitvoering van het herstel, en zal met name bij permanent waterkerende waterkeringen complex zijn (in verband met de gedeeltelijk onder water ligging van de pijpen.

Intensiteit graverij en resulterende schade: eindsituatie populatie zonder bestrijding
Gezien het schaalniveau van sommige faalmechanismen (m.n. macrostabiliteit), gaat het bij de beoordeling van de ernst van de graverij niet alleen om de dimensie van graverij in dwarsprofiel, maar tevens om de intensiteit van de graverij over een lengtestrekking van de kering. Deze intensiteit is mede afhankelijk van de dichtheid van de muskusrat- of beverratpopulatie, en de frequentie van het (groot) onderhoud aan de kade. Ten aanzien van deze intensiteit wordt de situatie beschouwd met een natuurlijke dichtheid aan muskusratten- en beverratten, zoals die kan ontstaan na stopzetting van de bestrijding. Dit uitgangspunt is alleen relevant bij de beschouwing van de macrostabiliteit van het binnentalud.

Ook “lange termijn” schade
Graverij door muskus- en beverratten wordt niet direct waargenomen, maar kan zelfs enige jaren onopgemerkt blijven. Bij de schematisering van de graverij wordt zodoende niet alleen de directe omvang van de graverij beschouwd, maar tevens schade zoals die ontstaat door de langdurige aanwezigheid van de graverij. Dit betreft bijvoorbeeld:
- uitdroging van de grond rondom de nestkom en pijpen,
- verbreding van de pijpen (m.n. t.p.v. de uitmondingen) door erosie door stromend water (immers: bij elke golf fluctueert de waterstand in de pijpen, wat een significante belasting vormt).

Onder langdurig wordt verstaan de periode waarin de graverij niet wordt waargenomen en hersteld. Voorlopig uitgangspunt is 4 jaar, mogelijk nog afhankelijk van de grondsoort (en het type kering!).

Zowel directe als indirecte gevolgen voor de veiligheid van de waterkering
De graverij vormt niet alleen een directe aantasting van de waterkering, door deze aantasting zullen ook secundaire effecten optreden. Te denken valt aan:
- beïnvloeding waterspanningen;
- aantasting kruin door afkalving (permanent waterkerende keringen);
- uitschuring van het talud ter plaatse van de beschadigde plek.

Bij de schematisering zullen tevens deze indirecte invloeden worden meegenomen, indien relevant voor het betreffende faalmechanisme en realistisch qua veronderstelling betreffende het herstel in het kader van beheer & onderhoud.

3.6 Algemene uitgangspunten bij beoordeling gevolgen voor veiligheid

Reële combinatie belastingsituatie en omvang graverij
Bovenstaand is als uitgangspunt genoemd dat schade aan de waterkering binnen afzienbare tijd na ontdekking goed wordt hersteld. Ten aanzien van de schematisering van de maatgevende graverij resulteert dit uitgangspunt in een verschil tussen waterkeringen die min of meer permanent worden belast (zoals boezemkaden en kanaaldijken) en waterkeringen die niet permanent worden belast (rivier, zee- en meerdijken). Dit verschil betreft de aanwezigheid van zichtbare schade tijdens het optreden van een hoogwater – situatie. Onder zichtbare schade wordt verstaan een ingetrapte kruin, verzakking in het talud en schade aan de bekleding, mogelijk verzakking van harde bekleding. Hierbij geldt dat tijdens een hoogwatersituatie:

- bij permanent belaste waterkeringen: zowel zichtbare als nog niet zichtbare of onzichtbare schade aanwezig kan zijn;
- niet-permanent belaste keringen: zichtbare schade niet aanwezig zal zijn, tenzij deze vorm van schade kan ontstaan tijdens de belastingsituatie zelf (bijv. doordat de schade door een hoge waterstand of overvloedige neerslag zichtbaar wordt).

Immers, conform het gehanteerde uitgangspunt is zichtbare schade goed hersteld voorafgaand aan de hoogwatersituatie. De veronderstelling van het optreden van dergelijke schade kort voorafgaand of juist tijdens de hoogwatersituatie wordt als te conservatief (kans op kans) beschouwd, en derhalve verwaarloosd, tenzij het zichtbaar worden van dergelijke schade juist door een hoogwatersituatie of neerslag wordt veroorzaakt.

Belastingsituatie “droogte”
De gebeurtenissen met veenkaden gedurende de zomer van 2003 hebben aangetoond dat langdurige droogte de sterkte van veenkaden of kaden op veenondergrond kan aantasten. Langdurige droogte is hierdoor als nieuwe belastingssituatie erkend. Binnen de studie zal tevens aandacht worden besteed aan de gevolgen van de graverij voor de veiligheid van de betreffende typen waterkering ten aanzien van deze belastingsituatie.

Schematisering graverij per faalmechanisme
Het is denkbaar dat graverij zowel gunstige als ongunstige effecten op de veiligheid van de waterkering heeft. Conform de gangbare praktijk bij de toetsing van waterkeringen wordt bij de schematisering uitsluitend rekening gehouden met ongunstige effecten van graverij. Het is ongewenst en in de gangbare praktijk ook ongebruikelijk of feitelijk zelfs niet toegestaan in de gangbare toetspraktijk, om in de toetsing rekening te houden met gunstige effecten van graverij zoals die dan gelijktijdig met de ongunstige effecten zouden moeten optreden tijdens de maatgevende belastingsituatie.

Ten aanzien van deze studie houdt dit uitgangspunt in dat niet een algemene schematisering van de graverij wordt vastgesteld, maar per faalmechanisme een conservatieve schematisering zal worden opgesteld. Daarbij worden steeds uitsluitend ongunstige effecten van graverij op de verschillende constructieve elementen van de waterkering beschouwd.

Ter illustratie een voorbeeld: beschouwd zij een waterkering waar door graverij aan de binnenzijde een kleilaag is geperforeerd. Het uitgangspunt van een doorgraven kleilaag heeft:
- ongunstige invloed op de veiligheid t.a.v. het faalmechanisme piping: verkorting kwelweglengte;
- gunstige invloed op de veiligheid t.a.v. de macrostabiliteit van het binnentalud: de doorgraving kan een afname van de wateroverspanning onder de kleilaag veroorzaken.

Conform genoemd uitgangspunt zal in de beschouwing wel rekening worden gehouden met deze graverij bij de beoordeling t.a.v. het faalmechanisme piping, terwijl het gunstig effect ten aanzien van macrostabiliteit wordt verwaarloosd.

Beoordeling veiligheid zonder beheersmaatregelen <u>tijdens maatgevende belastingsituatie</u>
Normaliter zullen tijdens (bijna) maatgevende belastingsituaties inspecties worden uitgevoerd. Zonodig zullen (nood-) maatregelen worden getroffen. De beoordeling van de veiligheid houdt geen rekening met het treffen van eventuele (nood-) maatregelen (zoals aanbrengen van zandzakken) teneinde de invloed van bepaalde gevolgen van de graverij te beperken. Deze randvoorwaarde geldt universeel bij de toets op veiligheid van de verschillende typen keringen.

Uitsluitend beoordeling ten aanzien van waterkerende functie van een waterkering
Naast een waterkerende functie vervullen waterkeringen soms tevens andere functies. Dit betreft bijvoorbeeld een transportfunctie, waarbij het speciaal tijdens maatgevende situaties van belang is dat over de waterkering transport van materiaal en materieel kan plaatsvinden. Dergelijk transport is veelal gerelateerd aan de uitvoering van noodmaatregelen. Voorts geldt dat sommige keringen worden gebruikt als evacuatieroute. Voor dergelijke functies gelden specifiek eisen aan de sterkte en vervormingen van de waterkering tijdens maatgevende situaties. Het is waarschijnlijk dat graverij door muskusratten en de resulterende schade aan de waterkering tevens invloed heeft op de mate waarin de waterkering deze nevenfuncties kan vervullen. Omdat dit echter geen direct veiligheidsaspect betreft in de zin van overstromen, worden de gevolgen van graverij ten aanzien van deze functies niet beschouwd.

Graverij niet verdisconteerd in sterkte – eigenschappen vergraven grondlaag
In de vergraven grondlaag is een deel van het volume grond verdwenen. Ten aanzien van de stabiliteit van de waterkering houdt dit in dat een deel van het dijklichaam:
- geen bijdrage levert aan de weerstand tegen afschuiven;
- een afwijkend volumiek gewicht heeft.

Derhalve lijkt een reductie van de sterkte – eigenschappen van de grondlaag noodzakelijk. Uit een globale beschouwing is afgeleid dat graverij in de oppervlakkige grondlaag op het talud resulteert in een verlies van het volume grond van 3 à 10 %, afhankelijk van het type kering (met name de dimensie). Uit een verkennende stabiliteitsanalyse is vervolgens gebleken dat de berekende stabiliteitsfactor niet noemenswaardig wordt beïnvloed door deze reductie van de sterkte – eigenschappen, omdat:
- sterkte: het glijvlak zich niet in de beschouwde grondlaag bevindt;
- gewicht: de afname van het gewicht zowel een positieve (minder aandrijving) als negatieve (afname effectieve korrelspanning) gevolgen heeft, het netto – resultaat hiervan is verwaarloosbaar.

Reductie van de sterkte – eigenschappen van de vergraven grondlaag is zodoende niet toegepast bij de berekening van de macrostabiliteit, zowel van het binnen- als buitentalud.

3.7 Implicaties van gehanteerde uitgangspunten voor beheer waterkering

Bovenstaande uitgangspunten ten aanzien van de schematisering van de graverij en schade aan de waterkeringen zijn gebaseerd op enkele aannamen ten aanzien van het beheer van de waterkering. Veelal vormen deze aannamen aanvullende eisen aan dit beheer. Dit is van belang bij eventuele afwegingen betreffende de stopzetting van de muskusrat- en beverratbestrijding. Vanwege dit belang worden volledigheidshalve deze eisen onderstaand beschreven:

- frequente inspectie waterkeringen, ook gericht op schade door graverij;
- afdoende beheer en onderhoud, met tijdig en goed herstel van schade;
- wellicht aantasting van de kering bezien vanuit nevenfuncties, mogelijk kan de kering niet of slechts beperkt worden gebruikt voor deze nevenfuncties (zoals transport materiaal / materieel, evacuatie).

3.8 Schematisering van de graverij in waterkeringen

Uit de inventarisatie in hoofdstuk 2 van graverij door muskusratten en beverratten volgt dat graverijschade aan verschillende zijden van een waterkering kan worden aangetroffen. Drie situaties kunnen worden onderscheiden, te weten:

1. Graverij aan de buitenzijde;
2. Graverij aan beide zijden (al dan niet door muskus – en/of beverratten);
3. Graverij aan de binnenzijde van de waterkering.

Deze verschillende (combinaties van) graverijen hebben (per combinatie) een ander effect op de veiligheidssituatie van waterkeringen en zijn derhalve afzonderlijk geschematiseerd en beschouwd. Daarnaast speelt de omvang van de graverij ten opzichte van de omvang van de waterkering een belangrijke rol ten aanzien van het veiligheidsaspect. De omvang van de waterkering is meegenomen in de typering van verschillende waterkeringen zoals omschreven in hoofdstuk 4. De omvang van de graverij hangt samen met de populatiegrootte. De uitgangspunten ten aanzien van de omvang van de populatie zijn in §3.5 behandeld. Ten overvloede wordt opgemerkt dat indien de uitgangspunten ten aanzien van populatieomvang wijzigen, dit consequenties heeft voor de schematisering van de graverij.
Onderstaand volgt de schematisering van de verschillende graverijen in waterkeringen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte effecten op de veiligheid van waterkeringen en hiermee samenhangende faalmechanismen. Een samenvatting van het effect van de onderscheiden typen graverij en de invloed van de effecten op de verschillende typen waterkering is opgenomen in tabellen 3.8.1 en 3.8.2.

ad.1 Graverij aan de buitenzijde van waterkeringen
Bij graverij aan de buitenzijde wordt uitsluitend uitgegaan van schade door muskusratten en beverratten. Door de verschillende wijze van graven is het voor de directe effecten op de veiligheid van waterkeringen zinvol onderscheid te maken tussen muskusratten- en beverrattengraverij. Voor graverij aan de buitenzijde worden drie typen effecten geïdentificeerd, waarvan twee directe en één indirect effect.

a. **Kruinverlaging door instorten of inzakken van pijpen of nestkommen**. Dit wordt als <u>direct</u> effect beschouwd omdat dit rechtstreeks gevolg heeft op het overslag- en overloopdebiet over de kering. Hiermee heeft dit type schade een <u>direct</u> verband met de faalmechanismen kruinhoogte en bekleding van de binnenzijde van de dijk of kade. Wel wordt opgemerkt dat

kruinverlaging uitsluitend aan de orde is indien de graverij zich tot in de kruin van de kering bevindt. Uit de geselecteerde uitgangspunten (§3.5) volgt dat dit type schade van belang is voor waterkeringen met geringe omvang (alle boezemkaden en maaskaden). Opgemerkt wordt dat beverratten niet verondersteld worden zich te vestigen in boezemkaden vanwege de geringe drooglegging van dit type kaden. Dit type schade door beverratten wordt uitsluitend in maaskaden geschematiseerd (doorgaans droge kade van geringe omvang);

b. **Erosie van de buitenzijde door perforatie van de beschermende buitenbekleding**. Dit wordt als <u>direct</u> effect onderscheiden omdat het doorgraven van het de buitenbekleding rechtstreeks leidt tot afname van de erosiebestendigheid van de waterkering. Wanneer de buitenbekleding zijn weerstand tegen erosie verliest kan mogelijk bresvorming optreden, met het bezwijken van de waterkering tot gevolg. Het al dan niet optreden van bresvorming hangt samen met de reststerkte van de kern van de dijk. Indien de kern van de waterkering bestaat uit zand, wordt bresvorming mogelijk geacht, bij een kern van klei of keileem wordt er van uitgegaan dat de erosiebestendigheid hiervan voldoende is om bresvorming tegen te gaan.
   Dit type schade is mogelijk in alle typen waterkeringen. Wel wordt opgemerkt dat de perforatie van de bekleding dusdanig moet zijn dat erosie door golven en/of stroming optreedt. Op basis van de waarnemingen van graverij door beverratten wordt de graafintensiteit (aantal gangen per m^2) hiervoor niet hoog genoeg geacht, zodat dit type schade uitsluitend aan muskusratten wordt toegeschreven;

c. **Verhoging freatische grondwaterstand door afname waterremmend vermogen buitenbekleding**. Een verhoging van de freatische grondwaterstand in de dijk of kade wordt op zich niet als faalmechanisme aangemerkt. Wel heeft deze verhoging negatieve invloed op de veiligheid van waterkeringen door afname van de weerstand tegen macro-instabiliteit binnenwaarts, microstabiliteit en afschuiven van de bekleding aan de binnenzijde. De hiermee samenhangende schade wordt derhalve als <u>indirect</u> effect geschematiseerd.
   De verhoging van de freatische lijn door vermindering van het waterkerend vermogen van de buitenzijde van de waterkering speelt bij alle typen dijken en kaden een belangrijke rol. Ondanks de verschillende wijze van graverij van muskusratten en beverratten wordt dit type schade op dezelfde wijze geschematiseerd. Niet de vorm van de graverij of de intensiteit of de hoogte waarop graverij plaatsvindt is onderscheidend, maar het feit dat de bekleding op welke wijze dan ook zijn waterkerend vermogen verliest resulteert in het beschreven effect.

ad. 2 Graverij aan beide zijden van de waterkering

Bij tweezijdige graverij in waterkeringen wordt voor de schade aan de buitenzijde uitgegaan van de bovenstaande beschrijving van de graverij door muskusratten en beverratten. Voor de graverij aan de binnenzijde van de kering is het niet noodzakelijk dat deze is veroorzaakt door muskusratten, beverratten of overige gravers als mollen en konijnen. In het kader van voorliggend onderzoek is er van uitgegaan dat sprake is van muskusratten of beverrattengraverij, maar rekening dient te worden gehouden met graverij door overige gravers. Ook bij tweezijdige graverij worden twee directe en één indirect type effect geïdentificeerd.

a. **Kruinverlaging door instorten of inzakken van pijpen of nestkommen**. Voor dit directe type effect en de beschrijving van bijbehorende faalmechanismen wordt verwezen naar de beschouwing ten aanzien van graverij aan de buitenzijde. Wel wordt opgemerkt dat graverij aan de binnenzijde leidt tot vermindering van de erosiebestendigheid van het binnentalud. Bij toename van het overslag- en/of overloopdebiet kan hiermee de omvang van de schade toenemen.
   Ook voor tweezijdige graverij geldt dat dit uitsluitend relevant is bij keringen met geringe omvang en dat alleen al graverij door muskusratten kan leiden tot het geschetste schadebeeld;

b. **Erosie van de buitenzijde door perforatie van de beschermende buitenbekleding**. Ook voor de beschrijving van dit directe mechanisme wordt verwezen naar de beschrijving van graverij aan de buitenzijde.
Dit type schade is mogelijk in alle typen waterkeringen en wordt ook hier uitsluitend aan de gevolgen van muskusrattengraverij toegeschreven;

c. **Verhoging freatische grondwaterstand door afname waterremmend vermogen buitenbekleding**. Naast de verhoging van de freatische grondwaterstand in de dijk of de kade zoals beschreven bij graverij aan de buitenzijde, kan binnendijkse graverij (door kortsluiting) leiden tot een toename van het debiet door de waterkering. Rekening moet worden gehouden met verschillende faalprocessen in keringen met een zandkern of een kleikern.
Dit effect speelt een rol bij alle typen waterkeringen en is van toepassing op zowel muskusratten- als beverrattengraverij (waarbij aan de binnenzijde rekening gehouden kan worden met graverij door mollen of konijnen).

ad. 3 Graverij aan de binnenzijde van de waterkering
Bij graverij door muskusratten of beverratten aan de binnenzijde van de dijk of kade neemt de waterdoorlatendheid van het binnentalud toe. Dit heeft niet noodzakelijkerwijs een negatieve invloed op de veiligheidstoestand van waterkeringen. Indien de kruin en het buitentalud volledig intact zijn, is geen sprake van een toename van de (hydraulische) belasting op de kering. Eventuele schade van het binnentalud hangt niet samen met het optreden van maatgevende (hoogwater) omstandigheden en wordt derhalve ook niet geschematiseerd.
Een uitzondering hierop vormen maaskaden, die zijn ontworpen op een zeker overslagdebiet. Schade aan de binnenbekleding kan hierbij leiden tot erosie van de bekleding en uiteindelijk tot bresvorming en bezwijken van de kade.

tabel 3.8.1 Muskusratten: Invloed type graverij per faalmechanisme op de verschillende typen kering

faalmechanisme / graverij	directe effecten		indirecte effecten (door toename freatische lijn)		
	kruinhoogte erosie binnentalud	erosie buitentalud	macrostabiliteit (binnen en buiten)	microstabiliteit bekleding binnen	piping
buitenzijde	boezemkaden maaskaden (1a)	alle waterkeringen (1b)	alle waterkeringen (1c)	alle waterkeringen (1c)	geen
tweezijdig	boezemkaden maaskaden (2a)	alle waterkeringen (2b)	alle waterkeringen 2c)	alle waterkeringen 2c)	geen
binnenzijde	boezemkaden maaskaden (3a)	geen	geen	geen	geen

tabel 3.8.2 Beverratten: Invloed type graverij per faalmechanisme op de verschillende typen kering

faalmechanisme / graverij	directe effecten		indirecte effecten (door toename freatische lijn)		
	kruinhoogte erosie binnentalud	erosie buitentalud	macrostabiliteit (binnen en buiten)	microstabiliteit bekleding binnen	piping
buitenzijde	geen	geen	alle waterkeringen (1c)	alle waterkeringen (1c)	geen
tweezijdig	geen	geen	alle waterkeringen 2c)	alle waterkeringen 2c)	geen
binnenzijde	geen	geen	geen	geen	geen

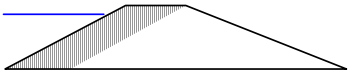
Nummers in tabel (1a, 1b, etc.) verwijzen naar onderstaande figuren, waarbij de nummering van de figuren overeenkomt met het type graverij conform:

1. Graverij aan de buitenzijde;
2. Graverij aan beide zijden;
3. Graverij aan de binnenzijde van de waterkering.

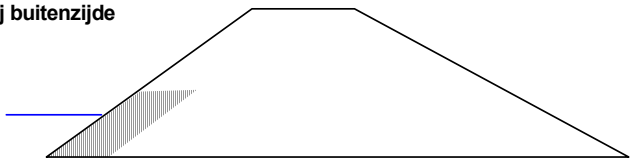
Het type effect is weergegeven analoog aan:

a. Kruinverlaging door instorten of inzakken van pijpen of nestkommen;
b. Erosie van de buitenzijde door perforatie van de beschermende buitenbekleding;
c. Verhoging freatische lijn door vermindering waterkerend vermogen buitenbekleding.

figuur 1a: kruinhoogte en erosie binnentalud graverij buitenzijde

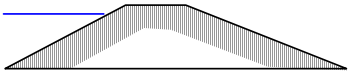


waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij tot in de kruin, bij instorten/inzakken van de kruin directe gevolgen voor veiligheid waterkering

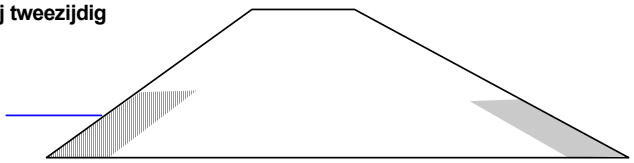


waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij (van betekenis) niet tot in de kruin, geen directe gevolgen voor veiligheid waterkering

figuur 2a: kruinhoogte en erosie binnentalud graverij tweezijdig

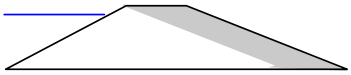


waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij tot in de kruin, bij instorten/inzakken van de kruin directe gevolgen voor veiligheid waterkering

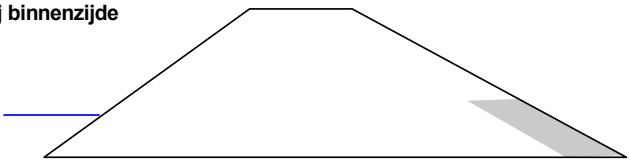


waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij (van betekenis) niet tot in de kruin, geen directe gevolgen voor veiligheid waterkering

figuur 3a: kruinhoogte en erosie binnentalud graverij binnenzijde

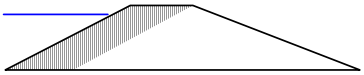


waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij tot in de kruin, bij instorten/inzakken van de kruin directe gevolgen voor veiligheid waterkering

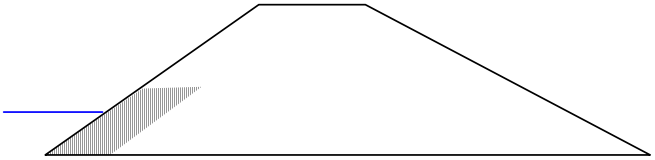


waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij (van betekenis) niet tot in de kruin, geen directe gevolgen voor veiligheid waterkering

figuur 1b: erosie buitentalud graverij buitenzijde

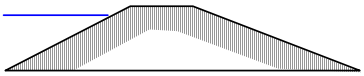


waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij in buitentalud, afname erosiebestendigheid kering met directe gevolgen voor veiligheid waterkering

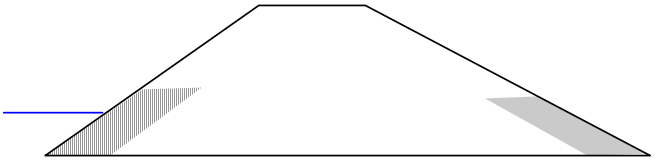


waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij in buitentalud, afname erosiebestendigheid kering met directe gevolgen voor veiligheid waterkering

figuur 2b: erosie buitentalud graverij tweezijdig

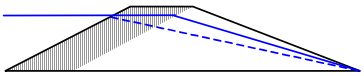


waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij in buitentalud, afname erosiebestendigheid kering met directe gevolgen voor veiligheid waterkering

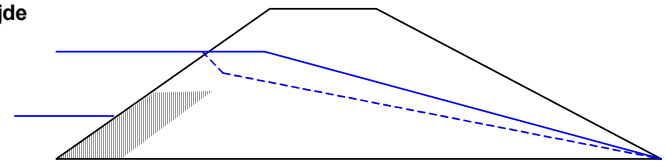


waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij in buitentalud, afname erosiebestendigheid kering met directe gevolgen voor veiligheid waterkering

figuur 1c: verhoging freatische lijn graverij buitenzijde

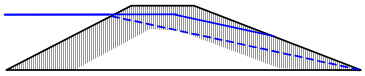


waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij in buitentalud, indirecte gevolgen voor faalmechanismen macro- en microstabiliteit en bekleding binnenzijde

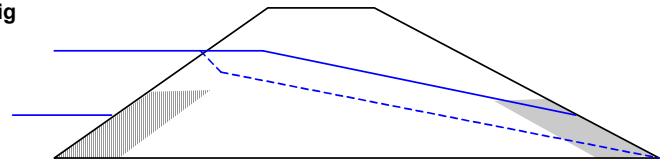


waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij in buitentalud, indirecte gevolgen voor faalmechanismen macro- en microstabiliteit en bekleding binnenzijde

figuur 2c: verhoging freatische lijn graverij tweezijdig



waterkeringen met geringe omvang.
(boezemkaden en maaskaden)
Graverij in buitentalud, indirecte gevolgen voor faalmechanismen macro- en microstabiliteit en bekleding binnenzijde



waterkeringen met grote omvang.
(overige keringen – rivierdijken, meerdijken, etc.)
Graverij in buitentalud, indirecte gevolgen voor faalmechanismen macro- en microstabiliteit en bekleding binnenzijde

4 GEVOLGEN GRAVERIJ VOOR VEILIGHEID WATERKERINGEN

4.1 Inleiding

Zoals geconcludeerd in hoofdstuk 2 en 3 varieert de omvang van de graverij door muskus- en beverratten en de (ernst van de) schade aan de waterkering per type waterkering. Dit wordt veroorzaakt door de verschillen in de hydraulische belasting van de waterkeringen en de dimensie (dwarsprofiel) van de waterkering. Zodoende wordt bij de analyse van de invloed van de graverij op de veiligheid van de waterkering onderscheid gemaakt in verschillende typen waterkering. Onderscheiden zijn verschillende typen waterkeringen zoals die vanuit de Wet op de waterkering of provinciale verordeningen zijn aangewezen als respectievelijk primaire of regionale waterkering. Dit betreft:

1. rivierdijken (langs grote rivieren), waarbij zonodig onderscheid is gemaakt in dijken in het boven- en benedenrivierengebied (beiden in §4.2);
2. kaden langs de onbedijkte Maas in Limburg (Maaskaden in §4.3);
3. dijken langs het IJssel- en Markermeer (meerdijken, §4.4) ;
4. zeeweringen (§4.5);
5. boezemkaden, waarbij onderscheid is gemaakt tussen kaden met een grote en kleine kerende hoogte (resp. meer of minder dan 2 meter, §4.6 en 4.7);
6. compartimenteringskaden en droge keringen (beiden in §4.8).

De veiligheidsanalyse is uitgevoerd op basis van een representatief dwarsprofiel. Dit profiel is gedefinieerd op basis van algemeen inzicht in betreffende typen waterkeringen. Dit inzicht is vervolgens aangevuld met specifieke ervaringen, zoals opgedaan in eerder uitgevoerde projecten verspreid in het land voor verschillende waterkeringbeheerders (waterschappen en dienstkringen van de Rijkswaterstaat). Zonodig zijn de waterkeringbeheerders geconsulteerd omtrent enkele specifieke kenmerken van het representatief profiel. Ook de schematisatie van de opbouw van het dijklichaam en de ondergrond, alsmede de sterkte – eigenschappen van de grondlagen, is gebaseerd op dit algemene inzicht. Het profiel wordt vervolgens zodanig geschematiseerd dat de veiligheid ongeveer overeenkomt met de vigerende normen voor het beschouwde type kering. Daarbij is de exacte dimensie van een profiel maar beperkt van invloed op de resultaten, aangezien de resulterende afname van de veiligheid (relatief) wordt bepaald ten opzichte van hetzelfde profiel zonder graverij.

Voor de onderscheiden typen waterkeringen is de invloed van de graverij per faalmechanisme bepaald aan de hand van het representatieve profiel. Deze uitwerking wordt steeds gedetailleerd beschreven. Voor sommige faalverschijnselen door graverij geldt echter dat deze tevens invloed hebben op overige faalmechanismen. Een voorbeeld: bij een kruinverlaging resulteert niet alleen een toename van het overslagdebiet (falen op hoogte), tevens zal door het toegenomen overslagdebiet het dijklichaam sterk verzadigen, wat een negatieve invloed heeft op de stabiliteit van het binnentalud. Deze opeenvolging van faalverschijnselen is niet beschouwd bij de gedetailleerde uitwerking van de analyse per faalmechanisme. Teneinde voldoende rekening te houden met deze opeenvolging van (faal-) gebeurtenissen wordt per waterkering afrondend een integraal oordeel over de invloed van de graverij op de veiligheid gegeven.

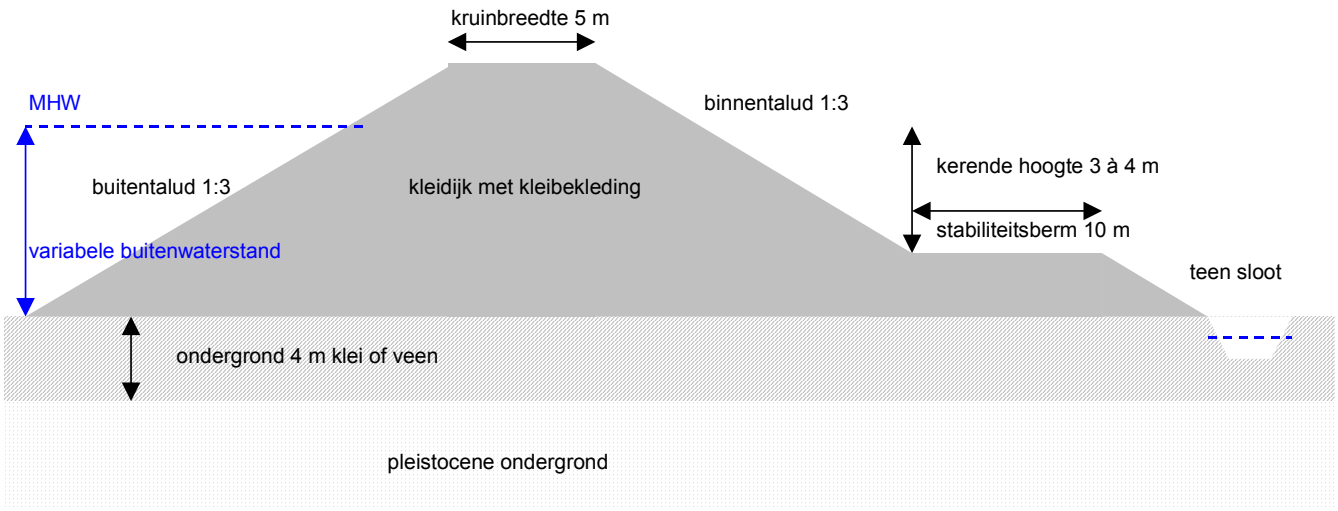
4.2 Rivierdijken: boven- en benedenrivierengebied

4.2.1 Schematisering waterkering

Dit betreft de waterkeringen langs de grote rivieren, zoals de Rijn, Waal, IJssel en Maas. Veel rivierdijken zijn in de periode 1995 – 2000 verbeterd in het kader van de Noodwet (1995) in verband met de perioden met hoogwater in 1993 en 1995. Leidend bij het ontwerp van de rivierdijkverbeteringen was daarbij het zgn. “uitgekiend ontwerpen”, alle keringen zijn zo ontworpen dat juist aan de vereiste veiligheid wordt voldaan. Achtergrond hierbij was de doelstelling het landschap, de natuur en de cultuurhistorische waarden zo veel mogelijk te sparen. Belangrijke consequentie is dat de veiligheid van de rivierdijken die sinds 1995 zijn verbeterd overwegend maar juist aan de gestelde norm voldoen.

Figuur 4.1 presenteert een representatief dwarsprofiel van een rivierdijk. Weergegeven zijn enkele karakteristieke onderdelen, dimensies en afmetingen en grondopbouw van dijk en ondergrond. Bij de uitwerking van de veiligheidsanalyse wordt zonodig per faalmechanisme onderscheid gemaakt tussen rivierdijken in het boven- en benedenrivierengebied. Dit onderscheid is vereist in verband met verschillen in met name de bodemopbouw en samenstelling van de dijk.

Figuur 4.1: Schematisering rivierdijk



De benedenrivierdijk is opgebouwd uit klei met een kleideklaag aan binnen- en buitenzijde en op de kruin. De ondergrond bestaat uit een deklaag bestaande uit klei en/of veenlagen met een aanzienlijke dikte die globaal in westelijke richting toeneemt van ca. 5 tot 15 m. Hieronder bevindt zich de Pleistocene (zand-) ondergrond. De bekleding van benedenrivierdijken bestaat hoofdzakelijk uit gras. Plaatselijk, daar waar rekening gehouden moet worden met hogere belasting door golven en/of

stroming, is een harde bekleding aanwezig in de vorm van een gesloten bekleding (basalt of klinkers) of als stortsteen.

Bovenrivierdijken zijn van oudsher eveneens opgebouwd uit klei. Met de laatste dijkversterkingen zijn echter ook aanvullingen of dijklichamen in zand uitgevoerd, welke zijn voorzien van een kleiafdeklaag. De bodemopbouw in het bovenrivierengebied wordt naar het oosten toe steeds zandiger door afname van de dikte van de deklaag bestaande uit klei- of veenlagen.

Voor zover dit relevant is voor het veiligheidsniveau ten aanzien van het beschouwde faalmechanisme zullen de verschillen tussen beneden- en bovenrivierdijken afzonderlijk behandeld worden.

4.2.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van rivierdijken

De veiligheidsbeoordeling vindt plaats op basis van de toetssporen zoals beschreven in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (RWS-DWW, 2004).

Een hoogwatersituatie op de rivieren treedt niet frequent op. Rivierdijken worden ter voorbereiding op het hoogwater – seizoen elke herfst geïnspecteerd. Eventueel waargenomen schade wordt hersteld. Aangenomen wordt dat ten tijde van een hoogwatersituatie geen zichtbare schade door graverij aanwezig is, tenzij het aannemelijk is dat deze schade pas tijdens het optreden van een hoogwater situatie ontstaat of zichtbaar wordt. Dit houdt in dat tijdens de hoogwatersituatie in de waterkering uitsluitend schade aanwezig is ten gevolge van onzichtbare graverij, waarbij wordt verondersteld dat:

- zichtbare schade niet aanwezig is, cq. voorafgaand aan de hoogwatersituatie is hersteld in het kader van beheer & onderhoud;
  dit betreft schade zoals een verzakkingen in de kruin of grote ingang van een beverrat-hol.
- zichtbare schade die pas zichtbaar wordt tijdens een hoogwater – periode wel aanwezig is;
  dit betreft schade zoals een beschadigde plek in de (gras-) bekleding.

Verder geldt dat voor dit type waterkering bij stijgend water zogenaamde etagebouw kan plaatsvinden in de kering, en de kering door muskusratten kan worden gebruikt als vluchtplaats, indien de uiterwaarden overstroomd raken door stijgende waterstand. Dergelijk gebruik van de waterkering door beverratten wordt niet waarschijnlijk geacht aangezien deze in hoogwatersituaties bij voorkeur in zogenaamde drijvende plateaus schuilen. De beschouwde schade aan de waterkering wordt onderstaand per faalmechanisme specifiek beschreven.

4.2.3 Uitwerking veiligheidsanalyse

Hoogte

Als karakteristieke graverij door muskusratten in rivierdijken ten behoeve van het toetsspoor hoogte wordt uitgegaan van:

- zogenaamde etagebouw, met de nestkommen overwegend aan de onderzijde van het talud;
- bij stijgend water graaft de muskusrat in het buitentalud zijn pijpen in het talud omhoog teneinde het stijgende water voor te blijven;
- gezien de relatief korte duur van hoogwaterperioden in het rivierengebied (piekstand maximaal 10 dagen) worden deze gangen uitsluitend als vluchtbouwen beschouwd, het graven van nestkommen is niet waarschijnlijk.

De karakteristieke graverij door beverratten in rivierdijken ten aanzien van het mechanisme hoogte betreft één tot enkele pijpen die zich op ca. maaiveldniveau tot enkele meters diep horizontaal in het dijklichaam bevinden. Gezien de omvang van rivierdijken dient de pijp een lengte te hebben van tenminste ca. 12,5 m (bij een taludhelling van 1;2,5 en een dijk met een hoogte van 5 m) voordat die zich ter hoogte van de kruin bevindt. Een dergelijke lengte is niet aannemelijk, zodat wordt aangenomen dat de graverij zich niet tot onder de kruin van de dijk bevindt.

Bovenstaand beeld van de karakteristieke graverij door beverratten houdt in dat binnen de beschouwde hoogwaterperiode ter plaatse van de kruin van de dijk geen dusdanige vergraving aanwezig is of plaatsvindt (vluchtbouw) dat verzakking van de kruin over een aanzienlijke breedte kan optreden.

Graverij door muskus- en beverratten vormt daarmee geen bedreiging voor de veiligheid van een rivierdijk ten aanzien van het faalmechanisme hoogte.

Decimeringshoogte
In het document "Decimeringshoogte per dijkringgebied in cm ten behoeve van het Prioriteringsinstrument" (Rijkswaterstaat-DWW, 2006) zijn per gebied, overschrijdingsfrequentie, buitenwater en plaats/raai de decimeringshoogtes vastgesteld. Hieruit is afgeleid dat voor het bovenrivierengebied deze hoogte gemiddeld 0,75 m bedraagt en circa 0,4 m voor het benedenrivierengebied. Dit houdt in dat een kruinverlaging door inzakking van 0,75 en 0,4 m in respectievelijk het boven- dan wel het benedenrivierengebied resulteert in een decimering van het veiligheidsniveau. De overschrijdingsfrequentie bedraagt in het bovenrivierengebied overwegend 1/1250 per jaar, in het benedenrivierengebied varieert de overschrijdingsfrequentie van 1/2000 via 1/4000 tot 1/10000 per jaar. Opgemerkt wordt dat ook de decimeringshoogtes in het benedenrivierengebied ook een grotere afwisseling kennen. De dijkgedeelten met een overschrijdingsfrequentie van 1/10000 per jaar hebben doorgaans een decimeringshoogte van 0,15 m.

Macrostabiliteit binnenwaarts
De graverij door muskusratten ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd, mede verband houdend met het driedimensionale karakter van het mechanisme (omvang glijvlak cq. afschuiving):

- tweezijdige aantasting van de dijk door graverij;
- buitentalud: etagebouw, waarbij het buitentalud (bekleding, inclusief erosiebestendige kleilaag) over de gehele hoogte van de dijk tot een diepte van 1,0 m loodrecht op het talud is doorgraven;
- buitentalud: uniforme aantasting van het talud over een strekkende lengte van minimaal 50 m;
- binnentalud: uniforme vergraving van de binnenberm vanuit de teensloot over een strekkende lengte van minimaal 50 m, de vergraving is geschematiseerd als een verzakking van 0,2 m over een lengte van 5 m aansluitend aan de insteek van de teensloot of waterpartij.

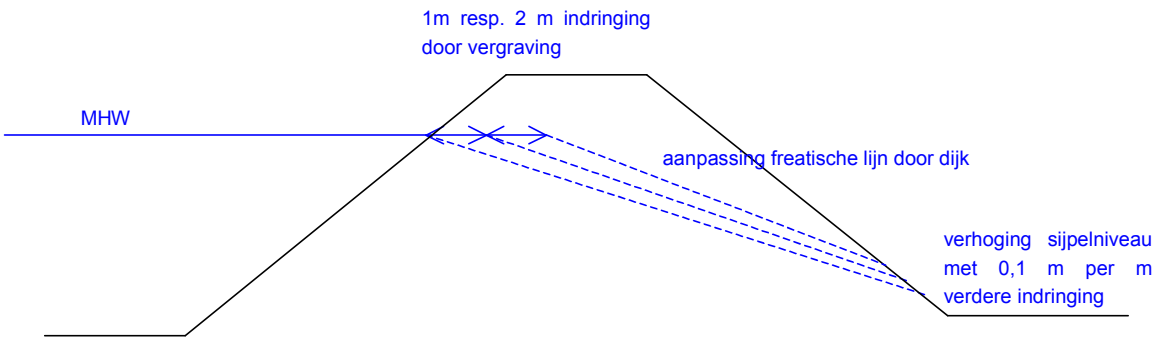
De karakteristieke graverij door beverratten wijkt enigszins af van muskusrattengraverij. Het belangrijkste gevolg met betrekking tot dit faalmechanisme betreft echter eveneens een sterkere verzadiging van het dijklichaam door perforatie van de bekleding van het buitentalud. Dit gevolg is vergelijkbaar met de gevolgen van graverij door muskusratten, zodat de beschreven schematisering van de graverij representatief is voor beide typen graverij.

Voor dit faalmechanisme is de verhoging van de freatische lijn in de dijk de belangrijkste invloed van de graverij op de veiligheid. Deze verhoging wordt veroorzaakt door de perforatie van de kleibekleding waardoor het intredepunt van rivierwater zich circa 2 m dieper in het dijklichaam bevindt. Hierdoor heeft de freatische lijn tot 2 meter in het dijklichaam een niveau gelijk aan de buitenwaterstand.

De veiligheid van de rivierdijk tegen binnenwaartse macro-instabiliteit is getoetst aan de schadefactor. Deze schadefactor is gerelateerd aan de overschrijdingsfrequentie, via de maatgevende hoogwaterstand (MHW). Door middel van deze relatie is de afname van de stabiliteitsfactor (MStab) gebruikt om de afname van het veiligheidsniveau van de rivierdijk vast te stellen.

Het verloop van de waterspanningen en de freatische lijn in de dijk is berekend met het programma MSeep (M-serie, GeoDelft). Uit de berekeningen blijkt dat per meter indringing in de dijk het sijpelniveau met circa 0,1 m stijgt. Hierin speelt echter nog wel de verhouding tussen de doorlatendheid van de dijk ten opzichte van de ondergrond een rol (boven- of benedenrivierengebied). In figuur 4.2 is een en ander gedemonstreerd.

figuur 4.2 Waterspanningen in rivierdijken



In MStab zijn berekeningen uitgevoerd voor een typische boven- en benedenrivierdijk. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in tabel 4.1.

tabel 4.2.1 Resultaten MStab berekeningen binnentalud rivierdijken

type kade	*SF*[1)]	*SF -1m*[1)]	*SF -2m*[1)]*	*% -1m*[2)]	*% -2m*[2)]	*DH*[3)]	*OF -1m*[4)]	*OF -2m*[4)]
bovenrivier	1,15	1,12	1,09	-3%	-6%	0,7 m (1/1250)	1/920	1/520
benedenrivier	1,03	1,00	0,99	-3%	-4%	0,4 m (1/4000)	1/1300	1/400

[1)] SF = berekende veiligheidsfactor MStab berekening bij respectievelijk geen vergraving en indringing freatische lijn 1 en 2 m als gevolg van graverij.

[2)] procentuele afname veiligheid bij indringing freatische lijn 1 en 2 m als gevolg van graverij, ten opzicht van geen graverij.

[3)] DH = decimeringshoogte (RWS-DWW, 2006) met bijbehorende overschrijdingsfrequentie [per jaar]

[4)] OF = Overschrijdingsfrequentie bij indringing freatische lijn 1 en 2 m als gevolg van graverij [per jaar]

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn opgenomen in tabel 4.1. Uit de tabel blijkt dat de stabiliteitsfactor afneemt met ca. 3 tot 6%. Voor bovenrivierdijken geldt bij de situatie met een 2 meter diepe indringing van de waterspanningen dat bij een verlaging van de buitenwaterstand van 0,5 m de waterkering met graverij een overeenkomstige stabiliteitsfactor heeft als de waterkering zonder graverij. Aan de hand van een gemiddelde decimeringshoogte is voor deze waterstand een overschrijdingsfrequentie afgeleidt van ca. 1/520. In termen van de overschrijdingskans neemt de veiligheid van de waterkering af met een factor 2,5. Voor benedenrivierdijken geldt bij de situatie met een 2 meter diepe indringing van de waterspanningen dat bij een verlaging van de buitenwaterstand van 0,4 m de waterkering met graverij een overeenkomstige stabiliteitsfactor heeft als de waterkering zonder graverij. Aan de hand van een gemiddelde decimeringshoogte is voor deze waterstand een overschrijdingsfrequentie afgeleidt van ca. 1/400. In termen van de overschrijdingskans neemt de veiligheid van de waterkering af met een factor 10.

Op basis van de resultaten uit de stabiliteitsberekeningen wordt afgeleid dat graverij leidt tot een afname van het veiligheidsniveau. De grafische resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn opgenomen in de bijlagen.

Macrostabiliteit buitenwaarts

De representatieve graverij door muskusratten ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts wordt vertegenwoordigd door:

- vergravingen in het buitentalud, resulterend in een perforatie van de buitenbekleding en een aantasting van de bovenste 1,0 m van het buitentalud.

De representatieve graverij door beverratten betreft één tot enkele pijpen die op ca. maaiveldniveau zich tot enkele meters diep horizontaal in het dijklichaam bevindt.

De gevolgen van de graverij betreffen een verhoging van de freatische lijn in het dijklichaam. Deze verhoging is niet relevant voor dit faalmechanisme.

Uit de resultaten van de stabiliteitsberekeningen (zie bijlage 3b) blijkt dat graverij niet leidt tot een reductie van de veiligheidsfactor. De stabiliteitsfactor zowel met als zonder graverij bedraagt voor beneden- en bovenrivierdijken respectievelijk 1,2 en 1,35. De verklaring is dat het glijvlak de (verzwakte) zone met graverij niet doorsnijdt, zodat de sterkte – eigenschapen van deze zone geen invloed hebben op de berekende stabiliteit.

Opgemerkt wordt dat graverij in het buitentalud wel tot ondermijning en uiteindelijke verzakking van het buitentalud kan leiden. Dit vormt een ondiepe afschuiving, welke wordt beschouwd bij de beoordeling van de erosiebestendigheid en stabiliteit van de bekleding op het buitentalud.

Bekleding buitenzijde en erosie buitentalud

De karakteristieke graverij van muskusratten en beverratten ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volg geschematiseerd:

- de bekleding van de dijk wordt doorgraven waardoor erosie van het buitentalud en/of het onderliggende dijklichaam mogelijk wordt.

Doorgraving van de buitenbekleding heeft, naast de effecten op de overige beoordelingssporen (verlies van de waterkerende functie van de bekleding met een verhoging van de freatische lijn in de dijk tot gevolg met consequenties voor alle overige mechanismen), ook gevolgen voor het instandhouden van de waterkering zelf. Door vergraving wordt erosie van de dijk door golven en

stroming onder zowel normale als maatgevende omstandigheden mogelijk. Dit proces kan niet worden uitgedrukt in een kwantitatieve afname van veiligheidsniveau. Wel wordt geconcludeerd dat het ontbreken van een beschermende bekleding gedurende maatgevende omstandigheden kan leiden tot bresvorming, ofwel het falen van de waterkering. Derhalve wordt beschadiging van het buitentalud als zeer ernstig mechanisme beschouwd ten aanzien van de veiligheid van rivierdijken.

foto 7 Aangetroffen graafwerk beverrat in buitenzijde dijklichaam (Ooijpolder)

Microstabiliteit en bekleding binnenzijde

In zowel het boven- als benedenriviergebied zijn de rivierdijken in het verleden overwegend opgebouwd uit klei. Meer recent zijn dijken ook gebouwd van zand, met een kleibekleding ter bescherming tegen erosie en beperking van de verzadiging van het dijklichaam. Voor waterkeringen met een dijklichaam van klei geldt dat in principe geen gevaar voor microstabiliteit bestaat. Dit hangt samen met het slecht doorlatende karakter van de klei. De schade aan waterkering door graverij veroorzaakt geen noemenswaardige verandering van deze eigenschappen. Graverij heeft zodoende geen invloed op de veiligheid van de waterkering, voor wat betreft dit faalmechanisme.

Voor waterkeringen met een dijklichaam van zand geldt dat de veiligheid ten aanzien van microstabiliteit wel wordt beinvloed door graverij. Perforatie van de waterremmende kleibekleding op het buitentalud door graverij veroorzaakt een stijging van de freatische grondwaterstand in het dijkklichaam, waardoor:

- het hydraulische verhang in het dijklichaam toeneemt, en daarmee de kans op uitspoeling van gronddeeltjes;
- de grondwaterdruk tegen de bekleding op het binnentalud toeneemt, en daarmee de kans op het afdrukken van de bekledingslagen.

Op basis van de toetsregels in het TR Waterkerende Grondconstructies is de gevoeligheid van waterkeringen met een zandkern voor een stijging van de freatische grondwaterstand beschouwd. De beschouwing is globaal omdat:
- de toetsregel is gebaseerd op het al dan niet overschrijden van een kritieke waarde; en:
- de kritieke waarde volledig afhangt van lokale kenmerken (m.n. de opbouw van het dijklichaam).

Uit de beschouwing blijkt dat een geringe (orde grootte enkele decimeters) stijging van de freatische grondwaterstand in het dijklichaam een sterke afname van de veiligheid ten aanzien van microstabiliteit veroorzaakt. Dit komt grotendeels doordat het ontwerp van dergelijke keringen (speciaal de dikte van de kleilaag op het binnentalud) is gebaseerd op een goed functionerende waterremmende kleilaag op het buitentalud. Een geringe stijging van de freatische grondwaterstand door perforatie is zeer realistisch, zodat wordt geconcludeerd dat graverij in het buitentalud van waterkeringen met een zandkern een sterke afname van de veiligheid veroorzaakt. De grootte van de afname kan niet kwantitatief worden uitgedrukt in een vermindering van het veiligheidsniveau.

Piping

In de schematisering van een rivierdijk is uitgegaan van een kleidijk op een ondergrond met een kleipakket met daaronder een watervoerend zandpakket. De denkbare invloed van graverij op dit faalmechanisme betreft een verkorting van de kwelweglengte, door:
1. het doorgraven van de kleilaag buitendijks (hydraulische kortsluiting rivierwater en zandpakket);
2. het vergraven van de kleilaag of (piping-) berm binnendijks (waardoor grondbreuk kan optreden).

Ad.1: De karakteristieke graverij van muskusratten en beverratten is in principe omhoog gericht of horizontaal. Het verticaal omlaag doorgraven van het kleipakket ter plaatse van de buitenteen of in het voorland wordt als niet realistisch beschouwd. Graverij in het buitentalud of een buitendijkse strang zal geen afname van de kwelweglengte in het voorland veroorzaken.

Ad.2. Indien wordt uitgegaan van een waterkering die uitgekiend is gedimensioneerd op een maatgevende hoogwaterstand (geen reserves aanwezig ten aanzien van het mechanisme piping)., resulteert vergraving van een kleilaag, berm of het binnentalud in grondbreuk of een heave situatie. De beschikbare kwelweglengte wordt hiermee verkort met de indringingslengte van de graverij in de berm of het binnentalud, gerekend vanaf de teensloot of kolk. Uitgaande van een gemiddelde indringingslengte van ca. 5 m, komt deze afname overeen met een afname van het toelaatbare kritieke verval van 0,33 m (matig fijn zand, mediane korreldiameter 150-210 µm, creepfactor Bligh 15). Dit komt nagenoeg overeen met ca. 0,5 (bovenrivieren) tot bijna 1 (benedenrivieren) maal de decimeringshoogte. Geconcludeerd wordt dat de veiligheid ten aanzien van het faalmechanisme piping afneemt als gevolg van graverijen, met:
- het bovenrivierengebied: van 1/1250 tot 1/400, een factor van ca. 3;
- het benedenrivierengebied: van 1/4000 tot 1/700, een factor van ca. 6.

Opgemerkt wordt het faalmechanisme piping in het benedenrivierengebied aanzienlijk minder vaak relevant is dan in het bovenrivierengebied, vanwege de aanzienlijke dikte van het pakket Holocene kleilagen in het benedenrivierengebied.

4.2.4 Opmerkingen

Overdimensionering van rivierdijken
Waterkeringen langs Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg, beschikken over een dusdanige overdimensionering dat het verzakken van de kruin over de gehele breedte van de waterkering als gevolg van graverij binnen het beschouwde tijdspad niet waarschijnlijk geacht wordt. Het theoretisch profiel (profiel waarover de waterkering minimaal moet beschikken om aan zijn waterkerende functie te voldoen) van deze keringen wordt geacht niet aangetast te worden doordat het werkelijk profiel zoveel malen groter is. Deze zogenaamde robuuste keringen beschikken over voldoende reststerkte om zelfs bij zeer ernstige aantasting van het buitentalud niet te bezwijken onder maatgevende omstandigheden. Voorwaarde is natuurlijk wel dat de eventueel opgetreden schade door erosie voor een volgende belasting gerepareerd wordt. Evenals voor andere keringen geldt dat indien schade niet hersteld wordt het een kwestie van tijd is voor de kering bezwijkt aan de gevolgen van graverij.

4.2.5 Conclusies

Alhoewel bij normaal beheer en onderhoud geen directe faalmechanismen onderscheiden worden als gevolg van muskusrattengraverij, kan wel degelijk sprake zijn van een vermindering van het veiligheidsniveau van rivierdijken als gevolg van graverij door muskusratten en beverratten. Met name niet-zichtbare schade aan de buitenbekleding kan gedurende maatgevende (hoogwater) omstandigheden tot instabiliteit van het buitentalud leiden, met mogelijk verlies van de waterkerende functie van de waterkering tot gevolg. Een indirect gevolg van de perforatie van de buitenbekleding is het verhogen van de freatische lijn in de dijk. Met name macrostabiliteit binnenwaarts en piping vormen als gevolg hiervan risico's voor de veiligheid van dit type waterkering. Met name lokale afwijkingen of een combinatie met een zwakke plek in de dijk ten gevolge van een andere oorzaak (aanwezigheid NWO), kan mogelijk resulteren in instabiliteit en potentieel falen van de waterkering.

Tabel 4.2.2: Overzicht invloed graverij door muskusratten op veiligheid Rivierdijken

Type	**Faalmechanisme**					
	Hoogte	**Stabiliteit**				**Bekleding**
		Macro - binnen	**Macro - buiten**	**Piping**	**Micro**	**buiten/ binnen**
Boven-rivieren	1/1250 -> 1/1250 afname factor 0	1/1250 -> 1/520 afname factor 2,5	1/1250 -> 1/1250 afname factor 0	1/1250 -> 1/400 afname factor 3	opmerking* afname factor 5 à 10	opmerking* afname factor 10
Beneden-rivieren	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/400 afname factor 10	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/700 afname factor 6	opmerking* afname factor 5 à 10	opmerking* afname factor 10

opmerking* : de invloed is ten aanzien van deze faalmechanismen niet kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

Tabel 4.2.3: Overzicht invloed graverij door beverratten op veiligheid Rivierdijken

Type	Faalmechanisme					
	Hoogte	Stabiliteit				Bekleding
		Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
Boven-rivieren	1/1250 -> 1/1250 geen invloed	1/1250 -> 1/520 afname factor 2,5	1/1250 -> 1/1250 geen invloed	1/1250 -> 1/400 afname factor 3	opmerking* afname factor 5 à 10	Geen invloed
Beneden-rivieren	1/4000 -> 1/4000 geen invloed	1/4000 -> 1/400 afname factor 10	1/4000 -> 1/4000 geen invloed	1/4000 -> 1/700 afname factor 6	opmerking* afname factor 5 à 10	Geen invloed

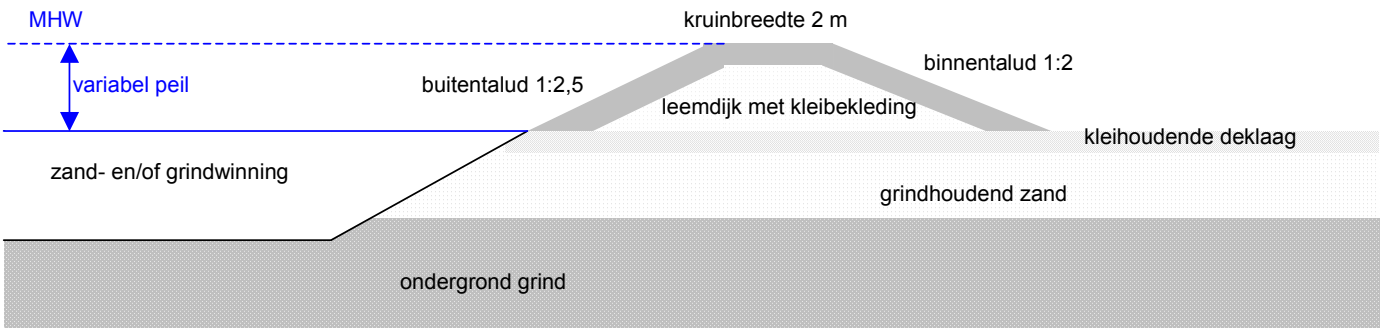
opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

4.3 Maaskaden

4.3.1 Schematisering kade

Dit type kade wordt uitsluitend aangetroffen langs de Maas. In het kader van het Deltaplan Grote Rivieren (DGR) zijn sinds 1995 op diverse tracés langs de onbedijkte Maas in Limburg kaden aangelegd, de zogenaamde DGR-kaden. Naar aanleiding van het advies van de commissie Boertien II, de Trajectnota/MER Zandmaas/Maasroute uit 1999, nieuwe rekenmodellen en nieuwe inzichten is in 2000 besloten een aantal van de DGR-kaden aan te passen. Kadeverhoging en aanleg van nieuwe kaden in het Zandmaasgebied is noodzakelijk om het vereiste beschermingsniveau, behorend bij een overstromingskans van 1:250, te realiseren. In figuur 4.5 zijn de dimensies van de kade (karakteristiek afmetingen en grondopbouw kade en ondergrond) opgenomen.

figuur 4.5: Schematisering Maaskaden



Maaskaden worden gekarakteriseerd door hun lemige opbouw. Kaden zijn overwegend geconstrueerd uit lokaal materiaal, bestaande uit zandhoudende leem en leemhoudend zand.
Met een overschrijdingsfrequentie van 1/250 per jaar zijn deze kaden ontworpen op een zeker overslagdebiet (10 l/s per strekkende meter). Het binnentalud van deze kaden is hierop

gedimensioneerd door middel van een erosiebestendige bekleding van het binnentalud van minimaal 1,0 m dik.
De variatie in bodemopbouw beneden de kade is niet erg groot. Over het algemeen wordt een toplaag aangetroffen van 0 tot 1 m. Hieronder volgt een pakket cohesieve lagen (klei of leem), soms met zandige tussenlagen, 3 à 6 m dik. Vervolgens volgt (zandhoudend) grind, al dan niet voorafgegaan door een grindige zandlaag van circa 1 m.
Een deel van de kaden is bovendien overstroombaar en plaatselijk is sprake van een hoog achterland.
Daar waar grindwinning heeft plaatsgevonden liggen de kaden veelal wel direct naast open water. In het verleden is plaatselijk instabiliteit opgetreden ter plaatse van dergelijke zand- en/of grindwinlocaties. De kaden zijn relatief laag (geringe kerende hoogte, doorgaans < 2 m).
De kaden onderscheiden zich van boezemkaden met geringe kerende hoogte door de sterk doorlatende ondergrond en het overstroombare karakter van veel maaskaden.

4.3.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van maaskaden

Voor dit type kaden wordt thans gewerkt aan een Toetsvoorschrift (VTM, door RWS DWW). De veiligheidsbeoordeling is uitgewerkt volgens het VTV.

4.3.3 Uitwerking veiligheidsanalyse

Het overlopen van de Maaskaden en het optreden van overslagdebieten zijn ontwerpuitgangspunten voor dit type kaden. Desalniettemin wordt hoogte als risico voor de veiligheid van de kaden beschouwd. Met name de toename van de frequentie van overloop/overslag en de relatie met het veiligheidsniveau speelt hierbij een rol. Inherent aan een kade die is ontworpen op overslag, is een binnentalud dat hier eveneens op gedimensioneerd is. Falen van deze bekleding heeft derhalve direct consequenties voor de veiligheidssituatie en wordt ook als zodanig beschouwd. De overige mechanisme worden gezien de geometrie en samenstelling van kade en ondergrond niet als maatgevend gezien.

Hoogte
De beschouwing van de hoogte van de kade vindt op dezelfde wijze plaats als voor regionale waterkeringen. Hierbij gelden tevens dezelfde uitgangspunten ten aanzien van de situatie met verlaagde kruin en de schematisatie van de representatieve graverij. De representatieve graverij wordt als volgt geschematiseerd:

- ter plaatse van de kruin is door het intrappen / inzakken van een bouw met enkele nestkommen de kruin verlaagd met een grootte van 0,2 à 0,3 m, over de gehele breedte van de kruin.

De maaskaden kennen overwegend een zandige opbouw, waardoor pijpen en nestkommen relatief gevoelig zijn voor instorten, bijvoorbeeld als gevolg van hevige regenval. Maaskaden beschikken veelal over een geringe kruinhoogtemarge, waarbij de waakhoogte varieert van 0,1 tot 0,5 m. Inzakken van de kruin, waardoor een kruinverlaging van 0,2 à 0,3 m optreedt, heeft derhalve een relatief groot effect op de veiligheid van dit type kering. Kruinverlaging kan voor dit type keringen twee gevolgen hebben. Enerzijds kan de overschrijdingsfrequentie toenemen ten opzichte van de ontwerpnorm van 1/250 per jaar. In hoeverre het veiligheidsniveau hiermee afneemt valt niet te kwantificeren, omdat de decimeringhoogte voor dit type kade niet bekend is. Anderzijds neemt het overslagdebiet over de kade toe als gevolg van de kruinverlaging. Indien dit debiet boven het

ontwerpdebiet van 10 l/m/s komt, neemt het veiligheidsniveau van de kering af. Met name erosie van kruin en binnentalud spelen hierbij een rol. Hier wordt nader op ingegaan bij het faalmechanisme bekleding.

Macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts

De representatieve graverij ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts wordt vertegenwoordigd door:

- een bouw in het buitentalud met een lengte ter grootte van een karakteristieke glijcirkel;
- een aantasting van de bovenste 1,0 m van het buitentalud.

Omdat de Maaskaden zijn ontworpen op overslag is in het ontwerp reeds rekening gehouden met het optreden van een volledig verzadigde toestand van de kade. Waterspanningen kunnen niet verder toenemen dan in deze situatie. Ook de geringe kerende hoogte en de samenstelling van de ondergrond geven geen directe aanleiding om macrostabiliteit van binnen- of buitentalud in beschouwing te nemen. Ten aanzien van dit mechanisme zijn enkele berekeningen uitgevoerd teneinde dit uitgangspunt te onderbouwen. Uit de berekeningsresultaten wordt afgeleid dat de macrostabiliteit van maaskaden nauwelijks beïnvloed wordt door variaties in verzadigingsgraad van de kade.

tabel 4.3.1 Resultaten MStab berekeningen binnentalud maaskaden

type kade	*SF[1)]*	*SF -2m[1)]**	*% -2m[2)]*	*DH[3)]*	*OF -2m[4)]*
maaskade	1,6	1,26	-15%	0,3 m (1/250)	1/20

[1)] SF = berekende veiligheidsfactor MStab berekening bij respectievelijk geen vergraving en indringing freatische lijn 1 en 2 m als gevolg van graverij.

[2)] procentuele afname veiligheid bij indringing freatische lijn 1 en 2 m als gevolg van graverij, ten opzicht van geen graverij.

[3)] DH = decimeringshoogte (RWS-DWW, 2006) met bijbehorende overschrijdingsfrequentie [per jaar]

[4)] OF = Overschrijdingsfrequentie bij 2 m indringing van de freatische lijn door graverij [per jaar]

Microstabiliteit

Evenals voor de macrostabiliteit geldt dat geen hogere waterspanningen zullen optreden dan onder de ontwerpomstandigheden. Dit mechanisme is derhalve niet als maatgevend faalmechanisme voor Maaskaden beschouwd.

Stabiliteit en erosie (bekleding) kruin en binnentalud

Voor de stabiliteit van de kruin en het binnentalud (inclusief bekleding) tegen erosie wordt de volgende graverij als maatgevend beschouwd:

De aanwezigheid van een of meerdere gangen waardoor de bekleding en/of de afdekkende erosiebestendige kleilaag plaatselijk geheel of gedeeltelijk ontbreekt.

Het plaatselijk ontbreken van de bekleding en/of de erosiebestendige kleideklaag kan resulteren in het ontstaan van erosie, afkalving of anderszins in het verlies aan sterkte van het binnentalud. Een en ander kan vertaald worden in lagere stroomsnelheden en hiermee lagere toelaatbare overslagdebieten. De hierbij behorende lager maatgevende waterstanden geven een indicatie van het veiligheidsniveau bij graverij. Deze afname van het veiligheidsniveau wordt aan de hand van de afname van de overschrijdingsfrequentie gekwantificeerd.

Stabiliteit van de bekleding buitentalud
Evenals bij boezemkaden met grote kerende hoogte wordt dit mechanisme niet als direct bedreigend voor de veiligheidssituatie gezien.Eventuele schade kan, mits tijdig waargenomen, worden hersteld voor het optreden van een hoogwaterperiode.

Piping
Ook dit mechanisme wordt gezien de geringe kerende hoogte en de samenstelling van kade en ondergrond niet als maatgevend beschouwd voor dit type waterkeringen (conform de vigerende norm- en regelgeving voor een zanddijk op zandondergrond).

4.3.4 Opmerkingen

In de uiterwaarden van de onbedijkte Maas is weinig open water aanwezig. In de directe nabijheid van de Maaskaden zal zodoende overwegend geen water aanwezig zijn. De kans op aantasting van de kaden door graverij door muskus- en beverratten lijkt daarmee gering, en zal naar verwachting slechts op kleine strekkingen optreden.

De dimensie van dit type keringen heeft een brede range, evenals de opbouw van de ondergrond. Globaal kan worden gesteld dat vanuit Zuid – Limburg in noordelijke richting:

- de grootte van de hydraulische belasting geleidelijk toeneemt;
- de dimensie (kerende hoogte) van de kering geleidelijk toeneemt;
- vaker een kleilaag op het pakket met zand- en grindlagen aanwezig is, en de dikte van de kleilaag geleidelijk toeneemt.

Deze beschouwing gaat uit van een kade met een geringe (< enkele meters) kerende hoogte en een bodemopbouw zonder afdekkende kleilagen. Deze situatie geldt vooral voor zuid- en midden Limburg. In noord – Limburg hebben de kaden (soms) een kerende hoogte van enkele meters en is soms een kleilaag aanwezig. De gepresenteerde resultaten zijn zodoende met name representatief voor Maaskaden in zuid en midden Limburg. De kaden in noord Limburg komen meer overeen met dijken langs bovenrivieren. De invloed van graverij op de veiligheid van de keringen in dit gebied komt zodoende eveneens meer overeen met de resultaten van bovenrivierdijken.

4.3.5 Conclusies

Met name verlies aan hoogte met hieraan gekoppeld de toename van het overslagdebiet worden als potentieel bedreigend voor de veiligheid van Maaskaden beschouwd. Schade aan het binnentalud door erosie als gevolg van graverijschade kan mogelijk leiden tot falen van de kering. Het instorten of wegspoelen van materiaal wordt echter niet als macro-instabiliteit beschouwd omdat geen sprake is van een glijvlak door de ondergrond onder de kade.

Tabel 4.3.2: Overzicht invloed graverij muskusratten op veiligheid maaskaden

Faalmechanisme						
Hoogte		Stabiliteit				Bekleding
Overlopen	Golfoverslag	Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
1/250 -> 1/25 afname factor 10	opmerking * afname factor 10	1/250 -> 1/20 afname factor 12,5	1/250 -> 1/250 afname factor 0	1/250 -> 1/250 afname factor 0	opmerking * afname factor 5 à 10	opmerking * afname factor 10

opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

Tabel 4.3.3: Overzicht invloed graverij beverratten op veiligheid maaskaden

Faalmechanisme						
Hoogte		Stabiliteit				Bekleding
Overlopen	Golfoverslag	Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
1/250 -> 1/25 afname factor 10	opmerking * afname factor 10	1/250 -> 1/20 afname factor 12,5	1/250 -> 1/250 afname factor 0	1/250 -> 1/250 afname factor 0	opmerking * afname factor 5 à 10	opmerking * afname factor 0

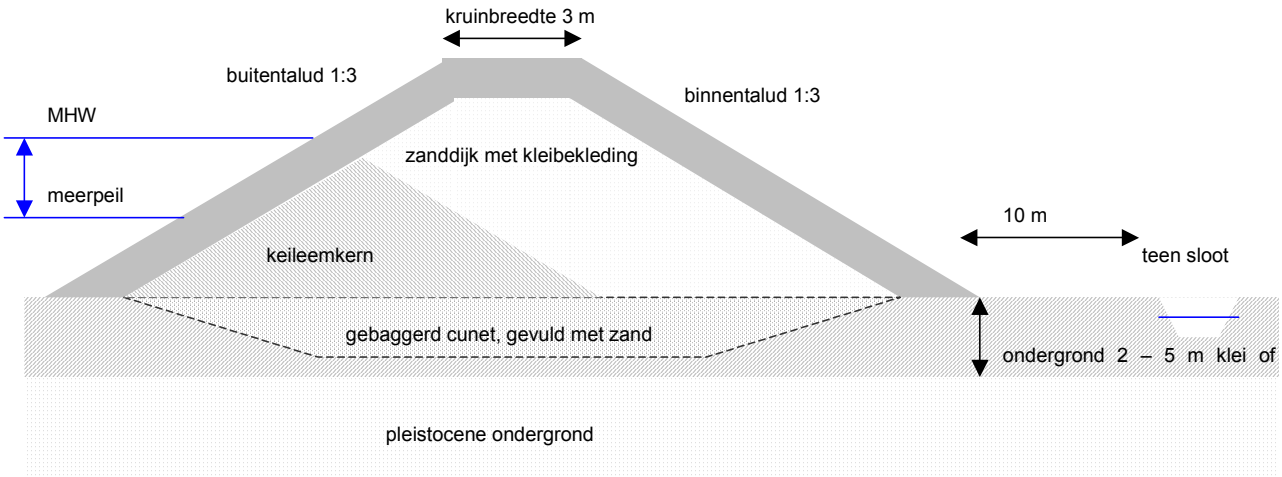
opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

4.4 Meerdijken

4.4.1 Schematisering waterkering

Dit type waterkering betreft de dijken langs het IJssel- en Markermeergebied. Een groot deel van deze dijken is in de 20ste eeuw aangelegd in het kader van de afsluiting en deverschillende inpolderingen van de Zuiderzee (de Wieringermeer, Noordoostpolder en Flevoland).
Als representatieve meerdijk is een waterkering van Flevoland geschematiseerd. In figuur 4.2 zijn de dimensies van de meerdijk, karakteristieke afmetingen en grondopbouw van dijk en ondergrond, opgenomen.

figuur 4.4: Schematisering meerdijk



De meerdijk is opgebouwd uit zand met een kleideklaag aan binnen- en buitenzijde en op de kruin, waarbij aan de buitenzijde een keileemkade is opgenomen in de kern van de dijk tot een hoogte overeenkomstig het ontwerppeil. Veelal bevindt zich binnendijks een stabiliteitsberm. De ondergrond bestaat uit een deklaag met een dikte van enkele meters, bestaande uit klei en/of veenlagen. Hieronder bevindt zich de pleistocene ondergrond. Bij de aanleg van de dijk is overwegend eerst een cunet gebaggerd tot ca. 1 meter boven de pleistocene ondergrond. Op het buitentalud is veelal een harde bekleding aanwezig, bestaande uit een gesloten basaltbekleding tot de maatgevende hoogte van golfaanval en een stortsteenlaag als golfbreker op normaal waterpeil.

4.4.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van meerdijken

De Leidraad Zee- en Meerdijken beschrijft nadere informatie omtrent de veiligheid van dit type keringen. De veiligheidsanalyse is uitgewerkt volgens de procedure zoals beschreven in het VTV (2005).

De waterkeringen langs de IJsselmeerpolders keren permanent water. Deze gemiddelde omstandigheden worden echter niet als een bedreiging voor de veiligheid beschouwd, aangezien de waterkeringen ten aanzien van de bijbehorende waterstand een robuust ontwerp hebben. De maatgevende belasting wordt gevormd door een stijging van de waterstand door een forse windopzet. Vanwege het tijdelijke karakter van deze windopzet, worden deze keringen als niet – permanent belaste waterkeringen beschouwd. Ten aanzien van de aanwezige schade houdt dit in dat voorafgaand aan het optreden van de maatgevende belastingsituatie zichtbare schade niet aanwezig is.

4.4.3 Uitwerking veiligheidsanalyse

Hoogte

Als karakteristieke graverij door muskusratten wordt uitgegaan van:

- zogenaamde etagebouw, met de nestkommen overwegend aan de onderzijde van het talud;
- bij stijgend water graaft de muskusrat in het buitentalud zijn pijpen in het talud omhoog teneinde het stijgende water voor te blijven;
- gezien de relatief korte duur van hoogwaterperioden in het IJssel- en Markermeer (piekstand maximaal enkele uren, hoogwaterperiode in de orde van grootte van enkele dagen) worden deze gangen uitsluitend als vluchtbouwen beschouwd, het graven van nestkommen is niet waarschijnlijk.

De karakteristieke graverij door beverratten laat zich als volgt omschrijven:

- uitsluitend ingangen op of net boven normaal waterpeil, op zowel het binnen- als buitentalud waarbij enkele meters loodrecht de dijk in gegraven wordt.

Bovenstaand beeld van de karakteristieke graverij houdt in dat binnen de beschouwde hoogwaterperiode ter plaatse van de kruin geen dusdanige vergraving aanwezig is of plaatsvindt (vluchtbouw) dat verzakking van de kruin over een aanzienlijke breedte kan optreden. Graverij door muskus- en beverratten vormt daarmee geen bedreiging voor de veiligheid van een meerdijk ten aanzien van het faalmechanisme hoogte.

Macrostabiliteit binnenwaarts

De graverij ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd, enkele uitgangspunten houden verband met het driedimensionale karakter van het mechanisme (strekkende lengte van een glijvlak langs de waterkering):

- tweezijdige aantasting van de dijk door graverij;
- buitentalud: etagebouw, waarbij het buitentalud (bekleding, inclusief erosiebestendige kleilaag) over de gehele hoogte van de dijk tot een diepte van 1,0 m is doorgraven;
- buitentalud: uniforme aantasting van de onderzijde van het talud over een strekkende lengte van minimaal 50 m;
- binnentalud: uniforme vergraving van de binnenberm vanuit de teensloot over een strekkende lengte van minimaal 50 m, de vergraving is geschematiseerd als een verzakking van de stabiliteitsberm. Uitgegaan wordt van een verzakking van 0,2 m over een lengte van 5 m aansluitend aan de insteek van de teensloot of waterpartij.

Belangrijk uitgangspunt is dat geen rekening wordt gehouden met perforatie van het kleidek, omdat:

- op het niveau waarop langdurige bewoning en uitgebreide vergraving aanwezig zal zijn (juist boven de gemiddelde waterstand) de kleikern een forse breedte heeft, doorgraving van deze kleikern is niet realistisch;
- pas boven MHW - niveau het kleidek een beperkte dikte heeft, op dit niveau zal uitsluitend graverij in de vorm van een zgn. vluchtbouw plaatsvinden. Deze graverij heeft een beperkte indringing, mede gezien de korte tijdsduur van een hoogwaterperiode (piekstand duurt uren). Zodoende is aangenomen dat dit niet tot perforatie van het kleidek leidt.

Dit is een gunstig uitgangspunt, waarmee de invloed van graverij op de veiligheid wordt onderschat.

Voor dit faalmechanisme is de verhoging van de freatische lijn in de dijk de belangrijkste invloed van de graverij op de veiligheid. Door graverij in het buitentalud bevindt het intredepunt van het buitenwater zich ca. 2 m dieper in het dijklichaam, waardoor de freatische lijn tot 2 meter in het dijklichaam een niveau heeft gelijk aan de buitenwaterstand.

tabel 4.4.1 Resultaten MStab berekeningen binnentalud meerdijken

type kade	*SF[1)]*	*SF -1m[1)]*	*SF -2m[1)]**	*% -1m[2)]*	*% -2m[2)]*	*DH[3)]*	*OF -1m[4)]*	*OF -2m[4)]*
meerdijk	1,05	1,03	1,02	-2%	-3%	0,4 m	1/1350	1/1000

[1)] SF = berekende veiligheidsfactor bij respectievelijk geen vergraving en een stijging van de freatische lijn tot een niveau gelijk aan de buitenwaterstand op een indringingsdiepte van 1 en 2 m.

[2)] procentuele afname veiligheid bij een indringingsdiepte van de buitenwaterstand van 1 en 2 m, ten opzicht van geen graverij.

[3)] DH = gemiddelde decimeringshoogte IJssel- en Markermeeergebied (RWS-DWW, 2006) met bijbehorende overschrijdingsfrequentie [per jaar]

[4)] OF = overschrijdingsfrequentie bij indringingsdiepte van de buitenwaterstand van 1 en 2 m als gevolg van graverij [per jaar]

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn opgenomen in tabel 4.2. Uit de tabel blijkt dat de stabiliteitsfactor afneemt met ca. 3%. Bij een buitenwaterstand van NAP -0 m heeft de waterkering met graverij een overeenkomstige stabiliteitsfactor als de waterkering zonder graverij. Aan de hand van een gemiddelde decimeringshoogte is voor deze waterstand een overschrijdingsfrequentie afgeleidt van ca. 1/400. In termen van de overschrijdingskans neemt de veiligheid van de waterkering af met een factor 10.

De grafische resultaten van de stabiliteitsberekeningen, alsmede de grafieken met overschrijdingsfrequenties zijn opgenomen in de bijlagen.

Macrostabiliteit buitenwaarts

De representatieve graverij ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts betreft:

- etagebouw in het buitentalud, resulterend in een perforatie van de buitenbekleding en een aantasting van de bovenste 1,0 m van het buitentalud, vanaf de teen tot een niveau maximaal enkele meters boven de gemiddelde waterstand.
- buitentalud: uniforme aantasting van de onderzijde van het talud over een strekkende lengte van minimaal 50 m;

Als gevolg van de graverij resulteert:

- een verhoogde freatische grondwaterstand in het dijklichaam.

De macrostabiliteit buitenwaarts neemt niet af ten gevolge van graverij door muskusratten of beverratten, zowel met als zonder graverij bedraagt de berekende veiligheidsfactor 0,95. Bezwijken van het buitentalud en erosie ten gevolge hiervan zijn beschouwd bij het mechanisme bekleding buitenzijde. Ten aanzien van de buitenbekleding wordt opgemerkt dat de zandige meerdijk gevoeliger is voor erosie van het buitentalud dan de uit klei bestaande rivierdijk. Ook is de mate van belasting (hoofdzakelijk golfaanval) groter dan bij een rivierdijk.

Bekleding buitenzijde en erosie buitentalud

De karakteristieke graverij van muskusratten en beverratten ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volg geschematiseerd:

- De bekleding van de dijk wordt doorgraven waardoor erosie van het buitentalud en/of het onderliggende dijklichaam mogelijk wordt.

Doorgraving van de buitenbekleding heeft naast de effecten op de overige beoordelingssporen (verlies van de waterkerende functie van de bekleding met een verhoging van de freatische lijn in de dijk tot gevolg met consequenties voor alle overige mechanismen) ook gevolgen voor het instandhouden van de waterkering zelf. Door vergraving wordt erosie van de dijk door golven en stroming onder zowel normale als maatgevende omstandigheden mogelijk. Dit proces is niet uit te drukken in een kwantificering van het veiligheidsniveau.

Bekleding binnenzijde, microstabiliteit en interne erosie

De typische meerdijk is geschematiseerd als een zanddijk met een kleibekleding. Voor zanddijken met een kleibekleding aan de binnenzijde is nagegaan of opdrukken en/of afschuiven van de bekleding mogelijk is. In het toetsspoor bekleding is het ontbreken van bekleding direct aanleiding tot het afkeuren van het betreffende dijkvak. Het al dan niet optreden van schade aan de bekleding van de binnenzijde van de dijk kan niet gekwantificeerd worden. Afname van het veiligheidsniveau wordt derhalve uitsluitend beschrijvend weergegeven.

De karakteristieke schade door graverij door muskusratten wordt hierin als volgt geschematiseerd:

- Bij stijgend water graaft de muskusrat in het buitentalud zijn pijpen parallel aan het talud omhoog teneinde het stijgende water voor te blijven. Deze zogenaamde vluchtgangen resulteren in een niet meer functionerende (waterremmende) buitenbekleding, waardoor de waterspanningen in de zandkern van de dijk toenemen. Gecontroleerd is of afschuiven of opdrukken van de binnenbekleding kan optreden onder deze maatgevende omstandigheden.

De beoordeling van de microstabiliteit / stabiliteit van de bekleding wordt gekenmerkt door het al dan niet overschrijden van een kritieke waarde. De uitkomst is ofwel voldoende ofwel onvoldoende. Naast de hoogte van het uittredend water (sijpeloppervlak) is de dikte van de deklaag hierin bepalend. Uit de berekeningen blijkt dat bij een gemiddelde deklaagdikte van 0,5 m, instabiliteit optreedt indien de freatische lijn 0,6 m boven het niveau van de binnenteen uittreedt. Of een dergelijke situatie mogelijk is naar aanleiding van graverijen hangt samen met lokale omstandigheden. Hierover kan geen uitsluitsel gegeven worden binnen de kaders van voorliggend onderzoek. Wel kan geconcludeerd worden dat indien de freatische lijn in de dijk maar in voldoende mate toeneemt als gevolg van graverijen het optreden van instabiliteit van de bekleding of micro-instabiliteit een kwestie van tijd is. In dit geval betekent instabiliteit het falen van de kering. Dit kan niet worden uitgedrukt in een vermindering van het veiligheidsniveau.

Piping
Afname van het veiligheidsniveau ten aanzien van piping kan slechts samenhangen met een afname van de beschikbare kwelweglengte. Deze afname wordt alleen aannemelijk geacht indien door graverij het gewicht van een eventuele pipingberm zou afnemen. Aangezien dit type keringen niet over een dergelijke berm beschikken, is geen sprake van een dergelijke afname. De invloed van graverij op dit mechanisme is derhalve niet geconstateerd.

4.4.4 Opmerkingen

Geconcludeerd wordt dat de mogelijkheid bestaat dat het ontbreken van een beschermende bekleding gedurende maatgevende omstandigheden kan leiden tot bresvorming, hetgeen kan leiden tot het falen van de gehele waterkering. Meerdijken zijn geschematiseerd met een keileemkade aan de buitenzijde van de dijkkern. Keileem heeft een hoge erosiebestendigheid. Derhalve wordt beschadiging van het buitentalud in mindere mate als een ernstig mechanisme beschouwd ten opzichte van rivierdijken.

4.4.5 Conclusies

Vermindering van het veiligheidsniveau van meerdijken door muskusratten- en beverrattengraverij is een significant probleem voor dit type kering. Met name macrostabiliteit binnenwaarts en microstabiliteit vormen risico's voor de veiligheid van dit type waterkering. Aan beide faalmechanisme ligt de verhoging van de freatische lijn als gevolg van vermindering van de waterkerende functie door graverij in de buitenbekleding ten grondslag. De omvang van de meerdijken is dusdanig dat onder de omschreven omstandigheden geen rekening hoeft te worden gehouden met overloop en/of overslag als gevolg van graverij.

Tabel 4.4.2: Overzicht invloed muskusratten graverij op veiligheid meerdijken

Faalmechanisme						
Hoogte		Stabiliteit				Bekleding
Overlopen	Golfoverslag	Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/1000 afname factor 4	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	opmerking* afname factor 5 à 10	opmerking* afname factor 10

opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

Tabel 4.4.3: Overzicht invloed beverratten graverij op veiligheid meerdijken

Faalmechanisme						
Hoogte		Stabiliteit				Bekleding
Overlopen	Golfoverslag	Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/1000 afname factor 4	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	opmerking* afname factor 5 à 10	opmerking* afname factor 0

opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

4.5 Zeeweringen

4.5.1 Algemene situatiebeschrijving en schematisering

Zeedijken komen voor langs de Noordzee- en Waddenzeekust, op de locaties waar een duinencomplex ontbreekt. Dit betreft met name:

- dijken langs de Waddenzeekust van Friesland en Groningen;
- dijken aan de zuidkant van de Waddeneilanden;
- dijken langs de Westerschelde en Oosterschelde (in zekere zin);
- enkele lokale dijken langs de kust van Noord- en Zuid – Holland;
- afsluitende dammen in Zeeland en de Afsluitdijk.

Het ontwerp van zeedijken wordt grotendeels bepaald door de aanzienlijke golfaanval in combinatie met strenge eisen aan het toelaatbare overslagdebiet. Dit resulteert in een hoge vereiste kruinhoogte in combinatie met een flauw buitentalud. Meer specifiek geldt ten aanzien van het dwarsprofiel van zeedijken dat veelal sprake is van:

- een kruinhoogte van tenminste ca. NAP +9 m;
- een helling van het buitentalud van tenminste 1:4 à 1:6;
- een stormberm van enkele meters breed, op het niveau van de maatgevende hoogwater stand (ca. NAP +5 m);
- harde bekleding op het buitentalud, tot tenminste enige meters boven de hoogwaterstand;
- een weg van enkele meters breed onderaan het binnentalud (onderhoud / inspectie).

Aldus ontstaat een fors dijklichaam, met een breedte op maaiveldniveau (veelal rond NAP +0) van enkele tientallen meters.

4.5.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van zeeweringen

Ondanks het zoute milieu worden ook in kustgebieden muskus- en beverratten aangetroffen. In Zeeland zijn bijvoorbeeld in 2004 en 2005 resp. ca. 10.000 en 6.500 muskusratten gevangen, en resp. ca. 55 en 15 beverratten. Ook op de Waddeneilanden zijn muskusratten aangetroffen. Waarnemingen van graverij door muskus- of beverratten ter plaatse van het buitentalud van zeedijken zijn niet aangetroffen in de literatuur, en evenmin opgegeven door muskusratbestrijders. Ook navraag bij Waterschap Zeeuws Eilanden (de heer J.C. Everaars, beleidsadviseur Waterkeringen) bevestigt dit beeld. Graverij op deze locatie is ook niet aannemelijk gezien de dynamiek van het water. Bovendien is vaak een harde bekleding aanwezig, waardoor het dijklichaam niet of slecht toegankelijk is. Ten aanzien van eventuele graverij in het binnentalud moet onderscheid gemaakt worden tussen zeedijken en -dammen, op basis van de aanwezigheid van water aan de binnenzijde (= bij dammen). Voor zeedijken geldt dat eventuele graverij zich naar verwachting beperkt tot de onderzijde van het binnentalud of een stabiliteitsberm. Voor dammen geldt dat geen waarnemingen van graverij ter plaatse van het binnentalud bekend zijn. Graverij in het binnentalud van dammen is ook niet aannemelijk, om dezelfde redenen als voor het buitentalud. Ten aanzien van de graverij geldt samenvattend dat:

- in dammen graverij niet is waargenomen, en ook niet aannemelijk is;
- in zeedijken de graverij zich zal beperken tot de onderzijde van het binnentalud of talud teensloot, en qua omvang gering is ten opzichte van de dimensie van het dijklichaam.

De verdere uitwerking van de veiligheidsanalyse beschouwt dus uitsluitend zeedijken, aangezien voor dammen geldt dat in het geheel geen graverij door muskus- of beverratten zal optreden.

4.5.3 Uitwerking veiligheidsanalyse

Hoogte: overlopen en golfoverslag

Eventuele graverij bevindt zich uitsluitend aan de binnenzijde van de waterkering en beslist niet in of nabij de kruin. Ten aanzien van dit faalmechanisme veroorzaakt graverij:

- beslist geen lokale verlaging van de kruin, ook niet bij instorting van een bouw;
- een afname van de erosiebestendigheid van het binnentalud, door beschadiging van de bekleding.

Aangezien graverij geen verlaging van de kruinhoogte veroorzaakt wordt de veiligheid van de waterkering betreffende overlopen niet nadelig beïnvloed door graverij. Voorts geldt dat het overslagdebiet bij zeedijken gering is (ontwerpcriterium: ≤ 1 l/m/s), zodat geen noemenswaardige eisen worden gesteld aan de erosiebestendigheid van het binnentalud. Eventuele nadelige gevolgen van graverij voor de erosiebestendigheid van de bekleding van het binnentalud heeft zodoende geen effect op de veiligheid van de waterkering ten aanzien van golfoverslag. Samenvattend geldt dat graverij geen nadelige invloed heeft op de veiligheid wat betreft de faalmechanismen gekoppeld aan hoogte.

Macrostabiliteit binnenwaarts

De karakteristieke graverij bevindt zich uitsluitend in de onderzijde van het binnentalud of het talud van de teensloot. Deze karakteristieke graverij heeft:

- geen nadelige invloed op de waterspanningen in het dijklichaam;
- een geringe omvang ten opzichte van de dimensie van het dijklichaam.

Graverij heeft daarmee een zeer geringe nadelige invloed op de stabiliteit van een zeedijk. Algemeen geldt dat de macrostabiliteit binnenwaarts van zeedijken ruimschoots voldoende is, omdat het ontwerp wordt gedomineerd door andere faalmechanismen en de duur van de stormvloed beperkt is. Deze conclusie is o.a. gebaseerd op de resultaten van de Toets op Veiligheid van enkele zeeweringen [o.a. waterschap Zeeuwse Eilanden, 2005]. Vanwege deze robuustheid van de zeedijk ten aanzien van macrostabiliteit wordt kwalitatief vastgesteld dat de veiligheid niet nadelig wordt beïnvloed door graverij.

Macrostabiliteit buitenwaarts

De karakteristieke graverij bevindt zich uitsluitend aan de binnenzijde van de waterkering. Op deze locatie heeft graverij geen invloed op de sterkte van het buitentalud van een zeedijk. Geconcludeerd wordt dat de macrostabiliteit van het buitentalud niet wordt beïnvloed door graverij.

Specifiek voor zeeweringen omvat de veiligheidstoets tevens de stabiliteit van het voorland (o.a. zettingsvloeiing). Graverij heeft echter op geen enkele wijze invloed op dit faalmechanisme, zodat dit verder niet is beschouwd.

Microstabiliteit

De karakteristieke graverij bevindt zich uitsluitend aan de onderzijde van het binnentalud of het talud van een teensloot. Deze karakteristieke graverij veroorzaakt:

- aantasting van het binnentalud (erosiebestendigheid bekleding);
- geconcentreerde uitstroming van freatisch grondwater (in de pijpen).

Concentratie van de uitstroming van freatisch grondwater vergroot de kans dat materiaal (gronddeeltjes) uit de kern van het dijklichaam mee spoelt. Dit kan lokaal tot uitspoeling van gronddeeltjes en vervolgens uitzakking van het binnentalud leiden. Hierbij geldt dat:

- allereerst: de mate van concentratie van het uitstromend grondwater is gering, omdat:
  - algemeen het hydraulisch verhang van het freatisch grondwater in het dijklichaam gering is, vanwege de ruime dimensionering van de waterkering (globaal 5 m verhang bij een minimale breedte van de dijkzate van 50 meter); waardoor:
  - de toename van het hydraulisch verhang gering is, vanwege de beperkte indringing van de graverij in het dijklichaam;
- vervolgens: het volume materiaal wat (extra) uitspoelt is gering, omdat:
  - normaliter bij dergelijke uitspoeling een evenwichtsprofiel ontstaat met een helling van ca. 1:7, aangezien de uitspoeling zich aan de onderzijde van het talud of in de teensloot bevindt smoort deze zichzelf spoedig;
  - de maatgevend hoge waterstand kortdurend is (stormopzet duurt overwegend 35 tot 45 uur), waarbij bovendien eerst het dijklichaam verzadigd dient te raken.

Deze aantasting veroorzaakt een afname van de veiligheid ten aanzien van de microstabiliteit. Deze afname is gering, gezien de zeer beperkte omvang van de verstoring ten opzichte van de dimensie van de zeedijk. Het is daarbij niet goed mogelijk deze afname uit de drukken in een toename van de overschrijdingskans. Gesteld wordt dat ten aanzien van microstabiliteit de schade door graverij resulteert in een ongewenste aantasting van de waterkering, maar dat dit niet leidt tot een significante afname van de veiligheid.

Piping en heave

De karakteristieke graverij bevindt zich uitsluitend in de onderzijde van het binnentalud of het talud van een teensloot. Deze karakteristieke graverij veroorzaakt:

- geen afname van de kwelweglengte in het voorland;

- een geringe afname van de opdrijfveiligheid van een eventuele afdekkende kleilaag in het achterland in de vergraven zone; en dus:
- mogelijk een korte afname van een eventuele kwelweglengte in het achterland, waarbij het uittredepunt maximaal enkele meters verplaatst van de sloot naar de vergraven zone in het talud.

Ten aanzien van de veiligheid van zeeweringen geldt allereerst dat piping overwegend geen kritiek faalmechanisme is, vanwege de ruime dimensionering van de waterkering en de korte duur van de hoogwater periode of stormvloed. Dit blijkt ook uit de verschillende rapportages van de Toets op Veiligheid van zeeweringen. Indien piping relevant is, veroorzaakt een verkorting van de kwelweg met één tot enkele meters een geringe afname van het toelaatbaar hydraulisch verhang van orde grootte minder dan 0,2 m (creep–factor: 18, fijn zand). Dit is een geringe afname, zeker wanneer rekening wordt gehouden met de korte duur van de maatgevende belasting in combinatie met het niet-stationaire karakter van de grondwaterstroming.

In termen van een toename van de overschrijdingskans is de invloed echter aanzienlijk. Dit hangt vooral samen met:
- het hoge veiligheidsniveau van de dijkringen langs de kust:
  de genormeerde overschrijdingskans bedraagt overwegend 1/4000, met uitzondering van enkele Waddeneilanden (1/2000) en Noord- en Zuid-Holland (1/10.000);
- de betrekkelijke geringe decimeringshoogte:
  voor het kustgebied varieert deze tussen ca. 0,5 à 0,6 (Zeeland) en 0,4 à 0,7 (Waddenzee).

Een afname van de toelaatbare maatgevend hoogwaterstand met 0,2 m resulteert bij een gemiddelde decimeringshoogte van 0,6 m in een toename van de overschrijdingskans van 1/4000 tot ca. 1/2000, ofwel een verdubbeling.

4.5.4 Opmerkingen

Zeedijken in waterschap Zeeuwse Eilanden

Specifiek voor de zeedijken in het beheersgebied van het waterschap Zeeuwse Eilanden geldt dat zich aan de binnenzijde overwegend een verhoogde weg bevindt, en pas daarna een teensloot. Graverij in het sloottalud en instorting van de wegberm wordt veelvuldig aangetroffen. Graverij tot in het binnentalud is echter niet waargenomen. Specifiek voor de situatie in de Zeeuwse Eilanden lijkt het daarmee uitgesloten dat graverij door muskusratten leidt tot stabiliteitsverlies van de zeedijk.

Groene zeedijken

Niet op alle zeedijken bevindt zich een harde bekleding. Op sommige locaties, met name langs de Waddenzeekust, is sprake van een grasbekleding in combinatie met een flauwere helling van het buitentalud. Ondanks de afwezigheid van een slecht toegankelijke harde bekleding is ook op zgn. groene zeedijken geen graverij in het buitentalud waargenomen. Voor dit type zeedijken gelden daarom gelijke conclusies als voor de zeeweringen met harde bekleding.

Overigens bevindt zich op deze locaties buitendijks vaak een uitgestrekte kwelder (hierdoor worden de golven gedempt en volstaat een grasbekleding op het buitentalud). In deze kwelders worden muskusratten wel waargenomen, inclusief graverij in taluds van sloten. Deze sloten bevinden zich echter op aanzienlijke afstand van de zeewering, zodat dergelijke graverij geen invloed heeft op de veiligheid van de zeewering. Voorts is bekend dat muskusratten tijdens hoogwater perioden uit de

kwelder de dijk op en over vluchten. Tijdens deze korte vlucht veroorzaken ze echter geen schade aan de zeewering.

Faalmechanisme piping overwegend niet relevant voor zeeweringen
Uit de analyse blijkt ten aanzien van het faalmechanisme piping een halvering van de veiligheid. Zoals gesteld geldt voor de veiligheid van zeeweringen echter dat piping overwegend geen kritiek faalmechanisme is. Met nadruk wordt opgemerkt dat een halvering van de veiligheid uitsluitend optreedt indien piping een kritiek faalmechanisme is. Naar verwachting zal hiervan slechts op een gering deel van de totale lengte aan zeeweringen sprake zijn. Zodoende wordt ten aanzien van de werkelijk situatie gesteld dat graverij door muskus- en beverratten overwegend geen invloed hebben op de veiligheid van een waterkering, voor wat betreft het faalmechanisme piping.

4.5.5 Conclusies

Onderstaande tabel presenteert een samenvattend overzicht van de gevolgen van de graverij van muskus- en beverratten voor de veiligheid van zeeweringen. Geconcludeerd wordt dat onder de beschreven uitgangspunten geen consequenties voor het veiligheidsniveau worden herkend als gevolg van graverij door muskusratten of beverratten.

Tabel 4.5.1: Overzicht invloed muskusratten- en beverrattengraverij op veiligheid zeeweringen

Faalmechanisme						
Hoogte		**Stabiliteit**				**Bekleding**
Overlopen	**Golfoverslag**	**Macro - binnen**	**Macro - buiten**	**Piping**	**Micro**	**buiten/ binnen**
1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/4000 afname factor 0	1/4000 -> 1/2000 afname factor 2	opmerking* afname factor 0	opmerking* afname factor 0

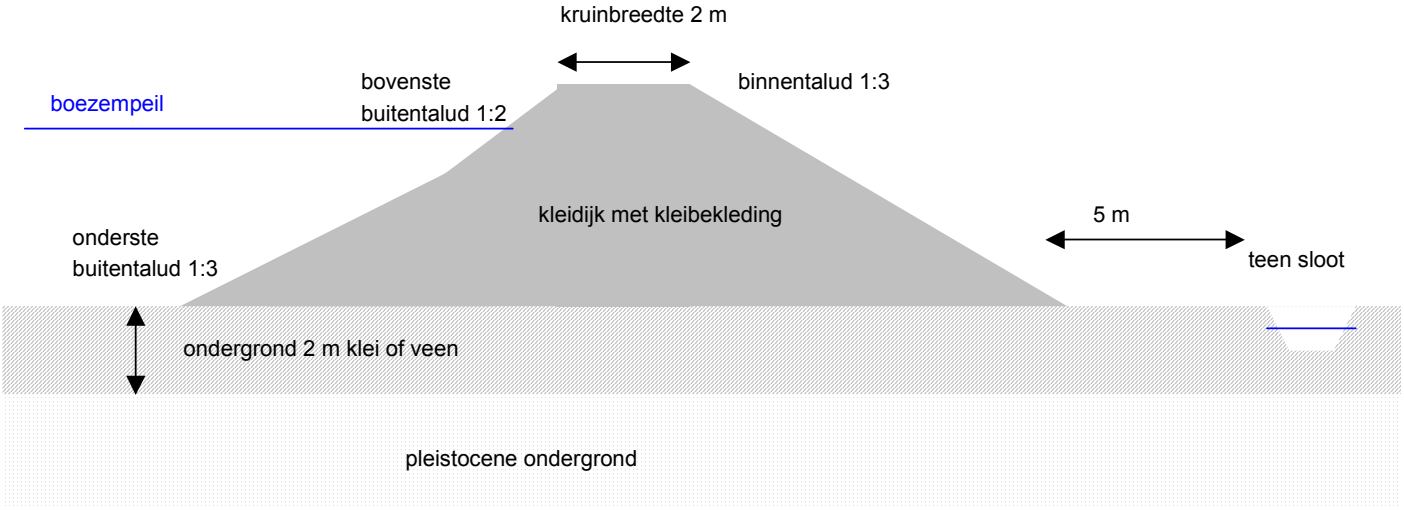
opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

4.6 Boezemkaden (met grote kerende hoogte)

4.6.1 Schematisering kade

Voor de schematisering van de kade is uitgegaan van een gemiddelde boezemkade in het westen van Nederland, omdat dit type regionale kering hier relatief het meest voorkomt. Als grote kerende hoogte wordt verstaan een kerende hoogte van meer dan 2 meter. In figuur 4.3 zijn de dimensies van de kade, karakteristieke afmetingen en grondopbouw kade en ondergrond, opgenomen.

figuur 4.3: Schematisering boezemkade met grote kerende hoogte



De boezemkade met grote kerende hoogte is opgebouwd uit klei en/of veen met een kleideklaag. De ondergrond bestaat uit een deklaag met een dikte van 4 m, bestaande uit klei en/of veenlagen. Hieronder bevindt zich de pleistocene ondergrond.

4.6.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van boezemkaden

De veiligheidsanalyse is uitgewerkt volgens de procedure zoals beschreven in de Leidraad Toets op Veiligheid regionale waterkeringen – katern Boezemkaden (IPO, 2005).

4.6.3 Uitwerking veiligheidsanalyse

Voor boezemkaden is vooralsnog uitsluitend uitgegaan van het optreden van graverijschade door muskusratten. Dit type kade kent een zeer geringe drooglegging. Gezien de voorkeur van de beverrat voor een grotere drooglegging in combinatie met een relatief grotere gronddekking (deze ruimte zit niet in het dwarsprofiel van de boezemkade) op zijn bouw, is het niet zeker of de beverrat zich in boezemkaden zal vestigen. Indien men zich een beeld wil vormen van de gevolgen van beverratgraverijen op de veiligheidssituatie van boezemkaden, mogen de resultaten ten aanzien van muskusrattengraverij als indicatief beschouwd worden.

Hoogte

Voor dit faalmechanisme is de situatie met een verlaagde kruin door het intrappen / inzakken van een muskusrattenbouw maatgevend. De situatie waarbij zich een nog intact zijnde bouw in het dijklichaam bevindt en geen kruinverlaging is opgetreden vormt een gunstigere situatie cq. heeft een hogere veiligheid ten opzichte van de "ingetrapte" situatie. Impliciet uitgangspunt is dus dat maatgevende hoogwatersituatie optreedt in de periode tussen het intrappen / inzakken van de kruin en het herstel van de schade. Dit is realistisch aangezien:

- de graverij overwegend pas zichtbaar wordt na het intrappen / inzakken van de bouw;
- hoogwatersituaties bij dit type waterkeringen frequent optreden, vanwege de permanente aanwezigheid van een hydraulische belasting (= gemiddeld boezempeil) en bovendien niet specifiek gerelateerd zijn aan meer voorspelbare (qua signalering) en seizoensgebonden maatgevende rivierafvoeren;
- kadeverbetering vereist maatwerk in verband met de slechte bereikbaarheid en toegankelijkheid van kaden, zodat (groot) onderhoud veelal niet op korte termijn wordt uitgevoerd (anders dan noodmaatregelen).

De representatieve graverij wordt als volgt geschematiseerd:

- Ter plaatse van de kruin is door het intrappen / inzakken van een bouw met enkele nestkommen de kruin verlaagd met een grootte van 0,2 à 0,3 m, over een breedte van max. 3 meter en een "diepte" in de kruin van max. 1 meter.
- Verder is de rietkraag verdwenen door het afknagen van de wortels. Verdere afkalving van de oever is niet beschouwd, uitgangspunt is dat kade spoedig na de waarneming van het intrappen / inzakken wordt hersteld waardoor geen afkalving optreedt.
- Hoewel de beschouwing betrekkelijk 2-dimensionaal van aard is (dwarsprofiel) wordt aanvullend opgemerkt dat dergelijk combinaties van ingezakte bouwen en verdwenen rietkragen op onderlinge afstanden van ca. 100 m kunnen voorkomen.

De beoordeling op de veiligheid concentreert zich op een eventuele afname van de veiligheid ten aanzien van het overlopen van de kade en door een toename van het overslagdebiet, eveneens door afname van de kruinhoogte.

Minimaal vereiste kruinhoogte van een boezemkade is gelijk aan de maatgevende waterstand (stoppeil, inclusief neerslag gedurende maatgevende omstandigheden) in de boezem, vermeerderd met de minimaal vereiste waakhoogte. De waakhoogte is afhankelijk van onder andere lokale opwaaiing in de boezem, golfoverslaghoogte, onzekerheden in de berekening van het maatgevend boezempeil en onzekerheden in de aanwezige kruinhoogte.
Veel boezemkaden hebben slechts een zeer geringe marge tussen de aanwezige kruinhoogte en het maatgevend boezempeil, tot plaatselijk slechts 0,1 m.

overloop van de boezemkade

Indien een boezemkade overloopt is sprake van bezwijken van de kade. Hiertoe moet aan 2 voorwaarden worden voldaan:

- in de eerste plaats moet de kruinverlaging als gevolg van graverij groter zijn dan de benodigde kruinhoogtemarge onder maatgevende omstandigheden;
- daarnaast moet de verlaging over de gehele breedte van de kruin aanwezig zijn.

Met name in het westen van Nederland beschikt een groot aantal kaden over een zeer geringe kruinhoogtemarge.

Aangezien de omvang van de graverij overeenkomt met de decimeringshoogte (beiden circa 0,3 m) wordt geconcludeerd dat het veiligheidsniveau van boezemkaden met een factor 10 afneemt ten gevolge van muskusrattengraverij.

golfoverslag over de boezemkade
Indien een boezemkade over een kruinhoogtemarge beschikt groter dan het verlies aan hoogte door graverij, is overlopen van de kade niet mogelijk. Wel is het mogelijk dat door golfoverslag erosie van de kruin en het binnentalud optreedt, waardoor uiteindelijk een bres kan ontstaan. Hiertoe worden normaliter eisen gesteld aan het max. overslagdebiet, in combinatie met de erosiebestendigheid van de kruin en binnentalud (doorgaans 1 l/m/s voor boezemkaden). De afname in veiligheidsniveau zal eerder een inschatting zijn (beschrijvenderwijs) dan een absolute afname.

De decimeringshoogte van boezemkaden in de provincie Utrecht bedraagt gemiddeld 0,3 m. Op basis van de maatgevende schematisatie van graverij wordt geconcludeerd dat reeds bij aanwezigheid van één enkel geval van graverij (ingetrapte pijp en/of nestkom) een vermindering van het veiligheidsniveau met een factor 10 optreedt.

Foto 8 Ingezakte of ingetrapte kruin van een boezemkade

Macrostabiliteit binnenwaarts
Voor het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit wordt de verhoging van de freatische lijn in de kade als maatgevend beschouwd. De graverij ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd:

- enkelzijdige aantasting van de dijk door graverij (buitenzijde);
- buitentalud: bouw over een strekking van de kade gelijk de breedte van een karakteristieke glijcirkel, waarbij het buitentalud (bekleding, inclusief erosiebestendige kleilaag) over de gehele hoogte van de dijk tot een diepte van 1,0 m is doorgraven;
- graverij aanwezig over tenminste de volledige breedte van een potentieel glijvlak (20 tot 50 meter).

De aanname van de aanwezigheid van de graverij over een bepaalde breedte heeft te maken met drie-dimensionale karakter van dit faalmechanisme. Een afschuiving of glijvlak heeft namelijk een bepaalde breedte, anders dan sommige andere faalmechanismen (zoals hoogte, piping) die meer 2-dimensionaal van aard zijn. De minimale breedte van een glijvlak varieert van ca. 20 tot 50 meter (strekkende meters kruin), afhankelijk van onder andere de steilheid van het talud. Aanvullend uitgangspunt ten aanzien van de graverij is dat deze over een breedte van tenminste 20 tot 50 meter aanwezig is. Gezien de waarnemingen betreffende de omvang van een bouw en de intensiteit van het aantal bouwen in een kadestrekking, is deze aanname gerechtvaardigd.
De graverij in het buitentalud resulteert in een verhoging van de freatische lijn in de dijk. Het intredepunt van boezemwater bevindt zich ca. 1 m dieper in het dijklichaam, waardoor de freatische lijn tot 1 meter in het dijklichaam een niveau heeft gelijk aan de buitenwaterstand.

De veiligheid van de boezemkade tegen binnenwaartse macro-instabiliteit wordt getoetst aan de schadefactor. Deze schadefactor is gerelateerd aan de overschrijdingsfrequentie. Door middel van deze relatie kan de afname van de stabiliteitsfactor (MStab) gebruikt worden om de afname van het veiligheidsniveau van de boezemkade vast te stellen. Op basis van een min of meer gelijkblijvende waterstand (maalstop) wordt de stabiliteitsfactor getoetst aan de vereiste schadefactoren conform de IPO Richtlijn Normering. Vanuit deze Richtlijn kan op basis van de veiligheidsklasse (IPO I t/m V) direct het nieuwe veiligheidsniveau worden afgeleid.
Indien bijvoorbeeld de stabiliteitsfactor van een boezemkade afneemt van 1,52 zonder en 1,37 met graverij, vertegenwoordigt dit een afname van 10% ten gevolge van graverij. Indien wordt uitgegaan van een genormeerde kade met een stabiliteitsfactor van 1,0, voldoet de situatie zonder graverij juist aan de norm behorende bij een veiligheidsniveau 1/1000 (IPO klasse V, schadefactor 1,0). Bij een afname van de stabiliteit (-factor) met 10% tot 0,9 voldoet de kade nog juist aan de norm behorende bij een veiligheidsniveau 1/100 (IPO klasse III, schadefactor van 0,9). Samenvattend, door schade aan de waterkering door graverij van muskusratten neemt:
- de stabiliteit van de kering met ca. 10% af;
- het veiligheidsniveau van de kering af met een factor 10.

tabel 4.6.1 Resultaten MStab berekeningen binnentalud boezemkaden met grote kerende hoogte

type kade	*SF[1)]*	*SF -1m[1)]*	*SF -2m[1)]**	*% -1m[2)]*	*% -2m[2)]*	*DH[3)]*	*OF -1m[4)]*	*OF -2m[4)]*
boezemkade	1,07	1,03	0,98	-4%	-9%	0,3 m	1/20	1/10

[1)] SF = berekende veiligheidsfactor bij respectievelijk geen vergraving en een stijging van de freatische lijn tot een niveau gelijk aan de buitenwaterstand op een indringingsdiepte van 1 en 2 m.
[2)] procentuele afname veiligheid bij een indringingsdiepte van de buitenwaterstand van 1 en 2 m, ten opzicht van geen graverij.
[3)] DH = gemiddelde decimeringshoogte IJssel- en Markermeeergebied (RWS-DWW, 2006) met bijbehorende overschrijdingsfrequentie [per jaar]
[4)] OF = overschrijdingsfrequentie bij indringingsdiepte van de buitenwaterstand van 1 en 2 m als gevolg van graverij [per jaar]

Macrostabiliteit buitenwaarts
Voor het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit wordt een verzwakking van het talud als maatgevend beschouwd. De graverij ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd:

- buitentalud: etagebouw, waarbij het buitentalud (bekleding, inclusief erosiebestendige kleilaag) over de gehele hoogte van de dijk tot een diepte van 1,0 m is doorgraven;
- graverij aanwezig over tenminste de volledige breedte van het glijvlak (20 tot 50 meter).

Dit karakteristieke schadebeeld is vertaald in een afname van het volumiek gewicht en de lokale sterkteparameters van de doorgraven en ondermijnde grondlaag. Dit wordt representatief geacht voor het verdwijnen van grond in het profiel. Een verhoging van de freatische lijn in het dijklichaam is van ondergeschikt belang bij deze beschouwing.

De gevolgde berekeningswijze resulteert niet in een reductie van de stabiliteitsfactor. Voor boezemkaden bedraagt de stabiliteitsfactor met en zonder graverij 1,2. Dit wordt verklaard door de ligging van het glijvlak, dit snijdt niet door de zone van de waterkering dat door vergraving verzwakt wordt. Op basis van de berekeningen wordt geconcludeerd dat graverij in het buitentalud geen invloed heeft op de macro-stabiliteit van het buitentalud.
Opgemerkt wordt dat graverij wel een verzwakking van het buitentalud veroorzaakt, de invloed van deze verzwakking betreft echter de faalmechanismen erosiebestendigheid en bekleding buitentalud.

Microstabiliteit en stabiliteit van de bekleding binnentalud
Doorsiepelen en verweking van het binnentalud worden meermalen genoemd als schadebeeld als gevolg van graverijen. Het doorlaten van water door de kade kan als falen worden beschouwd, echter een kade laat altijd in zekere mate water door als gevolg van het waterdrukverschil tussen buiten- en binnenzijde. Normen of richtlijnen over de hoeveelheid toelaatbaar kwelwater zijn niet voorhanden. De verhoging van de waterdruk is al meegenomen als sterktereductie in de berekening van de macrostabiliteit binnenwaarts. Het karakteristieke schadebeeld door graverij ten behoeve van de mechanismen microstabiliteit en bekleding aan de binnen zijde is dan ook identiek aan het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts (graverij aan de buitenzijde van de kade). Bij graverij aan de binnenzijde van de kade geldt dat hierin de combinatie met graverij aan de buitenzijde maatgevend is. Indien tevens de hoogte van de kade door graverij is aangetast, zal ook de combinatie met overslag en schade aan de binnenbekleding beschouwd moeten worden. Deze combinaties van mechanismen worden in §4.5.4 nader toegelicht.

Bij kaden die volledig uit klei bestaan heeft de toename van de kwel geen verdere consequenties voor de microstabiliteit of de bekleding van het binnentalud. Voor zandkaden met een kleibekleding aan de binnenzijde is nagegaan of opdrukken en/of afschuiven de bekleding mogelijk is.
Het al dan niet optreden van micro-instabiliteit of schade aan de bekleding van de binnenzijde van de kade kan niet gekwantificeerd worden (uitgedrukt in termen van een overschrijdingskans). Afname van het veiligheidsniveau wordt derhalve uitsluitend beschrijvend weergegeven.

Stabiliteit van de bekleding buitentalud
Het karakteristieke schadebeeld door graverij in bekleding van het buitentalud wordt gevormd door:

- een enkele of meerder ingangen in de bekleding. Door erosie (tijdsafhankelijk) treedt op een gegeven moment instabiliteit van de bekleding op (afschuiven, instorten van een gang o.i.d.) waardoor plaatselijk de bekleding ontbreekt.

Schade aan de bekleding door instorten / afschuiven leidt niet direct tot falen van de kade. In het toetsspoor bekleding is het ontbreken van bekleding direct aanleiding tot het afkeuren van het betreffende dijkvak. Het al dan niet voldoen van de bekleding kan niet worden vertaald naar een overschrijdingsfrequentie. Afname van het veiligheidsniveau wordt derhalve uitsluitend beschrijvend weergegeven.

Piping
Afname van het veiligheidsniveau ten aanzien van piping kan slechts samenhangen met een afname van de beschikbare kwelweglengte. Hiertoe kunnen twee oorzaken worden onderscheiden:
- de afdekkende kleilaag ter plaatse van het voorland of de buitenteen wordt kortgesloten door een verticaal gegraven pijp;
- de afdekkende grondlaag aan de binnenzijde wordt dermate doorgraven dat een opdrijfsituatie kan ontstaan, waardoor het optreden van piping mogelijk wordt.

De graverij ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd:
- voorland en achterland: geen verticale doorgraving van een afdekkende kleilaag ter plaatse van het voorland of de buitenteen, tot in watervoerend pakket of tussenzandlaag (zie onderstaande motivatie);
- binnentalud: ter plaatse van het binnentalud is een vergraving vanuit de teensloot geschematiseerd als een verzwakking van het binnenbeloop. Uitgegaan wordt van een verzakking van 0,2 m over een lengte van 5 m aansluitend aan de insteek van de teensloot of waterpartij;
- graverij in het binnentalud is aanwezig over een minimale breedte van ca. 10 meter (in verband met belastingspreiding bij bepaling grondbreuk).

Het verticaal doorgraven van de afdekkende kleilaag buitendijks wordt als niet realistisch verondersteld, gezien de waarnemingen betreffende graverijen, tenzij een verticale keerwand aanwezig is. Bij geringe waterdiepte aan de teen van het talud graaft de muskusrat wel eerst naar beneden om een waterslot te creëren, maar dit zal niet de totale dikte van de deklaag bedragen. Dit rechtvaardigt de aanname dat de waterkerende deklaag blijft functioneren en het intredepunt niet wijzigt. Een hydraulische kortsluiting tussen de watergang en het watervoerende pakket of zogenaamde tussenzandlagen wordt zodoende niet mogelijk geacht. Ook aan de binnenzijde wordt een verticale doorgraving van afdekkende kleilagen als niet realistisch beschouwd. Graverij zal daardoor geen wellen veroorzaken.

Wel kan door graverij het gewicht van een eventuele pipingberm afnemen, over voldoende breedte i.v.m. belastingspreiding. Het is daarbij denkbar dat de opdrukveiligheid afneemt, waardoor grondbreuk kan optreden. De verdere uitwerking is enigszins theoretisch: afname van de opdrijfveiligheid van juist wel naar juist niet voldoende. Dit resulteert in een afname van de aanwezige kwelweglengte, met een lengte gelijk aan de breedte van de berm die nu onvoldoende veiligheid heeft.

4.6.4 Opmerkingen

<u>Stapeling van effecten</u>
Betreffende de gevolgen van graverij is een aaneenschakeling of optelling van effecten denkbaar. Zo veroorzaakt een kruinverlaging een afname van de hoogte, welk effect direct wordt beoordeeld ten aanzien van de veiligheid van het betreffende faalmechanisme. Een kruinverlaging veroorzaakt

tevens een toename van het overslag debiet. Dit geeft een sterker verzadiging van het dijklichaam, wat nadelig is voor de stabiliteit van het binnentalud. Bij deze aaneenschakeling is in zekere zin sprake van kans op kans. Deze aaneenschakeling is verwaarloosd omdat dit als te conservatief is beschouwd. Dit houdt wel in dat bij een ongunstige combinatie van effecten de gevolgen voor de veiligheid groter zullen zijn dan zoals de resultaten weergeven.

Aanwezigheid beschoeiing of harde bekleding

Een belangrijke uitzondering op het uitgangspunt dat geen verticale doorgraving van kleilagen in het voorland optreedt zou gevormd kunnen worden indien een verticale belemmering aanwezig is in het voor- of achterland of ter plaatse van de buiten- of binnenteen van de kade (beschoeiing, damwand, etc.). Een dergelijke belemmering resulteert wel tot een diepe verticale ingang van een pijp, in de literatuur zijn max. diepten tot 2 meter aangetroffen. Een dergelijke doorgraving lijkt uitsluitend realistisch indien over lange strekking geen geschikte vestigingsplaats beschikbaar is. Of een dergelijke diepe ingang resulteert in een doorgraving van de afdekkende kleilaag hangt onder andere af of de “belemmering” reikt tot in de betreffende zandlaag en de kleilaag een beperkte diepte heeft. Het is daarbij niet bekend tot welke diepte een muskusrat kan / wil graven, ogenschijnlijk geldt een max. diepte van 2 meter. Wellicht hangt dit mede samen met de beschikbaarheid van geschikte nestlocaties cq. de populatiedichtheid. De diepte van graverijen zou nader onderzocht kunnen worden. Vooralsnog wordt verondersteld dat hydraulische kortsluiting door graverij alleen kan optreden indien een verticale belemmering aanwezig is en de dikte van de afdekkende laag minder dan 2 meter bedraagt. Indien dit optreedt resulteert dit in een aanzienlijke afname van de veiligheid, ten aanzien van de faalmechanismen macro-stabiliteit binnenwaarts en piping.

Dijken langs het Julianakanaal (Limburg)

Het waterpeil in het Julianakanaal bevindt zich overwegend (ruim) boven het maaiveldniveau. Het kanaal wordt aldus in stand gehouden door de beide dijken aan weerszijden van het kanaal. De dijken en daarmee het kanaal zijn aangelegd rond 1930, het kanaal is verbreed in de jaren ’60. Deze dijken vormen in zekere zin een soort boezemkaden, in de zin dat ze permanent waterkeren, met de volgende specifieke kenmerken:

- een grote kerende hoogte, tot soms meer dan 10 meter;
- een waterdichte bekleding van het talud aan de kanaalzijde;
- de stabiliteit is in sterke mate afhankelijk van de drooglegging van de dijk, bij lekkage in de bekleding en verzadiging van het dijklichaam neemt de stabiliteit sterk af.

Dit type kering komt specifiek in Limburg voor, met een geringe lengte (ca. 30 km). De analyse van de gevolgen van graverij voor de veiligheid is voor dit type niet uitgevoerd.

4.6.5 Conclusies

De veiligheid van dit type kade is erg gevoelig voor schade door graverij. Met name de relatief geringe omvang van dit type kade ten opzichte van de omvang van de graverij is hier debet aan. Ook het feit dat boezemkaden permanent een waterkerende functie vervullen vormt een belangrijke factor in deze beoordeling. Tijd om schade te herstellen voordat maatgevende (hoogwater) omstandigheden optreden kan hier buiten beschouwing gelaten worden, aangezien omdat deze omstandigheden vrijwel altijd (nagenoeg) aan de orde zijn.

De kwetsbaarheid van boezemkaden met grote kerende hoogte is hoofdzakelijk gelegen in de faalmechanismen kruinhoogte en erosie/ afkalving van de bekleding van het buitentalud met als gevolg kans op macro instabiliteit binnenwaarts.

Tabel 4.6.2: Overzicht invloed muskusrattengraverij op veiligheid boezemkaden met grote kerende hoogte

Faalmechanisme						
Hoogte		Stabiliteit				Bekleding
Overlopen	Golfoverslag	Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/100 afname factor 0	1/100 -> 1/100 afname factor 0	opmerking* afname factor 5 à 10	opmerking* afname factor 10

opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

Tabel 4.6.3: Overzicht invloed beverrattengraverij op veiligheid boezemkaden met grote kerende hoogte

Faalmechanisme						
Hoogte		Stabiliteit				Bekleding
Overlopen	Golfoverslag	Macro - binnen	Macro - buiten	Piping	Micro	buiten/ binnen
1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/100 afname factor 0	1/100 -> 1/100 afname factor 0	opmerking* afname factor 5 à 10	opmerking* afname factor 0

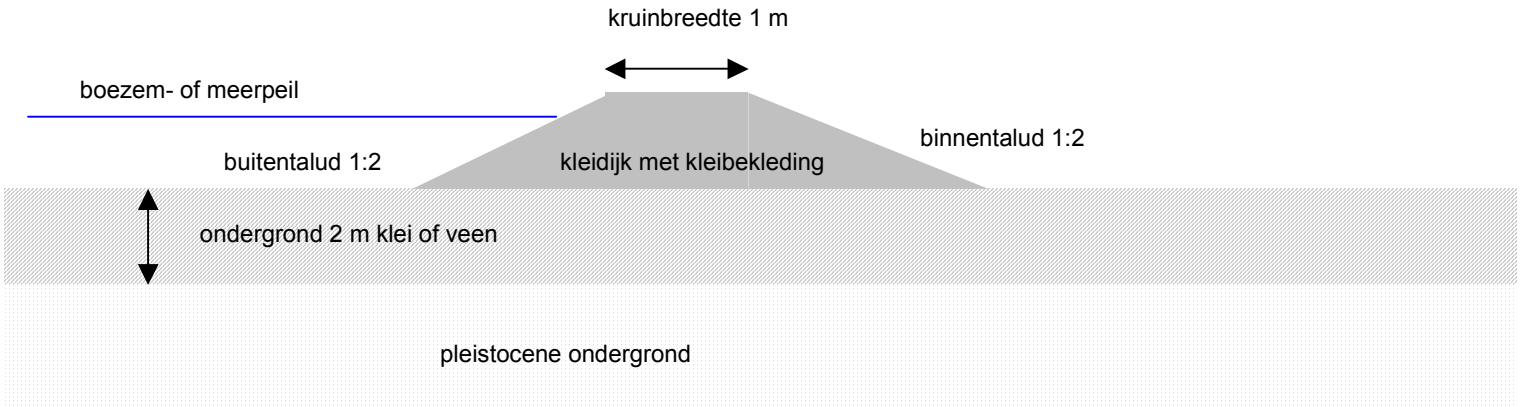
opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

4.7 Boezemkaden (met geringe kerende hoogte)

4.7.1 Schematisering kade

Zoals gesteld wordt bij de boezemkaden nader onderscheid gemaakt in de grootte van de kaden. Deze nauwkeurigheid wordt gehanteerd juist vanwege de betrekkelijke kwetsbaarheid van dit type kaden voor graverij door muskus- en beverratten. Onder kleine boezemkaden worden kaden verstaan met een kerende hoogte van maximaal 2 meter. Dit type kade komt hoofdzakelijk voor in het noorden van het land. Met name langs de Friese boezems en meren worden kleine boezemkaden aangetroffen. Hier zijn geen diepe inpolderingen aanwezig, zoals die in het westen van het land wel worden aangetroffen. In figuur 4.4 zijn de dimensies van de kade (karakteristieke afmetingen en grondopbouw kade en ondergrond) opgenomen.

figuur 4.4: Schematisering boezemkade met geringe kerende hoogte



De boezemkade met geringe kerende hoogte is opgebouwd uit klei en/of veen met een kleideklaag. De ondergrond bestaat uit een deklaag met een geringe dikte, bestaande uit klei en/of veenlagen. Hieronder bevindt zich de pleistocene ondergrond. Met name langs meerkaden worden plaatselijk rietkragen van grote omvang aangetroffen.

4.7.2 Specifieke uitgangspunten ten aanzien van kleine boezemkaden

De veiligheidsanalyse is uitgewerkt volgens de procedure zoals beschreven in de Leidraad Toets op Veiligheid regionale waterkeringen – katern Boezemkaden (IPO, 2005).

4.7.3 Uitwerking veiligheidsanalyse

Hoogte

De beschouwing van de hoogte van de kade vindt op dezelfde wijze plaats als voor de boezemkaden met grote kerende hoogte. Hierbij gelden tevens dezelfde uitgangspunten ten aanzien van de situatie met verlaagde kruin en de schematisatie van de representatieve graverij.

De beoordeling op de veiligheid concentreert zich op een eventuele afname van de veiligheid ten aanzien van het overlopen van de kade en door een toename van het overslagdebiet, eveneens door afname van de kruinhoogte. Ten aanzien van boezemkaden langs meren wordt opgemerkt dat hier golfoverslag maatgevend zal zijn boven overlopen van de kade. De wijze van kwantificering / berekening van falen door kruinverlaging blijft echter gelijk aan de werkwijze voor boezemkaden met grote kerende hoogte.

Macrostabiliteit binnenwaarts

De graverij ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd:

- enkelzijdige aantasting van de dijk door graverij (buitenzijde);
- buitentalud: bouw over een strekking van de kade gelijk aan de breedte van een karakteristieke glijcirkel, waarbij het buitentalud (bekleding, inclusief erosiebestendige kleilaag) over de gehele hoogte van de dijk tot een diepte van 1,0 m beneden maaiveld is doorgraven;
- graverij aanwezig over tenminste de volledige breedte van een potentieel glijvlak (10 tot 25 meter).

Meest belangrijk gevolg van de graverij voor dit faalmechanisme betreft de verhoging van de freatische lijn in de kade.

Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat de veiligheidsfactor groter is dan 2. Dit kan worden verklaard door de geringe kerende hoogte van de waterkering en de betrekkelijk flauwe taluds. Deze geometrie heeft een dermate grote veiligheidsmarge, dat het optreden van macro – instabiliteit van het binnentalud ten gevolge van graverij niet mogelijk wordt geacht.

tabel 4.7.1 Resultaten berekeningen binnentalud boezemkaden met kleine kerende hoogte

type kade	*SF[1)]*	*SF -1m[1)]*	*SF -2m[1)]**	*% -1m[2)]*	*% -2m[2)]*	*DH[3)]*	*OF -1m[4)]*	*OF -2m[4)]*
boezemkade	2,65	2,57	2,52	-3%	-5%	0,3 m	1/30	1/15

[1)] SF = berekende veiligheidsfactor bij respectievelijk geen vergraving en een stijging van de freatische lijn tot een niveau gelijk aan de buitenwaterstand op een indringingsdiepte van 1 en 2 m.

[2)] procentuele afname veiligheid bij een indringingsdiepte van de buitenwaterstand van 1 en 2 m, ten opzicht van geen graverij.

[3)] DH = gemiddelde decimeringshoogte IJssel- en Markermeeergebied (RWS-DWW, 2006) met bijbehorende overschrijdingsfrequentie [per jaar]

[4)] OF = overschrijdingsfrequentie bij indringingsdiepte van de buitenwaterstand van 1 en 2 m als gevolg van graverij [per jaar]

Macrostabiliteit buitenwaarts

De representatieve graverij ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts betreft:

- een bouw in het buitentalud met een strekkende lengte ter grootte van een karakteristieke glijcirkel;
- de graverij bestaande uit aantasting van de bovenste 1,0 m van het buitentalud.

De gevolgde berekeningswijze resulteert niet in een reductie van de veiligheidsfactor. Voor boezemkaden met kleine kerende hoogte bedraagt de stabiliteitsfactor met en zonder graverij 1,26. Het gedeelte van de waterkering dat door vergraving verzwakt wordt ligt niet in de zone waardoorheen het kritieke afschuifvlak berekend wordt. Deze zone heeft derhalve geen invloed op de berekende macrostabiliteit buitenwaarts.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat evenmin een afname van het veiligheidsniveau zal plaatsvinden als gevolg van instabiliteit van het buitentalud, geïnitieerd door graverijen.

Microstabiliteit en stabiliteit van de bekleding binnentalud

Gezien de geringe kerende hoogte zijn deze faalmechanismen niet maatgevend. De relatie van deze mechanismen met het veiligheidsniveau wordt beschrijvend opgenomen.

Stabiliteit van de bekleding buitentalud en erosie buitentalud door golfslag

Het karakteristieke schadebeeld door graverij in bekleding van het buitentalud wordt gevormd door een enkele of meerdere ingangen in de bekleding. Door erosie (tijdsafhankelijk) treedt op een gegeven moment instabiliteit van de bekleding op (afschuiven, instorten van een gang o.i.d.) waardoor plaatselijk de bekleding ontbreekt.

Met name meerkaden worden regelmatig blootgesteld aan golfbelasting door wind. De Friese boezemwateren kennen echter ook een intensieve (recreatie) scheepvaart, welke eveneens een grote golfbelasting met zich meebrengt.

Schade aan de bekleding door instorten / afschuiven kan bij dit type kade relatief snel leiden tot afkalving, hetgeen bij voortschrijden tot het verdwijnen van de gehele kade kan leiden. Dit proces kan niet kwantitatief worden uitgedrukt in termen van een toename van de overschrijdingskans.

foto 9 (links) **Aantasting rietkraag door combinatie vraat en graverij en**

foto 10 (rechts) **Opengegraven bouw in een boezemkade**

Piping
Afname van het veiligheidsniveau ten aanzien van piping kan slechts samenhangen met een afname van de beschikbare kwelweglengte.

De graverij ten aanzien van dit faalmechanisme wordt als volgt geschematiseerd:
- voorland en achterland: geen verticale doorgraving van een afdekkende kleilaag ter plaatse van het voorland of de buitenteen, tot in watervoerend pakket of tussenzandlaag (zie motivatie boezmekaden met grote kerende hoogte);
- graverij in het buitentalud met als gevolg een afname van de kadebreedte door erosie en hiermee samenhangend een afname van de totale kwelweglengte.

Dit laatste proces vormt een stapeling van effecten, het eerste proces (erosie van het buitentalud) heeft effect op een volgend mechanisme (piping). Deze stapeling wordt onder het onderdeel opmerkingen nader toegelicht. Als op zich staand faalmechanisme wordt voor dit type kering geen negatief effect van graverij gekwantificeerd.

4.7.4 Opmerkingen

Stapeling van effecten
Uit praktijkwaarnemingen is gebleken dat erosie en afkalving van het buitentalud een veelvoorkomend schadebeeld is voor dit type waterkering. Dit proces heeft gevolgen voor een aantal andere faalmechanismen. Doordat de kade smaller wordt, raakt het binnentalud meer verzadigd, waarna stabiliteitsverlies van het binnentalud zou kunnen optreden. Op termijn kan de kade zover eroderen dat de kade over de gehele breedte van de kruin verdwenen is. Hierdoor kan overloop en overslag ontstaan, met alle gevolgen van dien. Ook neemt de totale kwelweglengte af bij een afname van de kadebreedte. Hierdoor kan mogelijk piping ontstaan.
Deze stapeling van effecten is in het onderzoek niet beschouwd, aangezien is uitgegaan van herstel na signalering van de schade.

4.7.5 Conclusies

Met name de geringe omvang van de kering ten opzichte van de omvang van de graverij maken boezemkaden met een geringe kerende hoogte kwetsbaar voor graverij. Het toetspoor hoogte en het proces van afkalving van (de bekleding van) het buitentalud kunnen direct aanleiding vormen voor het falen van de waterkering.

Tabel 4.7.2: Overzicht invloed muskusrattengraverij op veiligheid boezemkaden met kleine kerende hoogte

Faalmechanisme						
Hoogte		**Stabiliteit**				**Bekleding**
Overlopen	**Golfoverslag**	**Macro - binnen**	**Macro - buiten**	**Piping**	**Micro**	**buiten/ binnen**
1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/15 afname factor 7	1/100 -> 1/100 afname factor 0	1/100 -> 1/100 afname factor 0	opmerking* afname factor 0 à 5	opmerking* afname factor 10

opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

Tabel 4.7.3: Overzicht invloed beverrattengraverij op veiligheid boezemkaden met kleine kerende hoogte

Faalmechanisme						
Hoogte		**Stabiliteit**				**Bekleding**
Overlopen	**Golfoverslag**	**Macro - binnen**	**Macro - buiten**	**Piping**	**Micro**	**buiten/ binnen**
1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/10 afname factor 10	1/100 -> 1/15 afname factor 7	1/100 -> 1/100 afname factor 0	1/100 -> 1/100 afname factor 0	opmerking* afname factor 0 à 5	opmerking* afname factor 0

opmerking* : deze faalmechanismen zijn niet rekenkundig kwantificeerbaar. Aan de hand van een inschatting van de omvang van de graafschade in relatie tot de veiligheid is wel een afname van het veiligheidsniveau aangegeven. Deze afname geeft een indruk van de relatieve afname van de veiligheid tegen overstromen.

4.8 Compartimenteringskaden en droge keringen

De opdrachtspecificatie onderscheid tevens compartimenteringskaden en droge keringen. Hieronder worden resp. verstaan:

- compartimenteringskaden: kleine keringen, ten behoeve van scheiding van water, bijv. in natuurgebieden;
- droge keringen: keringen binnen een primaire dijkring, die functioneren indien de primaire kering onverhoopt bezwijkt (slaperdijken en 2^{e} keringen). Aan dergelijke droge keringen kan ook de functie van primaire kering zijn toegekend (categorie II; niet bestemd tot directe kering van buitenwater).

4.8.1 Compartimenteringskaden

Compartimenteringskaden komen in een grote verscheidenheid voor in Nederland. Veelal functioneert dit type kade als scheiding tussen twee peilniveau's of om water van verschillende chemische samenstelling te scheiden (natuurgebied of baggerspeciedepot of kaden rond vloeivelden). De primaire functie van dit type kering kan dan ook omschreven worden als waterscheiding. Veelal hebben deze kaden geen functie ten aanzien van de veiligheid tegen overstromen. Derhalve is ook geen veiligheidsnormering opgesteld voor compartimenteringskaden. Ook zijn geen overschrijdingsfrequentielijnen of maatgevende waterpeilen bekend voor dit type kaden.
Een toename van het bezwijkingsrisico van dit type kade resulteert dan ook niet in een afname van het veiligheidsniveau. Een eventuele doorbraak heeft consequenties voor bijvoorbeeld de waterkwaliteit of wateroverlast in de vorm van het onderlopen van kelders e.d.
In opbouw en afmetingen van compartimenteringskaden is grote variatie aanwezig, afhankelijk van de functie van de kering.

Omdat geen eenduidige beschrijving van dit type kaden kan worden opgesteld en evenmin een afname ten aanzien van het veiligheidsniveau gemodelleerd kan worden door afwezigheid van normen en randvoorwaarden, kan dit type niet beschouwd worden naar analogie van de voorgaande waterkeringen (rivierdijken, boezemkaden, etc.).
Wel kan geconcludeerd worden dat eventueel bezwijken van compartimenteringskaden negatieve consequenties kan hebben voor economische en/of natuurwaarden. Voor de beschrijving van de

processen welke spelen ten aanzien van waarschijnlijke schadebeelden wordt verwezen naar waterkeringen met vergelijkbare opbouw etc.

4.8.2 Droge keringen

Ten aanzien van de categorie droge keringen geldt een aantal opmerkingen.
Allereerst omvat deze categorie conform de oorspronkelijke beschrijving een breed scala aan typen waterkeringen (primaire en secundaire), aangezien dergelijke keringen komen voor in:
- het kustgebied, zgn. slaperdijken (vaak voormalige zeekeringen van eerdere bedijkingen);
- het rivierengebied, bijv. de Diefdijk (een primaire kering tussen dijkringgebieden 16 en 43) en de Meidijk (in de Bommelerwaard);
- Flevoland, de Knardijk (de scheiding tussen oostelijke en zuidelijk Flevoland);
- en op regionale schaal binnen polders en achter de dijken langs regionale rivieren.

Voorts geldt dat dit type keringen veelal nog geen wettelijke status heeft. Thans bevinden veel provincies juist in het stadium van het aanwijzen van dergelijke keringen, vanuit oogpunt van hun compartimenterende functie bij een eventuele overstroming als gevolg een doorbraak van de primaire kering. Op Rijksniveau is RWS DG Water voornemens een landelijke verkenning naar het nut en de noodzaak van deze keringen vast te stellen. Het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen laten thans een Richtlijn opstellen voor het normeren van het veiligheidsniveau van deze keringen.

Conform bovenstaande, zijn voor de betreffende typen keringen geen hydraulische randvoorwaarden (Toetspeilen en golfkarakteristieken) vastgesteld.

Vanwege bovenstaande opmerkingen is het niet mogelijk dit type keringen te beschouwen in een veiligheidsanalyse, omdat:
- gegeven de diversiteit een eenduidige schematisering niet mogelijk is;
- gegeven het ontbreken van een wettelijke status en veiligheidsnorm (en dientengevolge hydraulische randvoorwaarden) een kwantitatieve aanpak niet mogelijk is.

Zodoende is dit type keringen in deze studie niet afzonderlijk beschouwd. Per kering wordt geadviseerd na te gaan tot welke categorie deze het best kan worden ingedeeld op basis van geometrie, opbouw en ondergrond. Vervolgens wordt verwezen naar de resultaten en conclusies van dit type kering.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

Een overzicht van de resultaten van de veiligheidsanalyse is gepresenteerd in onderstaande tabellen, respectievelijk voor muskus- en beverratten. Uit de tabellen blijkt dat de schade aan waterkeringen door graverij van zowel muskusratten als beverratten een vermindering van de veiligheid veroorzaakt. Deze conclusie geldt voor alle type waterkeringen, met uitzondering van zeeweringen. De afname van de veiligheid wordt vooral veroorzaakt door een afname:

1. van de kruinhoogte van een kering;
2. de veiligheid ten aanzien van zandmeevoerende wellen (piping);
3. de stabiliteit van het binnentalud;
4. de erosiebestendigheid van de bekleding, met name op het buitentalud.

Tabel 5.1 Overzicht invloed graverij muskusratten op veiligheid waterkeringen

Type waterkering	Faalmechanisme					
	Hoogte	Stabiliteit binnenwaarts	buitenwaarts	Piping	Micro	Bekleding buiten en binnen
Bovenrivieren	0	-- (1250 → 520)	0	-- (1250 → 400)	--	---
Benedenrivieren	0	--- (4000 → 400)	0	--- (4000 → 700)	--	---
Maaskaden	--	0/-	0	0	--	---
Meerdijken	0	--- (2000 → 200)	0	0	--	---
Zeeweringen	0	0	0	- (4000 → 2000)	0	0
Boezemkaden (>2 m)	--- (100 → 10)	--- (100 → 10)	0	0	--	---
Boezemkaden (<2 m)	--- (100 → 10)	--- (100 → 15)	0	0	0/-	---

Tabel 5.2 Overzicht invloed graverij beverratten op veiligheid waterkeringen

Type waterkering	Faalmechanisme					
	Hoogte	Stabiliteit binnenwaarts	buitenwaarts	Piping	Micro	Bekleding buiten en binnen
Bovenrivieren	0	-- (1250 → 520)	0	-- (1250 → 400)	--	0
Benedenrivieren	0	--- (4000 → 400)	0	--- (4000 → 700)	--	0
Maaskaden	0	0/-	0	0	--	0
Meerdijken	0	--- (2000 → 200)	0	0	--	0
Zeeweringen	0	0	0	- (4000 → 2000)	0	0
Boezemkaden (>2 m)	0	--- (100 → 10)	0	0	--	0
Boezemkaden (<2 m)	0	--- (100 → 15)	0	0	0/-	0

0 geen nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme
0/- geringe nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, afname van de veiligheid factor < 1,5
- nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, afname van de veiligheid factor 1,5 à 2,5
-- aanzienlijk nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, afname van de veiligheid factor 2,5 à 5
--- sterk nadelige invloed van graverij op dit faalmechanisme, sterke afname van de veiligheid factor 5 à 10
1250 → 520: toename van de overschrijdingskans (1/1250 naar 1/ 520 per jaar)

De aangeduide factor geldt alleen voor de faalmechanismen waarbij het effect kwantificeerbaar is in termen van een toename van de overschrijdingskans, dit betreft de faalmechanismen Hoogte, Stabiliteit binnen en piping.

De grootte van de afname van de veiligheid verschilt per type waterkering, alsmede het faalmechanisme wat deze afname overwegend veroorzaakt. Ten aanzien van enkele faalmechanismen voldoet de veiligheid van een waterkering nog juist bij een waterstand welke orde grootte enkele decimeters tot ca. 0,5 meter lager is dan de maatgevende waterstand behorende bij de normfrequentie van de waterkering. De overschrijdingskans van deze lagere, maximaal toelaatbare waterstand is een factor 2 tot max. 10 hoger dan de oorspronkelijke normfrequentie. Conform het VTV bedraagt de veiligheid van een waterkering de laagste score ten aanzien van de sterkte van de verschillende faalmechanismen. Aldus wordt gesteld dat ook de veiligheid van de waterkering met een factor 2 tot max. 10 afneemt.

De gevolgen van graverij door muskus- en beverratten zijn niet gelijk. Graverij door muskusratten heeft met name invloed op de volgende faalmechanismen:

- hoogte: overwegend bij permanent waterkerende keringen (boezemkaden);
  de overschrijdingskans neemt toe met max. een factor 10;
- stabiliteit binnentalud: bij alle type keringen behalve zeeweringen;
  de overschrijdingskans neemt toe met een factor 2,5 tot 10;
- piping: met name bij rivierdijken;
  de overschrijdingskans neemt toe met een factor 2,5 tot 5;
- micro - stabiliteit: overwegend indien sprake is van een zanddijk met een kleibekleding;
- bekleding: bij alle type keringen behalve zeeweringen.

Graverij door beverratten heeft met name invloed op de volgende faalmechanismen:

- stabiliteit binnentalud: bij alle type keringen behalve zeeweringen;
  de overschrijdingskans toe met een factor 2,5 tot 10;
- micro - stabiliteit: overwegend indien sprake is van een zanddijk met een kleibekleding.

Belangrijk faalmechanisme betreft het verlies van erosiebestendigheid van de bekleding op het buitentalud, hoewel dit niet tot uitdrukking komt in een kwantitatieve score. Na aantasting van de bekleding start een voortschrijdend erosieproces door golf- en/of stromingbelasting waardoor de veiligheid van de waterkering ernstig wordt bedreigd (afkalving).

De betrekkelijk geringe gevolgen van graverij door beverratten ten opzichte van muskusratten volgt deels uit het uitgangspunt dat veel vormen van schade aan de waterkering door graverij door beverratten veelal zijn hersteld voorafgaand aan een hoogwatersituatie. Dit uitgangspunt is gehanteerd omdat de graverij door beverratten <u>overwegend</u> betrekkelijk eenvoudig herkenbaar is vanwege de ligging van de gang boven het waterniveau. Belangrijke uitzondering betreft de situatie waarbij beverratten verlaten bouwen van muskusratten bewonen. In dat geval komen wel slecht tot niet zichtbare ingangen onder het waterniveau voor. Het gehanteerde uitgangspunt betreffende het herstel van de schade is dan te optimistisch. In dergelijke gevallen kan in werkelijkheid de waterkering meer zijn beschadigd door graverij door beverratten dan zoals verondersteld in deze studie. De schade en gevolgen komen in dergelijke gevallen meer overeen met de schade en gevolgen zoals bepaald voor muskusratten. Zodoende wordt ten aanzien van de situatie met bewoning van bouwen van muskusratten door beverratten opgemerkt dat:

- deze studie de gevolgen van de schade aan de waterkering onderschat, doordat het veronderstelde herstel van de schade vanwege de zichtbaarheid te optimistisch is;
- voor deze specifieke situatie de gevolgen van schade door graverij door beverratten meer overeenkomt met de ernstigere gevolgen van graverij door muskusratten.

Nadere bespreking van de resultaten
Onderstaand wordt nader ingegaan op deze resultaten, speciaal de invloed van enkele gehanteerde uitgangspunten op de uitkomsten wordt besproken.

Stopzetting van de bestrijding: hoge populatie muskus- en beverratten
Uitgangspunt bij dit onderzoek betreft stopzetting van de bestrijding, waardoor zich naar verwachting een meer omvangrijke populatie muskus- en beverratten ontwikkeld [Alterra, 2004]. Nadrukkelijk wordt gesteld dat dit een aanname betreft ten behoeve van dit onderzoek. Deze aanname heeft verschillende consequenties:

1. het resulteert in een hogere intensiteit van bouwen in de lengterichting van de waterkering, wat:
   a. nadelig is voor faalmechanismen met een betrekkelijk 3-dimensionaal karakter;
   b. de kans op stapeling van effecten vergroot;
   c. op dijkring - niveau een toename veroorzaakt van het aantal zwakke / verzwakte locaties;
2. denkbaar afwijkend graaf- en vraatgedrag, leidend in andere vormen c.q. andere omvang van schade aan waterkeringen.

Ad.1a: veel faalmechanismen zijn betrekkelijk 2-dimensionaal van karakter. Dit houdt in dat het voor de veiligheid van een waterkering ten aanzien van dergelijke faalmechanismen niet uitmaakt of zich één of meerdere bouwen op een kadestrekking bevinden. Voor het faalmechanisme macro - stabiliteit binnenwaarts en het fenomeen grondbreuk (onderdeel van het faalmechanisme piping) is de intensiteit van bouwen wel relevant, speciaal of daarbij over een strekking van orde van grootte 25 à 50 m een aaneengesloten complex van bouwen kan voorkomen. Vanuit het uitgangspunt “stopzetting bestrijding, omvangrijke populatie” is bij de beoordeling ten aanzien van deze twee faalmechanismen verondersteld dat een aaneenschakeling van graverij en schaden over een dergelijke lengte daadwerkelijk kan optreden.

Ad.1b: het is denkbaar dat in een kade gelijktijdig op meerdere locaties graverij door muskus- en beverratten (of een combinatie van beide) voorkomt. Een combinatie van graverij op verschillende locaties in het dwarsprofiel in combinatie met de bijbehorende schade versterkte de nadelige invloed op de veiligheid van de waterkering. Deze stapeling van effecten is niet beschouwd bij de veiligheidsanalyse, omdat dit als te conservatief wordt beschouwd. In zekere zin is namelijk sprake van een “kans op kans” stapeling. Een extreem voorbeeld van een dergelijke stapeling van effecten bij graverij in het buitentalud:

- de kans dat de rietkraag is verdwenen; en:
- de kans op een verlaging van de kruin; en daarmee een toename van het overslagdebiet; en;
- de kans op een toename van de verzadiging van het dijklichaam; en:
- de kans op graverij in het binnentalud; en daarmee een verzwakking van het talud; wat:

resulteert in een zeer sterke afname van de stabiliteit.

Wanneer de omvang van de populatie muskus- en beverratten toeneemt, neemt de kans op een dergelijke stapeling echter wel toe. Deze consequentie komt niet tot uitdrukking in de resultaten van dit onderzoek. De resultaten onderschatten daarmee de denkbare gevolgen van een stopzetting van de bestrijding, indien daardoor daadwerkelijk een toename van de populatie optreedt.

Ad.1c: de veiligheidsanalyse beschouwt het gevolg van graverij voor de veiligheid op basis van een dwarsprofiel van de waterkering. Zoals gesteld in 1a maakt het bij deze werkwijze voor de veiligheid van het beschouwde dwarsprofiel overwegend niet uit of zich één of meerdere graverijen in een kade bevinden. Ten aanzien van de veiligheid van een dijkringgebied of polder, is het echter wel relevant of zich in de dijk- of kadering één of meerdere zwakke plekken bevinden. Zeker vanuit de meer

moderne “overstromingskans” of zelfs “overstromingsrisico” - veiligheidsbenaderingen is het een groot verschil of een kade- of dijkring één of meerdere zwakke plekken kent. Een denkbare toename van de populatie muskus- en beverratten resulteert naar verwachting in een toename van het aantal zwakke plekken. Dit heeft nadelige invloed voor de overstromingskans of –risico van het dijkringgebied of de polder. De veiligheid van het gebied neemt daardoor aanzienlijk af, de grootte van deze afname is echter niet kwantificeerbaar. Deze consequentie komt niet tot uitdrukking in de resultaten in de tabel. De tabel onderschat daarmee het effect van een stopzetting van de bestrijding, indien dan een toename van de populatie optreedt.

Ad.2: het is denkbaar dat de aard van graverij veranderd indien zich een hoge populatiedichtheid ontwikkelt en zich mogelijk een tekort aan voedsel en leefruimte voordoet. De veiligheidsanalyse is echter gebaseerd op een schematisering van graverij en schade aan waterkeringen, zoals die op basis van de inventarisatie van huidige waarnemingen zijn afgeleid. Een eventuele wijziging van het vraat- en graafgedrag vormt een belangrijke onzekerheid bij deze studie. Een aanbeveling omtrent deze onzekerheid staat beschreven in paragraaf 5.2.

Schematisering dwarsprofiel en ondergrond
De schematisering van het representatieve dwarsprofiel en de ondergrond is gebaseerd op kennis van en inzichten in de situatie betreffende de waterkeringen in Nederland. Benadrukt wordt dat de exacte keuze van een dwarsprofiel geen invloed heeft op de grootte van de berekende gevolgen van graverij op de veiligheid. De afleiding is namelijk vastgesteld op basis van een relatieve afname van de sterkte, ten opzichte van het oorspronkelijk profiel zonder schade. Teneinde zo goed mogelijk bij de realiteit aan te sluiten, is elk representatief dwarsprofiel zodanig opgesteld dat de berekende stabiliteitsfactor zo goed mogelijk aansluit bij de minimaal vereiste schadefactor voor het betreffende type waterkering.

Extrapolatie van de resultaten van dwarsprofiel naar ca. 17.500 km waterkering
Zoals gesteld gelden de resultaten in de tabellen voor een dwarsprofiel. Ten aanzien van de vertaling van de resultaten naar de situatie van de Nederlandse waterkeringen gelden twee opmerkingen:
1. graverij treedt niet bij alle dijkvakken op;
2. dijken zijn soms (lokaal) overgedimensioneerd;
3. sommige faalmechanismen zijn in enkele situaties niet relevant.

Ad.1: graverij door muskus- en beverratten in waterkeringen vind normaliter alleen plaats indien de waterkering zich bevindt in of in de nabijheid van het leefgebied van beide diersoorten. Hoewel dit op basis van de inventarisatie niet kan worden geconcludeerd, lijkt het aannemelijk dat dijkvakken die zich niet in de nabijheid van het leefgebied bevinden, ook niet door graverij worden aangetast.

Ad.2: dijken zijn soms overgedimensioneerd. Deze overdimensionering kan zowel:
- algemeen zijn: bijvoorbeeld wanneer de kering vroeger een grotere belasting moest kunnen keren (bij ingrepen in het watersysteem); of:
- specifiek ten aanzien van een faalmechanisme: bijvoorbeeld wanneer door de aanleg van de (forse) pipingberm de stabiliteit van het binnentalud ruimschoots aan de norm voldoet.

Ad.3: niet alle faalmechanismen zijn altijd relevant op alle dijkvakken. Ten aanzien van het faalmechanisme piping geldt bijvoorbeeld voor west – Nederland dat door de aanwezigheid van een dikke Holocene deklaag in het voorland (mits zandlagen afwezig zijn) het faalmechanisme vaak niet relevant is cq. ruimschoots aan de norm (benodigde kwelweglengte) wordt voldaan. De eventuele invloed van graverij is dan eveneens niet relevant voor de sterkte van de waterkering.

Deze opmerkingen houden in dat graverij niet altijd leidt tot een waterkering die niet meer aan de gestelde veiligheidsnorm voldoet, omdat:
- graverij soms überhaupt geen afname van de veiligheid veroorzaakt, wanneer het betreffende faalmechanisme niet kan optreden;
- graverij wel een relatieve afname van de veiligheid geeft, maar dat dankzij de overdimensionering de waterkering nog steeds aan de norm voldoet.

Benadrukt wordt dat de resultaten dus niet zonder meer geëxtrapoleerd kunnen worden naar alle ca. 17.500 km waterkeringen in Nederland.

Zichtbare schade afwezig tijdens maatgevende belasting niet-permanent waterkerende waterkeringen
Een belangrijk uitgangspunt bij de schematisering is dat zichtbare schade aan de waterkering is hersteld, voorafgaand aan het optreden van een maatgevende belastingsituatie. De schematisering van de graverij betreft zodoende uitsluitend onzichtbare schade, of schade die pas tijdens een hoogwatersituatie zichtbaar wordt. Uitzondering vormen permanent belaste waterkeringen, zoals boezemkaden, hiervoor geldt dat zichtbare schade wel aanwezig kan zijn tijdens een hoogwaterperiode.

Bovenstaand uitgangspunt heeft belangrijke consequenties voor het regiem van inspectie en beheer & onderhoud van een waterkeringen, te weten:
- een forse toename van de inspanning betreffende de inspectie van de waterkeringen, met name bij waterkeringen waarbij de hoogwater – periode zich niet aankondigt (boezemkaden, meerdijken en in mindere mate zeeweringen);
- meer nadruk legt op een spoedig en goed herstel van waargenomen schade.

Samenvattende conclusie
Geconcludeerd wordt dat de veiligheid van een waterkering afneemt door graverij door muskus- en beverratten. Deze conclusie geldt voor alle type waterkeringen, met uitzondering van zeeweringen. De afname van de veiligheid wordt vooral veroorzaakt door een afname van de kruinhoogte van een kering, de stabiliteit van het binnentalud en de erosiebestendigheid van de bekleding. De grootte van de afname van de veiligheid verschilt per type waterkering, alsmede per faalmechanisme. Een waterkering die zonder schade juist aan de gestelde veiligheidsnorm voldoet, zal door aantasting niet meer aan de gestelde veiligheidsnorm voldoen. De overschrijdingskans van de (lagere) waterstand waarbij de veiligheid van de aangetaste waterkering nog juist wel aan de gestelde normen voldoet, is een factor 2 tot max. 10 zo groot als de oorspronkelijke normfrequentie van de waterkering (afhankelijk van het type waterkering). Ofwel, in termen van overschrijdingskansen neemt de sterkte door graverij voor de verschillende typen waterkeringen af met een factor 2 tot max. 10. Conform het VTV bedraagt de veiligheid van een waterkering de laagste score ten aanzien van de sterkte van de verschillende faalmechanismen. Aldus wordt gesteld dat ook de veiligheid van de waterkering met max. een factor 10 afneemt.

Eventuele stopzetting van de bestrijding van muskus- en beverratten resulteert mogelijk in een toename van de populatie. Enkele denkbare gevolgen van een toename van de populatie muskus- en beverratten betreft een toename van de intensiteit van graverij op een waterkering-vak en mogelijk een afwijkend vraat- en graafgedrag. De veiligheidsanalyse houdt slechts beperkt rekening

met deze denkbare gevolgen. Dit houdt in dat de gevolgen van een eventuele stop van de bestrijding voor de veiligheid worden onderschat, ten opzichte van:

- de veiligheid van het dwarsprofiel van een waterkering; en:
- de overstromingskans of het -risico van een dijkringgebied of polder.

5.2 Aanbevelingen

Belangrijke onzekerheid bij deze studie vormt de intensiteit van de graverij van muskus- en beverratten na stopzetting van de bestrijding. Het is denkbaar dat graverij omvangrijker wordt indien zich een hoge populatiedichtheid ontwikkelt en mogelijk een tekort aan voedsel en leefruimte. Hierdoor kan de ernst van de bedreiging van graverij voor de veiligheid van waterkeringen toenemen, wat leidt tot grotere risico's. De schematisering van de schade is gebaseerd op de waarnemingen van graverij, zoals gedaan bij het huidige regiem van bestrijding. Dit uitgangspunt onderschat mogelijk de gevolgen van graverij voor de veiligheid van waterkeringen. Indien meer inzicht in deze potentiële toename van de bedreiging gewenst is, wordt aanbevolen nader onderzoek te verrichten naar het graafgedrag - en de omvang hiervan - door muskus- en beverratten.

Tijdens de inventarisatie is gebleken dat schade aan waterkeringen door graverij niet structureel en niet uniform wordt geregistreerd, inclusief details over omvang, etc.. Aanbevolen wordt (tenminste de grotere) schaden door graverij te registreren. Ook waarnemingen betreffende de sterkte van herstelde locaties zijn interessant, teneinde inzicht te verkrijgen in de vraag of een herstelde bouw een blijvend zwakke plek in de kering vormt.

Zoals gesteld hebben de gehanteerde uitgangspunten bij deze studie belangrijke implicaties voor het beheer & onderhoud van waterkeringen. Samengevat vereisen de uitgangspunten een forse toename van de benodigde inspanning voor de inspectie van waterkeringen en het goede en tijdige herstel van schaden. Het verdient aanbeveling een inschatting te maken van de consequentie van deze implicaties voor de waterkeringbeheerder. Dit is temeer noodzakelijk indien zou worden overwogen om de bestrijding te stoppen of te verminderen.

6 REFERENTIES

HR - Hydraulische Randvoorwaarden (2001)
Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, december 2001.

NNI - Nederlands Normalisatie Instituut (1991)
NEN 6740 - Nederlandse Norm Geotechniek. TGB 1990, Basiseisen en belastingen, Normcommissie 351 006 “Geotechniek”, Delft, december 1991.

TAW - Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1985)
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 – bovenrivieren, ISBN 90-12-05169-X, ’s Gravenhage, september 1985.

TAW - Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1989)
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 – benedenrivieren, ISBN 90-212-3168-9, ’s Gravenhage, september 1989.

TAW - Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1999a)
Technisch rapport zandmeevoerdende wellen, maart 1999.

TAW - Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1999b)
Leidraad zee- en meerdijken, december, 1999.

TAW - Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (2001)
Technisch rapport Waterkerende grondconstructies - Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, juni 2001.

TAW - Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (2004)
Voorschrift toetsen op veiligheid (VTV) Katern 5 – dijken en dammen, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW), Delft, januari 2004.

Waterschap Zeeuwse Eilanden (2006)
De waterkeringen getoetst - De veiligheid van de Noord- en Midden-Zeeland 2006, Middelburg, mei 2006.

WoW – Wet op de Waterkering (1996)
Wet op de Waterkering, Staatsblad 1996 - 8, ‘s Gravenhage, 1996.

7 BEGRIPPENLIJST

Achterland	Het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering.
Afschuiving	Verplaatsen van een deel van een grondlichaam door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.
Beheer	Het geheel van activiteiten dat erop gericht is de bestaande boezemkade zijn functies duurzaam te laten vervullen.
Beheerder	Overheid waarbij de waterkering in beheer is.
Bekleding	Zie 'taludbekleding'.
Belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid.
Bezwijken	Optreden van verlies van inwendig evenwicht (b.v. afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (b.v. verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen.
Bezwijkmechanisme	Wijze waarop een constructie bezwijkt (bijvoorbeeld afschuiven, piping, verweken).
Binnenberm	Extra verbreding aan de binnendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden en/of om zandmeevoerende wellen te voorkomen.
Binnendijks	Aan de kant van het land of het binnenwater.
Binnentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
Binnenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
Bres	Gat in de waterkering.
Buitenberm	Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de golfoploop te reduceren.
Buitendijks	Aan de kant van het te keren water of buitenwater.
Buitenkruinlijn	Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het buitentalud, waarlangs de toetsing op hoogte plaatsvindt.
Buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
Buitenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
Bijzondere waterkerende constructie	Constructie om, in combinatie met een grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuren, damwanden, kistdammen, keermuren en kwelschermen.
Boezem	Het geheel van (van nature stilstaande) met elkaar verbonden watergangen die van het buitenwater zijn afgesloten, waarop water uit lager gelegen polders wordt uitgeslagen en/of waaruit water op lager gelegen polders wordt afgelaten en van waaruit het water kan worden uitgeslagen of geloosd naar het buitenwater.
Boezemkade	Een langs een boezem gelegen grondlichaam, dat enerzijds de lager gelegen poldergebieden beschermt tegen hoger liggend boezemwater en anderzijds de boezem in stand houdt.
Boezempeil	Waterstand in de boezem.
Decimeringshoogte	Absolute verschil in hoogte tussen Toetspeil en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die een factor 10 hoger of lager is dan die van Toetspeil.
Dijk	Waterkerend grondlichaam.
Dijktafelhoogte	Minimaal vereiste kruinhoogte, zoals aangegeven in de legger.

Faalmechanisme	Zie 'bezwijkmechanisme'
Freatisch vlak	Vrije grondwaterspiegel.
Golfhoogte	De verticale afstand tussen dal en top van een golf.
Golfoploop	De verticaal gemeten maximale hoogte boven het stilwaterniveau, die door een tegen het talud oplopende watertong bereikt wordt.
Golfoploophoogte	Hoogte boven toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, bui-oscillaties, seiches of slingeringen tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt (de 2% golfoploop wordt door 2% van de golven overschreden).
Golfoverslag	Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.
Grondbreuk	Zie 'hydraulische grondbreuk'.
Heave	Situatie waarbij verticale korrelspanningen in een zandlaag wegvallen onder invloed van een verticale grondwaterstroming; ook fluïdisatie of de vorming van drijfzand genoemd.
Herstel	Maatregelen, noodzakelijk om de kwaliteit van de boezemkade, met name met betrekking tot het waterkerend vermogen, op het vereiste peil te brengen.
Hydraulische grondbreuk	Verlies van korrelcontact in de grond als gevolg van te hoge wateroverspanningen; in geval van een cohesieve afdekkende grondlaag leidt dit tot opdrijven en opbarsten, in geval van een niet cohesieve grondlaag tot heave.
Hydraulische kortsluiting	Min of meer weerstandsvrije waterstroom tussen de boezem en één of meer grondlagen in of onder de dijk met een relatief grote horizontale doorlatendheid
Hydrostatische waterspanning	(Grond)waterspanning in een punt in de (onder)grond die overeenkomt met de waterspanning als gevolg van een kolom water vanaf dat punt tot aan de vrije grondwaterspiegel.
Inspectie	Het inwinnen, verwerken en interpreteren van informatie met het doel om de momentane toestand van de waterkering vast te stellen.
Intreepunt	(Theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.
Kade	Een kleine dijk.
Kruin	1. Strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn; 2. Hoogste punt in het dwarsprofiel van het dijklichaam; 3. Buitenkruinlijn.
Kruinhoogte	Hoogte van de waterkering.
Kruinhoogte-marge	Het verschil tussen de kruinhoogte op de peildatum en toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, bui-oscillaties, seiches of slingeringen.
Kwel	Uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogte buiten het beschouwde gebied.
Kwelscherm	Ondoorlatende, in de regel verticale, constructie voor verlenging van de kwelweg.
Kwelsloot	Sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft kwelwater op te vangen en af te voeren.
Kwelweg	Mogelijk pad in de grond dat het kwelwater aflegt, van het intreepunt naar het uittreepunt.
Kwelweglengte	Lengte van de kwelweg.
Lokale opwaaiing	Opwaaiing tussen de locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarde wordt gegeven en de waterkering.
Maatgevend boezempeil	Gemiddelde waterstand in de boezem tijdens maatgevende omstandigheden.
Maatgevende waterstand	Waterstand tijdens maatgevende omstandigheden, inclusief het effect van stroming en/of opwaaiing en eventueel andere waterstandsverhogende oorzaken.

Macrostabiliteit	Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.
Microstabiliteit	Weerstand tegen erosie van het talud als gevolg van uittredend water.
Niet-primaire (water)kering	Zie 'regionale (water)kering'.
Niet-waterkerend object	Object op of in de dijk dat geen waterkerende functie heeft, zoals leidingen, woningen en bomen.
Normaal onderhoud	Vast en variabel onderhoud dat tijdig uitgevoerd wordt door de beheerder, waardoor het kwaliteitsniveau van de onderdelen van de kering boven het vastgestelde minimum blijft.
Oeverconstructie	De grondkerende constructies ter instandhouding van de gronden gelegen aan een waterloop.
Onderhoud	Technische activiteiten om functievervulling van de boezemkade gedurende de levensduur mogelijk te maken.
Ontgronding	Erosie van de waterbodem als gevolg van stroming en golfbeweging.
Opbarsten	Bezwijken van de grond, door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken.
Opdrijven	Opdrukken van het afdekkend pakket door het bereiken van de grenspotentiaal.
Opdrukveiligheid	Verhouding tussen het gewicht van het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen (klei / veen) en de opwaartse waterdruk direct er onder, uitgedrukt in de parameter '*n*'.
Overlopen	Verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt omdat de te keren waterstand hoger is dan de kruin.
Overschrijdings-frequentie	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
Piping	Verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.
Polder	Op de boezem uitslaand of lozend gebied met geregelde waterstand.
Polderpeil	Peil van het oppervlaktewater binnen een beheersgebied.
Primaire waterkering	Waterkering, zoals aangegeven op Bijlage I bij de Wet op de waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkringgebied is gelegen.
Regionale (water)kering	Niet-primaire waterkering. Door Gedeputeerde Staten wordt vastgesteld welke niet-primaire waterkeringen worden aangemerkt als regionale kering en aan welke criteria de regionale keringen dienen te voldoen.
Risicoanalyse	Het nagaan van de kans op een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen daarvan.
Rivierdijk	Dijk langs een rivier.
Schaardijk	Rivierdijk die onmiddellijk aan het zomerbed grenst.
Sluitpeil	Waterstand waarbij de kering wordt gesloten.
Stabiliteitsfactor	Factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt.
Stijghoogte	Niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt; wordt uitgedrukt in meters waterkolom ten opzichte van een referentievlak.
Stilwaterstand	Waterstand zonder golfbeweging
Stoppeil	Vastgestelde waterstand in de boezem waarbij het lozen op de boezem door de inliggende polders moet worden gestaakt.
Strijklengte	Lengte waarover de wind over het wateroppervlak strijkt.
Talud	Gedeelte van een dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10.
Taludbekleding	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.

Toetspeil	Waterstand (inclusief locale toeslagen) met een zekere overschrijdingsfrequentie die gebruikt wordt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen.
Uittreepunt	Locatie aan de landzijde waar kwelwater het eerst aan het oppervlak treedt.
Uittreeverhang	Verhang in het grondwater ter plaatse van het uittreepunt.
Veenkade	Kade waarbinnen zich materiaal met een dikte van minimaal 0,5 m bevindt dat kan worden geclassificeerd als *veen* of als *klei met bijbestanddeel 'matig humeus' of 'sterk humeus'* (vastgesteld conform NEN 5104 op basis van de organische stof-lutum-silt+zand-driehoek), of Kade waarbinnen zich materiaal bevindt met een verzadigd volumegewicht kleiner dan of gelijk aan 16 kN/m3 (conform NEN 5110) en waarvan de plasticiteitsindex groter is dan of gelijk aan 18 %. In deze definitie omvat de kade het grondmassief dat aan de onderzijde wordt begrensd door het niveau 'polderpeil minus 1 meter', aan buitenzijde wordt begrensd door de buitenteen, en aan de binnenzijde wordt begrensd door een kwelsloot danwel bij ontbreken daarvan door een verticale lijn op een afstand van vier maal de kerende hoogte uit de binnenteen.
Veiligheidsfactor	zie “stabiliteitsfactor”
Veiligheidsnorm	Eis waaraan een waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
Verhang	Verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd.
Verval	Verschil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering.
Verweking	Verlies aan samenhang van het korrelskelet als gevolg van toename van de waterspanning (in de poriën).
Voorland	Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaardijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen, en zelfs boven toetspeil.
Vooroever	Waterbodem in de zone vlak voor de teen van een dijk.
Waakhoogte	Hoogte van de kruin boven de maatgevende waterstand.
Waterkering	Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.
Waterover-/onderspanning	Verschil tussen de aanwezige waterspanning en de hydrostatische waterspanning.
Waterspanning	Druk in het grondwater.
Wel	Geconcentreerde uitstroming van kwelwater.
Windgolven	Golven, ontstaan door de wrijving van de lucht over het water.
Windopzet	Lokale waterstandverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
Zandmeevoerende wel	Wel die zand meevoert uit de ondergrond.

8 COLOFON

Opdrachtgever	:	BCM
Project	:	Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen
Dossier	:	A2998.01.001
Omvang rapport	:	90 pagina's
Auteurs	:	ir. H. van Hemert en drs. C. Spoorenberg
Projectleider	:	
Projectmanager	:	drs. T. Louters
Datum	:	5 oktober 2006
Naam/Paraaf	:	

DHV Groep
Laan 1914 nr. 35
3818 EX Amersfoort
Postbus 1076
3800 BB Amersfoort
T (033) 468 27 00
F (033) 468 28 01

www.dhv.nl

BIJLAGE 1 Figuren graverij muskusratten en beverratten

De figuurnummering komt overeen met de nummering van de specifieke literatuur met betrekking tot muskusratten en beverratten, zoals opgenomen in de lijsten in bijlage 2.

BIJLAGE 2 Literatuurlijst muskusratten en beverratten

- Literatuur muskusratten
- Literatuur beverratten

BIJLAGE 3 Resultaten berekeningen macrostabiliteit

Bijlage 3a Resultaten berekeningen macrostabiliteit binnenwaarts
Bijlage 3b Resultaten berekeningen macrostabiliteit buitenwaarts
Bijlage 3c Onderbouwing aanpak graverij door muskusratten op macrostabiliteit buitenwaarts

BIJLAGE 4 Overschrijdingsfrequentielijnen

- Overschrijdingsfrequentielijnen per type waterkering
- Legenda overschrijdingsfrequentielijnen