

# Populatieontwikkeling en veiligheid

Nader onderzoek naar de relatie tussen graverij van muskusratten en de veiligheid van waterkeringen

## Populatieontwikkeling en veiligheid

Opdrachtgever Bestuurlijke Commissie Muskusrattenbestrijding

november 2007  
definitief eindrapport

# Populatieontwikkeling en veiligheid

Nader onderzoek naar de relatie  
tussen graverij van muskusratten en  
de veiligheid van waterkeringen

dossier : B0075.01.001  
registratienummer : WG-SE20070876  
versie : D1

Opdrachtgever Bestuurlijke Commissie Muskusrattenbestrijding

november 2007  
definitief eindrapport

## 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 en dergelijke. Een onderzoek uitgevoerd door Alterra maakte duidelijk dat veel vragen nog onbeantwoord zijn en verder onderzoek noodzakelijk is. Daarom is in 2006 een onderzoeksprogramma, 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 rapport is het resultaat van het onderzoek naar de relatie tussen een aantal aspecten van de muskusrattenpopulatie en de veiligheidsrisico's voor dijken. Dit is een van de 7 onderzoeken uit dit programma. Het maakt op basis van de beschikbare gegevens inzichtelijk wat de gevolgen kunnen zijn van verschillende aantallen muskusrattenbouwen in verschillende typen 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 onderzoeksprogramma. 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 "populatieontwikkeling en veiligheid van waterkeringen"

## SAMENVATTING

### Inleiding

De beveiliging tegen overstroming vormt een wezenlijke vereiste voor de woonbaarheid van grote delen van ons land. Die veiligheid tegen overstromen wordt verzorgd door middel van 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. Het algemene doel van de studie is om *een bijdrage te leveren aan een gefundeerde besluitvorming over toekomstige bestrijding van de muskusrat, ten behoeve van veiligheid en voorkomen van schade.*

### Doelstellingen studie

De studie is gericht op het beantwoorden van de volgende vragen:

1. Hoeveel neemt de faalkans van een lengte-eenheid waterkering toe door aanwezigheid van x-aantal muskusratbouwen in deze kering?
2. In hoeverre bestaat er een relatie tussen het aantal vangsten per uur en het aantal aanwezige muskusratbouwen in een bepaalde waterkering, en hoe ziet deze relatie er uit?
3. In hoeverre is er een relatie te onderkennen tussen het aantal vangsten per uur en de veiligheid van waterkeringen en zo ja, hoe laat deze relatie zich omschrijven?

### Aanpak

De beantwoording van de onderzoeksvragen is gefaseerd uitgevoerd:

- fase 1: opzetten van een wiskundig model van de relatie tussen het aantal muskusratbouwen en de (afname van de) veiligheid van verschillende typen waterkeringen;
- fase 2: toepassing van het model voor enkele bestaande dijkkringen, polders, etc.;
- fase 3: analyse naar de relatie tussen de omvang van de populatie en de (afname van de) veiligheid van een gebied.

### Wiskundig model

Voor de bepaling van de invloed van het aantal bouwen in een waterkering op de veiligheid van het beschermde gebied is een wiskundig model ontwikkeld. Dit model berekent voor iedere willekeurige dijkkring (met specifieke lengte en overschrijdingsnorm) de invloed van het aantal bouwen op de faalkans. Belangrijke invoerparameters van dit model zijn:

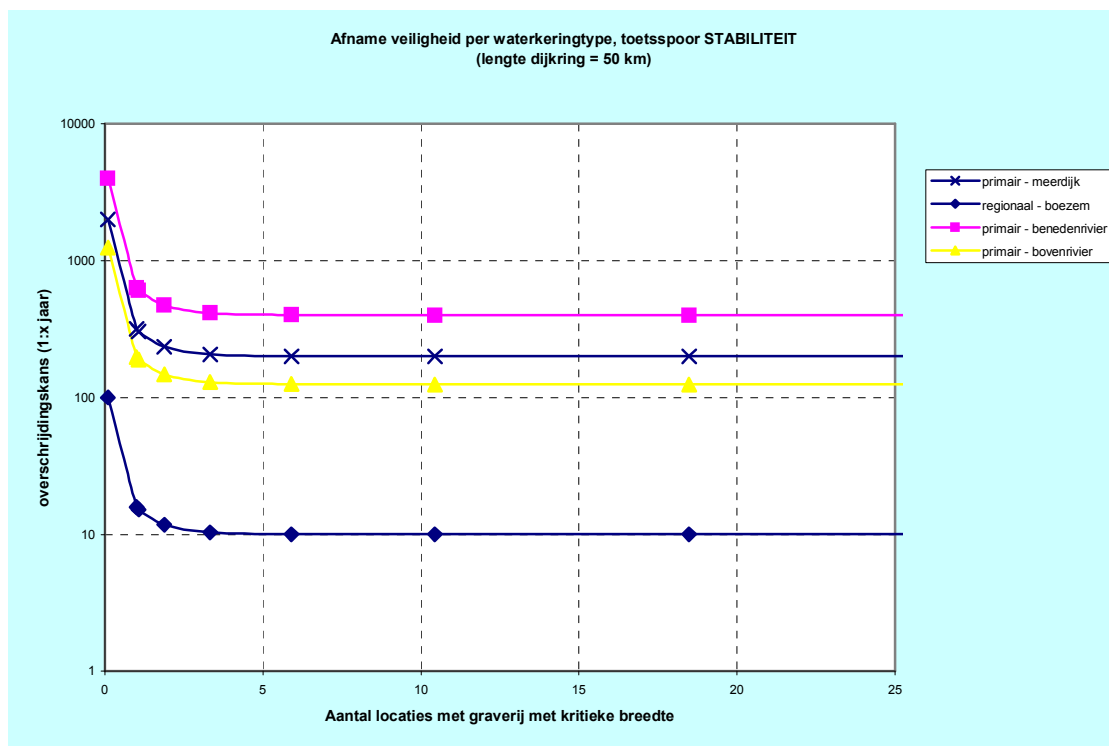
1. de lengte van de dijkkring;
2. de veiligheidsnorm van de dijkkring (overschrijdingskans);
3. de veiligheid van een dwarsprofiel met graverij (overschrijdingskans, aangeduid als minimale waarde);
4. de breedte van graverij; in relatie tot:
5. de minimaal benodigde breedte waarbij het faalmechanisme optreedt (aangeduid als kritieke breedte).

Bij de toepassing van het model gelden enkele beperkingen:

1. alleen faalmechanismen met kwantificeerbare invloed op de veiligheid kunnen worden beschouwd;
2. differentiatie naar positie graverij in dwarsprofiel is niet mogelijk;
3. differentiatie naar verschillende typen waterkeringen in een dijkkring is niet mogelijk.

### Theoretische toepassing

Voor een eerste theoretische toepassing van het model is een standaard lengte van de waterkering van 50 km aangehouden. Belangrijk uitgangspunt hierbij is dat de breedte van graverij gelijk is aan de minimaal benodigde breedte waarbij het faalmechanisme kan optreden. Voor beide kenmerken is een breedte van 20 meter aangehouden. De resultaten zijn gepresenteerd in grafiek 1. De figuur toont dat bij alle beschouwde waterkeringen de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot een minimale waarde van de veiligheid bij 5 kritieke locaties. Deze minimale waarde betreft de (verlaagde) veiligheid zoals die is berekend op basis van de beschouwing van de invloed van graverij op een dwarsprofiel [DHV, 2006].



**Figuur 1 Relatie aantal bouwen en veiligheid waterkering**

### Breedte van de graverij versus minimaal benodigde breedte

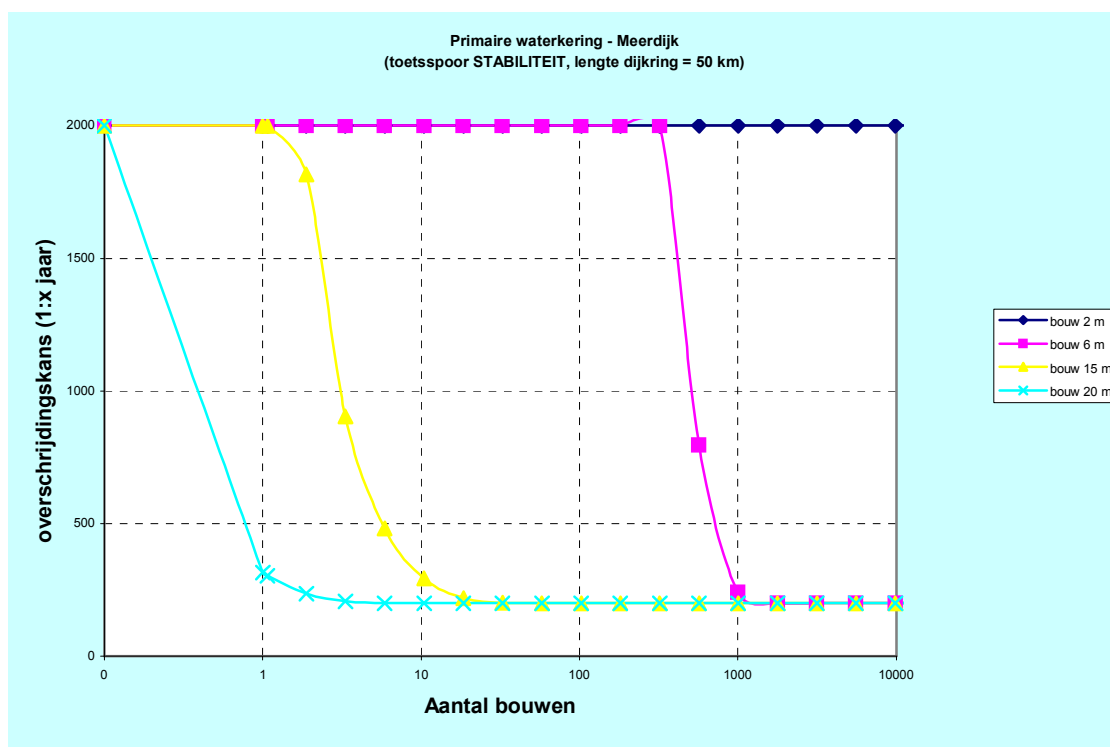
Voor enkele faalmechanismen geldt dat de waterkering over een aanzienlijke breedte moet zijn aangetast alvorens deze daadwerkelijk bezwijkt. Dit geldt bijvoorbeeld voor het faalmechanisme stabiliteit, met name bij waterkeringen met een grote kerende hoogte (en derhalve een breed profiel). In deze situatie is mogelijk een aaneenschakeling van bouwen vereist alvorens de waterkering over voldoende breedte is aangetast. Figuur 2 presenteert een toelichting. Voor een breedte van de bouw van 20 m komt het resultaat overeen met figuur 1 (breedte bouw is gelijk kritieke breedte). Verder toont de grafiek in figuur 2 dat bij een afnemende breedte van de bouw de veiligheid steeds minder snel afneemt door het aantal bouwen. Bij een breedte van een bouw van 15 m wordt de minimum waarde bereikt bij ca. 20 bouwen, terwijl bij een breedte van de bouw van 5 m het aantal van 100 bouwen een geringe afname van de veiligheid veroorzaakt.

Uit deze resultaten blijkt ook de invloed van de dimensie tijd. De initiële omvang van een bouw bedraagt gemiddeld ca. 5 meter, voor de meerdijk in bovenstaand voorbeeld veroorzaakt de aanwezigheid van 10 van dergelijke bouwen nauwelijks een verlaging van de veiligheid. Na één seizoen kan zo'n bouw zijn uitgegroeid tot een breedte van 10 à 15 meter. De aanwezigheid van 10 dergelijke bouwen veroorzaakt een afname van de veiligheid tot ca. 1/400. Een verdere toename van de breedte van de bouw (realiseerbaar in enkele jaren) verlaagt de veiligheid tot 1/200. De veronderstellingen over de groei van een bouw zijn gebaseerd op DHV [2006].

In het kader van deze analyse zijn verschillende combinaties van de breedte van graverij en kritieke breedte van het faalmechanisme beschouwd. Per combinatie is het aantal bouwen of graverijen in de gehele kadering berekend waarbij de veiligheid van de kadering juist is afgenomen tot de minimale waarde. Uit de berekening blijkt dat de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot de minimale waarde:

- indien een bouw een breedte heeft die gelijk is aan de kritieke breedte:  
bij aanwezigheid van 5 locaties met bouwen (dit geldt voor alle beschouwde kritieke breedtes);
- indien de breedte van een bouw de helft bedraagt van de kritieke breedte:  
pas bij aanwezigheid van ca. 150 à 450 locaties met bouwen (dit geldt bij een breedte van de bouw en kritieke breedte van respectievelijk 25 vs. 50 en 10 vs. 20 m)

- bij een verdere afname van de breedte van een bouw ten opzichte van de kritieke breedte: een sterk toename van het aantal bouwen, bij een kritieke breedte van 20 m en een ca. 2,5 m brede bouw dienen ca. 12.500 bouwen in de waterkering aanwezig te zijn.



Figuur 2 Invloed aantal bouwen op de veiligheid

### Toepassing voor enkele dijk- en kaderingen

In deze fase is het model toegepast voor enkele dijkringen. Voor deze gebieden zijn door medewerkers van de muskusrattenbestrijding gegevens over waargenomen graverijen en bouwen geïnventariseerd. De belangrijkste kenmerken zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel I: Overzicht belangrijkste kenmerken beschouwde gebieden

Gebied	Type waterkering	Lengte waterkering	Aantal graverijen	Gemiddelde breedte
Noord-Holland	Primair - Meerdijk	50 km	9	6 m
Noord-Holland	Boezemkade	20 km	1	2 m
Zuid-Holland	Primair - benedenrivier	35 km	99	2 m
Zuid-Holland	Boezemkade (>2m)	4 km	7	*1
Friesland	Boezemkade (<2m)	12,5 km	36	5,5 m
Gelderland	Primair - bovenrivier	65 km	18	7 m
Gelderland	Primair - bovenrivier	28 km	9	8,5 m

\*1 Deze case is aanvullend ter illustratie aangeleverd. De resultaten zijn algemeen gebruikt voor beeldvorming over de aard van graverij. Gegevens over de breedte zijn onvoldoende specifiek. Toch is gekozen aanvullend de modeltoepassing ook voor deze case uit te voeren, hierbij is de gemiddelde breedte van alle cases gehanteerd.

### Resultaten en conclusies

Ten aanzien van de relatie tussen het aantal muskusratbouwen en de faalkans van waterkeringen wordt geconcludeerd dat:

1. het mogelijk is de invloed van het aantal bouwen in een waterkering op de veiligheid van een lengte-eenheid van de betreffende waterkering (= een dijk- of kadering) te berekenen, met behulp van een opgesteld wiskundig model;
2. het model berekent:
  - de afname van de veiligheid van een lengte eenheid waterkering als functie van het aantal kritieke locaties in een waterkering;
  - de kans op een kritieke locatie als functie van het aantal bouwen (door aaneenschakeling van bouwen);
3. uit berekeningen met het model blijkt algemeen dat iedere locatie met graverij een afname van de veiligheid van een waterkering veroorzaakt, waarbij geldt dat:
  - de veiligheid reeds sterk afneemt bij aanwezigheid van één kritieke locatie;
  - bij ca. 5 kritieke locaties de veiligheid is afgenomen tot een bijna constante minimumwaarde;
  - bij meer dan 5 kritieke locaties de veiligheid nog slechts heel langzaam verder afneemt;
4. het aantal muskusratbouwen in een waterkering waarbij 5 kritieke locaties aanwezig zijn is afhankelijk van het type waterkering en de positie van de bouwen in het dwarsprofiel, waarbij:
  - voor kleine waterkeringen (boezemkaden) geldt dat:
    - de afname van de veiligheid niet afhankelijk is van de positie van een bouw in het dwarsprofiel;
    - ten aanzien van de faalmechanismen hoogte, macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts, piping, bekleding en microstabiliteit bij 5 bouwen de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot een minimum waarde;
  - voor grote waterkeringen (rivier- en meerdijken) geldt dat:
    - de afname van de veiligheid niet afhankelijk is van de positie van een bouw in het dwarsprofiel;
    - ten aanzien van de faalmechanismen hoogte, macrostabiliteit buitenwaarts, bekleding en microstabiliteit bij 5 bouwen de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot een minimum waarde;
    - ten aanzien van de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en piping de minimum waarde van de veiligheid pas wordt bereikt bij een hoger aantal bouwen, omdat een aaneenschakeling van bouwen benodigd is voor het ontstaan van een kritieke locatie . Dit komt vanwege de grotere zgn. kritieke breedte van het faalmechanisme bij dit type waterkeringen, afhankelijk van de lengte van de waterkering wordt de minimum waarde pas bereikt indien tot wel honderden locaties met graverij aanwezig zijn (in een waterkering met een lengte van 50 km).

Ten aanzien van deze resultaten gelden enkele beperkingen van het model, te weten:

- niet alle faalmechanismen worden verdisconteerd;
- het model is enigszins onnauwkeurig omdat de positie van graverij in het dwarsprofiel en de invloed daarvan op een specifiek faalmechanisme buiten beschouwing wordt gelaten;
- lokale overdimensionering wordt buiten beschouwing gelaten.

Zodoende wordt meer algemeen gesteld dat de belangrijkste conclusies zijn:

- elke aantasting van een waterkering door graverij door een muskusrat veroorzaakt een afname van de veiligheid van de waterkering;
- het aantal locaties met graverij dient laag te worden gehouden;
- de omvang van een locatie met graverij dient beperkt te worden gehouden, omdat:
  - bij intensieve graverij de veiligheid van de betreffende locatie verder afneemt;
  - bij toename van de breedte van graverij reeds bij een kleiner aantal bouwen 5 kritieke locaties aanwezig kunnen zijn.

Ten aanzien van de relatie tussen aantal vangsten en de faalkans van een waterkering wordt geconcludeerd dat:

- een relatie tussen het aantal vangsten en het aantal graverijen kan niet worden aangetoond;
- een relatie tussen het aantal vangsten en de faalkans kan niet worden aangetoond, vanwege het ontbreken van een eenduidige relatie tussen het aantal vangsten in een gebied en het aantal graverijen in een waterkering.

### **Aanbevelingen**

Vooraleerst wordt algemeen aanbevolen te voorkomen dat zich schade door graverij in een waterkeringen bevindt. Reeds bij een enkele schade is sprake van een sterke afname van de veiligheid van de waterkering. Meer specifiek dient te worden voorkomen dat gelijktijdig op 5 locaties schade door graverij aanwezig is (tijdens het optreden van hoogwatersituaties). Hierbij wordt geen uitspraak gedaan of deze situatie wordt nagestreefd en / of gerealiseerd door intensieve bestrijding of intensieve inspectie van de waterkering en herstel van schade, eventueel in combinatie met preventieve maatregelen.

Bij grotere waterkeringen neemt de veiligheid ten aanzien van het falen door stabiliteitsverlies of piping minder snel af bij een toenemend aantal bouwen. Pas bij een groot aantal bouwen wordt een minimale waarde van de veiligheid bereikt. Dit aantal is onder andere afhankelijk van de breedte van een bouw. Zodoende dient niet alleen het aantal bouwen laag te worden gehouden, maar dient tevens de gemiddelde breedte van een bouw beperkt te worden gehouden. Dit vereist snelle ontdekking van de bouw en herstel van de schade. Aanbevolen wordt de inspectiefrequentie mede te baseren op de aangetroffen breedte van bouwen. Indien grote breedtes worden aangetroffen, dient de frequentie te worden verhoogd.

Om de kennis over de relatie tussen het aantal vangsten en de afname van de veiligheid te vergroten wordt aanbevolen om proefvakken aan te wijzen en het aantal vangsten nauwkeurig bij te houden gedurende een aantal jaren. Indien ook het aantal schades in deze dijkvakken goed gedocumenteerd wordt, is het wellicht mogelijk om de relatie tussen het aantal vangsten en het aantal bouwen vast te stellen.

Voor een eventueel gewenste toekomstige aanscherping van de conclusies wordt aanbevolen:

- registratie van de omvang van de graverij, alsmede de positie in het dwarsprofiel;
- de populatiedichtheid in het gebied waarin de waterkering zich bevindt te registreren;
- inzicht te verkrijgen in de actuele sterkte van de waterkering waarop het model wordt toegepast, zoals:
  - eventuele overdimensionering van dijkvakken;
  - het eventueel lokaal niet relevant zijn van bepaalde faalmechanismen
  - typen waterkering in de dijkkring
- verbetering van de beperkingen van het model.

Verder geldt als belangrijke onzekerheid bij deze resultaten de onbekendheid ten aanzien van de graafcapaciteiten van een muskusrat, bijvoorbeeld wanneer deze tot uitersten wordt gedwongen door gebrek aan vestigingsmogelijkheden en voedsel. Om een betere indruk te verkrijgen verdient het aanbevelingen meer inzicht te verkrijgen in deze capaciteiten, bijvoorbeeld door tenminste extreme vormen van graverij te registreren (qua intreediepte, indringing in de waterkering, breedte / intensiteit van graverij).



<b>INHOUD</b>	<b>BLAD</b>
VOORWOORD	1
SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	1
1.1 Situatie	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Leeswijzer	1
1.4 Terminologie	1
1.5 Totstandkoming	1
2 AANPAK	1
2.1 Inleiding	1
2.2 Gebruikte gegevens	1
2.3 Uitgangspunten	1
3 RESULTATEN	1
3.1 Inleiding	1
3.2 Fase 1: relatie aantal muskusrattenbouwen en faalkans waterkering	1
3.2.1 Wiskundig model	1
3.2.2 Resultaten theoretische toepassing	1
3.2.3 Beperkingen van het model	1
3.2.4 Gevoeligheid van het model: lengte van de dijkkring	1
3.3 Fase 2: toepassing voor enkele dijk- en kaderingen	1
3.4 Fase 3: Relatie tussen populatie en veiligheid	1
3.4.1 Relatie aantal vangsten en het aantal muskusrattenbouwen	1
3.4.2 Relatie tussen aantal vangsten en de veiligheid	1
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	1
4.1 Conclusies	1
4.2 Aanbevelingen	1
5 REFERENTIES	1
6 COLOFON	1
<b>Bijlagen</b>	
1	WISKUNDIGE ONDERBOUWING RUIMTELIJK MODEL KRITIEKE LOCATIES DOOR MUSKUSRATTENGRAVERIJ
2	VELDGEGEVENS MUSKUSRATTENBOUWEN

## 1 INLEIDING

### 1.1 Situatie

De muskusrat (*Ondatra zibethicus*) en de beverrat (*Myocastor coypus*) worden in Nederland bestreden met als belangrijkste reden de veiligheid van de waterkeringen te waarborgen en overstromingen door dijkdoorbraken te voorkomen. Nut en noodzaak van de bestrijding van muskusratten zijn regelmatig onderwerp van discussie. Naar aanleiding van deze discussie voert de Landelijk Coördinatie Commissie Muskusrattenbestrijding (LCCM) een onderzoeksprogramma uit, gericht op verschillende aspecten van de bestrijding. Dit programma omvat enkele studies naar de gevolgen van graverij door muskus- en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen.

In de studie "Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen" [BCM/DHV, 2006] is de invloed van graverij op de veiligheid van een waterkering kwantitatief bepaald. De berekende afname betreft de invloed van één enkele bouw van een muskus- of beverrat op de veiligheid van een (representatief) dwarsprofiel.

In deze vervolgstudie zijn de resultaten vertaald in een afname van de veiligheid van het beschermde gebied (een dijkkringgebied, polder, etc.). Dit onderzoek spitst zich daarmee toe op de relatie tussen de omvang van de populatie muskusratten en de veiligheid ten aanzien van overstromen.

### 1.2 Doelstelling

Het algemene doel van de studie is:

*Een bijdrage leveren aan een gefundeerde besluitvorming over toekomstige bestrijding van de muskusrat en beverrat, ten behoeve van veiligheid en voorkomen van schade.*

De studie is gericht op het beantwoorden van de volgende vragen:

1. Hoeveel neemt de faalkans van een lengte-eenheid waterkering toe door aanwezigheid van x-aantal muskusrattenbouwen in deze kering?
2. In hoeverre bestaat een relatie tussen het aantal vangsten per uur en het aantal aanwezige muskusrattenbouwen in een bepaalde waterkering, en hoe ziet deze relatie er uit?
3. In hoeverre is een relatie te onderkennen tussen het aantal vangsten per uur en de veiligheid van waterkeringen en zo ja, hoe laat deze relatie zich omschrijven?

De resultaten van het eerste onderzoek naar de invloed van graverij op de veiligheid op dwarsprofielniveau [BCM/DHV, 2006] vormen de basis voor dit onderzoek. Daarnaast is gebruik gemaakt van gegevens over het aantal graverijen per lengte-eenheid van waterkeringen. Deze gegevens zijn afgeleid uit veldgegevens over het aantal muskusrattenvangsten per jaar/per uur en per uurhok en aantallen en precieze locaties van muskusrattenbouwen in de kaden/dijken behorend tot die dijkringen. Een deel van de gegevens is gebaseerd op een inventarisatie van waarnemingen van graverij, uitgevoerd door medewerkers van de muskusratbestrijding en waterschappen.

Het model is opgezet voor muskusratten. Methodisch kan het ook worden toegepast voor beverratten. Dit vergt echter aanpassing van enkele invoergegevens, zoals die specifiek voor de aard van graverij door muskusratten gelden en de bijbehorende invloed op de veiligheid van de waterkeringen. De resultaten van deze studie kunnen niet worden gebruikt voor besluitvorming over de bestrijding van beverratten.

### 1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak van deze studie, in hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies en aanbevelingen.

### 1.4 Terminologie

#### Graverij: pijpen, bouwen en clusters

Graverij door muskusratten vormt een aantasting van de waterkering. In dit rapport wordt een dergelijke aantasting aangeduid met de term "locatie met graverij". De omvang van een locatie met graverij kan daarbij variëren. Zo kan sprake zijn van een enkele pijp, een bouw of een cluster van bouwen. Op basis van de inventarisatie in de studie "Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen" [BCM / DHV, 2006] wordt gesteld dat een bouw globaal een breedte heeft van ca. 5 meter. Dit vormt in zekere zin een aanvangsbreedte, de bouw bestaat dan uit één of enkele nestkommen met een beperkt stelsel van pijpen. Bij langere bewoning van een bouw neemt de omvang toe, bijvoorbeeld doordat:

- enerzijds soms voor de nieuwe worpen aanvullende nestkommen worden gegraven;
- anderzijds de jongen zich soms aansluitend in de oever vestigen.

Aldus kan een cluster van bouwen ontstaan. De mate en snelheid waarin uitbreiding van een bouw en de vorming van een cluster bouwen gebeurt is onder andere afhankelijk van de vestigingsmogelijkheden, de aanwezigheid van voedsel en de veiligheid. In sommige gebieden is intensieve clustering waargenomen, waarbij een waterkering of oever over enkele honderden meters is vergraven [BCM / DHV, 2006].

#### Veiligheid van een waterkering: overschrijdingskans

In deze studie is de veiligheid van een waterkering steeds uitgedrukt in termen van een overschrijdingskans, bijv. een overschrijdingskans van 0,1% per jaar (in de praktijk vaak vertaald in eens per 1000 jaar). Deze zgn. overschrijdingskansbenadering is conform de Wet op Waterkering [1996]. De overschrijdingskans betreft de overschrijdingsfrequentie van een maatgevend hoge waterstand waarbij de veiligheid van de waterkering nog juist voldoet. Een overschrijdingskans van 1% ofwel 1/100 jaar betekent niet dat de waterkering daadwerkelijk ook zo vaak faalt, in dergelijk situaties voldoet de veiligheid van de waterkering niet meer aan de norm. Of de waterkering daadwerkelijk faalt en een overstroming optreedt hangt af van de eventuele reststerkte van de waterkering.

#### Veiligheid van een waterkering: faalmechanismen

Een waterkering kan tijdens een maatgevende belastings situatie falen door verschillende mechanismen. De kering kan te laag zijn, waardoor deze overloopt of waardoor teveel water over de dijk slaat. Verder kan de kering onvoldoende sterk zijn, waardoor het binnen- of buitentalud afschuift, groundbreuk en piping optreden, gronddeeltjes uit het binnentalud worden gespoeld of het buitentalud door erosie wordt aangetast. Aanvullend kunnen gebeurtenissen in het voorland aanleiding vormen tot het falen van de waterkering. Al deze mechanismen worden faalmechanismen genoemd. De veiligheid van een waterkering wordt getoetst (of ontworpen) ten aanzien van al deze faalmechanismen [bijvoorbeeld VTV2006].

#### Minimum waarde veiligheid met graverij

In de studie "Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen" [BCM / DHV, 2006] is de afname van de veiligheid van een waterkering (als dwarsprofiel) berekend. Deze berekende (afgenomen) veiligheid van een waterkering met graverij wordt in dit rapport aangeduid als de "minimum waarde van de veiligheid".

### Kritieke breedte

Voor de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en piping geldt dat de waterkering over een aanzienlijke breedte (een tiental meters) moet zijn aangetast alvorens deze daadwerkelijk bezwijkt. De minimaal benodigde breedte van de aantasting van een waterkering voor het kunnen optreden van een faalmechanisme wordt in dit rapport aangeduid als de kritieke breedte.

## 1.5 Totstandkoming

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

### **Begeleidingscommissie**

L. Wijlaars	LCCM/projectmanagement
M.C. Geuze	TCM; Waterschap Zeeuwse eilanden
B. de Bruijn	UWW; Waterschap Rivierenland
M. Jacobs	IPO; Prov. Gelderland
H.J. Verhagen	Extern deskundige waterkeringen; TU-Delft, fac. Civieltechniek
R. Lenders	Extern deskundige ecologie; RU – Nijmegen, afd. milieukunde

### **Agendaleden**

M.van Willegen	LCCM – landelijk coördinator muskusratbestrijding
L.R. van Brederode	Ministerie van LNV, directie Natuur
F. Barends	LCCM - landelijk coördinator beverratbestrijding

Aanvullend hebben verschillende bestrijders bijgedragen aan de inventarisatie van benodigde gegevens over graverij in waterkeringen.



**Foto 1 Opeengegraven bouw van een muskusrat (kleine boezemkade, Friesland)**

## 2 AANPAK

### 2.1 Inleiding

De beantwoording van de onderzoeksvragen is gefaseerd uitgevoerd:

- fase 1: opstellen van een wiskundig model van de relatie tussen het aantal muskusrattenbouwen en de (afname van de) veiligheid van verschillende typen waterkeringen;
- fase 2: toepassen van het model voor enkele bestaande dijkkringen, polders, etc.;
- fase 3: analyse van de relatie tussen de omvang van de populatie en de (afname van de) veiligheid van een gebied.

#### *Ad fase 1: relatie tussen aantal bouwen en de veiligheid op niveau dijk- of kadering*

Voor de bepaling van de invloed van het aantal locaties met graverij door muskus- of beverratten in een waterkering op het veiligheidsniveau van een gehele dijk- of kadering is een wiskundig model opgesteld. Dit model is uitgewerkt voor verschillende typen waterkeringen, omdat de invloed van graverij op de veiligheid per type waterkering verschilt. Het model is opgesteld door GeoDelft.

#### *Ad fase 2: praktijktoepassing van het model*

Het model is vervolgens toegepast voor enkele dijkkringgebieden en kaderingen om polders, teneinde voor deze gebieden de afname van de veiligheid bij een waargenomen aantal locaties van graverij te bepalen. Deze toepassing vormt een test van de geloofwaardigheid van het model (geen calibratie). De resultaten dienen tevens voor de analyse naar de relatie tussen de omvang van de populatie en de veiligheid (fase 3).

Deze fase is onder andere gebaseerd op gegevens over waarnemingen van graverij in de waterkeringen van de geselecteerde gebieden. Deze gegevens zijn aangeleverd door medewerkers uit de muskusrattenbestrijding in samenwerking met medewerkers van waterschappen, op basis van een speciaal opgestelde vragenlijst.

#### *Ad fase 3: analyse populatie en veiligheid*

Tenslotte is getracht voor de gekozen gebieden een relatie aan te tonen tussen de omvang van de populatie en de berekende afname van de veiligheid. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de resultaten van de toepassing van het model, en gebiedsinformatie over het aantal vangsten per uur en het aantal aanwezige muskusrattenbouwen in een bepaalde waterkering.

### 2.2 Gebruikte gegevens

Voor de studie zijn de volgende gegevens gebruikt:

- studie: Gevolgen graverij door muskusratten en beverratten op de veiligheid van waterkeringen [DHV, 2006];
- waarnemingen graverij (bron: dit project; inventarisatie door bestrijders in samenwerking met medewerkers waterschappen);
- vangstgegevens (bron: registratiesysteem bestrijding);
- overzicht oppervlaktewater per uurhok (bron: bureau Nieuwland, Wageningen, 2007).

**Studie: Gevolgen graverij door muskusratten en beverratten op de veiligheid van waterkeringen**

In deze studie [BCM / DHV, 2006] zijn de gevolgen van graverij door muskus- en beverratten voor de veiligheid van een waterkering kwantitatief bepaald. Hiertoe is voor een representatief dwarsprofiel per faalmechanisme vastgesteld tot welke waterstand de veiligheid van de waterkering nog juist voldoet aan de gestelde norm. Aan de hand van de overschrijdingsfrequentie van die (lagere) waterstand, is de afname van de veiligheid afgeleid. Deze afname is uitgedrukt in termen van een overschrijdingskans. Deze zgn. overschrijdingskansbenadering is conform de Wet op Waterkering [1996].

De resultaten zijn gepresenteerd in de tabel 1. Globaal resulteert een toename van de overschrijdingsfrequentie met een factor van ca. 2 tot max. 10. In termen van overschrijdingskansen neemt de veiligheid door graverij af met een factor 2 tot max. 10.

**Tabel 1 Invloed graverij muskusratten op veiligheid waterkeringen (minimum waarde veiligheid)**

Type waterkering	Faalmechanisme Hoogte	Stabiliteit				Bekleding Buiten / Binnen
		Binnenwaarts	Buitenwaarts	Piping	Micro	
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/-	---

Toelichting bij de tabel

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 resultaten vormen een belangrijk uitgangspunt in deze studie, speciaal de resulterende veiligheid van een waterkering met graverij. Deze verlaagde veiligheid wordt steeds aangeduid als de minimum waarde van de veiligheid. Als voorbeeld, voor een bovenrivierdijk wordt voor het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts met de minimum waarde een veiligheid van 1/520 bedoeld.

**Gegevens waarnemingen graverij**

Voor de toepassing van het model voor enkele praktijksituaties is voor 8 dijkringen, kaderingen of delen daarvan een inventarisatie van waarnemingen van graverij uitgevoerd. Dit betrof de volgende gebieden:

1. provincie Noord - Holland: de (primaire) waterkering Wieringen, lengte 50 km;
2. provincie Noord – Holland: de boezemkaden van de Purmer, lengte 20 km;
3. provincie Zuid – Holland: de (primaire) waterkering van het Eiland van Dordrecht, lengte 35 km;
4. provincie Zuid – Holland: de boezemkade van de polder Jonge Janswaard, lengte 4 km;
5. provincie Friesland: de kadering nabij Workum, lengte 12,5 km;

6. provincie Gelderland: traject van de (primaire) waterkering van dijkkring Tieler- en Culemborgerwaarden, lengte 65 km;
7. provincie Gelderland: traject van de (primaire) waterkering van dijkkring Tieler- en Culemborgerwaarden, lengte 28 km;

Een overzicht van de veldgegevens is opgenomen in bijlage 2.

#### **Vangstgegevens muskusratten**

Voor fase 3 is gebruik gemaakt van gegevens over het aantal velduren van muskusratbestrijders en het aantal vangsten per uur uurhok, op jaarbasis. Deze gegevens zijn beschikbaar gesteld door de TCM voor de jaren 2003 tot en met 2006.

#### **Overzicht oppervlaktewater per uurhok**

Aanvullend is bij fase 3 gebruik gemaakt van gegevens over de aanwezigheid van oppervlaktewater per uurhok. Dit betreft informatie over de lengte watergangen, sloten, natte greppels, etc., uitgedrukt in km's. Deze gegevens zijn verzameld door bureau Nieuwland [2007], in opdracht van de BCM.

## **2.3 Uitgangspunten**

Bij de drie fasen van deze studie worden verscheidene uitgangspunten gehanteerd. Deze paragraaf beschrijft een overzicht van alle uitgangspunten.

#### **Uitgangspunten studie DHV [2006]**

De belangrijkste uitgangspunten die zijn gehanteerd bij deze studie worden onderstaand alleen kort genoemd. Voor een nadere toelichting over deze uitgangspunten wordt verwezen naar de betreffende rapportage. De belangrijkste uitgangspunten zijn:

1. schade door graverij wordt goed hersteld (in het kader van Beheer & Onderhoud van de waterkering);
2. ook lange termijn schade is verwerkt in de schematisering van representatieve graverij in het dwarsprofiel, zoals uitschuring van de pijpen;
3. zowel directe als indirecte gevolgen van graverij voor de veiligheid van de waterkering zijn beschouwd, zoals aanpassingen van de waterspanningen;
4. reële combinatie van de kans op de aanwezigheid en omvang van graverij tijdens het optreden van de maatgevende belastingsituatie, waarbij voor niet-permanent belaste waterkering is aangenomen dat zichtbare schade niet aanwezig is tijdens een hoogwaterperiode;
5. per faalmechanismen is een representatieve omvang van graverij geschematiseerd;
6. de gevolgen van graverij voor de veiligheid zijn beoordeeld zonder het in beschouwing nemen van eventueel te nemen beheersmaatregelen tijdens de maatgevende belastingsituatie.

Een belangrijke onzekerheid bij deze studie is dat de schematisering van representatieve graverij is gebaseerd op waarnemingen die zijn gedaan in een situatie waarbij:

- muskusratten worden bestreden, en de levensverwachting van een muskusrat laag is;
- de populatie dichtheid niet maximaal is;
- ogenschijnlijk voldoende voedsel aanwezig is.

Het is denkbaar dat de aard en omvang van graverij wijzigt wanneer een wijziging optreedt in één van deze kenmerken.

## **Uitgangspunten van deze studie**

### Veiligheid van alle dijkvakken voldoet juist aan de norm

De gepresenteerde afname van het veiligheidsniveau is steeds gebaseerd op een representatief profiel wat juist aan de vereiste veiligheid voldoet. Aanvullend geldt het uitgangspunt dat de veiligheid van alle dijkvakken van de dijkkring juist aan de norm voldoen. In werkelijkheid zullen dijkvakken voorkomen die ruim voldoen aan de norm (door overdimensionering van het dwarsprofiel) of waarvan de veiligheid niet of nauwelijks wordt aangetast door graverij (bijvoorbeeld doordat bepaalde faalmechanismen lokaal niet relevant zijn vanwege kenmerken van de bodemopbouw). De uitkomsten vormen daarmee een overschatting van de werkelijk resulterende afname van het veiligheidsniveau van de dijkvakken en dijk- en kaderingen.

Opgemerkt wordt dat sinds de jaren '90 dijkverbeteringen overwegend zijn gebaseerd op het zgn. uitgekiend ontwerpen. In deze benadering worden de dijken zo ontworpen dat de veiligheid juist aan de norm voldoet. Hier is dus geen sprake van enige overdimensionering of reserves in de sterkte, en dus geen overschatting van de afname van de veiligheid door graverij. Dit geldt voor veel dijken in het rivierengebied die naar aanleiding van beide hoogwaterperioden in 1993 en 1995 zijn verbeterd.

Voor een juiste inschatting van de mate van eventuele overschatting door lokale overdimensionering van dijkvakken dient informatie over de werkelijke of actuele sterkte van alle dijkvakken van de gehele dijk- of kadering bekend te zijn, en vervolgens op basis van deze actuele en lokale informatie per dijkvak de invloed van graverij op de veiligheid te worden berekend. Een dergelijke aanpak vergt veel en gedetailleerde gegevens van de waterkeringen, de ondergrond en de kenmerken van de belastingsituatie, en vormt bovendien een enorme inspanning. Deze aanpak lijkt daarmee op dit moment niet realiseerbaar. Een test met deze aanpak is te overwegen, maar na voltooiing van de studie Veiligheid Nederland in Kaart – II (VNK-II).

### Wiskundig model

In het model wordt de veiligheid van de lengte-eenheid van de waterkering uitgedrukt in termen van een overschrijdingskans van de waterstand. Verder veronderstelt het model dat een muskusrat de locatie voor een bouw willekeurig kiest, zonder rekening te houden met nabijgelegen (al of niet bewoonde) bouwen. In werkelijkheid is de locatiekeuze beslist niet willekeurig, alleen de afweging die een muskusrat maakt bij de keuze is onbekend. Algemeen is wel bekend dat belangrijke randvoorwaarden voor de vestiging zijn dat een locatie sowieso de mogelijkheid biedt tot vestiging (voldoende drooglegging) en de omgeving daarbij voldoende voedsel en veiligheid biedt. Langs een waterkering kan de geschiktheid van een locatie voor vestiging ten aanzien van deze voorwaarden verschillen, zodat soms op sommige dijkvakken een clustering van bouwen wordt aangetroffen, terwijl zich in andere dijkvakken geen muskusratten vestigen.



## 3 RESULTATEN

### 3.1 Inleiding

De drie onderzoeksvragen zijn in dit hoofdstuk beantwoord. De onderzochte relaties tussen faalkans en aantal muskusrattenbouwen, tussen het aantal vangsten en aantal muskusrattenbouwen en tussen het aantal vangsten en de veiligheid van waterkeringen zijn toegelicht op basis van de resultaten van het modelonderzoek. In de beschrijving van het modelonderzoek zijn bovendien de onzekerheden aangegeven en de invloed hiervan op de resultaten toegelicht. De resultaten worden per fase beschreven.

### 3.2 Fase 1: relatie aantal muskusrattenbouwen en faalkans waterkering

#### 3.2.1 Wiskundig model

Voor de bepaling van de invloed van het aantal locaties met graverij in een waterkering op de veiligheid van het beschermde gebied is een wiskundig model ontwikkeld (door GeoDelft). Met het model kan voor een willekeurige dijkkring (type waterkering, lengte en overschrijdingsnorm) de invloed van het aantal bouwen op de faalkans worden berekend. Het model is beschreven in bijlage 1. Belangrijke invoerparameters van dit model zijn:

1. de lengte van de dijkkring;
2. de veiligheidsnorm van de dijkkring (overschrijdingskans);
3. de veiligheid van een dwarsprofiel met graverij (overschrijdingskans, aangeduid als minimale waarde);
4. de breedte van graverij; in relatie tot:
5. de minimaal benodigde breedte waarbij het faalmechanisme optreedt (aangeduid als kritieke breedte).

Ad.2: dit betreft een randvoorwaarde die is vastgelegd in de Wet op waterkering (primair) of de verschillende provinciale verordeningen (regionaal).

Ad.3: voor deze waarde wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de eerste studie [DHV 2006]. Deze waarde verschilt per type waterkering en per faalmechanisme (zie tabel 1). Deze waarde wordt in dit rapport steeds aangeduid als "de minimale waarde van de veiligheid".

Ad.4 en 5: ten aanzien van de verschillende faalmechanismen geldt dat:

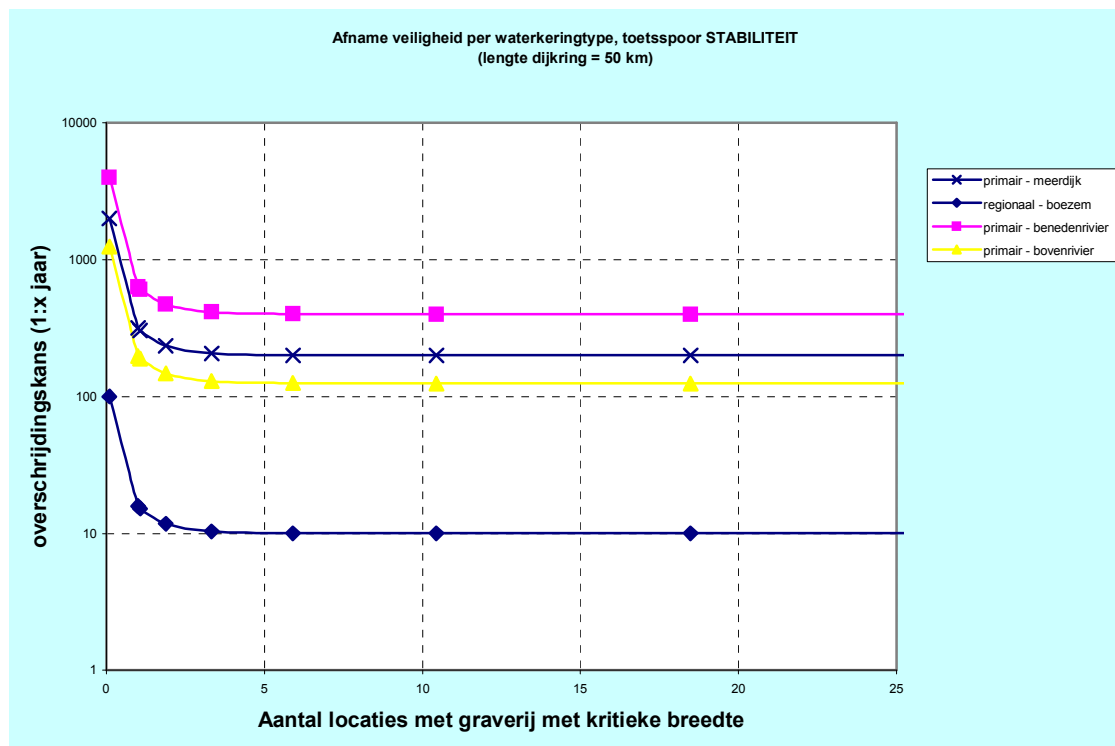
- erosie van de bekleding, uitspoeling van gronddeeltjes uit het binnentalud en de mechanismen overlopen en golfoverslag reeds tot het bezwijken van de waterkering kunnen leiden bij een geringe breedte van graverij in de waterkering;
- het optreden van de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en piping een aantasting door graverij over een aanzienlijke breedte vereisen alvorens de waterkering daadwerkelijk bezwijkt. Als voorbeeld, een afschuiving binnenwaarts heeft bij grotere waterkeringen veelal een breedte van een tiental meters. De reikwijdte van graverij met een geringe breedte is dan onvoldoende om het dijkvak over de volledige breedte te verzwakken.

In de paragraaf 3.2.4 wordt nader in gegaan op de betekenis van dit punt voor de berekende resultaten.

### 3.2.2 Resultaten theoretische toepassing

Voor een eerste theoretische toepassing van het model is een standaard lengte van de waterkering van 50 km aangehouden. Belangrijk uitgangspunt is verder dat de breedte van graverij gelijk is aan de minimaal benodigde breedte waarbij het faalmechanisme kan optreden. Voor beide kenmerken is een breedte van 20 meter aangehouden. De resultaten zijn gepresenteerd in figuur 1.

Figuur 1 Relatie aantal graverijlocaties met kritieke breedte en veiligheid waterkering



De figuur toont dat bij alle beschouwde waterkeringen de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot een minimale waarde van de veiligheid bij 5 verzwakte dijkvakken. Deze minimale waarde betreft de (verlaagde) veiligheid zoals die is berekend op basis van de beschouwing van de invloed van graverij op een dwarsprofiel (BCM/DHV, 2006).

Bij dit resultaat dienen de enkele opmerkingen te worden geplaatst.

- Allereerst geldt dit resultaat indien de veiligheid van de waterkering ter plaatse van alle graverijlocaties juist aan de vereiste norm voldoet. In werkelijkheid komen overgedimensioneerde dijkvakken voor, of dijkvakken waar één of enkele faalmechanismen niet relevant zijn (bijvoorbeeld piping indien geen sprake is van grondbreuk). In werkelijkheid zal de veiligheid minder sterk afnemen. De mate waarin kan niet worden aangegeven, dit is afhankelijk van enerzijds de eventuele overdimensionering van de waterkering en anderzijds (variëaties in) de bodemopbouw.
- Verder neemt de berekende veiligheid in deze grafiek af tot een constante waarde, dit betreft de zgn. minimum waarde van de veiligheid [DHV, 2006]. Uitgangspunt bij de berekening van die waarde was

een gemiddelde omvang van een bouw zoals die op basis van een inventarisatie (behorende bij de studie) is vastgesteld. Bij grotere aantallen bouwen op een strekking (bijvoorbeeld door een hogere populatiedichtheid) zal de omvang van een bouw toenemen, zowel qua intensiteit van de pijpen als indringing in de waterkering. Men spreekt dan van zgn. etagebouw. Bij een dergelijke uitbreiding van de bouw neemt de veiligheid van de waterkering (in dwarsprofiel) verder af, ofwel de minimum waarde wordt lager. In werkelijkheid zal de veiligheid bij een toenemend aantal locaties met graverij (gestaag) verder afnemen.

- Verder geldt dat de afgenomen veiligheid uitsluitend tot problemen leidt indien zich een hoogwatersituatie voordoet. Indien schade door graverij voorafgaand aan een dergelijke periode wordt hersteld, bestaat uiteraard geen gevaar voor de veiligheid.
- Tenslotte gelden de resultaten voor de aanname dat op iedere locatie met graverij de waterkering over voldoende breedte is verzwakt voor het optreden van het faalmechanisme. Voor sommige faalmechanismen is dit een erg pessimistische benadering. Onderstaand wordt nader ingegaan op de invloed van dit uitgangspunt op de resultaten.

#### **Breedte van de graverij versus minimaal benodigde breedte voor optreden faalmechanisme**

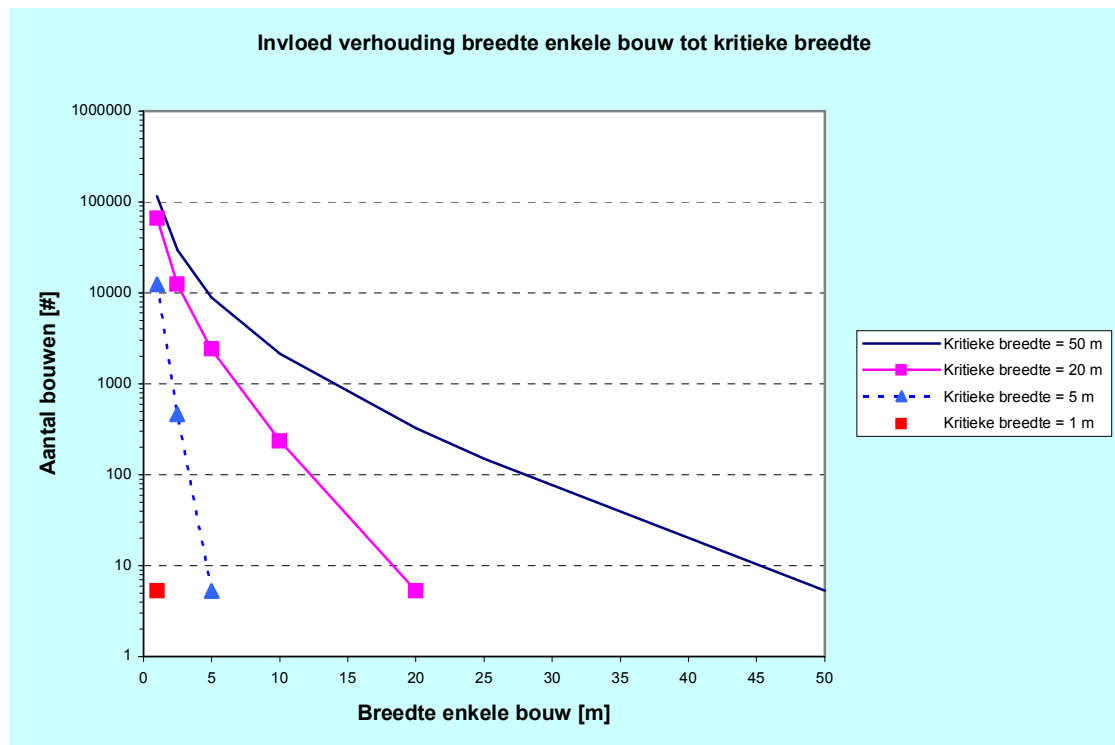
Voor enkele faalmechanismen geldt dat de waterkering over een aanzienlijke breedte (een tiental meters) moet zijn aangetast alvorens deze daadwerkelijk bezwijkt. Dit geldt bijvoorbeeld voor het faalmechanisme stabiliteit, met name bij waterkeringen met een grote kerende hoogte (en derhalve een breed profiel). In deze situatie is mogelijk een aaneenschakeling van bouwen vereist alvorens de waterkering over voldoende breedte is aangetast. In dergelijke situaties kan het model rekening houden met de kans op een aaneenschakeling van graverijen.

In het kader van deze beschouwing zijn twee analyses uitgevoerd:

1. aantal bouwen waarbij de zgn. minimum waarde van de veiligheid wordt bereikt
2. invloed aantal bouwen op afname veiligheid bij enkele breedten van een bouw

#### Aantal bouwen waarbij de zgn. minimum waarde van de veiligheid wordt bereikt

Voor verschillende combinaties van de breedte van graverij en kritieke breedte van het faalmechanisme is het aantal bouwen berekend waarbij de veiligheid van de kadering juist is afgenomen tot de minimale waarde. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een boezemkade met een lengte van 50 km en een veiligheidsnorm van 1/100 jaar, welke afneemt tot 1/10 door graverij (de zgn. minimale waarde). Beschouwd zijn een kritieke breedte variërend van 1 tot 50 meter, en een breedte van de bouw of graverij eveneens variërend van 1 tot 50 m.



**Figuur 2: aantal bouwen waarbij veiligheid kadering afneemt tot minimumwaarde.**

De grafiek in figuur 2 toont aan dat de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot de minimale waarde:

- indien een bouw een breedte heeft die gelijk is aan de kritieke breedte: bij aanwezigheid van 5 locaties met bouwen (dit geldt voor alle beschouwde kritieke breedtes);
- indien de breedte van een bouw de helft bedraagt van de kritieke breedte: pas bij aanwezigheid van ca. 150 à 450 locaties met bouwen (dit geldt bij een breedte van de bouw en kritieke breedte van respectievelijk 25 vs. 50 en 10 vs. 20 m)
- bij een verdere afname van de breedte van een bouw ten opzichte van de kritieke breedte: een sterk toename van het aantal locaties met bouwen, bij een kritieke breedte van 20 m en een ca. 2,5 m brede bouw dienen ca. 12.500 bouwen in de waterkering aanwezig te zijn.

Uit deze resultaten blijkt dat de verhouding tussen de breedte van een bouw en de kritieke breedte van grote invloed is. Deze invloed is uitsluitend relevant voor:

1. het faalmechanisme stabiliteit en, in mindere mate, piping;
2. in combinatie met grote waterkeringen.

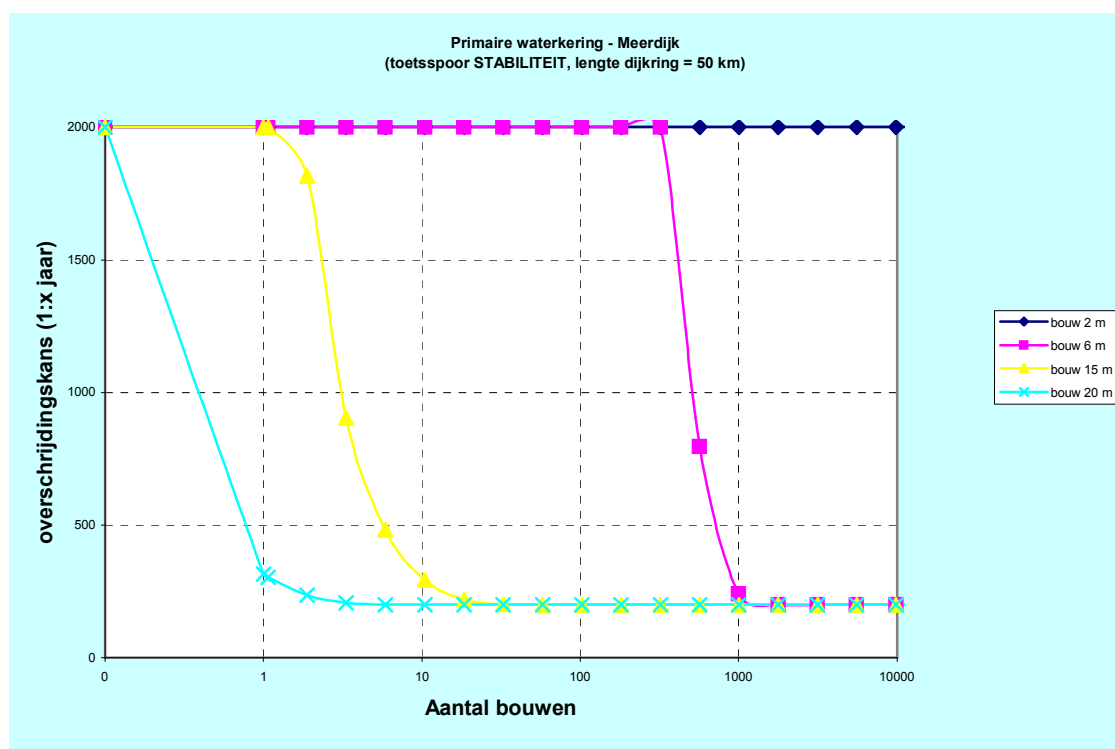
Ad.1: voor de overige faalmechanismen geldt dat de waterkering reeds bij een aantasting met een geringe breedte (enkele meters) kan bezwijken. Voor het falen van de waterkering is een aantasting over een grotere breedte (door een aaneenschakeling van bouwen) niet benodigd.

Ad.2: voor kleinere dijken is de kritieke breedte voor genoemde faalmechanismen kleiner. Het faalmechanisme kan bij een gemiddelde breedte van een bouw reeds optreden, een aaneenschakeling van bouwen is hiervoor niet benodigd.

#### Invloed aantal bouwen op afname veiligheid bij enkele breedten van een bouw

Voor een meerdijk met een lengte van 50 km is de invloed van het aantal bouwen op de veiligheid bepaald. Beschouwd zijn 4 verschillende breedten van een bouw, uitgangspunt is een kritieke breedte van 20 m. Figuur 3 presenteert het resultaat.

Voor een breedte van de bouw van 20 m komt het resultaat in figuur 3 overeen met figuur 1 (de breedte van de bouw is gelijk aan de kritieke breedte). Verder toont de grafiek in figuur 3 dat bij een afnemende breedte van de bouw de veiligheid steeds minder snel afneemt door het aantal bouwen. Bij een breedte van een bouw van 15 m wordt de minimum waarde bereikt bij ca. 20 bouwen, terwijl bij een breedte van de bouw van 5 m het aantal van 100 bouwen een geringe afname van de veiligheid veroorzaakt.



**Figuur 3 Invloed aantal bouwen op de veiligheid**

Uit deze resultaten blijkt ook de invloed van de dimensie tijd. De initiële omvang van een bouw bedraagt gemiddeld ca. 5 meter, voor de meerdijk in bovenstaand voorbeeld veroorzaakt de aanwezigheid van 10 van dergelijke bouwen nauwelijks een verlaging van de veiligheid. Na één seizoen kan zo'n bouw zijn uitgegroeid tot een breedte van 10 à 15 meter. De aanwezigheid van 10 dergelijke bouwen veroorzaakt een afname van de veiligheid tot ca. 1/400. Een verdere toename van de breedte van de bouw (realiseerbaar in enkele jaren) verlaagt de veiligheid tot 1/200. De veronderstellingen over de groei van een bouw zijn gebaseerd op DHV [2006].

#### Conclusie ten aanzien van de breedte van een bouw versus de kritieke breedte

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat voor de faalmechanismen hoogte, macrostabiliteit buitenwaarts, bekleding en microstabiliteit bij 5 locaties met graverij de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot de minimale waarde, ongeacht de breedte van de graverij in de waterkering. Voor de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en piping geldt dit eveneens voor de kleinere

waterkeringen, zoals boezemkaden. Voor de grotere waterkeringen (rivier- en meerdijken), is echter een aaneenschakeling van bouwen benodigd alvorens het bezwijken optreedt. Dit vereist een fors hoger aantal locaties met graverij. Belangrijke kanttekening daarbij is dat bouwen die niet worden opgemerkt binnen enkele jaren kunnen uitgroeien tot een breedte gelijk aan de kritieke breedte van deze twee faalmechanismen. In dat geval geldt ook voor stabiliteit en piping bij grotere waterkering dat bij 5 locaties met graverij / bouwen de veiligheid reeds tot de minimale waarde is afgenomen.

### 3.2.3 Beperkingen van het model

Bij de toepassing van het model gelden enkele beperkingen:

1. alleen faalmechanismen met kwantificeerbare invloed op de veiligheid kunnen worden beschouwd;
2. differentiatie naar positie graverij in dwarsprofiel is niet mogelijk;
3. differentiatie naar verschillende typen waterkeringen in een dijkkring is niet mogelijk.

#### Ad.1: Alleen kwantificeerbare faalmechanismen

Voor de faalmechanismen bekleding (= erosiebestendigheid buitentalud), macrostabiliteit binnentalud en microstabiliteit is de invloed van graverij op de veiligheid niet kwantificeerbaar, doordat de aantasting niet kan worden uitgedrukt in een (lagere) waterstand waarbij de veiligheid van de kering nog juist voldoet aan de norm. Het model kan alleen worden toegepast voor faalmechanismen met een kwantificeerbaar effect op de veiligheid, dit betreft de faalmechanismen Hoogte, Stabiliteit binnenwaarts en Piping.

#### Ad.2: differentiatie positie graverij in dwarsprofiel

De invloed van graverij op de veiligheid is onder andere afhankelijk van de positie van de graverij in het dwarsprofiel. Daarbij geldt dat de verschillende posities vaak specifiek één of enkele faalmechanismen beïnvloeden. Zo heeft graverij in de buitenteen geen invloed op de kruinhoogte van de waterkering en het daarbij behorende faalmechanisme (Hoogte). Idealiter dient dus tevens de positie van de graverij in het dwarsprofiel te worden beschouwd bij de berekeningen van de invloed van graverij op de veiligheid. Het model kan echter geen rekening houden met deze differentiatie. Bij de huidige uitwerking hebben alle locaties met graverij steeds een gelijke (lagere) veiligheid, ongeacht de positie van de graverij in het dwarsprofiel. Het model maakt dus geen onderscheid tussen graverij die zich bovenin de dijk bevindt (invloed op faalmechanisme Hoogte, met specifieke afname veiligheid) of bijvoorbeeld in de stabiliteitsberm (invloed op de stabiliteit, met eveneens een specifieke afname veiligheid). In werkelijkheid vindt graverij vaak op dezelfde positie in het dwarsprofiel plaats, vanwege de voorkeur van een muskusrat ten aanzien van de ligging van een bouw ten opzichte van de (grond-) waterstand. In boezemkaden bevindt graverij zich overwegend in het buitentalud nabij de kruin, bij rivierdijken overwegend in de teen nabij het niveau van het oppervlaktewater. Echter, dit kan dan zowel de teen binnen- als buitendijks zijn, of beide, afhankelijk van de aanwezigheid van oppervlaktewater.

#### Ad.3: differentiatie type waterkeringen in dijk- of kadering

De invloed van graverij op de veiligheid is ook afhankelijk van het type waterkering, kleine boezemkaden zijn bijvoorbeeld kwetsbaarder dan rivierdijken. Sommige primaire dijkkringen bestaan uit verschillende typen waterkeringen, en sommige kaderingen uit kaden met een verschillende kerende hoogte. Het model kan geen rekening houden met verschillende typen waterkeringen in de dijkkring.

### **Implicaties van de beperkingen**

De belangrijkste implicaties van deze beperkingen zijn:

1. een onderschatting van de afname van de veiligheid, doordat niet alle faalmechanismen meetellen bij de afleiding;
2. onnauwkeurigheid van de resultaten, doordat geen rekening kan worden gehouden met de specifieke invloed van de graverij op de veiligheid op basis van:
  - de locatie van graverij in dwarsprofiel;
  - de verschillende kwetsbaarheid van de typen waterkering in de dijk- of kadering.

Ad.2 Om tegemoet te komen aan deze beperking kan worden gekozen voor:

- differentiatie dwarsprofiel: schematisering van alle locaties van graverij op de meest kritieke locatie in het dwarsprofiel;
- differentiatie type waterkering: schematisering van alle typen waterkering als het type wat het meest kwetsbaar is voor graverij.

Dit vormt een conservatieve benadering, die resulteert in een overschatting van de afname van de veiligheid. Onderstaand volgt een indicatie van de orde grootte van deze onnauwkeurigheid cq. overschatting bij een conservatieve benadering.

#### Differentiatie locatie in dwarsprofiel

Stel een bovenrivierdijk is over een bepaalde lengte op 5 locaties vergraven, waarvan 1 maal binnendijks in een pipingberm en 4 maal in het buitentalud. Deze graverij beïnvloedt het faalmechanisme piping en stabiliteit binnenwaarts, en veroorzaakt respectievelijk op 1 locatie een afname van de veiligheid van 1/1250 naar 1/400 en op 4 locaties een afname van de veiligheid naar 1/520. De invoer van het model houdt hier geen rekening mee. Het model berekent een afname naar ofwel 1/400 of 1/520, afhankelijk van de wijze waarop de graverij is ingevoerd, terwijl de werkelijke afname tussen 1/400 en 1/520 is.

#### Differentiatie type waterkering

Stel een kadering met een bepaalde lengte en veiligheidsnorm van 1/1000 bestaat uit 2 typen boezemkaden, een grote en een kleine. Op 25 locaties komt graverij voor, waarvan 14 maal in de grote boezemkade en 11 maal in de kleine boezemkade. Deze graverij bevindt zich steeds in het buitentalud en beïnvloedt alleen het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Deze graverij veroorzaakt respectievelijk op 14 locaties een afname van de veiligheid naar 1/100 en op 11 locaties een afname van de veiligheid naar 1/150. De invoer van het model houdt hier geen rekening mee. Het model berekent een afname naar ofwel 1/100 of 1/150, afhankelijk van welke type boezemkade is ingevoerd, terwijl de werkelijke afname zich tussen 1/100 en 1/150 bevindt.

### **3.2.4 Gevoeligheid van het model: lengte van de dijkkring**

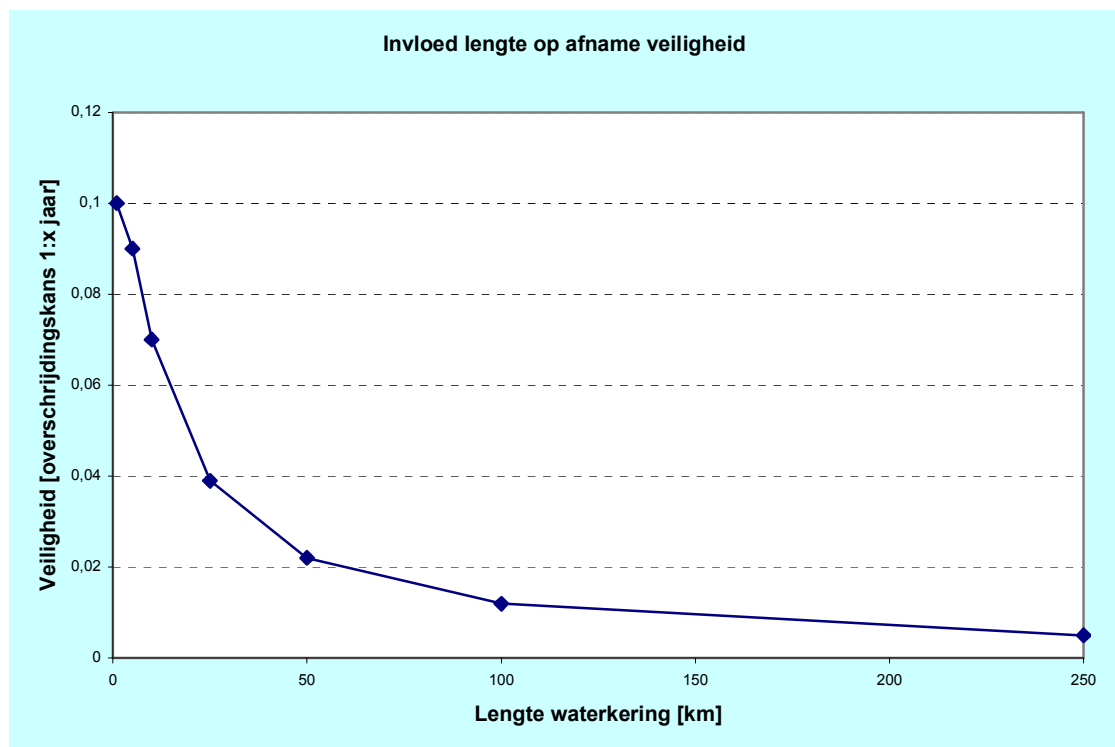
Uit de eerste resultaten van fase 1 blijkt dat de lengte van de dijkkring niet van invloed is op de afname van de veiligheid. Steeds bij 5 locaties van graverij (= verzwakte dijkvakjes) is de veiligheid afgenomen tot de minimale waarde. Deze conclusie geldt voor de aanname dat de breedte van een bouw gelijk is aan de kritieke breedte van het faalmechanisme. Dit uitgangspunt geldt niet voor alle combinaties van faalmechanismen en type waterkeringen. Zodoende is aanvullend aandacht besteed aan de invloed van de lengte van de dijkkring op de relatie tussen het aantal bouwen en de veiligheid van de waterkering.

Deze analyse is uitgevoerd voor een boezemkade, waarbij is aangenomen dat:

- oorspronkelijke norm van de waterkering bedraagt 1:100 jaar;
- de minimale waarde van de veiligheid bedraagt 1:10 jaar;

- 50 bouwen aanwezig zijn;
- de breedte van een bouw en de kritieke breedte van het faalmechanisme respectievelijk 10 en 20 m bedragen (= bij een aaneenschakeling van 2 bouwen wordt de kritieke breedte bereikt);
- de lengte varieert van 1 tot 250 km.

De resultaten zijn gepresenteerd in figuur 4. De figuur toont dat de lengte van de waterkering in sterke mate de invloed van het aantal bouwen op de afname van de veiligheid van de waterkering bepaalt. Bij een lengte van 1 km veroorzaken 50 bouwen een afname van de veiligheid van 1/100 tot 1/10 jaar, terwijl diezelfde 50 bouwen bij een lengte van 100 km de veiligheid afneemt van 1/100 tot 1/83 jaar. Deze invloed kan worden verklaard door het fors grotere aantal potentiële locaties voor graverij in de waterkering bij toenemende lengte, waardoor de kans op een aaneenschakeling sterk afneemt.



Figuur 4: Invloed lengte waterkering op resulterende afname veiligheid door aanwezigheid bouwen

### 3.3 Fase 2: toepassing voor enkele dijk- en kaderingen

In deze fase is het model toegepast voor enkele dijkeringen. Voor deze gebieden zijn gegevens over waargenomen graverijen en bouwen geïnventariseerd, door medewerkers van de muskusrattenbestrijding en waterschappen. Deze gegevens zijn gepresenteerd in bijlage 2. De belangrijkste kenmerken zijn in onderstaande tabel weergegeven.



**Tabel 3.1** Overzicht belangrijkste kenmerken beschouwde waterkeringen

Case	Gebied	Type waterkering	Lengte waterkering	Aantal graverijen	Gemiddelde breedte
1	Noord-Holland	Primair - Meerdijk	50 km	9	6 m
2	Noord-Holland	Boezemkade (> 2m)	20 km	1	2 m
3	Zuid-Holland	Primair - benedenrivier	35 km	99	2 m
4	Zuid-Holland	Boezemkade (>2m)	4 km	7	- *1
5	Friesland	Boezemkade (<2m)	12,5 km	36	5,5 m
6	Gelderland	Primair - bovenrivier	65 km	18	7 m
7	Gelderland	Primair - bovenrivier	28 km	9	8,5 m

\*1 Deze case is aanvullend ter illustratie aangeleverd. De resultaten zijn algemeen gebruikt voor beeldvorming over de aard van graverij. Gegevens over de breedte zijn onvoldoende specifiek. Toch is gekozen aanvullend de modeltoepassing ook voor deze case uit te voeren, hierbij is de gemiddelde breedte van alle cases gehanteerd.

Bij de toepassing van het model gelden de volgende uitgangspunten:

- voor de faalmechanismen Stabiliteit binnenwaarts en Piping bedraagt de kritieke breedte 20 m;
- de verschillende locaties van graverij zijn als volgt over de faalmechanismen verdeeld:
  - mechanisme Stabiliteit binnenwaarts: graverij aan de buitenzijde van de waterkering;
  - mechanisme Piping: graverij aan de binnenzijde, en dan specifiek ter plaatse van een eventueel aanwezige pipingberm;
- het mechanisme Hoogte is uitsluitend relevant voor kaden met een relatief smalle kruin en een continu optredende hoge buitenwaterstand, dit betreft uitsluitend boezemkaden.
- de faalmechanismen Microstabiliteit en Bekleding zijn niet kwantificeerbaar, en zijn daarom buiten beschouwing gelaten;
- een gemiddelde bouwbreedte van ca. 6 m, afgeleid van de resultaten van de inventarisatie;
- de keuze voor de locatie van een bouw langs de waterkering is als willekeurig verondersteld (gezien de verspreiding van locaties met graverij op de kaarten uit de inventarisatie blijkt dit een reële aanname te zijn).

De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 3.2 en 3.3. Het faalmechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts betreft de (binnenwaartse) afschuiving van het binnentalud. Het faalmechanisme piping betreft het meevoeren van zanddeeltjes door grondwaterstroming, dit grondwater treedt binnendijks uit in wellen. Door de uitspoeling van zanddeeltjes kan in het zandpakket direct onder een afdekkende klei- of veenlaag een doorgaande pijp onder de dijk door ontstaan, door (progressief) voortschrijdende erosie bezwijkt de waterkering uiteindelijk.

**Tabel 3.2** Resultaten toepassing: afname veiligheid – faalmechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts

Case [nr]	Lengte [km]	Type waterkering	Aantal graverijen	Veiligheids-norm [per jaar]	Berekende veiligheid [per jaar]	Afname veiligheid [factor]
1	50	Primair - meer	1	1/2.000	1/1.000	2
2	20	Regionaal - boezem	1	1/100	1/50	2
3	35	Primair - benedenrivier	43	1/4.000	1/400	10
4	4	Regionaal - boezem	4	1/100	1/11	9
5	12,5	Regionaal - boezem	15	1/100	1/10	10
6	65	Primair – bovenrivier	4	1/1.250	1/625	2
7	28	Primair - bovenrivier	3	1/1.250	1/800	1,5

**Tabel 3.3 Resultaten toepassing: afname veiligheid – faalmechanisme Piping**

Case [nr]	Lengte [km]	Type waterkering	Aantal graverijen	Veiligheids-norm [per jaar]	Berekende veiligheid [per jaar]	Afname veiligheid [factor]
1	50	Primair - meer	0	1/2.000	1/2.000	0
2	20	Regionaal - boezem	0	1/100	1/100	0
3	35	Primair - benedenrivier	56	1/4.000	1/400	10
4	4	Regionaal - boezem	0	1/100	1/100	0
5	12,5	Regionaal - boezem	0	1/100	1/100	0
6	65	Primair - bovenrivier	0	1/1.250	1/1.250	0
7	28	Primair - bovenrivier	0	1/1.250	1/1.250	0

Uit vooral tabel 3.2 blijkt dat ondanks het soms geringe aantal locaties met graverij, toch overwegend sprake is van een forse afname van de veiligheid van de gehele waterkering. Dit hangt samen met het resultaat van het model zoals gepresenteerd in figuur 1, waaruit blijkt dat bij enkele locaties met graverij de veiligheid reeds sterk afneemt. Deze sterke invloed wordt tevens veroorzaakt door de betrekkelijk korte lengten van de beschouwde waterkeringen.

De situatie voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts is het meest kritiek in case 3 (eiland van Dordrecht) en case 5 (boezemkade Friesland). Hier is het aantal aanwezige bouwen groter dan het aantal waarbij de veiligheid afneemt tot de minimale waarde. Maar ook in de overige beschouwde cases is sprake van een overwegend sterk verminderd veiligheidsniveau.

### 3.4 Fase 3: Relatie tussen populatie en veiligheid

Teneinde een relatie te kunnen leggen tussen de omvang van de populatie muskusratten en de veiligheid van de waterkering zijn 2 relaties beschouwd:

1. tussen het aantal vangsten en het aantal waargenomen graverijen in waterkeringen;
2. tussen het aantal vangsten en de berekende afname van de veiligheid van de waterkering.

Hierbij is gebruik gemaakt van de relatie tussen het aantal waargenomen graverijen in de waterkering en de afgenomen veiligheid van de waterkering (= resultaat fase 2).

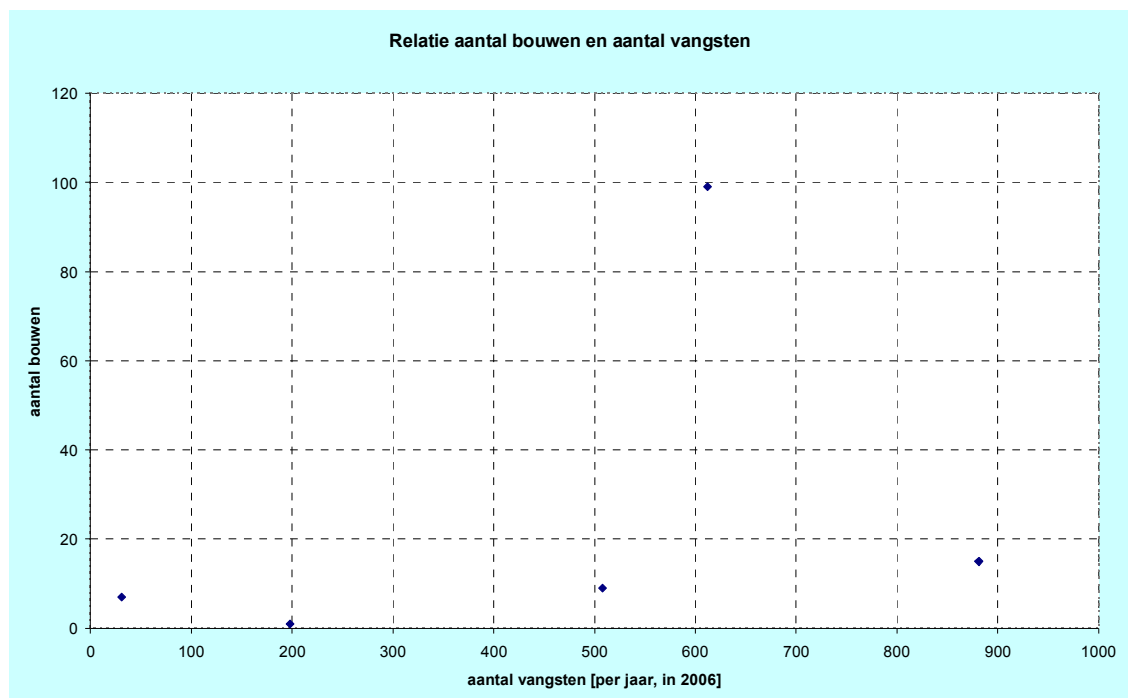
#### 3.4.1 Relatie aantal vangsten en het aantal muskusrattenbouwen

Teneinde een relatie te kunnen leggen tussen het aantal vangsten en waargenomen aantal bouwen van muskusratten in waterkeringen is gebruik gemaakt van vangstgegevens. Deze gegevens bevatten het aantal vangsten van muskusratten in verschillende gebieden (zgn. uurhokken). Een uurhok beslaat een topografische eenheid van 5\*5 km. Vangstgegevens hebben betrekking op alle vangsten in dit gebied, dus zowel in de (watergangen aan de) waterkeringen als overige waterpartijen en oevers in het gebied.

De resultaten zijn weergegeven in figuur 5. Uit de grafiek in figuur 5 blijkt dat het aantal vangsten varieert van 31 tot bijna 900, daarbij zijn resp. 7 en 15 bouwen aangetroffen. Andere combinaties zijn bijvoorbeeld de waarneming van 1 bouw in een gebied met bij 200 vangsten, en de waarneming van bijna 100 bouwen

in een gebied met 600 vangsten. Uit deze gegevens blijkt dat een eenduidige relatie tussen het aantal vangsten en het aantal bouwen niet kan worden aangetoond.

Denkbare verklaring is dat de geschiktheid van een waterkering als vestigingslocatie ten opzichte van de overige oevers in het uurhok per gebied varieert, zodat elk gebied een specifieke verhouding zal kennen tussen het deel van de populatie wat zich in de waterkering vestigt en het deel wat zich in de overige oevers vestigt.



**Figuur 5** Aantal bouwen versus het aantal gevangen muskusratten

### 3.4.2 Relatie tussen aantal vangsten en de veiligheid

De verhouding tussen het aantal vangsten en de afname van de veiligheid varieert sterk. Enkele kenmerkende cases zijn weergegeven in tabel 3.4, gerangschikt naar aantal vangsten. Uit de tabel blijkt dat zowel in een gebied met ca 30 vangsten als een gebied met 600 à 800 vangsten de veiligheid afneemt met een factor 10 (orde grootte). Daarentegen neemt de veiligheid in de cases met 200 à 500 vangsten af met een factor 2.

**Tabel 3.4** Enkele resultaten verhouding aantal vangsten en afname veiligheid (macrostabiliteit)

Case	Aantal vangsten [#]	Aantal locaties met graverij [#]	Afname van de veiligheid (t.a.v. macrostabiliteit binnenwaarts) [-]
4	31	7	9
2	198	1	2
1	508	9	2
3	612	99	10
5	881	36	10

Geconcludeerd wordt dat geen eenduidige relatie tussen het aantal vangsten en de afname van de veiligheid van een waterkering kan worden aangetoond op basis van de beschikbare gegevens. Belangrijkste oorzaak hiervoor is het ontbreken van een eenduidige relatie tussen het aantal vangsten en het aantal bouwen in een waterkering, waardoor evenmin een eenduidige relatie tussen het aantal vangsten en de berekende afname van de veiligheid wordt gevonden.

## 4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De studie is gericht op het beantwoorden van drie onderzoeksvragen;

1. Hoeveel neemt de faalkans van een lengte-eenheid waterkering toe door aanwezigheid van x-aantal muskusratbouwen in deze kering?
2. In hoeverre bestaat een relatie tussen het aantal vangsten per uur en het aantal aanwezige muskusratbouwen in een bepaalde waterkering, en hoe ziet deze relatie er uit?
3. In hoeverre is een relatie te onderkennen tussen het aantal vangsten per uur en de veiligheid van waterkeringen en zo ja, hoe laat deze relatie zich omschrijven?

Om deze vragen te beantwoorden is een wiskundig model ontwikkeld en zijn gegevens gebruikt over locaties met graverij en over vangsten. Op basis van de aangeleverde veldgegevens zijn conclusies geformuleerd ten aanzien van de onderzoeksvragen. Indien bepaalde relaties niet aantoonbaar zijn, is een aanbeveling gedaan om de gewenste gegevens te achterhalen op basis waarvan deze relatie wel onderzocht kan worden. Dit hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

### 4.1 Conclusies

**Ten aanzien van de relatie tussen het aantal muskusratbouwen en de faalkans van waterkeringen wordt geconcludeerd dat:**

1. de invloed van het aantal bouwen in een specifieke waterkering op de veiligheid van een lengte-eenheid van de betreffende waterkering of een dijk- of kadering kan worden berekend, met behulp van een opgesteld wiskundig model;
2. het model berekent:
  - de afname van de veiligheid van een lengte eenheid waterkering als functie van het aantal kritieke locaties in een waterkering;
  - de kans op een kritieke locatie als functie van het aantal bouwen (door aaneenschakeling van bouwen);
3. uit berekeningen met het model blijkt algemeen dat iedere locatie met graverij een afname van de veiligheid van een waterkering veroorzaakt, waarbij geldt dat:
  - de veiligheid reeds sterk afneemt bij aanwezigheid van één kritieke locatie;
  - bij ca. 5 kritieke locaties de veiligheid is afgenomen tot een bijna constante minimumwaarde;
  - bij meer dan 5 kritieke locaties de veiligheid nog slechts heel langzaam verder afneemt;
4. het aantal muskusratbouwen in een waterkering waarbij 5 kritieke locaties aanwezig zijn is afhankelijk van het type waterkering en de positie van de bouwen in het dwarsprofiel, waarbij:
  - voor kleine waterkeringen (boezemkaden) geldt dat:
    - de afname van de veiligheid niet afhankelijk is van de positie van een bouw in het dwarsprofiel;
    - ten aanzien van de faalmechanismen hoogte, macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts, piping, bekleding en microstabiliteit bij 5 bouwen de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot een minimum waarde;
  - voor grote waterkeringen (rivier- en meerdijken) geldt dat:
    - de afname van de veiligheid niet afhankelijk is van de positie van een bouw in het dwarsprofiel;

- ten aanzien van de faalmechanismen hoogte, macrostabiliteit buitenwaarts, bekleding en microstabiliteit bij 5 bouwen de veiligheid van een dijk- of kadering afneemt tot een minimum waarde;
- ten aanzien van de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en piping de minimum waarde van de veiligheid pas wordt bereikt bij een hoger aantal bouwen, omdat een aaneenschakeling van bouwen benodigd is voor het ontstaan van een kritieke locatie. Dit komt vanwege de grotere zgn. kritieke breedte van het faalmechanisme bij dit type waterkeringen, afhankelijk van de lengte van de waterkering wordt de minimum waarde bereikt indien tot wel honderden locaties met graverij aanwezig zijn (in een waterkering met een lengte van 50 km).

Ten aanzien van deze resultaten gelden enkele beperkingen van het model, te weten:

- niet alle faalmechanismen worden verdisconteerd;
- het model is enigszins onnauwkeurig omdat de positie van graverij in het dwarsprofiel en de invloed daarvan op een specifiek faalmechanisme buiten beschouwing wordt gelaten;
- lokale overdimensionering wordt buiten beschouwing gelaten.

Zodoende wordt meer algemeen gesteld dat de belangrijkste conclusies zijn:

- elke aantasting van een waterkering door graverij door een muskusrat veroorzaakt een afname van de veiligheid van de waterkering;
- het aantal locaties met graverij dient laag te worden gehouden;
- de omvang van een locatie met graverij dient beperkt te worden gehouden, omdat:
  - bij intensieve graverij de veiligheid van de betreffende locatie verder afneemt;
  - bij brede graverij minder bouwen al resulteren in 5 kritieke locaties.

**Ten aanzien van de relatie tussen aantal vangsten en de faalkans van een waterkering wordt geconcludeerd dat:**

- een relatie tussen het aantal vangsten en het aantal graverijen kan niet worden aangetoond;
- een relatie tussen het aantal vangsten en de faalkans kan niet worden aangetoond, vanwege het ontbreken van een eenduidige relatie tussen het aantal vangsten in een gebied en aantal graverijen in een waterkering.

## 4.2 Aanbevelingen

Vooraleerst wordt algemeen aanbevolen te voorkomen dat zich schade door graverij in een waterkeringen bevindt. Reeds bij een enkele schade is sprake van een sterke afname van de veiligheid van de waterkering. Meer specifiek dient te worden voorkomen dat gelijktijdig op 5 locaties schade door graverij aanwezig is (tijdens het optreden van hoogwatersituaties). Hierbij wordt geen uitspraak gedaan of deze situatie wordt nagestreefd en / of gerealiseerd door intensieve bestrijding of intensieve inspectie van de waterkering en herstel van schade, eventueel in combinatie met preventieve maatregelen.

Bij grotere waterkeringen neemt de veiligheid ten aanzien van het falen door stabiliteitsverlies of piping minder snel af bij een toenemend aantal bouwen. Pas bij een groot aantal bouwen wordt een minimale waarde van de veiligheid bereikt. Dit aantal is onder andere afhankelijk van de breedte van een bouw. Zodoende dient niet alleen het aantal bouwen laag te worden gehouden, maar dient tevens de gemiddelde breedte van een bouw beperkt te worden gehouden. Dit vereist snelle ontdekking van de bouw en herstel

van de schade. Aanbevolen wordt de inspectiefrequentie mede te baseren op de aangetroffen breedte van bouwen. Indien grote breedtes worden aangetroffen, dient de frequentie te worden verhoogd.

Om de kennis over de relatie tussen het aantal vangsten en de afname van de veiligheid te vergroten wordt aanbevolen om proefvakken aan te wijzen en het aantal vangsten nauwkeurig bij te houden gedurende een aantal jaren. Indien ook het aantal schades in deze dijkvakken goed gedocumenteerd wordt, is het wellicht mogelijk om de relatie tussen het aantal vangsten en het aantal bouwen vast te stellen.

Indien een toekomstige aanscherping van de conclusies wenselijk is worden de volgende aanbevelingen gedaan voor eventuele inventarisaties en registraties.

- Graverij en populatie
  - registratie van de omvang van de graverij, alsmede de positie in het dwarsprofiel;
  - de populatiedichtheid in het gebied waarin de waterkering zich bevindt;
  - inschatting van de geschiktheid van de waterkering als vestigingsmogelijkheid ten opzichte van overige oevers in betreffende gebied.
- Dijkkring
  - inzicht in de actuele sterkte van de waterkering, zoals:
    - eventuele overdimensionering van dijkvakken;
    - het eventueel lokaal niet relevant zijn van bepaalde faalmechanismen
  - typen waterkering in de dijkkring
- Wiskundig model
  - verbetering beperkingen van het model.

Verder geldt als belangrijke onzekerheid bij deze resultaten de onbekendheid ten aanzien van de graafcapaciteiten van een muskusrat, bijvoorbeeld wanneer deze tot uitersten wordt gedwongen door gebrek aan vestigingsmogelijkheden en voedsel. Om een betere indruk te verkrijgen verdient het aanbevelingen meer inzicht te verkrijgen in deze capaciteiten, bijvoorbeeld door tenminste de extreme vormen van graverij te registeren. Met extreem wordt hier bedoeld uitersten ten aanzien van bijvoorbeeld kenmerken als:

- de diepte onder water;
- de horizontale indringing in de waterkering
- de breedte van de graverij of complex van bouwen in de oever;
- de intensiteit van de graverij (aantal pijpen en nestkommen).

## 5 REFERENTIES

DHV, 2006. Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen. In opdracht van de BCM.

Bureau Nieuwland, 2007. Gegevens over de aanwezigheid van oppervlaktewater per uurhok. Inventarisatie in opdracht van de BCM.


Wet op de Waterkering, 1996.



## 6 COLOFON

### Populatieontwikkeling en veiligheid

---

Opdrachtgever	: Opdrachtgever Bestuurlijke Commissie Muskusrattenbestrijding
Project	: Populatieontwikkeling en veiligheid
Dossier	: B0075.01.001
Omvang rapport	: 1 pagina's
Auteur	: drs. C. (Clara) Spoorenberg
Bijdrage	: ir. H. (Henk) van Hemert
Review	: Ir. J. (Jan) Baltissen
Projectleider	: drs. C. (Clara) Spoorenberg
Projectmanager	: drs. T. (Teunis) Louters
Datum	: 19 november 2007
Naam/Paraaf	: 

---

***DHV B.V.***

*Laan 1914 nr. 35*

*3818 EX Amersfoort*

*Postbus 1132*

*3800 BC Amersfoort*

*T (033) 468 20 00*

*F (033) 468 28 01*

*[www.dhv.nl](http://www.dhv.nl)*

## BIJLAGE 1 WISKUNDIGE ONDERBOUWING RUIMTELIJK MODEL KRITIEKE LOCATIES DOOR MUSKUSRATTENGRAVERIJ

Veronderstel dat in een gebied en op een zeker tijdstip de omvang van de deelpopulatie van volwassen en nesten bouwende muskusratten  $P_2(t)$  is. Veronderstel verder dat in dit gebied de totale lengte aan waterkering  $L$  is. We nemen aan dat de dieren intuïtief een eerste graaflocatie nemen (of genomen hebben) waar ze geen directe last hebben van graverijen door de burens. De gemiddelde nestbouwselbreedte (in de lengte van de waterkering) noemen we  $B_n$ . Deze is afhankelijk van de gemiddelde periode (in jaren),  $0.5 (T_p - T_j)$ , waarin een muskusrattenpaar actief is met reproductie, het aantal worpen per jaar  $N_{nw}$  en de gemiddelde afstand (in de lengterichting van de dijk, tussen twee nesten van 1 m (zie eerdere rapportage DHV). De gemiddelde nestbreedte is:

$$B_n = \frac{1}{2} (T_p - T_j) N_{nw} \delta \quad (1)$$

Hierin is  $\delta$  de gemiddelde afstand tussen nesten binnen één bouwsel, die we voor het gemak gelijk stellen aan de gemiddelde afstand in de lengterichting van de waterkering. Uit de studie van DHV blijkt dat  $\delta = 1$  m een redelijke maat is. Met de getallen in tabel 1 vinden we  $B_n \approx 5$  m.

Het aantal mogelijke vestigingsplaatsen voor een muskusrattenpaar in het gebied is dus ruwweg:  $N_v = L/B_n$ .

De kans dat, bij  $P_2(t)$  muskusrattenparen in het gebied, een willekeurige vestigingsplaats bezet is luidt:

$$P_{loc, bezet} = \left(1 - \left(1 - \frac{1}{N_v}\right)^{P_2(t)}\right) \quad (2)$$

Graverij op een geïsoleerde vestigingsplaats hoeft nog geen bedreiging voor de waterkering te vormen. Het totale bouwsel is 1 tot 10 meter breed (gemiddeld 5) en daar gaat geen substantiële bedreiging voor de dijkstabiliteit van uit. Wanneer meerdere aaneengesloten vestigingsplaatsen bezet zijn, waar dus gegraven wordt, kan dit wel een bedreiging vormen. Wanneer over een lengte van 15 tot 20 meter, aaneengesloten, bouwsels voorkomen noemen we dat een kritieke locatie. Deze lengte geven we aan met  $B_{kr}$ . De range 15 – 20 m is arbitrair gekozen, maar komt in de buurt van de breedte van kleine afschuivingen.

Nemen we een willekeurige locatie langs de waterkering, dan is deze kritiek wanneer daar over een aaneengesloten lengte van  $B_{kr}$  graverijen voorkomen. De kans dat de locatie kritiek is, is gelijk aan de kans dat op die locatie  $n_{mode} = B_{kr} / B_n$  aaneengesloten bouwsels (dus bezette vestigingsplaatsen) zijn. Deze kans is:

$$P_{locatie kritiek} = \left(P_{loc bezet}\right)^{n_{mode}} \quad (3)$$

De kans (3) geldt voor elke gekozen specifieke locatie. De kans dat binnen de totale lengte van de waterkering binnen het gebied er tenminste één kritieke locatie is, is groter en neemt uiteraard ook toe naarmate de lengte  $L$  groter (en dus het aantal potentiële kritieke locaties).

Deze kans kan worden berekend met:

$$P_{>1 \text{ locatie kritiek in } L} = 1 - (1 - P_{\text{locatie kritiek}})^{\frac{L}{B_{kr}}} \quad (4)$$

Het verwachte aantal kritieke locaties in het gebied wordt berekend met:

$$N_{kr \text{ loc}} = \left( \frac{L}{B_{kr}} \right) P_{\text{locatie kritiek}} \quad (5)$$

En de verwachte fractie van de totale lengte van de waterkering in het gebied die kritiek is, is gelijk aan  $P_{\text{locatie kritiek}}$ .

**BIJLAGE 2 VELDGEGEVENS MUSKUSRATTENBOUWEN**

In tabelvorm zijn de ontvangen gegevens gepresenteerd.

<b>1. Noord Holland</b>			
primaire kering Wieringen			
totale lengte circa 50 km			
aantal graverijen 9			
gegevens graverijen			
nr.	breedte	jaar	schade
1	3	2002	binnen
2	10	1999	buiten
3	5	1986	buiten
4	6	2006	buiten
5	3	2007	buiten
6	1	1992	buiten
7	3	1997	buiten
8	1	2005	buiten
9	25	1994	buiten
gemiddeld		6.3	
st.dev.		7.5	
N		9	

<b>2. Noord Holland</b>			
secundaire kering Purmer			
totale lengte circa 20 km			
aantal graverijen 1			
gegevens graverijen			
nr.	breedte	jaar	schade
1	2	1990	buiten

<b>3. Zuid Holland</b>	
primaire kering Eiland van Dordrecht	
totale lengte circa 35 km	
aantal graverijen 99	
gegevens graverijen: jaartal en breedte onbekend	
nr.	schade
1-6	6 * binnen
7-12	6 * binnen
13-18	5 * buiten
19-23	4 * buiten
24-33	3 * buiten en 7 * binnen
34-43	5 * buiten en 5 * binnen
44-51	2 * buiten en 6 * binnen
52-66	15 * buiten

67-70	4 * binnen
71-76	10 * binnen
77-86	10 * binnen
	87 onbekend
88-94	7 * binnen
95-99	5 * binnen
totaal schades buiten 34	

<b>4. Zuid Holland</b>	
secundaire kering polder Jonge Janswaard (ter illustratie aangeleverd)	
totale lengte circa 4 km	
aantal graverijen 7	
gegevens graverijen: jaartal en breedte onbekend	
nr.	schade
1-7	buiten
totaal schades buiten 7	

<b>5. Friesland</b>			
secundaire kering kadering			
totale lengte circa 12.5 km			
aantal graverijen 2006/2007: 15 en 2003-2005: 21			
gegevens graverijen			
nr.	breedte	pijpen	schade
1	10	8	buiten
2	4	4	buiten
3	6	6	buiten
4	3	3	buiten
5	2	4	buiten
6	1	1	buiten
7	4	5	buiten
8	8	8	buiten
9	14	8	buiten
10	6	4	buiten
11	4	4	buiten
12	10	8	buiten
13	10	9	buiten
14	2	2	buiten
15	5	4	buiten
gemiddeld	5.9	5.2	
st.dev	3.7	2.5	
N	15	15	
alleen gegevens 2006/2007			

<b>6. Gelderland</b>				
primaire kering dijkkring 43, traject Ochten Kesteren				
totale lengte circa 65 km				
aantal graverijen 18				
gegevens graverijen				
nr.	breedte	jaartal	schade	
1	8	onbekend	buiten	
2	4	2003/2004	buiten	
3	6	2002	buiten	
4	15	2006	buiten	
5	4	2003	buiten	
6	onbekend	2003/2004	buiten	
7	15	2005	buiten	beverratten
8	10	2006	buiten	
9	6	onbekend	buiten	
10	6	onbekend	onbekend	
11	8	2006	buiten	
12	4	2005	buiten	
13	4	2003	buiten	
14	8	2005	buiten	
15	5	2003	buiten	
16	4	2002	binnen	
17	6	2002	buiten	
18	8	2002	buiten	
gemiddeld	7			
st.dev.	3.2			
N	17			

<b>7. Gelderland</b>				
primaire kering dijkkring 43, traject Tiel Waardenburg				
Breedte muskusrattenbouwen (nog) niet aangeleverd				
totale lengte circa 28 km				
aantal graverijen 9				
gegevens graverijen				
nr.	breedte	jaartal	schade	
1	6	2006	buiten	
2	20	2006	buiten	
3	3	2002	buiten	
4	2	2002	buiten	
5	17	2002	buiten	
6	1	2006	buiten	
7	1	2002	buiten	
8	15	2003	buiten	
9	10	2003	buiten	