

DIJKVERBETERING

ROND DE VESTINGSTAD

WOUDRICHEM

J.W. KLAREN
DEEL I



DIJKVERBETERING ROND DE VESTINGSTAD WOUDRICHEM
(afstudeerverslag)
mei 1987

J.W. Klaren

HOOGLERAAR
prof. ir. A. Glerum

BEGELEIDERS
ir. G.J. Florian
ir. W. Meermans

DIJKVERBETERING ROND DE VESTINGSTAD WOUDRICHEM
(afstudeerverslag)
mei 1987

J.W. Klaren

INHOUD

HOOFDSTUK I	pag. nr.
II.1 de noodzaak van dijkverzwaring	1
 HOOFDSTUK II	
II.1 veiligheidsnorm Alm en Biesbosch	7
II.2 economische berekening	8
II.2.1 berekening van de schade	9
II.2.3 kenmerken van de polder	12
II.2.4 bepaling schadebedrag	13
II.2.5 kosten dijkverhoging	14
II.2.6 optimale faalkans	14
II.3 faalkans bepaald uit maatschappelijk aanvaardbaar risico	15
II.3.1 het aantal slachtoffers bij overstroming	16
II.3.2 optimale faalkans	17
II.4 vergelijking van de faalkansen	17
II.5 conclusie	18
 HOOFDSTUK III	
III.1 de waterkering van Woudrichem	20
III.2 historisch overzicht	21
III.3 huidige situatie	22
III.3.1 beschrijving van de waterkering	22
III.3.2 ontwerpbeperkingen	24
III.3.3 technische staat waterkering	25
III.4 veiligheid t.a.v gestelde normen	27
III.5 samenvatting & conclusies	29
III.6 aanbeveling hoofdontwerp	30

VOORWOORD

Dit afstudeerverslag is geschreven ter voltooiing van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit te Delft. Het afstudeerwerk is verricht bij de vakgroep Constructieve Waterbouwkunde onder verantwoordelijkheid van prof. ir. A. Gierum.

Graag wil ik mijn dank uit laten gaan naar ir. G.J. Florian en ir. W. Meermans die als begeleiders van het afstudeerwerk zijn opgetreden. Onder hun deskundige leiding heeft dit afstudeerverslag vorm gekregen.

Tevens wil ik graag het adviesbureau Heidemij en het Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch bedanken voor de verleende medewerking.

INLEIDING

Op een aantal plaatsen langs de grote rivieren liggen historisch belangrijke plaatsen die omgeven zijn door vestingswerken. De functie van deze vestingswerken was het beschermen van de inwoners tegen vijanden zoals de mens en het oekomende rivierwater. Deze waterkerende elementen werden puur op ervaring ontworpen. Uitgangspunt voor de kruinhoopte was de hoogst bekende waterstand. Een aantal van deze vestingswerken doen nog steeds dienst als waterkering zonder dat zij ooit zijn aangepast of verbeterd. Het is dan ook niet te verwachten dat deze vestingwerken aan de huidige eisen die aan een waterkering gesteld worden voldoen. Op een aantal plaatsen zullen er dan ook uitgebreide werkzaamheden noodzakelijk zijn oodat de vestingswerken kunnen blijven functioneren als waterkering. Geeist wordt veelal dat het uiterlijk van de waterkering onveranderd blijft om zo het karakter van de historische steden te behouden.

Een van de stadjes waar een dergelijke problematiek speelt is Woudrichem. Dit stadje dat gelegen is aan de Boven Merwede op de plaats waar deze samenkomt met de Afgedamde Maas is omgeven door oude vestingswerken. In het eerste deel van dit rapport wordt ingegaan op hoe voor een dijkkring een toelaatbare inundatiekans berekend kan worden. De berekende inundatiekans wordt hierna vergeleken met de voor het Land van Heusden en Altena, waar de te beschouwen waterkering een deel van uitmaakt, door de Minister van Verkeer en Waterstaat vastgestelde norm van gemiddeld eens in de 3000 jaar.

In het tweede deel wordt geanalyseerd wat de zwakke elementen van de waterkering rond Woudrichem zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van een probabilistische analyse methode. Dit wil zeggen dat het stochastische karakter van de diverse belasting- en sterkte- parameters in rekening worden gebracht en de analyse plaats vindt op basis van een faalkansanalyse. Uit deze analyse blijkt, zoals te verwachten, dat er een aantal zwakke elementen in de waterkering aanwezig zijn. Omdat ook knappen en verbeteren van de waterkering vergaande consequenties voor het uiterlijk van de waterkering kan hebben, is er gezocht naar een andere mogelijkheid om in de huidige situatie verbetering te brengen. Globaal wordt aangegeven welke maatregelen er genomen kunnen worden om de waterkering zodanig op te knappen dat hij voldoet aan de eisen die vanuit oogpunt van veiligheid gesteld worden voldoen. Voor een van de elementen (de coupure) vindt een nadere uitwerking plaats. Het opknappen van de waterkering wordt vergeleken met de mogelijkheid om een dijkkring rond de vesting te vormen. De

dijkkring van het Land van Heusden en Altena wordt hierbij langs een andere weg gesloten. Op dezelfde wijze als gedaan is in deel I wordt vervolgens nagegaan wat de toelaatbare inundatiekans voor de dijkkring rond de vesting van Woudrichem zou moeten zijn.

I.1 HOOFDSTUK I
DE NOODZAAK VAN DIJKVERZWARING

De bereidheid om rivierdijken te verhogen is sterk verweven met de economische activiteiten die op het achterliggende land plaatsvinden. Naarmate achter de dijken meer mensen komen te wonen en de economische waarde van het land toeneemt, ontstaat de behoefte om meer aandacht aan de veiligheid te besteden. In de loop van de geschiedenis is waar te nemen dat er steeds hogere eisen werden gesteld aan de veiligheid die rivierdijken bieden.

Nog geen 30 jaar geleden was het niet mogelijk om het probleem van de benodigde dijkhoogte wetenschappelijk te bepalen. De hoogst bekende waterstand en dan liefst nog iets hoger was de basis waarmee de dijkhoogte bepaald werd. Herinnerd aan de noodzaak van dijkverhoging werd men door de periodiek voorkomende overstromingen. Ontwikkeling in het wetenschappelijk bepalen van de kruinhoogte kwam toen na de watersnoodramp van 1953 de Deltacommissie werd ingesteld. Verder bouwend op het werk van ir. Wemelsfelder, die een statistische wetmatigheid had ontdekt in het optreden van hoge stormvloedstanden, ging men over tot het door middel van extrapolatie vaststellen van extreme stormvloedstanden.

Momenteel is het mogelijk om met behulp van wetenschappelijke methoden vast te stellen welke eisen er aan waterkeringen gesteld moeten worden. Volgens de laatste wetenschappelijke ontwikkeling wordt een dijk gezien als een technisch systeem. Gebruikmakend van risico-analytische methoden wordt nagegaan of een dergelijk systeem voldoet aan de door de maatschappij gestelde eisen ten aanzien van veiligheid en economie. Voor de term risico wordt hierbij uitgegaan van de defenitie zoals deze afkomstig is uit de econometrie. In formulevorm kan risico volgens deze defenitie geschreven worden als:

$$\text{risico} = \text{kans} * \text{gevolg.}$$

Gebruikmakend van deze formule kan geconcludeerd worden dat gebeurtenissen waarvan de kans van optreden groot is maar het gevolg klein, kennelijk hetzelfde risico kunnen hebben als gebeurtenissen waarvan de kans van optreden klein is maar de gevolgen groot. Welk risico nu aanvaardbaar is, zal afhangen van een aantal factoren. De basis voor hetgeen een democratische maatschappij aan risico's aanvaardt, is in beginsel een samenvoeging van wat individuen al dan niet vrijwillig aan risico aanvaardden.

Uit het voorgaande blijkt dat het onvermijdelijk is dat er een kans bestaat dat er een ramp gebeurt. De discussie gaat slechts over wat een acceptabele kans is. Indien een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau bekend is en tevens bekend is wat de gevolgen van een eventuele ramp zijn dan ligt daarmee de kans op een dergelijke ramp vast. Deze kans kan gezien worden als de acceptabele faalkans. Er wordt dus een kans geaccepteerd dat gemiddeld eens in de zoveel jaar een ramp optreedt. Geen uitspraak wordt er gedaan over hoe de ramp kan optreden. Dit betekent dat de faalkans een som is van kansen op alle mogelijke gebeurtenissen die tot een eventuele ramp kunnen leiden. Dit heeft ertoe geleid dat wanneer er naar veiligheid wordt gekeken, systemen beschouwd worden.

Indien er gekeken wordt naar een acceptabele faalkans voor een waterkering zal niet volstaan kunnen worden met analyse van enkele elementen maar zal gekeken moeten worden naar het systeem als geheel. Dit betekent dat er in tegenstelling tot vroeger gekeken wordt naar een dijkkring als geheel in plaats van naar één dijkvak. De dijkkring kan opgebouwd zijn uit elementen die zowel uiterlijk als voor wat betreft manier van functioneren sterk kunnen verschillen. De faalkans op iedere willekeurige plaats van de dijkkring zal nu gelijk moeten zijn. De gevolgen en daarmee het risico zijn immers bij doorbraak op iedere plaats gelijk. Het berekenen van de faalkans van een systeem van een waterkering leidt al snel tot de vraag welke kans of welk risico acceptabel is. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zal hier worden ingegaan op de twee elementen waaruit het risico is opgebouwd namelijk de kans en het gevolg.

Voor het ontwerpen van zee- en rivierdijken wordt in Nederland gebruik gemaakt van een waterstand die met een bepaalde frequentie wordt overschreden. Hierbij laten zich drie gebieden onderscheiden namelijk het bovenrivierengebied het overgangsg gebied en de kustgebieden. Welk gebied er tot deze drie gebieden behoort is niet geheel triviaal. De exacte grenzen voor het overgangsg gebied zijn in een brief van de minister van Verkeer en Waterstaat als volgt aangegeven (lit 1). De riviergedeelten op de Lek tussen Schoonhoven en Jaarsveld en op de Merwede, Waal tussen splitsingspunt Werkendam en Herwijnen, waar extreme hoge waterstanden in overheersende mate bepaald worden door een hoge rivierafvoer en in ondergeschikte mate door stormvloeden, worden als overgangsg gebied aangemerkt. Verder stroomopwaarts wordt verondersteld dat de waterstanden geheel bepaald worden door hoge rivierafvoeren vanuit het bovenrivierengebied. Stroomafwaarts wordt verondersteld dat de waterstanden geheel bepaald worden door de zeewaterstanden (zie fig I.1)



..... behoort tot kustgebied
 - - - overgangsgebied
 ----- bovenrivierengebied
 fig (I.1)

Voor de kustgebieden (centraal Holland) zijn door de Deltacommissie ontwerppeilen vastgesteld. Hierbij wordt uitgegaan van waterstanden die met een frequentie van 1/10000 per jaar overschreden worden. Deze frequentie is bepaald op grond van een beleidskeuze na afweging van de mogelijke gevolgen van overstroming en de benodigde versterkingswerken. Het betreft hier dus deels een politieke keuze. Aanleiding om destijds de Deltacommissie in te stellen is de stormramp in 1953 geweest.

Bij de rivierdijken leverde een afvoer van $12500 \text{ m}^3/\text{s}$ in het jaar 1926 grote problemen op. Bij studie bleek echter dat het geheel niet denkbeeldig is dat er nog hogere waterstanden op de rivieren voorkomen. De studie heeft ertoe geleid dat het begrip Maatgevende Hoge Waterstanden ontstond. Onder een Maatgevende Hoge Waterstand dient die waterstand verstaan te worden die behoort bij een maatgevende Rijnafvoer te Lobith. Gebruikmakend van de bekende relatie tussen afvoeren en waterstanden bij Lobith

en betrekkinglijnen is het nu mogelijk de Maatgevende Hoge Waterstand voor een willekeurige plaats langs de rivier te bepalen. In 1956 kwamen de Gedeputeerde Staten van Gelderland, de provincie waarin de meeste rivierdijken zijn gelegen, en de Minister van Verkeer en Waterstaat overeen de bandijken te dimensioneren op een afvoer van de Rijn bij Lobith van 18000 m³/s. Deze afvoer heeft een kans om overschreden te worden van gemiddeld eens in de 3000 jaar. Deze norm bleek verstrekkende gevolgen te hebben. Zo zou 550 van de 625 km dijk lengte aangepast moeten worden.

Een geheel nieuw element komt in de jaren zestig naar voren. Dan gaan ook landschappelijke en milieuoverwegingen een rol spelen in het ontwerp van waterkeringen. In 1975 wordt de Commissie Becht ingesteld om de wenselijkheid van technisch "noodzakelijke" doch landschappelijk weinig fraaie dijkverhogingen te bestuderen (lit 2). Na afweging van de verschillende belangen heeft de commissie aanbevolen om verbeteringen aan de rivierdijk in het bovenrivierengebied uit te voeren zodanig dat waterstanden kunnen worden gekeerd die behoren bij een maatgevende Rijnafvoer van 16500 m³/s. Deze afvoer wordt overschreden met een frequentie van ongeveer 1/1250 per jaar. Deze norm is ook te vinden in de onlangs gepubliceerde leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 (lit 3).

Dezelfde Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werkt momenteel aan een leidraad voor het overgangsgebied. In het overgangsgebied zijn zowel de rivierafvoer als waterstanden op zee van invloed op de waterstanden, waarbij afhankelijk van de locatie de invloed van de zee meer of minder merkbaar is. Bij het vaststellen van een Maatgevende Hoge Waterstand zal dus met beide effecten rekening moeten worden gehouden. De norm ligt tussen de strenge eis van eens per 10000 jaar voor het zeegebied en de lichtere eis van eens per 1250 jaar voor het rivierengebied. In de literatuur (lit 1) is voor de verschillende dijkringingen de exacte norm weergegeven.

De overschrijdingsfrequentie van ontwerppeilen en maatgevende afvoer worden in brede kring gezien als een norm voor de veiligheid van het beschermde gebied en geïnterpreteerd als inundatiekansen. Dit is echter alleen juist in het theoretische geval dat de dijkring bezwijkt zodra het ontwerppeil of de Maatgevende Hoge Waterstand wordt overschreden en daar beneden niet. In werkelijkheid zijn er naast overschrijding van ontwerppeilen of Maatgevende Hoge Waterstand tal van andere mechanismen die de waterkering kunnen bedreigen. Een mechanisme kan hierbij gedefinieerd worden als: de wijze waarop de constructie op bedreigingen respondeert. Een combinatie van bedreigingen en

mechanismen leidt tot een bepaalde waarschijnlijkheid van falen van de waterkering. De berekende faalkans kan niet geïnterpreteerd worden als de frequentie van schadegevallen maar uitsluitend als een maat voor het vertrouwen in een bepaald ontwerp. Het verschil tussen overschrijdingsfrequenties en inundatiekansen is een bron van verwarring waarover de discussie nog steeds gaande is. Wordt er gekeken naar de leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken dan is daarin de volgende interpretatie te vinden:

- 1 De dijkhoogte moet ten minste gelijk zijn aan een waterstand horend bij een afvoer van $16500 \text{ m}^3/\text{s}$ vermeerderd met een waakhoogte;
- 2 De kans op een doorbraak als gevolg van golfaanval bij een waterstand lager dan MHW moet kleiner zijn dan $8 \cdot 10^{-5}$ per jaar;
- 3 De kans op een doorbraak door andere mechanismen (piping, afschuiving) moet kleiner zijn dan $8 \cdot 10^{-5}$

Behalve de faalkans dienen de gevolgen van eventuele overstromingen in beschouwing te worden genomen. In het algemeen zullen de gevolgen van een overstroming zijn dat er verliezen optreden die meer dimensionaal van aard zijn. De verliezen kunnen bestaan uit doden, gewonden, schade aan constructie's, milieu, economische verliezen, etc.

Er zijn in principe twee methoden om de verliezen ten gevolg van een overstroming te meten. Bij de eerste methode wordt een kwantitatieve benadering van het probleem gemaakt door de meer dimensionale verliezen uit te drukken in één dimensie. Gebruikelijk en meest toegankelijk is het om geld als rekeneenheid te gebruiken. Hiebij kunnen mensenlevens ook in geld worden uitgedrukt of zoals de Deltacommissie deed, mensenlevens buiten beschouwing laten bij de berekeningen. Deze benadering stuit op verzet indien er veel mensenlevens op het spel komen te staan. In dit geval wordt er een beroep gedaan op de tweede methode waarbij mensenlevens voorop komen te staan en materiele schade als minder belangrijk wordt gezien. Er wordt nu geeist dat het aantal doden beperkt blijft tot een maatschappelijk aanvaardbaar aantal. In geval van twijfel kunnen beide methoden gehanteerd worden waarbij de strengste maatgevend zal zijn.

Er zal hier specifiek gekeken worden naar de gevolgen die een eventuele overstroming zal hebben voor het overgangsgebied. Aan de hand van een schets van de geschiedenis van deze gebieden zal gekeken worden naar hoe deze gebieden zich economisch ontwikkeld hebben.

De eerste economische ontwikkeling vindt in deze gebieden plaats langs de rivieren. Langs de rivieren ontwikkelen zich handelssteden op vooral militair strategische belangrijke plaatsen. Vanuit deze handelssteden vindt langzamerhand ook de ontwikkeling van het achterland plaats. Doordat het land een steeds grotere waarde krijgt voor de bewoners en het aantal bewoners door tal van oorzaken steeds verder toeneemt, worden regelmatig de dijken langs de rivieren versterkt. Zo ontstaat een visieuze cirkel van toename van de waarde van het land en ophoging van de dijken. Om de dijken aan te kunnen passen aan de steeds hogere eisen wordt bij verbeteringswerkzaamheden veelal de bebouwing op en om de dijken verwijderd.

In het begin van de 60^{er} jaren begint het besef door te dringen dat de dijken er niet alleen zijn om het economisch waardevol geworden achterland te beschermen maar dat zij ook zelf een waarde vertegenwoordigen. Door de eeuwen heen is er op en om de dijken een karakteristiek landschap ontstaan. Het milieu en met name de flora en de fauna blijken van onschatbare waarde te zijn. Vlak langs en gedeeltelijk op de dijken bevinden zich op tal van plaatsen vestingen en oude gebouwen die een bepaalde cultuurhistorische waarde vertegenwoordigen. Een inventarisatie van de verschillende cultuurhistorische waarden langs de bovenrivieren is te vinden in de literatuur (lit 2). Bij het versterken van rivierdijken worden de cultuurhistorische waarden vaak aangetast. Naast een verhoging van de veiligheid wordt een dijkverbetering dan ook vaak gezien als een aanslag op het landschap. Een en ander heeft ertoe geleid dat er anders wordt aangekeken tegen de gevolgen van een eventuele overstroming. Het gebied binnen de dijkring wordt hierbij gezien als een gebied dat zowel een economische als een cultuurhistorische als een recreatieve waarde heeft. Bij een eventuele overstroming kunnen deze waarden verloren gaan. Om een optimale dijkhoogte te bepalen moet zoveel mogelijk rekening worden gehouden met al de verschillende waarden die in een gebied vertegenwoordigd zijn. Problematisch hierbij is dat al de verschillende deels immaterieele waarden moeilijk zijn uit te drukken in een dimensie.

Met behulp van een berekende kans op inundatie en bekende gevolgen is het mogelijk om het aanvaardbaar risiconiveau te berekenen. Andersom kan bij een bekend risiconiveau en bekende gevolgen een toelaatbare kans op inundatie berekend worden. Hoe het aanvaardbare risiconiveau bepaald wordt zal afhangen van hoe de gevolgen gemeten worden. Hiervoor is reeds uiteengezet dat er in principe twee methoden beschikbaar zijn om het aanvaardbaar risiconiveau vast te stellen. Wordt de materiele schade gemeten dan zal het minimum nagestreefd worden van de te maken investeringen.

noodzakelijk om meer veiligheid te krijgen, en de over de jaren te verwachten schade. Wordt gekeken naar het aantal doden dan wordt verondersteld dat de risico-tolerantie van een maatschappij zich weerspiegelt in de ongevallenstatistiek. Het reeds vermelde probleem van de meer dimensionaliteit van het risico is in dit geval omzeild door slecht één soort gevolg te beschouwen: de dodelijke afloop. Een praktisch normniveau voor de bezwijkkans van civiele constructies kan nu gevonden worden door als uitgangspunt te kiezen dat een dergelijke constructie geen noemenswaardige vergroting van het basisrisico mag vormen. Het basisrisico is hierbij het onvermijdelijke risico dat een lid van de gemeenschap moet accepteren.

Wanneer gekeken wordt naar de faalkansen die geaccepteerd worden voor respectievelijk de kust, overgangs- en het bovenrivierengebied dan is te zien dat:

Voor de kustgebieden van Nederland waar de meeste mensen wonen en de meeste economische activiteit plaatsvindt, een kleinere faalkans wordt geaccepteerd dan voor het minder belangrijke achterland. De gevolgen van een overstroming zullen hier zowel in geld als in aantallen doden uitgedrukt het grootst zijn.

Voor het bovenrivierengebied is de norm beduidend minder streng dan voor de kustgebieden. De consequentie's van overstromen zijn hier dan ook beperkter. De norm voor het overgangsgebied is ergens tussen deze twee normen in komen te liggen. Bij het vaststellen van een strengere norm voor de kustgebieden heeft ook meegespeeld dat een overstroming door het agresieve zoute zeewater meer schade tot gevolg heeft dan een overstroming met zoet water.

Samenvattend: Naarmate de waarde van een stuk land en het inwonertal toeneemt zal het op grond van economische overwegingen verantwoord zijn om meer geld te investeren in veiligheid. Dit betekent dat er ook strengere eisen aan de waterkeringen moeten worden gesteld. Voor een aantal dijkringen bestaat er nog geen balans tussen de economische waarde van het achterliggende land en de veiligheid tegen overstromen. In veel gevallen voldoet een dijkkring niet omdat er een aantal zwakke elementen in de dijkkring aanwezig zijn, wat tot gevolg heeft dat het achterliggende land een verhoogd risico heeft. Deze zwakke plaatsen dienen dan ook prioriteit te krijgen bij dijkverbeteringen. Bij deze dijkverbeteringen dient dan rekening gehouden te worden met de veranderende opvattingen over de waarde die een bepaald gebied vertegenwoordigt, zonder dat dit ten koste mag gaan van de veiligheid.

HOOFDSTUK II

II.1

VEILIGHEIDSNORM ALM EN BIESCHBOSCH

De dijkkring die beschouwd wordt omsluit het Land van Heusden en Altena en maakt deel uit van het Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch. Op grond van de in 1.1 genoemde indeling bevindt het Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch zich in het overgangsgebied. Naast het Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch liggen in het overgangsgebied nog drie andere Hoogheemraadschappen. De norm die van toepassing is voor de overschrijdingsfrequenties van de verschillende Hoogheemraadschappen in het overgangsgebied is verschillend. Op grond van economische berekeningen is besloten dit verschil aan te brengen.

De invloed van de Commissie Rivierdijken bij het vaststellen van de overschrijdingsfrequentie is duidelijk merkbaar in de manier waarop er rekening wordt gehouden met de verschillende waarden. Naast veiligheid en economie spelen ook milieu en cultuurhistorie een belangrijke rol bij de afwegingen. De normen die vastgesteld werden hadden steeds betrekking op een dijkkring. Deze gedachte is reeds aangegeven door de Deltacommissie. Waterkeringen die tezamen een bepaald gebied beschermen, omsloten door een dijkkring, dienen volgens de Deltacommissie elk dezelfde mate van veiligheid te bezitten, omdat de schade voor het inliggende gebied bij een eventuele ramp hetzelfde is. Voor één gehele dijkkring kan derhalve slechts één overschrijdingsfrequentie bepalend zijn. Voor de verschillende dijkkringen kunnen dus wel verschillende overschrijdingsfrequenties van toepassing zijn omdat de gevolgen van overstromen ook per dijkkring kunnen verschillen. Uiteindelijk is, op grond van bovenstaande, door de Minister van Verkeer en Waterstaat een indeling bepaald voor de gebieden in het overgangsgebied. Een en ander staat weergegeven in tabel (1.1).

Krimpenerwaard Lopikerwaard	1/4000
Vijfheerenlanden	1/3000
Alblasserwaard	1/4000
Alm en Biesbosch	1/3000

tabel (1.1)

Zoals blijkt uit de tabel geldt voor Alm en Biesbosch en Vijfheerenlanden een minder zware eis dan voor de andere gebieden. Kennelijk zijn de gevolgen van overstromen voor deze gebieden kleiner dan voor de andere.

Bij nadere beschouwing blijkt, dat de verstedelijkingsgraad en daarmee samenhangend het aantal inwoners, hier lager ligt dan bij de andere twee gebieden.

Zoals bekend gaat de aandacht hier in het bijzonder uit naar de dijkkring om het Land van Heusden en Altena heen. In het navolgende zal in eerste instantie met behulp van een economische berekening de optimale faalkans bepaald worden vanuit economisch oogpunt. Hierna zal gekeken worden naar welke faalkans vanuit oogpunt van het maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau aanvaardbaar is.

II.2

ECONOMISCHE BEREKENING

Het bepalen van een aanvaardbaar risiconiveau voor een bepaald project is alleen mogelijk indien er een sterke vereenvoudiging van het probleem plaatsvindt. Het vraagstuk zal hier benaderd worden als een mathematisch economisch beslissingsprobleem. Bij deze benadering is het noodzakelijk dat alle gevolgen worden uitgedrukt in geld. Ter vereenvoudiging van het probleem worden de volgende twee aannamen gemaakt:

- 1 De dijkhoogte wordt verondersteld een deterministische grootte te zijn.
- 2 Als enige bezwijkmechanisme zal beschouwd worden het overlopen van de dijk.

De tweede aanname heeft tot gevolg dat inundatie plaatsvindt, zodra de rivierwaterstand de dijkhoogte overtreft. De kans op deze gebeurtenis kan worden afgeleid uit de frequentieverdeling voor hoogwaterstanden. Zoals gangbaar wordt verondersteld dat frequentieverdeling benaderd mag worden door een exponentiele verdeling (zie bijlage I). In formulevorm:

$$P(n_e > n_k) = e^{-\frac{n_k - \alpha}{\beta}}$$

$$P(n_e > n_k) = e$$

waarin: n_e = hoogste waterstand van een hoogwatergolf
 n_k = kruinhoogte van de dijk
 α, β = constanten

Als het water over de dijk stroomt, loopt de polder onder. De totale schade aan gebouwen, voorraden, vee en productiemiddelen bedraagt nu S . De mathematische verwachtingswaarde van dit verlies is in ieder jaar gelijk aan het product van overstromingskans en de schade. De contante waarde van dit verlies over de levensduur is een

maat voor het totale verlies. Ter beperking van het risico kan men de dijken verhogen. Dit verhogen brengt kosten met zich mee die gedeeltelijk constant en gedeeltelijk evenredig met de verhoging zijn. De totale kosten zijn de som van: de kosten van dijkverhoging en de contante waarde van het te verwachten verlies. In formule vorm:

$$C_{tot} = C_{vast} + C_{bouw} + E(s)$$

waarin:

- C_{tot} = totale kosten
- C_{vast} = initiëeringskosten, onafhankelijk van de verhoging van de dijk.
- C_{bouw} = kosten voor verbetering dijk, afhankelijk van de verhoging.
- $E(s)$ = de gekapitaliseerde waarde van de schadeverwachting

Met bovenstaande formule kan de optimale faalkans bepaald worden. De formule dient daartoe als volgt te worden uitgeschreven:

$$C_{tot} = C_{vast} + I \cdot (h_k - h) + \frac{P \cdot S}{r - g}$$

waarin:

- I = kosten per meter dijkverhoging
- h = hoogte van de dijk voor verhoging
- h_k = kruinhoogte van de dijk na verhoging
- S = totale schade bij inundatie van de polder
- r = reële rente stand
- g = groeivoet van de economie
- P = faalkans (zie vorige pagina)

Door C_{tot} als een functie van h_k op te vatten kan de optimale verhoging als volgt bepaald worden:

$$\frac{d(C_{tot})}{d(h_k)} = 0$$

$$I + \frac{S}{r - g} \cdot \frac{d(P)}{d(h_k)} = 0$$

Voor P kan nu de kansdichtheidsfunctie worden ingevuld (zie vorige pagina). Na invulling en differentiatie volgt er:

$$I - \frac{S}{\beta \cdot (r - g)} \cdot P = 0$$

Uit bovenstaande formule volgt na omschrijven de optimale faalkans:

$$P = \frac{\beta \cdot I \cdot (r - q)}{S}$$

Om de faalkans te bepalen is het noodzakelijk dat er een schatting van de te verwachte schade en de investeringen wordt gemaakt. Hier zal in de volgende paragrafen eerst naar de schade en vervolgens naar de investeringen gekeken worden.

II.2.1 BEREKENING VAN DE SCHADE

De totale schade die er optreedt hangt af van een groot aantal factoren die deels afhangen van het proces van inundatie en deels van de structuur van het overstroomde gebied. Bij de huidige stand van het onderzoek wordt van al de mogelijkheden factoren alleen de inundatiediepte in beschouwing genomen. De schade kan nu volgens een door TNO uitgevoerde studie (lit 5) bepaald worden met behulp van de volgende formule:

$$S = c(d) \cdot S_{max}$$

waarin: S = de te verwachte schade
 $c(d)$ = factor afhankelijk van de inundatiediepte
 S_{max} = maximale schade in gulden

De maximale schade komt overeen met de totale vervangingswaarde van de te beschouwen objecten. De schadefactor $c(d)$ is een getal tussen 0 en 1. Uit door de onderzoekers Penning-Rowse en Chatteron gedaan onderzoek blijkt dat er tussen de inundatiediepte en de schade tot een bepaalde waarde een lineair verband bestaat (lit 6). De maximale waarde van $c(d)$ wordt boven de drie meter snel bereikt.

Om schade te kunnen berekenen is het noodzakelijk dat er gebruik wordt gemaakt van een indeling van goederen in categorieën. Hier zal gebruik worden gemaakt van een indeling zoals deze gebruikt is door de Provinciale Griffie van Gelderland voor de berekening van de inundatieschade voor de provincie Gelderland (lit 7). Deze indeling is als volgt:

- I Schade aan woningen, inboedels en personenauto's
- II Schade aan gebouwen anders dan woningen
- IV Schade aan industrie

Bij uitwerking bleek dat deze indeling goed te hanteren is wanneer gebruik wordt gemaakt van statistische cijfers van het Centraal Bureau van Statistiek (CBS). Alvorens de schade bepaald wordt, zal een overzicht worden gegeven van de kenmerken van de polder.

II.2.3 KENMERKEN VAN DE POLDER

De polder wordt als volgt omsloten door water:

noordzijde	de Boven Merwede
zuidzijde	de Maas
westzijde	de Biesbosh
oostzijde	de Afgedamde Maas.

De polder ligt relatief laag. Gemiddeld kan een hoogte van het maaiveld van N.A.P. + 0.5 m worden aangehouden. Het landschap is vlak er bevinden zich vrijwel geen uitschieters in de hoogte van het maaiveld. Een uitzondering vormt de oude vesting van Woudrichem waar het maaiveld op gemiddeld N.A.P. + 3 m ligt. Door de diepe ligging van de polder zal bij een eventuele ramp gerekend moeten worden op een innundatiediepte van meer dan vier meter bij een rivierwaterstand die eens in de 3000 jaar optreedt. Dit betekent dat de schade maximaal zal zijn. Van het land van Heusden en Altena zijn de volgende statistische gegevens bekend:

	1986	1981	1976
land opp km ²	206.13		
inwoners	47588	45744	54104
woningvoorraad	15232		
woningdichtheid	74	woningen per km ²	

Om een schatting te kunnen maken van de waarde van de woningen zal, bij gebrek aan beter, gebruik worden gemaakt van de gegevens van heel Noord Brabant. In 1986 was de totale woningvoorraad van Noord Brabant 736.233 stuks die een totale waarde van 103.574 mln vertegenwoordigde. De gemiddelde waarde van een woning kan dus gesteld worden op 140.000 gld. In het gebied is relatief weinig industriële activiteit. Dit heeft tot gevolg dat ruim 60% van de mensen die in dit gebied wonen elders werken. In het land van Heusden en Altena zijn slechts een klein aantal kleine gemeenten te vinden. De gemiddelde bevolkingsdichtheid is dan ook laag in vergelijking met andere polders in het overgangsgebied.

II.2.4

BEPALING SCHADEBEDRAG

Om de schade te kunnen bepalen moet er een onderscheid worden gemaakt in: gebieden met woningbouw, gebieden met landbouw, en gebieden met industrie.

Met behulp van een plattegrond van het Land van Heusden en Altena is opgemeten welk percentage van het land gebruikt wordt voor respectievelijk bebouwing en landbouw. Uit deze metingen blijkt dat ca. 5% van de totale oppervlakte gebruikt wordt voor bebouwing en ca. 95% voor landbouw. In werkelijkheid is er nog enige industrie aanwezig. Deze zal hier verwaarloosd worden.

	%	m ²
woningbouw	5%	10.10 ⁶
landbouw	95%	196.10 ⁶

De schade zal bepaald worden met behulp van waarden die ontleend zijn aan de literatuur (lit 4). De schade wordt verondersteld alleen afhankelijk te zijn van de inundatiediepte. Uit het voorgaande blijkt dat voor de hele polder de inundatiediepte boven de 3 meter zal liggen zodat gerekend kan worden met de maximale schade.

schade aan landbouwgrond		opp	bedrag
	gld/m ²	198.10 ⁶ m ²	mln
cultuur technisch herstel	0.47		93
gewassen en producten	0.53		105
levende have	0.30		59
inventaris	0.20		40
bedrijfsmiddelen	0.06		12
			---- +
			309
schade aan bebouwde terreinen		opp	bedrag
	gld/m ²	10.10 ⁶ m ²	10 ³ .mln
woningen	180		1.8
inboedels	60		0.6
vervoermiddelen	16		0.2
handel + dienstverlening	28		0.3
evacuatie	25		0.3
			---- +
			3.2
TOTALE SCHADE 3.5.10 ³ mln			

II.2.5

KOSTEN VERHOGEN DIJKEN

Een tweetal jaren geleden (1985) was de situatie als volgt. Van de totale dijk lengte van 43 km, kon 22 km hoogwater keren met een overschrijdingskans van 1/100 in een jaar, 6 km kon hoogwater keren met een overschrijdingskans van 1/750 in een jaar. Op voldoende hoogte gebracht was 3 km en van 2 km was het bestek voor verbeteringswerkzaamheden goedgekeurd. Het zal duidelijk zijn dat de toestand niet bijzonder rooskleurig is. Om een goede schatting te kunnen geven van de kosten die gemoeid zijn met verhoging van de dijken is het noodzakelijk om elk dijkvlak nauwkeurig te analyseren. Dit valt buiten het bestek van deze studie. Om toch een indruk te krijgen van de kosten die gemoeid zijn met dijkverzwaring zal gebruik worden gemaakt van geschatte kosten van besteksklare dijkvlakken langs de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. Het blijkt dat de kosten van 1 km dijkverbetering per meter dijkverhoging rond de twee miljoen schommelen. Gebruikmakend van deze cijfers kunnen de kosten voor de dijkverbetering rond het land van Heusden en Altena geschat worden op ca. 56 mln.

II.2.6

OPTIMALE FAALKANS

Nu bekend is wat de te verwachten schade is en wat de kosten van dijkverhoging zijn, is het mogelijk een optimale faalkans te bepalen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de formule zie paragraaf (II.2):

$$P_{fopt} = \frac{I \beta (r-g)}{S}$$

De volgende gegevens worden nu gebruikt:

- I = 56 mln per meter dijkverhoging
- r = 10% = geschatte waarde reelee rentevoet
- g = 2% = waarde geschatte groeivoet economie
- β = 0.3448 constante overschrijdingskansen waterstanden (afleiding β in bijlage I)
- S = $3.5 \cdot 10^9$ gld totale schade

Invulling en berekening geeft: $P_{fopt} = 4.4 \cdot 10^{-4}$ per jaar

Als zwak punt van de berekening kan worden aangevoerd dat het bedrag voor de schade aan de lage kant ligt omdat er geen rekening wordt gehouden met bijvoorbeeld schade aan industrie, monumentale gebouwen etc. De totale schade zou hierdoor mogelijk hoger kunnen zijn dan het geschatte bedrag. Het effect van een grotere schade op de faalkans

blijkt echter mee te vallen. Dit kan gedemonstreerd worden door de faalkans nogmaals te berekenen met voor S de waarde $5 \cdot 10^9$ gld. De faalkans wordt nu $3.1 \cdot 10^{-4}$ per jaar.

II.3 FAALKANS BEPAALD UIT MAATSCHAPPELIJK AANVAARDBAAR RISICO

De aan deze benadering ten grondslag liggende gedachte is dat:

In grote lijnen het veiligheidsvraagstuk een sociaal-ecomomisch optimalisatie probleem is, waarbij sociale kosten worden afgewogen tegen sociale baten. Deze afweging vindt zowel op het persoonlijke als op maatschappelijke vlak dagelijks plaats.

Deze afweging is door zijn complexheid echter niet toegankelijk voor analyse zonder vereenvoudiging van het probleem. De vereenvoudiging bestaat hieruit dat verondersteld wordt dat: het resultaat van het genoemde maatschappelijke afwegingsproces zichtbaar is in de ongevallen statistieken.

In deze benadering kunnen twee standpunten gekozen worden. De eerste is die van het individu dat de risico's afweegt ten opzichte van de gemiddelde kans om te overlijden door een ziekte (10^3). Indien de kans op overlijden een orde kleiner is, geldt de activiteit als aanvaardbaar. In formulevorm:

$$P_{\text{fopt}} = \frac{\beta \cdot 10^{-4}}{P_{\text{dit}}}$$

waarin: β = beleidsfactor die de mate van vrijwilligheid symboliseert. $0.1 < \beta < 10$
 P_{dit} = de kans om te overlijden gegeven falen

Vanuit maatschappelijk oogpunt is dit echter geen goede benadering omdat er gezien de ongevallen statistieken wel enkele doden mogen vallen tengevolge van een nationale activiteit mits het aantal doden beperkt blijft. Dit heeft geleid tot een gedachte model waarbij de toename van het aantal doden met een zekere betrouwbaarheid beperkt moet blijven zie (lit 4). Uitwerking van deze gedachte geeft de

volgende formule voor het maatschappelijk aanvaardbaar risico:

$$P_{fopt} < \frac{\beta^2 \cdot 100^2}{k^2 \cdot (P_{d1f} \cdot N_p)^2}$$

waarin: k = betrouwbaarheidsindex voor k kan de waarde 3 genomen worden
 N_p = aantal deelnemers aan een activiteit

Om de optimale faalkans te bepalen is het noodzakelijk om de kans op overlijden gegeven falen te kennen. Door te kijken naar het aantal slachtoffers dat het gevolg is van een overstroming kan de kans op overlijden gegeven overstromen bepaald worden. In de volgende paragraaf zal bekeken worden hoe het aantal slachtoffers bepaald kan worden.

II.3.1 HET AANTAL SLACHTOFFERS BIJ EEN OVERSTROMING

Het schatten van het aantal slachtoffers in geval van een overstroming is geen eenvoudige zaak. De complexiteit van dit probleem wordt onder andere veroorzaakt doordat er een groot aantal (ca. 12) factoren een rol spelen. Een overzicht van deze factoren is te vinden in de literatuur (lit 4). Het gebruik van gegevens van elders of vroeger is niet zondermeer toegestaan.

In een onderzoek ingesteld door de Technische Advies Commissie Waterkeringen (lit 4) is in eerste instantie gekeken naar gegevens van de Stormvloed van 1953. Deze Commissie trekt de uiterst voorzichtige conclusie dat zij de indruk krijgt dat de volgende factoren een belangrijke rol spelen bij het uiteindelijk aantal slachtoffers:

- De inundatiediepte
- De positie van de stroomgaten.
- De inundatie snelheid.
- De bereikbaarheid van relatief veilige plaatsen.
- De snelheid waarmee hulp wordt geboden.

Bij een inundatiediepte van meer dan 2,5 m neemt de bij de situatie van 1953 de kans op verdrinking sterk toe. Uit een bij dit onderzoek gepubliceerde grafiek blijkt dat de fractie verdrinkenen bij een inundatiediepte van ca. 4 m op 20% kan liggen. De omstandigheden bij het Land van Heusden en Altena zijn echter veel gunstiger. Zo is in de directe omgeving van de dorpskernen vrijwel overal relatief hoog gelegen grond in de omgeving en zal het door betere

hulpmiddelen en communicatie mogelijk zijn om effectiever hulp te bieden.

Volgens de Delta Commissie moet het totaal aantal doden bij een overstroming van centraal Holland geschat worden op ca. 10.000. Uitgaande van een totale bevolking van centraal Holland van ca $4 \cdot 10^6$ zou dit betekenen dat de kans op overlijden gegeven falen gelijk is aan :

$$\frac{\text{aantal slachtoffers}}{\text{totale bevolking}} = \frac{10.000}{10^6} = 0,0025$$

Bij gebrek aan een betere waarde voor de kans op overlijden gegeven falen zal de hier boven berekende woorden aangehouden.

II.3.2 OPTIMALE FAALKANS

Nu de kans op overlijden gegeven falen bekend is kunnen de faalkansen die voortkomen uit het persoonlijk aanvaardbaar risico en het maatschappelijk aanvaardbaar risico bepaald worden. Invulling van de beide formule's geeft:

$$P_{fopt} < \frac{\beta \cdot 10^{-4}}{P_{d1f}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-4}}{0,0025} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{fopt} < \frac{\beta^2 \cdot 100^2}{k^2 \cdot (P_{d1f} \cdot N_p)^2} = \frac{0,1^2 \cdot 100^2}{3^2 \cdot (0,0025 \cdot 54104)^2} = 6 \cdot 10^{-4}$$

waarin: β = ,1 : onvrijwillige activiteit
 P_{d1f} = 0,0025 : zie paragraaf II.3.2
 N_p = aantal inwoners Land van Heusden en Altena (54104 zie paragraaf II.2.3)

II.4 VERGELIJKING VAN DE FAALKANSEN

Bij de beoordeling van een polder kunnen zoals hierboven gedemonstreerd is drie benaderingen worden uitgewerkt. Volgens de visie van de werkgroep TAW 10 dienen telkens de drie benaderingswijzen naast elkaar te worden gesteld. De strengste van de drie normen zal dan maatgevend zijn. Om deze afweging te maken zijn de resultaten van de drie benaderingswijzen in onderstaande tabel samengevat.

		faalkans
economisch optimaal risico	minimale kosten	$4.4 \cdot 10^{-4}$
persoonlijk aanvaardbaar risico	$P_{fopt} < \frac{\beta \cdot 100}{P_{dif}}$	$4 \cdot 10^{-3}$
maatschappelijk aanvaardbaar risico	$P_{fopt} < \frac{\beta^2 \cdot 100^2}{k^2 \cdot (P_{dif} \cdot N_p)^2}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Wanneer de strengste van de drie normen gehanteerd wordt dan is in dit geval de berekening van het economisch optimaal risico maatgevend. Doordat er een groot aantal aannamen gemaakt zijn bij de verschillende berekeningen mag er niet teveel waarde aan de absolute grootte van de faalkansen worden gehecht. Het blijkt echter dat de kansen qua orde grootte overeenstemmen met de kans die vastgesteld is door de Minister van Verkeer en Waterstaat.

II.5

CONCLUSIE

Het blijkt dat het verhogen van dijken eerder als een noodzaak wordt gezien indien de waarde van het achterliggende land toeneemt. De aandacht gaat hier in het bijzonder uit naar de waterkering van het land van Heusden en Altena. Dit gebied bevindt zich in het zogenaamde overgangsgebied. In de nota voortgang rivierdijkverzwaring is door de Minister voor de dijkkring rond het land van Heusden en Altena een faalkans vastgesteld van gemiddeld 1/3000 in een jaar. Overwegingen om deze kans van falen te accepteren waren o.a. kosten van aanleg van dijken en de waarde van het gebied en het aantal slachtoffers dat te betreuren valt bij een eventuele overstroming. Gebruikmakend van een mathematisch economisch model en een model vanuit maatschappelijk aanvaardbaar risico is het mogelijk om op relatief eenvoudige wijze met deze modellen optimale faalkansen te bepalen. Hoewel de modellen eenvoudig zijn en er tal van bezwaren tegen de gevolgde berekeningswijzen kunnen worden ingebracht blijkt dat de resultaten dezelfde orde grootte hebben als de faalkans die door de Minister is vastgesteld. Het is dan ook zeer aannemelijk om als norm voor de dijkkring een faalkans van gemiddeld 1/3000 in een jaar te accepteren. In het vervolg zal deze faalkans dan ook als voorwaarde voor de veiligheid gehanteerd worden. Het

blijkt tevens dat de waterkering rond het Land van Heusden en Altena over grote lengte niet voldoet aan deze eis. Wil de waterkering aan de vastgestelde norm voldoen, dan zal het noodzakelijk zijn de dijken langs het Hoogheemraadschap op tal van plaatsen te versterken en te verhogen.

HOOFDSTUK III

III.1

DE WATERKERING VAN WOUDRICHEM

In het land van Heusden en Altena waar de Boven Merwede en de Afgedamde Maas samenkomen ligt de oude vesting van de gemeente Woudrichem. Op deze vroeger strategisch belangrijke plaats is een vesting gebouwd die zijn bewoners moest beschermen tegen eventuele vijanden. Van alle mogelijke vijanden is alleen het water nog overgebleven. Heden ten dage maakt een gedeelte van de oude vestingswerken deel uit van de dijkring om het land van Heusden en Altena heen.

Dat de vestingswerken deel uitmaken van de dijkring rond het Land van Heusden en Altena betekent dat de belangrijkste functie van de vestingswerken nu die van waterkering is. De aard van dit gedeelte van de waterkering verschilt met de andere elementen van de dijkring zowel in constructief opzicht als in uiterlijk. Naast de waarde die vestingswerken als waterkering hebben, heeft de waterkering ook een niet onbelangrijke cultuurhistorische waarde. Om een indruk te krijgen van de totale waarde van de vestingswerken zal hier eerst naar de historische ontwikkeling van de vesting gekeken worden om zodoende een indruk te krijgen van de cultuurhistorische waarde die de vesting vertegenwoordigt. Na de schets van de historische ontwikkeling zal gekeken worden naar de staat waarin de waterkering zich momenteel bevindt, waarna gekeken zal worden naar de waarde die de waterkering heeft vanuit oogpunt van veiligheid.

III.2

HISTORISCH OVERZICHT

Woudrichem dat onder de naam van Waldrichem omstreeks het jaar 1000 wordt vermeld, was waarschijnlijk reeds ver voor 1400 een versterkte stad.

De kaart die Jacob van Deventer dateerde van omstreeks 1558 geeft een goede indruk van de ommuring en de bewalling. De waterpoort of gevangenpoort aan de noordzijde van de stad vormt thans nog het enige overblijfsel van deze oude versterking. Deze poort bevindt zich achter de huidige waterkering en maakt zodoende ook geen deel hiervan uit.

Gedurende de Tachtigjarige Oorlog was de stad afwisselend in handen van de Spanjaarden en van de Hollanders. Om te voorkomen dat de Spanjaarden een sterk steunpunt in handen zouden krijgen zijn in 1573 door de Hollanders grote delen van de stad, waaronder het kerkgebouw, verwoest.

Kort voor zijn dood in 1584 heeft Willem van Oranje aanwijzingen gegeven ter versterking van de stad aan de burgemeester mr Adriaan Antonisz, een vermaard vesting bouwkundige. De nieuwe versterking omvatte een bemuurde wal langs de rivier en de haven aan de noordzijde van de stad en een aarden wal aan de overige zijden. Dat in deze tijd een aarden wal werd gebruikt als verdedigingswerk was een gevolg van de grotere rol dat het buskruit ging spelen in de oorlogsvoering. Een aarden wal is minder gevoelig voor beschietingen dan een stenen muur zodat in deze tijd een aarden wal als verdedigingswerk beter voldeed. Wel diende de aarden wal zo steil mogelijk te zijn om bestormen zo moeilijk mogelijk te maken. Het was de gewoonte om de wallen te beplanten met bomen en struiken die in oorlogstijd werden gerooid of platgebrand zodat ze de vijand geen beschutting konden bieden.

Aan de noordzijde werden drie bemuurde bastions aangelegd, twee nabij de noordelijke hoekpunt van de stad en een in het midden, waarin de Waterpoort is opgenomen.

De vesting was geheel omringd door een vestingsgracht. De Maas stroomde slechts langs een gedeelte van de noordelijke vestingsmuur. Het van de rivierwaterstand afhankelijke buitenwater van de gracht en het binnenwater dat op polderpeil was, werd gescheiden door een beer aan de westzijde van de stad.

Een latere, meer betrouwbare, plattegrond van de vestingstad uit 1698 geeft als belangrijke informatie de aanwezigheid van nog een stenen beer aan de zuidzijde van de stad die tesamen met de beer aan de westzijde de scheiding vormde tussen het buiten en het binnenwater. De vorm van de vesting volgens de plattegrond van 1698 is vrijwel ongerept tot in deze eeuw bewaard gebleven. Uitzondering hierop is de westelijke ravelijn die nooit klaar is gekomen. De zuidoostelijke stenen beer is blijkens tekeningen in 1780 versterkt. Klaarblijkelijk waren in het daaraan voorafgaande jaar verzakkingen geconstateerd. Uit tekeningen blijkt dat alleen de kern van de oude beer is gehandhaafd, aan weerszijden zijn nieuwe palen geheid en het geheel is belangrijk verzaamd en verhoogd. Ook langs de keermuren tegen de Heusdense dijk zijn volgens deze tekeningen nieuwe palen aangebracht en vervolgens zijn ook de muren verbreed en verhoogd. De buitenhuid van de beer aan de zuidoostzijde is nadien nog meerdere malen hersteld zoals ter plaatse blijkt.

In het midden van de vorige eeuw is blijkens een herdenkingssteen de westelijke beer vernieuwd. Vermoedelijk

bezit deze een fundering overeenkomstig die van de andere beer.

In het jaar 1955 is Woudrichem als vesting opgeheven en zijn de tot dan door het Departement van Defensie beheerde gebouwen en stellingen verlaten.

III.3 HUIDIGE SITUATIE

Zoals blijkt uit het historische overzicht heeft het uiterlijk van de vestingswerken weinig verandering ondergaan sinds 1698. De vestingswerken vormen, in het bijzonder in visueel opzicht, een belangrijk historisch monument. De wens om de stad zoveel mogelijk in zijn huidige vorm te behouden is dan ook begrijpelijk.

Het stadsgezicht van Woudrichem is heden ten dage beschermd. Binnen de vesting zijn een aantal gebouwen met bijzondere cultuurhistorische waarden te vinden zoals: de oude waterpoort (einde 16^e eeuw), het oude raadhuis, een eenvoudige laat gotische kruiskerk en nog een 8 tal andere gebouwen. Helaas moet bij rondgang door de stad worden geconstateerd dat een aantal van deze gebouwen in slechte staat verkeren. Ook de vestingswerken vertonen op tal van plaatsen gebreken. Zo zijn er in de muren op een aantal plaatsen doorgaande scheuren geconstateerd en is de onderhoudstoestand slecht.

Een probleem bij inventarisatie van de huidige toestand van de waterkering is dat er vrijwel geen kaartmateriaal beschikbaar is. Vroeger werden bouwtekeningen vernietigd na gereedkomen van een vesting om te voorkomen dat deze in verkeerde handen zouden vallen. Om toch een beeld te krijgen van de huidige staat en de waarde van de waterkering zal hier eerst een beschrijving van de waterkering worden gegeven, gevolgd door eventuele ontwerpbeperkingen die in ogenschouw genomen moeten worden bij verbeteringswerkzaamheden. Belangrijk hierbij is de functie die de waterkering krijgt in een toekomstige situatie. Vervolgens zal gekeken worden naar de technische staat waarin de waterkering momenteel verkeert.

III.3.1 BESCHRIJVING VAN DE WATERKERING

De waterkering bestaat uit een groot aantal verschillende profielen en heeft een totale lengte van slechts ca. 1340 meter. Het maaiveld aan de binnenzijde van de kering ligt relatief hoog in vergelijking met de rest van de polder.

Vlak achter de waterkering aan de rivierzijde ligt het maaiveld relatief hoog op ca. N.A.P. + 5 m dit loopt af naar ca. N.A.P. + 2 m aan de zuidzijde van het stadje. In totaal kunnen 25 verschillende profielen onderscheiden worden. Op grond van hun uiterlijk is het mogelijk en handig om een onderverdeling te maken in de volgende vijf groepen:

- stenen beren
- coupure's
- stenen muren
- aarden wallen
- combinatie van aarden wal en muur

Hoe de verschillende profielen verdeeld zijn langs de waterkering is weergegeven op overzichtstekening I (bijgevoegd). De verdedigingswerken beschrijven globaal een cirkel om de stad heen. Ongeveer driekwart van de verdedigingswerken vormt de waterkering.

Wordt er een rondgang gemaakt te beginnen aan de westzijde van de stad in oostelijke richting dan passeert men de volgende elementen:

Het eerste element is een stenen beer die een overgang vormt tussen de vestingswerken en de rest van de dijkkring rond het Hoogheemraadschap. Aan de achterzijde van de beer bevindt zich een binnenwater dat in de polder ligt. De waterspiegel van dit water ligt op ca. N.A.P. + 2 m. Het polderpeil ligt ca. op N.A.P. Via een overlaat kan het overtollige water uit het binnenwater verder de polder in stromen.

De stenen beer wordt gevolgd door een aarden wal. Deze wal bestaat uit enigzins verschillende profielen. Kenmerkend voor de wallen is het steile buitentalud, op sommige plaatsen 1:1, en de aanwezigheid van bomen aan de voet en kruin van de wallen. De bomen hebben een forse afmeting. Om een indruk te geven: de diameter van de stam is ca. 0.50 meter. Na de aarden wal waarvan de totale lengte ca. 210 meter is, gaat de waterkering over in een combinatie van stenen muren en aarden wallen. De kering bestaat hier uit een gemetselde stenen muur met een hoogte van ca. 1 a 2 meter waar bovenop een aarden wal is aangebracht. Ook hier is het talud van de wal steil. De lengte van dit deel van de waterkering kan geschat worden op 300 meter.

Na dit gedeelte bevindt zich in de waterkering een bastion dat bestaat uit gemetselde stenen muren. In dit bastion bevindt zich de eerste coupure (de Loevestijnsepoort).

Na het bastion bestaat de waterkering uit een ca. 350 meter lange stenen muur die ca. 6 meter boven het maaiveld aan de buitenzijde uitsteekt. De muur bestaat uit een aantal profielen die onderling enigzins verschillen.

De stenen muur gaat over in een combinatie van aarden wal en stenen muur. De muur is hier hoger dan bij het eerste deel van deze combinatie. De hoogte van de muur bedraagt hier ca. 4 meter. Het talud van de wal is wederom steil.

Hierna volgt weer een vrij lang gedeelte van ca. 480 meter dat bestaat uit een aarden wal. Ongeveer halverwege in deze aarden wal bevindt zich de tweede coupure. Op verschillende plaatsen bevinden zich op en aan de voet van de wal ook hier bomen.

Het laatste element van de waterkering wordt gevormd door een stenen beer ditmaal met een lengte van 57 meter. Ook deze beer vormt weer een overgang tussen de verdedigingswerken en de rest van de waterkering van het land van Heusden en Altena.

III.3.2 ONTWERPBEPERKINGEN

Het hebben van een beschermd stadsgezicht betekent dat het niet mogelijk is om zondermeer veranderingen aan te brengen in het aanzicht van de waterkering. Bij voorstellen voor eventuele verandering dient steeds afgewogen te worden of het uiterlijk van de kering niet te veel verandert.

De vesting heeft een aantal gebouwen die onder monumentenzorg vallen. De waterkering zelf valt hier niet onder. De bebouwing steekt aan de rivierzijde boven de waterkering uit. De bebouwing met de waterkering vormen samen een karakteristiek beeld van een Hollands plaatsje aan de rivier. Varend op de rivier krijgt men de beste indruk van het aanzicht van het stadje dat schilderachtig aandoet.

De gebouwen direct aan de waterkering hebben geen bijzondere historische waarde. De waarde moet dan ook meer gezocht worden in het geheel van de vesting met zijn waterkering en begroeiing dan in afzonderlijke elementen. Het vermoeden bestaat dat de waterkering in zijn huidige vorm niet voldoet aan de ontwerpnormen.

Om een indruk te krijgen van eventuele ontwerpbeperkingen zal aansluiting gezocht worden bij het bestemmingsplan. Volgens dit plan dient de waterkering naast een waterkerende functie een recreatieve functie te behouden in de toekomst.

De waterkering dient hiertoe deel uit te blijven maken van de groengordel die de stad omsluit. Met deze eis dat het uiterlijk weinig mag veranderen en de kering een recreatieve functie moet behouden is de opdracht een uitgekiend ontwerp te maken waarin deze belangen verenigd zijn.

Veel strikter zijn de beperkingen die het gevolg zijn van de aanwezigheid van de coupures. De Koepoort vormt momenteel de enige uitvalsweg van de vesting. Wil de waterkering zijn uiterlijk behouden dan is het vrijwel onontkoombaar dat de coupure gehandhaafd wordt. Het lijkt niet mogelijk om een andere uitvalsweg aan te leggen zonder grote concessies te doen aan het uiterlijk. Ook de hoogte van de drempel van de coupure ligt min of meer vast doordat direct achter de coupure woningen zijn gebouwd.

De situatie bij de Loevestijnse poort verschilt enigzins met die van de Koepoort. De Loevestijnse poort vormt de verbinding tussen de uiterwaard en de vesting. Op de uiterwaard ligt een zomercamping die alleen bereikt kan worden via de coupure. Een onderzoek is gaande naar de mogelijkheid om elders een weg over de dijk te leiden zodat het campingverkeer niet meer gebruik hoeft te maken van de coupure.

Voor de coupure is de afmeerplaats van de veerdiensten die de verbinding voor voetgangers vormen tussen Gorinchem en Woudrichem en het slot Loevestijn en Woudrichem. Indien de coupure verdwijnt in een toekomstige situatie zal voor de veerdienst een andere afmeerplaats gezocht moeten worden. Blijft de coupure open dan ligt ook hier de drempelhoogte vrijwel vast doordat de woningen hier tegen de muren die de coupure vormen zijn aangebouwd.

III.3.3

TECHNISCHE STAAT VAN DE WATERKERING

Door de Heidemij is een onderzoek ingesteld om een betere indruk te krijgen van de toestand waarin de waterkering verkeert (lit 8). Dit onderzoek bestaat uit de onderdelen: bouwkundige inventarisatie, kwaliteitsbeoordeling metselwerk en een funderingsonderzoek. De resultaten van dit onderzoek zullen hier kort worden samengevat.

bouwkundige inventarisatie

Door de Rijkswaterstaat Directie Beneden Rivieren is een onderzoek ingesteld naar de onderhoudstoestand van de muren en de wallen van Woudrichem lit(9). In dit rapport wordt een opsomming gemaakt van het achterstallig onderhoud van de

vestingmuren en de beren. Bij een visuele inspectie ter plaatse blijkt dat er tot op heden weinig of niets is gedaan aan dit achterstallig onderhoud. Een en ander kan als volgt worden samengevat:

muur constructies

Het metselwerk van de keermuren aan de rivierzijde vertoont vooral gebreken boven het maaiveld. Hier missen op diverse plaatsen rijen stenen uit de muur. Op een aantal plaatsen zijn verticale scheuren waar te nemen in de muur van diverse lengte. Ondanks de slechte toestand van de muren is er nog nimmer waterdoorslag geconstateerd.

coupures

Het metselwerk bij de coupures: de Loevestijnse poort en de Koepoort is in slechte staat. Het blijkt dat er bij hoogwater door de muur waterdoorslag plaatsvindt. Deze doorslag vindt plaats ter hoogte van het straat niveau. Volgens een van de bewoners borrelt er tijdens een hoogwaterperiode water op uit de bestrating. Dit water stroomt weg naar een rioolkolk.

kwaliteitsbeoordeling metselwerk

Ten einde een indruk te hebben van de eigenschappen van het metselwerk is in een viertal profielen boorkernen geboord. In totaal zijn 12 monsters in het laboratorium onderzocht. Gezien de slechte staat waarin het metselwerk verkeert is het verbazingwekkend te moeten constateren dat het metselwerk voldoet aan de eisen van trek en druksterkte.

funderingsonderzoek

Er is geen historisch materiaal bekend waarin informatie te vinden is over afmeting, inheinniveau's en paalbelastingen. Om informatie te verkrijgen omtrent de wijze van funderen en afmetingen van de muren zijn op een zevental lokaties profielkuilen gegraven. Deze profielkuilen zijn aan de buitenzijde van de muren gegraven tot op funderingsniveau. De plaatsen waar deze profielkuilen zijn gegraven zijn aangegeven op tekening I. De informatie afkomstig uit deze ontgravingen kan als volgt worden samengevat.

profielkuil I ter plaatse van profiel nr 5

De fundering van de muur bestaat hier uit een roosterwerk van langs- en dwarsbalken. Op grond van de grondslag (dik klei pakket) zou een fundering op palen meer voor de hand liggen, maar deze kon niet worden gevonden.

profielkuil II ter plaatse van profiel nr 6

De fundering bestaat uit een houten roosterwerk van langs en dwarsbalken. Het merendeel van deze balken blijkt verrot te zijn.

profielkuil III ter plaatse van profiel nr 7

De fundering is identiek aan de situatie bij profielkuil I en II. Ook hier bleken de balken voor het merendeel verrot te zijn. Langs de noordzijde van de muur is een gemetselde voetconstructie aangetroffen ter dikte van 0,30 m. De gemetselde voetconstructie is waarschijnlijk een hulpconstructie en is verder van geen belang voor de fundering van de muren. Aan de voorzijde is een damwand aangebracht. De lengte van de damwand is onbekend.

profielkuil IV ter plaatse van profiel nr 8

De ontgravingen geven aan dat de muur gefundeerd is op een vlijlaag van klinkers. De klinkers liggen veelal in los verband tegen elkaar.

profielkuil V ter plaatse van profiel nr 9

Analoog profielkuil IV

profielkuil VI ter plaatse van profiel nr 9

Hier werd een houten paalfundering aangetroffen. Ook hier vertoont het hout verrottingsverschijnselen. Het is onduidelijk welke waarde aan deze fundering moet worden gehecht. Mogelijk betreft het hier een oude fundering, die gehandhaafd is zonder dat daar constructieve argumenten voor waren.

profielkuil VII ter plaatse van profiel nr 10

Ook hier wordt een houten roosterwerk aangetroffen dat wederom in slechte staat verkeert.

Het lag in de bedoeling om op nog meer plaatsen langs de muren ontgravingen uit te voeren. Gezien de moeilijke toegankelijkheid en de uniformiteit in de ontgravingsresultaten is afgezien van verdere ontgravingen.

Samenvattend kan gezegd worden dat de muren op staal gefundeerd zijn middels een houten roosterwerk. De staat waarin het roosterwerk verkeert kan slecht worden genoemd.

III.4

VEILIGHEID t.a.v GESTELDE NORMEN

Naar het zich laat aanzien voldoet de waterkering niet aan de gestelde norm ten aanzien van de veiligheid. In oktober 1977 is er reeds een onderzoek gedaan naar de stabiliteit

van de wallen (lit 10). Dit onderzoek maakte deel uit van een onderzoek naar de voorgenomen restauratie van de wallen en de grachten van de vesting. Het betreft hier een globale toetsing aan de stabiliteitsnormen voor waterkeringen.

In een tweede rapport (november 1984), opgesteld door de Heidemij, is een uitgebreider onderzoek gedaan naar de waarde van de waterkering als totaal (lit 8). Het onderzoek heeft zich toegespitst op de buitenkant van de waterkering. Door de hoge ligging van het maaiveld aan de binnenzijde is de binnenzijde niet maatgevend. De conclusie's afkomstig uit deze twee rapporten kunnen als volgt worden samengevat:

Het blijkt dat de waterkering op een aantal plaatsen te laag is. Bij Maatgevend Hoog Water in combinatie met windgolven zal er water over de kering heen stromen.

Uit berekeningen blijkt dat de gemetselde stenen muren onder maatgevende omstandigheden niet stabiel zijn. De berekeningen zijn uitgevoerd onder de veronderstelling dat het water voor de muren na een Maatgevend Hoogwater snel zal vallen en de freatische lijn op het niveau van Maatgevend Hoogwater blijft. De terugval bedraagt in deze situatie ca. 4 meter. Dit betreft een veilige aanname die zo gemaakt is omdat er op het moment van onderzoek onzekerheid bestond over de exacte ligging van de freatische lijn en de vorm van de Maatgevende Afvoergolf.

Bij de stenen beren doet zich de mogelijkheid voor van horizontaal verplaatsen veroorzaakt door het grote verschil tussen binnen en buitenwaterstand van ca. 6.70 meter bij Maatgevend Hoogwater.

Een ander probleem dat geconstateerd is bij de stenen beren is het optreden van onderloopsheid. Te verwachten is dat bij het optreden van Maatgevend Hoogwater het binnendijkse kleidek zal worden opgedrukt. Het verhang in de zandgrond zal dan niet voldoen aan de te stellen ontwerpnormen.

Een ander probleem wordt gevormd door de wallen. Uit berekeningen blijkt dat deze onder maatgevende omstandigheden niet stabiel zijn. De bomen die op veel plaatsen aanwezig zijn op of vlak voor de wallen vormen ook een probleem. Volgens de literatuur (lit 11) moet begroeiing van struiken en bomen op een waterkering vermeden worden.

Een aantal elementen komen in bovenstaande rapporten niet of nauwelijks aan de orde. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de coupures. In het algemeen worden coupures als zwakke elementen in een waterkering gezien die vermeden

moeten worden. Indien er toch coupures moeten worden toegepast in een waterkering dan zullen deze bijzondere aandacht verdienen.

Ondanks het feit dat er aanwijzingen bestaan dat de waterkering op tal van plaatsen niet voldoet aan de te stellen eisen is het opvallend dat er nog nimmer problemen zijn geconstateerd gedurende hoogwaterperioden door het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (lit 12,13).

Geconcludeerd moet worden dat er in de waterkering een aantal elementen aanwezig zijn die niet voldoen aan de te stellen ontwerpnormen. Met deze wetenschap is het verbazingwekkend te moeten constateren dat er tijdens de verschillende periode van hoogwater nog nooit moeilijkheden zijn opgetreden.

III.5

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Uit het voorgaande blijkt dat er een noodzaak bestaat om op een groot aantal plaatsen de rivierdijken te verhogen en te verzwaren. Wanneer besloten wordt om een dijkvak te verzwaren dient niet alleen het dijkvlak in beschouwing genomen te worden maar de gehele dijkkring. In dit rapport gaat de aandacht uit naar de vestingswerken van Woudrichem die dienst doen als waterkering en deel uitmaken van de dijkkring rond het Land van Heusden en Altena. Deze dijkkring is gesitueerd in het overgangsgebied. Dit wil zeggen dat zowel rivierafvoeren als stormvloedstanden op zee van invloed zijn op de waterstanden.

Enkele jaren geleden is door de Minister van Verkeer en Waterstaat voor dit gebied een ontwerpnorm voor de overschrijdingsfrequentie voor hoogwater vastgesteld van gemiddeld eens per 3000 jaar. Uit berekeningen blijkt dat deze kans dicht in de buurt ligt van de optimale faalkans zoals deze volgt uit een mathematisch economische beschouwing.

Het te beschouwen dijkvak bij Woudrichem is niet het enige gedeelte van de dijkkring dat niet voldoet aan de ontwerp-eisen. Wel heeft dit gedeelte een bijzonder karakter ten opzichte van de andere dijkvakken. De kering en de oude vestingsstad zijn onderling sterk verbonden en hebben samen een bijzondere cultuur historische waarde. Om het stadsgezicht te behouden is dit beschermd. Op basis van twee gedane studies moet echter geconstateerd worden dat de waterkering een aantal bijzonder zwakke elementen heeft. Wil de waterkering gaan voldoen aan de eisen die vanuit het

oogpunt van veiligheid worden gesteld, dan zullen deze zwakke elementen verbeterd moeten worden. Verbeteren zal betekenen dat het uiterlijk van de kering mogelijk enigzins verandert. Een uitgekiend ontwerpvoorstel moet er voor zorgen dat de waterkering zijn karakteristieke uiterlijk zo goed mogelijk behoudt. Indien blijkt dat dit niet mogelijk of bijzonder kostbaar is, dan zal de waterkering niet langer deel uit kunnen maken van de dijkring. De norm van eens per 3000 jaar zal niet in de discussie worden betrokken, zodat de dijkring langs een andere weg gesloten moet worden.

III.6

AANBEVELING HOOFDONTWERP

Het uiteindelijke doel van het hoofdontwerp zal zijn om een verbeteringsvoorstel te maken zodanig dat de vestingswerken bij Woudrichem die dienst doen als waterkering voldoen aan de eisen die vanuit het oogpunt van veiligheid gesteld worden. Om een goed beeld te krijgen hoe en op welke plaatsen de waterkering verbeterd moet worden; zal gebruik worden gemaakt van de volgende werkwijze:

De waterkering zal opgedeeld worden in de volgende elementen:

- stenen beren
- stenen muren
- aarden wallen
- combinatie aarden wal en stenen muur
- coupure's

Van iedere groep zal worden nagegaan wat de relevante bezwijkmechanismen zijn.

Met een foutenboom zal onderzocht worden welke parameters van belang zijn bij de verschillende bezwijkmechanismen. Indien nu van ieder mechanisme de faalkans bepaald wordt, ontstaat inzicht in hoe de totale faalkans is opgebouwd en hoe deze kans het beste verkleind kan worden.

Helaas is het niet mogelijk om voor elk faalmechanisme de faalkans te berekenen zodat bij een aantal mechanismen volstaan moet worden met een schatting. Het totaal van foutenboom met faalkansen moet de basis vormen voor een verbeteringsvoorstel. In dit voorstel moet naar voren komen of het mogelijk is, en zo ja hoe, om de kering aan de eisen van veiligheid zoals die voor de dijkring vastgesteld zijn te laten voldoen. Het zal niet mogelijk zijn om voor de gehele kering het verbeteringsvoorstel gedetailleerd uit te werken.

Een element zal wel verder worden uitgewerkt. Gekozen is voor een van beide coupures.

Het is mogelijk dat er ingrijpende maatregelen noodzakelijk zijn om de waterkering te laten voldoen aan de ontwerpisen met niet aanvaardbare consequentie's voor het uiterlijk van de kering. Er zal hierom ook gekeken worden naar de mogelijkheid de dijkrijng langs een alternatieve weg te sluiten. Dit betekent dat de vestingswerken van Woudrichem niet langer deel uitmaken van de dijkring rondom het Land van Heusden en Altena maar een aparte dijkring rondom het stadje vormen. Het is dan mogelijk dat voor het stadje Woudrichem een minder strenge ontwerpnorm voor de overschrijdingsfrequentie van hoogwater wordt gehanteerd dan voor de dijkring rond het Land van Heusden en Altena van toepassing is. De gevolgen van overstromen zullen nu immers beperkt blijven tot Woudrichem zodat met een minder strenge norm kan worden volstaan. Onderzocht zal dan moeten worden wat deze ontwerpnorm moet zijn en hoe het alternatieve trace voor de dijkring moet lopen.

LITERATUUR

- 1 Tweede Kamer der Staten Generaal, Voortgang versterking Rivierdijken, brief van Minister van Verkeer en Waterstaat, mei 1984.
- 2 Commissie Rivierdijken, Rapport Commissie Rivierdijken, maart 1977.
- 3 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 bovenriviereengebied, 's Gravehage, september 1985.
- 4 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, interimrapport TAW 10 probabilistisch Ontwerpen van Waterkeringen, oktober 1985
- 5 J.A Duiser, Een verkennend onderzoek naar methoden ter bepaling van de inundatieschade bij dijkdoorbraak; rapport 82-0644 van industriële Veiligheid van MT-TNO.
- 6 E.C Penning-Rowse, J.B Chatterton, The benefits of flood alleviation; saxon House, Teakfield Ltd, Westmaed 1977.
- 7 Centraal Bureau voor de statistiek, Statistische en Economische Onderzoekingen, Nieuwe Reeks 8 nr.2, 2^e kwartaal 1985
- 8 Heidemij Adviesbureau, stabiliteitsonderzoek wallen vesting Woudrichem concept rapport, november 1984
- 9 Rijksgebouwendienst en de Directie Benendenrivieren te Dordrecht, rapport inzake de onderhoudstoestand van de muren van de voormalige vesting Woudrichem, 6 december 1980.
- 10 Technische Dienst van het Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch, de grachten en wallen van Woudrichem,
- 11 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad voor ontwerp, beheer en onderhoud van constructies en vreemde objecten in, op en nabij waterkeringen, April 1976.
- 12 Centrum voor Onderzoek Waterkeringen, inventarisatie markante verschijnselen aan rivierdijken opgetreden tijdens de hoge Rijnafvoer 1982.

13 Centrum voor Onderzoek Waterkeringen, inventarisatie
markante verschijnselen aan rivierdijken opgetreden
tijdens de hoge Rijnafvoer 1980

