

AFGEHANDELD

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Onafhankelijk onderzoek Markermeer
Technisch inhoudelijke en integrerende
studie

Verslag fase 3:

Maatregelen en kosten voor dijkverbeteringen als ware het Markermeer
buitenwater

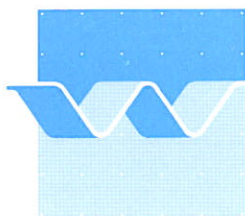
mei 1998

Onafhankelijk onderzoek Markermeer Technisch inhoudelijke en integrerende studie

Verslag fase 3:

Maatregelen en kosten voor dijkverbeteringen als ware het Markermeer
buitenwater

drs. R.F. de Graaff



wl | delft hydraulics

Lijst met Tabellen

- 3.1 Normfrequenties per dijkringgebied
- 3.2 Ruwheidstypen in HYDRA_M

- 5.1.a Berekeningsresultaten 2%-golfoploopniveau bij de huidige situatie met klimaat-scenario voor dijkringgebied 8
- 5.1.b Berekeningsresultaten 2%-golfoploopniveau bij de huidige situatie met klimaat-scenario voor dijkringgebied 13
- 5.1.c Berekeningsresultaten 2%-golfoploopniveau bij de huidige situatie met klimaat-scenario voor dijkringgebied 44
- 5.1.d Berekeningsresultaten 2%-golfoploopniveau bij de huidige situatie met klimaat-scenario voor dijkringgebied 45/46
- 5.2 Berekeningsresultaten 2%-golfoploopniveau met situatie waarin bij extreem hoog meerpeil op het IJsselmeer geen water op het Markermeer wordt afgelaten (lage meerpeilstatistiek)
- 5.3 Berekeningsresultaten 1 l/s per m golfoverslagniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario
- 5.4 Berekende overslagdebieten bij kruinhoogtes die meer dan 1 l/s per m overslag geven in de huidige situatie

- 6.1 Geschatte kosten voor verbetering van de steenzettingen, in miljoenen gulden

Lijst met Figuren

- 2.1 Dijkringgebieden rondom het Markermeer, Gooi- en Eemmeer
 - 3.1 Schema berekening benodigde kruinhoogte
 - 3.2 Schematisatie van een dijk met een ondiep voorland
 - 3.3 Schematisatie van een dijk met een oplopend bodemprofiel
 - 3.4 Schematisatie en definities van een dijkprofiel
 - 3.5 Overzicht dijklocaties Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer
 - 3.6 Ligging en oriëntatie dijklocaties d18b-17 t/m d18a-126
 - 3.7 Ligging en oriëntatie dijklocaties d18a-126 t/m d18a-216
 - 3.8 Ligging en oriëntatie dijklocaties d20-11 t/m d23-51
 - 3.9 Ligging en oriëntatie dijklocaties d23-61 t/m d25-26
 - 3.10 Ligging en oriëntatie dijklocaties d25-29 t/m d28-136
 - 3.11 Ligging en oriëntatie dijklocaties d28-143 t/m 203c-1
 - 3.12 Ligging en oriëntatie dijklocaties 203c-2a t/m 207c-3, d8-58 t/m d8-80
 - 3.13 Ligging en oriëntatie dijklocaties 46-67 t/m 45-74, d8-206 t/m d8-240
 - 3.14 Ligging en oriëntatie dijklocaties 45-75 t/m 45-76, d8-251 t/m d8-312
 - 3.15 Ligging en oriëntatie dijklocaties d8-142 t/m d8-170
 - 3.16 Ligging en oriëntatie dijklocaties d8-7 t/m d8-36, d8-n239 t/m d8-253
 - 3.17 Ligging en oriëntatie dijklocaties d8-n130 t/m d8-n217
 - 3.18 Ligging en oriëntatie dijklocaties d8-n5 t/m d8-n55

I Kader van de studie

I.1 Verantwoording

Onder overeenkomstnummer DWW-1289 en verplichtingnummer 3100/0273 heeft het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, opdracht gegeven aan het Waterloopkundig Laboratorium een onafhankelijke studie uit te voeren betreffende het Markermeer. Deze studie bevat het technisch inhoudelijke deel en de integratie met de resultaten van het bestuurlijk-juridische deel van het totale onderzoek (overeenkomstnummer DWW-1152). Bij de studie is gebruik gemaakt van de voorstudie "Inventarisatie onzekerheden in Projectplan 'Onafhankelijk onderzoek Markermeer'" met overeenkomstnummer DWW-1153.

Het eindproduct is een lijst met technische en bestuurlijke/juridische argumenten ter onderbouwing van de beslissing of het Markermeer wel of niet moet worden opgenomen in de definitie "buitenwater" (Wet op de Waterkering). Hiertoe is een technisch gedeelte uitgewerkt, onderverdeeld in verschillende fasen. De bouw, afregeling en kalibratie van een kromlijng 2D horizontaal waterstanden- en een 2D golfmodel behoren hiertoe, alsmede het uitvoeren van berekeningen met de twee gekoppelde modellen. Nabewerking met een probabilistisch analysemodel geeft inzicht in de veiligheid van de Markermeerdijken en vormt de basis voor berekening van de kosten die gemoeid zijn met een eventuele versterking. Tevens worden frequentie-overschrijdingslijnen langs de Markermeerdijken vastgesteld en geanalyseerd. Een effectstudie van inundatie en een kwalitatieve inundatierisico-analyse worden uitgevoerd.

De verslaglegging van de technisch inhoudelijke studie en de integratie is door middel van de volgende rapporten uitgevoerd:

Fase 1a	Bepaling van de meerpeilstatistiek
Fase 1b-1	Vastleggen bodemtopografie en geometrie modelgebied
Fase 1b-2	Bouw DELFT2D-model voor het studiegebied
Fase 1b-3	Bepalen stormprofiel en windvelden (modelinvoer)
Fase 1b-4	Productieberekeningen en controle
Fase 1c	Gereed maken van het probabilistisch model HYDRA_M
Fase 2	Beheersbaarheid van de hoogwaterstand
Fase 3	Maatregelen en kosten voor dijkverbeteringen als ware het Markermeer buitenwater
Fase 4	Schadebepaling bij inundatie
Fase 5	Inundatierisico
Fase 6	Eindrapportage

De begeleiding van de studie werd uitgevoerd door een Begeleidingscommissie bestaande uit alle betrokken overheidsinstanties en stond onder leiding van ir. J. Kaspers van Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland. De wekelijkse voortgang werd besproken met ir. A.P. de Looft van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, projectleider van overheidszijde.

Het onderhavige verslag betreft fase 3; bepaling van de maatregelen en kosten voor dijkverbeteringen als ware het Markermeer buitenwater. Het verslag is geschreven door drs. R.F. de Graaff, onder begeleiding van dr. ir. J.W. van der Meer. De projectleider van het onderzoek is mr. drs. P.C.G. Glas.

1.2 Achtergrond van de studie

"Buitenwater" is in de -begin 1996 in werking getreden- Wet op de waterkering gedefinieerd als: "het oppervlaktewater waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoog oppervlaktewater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan" (artikel 1).

Bij de behandeling van de ontwerp-Wet op de Waterkering in de Tweede Kamer kwam de vraag aan de orde of het Markermeer al dan niet zou moeten worden toegevoegd aan bovenstaande definitie voor "buitenwater". Naar aanleiding hiervan is op 21 november 1995 in de Tweede Kamer een motie van Lilipaly c.s. aangenomen, waarin de regering wordt verzocht om "door een onafhankelijk deskundige een analyse te laten uitvoeren naar de effecten en de kansen van een doorbraak van de dijken rondom het Markermeer op grond waarvan opnieuw kan worden beoordeeld of het Markermeer een buitenwater is in de zin van de Wet op de waterkering".

Voor het wel/niet opnemen van een water in de definitie van buitenwater bestaan geen formele criteria. Wel zijn er diverse technische en bestuurlijke argumenten aan te voeren. Om de beslissing te kunnen nemen om het Markermeer wel of niet op te nemen in de definitie van buitenwater moeten deze argumenten op adequate wijze in beeld worden gebracht.

Doel van het technische deel van het onderhavige onderzoek is het aanleveren van adequate informatie, in de vorm van technische argumenten, aan degenen die uiteindelijk moeten beslissen of het Markermeer wel of niet moet worden opgenomen in de definitie van 'buitenwater' in de Wet op de waterkering. Overeenkomstig de motie Lilipaly c.s. moet het onderzoek inzicht geven in de effecten en de kansen van een doorbraak van de dijken rond het Markermeer.

In zowel het technisch als het bestuurlijk gedeelte is een aantal realistische -technisch en maatschappelijk haalbare- scenario's uitgewerkt. Deze scenario's zijn:

1. De huidige situatie met een vooruitblik van 50 jaar, rekening houdend met zowel mogelijke klimaatverandering als ontwikkelingen met betrekking tot landinrichting en landgebruik;
2. Het verdubbelen van de spuicapaciteit:
 - van het Markermeer naar het IJsselmeer;
 - van het IJsselmeer naar de Waddenzee;
 - van het Markermeer naar het Noordzeekanaal (Oranjesluizen);
 - van het Noordzeekanaal naar de Noordzee (IJmuiden);teneinde de beheersbaarheid van de hoogwaterstand van het Markermeer te vergroten.
3. Niet als scenario, maar wel bij wijze van gevoeligheidsanalyse is nagegaan welke de effecten zijn van een gedeeltelijke inpoldering van het Markermeer, en van een eventuele peilwijziging op het Markermeer. Dit is momenteel onderwerp van een

studie. Voor het onderhavige onderzoek is uitgegaan van een winterstreefpeil van 0.20 m -NAP. Dit is 20 cm hoger dan het huidige winterstreefpeil.

In de vergadering van de begeleidingscommissie van 13 december 1996 is besloten voor beide scenario's I en II de klimaatverandering een keer niet en een keer wel mee te nemen. De gevoeligheidsanalyse beperkt zich tot het altijd meenemen van de klimaatverandering. De scenario's worden dan:

- I Basisscenario
 - Ia zonder klimaatverandering
 - Ib met klimaatverandering

- II Spuicapaciteit vergroten.
 - IIa zonder klimaatverandering
 - IIb met klimaatverandering

- III Gevoeligheidsanalyse (allemaal met klimaatverandering)
 - IIIa Markerwaard (klein)
 - IIIb Wijziging beheerspeil

Tijdens de studie bleek dat het beheer van de sluizen in de Houtribdijk, bij extreem hoog water op het IJsselmeer, bepalend is voor het meerpeil op het Markermeer. In bovenstaande scenario's is aangenomen dat in die situaties water wordt afgelaten van het IJsselmeer naar het Markermeer. Om het effect van dit wel of niet aflaten na te gaan heeft de begeleidingscommissie besloten de eerste vier scenario's ook door te rekenen als *geen* water op het Markermeer wordt afgelaten bij extreem hoge peilen op het IJsselmeer.

Het technisch gedeelte van het onderzoek moet per scenario inzicht geven in:

- de beheersbaarheid van de hoogwaterstand van het Markermeer; de frequentie-overschrijdingslijnen van de belastingen zullen hierbij als belangrijkste indicatoren bepaald moeten worden;
- de potentiële effecten van een overstroming;
- de benodigde maatregelen om bescherming te bieden tegen overstroming vanuit het Markermeer als ware het buitenwater;
- de kosten van deze maatregelen (investering, onderhoud, kosten spui-maatregelen etc.) en de termijn waarop ze kunnen worden gerealiseerd.

1.3 Indeling rapport

In dit rapport wordt ingegaan op het bepalen van de benodigde dijkverbeteringen en de kosten hiervan, als ware het Markermeer buitenwater. Allereerst, in hoofdstuk 2, komen de vraagstelling en de werkwijze aan de orde. In hoofdstuk 3 wordt beschreven welke gegevens gebruikt zijn om de hoogte van de dijken te bepalen en wordt er besproken hoe tot een dijkvakindeling gekomen is. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de werking van het model HYDRA_M beschreven en hoe de berekeningen in zijn werk zijn gegaan. Hoofdstuk 5 geeft de resultaten en analyses van de kruinhoogteberekeningen. Deze resultaten geven aanleiding tot een aantal voorgestelde verbeteringen. De kosten van deze verbeteringen alsmede de totale kosten van de dijkverbeteringen (ophoging, stabiliteit en steenzetting) zijn gegeven in hoofdstuk 6. De conclusies van deze studie worden besproken in hoofdstuk 7.

2 Vraagstelling en werkwijze

2.1 Vraagstelling

Als onderdeel van het “onafhankelijke onderzoek Markermeer” beschrijft dit deel van de studie de eventuele maatregelen en kosten van dijkversterkingen. Is de vraagstelling in het “onafhankelijke onderzoek Markermeer” of het Markermeer binnenwater of buitenwater is, in dit deel van de studie is de vraagstelling anders gedefinieerd, namelijk: stel dat het Markermeer buitenwater is, wat zijn dan de maatregelen die getroffen moeten worden om een voldoende veiligheid van de dijken te waarborgen en wat betekent dit voor de kosten? Immers, in het geval van buitenwater moeten dijken voldoen aan de normfrequentie van een dijkkringgebied waartoe zij behoren. En deze verschilt van die van binnenwater, omdat primaire waterkeringen die geen buitenwater keren alleen maar dezelfde staat behoeven te houden als bij inwerking treden van de Wet op de waterkering.

2.2 Werkwijze

2.2.1 Introductie

Aan de hand van een eerste inventarisatie, welke verricht is door het RIZA (1991), bleek dat veel dijken qua kruinhoogte niet voldeden. Deze conclusie heeft in het projectplan aanleiding gegeven tot onderhavige gedetailleerde studie naar de benodigde kruinhoogte van de dijken.

Om tot een nauwkeurige schatting te komen van de benodigde kruinhoogte van de dijken, is gebruik gemaakt van het 2-D waterbewegings- en golfmodel (DELFT2D-FLOW en HISWA, fase-1b). De berekeningsresultaten van dit gekoppeld model zijn in een Data Management Systeem (DMS) opgeslagen en zijn met het model HYDRA_M voor een groot aantal locaties langs het Markermeer nabewerkt om uiteindelijk de benodigde kruinhoogten en kosten te kunnen vaststellen.

RIZA (1991) concentreerde zich op de benodigde kruinhoogte ten gevolge van golfploop of golfoverslag. Ook in deze studie is daar uitvoerig aandacht aan besteed. Een ander te toetsen mechanisme, zoals dat in de *Leidraad Toetsen op Veiligheid* naar voren komt, is de geotechnische stabiliteit. In deze studie wordt de stabiliteit op een globale wijze meegenomen en niet gedetailleerd. Verder is recentelijk vast komen te staan dat veel steenzettingen een onvoldoende resultaat opleverden in de eerste toetsingsronde. De landelijke globale inventarisatie naar steenzettingen heeft een groot aantal dijkvakken aangegeven die verbeterd dienen te worden. Dit geldt ook voor de IJsselmeer- en Markermeerdijken. De kosten voor het verbeteren van de steenzettingen, alhoewel een landelijk probleem, zijn voor de Markermeerdijken in deze studie geschat. Ook hier geldt dat de inschatting gebaseerd is op een globale toets.

Samengevat betekent dit dat bij het schatten van de benodigde kosten rekening gehouden is met:

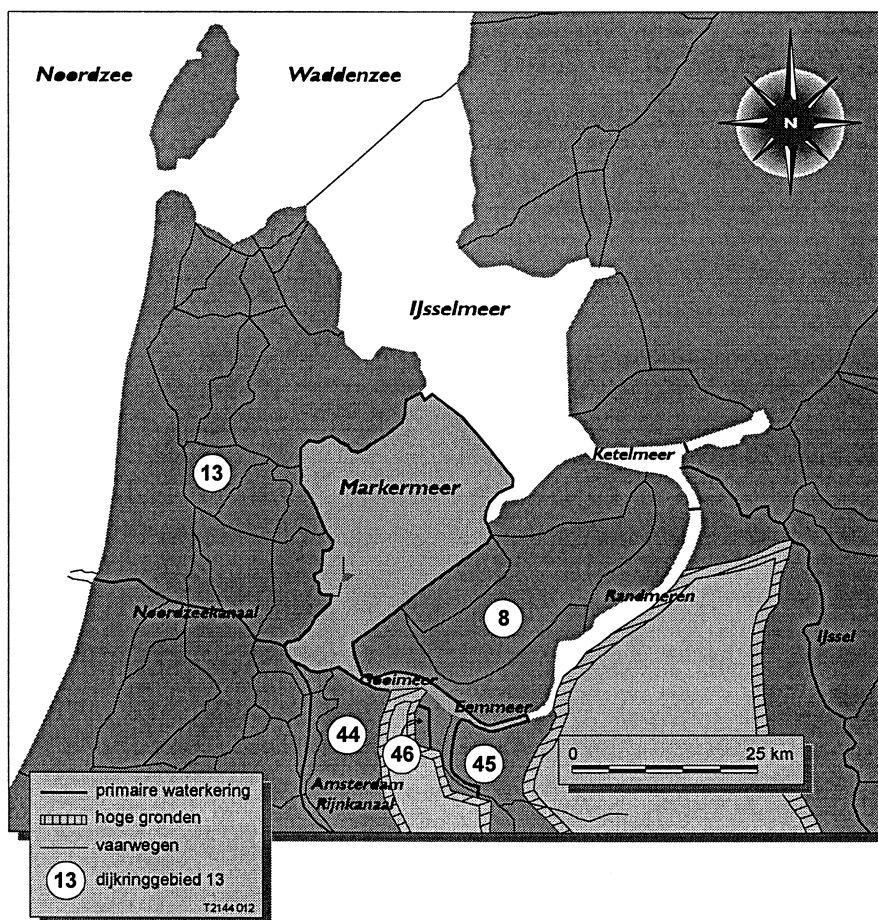
1. de kruinhoogte (gedetailleerd);
2. de stabiliteit (globaal tot zeer globaal);
3. de steenzetting (globaal).

Na het vergelijken van de berekende benodigde en de aanwezige kruinhoogten, is bepaald wat de kosten van de eventuele dijkverbeteringen zullen zijn. FUGRO heeft in opdracht van de betreffende waterschappen een globale toets uitgevoerd betreffende de stabiliteit van de dijken rondom het Markermeer. Voor Noord-Holland (ten noorden van het IJ) waren al geotechnische gegevens bekend. De resultaten van de globale stabiliteitstoets staan beschreven in het rapport *Quick-scan Markermeerdijken* (FUGRO, 1997).

De onderhavige studie betreft de Markermeerdijken die in beheer zijn bij de volgende waterschappen:

- Heemraadschap Fleverwaard te Lelystad, dijkkringgebied 8;
- Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier te Edam, dijkkringgebied 13;
- Dienst Waterbeheer en Riolering, sector waterbeheer Vecht en Amstel te Hilversum, dijkkringgebied 44;
- Waterschap Vallei en Eem te Amersfoort, dijkkringgebieden 45 en 46.

De ligging van de dijkkringgebieden rondom het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer is weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Dijkkringgebieden rondom het Markermeer, Gooi- en Eemmeer

2.2.2 Bepaling benodigde kruinhoogten

In paragraaf 1.2 is aangegeven dat in de totale studie een tiental scenario's moest worden bekeken. Voor het bepalen van de benodigde dijkhoogten en de daaraan verbonden kosten is echter van één basisscenario uitgegaan, namelijk de huidige situatie waarin klimaatsveranderingen (klimaatscenario) zijn meegenomen. Wat betreft de meerpeilstatistiek is de "hoge statistiek" aangehouden (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997a). Dit basisscenario leidt tot de hoogste benodigde kruinhoogten en hierdoor de hoogste kosten van dijkverbeteringen. Daarnaast is bekeken of het meest gunstige scenario tot lagere kosten leidt. Hierbij valt te denken aan dubbele spuicapaciteit (of gemalen) in de Afsluitdijk, of aan het "dicht houden" van de Houtribdijk, dat wil zeggen dat geen water op het Markermeer wordt afgelaten bij extreme meerpeilverhogingen op het IJsselmeer. Beide situaties leiden tot een zeer beheersbaar Markermeerpeil met de "lage meerpeilstatistiek".

Om tot een goede schatting te komen van de benodigde kruinhoogte is de volgende werkwijze gevolgd:

1. de kruinhoogteberekeningen van de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) zijn bestudeerd;
2. de indeling in dijkvakken van de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) is gecontroleerd en zonodig zijn er aanpassingen gemaakt;
3. de nieuwe dijkvakindeling is gekoppeld met de hectometerschaal zoals gebruikt in de stabiliteitstoetsen van GD en FUGRO;
4. een inventarisatie is gemaakt van de meest recente dijkprofielen en deze zijn vergeleken met de profielen zoals gebruikt in de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991);
5. de oriëntatie van het deel van de hoofdwaterkering waar een dijkprofiel deel van uitmaakt is bepaald en de hoek die het profiel maakt ten opzichte van het noorden is opgemeten;
6. wijzigingen aan de lay-out van de invoerfile van HYDRA_M zijn doorgevoerd zoals aangegeven door RIZA en de dijkprofielen zijn ingevoerd aan de hand van de door RIZA gestelde eisen;
7. een inventarisatie van het type dijkbekleding is gemaakt en de bijbehorende ruwheidscoëfficiënten zijn ingevoerd;
8. aan de hand van peilingen en/of lodingen en eventueel topografische atlassen is bepaald of er een oplopend bodemprofiel of voorland aanwezig is en deze zijn ingevoerd aan de hand van de door RIZA opgestelde specificaties;
9. middels de topografische atlassen is bepaald of er een damconstructie voor de dijk ligt, hieruit zijn de hoogte en het type gehaald en deze zijn ingevoerd;
10. voor alle dijklocaties is met het model HYDRA_M het 2%-golfoplooppniveau of de waterstand (in het geval er redelijkerwijs verondersteld kan worden dat de dijk geen noemenswaardige golfaanval zal ondervinden) berekend met de hoge meerpeilstatistiek en de bij het dijkvak behorende normfrequentie;
11. alle berekeningen zijn gecontroleerd, de gevoeligheden zijn bepaald en eventuele wijzigingen zijn doorgevoerd;
12. voor de dijklocaties waarvan de berekende kruinhoogte de aanwezige kruinhoogte overschreed, is de kruinhoogte berekend die hoort bij het 2%-golfoplooppniveau met de lage meerpeilstatistiek;
13. voor dezelfde dijklocaties is eveneens de kruinhoogte berekend die hoort bij het 1 l/s per m golfoverslagniveau met de hoge meerpeilstatistiek;

14. tenslotte is het overslagdebiet berekend bij de dijken die volgens de hierboven genoemde criteria niet voldoen met de hoge meerpeilstatistiek;
15. aan de hand van de berekeningsresultaten is bepaald in welke mate de dijken moeten worden opgehoogd.

De kruinhoogten van de dijken zijn bepaald met het probabilistisch model HYDRA_M. De kern van dit model is om allerlei situaties van meerpeilen, waterstanden en golven die op kunnen treden te vertalen naar kansen van optreden van bepaalde hydraulische belastingniveau's op de dijken. Voor verschillende belastingniveau's worden de overschrijdingsfrequenties bepaald met behulp van een statistische rekenmethode. Het belastingniveau wordt bepaald door een sommatie van waterstand en 2%-golfoploophoogte of een overslaghoogte behorend bij een zeker debiet, die optreedt bij een bepaalde combinatie van meerpeil en wind en bij een bepaalde normfrequentie.

De golfoploop- en overslagmethode die in een eerdere versie van HYDRA_M zat was gebaseerd op TAW-werk (Van der Meer, 1993). Inmiddels is, in opdracht van de DWW, dit werk uitgebreid en aangescherpt. Dit is beschreven in Van der Meer (1997). RIZA heeft in samenwerking met DWW deze aangescherpte methode net voor het uitvoeren van de berekeningen in HYDRA_M gebracht. De werking van het model HYDRA_M is uitvoerig beschreven in *Verslag fase 1c* (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997c).

Ten behoeve van de golfoploop- en overslagberekeningen zijn golfgegevens nodig aan de teen van de dijk. De *teen van de dijk* wordt hier gedefinieerd als het punt waar de relatief vlakke bodem overgaat in een dijktafval met een bepaalde steilheid. De uitvoer van het 2D waterbewegings- en golfmodel wordt echter gegeven langs de randen van het Markermeer en het Gooi- en Eemmeer in de zogenoemde *uitvoerpunten*. De afstand van de rand van het meer tot aan het uitvoerpunt wordt bepaald door de grootte van het rekenrooster van het waterbewegingsmodel. Om interpolatieproblemen te voorkomen en om te garanderen dat alle uitvoerpunten 'nat' zijn, is deze afstand gezet op ongeveer 2,5 maal de roostergrootte. Voor het Markermeer betekent dit zo'n 400 meter vanaf de rand van het meer, in het Gooi- en Eemmeer zo'n 275 meter vanaf de rand (WL|delft hydraulics, 1998).

Om het gedeelte tussen het uitvoerpunt en de teen van de dijk te overbruggen, wat betreft de golfhoogte, worden twee benaderingswijzen toegepast.

1. In het geval er zich tot aan de teen van de dijk geen substantiële bodemwijzigingen voordoen, dan worden de golf- en waterstandsgegevens op de teen van de dijk gelijk geacht aan de omstandigheden ter plaatse van het uitvoerpunt. Dit is te verantwoorden door het feit dat de afstand tussen uitvoerpunt en teen van de dijk te verwaarlozen is ten opzichte van de strijklengte horende bij dat uitvoerpunt.
2. In het geval de bodemtopografie aantoonbaar wijzigt, zal dit direct invloed hebben op de golfhoogte. Immers, het Markermeer is relatief ondiep (ongeveer 4 m), waardoor de maximale golfhoogte in het gehele Markermeer in zeer extreme stormsituaties vrijwel altijd diepte-gelimiteerd is. Als de diepte tussen uitvoerpunt en de teen van de dijk vermindert, zal de maximale (significante) golfhoogte afnemen. Dit heeft op zijn beurt weer direct invloed op de golfoploop en -overslag.

Om in het geval van een oplopend bodemprofiel of voorland de bekende golfcondities ter plaatse van het uitvoerpunt te transformeren naar de teen van de dijk, is binnen het model HYDRA_M het 1D-golfvoortplantingsmodel ENDEC als module opgenomen. In ENDEC wordt rekening gehouden met refractie-effecten, golfgroei door wind, golfgeïnduceerde set-up en

dissipatie door bodemwrijving en diepte-geïnduceerd breken (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997c).

Wat het diepte-geïnduceerd breken betreft is het bekend dat ENDEC en ook andere gelijkwaardige programma's dit breken op een zeer flauw oplopende bodem niet goed weergeeft. Er wordt een te lage golfhoogte berekend. Dit geldt voor oplopende bodems die flauwer zijn dan 1:100. Stukken bodem die in werkelijkheid flauwer waren dan 1:100 zijn gemodelleerd als een 1:100 talud. Dit geldt ook voor de vaak horizontale voorlanden boven water. Het geschematiseerde voorland met bodem, tot aan het uitvoerpunt van het DMS zag er daardoor soms heel anders uit dan de werkelijkheid. De resultaten met de schematisatie zijn echter betrouwbaarder dan wanneer het werkelijke geheel zou zijn gemodelleerd.

2.2.3 Bepaling stabiliteit

Voor alle dijken rondom het Markermeer is een toets op geotechnische stabiliteit van de dijken rondom het Markermeer uitgevoerd door Grondmechanica Delft (GD) en FUGRO. GD heeft de dijken van dijkkringgebied 13 getoetst, FUGRO heeft de rest van de dijken getoetst: dijkkringgebieden 8, 44, 45 en 46. De resultaten van beide onderzoeken staan beschreven in het rapport *Quick-scan Markermeerdijken* (FUGRO, 1997). Opgemerkt dient te worden dat het een zeer globale toetsing betreft. In geval van twijfel zijn telkens conservatieve aannamen gedaan.

Dijkkringgebieden 8 en 13 zijn onderbouwd met veelal eerder uitgevoerd grondonderzoek en stabiliteitsberekeningen. Dit betekent dat voor deze dijkkringgebieden met meer betrouwbaarheid kan worden aangewezen waar de te verbeteren dijkvakken zich bevinden en in welke mate deze moeten worden verbeterd.

Voor de dijkkringgebieden 44, 45 en 46 zijn de inschattingen daarentegen slechts gebaseerd op zeer globale gegevens. Er bleek bijvoorbeeld geen duidelijkheid te bestaan over de opbouw van het dijklichaam. De beoordeling van deze dijkkringgebieden moet derhalve worden gezien als een zeer grove indicatie van de staat van de waterkering (FUGRO, 1997).

2.2.4 Bepaling kwaliteit steenzetting

Door GD zijn binnen de *landelijke inventarisatie steenzettingen* de steenzettingen getoetst van de dijken van dijkkringgebied 13, niet alleen langs het IJsselmeer, maar ook langs het Markermeer. Op verzoek van de Begeleidingsgroep van de onderhavige studie, werd gevraagd ook de rest van de dijken rondom het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer te toetsen. Daarna is ook voor dijkkringgebied 8 de kwaliteit van de bekleding getoetst. De bekledingen van dijkkringgebieden 44 en 45 zijn hierbij echter, om onduidelijke redenen, niet getoetst. Uit de inventarisatie bleek dat ongeveer een kwart van de getoetste dijken (dijkkringgebieden 8 en 13) niet aan de gestelde eisen voldeed.

Met nadruk wordt gewezen op de beperkingen van deze studies. Het algemene beeld van de kwaliteit van de getoetste dijken zullen redelijk tot goed overeenstemmen met het toetsingsresultaat, op het niveau van individuele dijkvakken wordt echter wel afwijkingen verwacht (GRONDMECHANICA DELFT, 1997).

Voor het Heemraadschap Fleverwaard (dijkkringgebied 8) staan de resultaten van de bekledingstoets beschreven in het rapport *Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen* (GRONDMECHANICA DELFT, 1997). Voor dijkkringgebied 13 staan de resultaten van de

bekledingstoets gegeven in het overzicht *Inventarisatie (rest-)sterkte gezette taludbekledingen* (GRONDMECHANICA DELFT, 1996).

2.2.5 Bepalen kosten

Na het vaststellen van de te verbeteren dijkvakken zijn de verbeteringsmaatregelen vastgesteld en hiervan zijn de kosten geschat. Bij het opstellen van het projectplan en gebaseerd op de eerdere studie (RIZA, 1991) was de verwachting dat de *dijkhoogteverbetering* de voornaamste kostenpost zou zijn en dat de kostenpost voor geotechnische stabiliteitsverbetering, en ook verbetering aan de steenzettingen, van minder belang zou zijn en dus ook globaler geschat kon worden.

Vooruitlopend op de resultaten blijkt echter dat de verbeteringen voor kruinhoogte alleen zeer beperkt zijn. Op de reden daarvan wordt verderop in het verslag ingegaan. Het betekent wel dat de eventuele kosten van dijkverbeteringen op naam van geotechnische aanpassingen (en steenzettingen) komen. Alhoewel de toetsing op deze aspecten veel globaler is uitgevoerd dan de kruinhoogtetoets, werd het verstandig geacht de kosten zo goed mogelijk te (laten) schatten.

Hiertoe werd aan FUGRO de opdracht gegeven per dijkvak globaal verbeteringsmaatregelen voor te stellen en deze van een prijs te voorzien. In feite kwam dit neer op een uitbreiding van de spreadsheet die gemaakt was in het kader van de globale toetsing (FUGRO, 1997). Voor de eventuele dijkverhogingen zijn de kosten eveneens meegenomen. De resultaten van de kostenschattingen van FUGRO staan beschreven in het rapport *Kostenverkenning m.b.t. Quick-scan Markermeerdijken* (FUGRO, 1998).

Zowel GD als de Bouwdienst hebben in het kader van de *landelijke inventarisatie steenzettingen* kostenschattingen gemaakt van de te verbeteren steenzettingen. Aan beide is gevraagd dit ook te willen doen voor de Markermeerdijken (alleen dijkkringgebieden 8 en 13).

Uiteindelijk komen alle resultaten bijeen in dit verslag.

3 Gegevens ter bepaling van de dijkhoogten

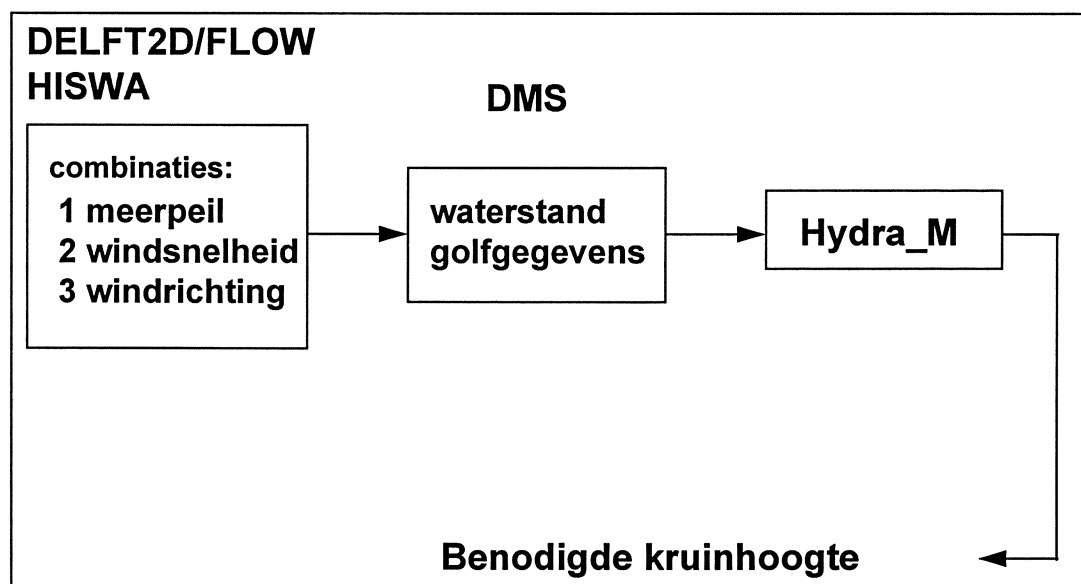
3.1 Algemeen

Om te kunnen bepalen of dijkvakken qua hoogte voldoen bij een aanname dat het Markermeer buitenwater zou zijn, moeten zowel de hydraulische randvoorwaarden als de gegevens van de respectievelijke dijkvakken bekend zijn. De gegevens van de dijkvakken hebben betrekking op de bodemschematisatie en het voorland, alsmede de geometrie en ruwheid van het dijkprofiel. In dit hoofdstuk wordt beschreven op welke wijze de benodigde kruinhoogten van de dijken rondom het Markermeer bepaald zijn.

3.2 Hydraulische randvoorwaarden

In fase 1b van het “Onafhankelijk onderzoek Markermeer” is een groot aantal berekeningen uitgevoerd. In deze fase zijn de waterstands- en golfgegevens bepaald ter plaatse van een groot aantal locaties nabij de dijken rond het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer.

De wijze waarop de hydraulische invoergegevens vertaald worden naar een benodigde kruinhoogte, is weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Schema berekening benodigde kruinhoogte

Voor 216 combinaties van meerpeil, windsnelheid en -richting is met het 2D waterbewegings- en golfmodel (DELFT2D-FLOW en HISWA) de hydraulische condities berekend in het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer. De resultaten uit deze berekeningen (waterstanden en golven) zijn opgeslagen in een Data Management Systeem (DMS). Met het DMS kunnen deze gegevens op de vooraf bepaalde uitvoerpunten nabij de teen van de dijk geselecteerd worden. Deze gegevens dienen als invoer voor het model HYDRA_M.

Binnen HYDRA_M wordt met behulp van interpolatiefuncties de waterstanden- en golfcondities verkregen voor tussenliggende combinaties van meerpeil en wind. HYDRA_M maakt hiervan gebruik om probabilistische berekeningen uit te voeren.

Voor een uitvoerige beschrijving van het 2D waterbewegings- en golfmodel wordt verwezen naar de verslagen *fase 1b-1, 1b-2 en 1b-3* (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997b, e en d respectievelijk). Voor het Data Management Systeem (DMS) wordt verwezen naar deelrapportage *fase 1c* (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997c). De criteria die in de HYDRA_M berekeningen kunnen worden gehanteerd zijn: golfploop, golfoverslag en waterstand. Deze criteria worden hieronder nader toegelicht.

De golfploophoogte ($z_{2\%}$) is het golfplooppniveau verticaal gemeten ten opzichte van de stilwaterlijn, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het totaal aantal inkomende golven (Van der Meer, 1997).

Golfoverslag wordt gegeven als een gemiddeld debiet per strekkende meter breedte (l/s per m). De golfoverslag wordt berekend ten opzichte van de hoogte van de buitenkruinlijn en er wordt van uitgegaan dat deze overslag ook de achterkant van de kruin en het binnentalud bereikt (Van der Meer, 1997).

De normfrequentie is een veiligheidsniveau dat voor een gebied is vastgesteld. De normfrequenties die gelden voor de dijkkringgebieden rondom het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer zijn gegeven in Tabel 3.1.

Dijkkringgebied	Normfrequentie (1/x per jaar)
8	4.000
13	10.000
44	1.250
45/46	1.250

Tabel 3.1 Normfrequenties per dijkkringgebied

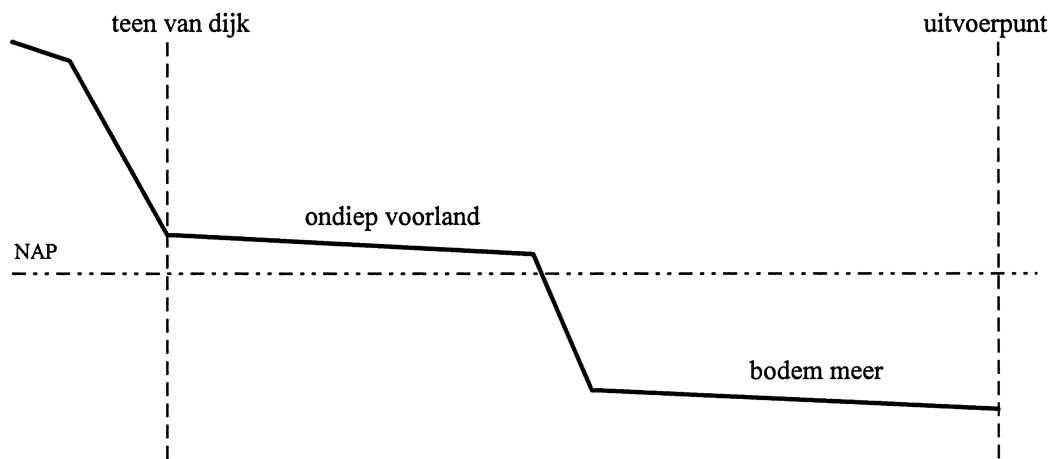
In de meeste gevallen wordt de waterstandsverhoging en de hierop gesuperponeerde golfploophoogte (of overslaghoogte) beschouwd als de benodigde kruinhoogte. In enkele gevallen komt het voor dat er onder extreme condities niet of nauwelijks golfaanval op de dijk bestaat. In dit geval wijkt de werkelijke benodigde kruinhoogte af van de berekende. Dit is bijvoorbeeld het geval in het Eemmeer, waar in de buurt van Nijkerk met harde wind een hoge waterstand ontstaat, maar waar, bijvoorbeeld voor Flevoland, de wind zelf net aflagtig is. In feite bepaalt de waterstand de berekende benodigde dijkhoogte. In zo'n geval is 0.5 m waakhoogte bij de berekende kruinhoogte opgeteld om te komen tot de werkelijke benodigde kruinhoogte.

3.3 Bodemschematisatie en voorlanden

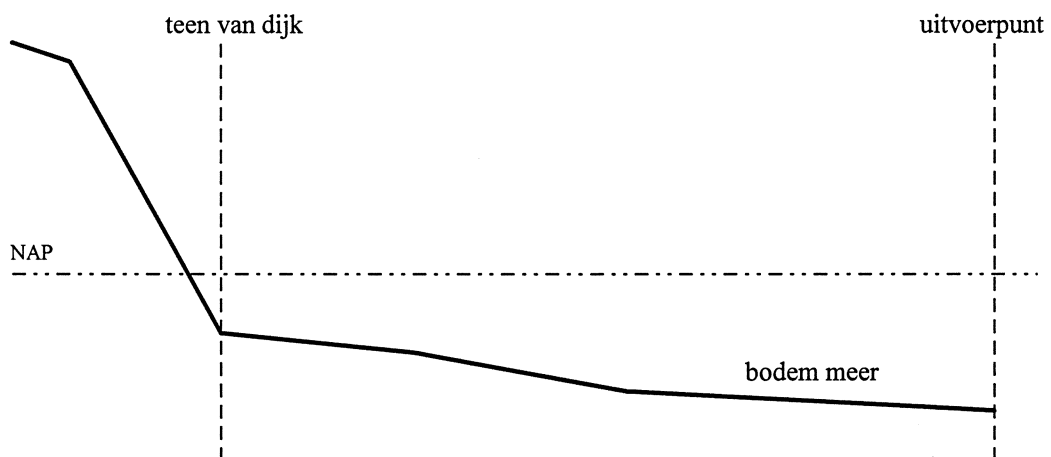
Wanneer het bodemprofiel tussen het uitvoerpunt en de teen van de dijk sterk varieert, worden de golfcondities nabij de teen van de dijk bepaald met behulp van het 1D ENDEC model (zie §2.2.2).

De begrippen bodemprofiel en voorland worden hier nader gedefinieerd. Indien een deel van het oplopend bodemprofiel tot aan de teen van de dijk *boven NAP ligt*, wordt er gesproken van een ondiep voorland. Een oplopend bodemprofiel dat zich *onder NAP*

bevindt, wordt gerekend tot de eigenlijke bodemschematisatie. In Figuur 3.2 is een schematisatie weergegeven met een ondiep voorland; in Figuur 3.3 is dit gedaan voor een oplopend bodemprofiel.



Figuur 3.2 Schematisatie van een dijk met een ondiep voorland



Figuur 3.3 Schematisatie van een dijk met een oplopend bodemprofiel

Opgemerkt dient te worden dat de golfcondities alleen worden getransformeerd van het uitvoerpunt naar de teen van de dijk indien er duidelijke aanwijzingen zijn dat er sprake is van een oplopend bodemprofiel. Gegevens omtrent het wel of niet aanwezig zijn van een oplopend bodemprofiel komen uit de volgende bronnen:

- Grote Provincie Atlas - Noord-Holland, tweede editie, schaal 1:25.000. Topografische Dienst, Wolters-Noordhoff Atlasproducties Groningen, 1996;
- Grote Provincie Atlas - Utrecht, tweede editie, schaal 1:25.000. Topografische Dienst, Wolters-Noordhoff Atlasproducties Groningen, 1995;
- Grote Provincie Atlas - Gelderland/Veluwe, schaal 1:25.000. Topografische Dienst, Wolters-Noordhoff Atlasproducties Groningen, 1991;

- Periodieke peilingen vooroever Markermeerdijken. Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Edam, 1991;
- Lodingen Rijkswaterstaat, IJsselmeer/Markermeer/Gooimeer/Eemmeer:
 - Kaart 27, Reg. nr. FLANM19930894, mei 1993
 - Kaart 33, Reg. nr. FLANM19930658, maart 1993
 - Kaart 32, Reg. nr. FLANM19930657, maart 1993
 - Kaart 39, Reg. nr. FLANM19930659, maart 1993
 - Kaart 450, Reg. nr. FLANM19950428, februari 1995
 - Kaart 451, Reg. nr. FLANM19950429, februari 1995
 - Kaart 49, Reg. nr. FLANM19940670, juli 1994
 - Kaart 541, Reg. nr. FLANM19950430, februari 1995
 - Kaart 542, Reg. nr. FLANM19950431, februari 1995
 - Kaart 583, Reg. nr. FLANM19950432, februari 1995
 - Kaart 53, Reg. nr. FLANM19952031, januari 1996
 - Kaart 58, Reg. nr. FLANM19950427, februari 1995
 - Kaart 59, Reg. nr. FLANM19940516, februari 1995
 - Reg. nr. FLANM19940438, augustus 1994
 - Reg. nr. FLANM19940437, juli 1994
 - Reg. nr. FLANM19940671, juli 1994
 - Kaart 6768, Reg. nr. DYANM19950976, april 1995
 - Kaart 54, Reg. nr. ZZANT870145, februari 1987
 - Kaart 55, Reg. nr. ZZANT870144, februari 1987
 - Kaart 50, Reg. nr. ZZANT870143, februari 1987
 - Kaart 51, Reg. nr. ZZANT870142, februari 1987
 - Kaart 47, Reg. nr. ZZANT870141, januari 1987

Aangezien de meeste dijkprofielen informatie geven van de kruin van de dijk tot aan de waterlijn, kan hieruit eveneens de geometrie van een eventueel ondiep voorland gehaald worden. Ondiepe voorlanden liggen immers boven NAP.

3.4 Dijkprofielen

In deze studie is getracht de meest recente dijkprofielen te gebruiken. Indien er geen (recente) profielen beschikbaar waren en deze ook niet binnen redelijke tijd te verkrijgen waren, is het profiel uit de vorige Markermeerstudie gebruikt (RIZA, 1991). Dit is het geval voor ongeveer één derde van de profielen. Voor de bronnen van deze profielen wordt verwezen naar RIZA (1991). In de onderhavige studie zijn per dijkkringgebied de profielen gebruikt komende uit de volgende bronnen:

Dijkkringgebied 8

- opgemeten profielen rondom Zuidelijk-Flevoland, Heemraadschap Fleverwaard. Nummer ZB/08C001, mei 1997;
- Revisie Gooimeerdijk, HM.79 - HM.85. Blad 4, nr. EL-73.64, Zuiderzeewerken - Zuidelijk Flevoland, januari 1973;
- Revisie Gooimeerdijk, HM.184 - HM.189. Blad 22, nr. EL-73.82, Zuiderzeewerken - afd. Dijken en Scheepvaartwegen, april 1973;
- Dijkversterking Eemmeerdijk/Nijkerkerdijk, te maken grondwerk. Bestek FLW-290, augustus 1992;
- Revisie Oostvaardersdijk, HM.34 - HM.40. Blad 7, nr. EL-73.56, Zuiderzeewerken - Zuidelijk Flevoland, augustus 1972;

- Revisie Oostvaardersdijk, HM.42 - HM.49. Blad 8, Zuiderzeewerken - Oostelijk Flevoland, november 1975;
- Revisie Oostvaardersdijk. Blad 10, Zuiderzeewerken - Zuidelijk Flevoland, januari 1975;
- Revisie Oostvaardersdijk. Blad 34/36, Zuiderzeewerken - Zuidelijk Flevoland, augustus 1976;
- Reconstructie Oostvaardersdijk ged. Pampushaven-Zuidersluis, alg overzicht en lengteprofiel; bestek FLW-823, blad 1. Reg.nr.: FLWVT 19930876. Mei 1993.

Dijkringgebied 13

- 64 digitale bestanden (*.dxf) van waterkeringen langs het Markermeer. Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Edam, 1997.

Dijkringgebied 44

- Periodieke kademeting Kadevak V01-202C, Diemerzeedijk (oost). Tek. nr. V01-202C, blad 1. Hoogheemraadschap Amstel en Vecht, juli 1995;
- Periodieke kademeting Kadevak V01-203C, Zeedijk Beosten Muiden. Tek. nr. V01-203C, blad 1. Hoogheemraadschap Amstel en Vecht, juli 1995.

Dijkringgebied 45/46

- Waterkeringen oostelijk deel, Kaartnummer 1 - 2. Hoogheemraadschap Amstel en Vecht. nr. A 503-12-2, get: Heidemij/HAV, november 1996;
- Op verzoek opgemeten dwarsprofiel 74. nr. 40-97006. Waterschap Vallei en Eem, juni 1997;
- Op verzoek opgemeten dwarsprofielen 75, 76, e2, e3 en e4. nr. 40-97007. Waterschap Vallei en Eem, juni 1997;
- Op verzoek opgemeten dwarsprofielen e5, e6 en 73a. nr. 40-97008. Waterschap Vallei en Eem, juni 1997.

In HYDRA_M moet eveneens het bekledingstype (ruwheidstype) per taluddeel worden ingevoerd. Gegevens betreffende de bekleding zijn hetzij uit de profielen gehaald, hetzij uit beschrijvingen zoals gegeven in de rapporten *Systematisch onderzoek waterkeringen* (GRONDMEECHANICA DELFT, 1990 - 1993). De gebruikte ruwheidstypen, zoals deze in HYDRA_M zijn geprogrammeerd, zijn gegeven in Tabel 3.2.

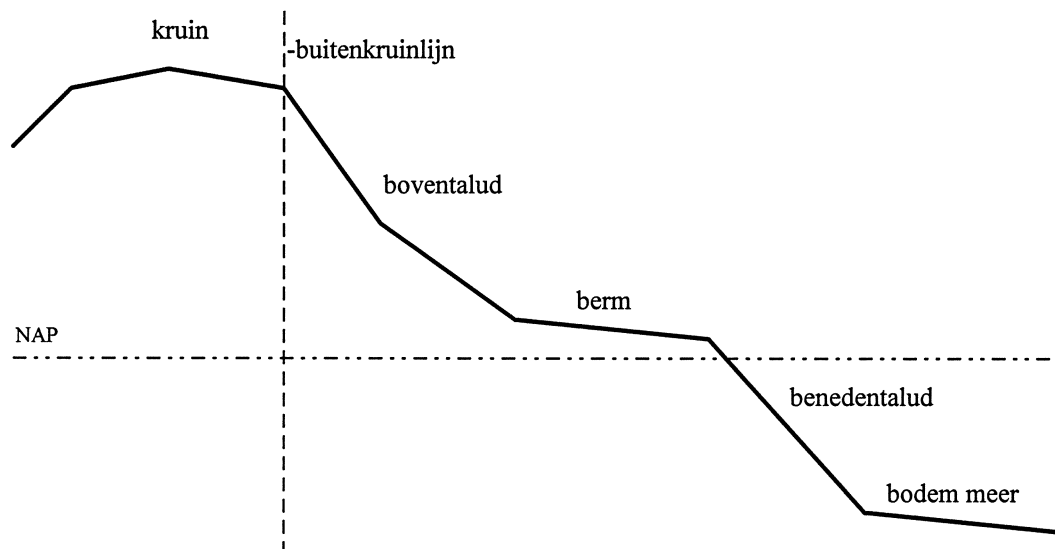
<i>Code</i>	<i>Materiaal</i>	<i>Ruwheid</i>
1	glad, beton, asfalt en dichte steenzetting	1.00
2	gras	0.90
3	gezette steen (<i>Noorse steen</i>)	0.85
4	breuksteen	0.55
5	ribbels	0.60

Tabel 3.2 Ruwheidstypen in HYDRA_M

Met ribbels worden kunstmatige ruwheidselementen bedoeld die op een talud zijn aangebracht. In deze studie zijn echter geen profielen gemodelleerd met dit ruwheidstype.

In Figuur 3.4 is een geschematiseerd dijkprofiel gegeven. In deze schematisatie is het verschil tussen de kruinhoogte en de buitenkruinlijnhoogte weergegeven. In principe hebben in de berekeningen de breedte van de kruin en de hoogte van het midden van de kruin geen invloed op de golfoverslag (Van der Meer, 1997). Voor de golfoploop- en

overslagberekeningen wordt hierom in eerste instantie met de buitenkruinlijnhoogte gerekend.



Figuur 3.4 Schematisatie en definities van een dijkprofiel

Een stuk uit een dijkprofiel wordt gedefinieerd als talud indien de helling tussen bepaalde grenzen ligt (Van der Meer, 1997). Er is gesteld dat een taludhelling tussen 1:1 en 1:8 moet liggen. Het zijn deze grenzen waartussen de golfloop- en overslagformules zijn gekalibreerd. Voor het gemiddeld talud, dat eveneens gebruikt wordt in de berekeningen, gelden dezelfde grenzen. Het gemiddeld talud wordt in Van der Meer (1997) gedefinieerd als de taludhelling die ontstaat als een lijn tussen $-1,5 H_s$ en $+1,5 H_s$ ten opzichte van de stilwaterlijn wordt getrokken en waarbij de bermen niet worden meegerekend.

Delen van een dijkprofiel met een werkelijke helling tussen de 1:8 en 1:15 dienen in de huidige versie van HYDRA_M hetzij steiler dan 1:8, hetzij flauwer dan 1:15 gemodelleerd te worden.

Een berm wordt gekenmerkt door een zeer flauw of horizontaal talud met breedte B en een diepteligging ten opzichte van de stilwaterlijn (Van der Meer, 1997). In HYDRA_M is gesteld dat een berm een stuk uit een dijkprofiel is waarbij de helling mag variëren tussen 1:15 en 1:100. De manier waarop een golf breekt op een berm en het gedrag van deze golf op de berm en het boventalud, hangt af van de golf lengte. In HYDRA_M wordt de "bermformule" toegepast indien de berm breedte kleiner is dan een kwart van de golfloop lengte ($B < 0,25 L_{op}$). Indien de berm breedte groter is, dan wordt binnen HYDRA_M geïnterpoleerd tussen een berm met een breedte gelijk aan een kwart van de golfloop lengte ($B = 0,25 L_{op}$) en een voorland met een lengte gelijk aan de golfloop lengte L_{op} .

3.5 Indeling dijkvakken

Volgens de leidraden moet een dijk in dijkvakken met dezelfde karakteristieke omstandigheden worden verdeeld. Deze karakteristieke omstandigheden hebben betrekking op een representatief dijkprofiel, een gelijke oriëntatie ten opzichte van het meer en gelijke hydraulische condities.

De in deze studie gebruikte dijkvakindeling is een combinatie van de indeling zoals deze gebruikt is in de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) en de indeling zoals gebruikt voor de stabiliteits- en steenzettingstoets (zie FUGRO, 1997 en GRONDMECHANICA DELFT, 1996 en 1997). Hierbij is de hoofdingeling van de *RIZA-indeling* gebruikt en de exacte grenzen (inclusief de hectometer-schaal) zijn bepaald aan de hand van de *GD/FUGRO-indeling*.

De indeling zoals gebruikt voor de stabiliteits- en bekledingstoets, uitgevoerd door GD en FUGRO, is met name gebaseerd op geometrische kenmerken van de dijklichamen. Eventuele subdijkvakken zijn gekozen op basis van geologische kenmerken. De *GD/FUGRO-indeling* heeft een hoge mate van detail en bevat een hectometer-schaal.

In Figuur 3.5 is een overzicht gegeven van de dijkvakken. In dijkkringgebied 13 liggen 102 van de 154 dijkvakken. Voor dit gebied zijn dan ook de meeste gegevens (dijkprofielen) voorhanden. Direct ten oosten van Amsterdam zijn geen dijkvakken gedefinieerd vanwege de toekomstige bouw van IJburg. De eilanden, waaruit IJburg zal bestaan, zullen er waarschijnlijk voor zorgen dat de huidige dijken geen hoge belasting meer zullen ondervinden en daardoor zullen voldoen qua hoogte.

Aan de hand van de *RIZA-indeling* is bekeken of een dijkvak opgesplitst diende te worden op basis van verschillende oriëntaties van de hoofdwaterkering binnen één dijkvak en/of het wel of niet aanwezig zijn van een voorland of dammen voor de kust. Daar waar nodig zijn aanpassingen gemaakt.

De nieuwe indeling is gedetailleerd weergegeven in de figuren 3.6 tot en met 3.18. In deze figuren is de kustlijn (inclusief de ondiepe voorlanden) en de ligging en oriëntatie van de representatieve dijkprofielen van een dijkvak weergegeven. De ligging van de profielen kunnen afwijken van de getrokken kustlijn omdat de profielen loodrecht staan op de hoofdwaterkering en niet op de kustlijn.

4 Beschrijving HYDRA_M

4.1 Model invoer

Voor een uitvoerige beschrijving van de werking van HYDRA_M wordt verwezen naar het rapport *fase 1c* (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997c). Opgemerkt dient te worden dat de invoerfile zoals gepresenteerd in dit rapport in de loop van de studie gewijzigd is. Een voorbeeld van een HYDRA_M invoerfile is gegeven in Appendix A. De belangrijkste wijzigingen in HYDRA_M ten opzichte van de vorige Markermeerstudie zijn:

- mogelijkheid tot opgeven van het te berekenen criterium: 2%-golfoploop, golfoverslaghoeveelheid of waterstand;
- geen mogelijkheid tot het opgeven van de rekenmethode voor de golfoploop. Standaard wordt de aangescherpte versie van TAW 1994 gebruikt die beschreven is in Van der Meer (1997);
- de mogelijkheid tot het opgeven van een minimale waakhoogte;
- de mogelijkheid tot het opgeven van een normfrequentie;
- geen aparte opgave van de diepte van het uitvoerpunt;
- het dijkprofiel dient opgegeven te worden beginnende bij de buitenkruinlijnhoogte;
- indien aanwezig kan een ondiep voorland of olopemd bodemprofiel (zie §3.4) worden opgegeven met als eerste coördinaat de laatste coördinaat van het dijkprofiel;

Door RIZA zijn er voorwaarden gesteld aan de schematisatie van het dijkprofiel. De achtergrond van deze eisen vinden hun oorsprong in de logica van dijkbouw en de gewenste snelle inzetbaarheid en de gewenste robuustheid van de programmatuur. In deze studie zijn de volgende randvoorwaarden door RIZA gesteld:

Dijkprofiel:

- geen horizontale of dalende profiel delen;
- de helling van een taluddeel moet flauwer zijn dan 1:1 en steiler dan 1:8;
- de helling van een berm moet flauwer zijn dan 1:15, en steiler dan 1:100;
- elk profieldeel moet ofwel een 'steile' helling (tussen 1:1 en 1:8), ofwel een 'flauwe' helling (tussen 1:15 en 1:100) hebben;
- de afstand tussen twee profielpunten mag niet te klein zijn: deze is gesteld op 2 meter.

Voorland of bodemschematisatie:

- de helling moet flauwer zijn dan 1:10;
- de afstand tussen twee punten mag niet te klein zijn: deze is gesteld op 10 meter.

Door WL is de eis gesteld dat een bodemschematisatie niet flauwer mag zijn dan 1:100.

Als een bestaand profiel niet aan bovenstaande eisen voldoet, dienen er wijzigingen aan het profiel aangebracht te worden. Bijvoorbeeld een berm met een werkelijke helling van 1:12 moet hetzij als een flauw talud 1:8, hetzij flauwer dan 1:15 gemodelleerd worden. Hierbij is altijd van een wijziging uitgegaan die als conservatief beschouwd kan worden.

In HYDRA_M berekeningen speelt de feitelijk opgegeven buitenkruinlijnhoogte geen rol. Het is wat betreft benodigde kruinhoogte mogelijk dat een berekend golfoploop- of overslagniveau boven de dijk uitkomt. In zo'n geval wordt de buitenkruinlijnhoogte verplaatst naar een zeer hoog niveau. Bij deze verplaatsing wordt de steilheid van het laatste profieldeel aangehouden en het profieldeel doorgetrokken. Om te voorkomen dat een flauw boventaluddeel de berekende kruinhoogte zou onderschatten als gevolg van een langer oplooptraject, is door WL de eis gesteld dat het bovenste taluddeel steiler moet zijn dan 1:4.

4.2 Model uitvoer

De lay-out van de uitvoerfile van HYDRA_M is eveneens gewijzigd ten opzichte van de uitvoerfile zoals gegeven in rapport *fase 1c* (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997c). Een voorbeeld van een uitvoerfile is gegeven in Appendix B.

In de uitvoerfile wordt eerst de gebruikte invoer herhaald. Vervolgens worden in tabelvorm de overschrijdingsfrequenties gegeven voor verschillende terugkeertijden met het hydraulisch belastingniveau, of benodigde kruinhoogte. In de tweede tabel worden de berekende frequenties gegeven. Deze tabel kan gebruikt worden om grafieken te maken.

Uit de tabel met berekende frequenties kan bij een gekozen normfrequentie de benodigde kruinhoogte bepaald worden. In de gewijzigde uitvoerfiles wordt bij de opgegeven normfrequentie de benodigde kruinhoogte onder de tabel herhaald.

Eveneens is een tabel toegevoegd met gegevens per windrichting waarvoor de benodigde kruinhoogte geldt. De combinatie windrichting, -snelheid en meerpeil met de hoogste frequentie van voorkomen, oftewel het ontwerppunt, is onder deze tabel opnieuw weergegeven.

Tenslotte wordt er een tabel gegeven met de bijdrage aan de overschrijdingsfrequentie per windrichting. Een sommatie van de frequentiebijdragen dient overeen te komen met de normfrequentie.

4.3 Voorbeeld berekening

Om meer inzicht te krijgen in de wijze waarop de benodigde dijkhoogte is bepaald, zal hieronder de berekening, welke beschreven staat in de gegeven uitvoerfile (Appendix B), opnieuw worden doorlopen.

Er is gekozen voor een dijklocatie langs de Noord-Hollandse Markermeerkust (dijkkringgebied 13) met code d18a-138, waarvan uiteindelijk zal blijken dat deze qua hoogte niet voldoet. Voor dijkkringgebied 13 geldt een normfrequentie van 1/10.000 jaar (zie Tabel 3.1). De werkelijke dijkhoogte is 3.43 m +NAP.

Uit peilingen en lodingen blijkt dat er sprake is van een oplopend bodemprofiel tussen het uitvoerpunt en de teen van de dijk. Dit bodemverloop is opgenomen in de bodemschematisatie van HYDRA_M als zijnde een *oplopend bodemprofiel*. Dit betekent dat in de berekening de hydraulische gegevens worden getransformeerd middels het 1D golfvoortplantingsmodel ENDEC.

Uit het berekende ontwerppunt volgt dat een zuidenwind (180°) met een snelheid van 19.65 m/s en een meerpeil van 0.50 m +NAP de hoogste bijdrage levert bij een

normfrequentie van 1/10.000 jaar aan het belastingniveau (zie Appendix B). De waterstands- en golfgegevens die bij dit ontwerppunt aan de teen van de dijk optreden (dus nadat ENDEC de hydraulische gegevens heeft getransformeerd), zijn hieronder weergegeven:

waterstand: $h = 0.80 \text{ m +NAP}$
 golfhoogte: $H_s = 1.25 \text{ m}$
 golfpiekperiode: $T_p = 5.36 \text{ s}$

De 2%-golfoploopniveau, zonder eventuele reducties, wordt vervolgens gegeven door:

$$\frac{z_{2\%}}{H_s} = 1.6 \cdot \xi_{op} \quad (4.1)$$

en

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_p^2}}} \quad (4.2)$$

waarin:

$z_{2\%}$ = golfoploopniveau dat door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (m)
 ξ_{op} = brekerparameter (-)
 H_s = significante golfhoogte voor de dijk (m)
 T_p = piekperiode van de golven voor de dijk (s)
 $\tan \alpha$ = gemiddelde taludhelling (-)

Om een controle berekening te maken van de golfoploop wordt een gemiddelde helling van het talud bepaald. De gemiddelde helling van het talud is ongeveer 1:3 ($\tan \alpha = 0.33$). Het grootste deel van de dijk bestaat uit *Noorse steen* met een relatief hoge ruwheid (code 3). De 2%-golfoploop zal hierdoor worden gereduceerd met een factor 0.85 (zie Tabel 3.2).

De golfoploop is nu eenvoudig te berekenen met bovenstaande formules en afschattingen. De brekerparameter geeft $\xi_{op} = 1.98$. Hieruit volgt de 2%-golfoploop; $z_{2\%} = 3.96 \text{ m}$. Gereduceerd voor de ruwheid komt de golfoploop op $z_{2\%} = 3.37 \text{ m}$. De benodigde dijkhoogte (waterstand plus 2%-golfoploopniveau) komt hiermee op 4.17 m +NAP. Deze waarde wijkt marginaal af van de waarde zoals gegeven in Appendix B (4.10 m +NAP) als gevolg van het feit dat deze controleberekening uitgevoerd is met een gemiddelde helling van het talud en een uniforme ruwheid. In de werkelijke berekening zal per taluddeel de helling en ruwheid beschouwd worden. Desondanks is dit een adequate methode om te controleren of de resultaten van de berekeningen kloppen.

Aangezien de benodigde kruinhoogte hoger is dan de buitenkruinlijnhoogte van 3.43 m +NAP, kan geconcludeerd worden dat bij het 2%-golfoploopcriterium, de hoge meerpeilstatistiek en de 1/10.000-normfrequentie, de dijk onvoldoende hoog is.

Tot slot nog de volgende opmerking. Uit het berekende ontwerppunt kan informatie worden verkregen met betrekking tot de maatgevende conditie. Dijklocaties die relatief beschermd liggen ten opzichte van de dominante windrichtingen hebben als maatgevende conditie het meerpeil. Dijklocaties met een lange strijklengte hebben als maatgevende conditie de wind

en de hieraan gerelateerde mate van golfaanval en opzet. Uit het ontwerppunt volgt in het eerste geval een relatief lage golfhoogte en een hoog meerpeil, en in het tweede geval een relatief hoge golfhoogte en een laag meerpeil. In het hierboven gegeven voorbeeld is geen dominante conditie aanwezig. Zowel het meerpeil als de windgolven spelen een rol bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte.

5 Resultaten dijkhoogte berekeningen

5.1 Algemeen

Voor alle locaties rondom het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer zijn berekeningen uitgevoerd met HYDRA_M om de benodigde dijkhoogten te berekenen. De wijze waarop de berekeningen zijn uitgevoerd is beschreven in §2.2.2. In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd en nader toegelicht. Achtereenvolgens zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

- a) 2%-golfoploop met de hoge meerpeilstatistiek voor alle dijklocaties. Dit is de uitgangssituatie (huidige situatie met klimaatscenario);
- b) 2%-golfoploop met de lage meerpeilstatistiek voor de dijklocaties die bij a) niet voldoen. Dit geeft de invloed van het meest gunstige scenario weer ten opzichte van de huidige situatie. Dit gunstigste scenario houdt in: dubbel spuien bij de Afsluitdijk of het “dicht houden” van de Houtribdijk bij extreme hoge meerpeilen op het IJsselmeer.
- c) 1 l/s per m golfoverslaghoogte met de hoge meerpeilstatistiek voor de dijklocaties die bij a) niet voldoen. Dit criterium geeft in het algemeen iets lagere kruinhoogten dan het 2%-golfoploopcriterium, terwijl aan de binnenzijde van het talud nog geen hoge eisen hoeven te worden gesteld;
- d) bepaling van het overslagdebiet (l/s per m) bij de bestaande situatie met hoge meerpeilstatistiek voor de dijklocaties die onder c) niet voldoen.

De resultaten van bovenstaande berekeningen zijn gegeven in respectievelijk de tabellen 5.1 t/m 5.4. In deze tabellen staan van links naar rechts de volgende gegevens:

- invoergegevens (dijkcode en aanwezige kruinhoogte) van de vorige Markermeerstudie (RIZA 1991) alsmede het berekende golfoplooppniveau en bij onvoldoende hoogte het overslagdebiet (l/s per m). Dijklocaties met een hoger overslagdebiet dan 1 l/s per m werden gedefinieerd als zijnde onvoldoende hoog, wat aangegeven is met een asterisk;
- beschrijving van het profiel en het dijkvak waarvoor dit profiel representatief is gesteld: naam, dijkcode, begin- en eindpunt, lengte en richting;
- de code en diepte horende bij het uitvoerpunt dat uit het DMS is gehaald;
- de aanwezige kruinhoogte en buitenkruinlijnhoogte;
- het toetscriterium en de berekende benodigde kruinhoogte (waterstand, waterstand plus 2%-golfoplooppniveau of waterstand plus 1 l/s per m golfoverslagniveau). Indien *waterstand* het toetscriterium is óf de golfoploop kleiner is dan 0.50 m (benodigde kruinhoogte - waterstand < 0.50 m), dient er een waakhoogte van 0.50 m in acht genomen te worden. Dit is aangegeven met +0.5. Wederom is een asterisk weergegeven indien de aanwezige buitenkruinlijnhoogte overschreden wordt door de berekende kruinhoogte;
- het bij de berekende kruinhoogte horende ontwerppunt (combinatie windsnelheid, windrichting en meerpeil die de hoogste bijdrage levert aan het toetscriterium) en de hieraan gerelateerde golfgegevens aan de teen van de dijk.

In de volgende paragrafen worden de resultaten van de kruinhoogteberekeningen per dijkkring beschreven.

5.2 Dijkringgebied 8

De in deze studie beschouwde dijken van dijkringgebied 8 (Heemraadschap Fleverwaard) zijn gelegen aan het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer. De totale lengte van de dijken is 58.2 km en de normfrequentie is 1/4.000 jaar.

In de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) bleek dat 20 van de 27 dijkvakken onvoldoende hoog waren, zowel wat betreft het 2%-golfoploop- als het 10 l/s per m overslagcriterium. In de huidige studie blijkt dat alleen het noordelijke deel van de Oostvaardersdijk (Blocq van Kuffeler tot aan de Houtribsluizen) niet voldoet wat betreft de benodigde kruinhoogte.

Sinds de vorige Markermeerstudie zijn de dijken aan het Eemmeer en de Oostvaardersdijk ten westen van de Blocq van Kuffeler opgehoogd middels een tuimeldijk en voor de Oostvaardersdijk, gelegen aan het Markermeer, zijn verbeterings-werkzaamheden gepland.

De ligging en oriëntatie van de dijklocaties zijn weergegeven in de Figuren 3.12 t/m 3.18. Met de klok mee zullen de resultaten vanaf Nijkerkersluis tot aan de Houtribsluizen besproken worden. De resultaten van de 2%-golfoploopberekeningen met de hoge meerpeilstatistiek zijn gegeven in Tabel 5.1.a.

2%-golfoploop in huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Vanaf Nijkerkersluis tot aan de Laakse hoek (d8-312 t/m d8-266) ligt er een ondiep voorland voor de dijk. Buiten het feit dat de strijklengte horende bij deze locaties relatief kort is, zullen nagenoeg alle golven breken op het voorland. De significante golfhoogte van het ontwerp punt is dan ook nihil. De waterstand geeft echter wel hoge waarden. Dit betekent dat de dijken het meest belast worden door de opzet als gevolg van extreme storm situaties uit westnoordwestelijke richting (300°).

Ten opzichte van de vorige Markermeerstudie zullen de dijken nu wel voldoen als gevolg van de tuimeldijk, maar ook als gevolg van het feit dat in het Gooi- en Eemmeer de maatgevende waterstand in de huidige studie aanzienlijk lager is dan in de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991). De verschillen bedragen bijna 1 m bij Nijkerk en nemen af naar de Hollandse Brug. Op het Markermeer zijn de verschillen gering. Het gevolg van de lagere waterstanden is dat de dijken van het Gooi- en Eemmeer in de huidige studie overal voldoen, terwijl in de vorige studie deze dijken over een aanzienlijke afstand niet voldeden wat betreft de benodigde kruinhoogte. Gezien het feit dat het verschil in waterstand op het Gooi- en Eemmeer grote consequenties heeft voor de kosten van dijkverbetering, zijn de verschillen tussen de twee studies nader geanalyseerd en gekwantificeerd.

De verschillen in de maatgevende waterstand in het Gooi- en Eemmeer tussen de twee studies kunnen worden verklaard aan de hand van de volgende drie aspecten:

- de gehanteerde methode ter bepaling van de maatgevende kruinhoogte, met name het gehanteerde meerpeil;
- de wijze waarop de aandrijvende krachten (windvelden) voor de waterbewegingsmodellen zijn beschreven;
- de toegepaste waterbewegingsmodellen (parameters, schematisaties).

De bijdragen van deze aspecten aan het verschil in opzet nabij Nijkerk zijn respectievelijk circa 0.4 m, 0.3 m en 0.3 m. De belangrijkste bijdragen aan het verschil in opzet nabij Nijkerk zijn het directe effect van een lager toegepast meerpeil, het gebruik van een ruimtelijk variabel windveld en het rekenen met een fijnmaziger rekengrid en een meer gedetailleerde bodem in het Gooi- en Eemmeer.

In Appendix C wordt het verschil in opzet in het Gooi- en Eemmeer tussen de twee modellen in detail verklaard.

De Eemmeerdijk (d8-251 t/m d8-206) kent hogere significante golfhoogten dan het oostelijke deel van het Eemmeer. Uit de berekeningen volgt dat de strijkgolven uit west-noordwestelijke richting (300°) meer belastend zijn voor deze dijklocaties dan lokaal opgewekte golven loodrecht op de dijk ($\sim 210^\circ$).

De dijken aan het Gooimeer (d8-170 t/m d8-80) worden door verschillende condities belast. De meest oostelijk gelegen locatie d8-170 wordt belast door een relatief hoge significante golfhoogte ($H_s = 1.34$ m) uit westnoordwestelijke richting (300°). Het berekende 2%-golfoplooppniveau is min of meer gelijk aan de aanwezige buitenkruinlijnhoogte. De locatie d8-142 heeft een kortere strijklengte dan locatie d8-170 wat tot gevolg heeft dat de significante golfhoogte en hiermee de benodigde kruinhoogte afneemt. Bij locatie d8-80 gaat het meerpeil een maatgevende rol spelen. De significante golfhoogte van $H_s = 0.42$ m is te verwachten bij een oostenwind met snelheden van 17 m/s en de aanwezige strijklengte.

Ten noorden van de Hollandse Brug ligt een dijklocatie (d8-58) met een zandstrand. Dit zandstrand kan beschouwd worden als een ondiep voorland en is als zodanig meegenomen in de berekeningen. Aangezien de teen van de dijk op een hoogte van 1.70 m +NAP ligt, kent de dijk geen golfaanval en is volledig meerpeil bepaald.

De aan het IJmeer gelegen zuidelijke en westelijke Oostvaardersdijk (d8-36 t/m d8-7) wordt belast door windgolven komende uit noordnoordwestelijke richting (330°) en zijn opgewekt over een strijklengte van 5 km. De locaties d8-19 en d8-7 hebben een berekende kruinhoogte die hoger is dan de aanwezige buitenkruinlijnhoogte en lager dan de aanwezige kruinhoogte.

In de Pampushaven liggen twee locaties (d8-N253 en d8-N239) met een strekdam voor de dijk. In de berekeningen is het gedeelte tussen de teen van de dijk en de strekdam niet gemodelleerd. De dam heeft een hoogte van 1.50 m +NAP. De piekperiode T_p is min of meer gelijk aan de piekperiodes van ernaast gelegen locaties ondanks het feit dat er een dam in het profiel is opgenomen. De reden hiervoor is dat in de golftransmissiemodule de piekperiode voor en na de dam gelijk wordt gehouden en alleen de significante golfhoogte afneemt. Als gevolg hiervan wordt de golfoploop (door de ontstane lagere golfsteilheid, dus grotere brekerpararmeter) ongeveer drie maal de significante golfhoogte (zie formules 4.1 en 4.2) en dit is aanzienlijk. Het is mogelijk dat over het traject tussen de dam en de dijk de golven zich "herverdelen" en dat in werkelijkheid de golfperiode kleiner wordt en daarmee ook de golfoploop.

De Oostvaardersdijk ten westen van de Blocq van Kuffeler (d8-N217) is, ten opzichte van de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991), opgehoogd middels een tuimeldijk. De hoogte van de dijk inclusief de tuimeldijk is nu 3.53 m +NAP. In de berekening is eveneens een tuimeldijk opgenomen. De tuimeldijk staat achter op de dijk, op een afstand van ongeveer 12.80 m van de buitenkruinlijn. Aangezien deze afstand groter is dan een kwart van de golflooplengte L_{op} (bij benadering circa 7.5 m) zal binnen HYDRA_M het 1D golfvoortplantingsmodel ENDEC aangeropen worden (zie §3.4). De nu berekende benodigde kruinhoogte is 3.30 m +NAP, wat betekent dat de dijk voldoet wat betreft het 2%-golfloopcriterium. De benodigde kruinhoogte wordt volledig door de extreme windcondities bepaald.

De Blocq van Kuffeler is verdeeld in drie dijkvakken. De locaties d8-N195 en d8-N188 zijn gemodelleerd met een dam, de locatie d8-N180 is gemodelleerd zonder dam. Aangezien de locatie d8-N180 hierdoor bloot staat aan golfaanval vanuit het Markermeer, voldoet deze wat betreft het 2%-golfloopcriterium niet. Nader 2D onderzoek (refractie, diffractie-effecten) zou moeten uitwijzen of dit inderdaad het geval is.

De Oostvaardersdijk-Midden (d8-N130) is het langste dijkvak in deze studie (11 km). Het was bekend dat dit traject te laag was en dit wordt bevestigd in deze studie. De plannen voor ophoging middels een tuimeldijk en/of integrale ophoging zijn aanwezig. De berekende benodigde kruinhoogte volgens het 2%-golfloopcriterium is 3.30 m +NAP. Bij deze berekening is de afstand van de buitenkruinlijn tot aan de tuimeldijk gesteld op 12.50 m. De huidige kruinhoogte is 2.77 m +NAP.

De locaties d8-N55, d8-N36 en d8-N5 nabij Lelystad kennen min of meer gelijke maatgevende waterstanden en golfhoogten ondanks de verschillende oriëntatie van de profielen en de ligging van een dam voor de profielen d8-N36 en d8-N5. De bepalende windrichting hierbij is 270°.

2%-golfloop bij gunstigste scenario (lage meerpeilstatistiek)

Voor de locaties die volgens het 2%-golfloopcriterium met de hoge meerpeilstatistiek niet voldeden, zijn dezelfde berekeningen verricht maar nu met het meest gunstige scenario: de lage meerpeilstatistiek. De resultaten van deze berekeningen zijn gegeven in Tabel 5.2.

De locaties d8-170 en d8-7 voldoen in dit geval wel volgens het 2%-golfloopcriterium. De berekende kruinhoogte van locatie d8-19 ligt in dit geval tussen de aanwezige buitenkruinlijnhoogte en kruinhoogte.

De overige locaties die bij de lage meerpeilstatistiek net als bij de hoge meerpeilstatistiek niet voldoen, betreft de Oostvaardersdijk ten noordoosten van de Blocq van Kuffeler. De afname van de benodigde kruinhoogte varieert van circa 0.5 m voor locatie d8-N180 tot circa 0.2 m voor de locaties nabij Lelystad.

Het meerpeil speelt bij geen van de dijklocaties een rol van betekenis bij het bepalen van de benodigde dijkhoogten. Alle waarden in het ontwerp punt zijn ongeveer gelijk aan het streefpeil (0.40 m -NAP).

I l/s-golfoverslag in de huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Voor de locaties die volgens het 2%-golfoploopcriterium met de hoge meerpeilstatistiek (huidige situatie) niet voldoen, is de benodigde dijkhoogte bij het 1 l/s per m golfoverslagcriterium berekend. De resultaten van deze berekeningen staan in Tabel 5.3. In dit geval voldoen alle dijken, behalve de Oostvaardersdijk ten noordoosten van de Blocq van Kuffeler met inbegrip van locatie d8-n180.

5.3 Dijkringgebied 13

Dijkringgebied 13 (USHN) bevat 102 van de 152 dijkvakken met een totale lengte van 68.3 km. De dijken zijn 'oude' zeedijken en zijn hier en daar bekleed met *Noorse steen* wat momenteel gezien wordt als een nationaal monument. Op sommige plaatsen is er bebouwing achter de dijk. Het zal blijken dat met name op deze plaatsen de benodigde kruinhoogte de aanwezige kruinhoogte nadert of overschrijdt.

Door het Hoogheemraadschap USHN zijn recente profielen toegeleverd en deze zijn gebruikt in de berekeningen. Dit betekent dat voor nagenoeg alle dijklocaties recente profielen gebruikt konden worden.

In de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) bleek dat 32 van de 90 dijkvakken (34%) een onvoldoende kruinhoogte hadden, uitgaande van het 2%-golfoploopcriterium en een normfrequentie van 1/10.000 jaar. In totaal betekent dit ongeveer een lengte van 23 km. Uitgaande van het 10 l/s overslagcriterium bleek dat er slechts twee dijkvakken onvoldoende hoog waren. In de huidige studie zijn dit de vakken d18a-106 en d18a-138.

De ligging en oriëntatie van de dijklocaties zijn weergegeven in de Figuren 3.6 t/m 3.11. De berekeningen zullen beschreven worden van noord naar zuid, beginnende bij Enkhuizen en eindigend bij Amsterdam. De resultaten zijn gegeven in Tabel 5.1.b.

2%-golfoploop in huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Het profiel van de meest noordelijk gelegen dijklocatie van dijkringgebied 13, d18b-17, kent naast een dam op ongeveer 1 km afstand van de hoofdwaterkering, een bebouwd voorland. Aan de hand van deze kenmerken kan aangenomen worden dat de hoofdwaterkering geen golfaanval zal ondervinden. Daarom is gekozen de berekeningen uit te voeren met het criterium *waterstand*. Het belastingniveau, bij een normfrequentie van 1/10.000 jaar, is bij dit criterium 1.50 m +NAP. Inachtneming van een waakhoogte van 0.50 m toont aan dat de dijk voldoende hoog is.

De locaties d18b-23, d18b-26 en d18b-33 hebben dezelfde oriëntatie ten opzichte van het Markermeer. Uit de berekeningen volgt dat deze locaties 'wind' bepaald zijn. De laatste twee locaties zijn gemodelleerd met een ondiep voorland. Hierdoor is de significante golfhoogte aanzienlijk lager aan de teen van de dijk dan bij de locatie d18b-23 waar geen voorland aanwezig is. Het boventaluddeel van profiel d18b-23 is steiler gemaakt (van 1:6 naar 1:4) ten opzichte van het oorspronkelijke profiel om onderschatting van de berekende kruinhoogte te voorkomen (zie §4.1).

De locaties d18b-41 t/m d18b-61 worden volledig meerpeil bepaald. Dit is het gevolg van de oostelijke oriëntatie van deze dijklocaties. Voor de dijken van de locaties d18b-53, d18b-56 en d18b-61 ligt een ondiep voorland. Aangezien bij locatie d18b-61 het verschil

tussen waterstand en de benodigde kruinhoogte kleiner is dan 0.50 m, dient hier een waakhogte van 0.50 m in acht genomen te worden. In de tabel is dit aangegeven met +0.5.

Locaties d18b-70 en d18b-90 liggen zuidoostelijk georiënteerd en zijn hiermee meteen wind bepaald. Bij deze locaties loopt vanaf het uitvoerpunt tot aan de teen van de dijk het bodemprofiel geleidelijk op (1:100). Bij locatie d18b-70 ligt de teen van de dijk op een diepte van 1.40 m -NAP. Om de gevoeligheid van dit oplopend bodemprofiel te bepalen, is ook een berekening uitgevoerd zonder 'diep' voorland. De benodigde kruinhoogte ligt in het laatste geval slechts 0.16 m hoger. Uitgaande van het criterium 2%-golfoploop en de hoge meerpeilstatistiek, voldoen beide dijken qua hoogte niet.

De dijk ten zuiden van Oosterleek (d18a-106), die in de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) als onvoldoende hoog geclassificeerd was met betrekking tot alle criteria, voldoet volgens het 2%-golfoploopcriterium met de hoge meerpeilstatistiek in deze studie net niet. Het verschil tussen de berekende kruinhoogte en de aanwezige buitenkruinlijnhoogte is echter maar 0.22 m. In de vorige studie was dit 2.21 m. Na bestudering van de peilingen en lodingen bleek er een significant hoogteverschil tussen het uitvoerpunt en de teen van de dijk te zijn van 1.60 m. Dit hoogteverschil is als oplopend bodemprofiel geschematiseerd in de berekening. Het effect van dit oplopend bodemprofiel is een relatief lage significante golfhoogte aan de teen van de dijk, waardoor de invloed van het meerpeil op de benodigde kruinhoogte toeneemt, maar de benodigde kruinhoogte afneemt.

Locatie d18a-126 heeft een voorland van ongeveer 50 m lengte. De meer zuidelijk gelegen locatie d18a-132, heeft dezelfde oriëntatie, maar geen voorland. Het verschil in benodigde kruinhoogte is 0.80 m volgens het 2%-golfoploopcriterium met de hoge meerpeilstatistiek.

Uit de berekeningen volgt dat de locaties d18a-132 tot en met d18a-159 'wind' bepaald zijn. In Tabel 5.1.b is dit te zien aan de relatief hoge windsnelheden (~ 20 m/s) uit zuidelijke richting, waarbij relatief hoge significante golfhoogten bij relatief lage waterstanden optreden.

Dijklocatie d18a-138, welke als voorbeeld is opgenomen in dit rapport, heeft een overwegend zuidelijke oriëntatie. Het bodemprofiel loopt op van 4.00 m -NAP tot 1.70 m -NAP, en is als zodanig gemodelleerd (zie Appendix A en B).

De locatie d18a-166 is eveneens 'wind' bepaald, maar door de aanwezigheid van een ondiep voorland, is de significante golfhoogte aan de teen van de dijk lager dan bij de locaties d18a-132 tot en met d18a-159.

De locaties d18a-171, d18a-175 en d18a-185 worden gekenmerkt door een ondiep voorland. Bij de locatie d18a-185 is de lengte van dit voorland ongeveer 500 m, met aan het uiteinde nog een zomerdijk van ongeveer 0.80 m +NAP. In de berekeningen is een voorland met een helling van 1:100 gemodelleerd, beginnende op 0.37 m +NAP. Gezien de lengte van het voorland en de aanwezigheid van een zomerdijk is de berekening conservatief te noemen.

In de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) voldeed locatie d181-200 (Munnikay) niet. De benodigde kruinhoogte zou 0.60 m hoger zijn dan de aanwezige kruinhoogte. In onderhavige studie voldoet deze locatie echter wel. De reden hiervoor is de wijze waarop de benodigde kruinhoogte bepaald wordt. In de vorige Markermeerstudie is de M&W methode gehanteerd. Deze methode komt neer op het berekenen van de hydraulische situatie voor twee extreme combinaties van meerpeil (M) en windsterkte (W), waarbij alle windrichtingen worden beschouwd (RIZA, 1991). In onderhavige studie is de benodigde

kruihoogte echter op een meer probabilistische wijze bepaald. Hierin worden allerlei situaties van meerpeilen, waterstanden en golven die op kunnen treden vertaald naar kansen van optreden van bepaalde hydraulische belastingniveaus op de dijken (zie §2.2.2). Ten gevolge van deze meer gedetailleerde aanpak (in plaats van twee geschematiseerde extreme combinaties worden nu alle combinaties beschouwd), voldoet locatie d18a-200 in deze berekeningen wel.

De laatste 3 locaties van dijk 18a (d18a-207, d18a-211 en d18a-216) liggen aan de oostzijde van Hoorn. Locatie d18a-207 is gemodelleerd met een dam, de andere twee locaties met een voorland.

Ten westen van het centrum van Hoorn ligt locatie d20-11. Deze locatie kent een ondiep voorland, waarbij de teen van de dijk op een hoogte van 1.69 m +NAP ligt. Als gevolg van deze hoge ligging, ondervindt de dijk geen golfaanval vanaf het Markermeer. Aangezien het verschil tussen waterstand en de benodigde kruihoogte kleiner is dan 0.50 m, dient hier een waakhoogte van 0.50 m in acht genomen te worden.

De dijken van locaties d20-19 en d20-32 liggen direct aan het Markermeer en voor de woonwijk 'de Grote Waal' van gemeente Hoorn. De dijkprofielen van d20-19 en d20-32 hebben een relatief steil profiel met een, ten opzichte van de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991), hoge ruwheid. Bij een meerpeil van ongeveer 0.50 m +NAP ondervinden deze locaties directe golfaanval vanuit het Markermeer bij een zuidzuidoostelijke wind, waardoor de benodigde kruihoogten respectievelijk 3.29 m en 3.65 m worden. Aangezien deze waarden de aanwezige kruihoogten overschrijden, zullen deze twee dijkvakken wat betreft het 2%-golfloopcriterium bij de hoge meerpeilstatistiek niet voldoen.

Als gevolg van een ondiep voorland bij locatie d20-43, is deze locatie meerpeil bepaald met een lage significante golfhoogte. Dit is eveneens het geval bij de locaties d21-70 en d21-77. Bij deze locaties is echter de zomerdijk niet gemodelleerd, waardoor de benodigde kruihoogte conservatief berekend is. Locatie d20-60 heeft een oostelijke oriëntatie met een oplopend bodemprofiel.

Locaties d22-10 tot en met d23-27 liggen in de polder *de Oosterkoog*. In de berekeningen zijn deze locaties gemodelleerd met een ondiep voorland (1:100) zonder zomerdijk. Als gevolg van dit voorland zijn de significante golfhoogten aan de teen van de dijk laag en zullen deze locaties wat betreft de benodigde dijkhoogte voldoen.

Voor de dijken van locaties d23-32 tot en met d24-13 liggen afwisselend wel of geen ondiepe voorlanden. Indien er geen voorland voor de dijk ligt is de significante golfhoogte hoger aan de teen van de dijk dan als er wel een voorland ligt. Aangezien de benodigde kruihoogten bij locaties zonder voorland net als bij locaties met voorland meerpeil bepaald zijn, is het verschil in de benodigde kruihoogte tussen dijken met en zonder voorland in dit traject ongeveer gelijk aan de significante golfhoogte aan de teen van de dijk, welke ongeveer 0.50 m is. Voor dit traject voldoen alle dijken. Aangezien het verschil tussen de waterstand en de 2%-golf-oploophoogte voor de locatie d23-110 lager is dan 0.50 m dient er een waakhoogte van 0.50 m in acht genomen te worden.

Bij Volendam liggen twee dijklocaties, d24-22 en d24-28, die wat betreft het 2%-golfoploophoogniveau in zowel de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) als in de huidige studie met de hoge meerpeilstatistiek niet voldoen. In de huidige studie worden echter de benodigde kruihoogten respectievelijk 0.65 m en 1.0 m lager berekend. De waarden van de berekende kruihoogten zijn van dezelfde orde grootte als bij meer noordelijk gelegen

locaties (zonder voorlanden), de hoogte van de dijken is ongeveer 0.80 m lager dan naastgelegen locaties. Dit is de reden dat de dijken qua hoogte niet voldoen voor het criterium 2%-golfoploop met de hoge meerpeilstatistiek.

Ook de dijken van de locaties d24-43 en d25-5 zijn relatief laag ten opzichte van naastgelegen dijken, hier ligt echter een ondiep voorland voor de dijken. Hierdoor zijn de benodigde dijkhoogten lager.

De locaties d25-14 tot en met d25-26 hebben een gelijke oriëntatie ten opzichte van het Markermeer, hebben allen een beschutte ligging ten gevolge van het eiland Marken en hebben afwisselend wel of geen voorland. In Tabel 5.1.b is in het ontwerppunt duidelijk deze afwisseling te onderscheiden. Daar waar een voorland gemodelleerd is, zijn in het ontwerppunt de windsnelheden laag en het meerpeil relatief hoog. Waar geen voorland ligt speelt de wind een grotere rol en is het meerpeil relatief laag.

De locaties d25-29 tot en met d25-51 liggen zuidelijk georiënteerd en zijn volledig meerpeil bepaald. De laatste twee locaties hebben een ondiep voorland. Gezien het feit dat de golfhoogtes al laag zijn door de beschutte ligging van deze dijklocaties, is het effect van het voorland op de benodigde dijkhoogte gering. Aangezien het verschil tussen de waterstand en de 2%-golfoploophoogte voor de locatie d25-47 lager is dan 0.50 m dient er een waakhoogte van 0.50 m in acht genomen te worden.

Dijk 27 kent over zijn totale lengte, van Monnickendam tot aan de dijk naar Marken, afwisselende stukken met voorland. Het profiel van de tweede dijklocatie, d27-12, ligt over *Het Hemmeland* en is gemodelleerd als een ondiep voorland (1:100) zonder zomerdijk. Aangezien het verschil tussen de waterstand en de 2%-golfoploophoogte lager is dan 0.5 m dient er een waakhoogte van 0.5 m in acht genomen te worden. De benodigde kruinhoogte wordt dan 1.78 m +NAP. In dit geval kan de dijk als voldoende hoog beschouwd worden. Ook bij locatie d27-9 is het verschil tussen de waterstand en de 2%-golfoploophoogte lager dan 0.50 m en bij inachtnaam van de waakhoogte zal ook dit dijkvak voldoen wat betreft de hoogte.

Voor de locatie d28-55 is de berekening uitgevoerd voor het criterium *waterstand*. Redelijkerwijs kan er vanuit worden gegaan dat, als gevolg van de ligging van de polder *De Nes* en een voor de dijk gelegen strekdam, in storm situaties de dijk geen golfaanval kent. Voor profiel d28-62 is wel een voorland gemodelleerd. Beide dijken voldoen qua hoogte.

De dijken met locaties d28-73 tot en met d28-82 bij Uitdam zijn deels bebouwd en liggen direct aan het Markermeer. Uitgaande van het ontwerppunt zal bij een oostnoordoosten wind (18 m/s) en een meerpeil van circa 0.40 m +NAP de dijken het zwaarst belast worden. Bij deze condities zal, behalve bij locatie d28-73, volgens het 2%-golfoploopcriterium en de hoge meerpeilstatistiek de hoogte van de dijken niet voldoen.

De dijklocaties d28-85 tot en met d28-125 laten in het ontwerppunt duidelijk de consequenties zien van een veranderende oriëntatie van de dijkprofielen. Van noord naar zuid verandert de oriëntatie van zuidzuidwest naar oostzuidoost. Van noord naar zuid betekent dit voor het ontwerppunt een afnemende invloed van het meerpeil, en een toenemende invloed van de wind (significante golfhoogte). De toenemende invloed van de wind op de belasting van de dijken betekent een hogere benodigde kruinhoogte. Uit de berekeningen volgt dat de locaties d28-95 tot en met d28-125 volgens de hier gebruikte criteria niet voldoen.

De oostelijk georiënteerde locatie d28-136 ondervindt nog een aanzienlijke belasting vanuit het Markermeer bij een oostelijke wind. De significante golfhoogte aan de teen van de dijk is ruim 1 m. Bij deze condities zal de dijk net niet voldoen.

De laatste dijklocaties van dijkkringgebied 13 zijn, hetzij als gevolg van een ondiep voorland (*Polder IJdoorn*), hetzij als gevolg van de beschutte ligging in het *Buiten-IJ*, allen meerpeil bepaald. Aangezien bij de laatste twee locaties het verschil tussen waterstand en de berekende kruinhoogte kleiner is dan 0.50 m, dient hier een waakhoogte van 0.50 m in acht genomen te worden. Bij locatie d30-166 is zelfs sprake van afwaaiing, daar het meerpeil hoger is dan de waterstand.

2%-golfoploop bij gunstigste scenario (lage meerpeilstatistiek)

Volgens de 2%-golfoploop berekeningen met de hoge meerpeilstatistiek, voldoet een aantal dijken wat betreft dijkhoogte niet. Voor deze locaties zijn dezelfde berekeningen opnieuw uitgevoerd maar nu met de lage meerpeilstatistiek (meest gunstige scenario). De resultaten van deze berekeningen gegeven in Tabel 5.2.

Opvallend is dat bij de hoge meerpeilstatistiek de meest noordelijk gelegen locaties die niet voldoen, locaties d18b-70 en d18b-91, wind bepaald zijn. Dit in tegenstelling tot vrijwel alle andere locaties van dijkkringgebied 13, die meerpeil bepaald zijn. Bij berekeningen met de lage meerpeilstatistiek wordt min of meer dezelfde waarde voor de benodigde dijkhoogte berekend en verandert het ontwerppunt nauwelijks.

De locaties d18a-106, d18a-138, d20-19 en d20-32 waren bij de berekeningen met de hoge meerpeilstatistiek meerpeil bepaald. Bij de berekeningen met de lage meerpeilstatistiek neemt de wind de bepalende rol wat betreft de belasting op de dijken over. De wind die hier bepalend is komt uit zuidelijke richting. Ondanks het feit dat de wind de rol van bepalende factor op de belasting van de dijken overneemt en hiermee het ontwerppunt wijzigt, wordt min of meer dezelfde benodigde kruinhoogte berekend. De berekende kruinhoogte van locatie d20-32 blijft bij de berekeningen met de lage meerpeilstatistiek boven het niveau van de aanwezige kruin- en buitenkruinlijnhoogte.

Vanaf Volendam, met de locaties d24-22 en d24-28, die niet bij de berekeningen met de hoge meerpeilstatistiek voldeden, is iets anders aan de hand. Als gevolg van de relatief zuidelijke ligging ten opzichte van het Markermeer, kan de 'wind' het niet overnemen als bepalende factor van het 'meerpeil'. Hierdoor wordt bij de berekeningen met de lage meerpeilstatistiek een aanzienlijk lagere benodigde kruinhoogte berekend.

Bij de overige dijklocaties wordt eveneens de rol van het meerpeil vermindert en is de relatief zwakke oostenwind bepalend voor de berekening van de benodigde kruinhoogte.

I l/s-golfoverslag in de huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Tevens is voor de locaties die volgens het 2%-golfoploopcriterium met de hoge meerpeilstatistiek niet voldeden, de 1 l/s per m golfoverslaghoogte berekend. De resultaten van deze berekeningen staan in Tabel 5.3. De locaties d18a-138, d20-19 en d20-32 voldoen niet voor het criterium 1 l/s per m. Voor deze locaties is iteratief bepaald hoe groot bij de huidige kruinhoogte van de dijken het overslagdebiet is. De resultaten van deze berekeningen staan vermeld in Tabel 5.4. Het overslagdebiet is bij alle drie de dijkvakken minder dan

10 l/s per m, in twee van de gevallen zelfs maar nauwelijks groter dan de 1 l/s per m (1.7 en 2.0 l/s per m).

5.4 Dijkringgebied 44

Dijkringgebied 44 is ingedeeld in 13 dijkvakken met een totale lengte van 13.8 km. Het gedeelte ten westen van het PEN-eiland is niet meegenomen in de berekeningen vanwege de toekomstige bouw van IJburg.

In de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) was berekend dat alle dijken, uitgaande van het 2%-golfoploopcriterium en een normfrequentie van 1/1.250 jaar, voldoende hoog waren.

Ook in deze studie is gerekend met een normfrequentie van 1/1.250 jaar. De dijken zullen van west naar oost beschreven worden. De ligging en oriëntatie van de dijklocaties zijn weergegeven in de Figuren 3.11 en 3.12. De resultaten van de berekeningen staan in Tabel 5.1.c.

2%-golfoploop in huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Voor de hoofdwaterkering van locatie 202c-1 ligt het PEN-eiland. Gezien de omvang van het PEN-eiland is niet het 2%-golfoplooppniveau berekend, maar de waterstand bij een normfrequentie van 1/1.250 jaar.

De dijkprofielen van locaties 202c-4b en 202c-5 lopen beide door tot 2.40 m -NAP. Voor de teen van beide dijken ligt een oplopend bodemprofiel. Het effect van dit oplopend bodemprofiel is, als gevolg van zijn diepe ligging, gering op de afname van de significante golfhoogte. Beide locaties, alsmede locatie 203c-1, zijn allen 'wind' bepaald.

Op ongeveer 1 km uit de kust van locaties 203c-2a, 203c-2b en 203c-3 liggen kleine eilanden, respectievelijk *De Drost*, *Warenar* en *Hooft*. De uitvoerpunten van het waterbewegings- en golfmodel liggen tussen de eilanden en de kust. Hierdoor hoeft in de HYDRA_M berekening geen dam gemodelleerd te worden. Uit de berekeningen blijkt dat het eiland *De Drost* geen beschuttend effect heeft op de dijk van locatie 203c-2a aangezien de maatgevende wind uit het noordnoordwesten komt. Als gevolg van deze maatgevende noordnoordwesten wind ligt locatie 203c-4a echter wel beschermt. Het feit dat de locaties beschermt liggen wat betreft golfaanval vanuit het IJmeer is in het ontwerp punt terug te zien aan een relatief hoge waarde voor het meerpeil.

Locatie 205x-1 is net als de hiervoor beschreven locaties meerpeil bepaald. Niet als gevolg van de beschutte ligging ten opzichte van het IJmeer, maar als gevolg van de oostelijke oriëntatie en het ondiepe voorland voor de dijk.

De locaties horende bij dijkringgebied 44 welke gelegen zijn in het Gooimeer, zijn allen 'wind' bepaald. Bij een harde noordnoordwesten wind ontstaat er over het gehele Markermeer en de Randmeren een verhang in het waterniveau met de hoogste opzet in het Gooi- en Eemmeer. Deze hoge opzet is in het ontwerp punt van de betreffende locaties te zien aan de waterstand.

Aangezien alle dijklocaties voldoen wat betreft de 2%-golfoploopberekeningen met de hoge meerpeilstatistiek, zijn er geen andere berekeningen uitgevoerd.

5.5 Dijkringgebied 45/46

De dijkringgebieden 45 en 46 zijn ingedeeld in 12 dijkvakken met een totale lengte van 28.2 km. Tussen Naarden en Huizen ligt een natuurlijke waterkering; namelijk een uitloper van de Utrechtse Heuvelrug. De dijken lopen vanaf Huizen tot aan Nijkerkersluis en zullen als zodanig beschreven worden. De dijken hebben een normfrequentie van 1/1.250 jaar.

Ten zuiden van de A1 loopt de primaire waterkering aan de noordzijde van de Eem tot ongeveer Hoogland (zie Figuur 2.1). Dit deel van de waterkering is net als in de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) niet meegenomen bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte. De reden hiervoor is onder andere gelegen in het feit dat dit deel van de primaire waterkering niet direct aan het Markermeer ligt, maar via een smalle doorgang onder de A1. Het is onduidelijk waarvandaan de grootste bedreiging van dit dijktraject te verwachten is: vanuit het Markermeer of vanuit de rivier de Eem zelf.

In de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) was berekend dat alle dijken ten oosten van de Eem, uitgaande van het 2%-golfoploopcriterium en een normfrequentie van 1/1.250 jaar, onvoldoende hoog waren.

De ligging en oriëntatie van de dijklocaties zijn weergegeven in de Figuren 3.13 en 3.14. De resultaten van de berekeningen staan in Tabel 5.1.d.

2%-golfoploop in huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Van de waterkeringen van de locaties 46-67 en 46-68 is weinig bekend, zowel bij het Waterschap als de gemeente waartoe deze waterkeringen behoren. De dijk loopt net ten oosten van een nieuw gebouwde woonwijk haaks op de kustlijn van het Gooimeer landinwaarts. Vervolgens maakt de dijk wederom een haakse bocht richting N27. De hoogte van de dijken is uit de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) gehaald. Gezien de landinwaartse ligging van deze waterkeringen, is alleen de waterstand berekend bij een normfrequentie van 1/1.250 jaar.

De Noord- en Zuidpolder te Veld en de Maatpolder vormen het gebied ten westen van de Eem en zijn buitendijks gebied. De primaire waterkering loopt dan ook langs Eemnes naar de A1 en via de Eemdijk weer naar het noorden (zie Figuur 3.13). Normaliter staat deze polder droog. Alleen als de Eemdijk aan de westzijde van de Eem of de Veendijk die de polder van het Eemmeer afschermt, doorbreekt of overloopt, dan stroomt de polder vol. Bepalend is hier dan opnieuw de waterstand (in het Eemmeer). Plaatselijk kunnen er golven ontstaan, maar deze zullen beperkt in hoogte zijn. Voor het genoemde gebied is de maatgevende waterstand in het Eemmeer genomen bij de monding van de Eem en daarbij is 0.5 m waakhogte opgeteld om de werkelijk benodigde dijkhoogte vast te stellen.

Locatie 45-73a voldoet wat betreft het criterium 2%-golfoploop met de hoge meerpeilstatistiek niet qua kruinhoogte. In deze berekening is echter conservatief gerekend door over de gehele lengte van het dijkvak van 450 m geen ondiep voorland mee te nemen. In werkelijkheid is echter over een tiental meters geen voorland aanwezig, voor het overige deel is er een kort voorland dat de benodigde kruinhoogte zal beperken.

Door de ligging van een relatief lang voorland voor de dijk van locatie 45-74, is hier de maatgevende waterstand berekend bij een aanname dat de hoogste golven voor de teen van de dijk gebroken zullen zijn in extreme stormsituaties als gevolg van het voorland.

De benodigde kruinhoogte van de locaties 45-75 en 45-76 worden volledig bepaald door de opzet van de waterstand in dit deel van het Eemmeer bij een noordwesten wind. Bij deze stormsituatie is de strijklengte ten opzichte van het gehele Markermeer en de Randmeren het grootst. Dit resulteert in hoge waterstanden in dit deel van het studiegebied.

2%-golfoploop bij gunstigste scenario (lage meerpeilstatistiek)

Volgens de 2%-golfoploopberekeningen met de hoge meerpeilstatistiek, voldoet locatie 45-73a wat betreft de kruinhoogte niet. Voor deze locatie is dezelfde berekening opnieuw uitgevoerd maar nu met de lage meerpeilstatistiek (meest gunstige scenario). Het resultaat van deze berekening is gegeven in Tabel 5.2.

Aangezien dit deel van het studiegebied volledig bepaald wordt door opzet als gevolg van de westnoordwestelijke wind, verandert er weinig aan het ontwerppunt (en dus aan de benodigde kruinhoogte).

1 l/s-golfoverslag in de huidige situatie (hoge meerpeilstatistiek)

Tevens is voor de locatie 45-73a, die volgens het 2%-golfoploopcriterium met de hoge meerpeilstatistiek niet voldeed, de benodigde hoogte berekend uitgaande van het 1 l/s per m golfoverslagcriterium. Het resultaat van deze berekening staat in Tabel 5.3. Locatie 45-73a voldoet wel voor het golfoverslagcriterium 1 l/s per m bij de hoge meerpeilstatistiek.

5.6 Conclusie kruinhoogteberekeningen

Indien alle criteria met betrekking tot het berekenen van de benodigde kruinhoogte in beschouwing worden genomen, blijkt dat voor een zeer beperkt aantal dijklocaties de benodigde kruinhoogte de aanwezige kruinhoogte overschrijdt. Om tot een conclusie te komen wat betreft de benodigde ophoging van de dijken die niet voldoen, zijn twee extreme scenario's in deze studie meegenomen. Allereerst het meest ongunstige scenario: 2%-golfoploop bij een hoge meerpeilstatistiek (huidige situatie inclusief klimaatsverandering); vervolgens het meest gunstige scenario: 2%-golfoploop bij een lage meerpeilstatistiek (geen aflat op het Markermeer bij hoog meerpeil op het IJsselmeer, of verdubbelen van de spuicapaciteit in de Afsluitdijk). Tevens is het 1 l/s per m golfoverslagniveau berekend met klimaatscenario.

Uit de berekeningen volgt dat, als alleen naar de buitenkruinlijn wordt gekeken en naar het 2%-golfoploopcriterium in de bestaande situatie met klimaatscenario, er 30 van de 152 dijkvakken niet voldoen. In veel gevallen is het midden van de kruin iets hoger dan de buitenkruinlijn. Als niet de buitenkruinlijn wordt aangehouden, maar het midden van de kruin, dan voldoen er 23 van de 152 dijkvakken niet. Veel van deze dijkvakken zitten dicht tegen de benodigde hoogte aan, wat ook volgt uit de resultaten als naar het 1 l/s per m golfoverslag-criterium wordt gekeken. In dat geval is de Oostvaardersdijk (5 dijkvakken) nog steeds te laag, maar blijven er voor de rest maar drie dijkvakken over die te laag zijn: één ten zuiden van Wijdenes en twee ten westen van Hoorn, met een totale lengte van 2700 m. In principe zouden deze stukken verbeterd moeten worden.

Uitgaan van een gunstig meerpeilsценario levert wat betreft het 2%-golfoploopcriterium wel voordelen op. Als naar de buitenkruinlijn wordt gekeken is het aantal onvoldoende dijkvakken 8 in plaats van 30 en dit wordt 6 als naar de maximaal aanwezige kruinhoogte wordt gekeken. Deze 6 bestaan uit de Oostvaardersdijk (5 dijkvakken) en 1 dijkvak van 700

m lengte bij Hoorn. Deze uitkomst is vrijwel vergelijkbaar met die waarbij wordt uitgegaan van de huidige situatie, maar met 1 l/s per m golfoverslag als criterium.

De algemene conclusie is dat de Oostvaardersdijk te laag is en dat de rest van de dijken rond het Markermeer voldoet op mogelijk enkele stukken na bij Hoorn en Wijdenes.

Voor de Oostvaardersdijk ten noordoosten van De Blocq van Kuffeler zijn inmiddels verbeteringswerkzaamheden gepland. Het zuidelijk deel van dit dijktraject zal opgehoogd worden middels een tuimeldijk, het noordelijke deel middels een golfbreker voor de kust.

Volgens de 2%-golfploopberekeningen met de lage meerpeilstatistiek, is de benodigde hoogte van de tuimeldijk (verschil tussen berekende kruinhoogte en de aanwezige kruinhoogte) van locatie d8-n130t 0.35 m. Volgens de 1 l/s per m golfoverslagberekeningen met de hoge meerpeilstatistiek is de benodigde ophoging 0.21 m. De hier uitgevoerde berekeningen zijn echter enigszins geschematiseerd (onder andere de afschatting van de afstand tussen de buitenkruinlijn en tuimeldijk) en zullen in detail nagerekend moeten worden. Met HYDRA_M is dit niet mogelijk, maar met de randvoorwaarden in het ontwerp punt zijn met de oorspronkelijke formules (van der Meer, 1997) deze berekeningen wel mogelijk.

Voor de bepaling van de kosten wat betreft dijkophoging zal in deze studie de drie hierboven genoemde locaties bij Hoorn en Wijdenes verder beschouwd worden.

6 Kosten dijkverbeteringen

6.1 Inleiding

Bij het opstellen van het projectplan en gebaseerd op de eerdere studie (RIZA, 1991) was de verwachting dat de *dijkhoogteverbetering* de voornaamste kostenpost zou zijn en dat de kostenpost voor geotechnische stabiliteitsverbetering, en ook verbetering aan de steenzettingen, van minder belang zou zijn en dus ook globaler geschat kon worden.

Uit het vorige hoofdstuk blijkt echter dat de verbeteringen voor kruinhoogte alleen zeer beperkt zijn. Het betekent aan de ene kant dat gedetailleerd onderzoek en modellering tot grote besparingen kan leiden, aan de andere kant komen de kosten van dijkverbeteringen nu voort uit het veel globaler toetsen op geotechnische stabiliteit en op de stabiliteit van steenzettingen.

Voor alle dijken rondom het Markermeer is een globale toets op geotechnische stabiliteit van de dijken rondom het Markermeer uitgevoerd door Grondmechanica Delft (GD) en FUGRO. GD heeft de dijken van dijkkringgebied 13 getoetst, FUGRO heeft de rest van de dijken getoetst: 8, 44, 45 en 46. De resultaten van beide onderzoeken staan beschreven in het rapport *Quick-scan Markermeerdijken* (FUGRO, 1997). Opgemerkt dient te worden dat het een zeer globale toetsing betreft. In geval van twijfel zijn telkens conservatieve aannamen gedaan.

Dijkkringgebieden 8 en 13 zijn onderbouwd met veelal eerder uitgevoerd grondonderzoek en stabiliteitsberekeningen. Dit betekent dat voor deze dijkkringgebieden met meer betrouwbaarheid kan worden aangewezen waar de te verbeteren dijkvakken zich bevinden en in welke mate deze moeten worden verbeterd.

Voor de dijkkringgebieden 44, 45 en 46 zijn de inschattingen daarentegen slechts gebaseerd op zeer globale gegevens. Er bleek bijvoorbeeld geen duidelijkheid te bestaan over de opbouw van het dijklichaam. De beoordeling van deze dijkkringgebieden moet derhalve worden gezien als een zeer grove indicatie van de staat van de waterkering (FUGRO, 1997).

Door GD zijn binnen de *landelijke inventarisatie steenzettingen* de steenzettingen getoetst van de dijken van dijkkringgebied 13, niet alleen in het IJsselmeer, maar ook in het Markermeer. Op verzoek van de Begeleidingscommissie van de onderhavige studie, werd gevraagd ook de rest van de dijken rondom het Markermeer, IJ-, Gooi- en Eemmeer te toetsen. Daarna is ook voor dijkkringgebied 8 de kwaliteit van de bekleding getoetst. De bekledingen van dijkkringgebieden 44 en 45 zijn hierbij echter, om onduidelijke redenen, niet getoetst en hierom niet in de kostenberekening meegenomen. Uit de inventarisatie bleek dat ongeveer een kwart van de getoetste dijken niet aan de gestelde eisen voldeden.

Met nadruk wordt gewezen op de beperkingen van deze studies. Het algemene beeld van de kwaliteit van de getoetste dijken zullen redelijk tot goed overeenstemmen met het toetsingsresultaat, op het niveau van individuele dijkvakken wordt echter wel afwijkingen verwacht (GRONDMECHANICA DELFT, 1997).

Voor dijkkringgebied 8 staan de resultaten van de bekledingstoets beschreven in het rapport *Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen* (GRONDMECHANICA DELFT, 1997). Voor dijkkringgebied 13 staan de resultaten van de bekledingstoets gegeven in het overzicht *Inventarisatie (rest-)sterkte gezette taludbekledingen* (GRONDMECHANICA DELFT, 1996).

6.2 Kosten voor verbetering geotechnische stabiliteit

Alhoewel de toetsing op geotechnische stabiliteit en steenzettingen veel globaler is uitgevoerd dan de kruinhoogtetoets, werd het verstandig geacht de kosten zo goed mogelijk te (laten) schatten. Hiertoe werd aan FUGRO de opdracht gegeven per dijkvak globaal verbeteringsmaatregelen op het geotechnische vlak voor te stellen en deze van een prijs te voorzien. In feite kwam dit neer op een uitbreiding van de spreadsheet die gemaakt was in het kader van de globale toetsing (FUGRO, 1997). Deze uitgebreide spreadsheets zijn gegeven in het rapport *Kostenverkenning m.b.t. Quick-scan Markermeerdijken* (FUGRO, 1998). Voor de eventuele dijkverhogingen zijn de kosten eveneens meegenomen.

Wat betreft de steenzettingen hebben zowel GD als de Bouwdienst van Rijkswaterstaat in het kader van de *landelijke inventarisatie steenzettingen* kostenschattingen gemaakt van de te verbeteren steenzettingen. Aan beide is gevraagd dit ook te doen voor de Markermeerdijken (alleen dijkkringgebieden 8 en 13).

FUGRO heeft op basis van grove basisinformatie de kosten berekend van benodigde dijkverbeteringen als gevolg van opbarsten, piping en macrostabiliteit. In deze kostenberekening zijn tevens de relatief nauwkeurig geschatte dijkophogingen meegenomen.

Ten behoeve van de kostenbepaling zijn aannamen gedaan met betrekking tot:

- vereenvoudigingen ten aanzien van het ontwerpen van een verzwaring;
- eenheidsprijzen;
- indeling in klassen van gebruiksbepaling (rekening houden met bouwland, water, scheepvaart, wegen, natuurgebied, bebouwing, spoor, vaarwater, etc.);
- kosten ten aanzien van gebruiksbepaling.

In grote lijn zijn de volgende stappen doorlopen om tot de kosten van de dijkverbeteringen te komen:

- vaststellen indeling in dijkvakken;
- vaststellen basisgegevens;
- beoordeling mechanismen.

Deze drie stappen zijn in opdracht van de waterschappen uitgevoerd en beschreven in FUGRO, 1997. Dit werk is uitgebreid met de volgende stappen om daadwerkelijk kosten te kunnen bepalen:

- bepalen hoeveel grondverzet voor binnendijkse en voor buitendijkse verzwaring nodig is;
- vaststellen van de landinrichting aan binnen- en buitendijkse zijde (de gebruiksbepaling vaststellen);
- kostenberekening voor drie varianten: binnendijkse of buitendijkse verzwaring en plaatsing van een damwand;
- kostenoptimalisatie: keuze van goedkoopste variant;

- schatten van kosten voor gebieden met weinig/geen basisinformatie: informatie van aangrenzende dijkvakken;
- sommatie van kosten wat leidt tot de raming (aanneemsom) per dijkkringgebied en uiteindelijk tot de totale raming inclusief BTW.

Per dijkvak is de raming van de aanneemsom gemaakt en deze zijn per dijkkringgebied opgeteld. Hieroverheen komen de engineeringkosten, kosten voor een MER-procedure, toeslag op onvolkomenheden in de globale toetsing, object onvoorzien binnen de dijkverzwaringsscope (onvoorzien kosten van technische aard), project onvoorzien en tenslotte BTW. Deze vermeerdering ten opzichte van de raming van de aanneemsom is met de Bouwdienst overlegd en is geschat op 80%.

Voor dijkkringgebied 8, Fleverwaard, gaat het om 58 km dijk. De totale kosten worden geschat op 94 Mfl, waarvan 40 Mfl voor de Oostvaardersdijk. Dit betreft de hele Oostvaardersdijk, dus zowel het zuidelijke deel waarop al een tuimeldijk is aangebracht, als het noordelijke deel waarvoor verbeteringsplannen (voor de hoogte!) klaar liggen. FUGRO maakt bij Fleverwaard de volgende opmerking: "Bij de beoordeling op mechanismen is in geval van twijfel uitgegaan van een opbarstgevoelige laag". Deze twijfelgevallen kunnen expliciet worden gemaakt. Voor de Oostvaardersdijk gaat het dan om een kostenpost van 28 Mfl (70% van de geschatte kosten) en voor de rest van de dijken van Fleverwaard 16 Mfl (30%).

Voor dijkkringgebied 13, USHN, worden de kosten voor geotechnische verbetering geschat op 76 Mfl. Voor dijkkringgebied 44, DWR, is dit 36 Mfl. Bij de beoordeling van dijkkringgebieden 45 en 46, Vallei en Eem, zijn ook de dijken langs de Eem en ten zuiden van de A1 getoetst. In de onderhavige studie is hier echter niet naar gekeken en de kosten voor dit gedeelte worden buiten beschouwing gelaten. Voor deze dijkkringgebieden wordt een kostenpost van 67 Mfl geschat.

Het totaal van alle dijkkringgebieden komt daarmee op 273 Mfl.

Aangezien globaal tot zeer globaal getoetst is, bevat bovenstaande schatting een ruime onzekerheidsmarge. Onzekerheden met betrekking tot de kostenraming zijn bijvoorbeeld:

- onvoldoende basisinformatie;
- schematisatiefouten bij beoordeling van mechanismen;
- hydraulische randvoorwaarden;
- eventuele bestorting bij ontgroning voor de damwandconstructie;
- basisgegevens met betrekking tot geometrie en landinrichting zijn bepaald vanaf KLIC-atlassen. De werkelijke situatie kan anders zijn;
- aan- en afvoer van grond zonder bijzondere maatregelen (milieumaatregelen e.d.);
- geen compensatie aan derden;
- geen vergunningsperikelen/beperkingen bij uitvoering.

Aan de andere kant is wel een behoorlijk percentage op de geraamde aanneemsom gezet. Bij de beoordeling van uit te voeren maatregelen is vaak de conservatieve kant gekozen. Geschat wordt dat de onzekerheidsmarge naar boven ongeveer 35% is, wat betekent dat de maximale kosten voor geotechnische stabiliteit hooguit 369 Mfl bedragen.

De onzekerheidsmarge naar beneden is een andere schatting. Bij een eerste globale berekening van benodigde dijkhoogten (RIZA, 1991) werd ook ingeschat dat een aanzienlijk aantal dijkvakken verbeterd zou moeten worden. Bij de veel gedetailleerdere onderhavige studie wordt geconcludeerd dat in feite bijna alle dijkvakken voldoende hoog zijn

(uitgezonderd natuurlijk de Oostvaardersdijk). Bij een veel gedetailleerdere geotechnische studie hoeft dit natuurlijk niet in dezelfde mate te gebeuren. Maar dat een veel gedetailleerdere studie tot aanzienlijke besparingen leidt, kan wel worden geconcludeerd.

Daarbij komt voor de Markermeerdijken (en ook voor de IJsselmeerdijken) nog een extra aandachtspunt. Momenteel is een studie gaande naar “bewezen sterkte” van bestaande dijken. Het is mogelijk dat de dijken voordat de Zuiderzee werd afgesloten hogere waterstanden hebben gekeerd dan nu onder toetsomstandigheden wordt aangenomen. Het meenemen van bewezen sterkte kan een aanzienlijk gunstiger beeld geven van de feitelijke geotechnische stabiliteit van de dijken.

Een marge naar beneden is daardoor veel moeilijker in te schatten dan die naar boven. Het is duidelijk dat verder onderzoek zonder meer de moeite loont en dat bij het uitvoeren van verder onderzoek vrij snel een betere inschatting kan worden gemaakt van de werkelijke kosten. Als zowel de bewezen sterkte als meer geotechnisch onderzoek positief uitvallen wat betreft de beoordeling van de dijken, dan zou een marge naar beneden mogelijk kunnen zijn van 80%. Dat zou inhouden dat de kosten voor geotechnische verbeteringen ongeveer 54 Mfl zouden kunnen gaan bedragen.

Geconcludeerd kan worden dat een redelijke schatting op basis van de globale tot zeer globale toetsing een kostenpost voor geotechnische stabiliteitsverbetering oplevert van ongeveer 273 Mfl. Een maximale schatting is 369 Mfl en een minimale schatting is 54 Mfl.

6.3 Kosten voor dijkverhoging

Met behulp van de spreadsheets van FUGRO (1998) is het mogelijk de kosten voor de dijkverhoging alleen van de drie dijkvakken bij Wijdenes en Hoorn te berekenen. Het bleek dat de kosten voor deze dijkvakken niet afweek van de geschatte kosten inclusief de mechanismen macrostabiliteit en piping. Met andere woorden, de uit te voeren verbeteringen ten gevolge van ophoging van de dijk lost eveneens problemen op betreffende piping of macrostabiliteit.

De geschatte kosten als gevolg van ophoging van de dijken 18a van 136 hm tot 145 hm en 20 van 14 hm tot 32 hm: bedragen ongeveer 4 tot 5 Mfl. Dit is een fractie van de totale kosten wat betreft het totaal van ophoging en stabiliteit.

De kosten van de verbeteringswerkzaamheden aan de Oostvaardersdijk zijn in deze studie niet bepaald, omdat er inmiddels een kostenraming door de betreffende waterschap is uitgevoerd. De hierin genoemde kosten voor de gecombineerde aanpak van een tuimeldijk en/of integrale verhoging en een golfbreker, zijn geraamd op 75 Mfl.

6.4 Kosten voor verbetering steenzettingen

De kostenraming met betrekking tot verbetering van de dijkbekledingen langs het Markermeer is zowel uitgevoerd door GD als door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Bij deze ramingen zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- de oppervlaktes en scores zijn afkomstig uit de GD-rapporten ‘*Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen buiten Zeeland*’, CO-371780/17, januari 1997 voor wat betreft de gegevens van Noord-Holland (USHN) en ‘*Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen, Midden Nederland en Zuidhollandse eilanden*’, CO-371780/61, oktober 1997 voor wat betreft de dijken van Flevoland en de Houtribdijk.

- De dijken van DWR en van Vallei en Eem hebben geen onderdeel uitgemaakt van deze inventarisatie en zijn derhalve in deze studie niet meegenomen.
- De kostenraming door GD is conform de methode zoals beschreven in het GD-rapport 'En nu verder: toetsing van steenzettingen in Zeeland', CO-367670/13, augustus 1996.
- De Bouwdienst gaat niet uit van verbeteringskosten die gerelateerd zijn aan de verhouding g/t (goed/twijfelachtig), de basis van de GD-berekeningen. Uitgangspunt van de Bouwdienst is dat ook bij geringe verbetering de gehele glooiing moet worden opgenomen en dat bij zeer slechte glooiingen niet de zwaarste verbeteringsmaatregel moet worden genomen.

De geraamde aanneemsommen zijn vermeerderd met engineeringkosten, project onvoorzien en BTW. In totaal is voor de vermeerdering vanwege deze kosten 42% aangehouden. In tabel 6.1 is het overzicht opgenomen van de totale raming inclusief BTW. Nogmaals dient opgemerkt te worden dat de bekledingen van de dijken van dijkkringgebieden 44 en 45 niet zijn getoetst en hierom niet zijn meegenomen in de kostenberekeningen.

	USHN	Fleverwaard exclusief Oostvaardersdijk	Oostvaardersdijk	Totaal
minimale schatting GD	8	2	48	58
maximale schatting GD	29	8	70	107
schatting Bouwdienst	26	6	36	68

Tabel 6.1 Geschatte kosten voor verbetering van de steenzettingen, in miljoenen gulden

In totaal worden de kosten geschat op 60 - 110 Mfl. Een groot deel hiervan komt voor rekening van de Oostvaardersdijk. Aangezien voor de Oostvaardersdijk plannen klaar liggen om de hoogte te verbeteren, maar er in deze studie ook kanttekeningen worden geplaatst bij de geotechnische stabiliteit en steenzetting, verdient het aanbeveling deze twee laatste aspecten mee te nemen voordat het werk wordt aanbesteed.

7 Conclusies en aanbevelingen

Bij het opstellen van het projectplan en gebaseerd op de eerdere studie (RIZA, 1991) was de verwachting dat de *dijkhoogteverbetering* de voornaamste kostenpost zou zijn en dat de kostenpost voor geotechnische stabiliteitsverbetering, en ook verbetering aan de steenzettingen, van minder belang zou zijn en dus ook globaler geschat kon worden. Het blijkt echter dat de verbeteringen voor kruinhoogte alleen zeer beperkt zijn. Het betekent aan de ene kant dat gedetailleerd onderzoek en modellering tot grote besparingen kan leiden, aan de andere kant komen de kosten van dijkverbeteringen nu voort uit het veel globaler toetsen op geotechnische stabiliteit en op de stabiliteit van steenzettingen.

De in vergelijking tot de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991) lagere berekende benodigde dijkhoogten, worden in het Markermeer vooral veroorzaakt door het nauwkeurig modelleren van de bodem tot aan de teen van de dijk en het meenemen van ruwheden op het talud. Voor het gebied in de buurt van Nijkerk wordt dit verschil veroorzaakt door de berekende maximale waterstand die ongeveer een meter lager is. Dit verschil is met name te wijten aan het directe effect van het rekenen met een lager meerpeil, het gebruik van een ruimtelijk variabel windveld in plaats van een uniform windveld en het rekenen met een fijnmaziger rekengrid (zie Appendix C).

De Oostvaardersdijk is te laag, hetgeen al bekend was. Als wordt uitgegaan van de huidige situatie met het klimaatscenario en als criterium 1 l/s per m overslag, dan zijn er maar drie dijkvakken in Noord-Holland met een totale lengte van 2.7 km die onvoldoende hoog zijn. De kosten voor verbetering van deze drie vakken, waarbij dan tevens de geotechnische stabiliteit wordt opgelost, bedragen 4 - 5 Mfl. Deze kostenpost is inbegrepen in de onderstaande totale raming voor de verbeteringen van de geotechnische stabiliteit.

Welke dijkvakken definitief moeten worden verhoogd wordt niet in deze studie bepaald. In feite hangt dat af van de keuze van het scenario, dus welke meerpeilstatistiek als uitgangspunt wordt genomen, en van de keuze van het aan te houden criterium: 2%-golfoploop of een overslagdebiet.

Geconcludeerd kan worden dat een redelijke schatting voor geotechnische stabiliteitsverbetering, op basis van de globale tot zeer globale toetsing, een kostenpost oplevert van ongeveer 273 Mfl. Een maximale schatting is 369 Mfl en een minimale schatting is 54 Mfl.

Bovenstaande minimale schatting is gebaseerd op een positieve uitwerking van twee aspecten:

- gedetailleerd onderzoek leidt tot het weghalen van conservatieve aannames in globale berekeningen en kan daardoor leiden tot grote besparingen, zie het resultaat van deze studie omtrent benodigde kruinhoogte;
- voormalige Zuiderzeedijken hebben mogelijk al waterstanden gekeerd die hoger zijn dan de nu aangenomen toetsstanden. Het meenemen van "bewezen sterkte" kan een aanzienlijk gunstiger beeld geven van de feitelijke geotechnische stabiliteit van de dijken.

In totaal worden de kosten voor verbetering van de steenzettingen in dijkgebieden 8 (Fleverwaard) en 13 (USHN) geschat op 60-110 Mfl. Een groot deel hiervan komt voor rekening van de Oostvaardersdijk (35-70 Mfl). Aangezien voor de Oostvaardersdijk

plannen klaar liggen om de hoogte te verbeteren, maar er in deze studie ook kanttekeningen worden geplaatst bij de geotechnische stabiliteit en steenzetting, verdient het aanbeveling deze twee laatste aspecten mee te nemen voordat het werk wordt aanbesteed.

Kosten voor dubbele spuicapaciteit of gemalen in de Afsluitdijk zijn niet gemaakt. Voor de Markermeerdijken is dit niet nodig, want voor de Oostvaardersdijk heeft het meerpeilbeheer geen invloed (de dijkhoogte wordt bepaald door noordwestenwind bij ongeveer streefpeil) en de kosten voor de overige drie dijkvakken zijn minimaal. Eenzelfde effect als dubbel spuien wordt verkregen als er bij extreme meerpeilen op het IJsselmeer geen water wordt afgelaten op het Markermeer.

De transmissiemodule in HYDRA_M is vrij globaal. Er wordt verondersteld dat ook bij weinig transmissie de golfperiode constant blijft en dit leidt toch nog tot aanzienlijke golfoploop. Het is mogelijk dat in het traject tussen een dam en de dijk de golfperiode zich aanpast. In betreffende omstandigheden is nader onderzoek aan te bevelen.

Het model ENDEC wordt gebruikt voor het transformeren van de golven van het uitvoerpunt van het DMS naar de teen van de dijk. Voor zeer flauw oplopende bodems, flauwer dan 1:100 wordt een te lage golfhoogte gevonden. Daarom zijn zeer flauwe bodems als een 1:100 talud gemodelleerd. Nader onderzoek om dit model op dit gebied te verbeteren is aan te bevelen.

Referenties

- FUGRO, 1997. Quick-scan Markermeerdijken; Van der Meer, M.T., Tiggelmans, L., Seignette, F.C.M. Opdrachtnummer: K-0008, document: K0008.R02. FUGRO ingenieursbureau b.v., Adviesafdeling Waterbouw
- FUGRO, 1998. Kostenverkenning m.b.t. Quick-scan Markermeerdijken; Van der Meer, M.T., Wiggers, A.G. Opdrachtnummer: K-0008/001, document: K0008001.R01. FUGRO ingenieursbureau b.v., Adviesafdeling Waterbouw
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1990a. Systematisch onderzoek waterkeringen Noordhollands-Noorderkwartier, hoofdonderzoek fase 1, Oranjesluizen Amsterdam - Schutsluis Edam. Drenkelford, A.J., Dekker, J. CO-293340/53. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1990b. Systematisch onderzoek waterkeringen Noordhollands-Noorderkwartier, hoofdonderzoek fase 2, Schutsluis Edam - Schellinkhout. Drenkelford, A.J., Dekker, J. CO-30000/36. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1990c. Systematisch onderzoek waterkeringen Noordhollands-Noorderkwartier, hoofdonderzoek fase 3, Schellinkhout - Enkhuizen (De Ven). Drenkelford, A.J., Dekker, J. CO-309280/33. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1991. Systematisch onderzoek waterkeringen Noordhollands-Noorderkwartier, detailonderzoek fase 1, Oranjesluizen Amsterdam - Schutsluis Edam. Twillert, J.A., Dekker, J. CO-293341/38. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1992. Systematisch onderzoek waterkeringen Noordhollands-Noorderkwartier, detailonderzoek fase 2, Schutsluis Edam - Schellinkhout. Twillert, J.A., Dekker, J. CO-323700/38. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1993. Systematisch onderzoek waterkeringen Noordhollands-Noorderkwartier, detailonderzoek fase 3, Schellinkhout - Enkhuizen (De Ven). Twillert, J.A., Dekker, J. CO-332890/34. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1996. Inventarisatie (rest-)sterkte gezette taludbekledingen, Toetsingsresultaat USHN; Meijers, P.G. CO-371780, Bijl. T9a-d. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- GRONDMEECHANICA DELFT, 1997. Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen, Midden Nederland en Zuid-Hollandse eilanden; Meijers, P.G., Stoutjesdijk, T.P. Concept verslag CO-371780/61. Grondmechanica Delft, Afdeling Grondconstructies
- Van der Meer, J.W., 1993. Golfoploop en golfoverslag bij dijken. Samenvatting. WL-verslag H638
- Van der Meer, J.W., 1997. Golfoploop en golfoverslag bij dijken. WL-verslag H2458/H3051
- RIZA, 1991. Toetsing Markermeerdijken als indirecte primaire waterkering; Kruitwagen, P.G. Deelnota bij: Eindrapport "Toetsing belasting dijken Markermeergebied", nota 91.034
- RIZA, 1993. Kruitwagen, P.G., A.G. Kors, A.J. Kolvoort en J.S. van Vugt. Achtergronden en rekenresultaten Hydraulische Belasting dijken Markermeergebied. Deel 1: Rekenmethode. nota 92.066;
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997a. Onafhankelijk onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1a, Meerpeilstatistiek; Fokkink, R.J. Augustus 1997
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997b. Onafhankelijk onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1b-1, Bodemtopografie en geometrie modelgebied; Van Haaren, Y.H.G. Augustus 1997
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997c. Onafhankelijk onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1c, Gereed maken HYDRA_M; Van Haaren, Y.H.G., Ris, R.C. September 1997
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997d. Onafhankelijk onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1b-3, Stormprofiel en windvelden; Van Haaren, Y.H.G. Oktober 1997
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1997e. Onafhankelijk onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1b-2, Bouw DELFT2D-systeem; Van Haaren, Y.H.G., Spaan, G.B.H. December 1997
- WL | delft hydraulics 1998. Onafhankelijk onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1b-4, Productieberekeningen en controle; Van Haaren, Y.H.G., Spaan, G.B.H. Januari 1998

nr.	RIZA STUDIE 1991				BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL					UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE		TOETS CRITERIUM	BENODIGDE		ONTWERPPUNT							
	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oploop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	kruin		buiten- kruinlijn	KRUIN- KOOGTE	* tov N	wind- richting	wind- snelheid	wind- meerpeil	waterstand	significante golfhoogte	piek- periode	
		m	m	l/sm			begin	eind	lengte			m	m		m			m	* tov N	m/s	m +NAP	m +NAP	m	s
							hm	hm	m	* tov N														
1	77	2.64	3.39	999.0	* NIJKERKERSLUIS	d8-312	303.0	317.0	1400	163	g 20	4.1	3.04	2.63	2%-golfoploop	1.96	+0.5	300	34.00	-0.35	1.96	0.00	3.12	
2	78	2.59	3.42	999.0	* NIJKERKERDIJK1	d8-300	295.0	303.0	800	163	g 13	3.7	3.04	2.73	2%-golfoploop	1.91	+0.5	300	34.00	-0.36	1.91	0.01	3.04	
3	79	2.64	3.41	999.0	* NIJKERKERDIJK2	d8-288	287.0	295.0	800	163	g 7	5.0	3.04	2.74	2%-golfoploop	1.90	+0.5	300	34.00	-0.36	1.88	0.02	3.43	
4	80	2.59	3.40	999.0	* NIJKERKERDIJK3	d8-283	276.0	287.0	1100	163	g 4	3.9	3.04	2.74	2%-golfoploop	1.87	+0.5	300	33.99	-0.35	1.85	0.02	3.25	
5	82	2.59	3.38	999.0	* LAAKSE HOEK	d8-272	268.0	276.0	800	191	g 287	2.8	3.07	2.74	2%-golfoploop	2.09	+0.5	300	33.76	-0.35	1.78	0.12	3.34	
6					LAAKSE HOEK	d8-266	253.0	268.0	1500	223	g 283	2.8	3.27	3.00	2%-golfoploop	1.81	+0.5	300	34.11	-0.35	1.79	0.01	3.58	
7	83	2.64	3.89	999.0	* EEMMEERDIJK1	d8-251	245.0	253.0	800	224	g 276	1.8	3.41	3.04	2%-golfoploop	2.76		300	33.77	-0.35	1.68	0.58	4.59	
8	84	2.59	3.87	337.4	* EEMMEERDIJK2	d8-240	207.0	245.0	3800	224	g 270	2.2	3.51	2.83	2%-golfoploop	2.79		300	33.71	-0.35	1.60	0.86	4.76	
9	85	3.06	3.57	124.1	* EEMMEERDIJK3	d8-206	190.0	207.0	1700	224	g 253	2.8	3.28	3.20	2%-golfoploop	2.49		300	33.69	-0.35	1.37	0.76	4.06	
10	86	3.06	3.34	92.0	* GOOIMEERDIJK1	d8-170	146.0	190.0	4400	212	g 239	3.6	3.16	2.89	2%-golfoploop	2.90	*	300	33.66	-0.35	1.06	1.34	5.29	
11	88	2.56	2.48		* GOOIMEERDIJK3	d8-142	102.0	146.0	4400	202	g 225	2.8	2.73	2.68	2%-golfoploop	2.42		300	33.85	-0.35	0.77	0.78	4.72	
12	89	2.56	2.03		* GOOIMEERDIJK4	d8-80	64.0	102.0	3800	162	g 194	2.6	2.66	2.40	2%-golfoploop	1.73		90	16.48	0.80	0.87	0.42	3.41	
13	90	2.71	2.64		* OSTVDK-ZD	d8-58	48.0	64.0	1600	225	m 503	1.9	2.81	2.45	2%-golfoploop	1.21	+0.5	210	2.00	1.21	1.16	0.00	0.24	
14					OSTVDK-ZD	d8-36	31.0	48.0	1700	266	m 493	2.7	2.81	2.45	2%-golfoploop	2.25		330	29.58	-0.35	0.67	1.25	4.90	
15	91	2.71	2.36		* OSTVDK-WST	d8-27	24.0	31.0	700	265	m 488	2.7	2.90	2.67	2%-golfoploop	2.59		330	29.65	-0.35	0.61	1.17	5.04	
16					OSTVDK-WST	d8-19	11.0	24.0	1300	239	m 484	2.8	2.90	2.67	2%-golfoploop	2.87	*	330	30.22	-0.35	0.60	1.21	5.04	
17	1E	2.71	2.76	47.9	* PAMPUSHOEK	d8-7	0.0	11.0	1100	284	m 477	3.3	2.90	2.67	2%-golfoploop	2.78	*	330	29.52	-0.35	0.47	1.45	4.93	
18	92	2.75	2.39		* PAMPUSH-WST	d8-N253	242.5	265.0	2250	330	m 469	3.6	2.27	2.27	2%-golfoploop	1.65		330	31.65	-0.35	0.56	0.48	5.10	
19	93	2.75	2.17		* PAMPUSH-OST	d8-N239	234.5	242.5	800	295	m 466	3.6	2.70	2.47	2%-golfoploop	1.77		330	25.29	0.15	0.60	0.41	5.04	
20	94	2.74	4.05	91.1	* OSTVDK-MWST	d8-N217	201.0	234.5	3350	330	m 453	3.7	3.53	3.53	2%-golfoploop	3.30		330	31.00	-0.37	0.47	1.64	5.33	
21	1D	1.50	2.32	19.9	* DE BLOCK-1D	d8-N195	190.0	201.0	1100	3	m 441	3.8	2.81	2.63	2%-golfoploop	2.10		330	18.00	0.65	0.87	0.41	4.42	
22	1C	2.63	2.63		* DE BLOCK-1C	d8-N188	185.0	190.0	500	329	m 438	3.9	2.81	2.63	2%-golfoploop	2.23		300	37.60	-0.35	0.52	0.57	5.51	
23	1B	2.63	3.26	51.0	* DE BLOCK-1B	d8-N180	174.5	185.0	1050	295	m 437	3.9	2.81	2.63	2%-golfoploop	3.43	*	300	26.00	0.32	0.61	1.62	5.32	
24	95	2.76	3.88	107.9	* OSTVDK-MID	d8-N130t	65.5	174.5	10900	323	m 413	4.2	2.77	2.31	2%-golfoploop	3.30	*	300	35.53	-0.35	0.63	1.97	5.75	
25	98	2.70	4.64	280.5	* KNARDIJK	d8-N55	46.0	65.5	1950	1	m 369	4.3	2.86	2.70	2%-golfoploop	3.89	*	270	36.50	-0.35	1.14	2.09	6.18	
26	99A	2.70	3.05	16.2	* WORTMAN	d8-N36	23.5	46.0	2250	318	m 366	4.4	2.72	2.70	2%-golfoploop	3.21	*	270	36.00	-0.35	1.20	0.73	6.24	
27	99B	2.50	3.96	31.7	* WORTMAN	d8-N5	0.0	23.5	2350	274	m 362	4.4	2.50	2.50	2%-golfoploop	3.71	*	270	35.59	-0.35	1.23	0.79	6.21	

Tabel 5.1.a Berekeningsresultaten 2%-golfplooptniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario voor Dijkkring 8

nr.	RIZA STUDIE 1991				BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL					UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE			TOETS CRITERIUM	BENODIGDE		ONTWERPPUNT					
	dijk- code	kuin- hoogte	2%-golf- oploop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	kuin	buiten- kuinlijn		KRUIN- KOOGTE	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante peik- golffoogte		periode
	m	m	l/m	begin		eind	lengte	* tov N	m												m	m	
1	01A	3.50	2.37		KRABBERSGAT	d18b-17	6.0	19.5	1350	140	m 237	2.8	3.50	3.50	waterstand	1.50	+0.5	210	33.99	-0.35	1.50	---	---
2	2A	3.37	4.27	8.9	* ZUIDERDIJK	d18b-23	19.5	23.5	400	171	m 230	2.6	3.29	3.26	2%-golfoploop	2.92		210	32.00	-0.36	1.23	1.36	5.64
3	03A	3.48	2.67		GROOTSLAG	d18b-26	23.5	31.5	800	169	m 229	2.5	3.48	2.80	2%-golfoploop	2.34		210	33.00	-0.32	1.42	0.55	5.65
4	03B	3.72	2.85		GROOTSLAG	d18b-33	31.5	37.5	600	180	m 227	2.1	3.72	3.17	2%-golfoploop	2.88		210	33.06	-0.35	1.34	0.76	5.56
5	03C	3.65	3.44		GROOTSLAG	d18b-41	37.5	41.0	350	88	m 226	2.1	3.69	3.48	2%-golfoploop	2.81		150	11.97	0.90	1.06	0.71	3.97
6					GROOTSLAG	d18b-46	41.0	49.5	850	93	m 223	2.3	3.47	3.29	2%-golfoploop	2.81		150	11.76	0.85	1.01	0.73	3.91
7	04A	3.55	2.31		TERSLUIS	d18b-53	49.5	54.0	450	96	m 220	2.6	3.55	3.42	2%-golfoploop	2.44		150	11.00	1.09	1.24	0.50	3.75
8	04B	3.33	3.02		TERSLUIS	d18b-56	54.0	59.0	500	101	m 218	2.9	3.66	3.59	2%-golfoploop	2.06		180	9.00	1.18	1.31	0.33	3.15
9	04C	3.68	2.77		TERSLUIS	d18b-61	59.0	65.0	600	100	m 216	2.9	3.68	3.68	2%-golfoploop	1.62	+0.5	180	9.00	1.19	1.32	0.11	3.14
10	5	3.69	3.72	0.4	DE-WEED	d18b-70	65.0	74.0	900	142	m 210	3.1	3.64	3.53	2%-golfoploop	3.56	*	210	33.43	-0.35	1.03	0.99	5.79
11	06A	3.76	4.54	5.4	* KROONHOEVE	d18b-91	74.0	94.5	2050	157	m 199	3.2	3.75	3.67	2%-golfoploop	3.74	*	210	30.00	0.03	0.96	1.09	5.75
12					KROONHOEVE	d18b-95	94.5	96.0	150	153	m 197	3.3	3.35	3.14	2%-golfoploop	2.25		210	13.00	1.10	1.30	0.36	3.38
13	06B	3.50	3.48		KROONHOEVE	d18b-97	96.0	98.0	200	134	m 197	3.3	3.86	3.78	2%-golfoploop	2.25		210	12.00	1.18	1.34	0.36	3.14
14	07A	3.58	3.96	0.7	OOSTERLEEK	d18b-103	98.0	104.0	600	116	m 195	3.5	3.53	3.32	2%-golfoploop	3.06		180	15.00	0.73	0.90	0.88	5.05
15	07B	3.58	5.79	49.8	* OOSTERLEEK	d18a-106	104.0	113.0	900	185	m 190	3.7	3.70	3.56	2%-golfoploop	3.78	*	210	18.37	0.75	1.02	1.05	4.63
16	8	3.61	3.28		DRIEBAN	d18a-126	113.0	128.0	1500	134	m 183	3.4	3.72	3.57	2%-golfoploop	2.53		180	12.00	1.09	1.23	0.51	4.05
17					DRIEBAN/KRAAIENB	d18a-132	128.0	136.0	800	135	m 183	3.4	3.66	3.43	2%-golfoploop	3.33		180	17.78	0.65	0.89	1.13	5.28
18	09A	3.70	5.26	21.2	* KRAAIENBURG	d18a-138	136.0	145.0	900	178	m 175	4.0	3.66	3.43	2%-golfoploop	4.10	*	180	19.65	0.50	0.80	1.25	5.36
19	09B	4.20	4.98	2.8	* KRAAIENBURG	d18a-152	145.0	153.0	800	168	m 168	4.0	4.19	4.09	2%-golfoploop	3.65		180	18.61	0.55	0.82	1.10	5.23
20	10A	4.20	4.92	2.4	* DE NEK	d18a-158	153.0	159.0	600	169	m 165	4.2	4.05	3.98	2%-golfoploop	3.81		180	18.36	0.60	0.85	1.09	5.20
21	10B	4.12	4.11		DE NEK	d18a-159	159.0	161.5	250	231	m 162	4.0	4.40	4.40	2%-golfoploop	3.03		210	26.00	0.30	0.67	1.58	5.28
22	11A	4.35	2.59		VENHUIZEN	d18a-166	161.5	168.0	650	286	m 157	2.7	4.28	4.13	2%-golfoploop	2.27		240	21.51	0.75	0.82	0.61	4.72
23	11B	3.88	3.54		VENHUIZEN	d18a-171	168.0	172.0	400	244	m 155	2.8	3.74	3.58	2%-golfoploop	2.77		210	17.00	0.87	1.07	0.67	4.01
24	12	4.03	3.00		SCHELL.HOUT-ZD	d18a-175	172.0	177.5	550	235	m 154	z	4.03	3.97	2%-golfoploop	1.73		210	15.00	1.01	1.22	0.19	3.56
25	13	4.50	3.02		SCHELL.HOUT-WST	d18a-185	177.5	192.0	1450	179	m 153	3.2	4.50	4.34	2%-golfoploop	2.39		180	11.00	1.10	1.24	0.40	3.60
26	14	4.03	4.65	5.8	* MUNNIKAY	d18a-200	192.0	206.0	1400	230	m 142	2.9	4.05	4.00	2%-golfoploop	3.08		210	22.29	0.55	0.84	1.06	4.93
27					HOORN-OST	d18a-207	206.0	208.5	250	163	m 143	3.0	3.85	3.66	2%-golfoploop	2.07		180	19.75	0.60	0.96	0.39	5.20
28	15A	3.94	3.76		HOORN-OST	d18a-211	208.5	212.0	350	163	m 141	2.9	3.85	3.66	2%-golfoploop	2.84		180	17.31	0.75	1.04	0.76	5.03
29	15B	3.43	2.98		HOORN-OST	d18a-216	212.0	220.0	800	164	m 138	2.8	3.44	3.14	2%-golfoploop	1.94		180	10.00	1.14	1.28	0.23	3.23
30	16	2.63	2.29		HOORN-WEST	d20-11	10.0	14.0	400	194	m 122	2.5	2.73	2.73	2%-golfoploop	1.29	+0.5	210	2.00	1.27	1.29	0.00	0.43
31	17	2.99	3.73	1.1	* GROOTE WAAL	d20-19	14.0	25.0	1100	136	m 120	2.5	2.87	2.82	2%-golfoploop	3.29	*	180	17.00	0.65	0.91	0.94	4.79
32	18	2.88	3.79	5.4	* WESTERKOGGE	d20-32	25.0	32.0	700	151	m 114	2.8	2.83	2.76	2%-golfoploop	3.65	*	150	16.00	0.50	0.81	1.04	4.99
33	19	4.20	3.49		DE HULK	d20-43	32.0	44.0	1200	93	m 110	3.2	4.20	4.20	2%-golfoploop	1.87		150	9.00	1.09	1.24	0.23	3.05
34	20	3.24	3.21		POLDER BESCHOOT	d20-60	44.0	63.0	1900	80	m 102	2.6	3.28	3.23	2%-golfoploop	2.69		90	15.00	0.72	0.92	0.97	4.88
35	21A	3.47	2.93		OUDENDIJK	d21-70	63.0	75.0	1200	116	m 96	2.5	3.47	3.47	2%-golfoploop	2.67		120	13.00	0.81	1.05	0.56	4.33
36	21B	3.03	1.99		OUDENDIJK	d21-77	75.0	84.0	900	45	m 96	2.5	3.03	2.96	2%-golfoploop	2.46		90	14.00	0.69	0.89	0.59	4.57
37	22	2.63	3.13	8.3	* SCHARDAM	d22-10	0.0	19.0	1900	99	m 91	2.6	2.59	2.59	2%-golfoploop	2.15		150	9.00	1.11	1.23	0.30	2.96
38	23A	3.36	3.40	0.1	ETERSHEIM	d22-18	19.0	24.0	500	60	m 89	2.6	3.13	3.13	2%-golfoploop	2.66		90	10.66	0.90	1.04	0.53	3.57
39	23B	3.02	3.00		ETERSHEIM	d23-26	24.0	26.0	200	67	m 84	2.6	3.11	3.05	2%-golfoploop	2.96		90	14.00	0.68	0.88	0.68	4.63
40					ETERSHEIM	d23-27	26.0	28.0	200	4	m 84	2.6	3.25	3.25	2%-golfoploop	2.45		60	11.98	0.75	0.84	0.58	3.75
41					OOSTHUIZEN	d23-32	28.0	33.0	500	78	m 81	2.6	3.89	3.70	2%-golfoploop	2.90		90	15.00	0.66	0.86	0.89	4.96

Tabel 5.1.b Berekeningsresultaten 2%-golfoplooptniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario voor Dijkkring 13

nr.	RIZA STUDIE 1991				BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL					UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE		TOETS CRITERIUM	BENODIGDE KRUIN- KOOGTE	ONTWERPPUNT						
	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oloop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	buiten			KRUIN- KOOGTE	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante piek- golfhoogte periode	
							begin	eind	lengte				* tov N	m	m						m	* tov N
42	24	4.15	3.96		OOSTHUIZEN	d23-34	33.0	36.5	350	87	m 80	2.6	4.06	4.06	2%-golfoploop	3.00	90	13.77	0.65	0.84	0.80	4.54
43					OOSTHUIZEN	d23-38	36.5	39.0	250	114	m 77	2.5	3.49	3.47	2%-golfoploop	2.90	90	15.00	0.62	0.83	0.82	4.91
44	25A	3.70	3.16		WARDER	d23-41	39.0	42.0	300	113	m 76	2.6	3.70	3.70	2%-golfoploop	2.40	90	9.96	0.95	1.09	0.48	3.36
45	25B	3.70	2.92		WARDER	d23-45	42.0	49.0	700	30	m 76	2.6	3.70	3.70	2%-golfoploop	2.26	90	9.00	0.93	1.04	0.48	3.03
46	26A	3.99	3.46		WARDER-ZUID	d23-51	49.0	56.0	700	39	m 74	2.5	3.99	3.99	2%-golfoploop	2.77	90	14.98	0.65	0.85	0.82	4.93
47	26B	3.78	3.71		WARDER-ZUID	d23-61	56.0	69.0	1300	54	m 68	2.5	3.60	3.56	2%-golfoploop	2.81	60	15.00	0.68	0.82	0.76	4.85
48	27A	3.66	3.89	0.4	POLDER ZEEVANG	d23-76	69.0	76.0	700	74	m 60	2.6	3.69	3.68	2%-golfoploop	3.39	90	14.00	0.65	0.81	0.86	4.60
49	27B	3.66	3.77	0.3	POLDER ZEEVANG	d23-77	76.0	79.5	350	102	m 58	2.3	3.42	3.40	2%-golfoploop	2.99	90	15.00	0.61	0.79	0.83	4.84
50	27C	3.66	2.50		POLDER ZEEVANG	d23-83	79.5	84.5	500	61	m 57	2.2	3.72	3.72	2%-golfoploop	2.47	60	14.00	0.95	1.12	0.42	4.66
51	28A	3.64	3.90	0.5	OOSTER-WEAREN	d23-90	84.5	95.0	1050	70	m 53	2.3	3.57	3.57	2%-golfoploop	2.85	60	15.00	0.66	0.81	0.78	4.90
52	28B	3.59	3.27		OOSTER-WEAREN	d23-103	95.0	109.5	1450	75	m 46	2.1	3.63	3.57	2%-golfoploop	1.72	90	7.00	1.10	1.18	0.20	2.34
53	29A	3.59	2.70		EDAM	d23-110	109.5	112.0	250	113	m 40	2.4	3.58	3.58	2%-golfoploop	1.25 +0.5	210	2.00	1.25	1.24	0.00	0.31
54	29B	3.84	2.80		EDAM	d24-2	0.0	7.5	750	27	m 41	2.3	3.84	3.84	2%-golfoploop	2.15	60	9.97	1.00	1.10	0.41	3.36
55	30	3.95	3.67		ZUIDPOLDER	d24-13	7.5	19.0	1150	69	m 35	2.6	3.91	3.84	2%-golfoploop	2.79	60	14.00	0.71	0.85	0.72	4.65
56	31A	2.88	3.76	3.2 *	VOLENDAM	d24-22	19.0	29.0	1000	127	m 29	3.0	3.03	3.03	2%-golfoploop	3.11 *	90	13.00	0.65	0.77	0.97	4.18
57	31B	3.10	4.06	1.9 *	VOLENDAM	d24-28	29.0	39.0	1000	114	m 26	2.8	3.01	2.97	2%-golfoploop	3.05 *	60	14.00	0.69	0.82	0.91	4.64
58	32A	3.14	2.12		KALHAM	d24-43	39.0	45.0	600	165	m 20	2.0	3.14	2.92	2%-golfoploop	2.01	120	9.00	1.07	1.13	0.35	2.55
59	32B/33A	3.23	2.56		KALHAM	d25-5	0.0	13.0	1300	90	m 17	1.8	3.23	3.23	2%-golfoploop	2.51	60	15.00	0.71	0.88	0.61	4.91
60	33B	3.83	3.07		ZEEBURG	d25-14	13.0	16.0	300	83	m 13	2.0	3.83	3.74	2%-golfoploop	2.54	60	16.20	0.65	0.87	0.66	4.92
61	33C	4.27	2.82		ZEEBURG	d25-20	16.0	21.0	500	40	m 12	2.0	4.27	4.27	2%-golfoploop	1.96	60	9.00	1.13	1.23	0.28	2.98
62	34A/B	4.13	3.54		HOGENDIJK	d25-22	21.0	22.0	100	69	m 10	1.9	4.13	4.13	2%-golfoploop	2.45	60	18.36	0.45	0.74	0.65	4.99
63	34C	3.81	2.52		HOGENDIJK	d25-24	22.0	25.5	350	69	m 9	2.0	3.81	3.81	2%-golfoploop	1.71	60	8.00	1.06	1.15	0.21	2.74
64	34D	3.98	3.24		HOGENDIJK	d25-26	25.5	27.0	150	69	m 7	1.9	3.98	3.98	2%-golfoploop	2.31	60	16.00	0.75	0.95	0.52	4.72
65	35A	2.76	2.60		KATWOUDE	d25-29	27.0	31.5	450	168	m 3	2.6	2.90	2.79	2%-golfoploop	2.15	180	15.00	0.89	0.80	0.54	3.24
66	35B	2.76	2.43		KATWOUDE	d25-36	31.5	39.0	750	196	m 713	2.6	2.73	2.50	2%-golfoploop	1.77	180	17.00	0.87	0.75	0.39	3.19
67	36A	2.72	1.81		STINKEVUIL	d25-47	39.0	47.0	800	174	m 716	1.7	2.72	2.72	2%-golfoploop	1.39 +0.5	120	10.00	0.97	1.04	0.14	2.01
68	36B	2.86	1.78		STINKEVUIL	d25-51	47.0	53.0	600	204	m 716	1.7	2.86	2.80	2%-golfoploop	1.91	180	18.96	1.30	1.15	0.34	2.17
69	37A	3.36	1.80		MONNICKENDAM	d27-9	0.0	8.5	850	20	m 16	1.7	3.36	3.24	2%-golfoploop	1.35 +0.5	60	12.00	0.93	1.10	0.22	2.52
70	37B	2.73	1.79		MONNICKENDAM	d27-12	8.5	16.0	750	26	m 714	2.4	2.73	2.69	2%-golfoploop	1.28 +0.5	210	2.00	1.28	1.25	0.00	0.25
71	38A	3.32	3.47	0.5	MIRKGOUW	d27-18	16.0	18.0	200	76	m 704	1.7	3.32	3.27	2%-golfoploop	2.86	60	20.00	0.18	0.65	0.71	4.27
72					MIRKGOUW	d27-19	18.0	20.0	200	96	m 703	1.7	3.52	3.42	2%-golfoploop	2.75	60	20.00	0.19	0.67	0.70	4.28
73	38B	3.39	2.38		MIRKGOUW	d27-21	20.0	22.0	200	98	m 702	1.7	3.39	3.39	2%-golfoploop	1.79	60	14.00	0.81	1.02	0.28	3.72
74	38C	3.15	3.61		MIRKGOUW	d27-26	22.0	30.5	850	71	m 700	1.9	3.19	3.01	2%-golfoploop	2.87	60	20.07	0.15	0.64	0.72	4.30
75	39A	3.26	2.71		BUITENGOUW	d27-31	30.5	33.0	250	96	m 698	1.8	3.26	3.26	2%-golfoploop	1.70	60	12.00	0.86	1.04	0.28	3.17
76	39B	3.28	3.00		BUITENGOUW	d27-34	33.0	35.0	200	33	m 698	1.8	3.18	3.11	2%-golfoploop	2.69	60	16.18	0.65	0.92	0.59	4.04
77	40A	3.47	2.98		BINNENGOUW	d27-38	35.0	44.0	900	22	m 697	1.9	3.36	3.25	2%-golfoploop	1.99	60	14.42	0.75	0.97	0.41	3.83
78	40B	3.28	3.72	0.6	BINNENGOUW	d27-44	44.0	45.0	100	5	m 695	1.9	3.54	3.49	2%-golfoploop	2.28	30	16.20	0.60	0.86	0.59	4.20
79	41	3.60	2.74		PEERREBOOM	d27-52	45.0	53.0	800	349	m 691	2.0	3.60	3.60	2%-golfoploop	2.13	0	13.00	0.94	1.07	0.40	3.61
80	50	3.20	2.12		DE NES	d28-55	53.0	55.0	200	100	m 611	2.8	3.20	3.20	waterstand	1.25 +0.5	210	2.00	1.25	1.25	—	—
81	51	3.38	2.21		OPPERWOUD	d28-62	55.0	70.0	1500	125	m 605	2.5	3.38	3.38	2%-golfoploop	2.22	60	13.00	1.01	1.15	0.40	4.36
82	52A	3.38	3.73	0.6	UITDAM	d28-73	70.0	74.0	400	86	m 602	2.6	3.24	3.22	2%-golfoploop	2.96	60	15.00	0.64	0.81	0.71	4.95

Tabel 5.1.b Berekeningsresultaten 2%-golfoplooppniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario voor Dijkkring 13

RIZA STUDIE 1991					BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL				UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE		TOETS	BENODIGDE	ONTWERPPUNT								
nr.	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oploop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	kruin	buiten- kruinlijn	CRITERIUM	KRUIN- KOOGTE	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante piek- golfhoogte periode		
							begin	eind	lengte												* tov N	m	m
83	52B	2.97	3.64	1.9	UITDAM	d28-74	74.0	75.5	150	109	m 601	2.8	3.07	2.92	2%-golfoploop	3.23	*	60	18.00	0.42	0.69	0.88	5.11
84	52C	2.90	3.43	2.1	UITDAM	d28-75	75.5	79.0	350	129	m 599	2.8	2.76	2.76	2%-golfoploop	3.10	*	60	17.98	0.45	0.72	0.87	5.12
85	53A	3.70	3.94	0.3	UITDAM/ZD	d28-82	79.0	83.5	450	111	m 597	2.9	3.18	3.07	2%-golfoploop	3.13	*	90	18.57	0.25	0.48	1.03	4.72
86	53B	3.11	3.42	0.5	UITDAM/ZD	d28-85	83.5	90.5	700	196	m 593	3.0	3.09	2.95	2%-golfoploop	2.66	*	180	18.00	0.66	0.45	0.89	4.20
87					HOLYSLOOT	d28-91	90.5	93.0	250	156	m 591	2.7	3.24	2.91	2%-golfoploop	2.84	*	180	18.00	0.70	0.49	0.87	4.20
88	54A	2.86	3.14	0.4	HOLYSLOOT	d28-94	93.0	95.0	200	147	m 590	2.7	2.99	2.99	2%-golfoploop	2.82	*	120	17.52	0.40	0.47	0.91	4.18
89	54B	2.86	3.15	0.5	HOLYSLOOT	d28-95	95.0	98.5	350	133	m 590	2.7	2.95	2.78	2%-golfoploop	2.83	*	120	17.52	0.35	0.43	0.91	4.16
90					HOLYSLOOT	d28-99	98.5	102.0	350	119	m 588	2.8	3.08	2.92	2%-golfoploop	3.25	*	90	20.00	0.12	0.45	0.98	4.67
91	55	3.07	3.41	0.2	BARNEGAT	d28-106	102.0	108.5	650	149	m 583	2.8	3.14	3.07	2%-golfoploop	3.28	*	90	20.00	0.12	0.47	1.05	4.70
92	56	3.22	3.45	1.8	BLIJKMEER	d28-116	108.5	118.0	950	127	m 580	2.6	3.03	2.99	2%-golfoploop	3.30	*	90	17.58	0.30	0.56	0.97	4.58
93	57	3.26	3.89	1.3	DE MUNT	d28-120	118.0	121.5	350	105	m 578	2.6	3.34	3.25	2%-golfoploop	3.40	*	90	19.00	0.18	0.50	1.04	4.64
94	58	3.33	3.90	1.2	KINSELMEER	d28-125	121.5	135.0	1350	115	m 575	2.6	3.31	3.31	2%-golfoploop	3.43	*	90	19.39	0.15	0.49	1.07	4.67
95	59A	3.22	3.62	1.7	KINSEL	d28-136	135.0	140.0	500	109	m 570	2.5	3.15	3.14	2%-golfoploop	3.29	*	90	19.00	0.19	0.52	1.04	4.68
96	59B	2.95	2.86		KINSEL	d28-143	140.0	143.0	300	152	m 566	2.4	2.81	2.76	2%-golfoploop	2.01	*	90	10.00	0.99	1.11	0.36	3.00
97					KINSEL	d28-145	143.0	146.0	300	157	m 554	3.6	2.89	2.84	2%-golfoploop	2.24	*	90	11.72	1.00	1.13	0.41	3.52
98					KINSEL	d28-147	146.0	151.0	500	153	m 554	3.6	3.04	2.99	2%-golfoploop	2.31	*	90	12.00	0.99	1.12	0.42	3.60
99	60	2.53	1.91		DURGERDAM	d28-154	151.0	159.0	800	159	m 557	2.3	2.53	2.53	2%-golfoploop	1.60	*	90	13.97	0.75	0.94	0.26	3.64
100	61A	3.12	1.95		DURGERDAM/ZD	d30-164	159.0	164.0	500	116	m 558	2.3	3.12	3.12	2%-golfoploop	1.98	*	60	18.00	0.46	0.89	0.40	3.96
101	61B	3.13	1.92		DURGERDAM/ZD	d30-166	164.0	166.0	200	166	m 560	3.9	3.13	3.13	2%-golfoploop	1.26	+0.5	210	2.00	1.26	1.21	0.00	0.26
102	62	3.30	1.91		SCHELLINGW.	d30-172	166.0	184.5	1850	236	m 562	5.2	3.30	3.24	2%-golfoploop	1.36	+0.5	330	14.91	1.00	1.10	0.14	1.67

Tabel 5.1.b Berekeningsresultaten 2%-golfoplooptniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario voor Dijkkring 13

nr.	RIZA STUDIE 1991			BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL					UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE		TOETS CRITERIUM	BENODIGDE		ONTWERPPUNT					
	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oploop	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	buiten- kruin kruinlijn		KRUIN- KOOGTE	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante piek- golffoogte periode		
	m	m	l/sm		begin	eind	lengte	m				m							m	m	m
1	D4	4.40	2.54	MUIDERTRVRT	202c-1			950	40	m 541	2.6	3.54	3.54	waterstand	1.04 +0.5	210	4.00	1.04	1.04	---	---
2	D5A	4.40	3.32	MUIDENWST	202c-4b			2735	339	m 531	3.6	3.61	3.61	2%-golfoploop	2.51	0	24.00	-0.37	0.53	1.20	5.26
3	D5B	4.40	3.43	MUIDENWST	202c-5			450	15	m 530	3.9	3.68	3.68	2%-golfoploop	2.68	0	23.79	-0.35	0.53	1.19	5.30
4	D6A	4.40	3.01	MUIDENOST	203c-1			465	342	m 526	2.5	4.00	4.00	2%-golfoploop	2.39	330	28.62	-0.35	0.55	0.91	5.19
5	D6B	4.40	3.09	MUIDENOST	203c-2a			800	9	m 525	1.9	4.14	4.14	2%-golfoploop	1.97	330	28.22	-0.35	0.48	0.62	5.39
6	D7A	4.21	3.72	NOORDPOLDER	203c-2b			335	1	m 522	1.7	4.04	4.04	2%-golfoploop	2.39	330	18.00	0.47	0.79	0.58	4.08
7	D7B	4.21	3.39	NOORDPOLDER	203c-3			745	33	m 519	1.3	4.19	4.19	2%-golfoploop	2.20	330	17.44	0.45	0.77	0.54	3.86
8	63	4.21	3.20	MDBERG-WST	203c-4a			435	40	m 516	1.2	3.91	3.91	2%-golfoploop	2.24	330	18.00	0.42	0.78	0.55	3.97
9	64	3.30	2.77	MDBERG-OST	205x-1			1640	38	m 506	6.1	3.30	3.30	2%-golfoploop	1.06 +0.5	330	12.78	0.80	1.06	0.44	2.92
10	65A	4.30	3.58	NAARDEN	206x-1			3270	45	g 176	7.2	4.30	4.30	2%-golfoploop	1.07 +0.5	330	31.00	-0.36	1.02	0.02	3.68
11	65B	4.30	3.09	NAARDEN	207a-2			445	38	g 169	2.6	4.30	4.30	2%-golfoploop	1.09 +0.5	330	29.56	-0.35	0.95	0.05	4.25
12	65C	4.30	4.19	NAARDEN	207b-3			750	358	g 162	0.4	4.30	4.30	2%-golfoploop	1.10 +0.5	330	29.78	-0.35	1.10	0.00	3.80
13	65D	4.30	4.22	NAARDEN	207c-3			750	328	g 159	0.4	4.30	4.30	2%-golfoploop	1.09 +0.5	330	30.00	-0.36	1.09	0.00	3.70

Tabel 5.1.c Berekeningsresultaten 2%-golfplooptniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario voor Dijkkring 44

nr.	RIZA STUDIE 1991				BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL				UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE		TOETS CRITERIUM	BENODIGDE		ONTWERPPUNT							
	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oploop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte		buiten- kruin	kruinlijn	KRUIN- KOOGTE	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante golfhoogte	piek- periode	
	m	m	l/sm				hm	hm	m	* tov N		m		m	m	m	* tov N	m/s	m +NAP	m +NAP	m	s	
1	67	1.25			OOSTERMEENT	46-67			1500	-	g 118	1.0	1.25	1.25	waterstand	1.15	+0.5 *	300	34.58	-0.35	1.15	---	---
2	68	1.25			ST.BRUG-WST	46-68			750	-	g 115	1.0	1.60	1.60	waterstand	1.17	+0.5 *	300	34.00	-0.36	1.17	---	---
3	E1	2.00	1.92		AUTOWEG N27	46-E1	75.0	82.5	750	-	g 78	3.2	2.00	2.00	waterstand	1.29	+0.5	300	32.54	-0.35	1.29	---	---
4	E2	2.00	2.20	0.2	GOOYERSGRACHT	46-E2	69.0	75.0	600	-	g 78	3.2	2.02	2.02	waterstand	1.29	+0.5	300	32.54	-0.35	1.29	---	---
5	E3	2.00	2.04	0.8	MEENTWEG	46-E3	37.0	69.0	3200	-	g 78	3.2	2.23	2.23	waterstand	1.29	+0.5	300	32.54	-0.35	1.29	---	---
6	E4	2.20	2.12		WAKKERENDIJK	46-E4	6.0	37.0	3100	-	g 78	3.2	2.42	2.42	waterstand	1.29	+0.5	300	32.54	-0.35	1.29	---	---
7	E5	2.20	3.06	6.9 *	EEMDIJK	45-E5	118.0	174.5	5650	-	g 78	3.2	1.97	1.97	waterstand	1.29	+0.5	300	32.54	-0.35	1.29	---	---
8	E6	2.30	3.45	11.3 *	VEEN EN VERDENDIJK	45-E6	174.5	192.5	1800	-	g 78	3.2	2.07	2.07	waterstand	1.29	+0.5	300	32.54	-0.35	1.29	---	---
9	73	1.40			EEM-OST	45-73a	192.5	197.0	450	341	g 70	1.2	3.13	2.98	2%-golfoploop	3.24	*	300	32.00	-0.35	1.35	0.63	4.52
10	74	2.80	4.22	48.5 *	BIKKERSPOLDER	45-74	197.0	221.0	2400	37	g 65	1.4	3.12	2.94	waterstand	1.40	+0.5	300	32.16	-0.35	1.40	---	---
11	75	3.42	3.44	31.4 *	SPAKENB-OST	45-75	221.0	241.5	2050	37	g 49	2.9	3.60	3.44	2%-golfoploop	2.37		330	27.00	-0.37	1.25	0.49	3.66
12	76	3.22	4.18	50.8 *	NIJKERK.NW-OST	45-76	241.5	300.5	5900	335	g 36	1.3	3.54	3.52	2%-golfoploop	2.96		300	31.52	-0.35	1.57	0.79	3.42

Tabel 5.1.d Berekeningsresultaten 2%-golfplooptniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario voor Dijkkring 45|46

RIZA STUDIE 1991					BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL						UITVOERPUNT			DIJKHOOGTE		TOETS	BENODIGDE	ONTWERPPUNT					
nr.	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oploop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	buiten- kruinlijn		CRITERIUM	KRUIN- KOOGTE	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante piek- golffhoogte periode		
							begin	eind	lengte				kruin	kruinlijn							m	m	m
DIJKRING 8																							
10	86	3.06	3.34	92.0	* GOOIMEERDIJK1	d8-170	146.0	190.0	4400	212	g 239	3.6	3.16	2.89	2%-golfoploop	2.80	300	33.25	-0.40	0.98	1.30	5.24	
16					OSTVDK-WST	d8-19	11.0	24.0	1300	239	m 484	2.8	2.90	2.67	2%-golfoploop	2.72	*	330	28.78	-0.40	0.45	1.15	4.91
17	1E	2.71	2.76	47.9	* PAMPUSHOEK	d8-7	0.0	11.0	1100	284	m 477	3.3	2.90	2.67	2%-golfoploop	2.62		330	28.00	-0.35	0.37	1.38	4.83
23	1B	2.63	3.26	51.0	* DE BLOCK-1B	d8-N180	174.5	185.0	1050	295	m 437	3.9	2.81	2.63	2%-golfoploop	2.96	*	300	33.29	-0.35	0.30	1.74	5.36
24	95	2.76	3.88	107.9	* OSTVDK-MID	d8-N130t	65.5	174.5	10900	323	m 413	4.2	2.77	2.31	2%-golfoploop	3.12	*	300	33.14	-0.35	0.48	1.87	5.64
25	98	2.70	4.64	280.5	* KNARDIJK	d8-N55	46.0	65.5	1950	1	m 369	4.3	2.86	2.70	2%-golfoploop	3.66	*	270	36.00	-0.40	1.07	2.06	6.13
26	99A	2.70	3.05	16.2	* WORTMAN	d8-N36	23.5	46.0	2250	318	m 366	4.4	2.72	2.70	2%-golfoploop	3.04	*	270	35.48	-0.40	1.11	0.68	6.19
27	99B	2.50	3.96	31.7	* WORTMAN	d8-N5	0.0	23.5	2350	274	m 362	4.4	2.50	2.50	2%-golfoploop	3.52	*	270	35.00	-0.38	1.15	0.75	6.16
DIJKRING 13																							
10	5	3.69	3.72	0.4	DE-WEED	d18b-70	65.0	74.0	900	142	m 210	3.1	3.64	3.53	2%-golfoploop	3.34		210	31.00	-0.36	0.84	0.91	5.64
11	06A	3.76	4.54	5.4	* KROONHOEVE	d18b-91	74.0	94.5	2050	157	m 199	3.2	3.75	3.67	2%-golfoploop	3.20		210	31.00	-0.36	0.71	0.98	5.61
15	07B	3.58	5.79	49.8	* OOSTERLEEK	d18a-106	104.0	113.0	900	185	m 190	3.7	3.70	3.56	2%-golfoploop	3.10		210	31.00	-0.35	0.63	0.94	5.54
18	09A	3.70	5.26	21.2	* KRAAIENBURG	d18a-138	136.0	145.0	900	178	m 175	4.0	3.66	3.43	2%-golfoploop	3.36		210	31.19	-0.35	0.43	1.19	5.42
31	17	2.99	3.73	1.1	* GROOTE WAAL	d20-19	14.0	25.0	1100	136	m 120	2.5	2.87	2.82	2%-golfoploop	2.36		180	25.40	-0.35	0.48	0.90	4.88
32	18	2.88	3.79	5.4	* WESTERKOGGE	d20-32	25.0	32.0	700	151	m 114	2.8	2.83	2.76	2%-golfoploop	3.04	*	150	22.00	-0.37	0.42	0.97	4.94
56	31A	2.88	3.76	3.2	* VOLENDAM	d24-22	19.0	29.0	1000	127	m 29	3.0	3.03	3.03	2%-golfoploop	1.71		90	13.00	-0.05	0.10	0.66	3.89
57	31B	3.10	4.06	1.9	* VOLENDAM	d24-28	29.0	39.0	1000	114	m 26	2.8	3.01	2.97	2%-golfoploop	1.66		60	23.00	-0.35	0.16	0.70	4.78
83	52B	2.97	3.64	1.9	* UITDAM	d28-74	74.0	75.5	150	109	m 601	2.8	3.07	2.92	2%-golfoploop	2.66		60	22.56	-0.35	0.19	0.97	5.01
84	52C	2.90	3.43	2.1	* UITDAM	d28-75	75.5	79.0	350	129	m 599	2.8	2.76	2.76	2%-golfoploop	2.50		60	22.56	-0.35	0.21	0.96	5.02
85	53A	3.70	3.94	0.3	UITDAMZD	d28-82	79.0	83.5	450	111	m 597	2.9	3.18	3.07	2%-golfoploop	2.70		90	22.00	-0.36	0.05	1.03	4.60
89	54B	2.86	3.15	0.5	HOLYSLOOT	d28-95	95.0	98.5	350	133	m 590	2.7	2.95	2.78	2%-golfoploop	2.30		90	22.00	-0.37	0.09	0.87	4.54
90					HOLYSLOOT	d28-99	98.5	102.0	350	119	m 588	2.8	3.08	2.92	2%-golfoploop	2.81		90	21.50	-0.35	0.08	0.98	4.56
91	55	3.07	3.41	0.2	BARNEGAT	d28-106	102.0	108.5	650	149	m 583	2.8	3.14	3.07	2%-golfoploop	2.82		90	21.50	-0.35	0.12	1.04	4.57
92	56	3.22	3.45	1.8	* BLIJKMEER	d28-116	108.5	118.0	950	127	m 580	2.6	3.03	2.99	2%-golfoploop	2.60		60	22.43	-0.35	0.33	0.86	5.12
93	57	3.26	3.89	1.3	* DE MUNT	d28-120	118.0	121.5	350	105	m 578	2.6	3.34	3.25	2%-golfoploop	3.01		90	21.59	-0.35	0.14	1.05	4.54
94	58	3.33	3.90	1.2	* KINSELMEER	d28-125	121.5	135.0	1350	115	m 575	2.6	3.31	3.31	2%-golfoploop	3.06		90	22.00	-0.37	0.15	1.09	4.56
95	59A	3.22	3.62	1.7	* KINSEL	d28-136	135.0	140.0	500	109	m 570	2.5	3.15	3.14	2%-golfoploop	2.92		90	22.00	-0.37	0.18	1.06	4.55
DIJKRING 45 46																							
9	73	1.40			EEM-OST	45-73a	192.5	197.0	450	341	g 70	1.2	3.13	2.98	2%-golfoploop	3.08	*	300	31.68	-0.40	1.28	0.59	4.47

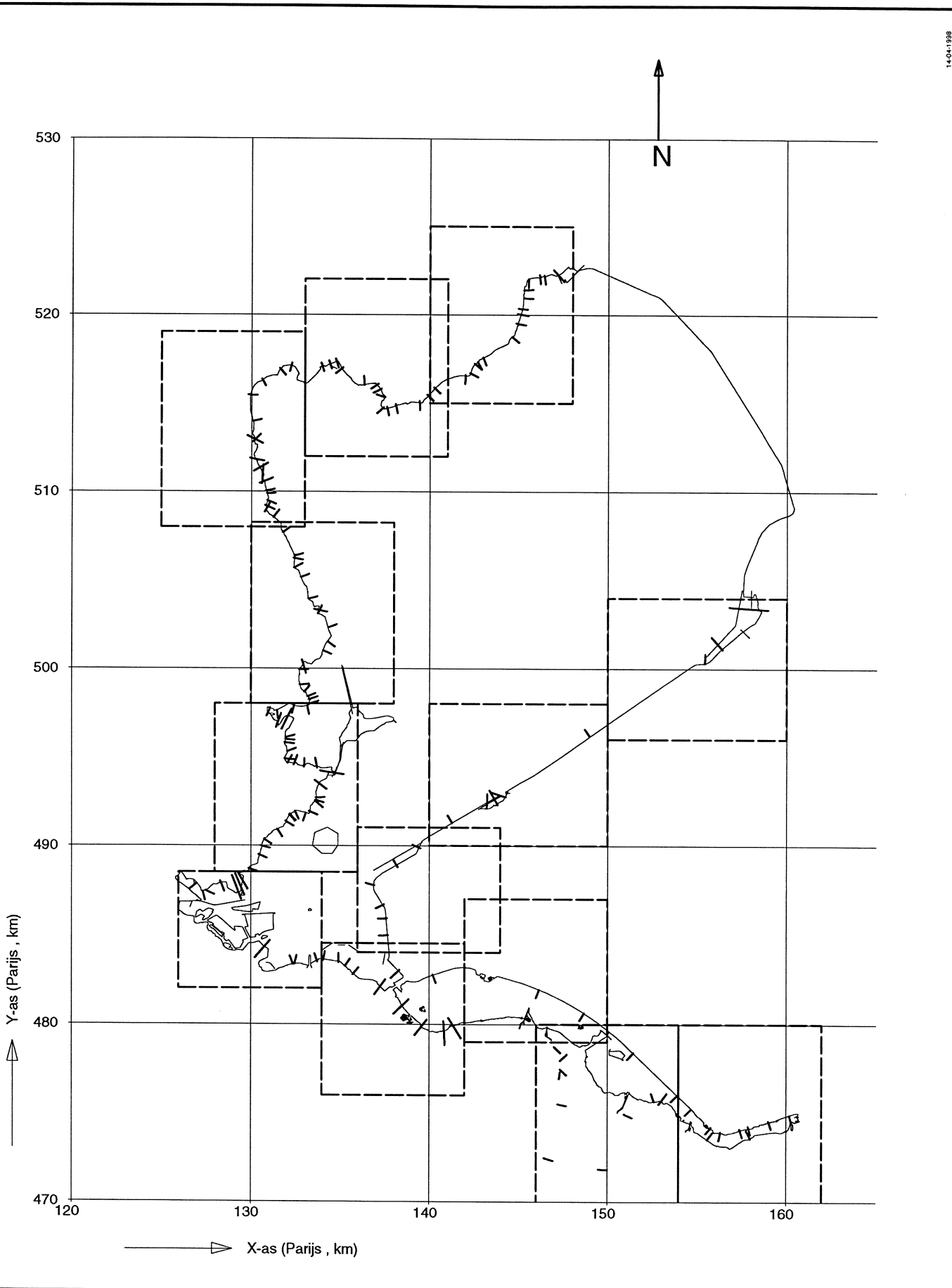
Tabel 5.2 Berekeningsresultaten 2%-golfoploopniveau met situatie waarin bij extreem hoog meerpeil op het IJsselmeer geen water op het Markermeer wordt afgelaten (lage meerpeilstatistiek)

nr.	RIZA STUDIE 1991				BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL					UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE		TOETS CRITERIUM	BENODIGDE KRUIN- KOOGTE	ONTWERPPUNT						
	dijk- code	kruin- hoogte	2%-golf- oploop	overslag	naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	buiten- kruin			kruinlijn	wind- richting	wind- snelheid	meerpeil	waterstand	significante golfhoogte	piek- periode
	m	m	l/sm				begin	eind	lengte	* tov N		m	m			m	m	* tov N	m/s	m +NAP	m +NAP	m
DIJKRING 8																						
10	86	3.06	3.34	92.0	* GOOIMEERDIJK1	d8-170	146.0	190.0	4400	212	g 239	3.6	3.16	2.89	1/sm-overslag	2.48	300	33.78	-0.35	1.07	1.35	5.30
16					OSTVDK-WST	d8-19	11.0	24.0	1300	239	m 484	2.8	2.90	2.67	1/sm-overslag	2.40	330	30.63	-0.35	0.63	1.23	5.06
17	1E	2.71	2.76	47.9	* PAMPUSHOEK	d8-7	0.0	11.0	1100	284	m 477	3.3	2.90	2.67	1/sm-overslag	2.40	330	29.68	-0.35	0.48	1.45	4.94
23	1B	2.63	3.26	51.0	* DE BLOCK-1B	d8-N180	174.5	185.0	1050	295	m 437	3.9	2.81	2.63	1/sm-overslag	3.15	* 300	36.37	-0.35	0.46	1.85	5.48
24	95	2.76	3.88	107.9	* OSTVDK-MID	d8-N130t	65.5	174.5	10900	323	m 413	4.2	2.77	2.31	1/sm-overslag	2.98	* 300	34.98	-0.35	0.59	1.95	5.72
25	98	2.70	4.64	280.5	* KNARDIJK	d8-N55	46.0	65.5	1950	1	m 369	4.3	2.86	2.70	1/sm-overslag	3.49	* 270	36.58	-0.35	1.15	2.10	6.18
26	99A	2.70	3.05	16.2	* WORTMAN	d8-N36	23.5	46.0	2250	318	m 366	4.4	2.72	2.70	1/sm-overslag	2.83	* 270	36.39	-0.35	1.24	0.75	6.26
27	99B	2.50	3.96	31.7	* WORTMAN	d8-N5	0.0	23.5	2350	274	m 362	4.4	2.50	2.50	1/sm-overslag	3.26	* 270	35.56	-0.35	1.23	0.79	6.20
DIJKRING 13																						
10	5	3.69	3.72	0.4	DE-WEED	d18b-70	65.0	74.0	900	142	m 210	3.1	3.64	3.53	1/sm-overslag	3.34	210	33.00	-0.31	1.04	0.99	5.79
11	06A	3.76	4.54	5.4	* KROONHOEVE	d18b-91	74.0	94.5	2050	157	m 199	3.2	3.75	3.67	1/sm-overslag	3.35	180	17.00	0.73	0.99	1.04	5.30
15	07B	3.58	5.79	49.8	* OOSTERLEEK	d18a-106	104.0	113.0	900	185	m 190	3.7	3.70	3.56	1/sm-overslag	3.42	210	19.00	0.72	1.01	1.05	4.78
18	09A	3.70	5.26	21.2	* KRAAIENBURG	d18a-138	136.0	145.0	900	178	m 175	4.0	3.66	3.43	1/sm-overslag	3.73	* 180	19.45	0.50	0.79	1.24	5.35
31	17	2.99	3.73	1.1	* GROOTE WAAL	d20-19	14.0	25.0	1100	136	m 120	2.5	2.87	2.82	1/sm-overslag	2.89	* 150	16.00	0.53	0.84	0.92	5.03
32	18	2.88	3.79	5.4	* WESTERKOGGE	d20-32	25.0	32.0	700	151	m 114	2.8	2.83	2.76	1/sm-overslag	3.29	* 150	16.47	0.45	0.79	1.04	5.01
56	31A	2.88	3.76	3.2	* VOLENDAM	d24-22	19.0	29.0	1000	127	m 29	3.0	3.03	3.03	1/sm-overslag	2.75	90	14.00	0.65	0.78	1.00	4.50
57	31B	3.10	4.06	1.9	* VOLENDAM	d24-28	29.0	39.0	1000	114	m 26	2.8	3.01	2.97	1/sm-overslag	2.74	60	14.00	0.76	0.89	0.92	4.66
83	52B	2.97	3.64	1.9	* UITDAM	d28-74	74.0	75.5	150	109	m 601	2.8	3.07	2.92	1/sm-overslag	2.82	90	17.00	0.51	0.68	0.98	4.69
84	52C	2.90	3.43	2.1	* UITDAM	d28-75	75.5	79.0	350	129	m 599	2.8	2.76	2.76	1/sm-overslag	2.71	60	18.00	0.55	0.82	0.88	5.17
85	53A	3.70	3.94	0.3	UITDAM/ZD	d28-82	79.0	83.5	450	111	m 597	2.9	3.18	3.07	1/sm-overslag	2.81	90	18.55	0.30	0.53	1.04	4.73
89	54B	2.86	3.15	0.5	HOLYSLOOT	d28-95	95.0	98.5	350	133	m 590	2.7	2.95	2.78	1/sm-overslag	2.48	120	18.00	0.30	0.38	0.93	4.20
90					HOLYSLOOT	d28-99	98.5	102.0	350	119	m 588	2.8	3.08	2.92	1/sm-overslag	2.84	90	20.00	0.13	0.46	0.99	4.68
91	55	3.07	3.41	0.2	BARNEGAT	d28-106	102.0	108.5	650	149	m 583	2.8	3.14	3.07	1/sm-overslag	2.82	90	20.39	0.10	0.47	1.07	4.71
92	56	3.22	3.45	1.8	* BLIJKMEER	d28-116	108.5	118.0	950	127	m 580	2.6	3.03	2.99	1/sm-overslag	2.86	90	17.81	0.30	0.56	0.98	4.60
93	57	3.26	3.89	1.3	* DE MUNT	d28-120	118.0	121.5	350	105	m 578	2.6	3.34	3.25	1/sm-overslag	3.01	90	19.66	0.10	0.45	1.05	4.66
94	58	3.33	3.90	1.2	* KINSELMEER	d28-125	121.5	135.0	1350	115	m 575	2.6	3.31	3.31	1/sm-overslag	3.02	90	19.74	0.10	0.46	1.08	4.67
95	59A	3.22	3.62	1.7	* KINSEL	d28-136	135.0	140.0	500	109	m 570	2.5	3.15	3.14	1/sm-overslag	2.90	90	19.72	0.10	0.48	1.06	4.68
DIJKRING 45 46																						
9	73	1.40			EEM-OST	45-73a	192.5	197.0	450	341	g 70	1.2	3.13	2.98	1/sm-overslag	2.80	300	32.09	-0.35	1.36	0.63	4.53

Tabel 5.3 Berekeningsresultaten 1 l/s per m golfoverslagniveau bij de huidige situatie met klimaatscenario

BESCHRIJVING DIJKVAK/PROFIEL					UITVOERPUNT		DIJKHOOGTE			OVERSLAG	ONTWERPPUNT					
naam	dijk- code	dimensie			richting	code	diepte	buiten-		DEBIET	wind-	wind-	meerpeil	waterstand	significante	piek-
		begin	eind	lengte				kruin	kruinlijn		richting	snelheid			golfhoogte	periode
		hm	hm	m	* tov N		m	m	m	l/sm	* tov N	m/s	m +NAP	m +NAP	m	s
DIJKRING 13																
KRAAIENBURG	d18a-138	136.0	145.0	900	178	m 175	4.0	3.66	3.43	2.0	180	19.50	0.50	0.80	1.24	5.35
GROOTE WAAL	d20-19	14.0	25.0	1100	136	m 120	2.5	2.87	2.82	1.7	180	17.13	0.70	0.96	0.96	4.82
WESTERKOGGE	d20-32	25.0	32.0	700	151	m 114	2.8	2.83	2.76	6.0	150	16.06	0.60	0.91	1.06	5.03

Tabel 5.4 Berekende overslagdebieten bij kruinhoogtes die meer dan 1 l/s per m overslag geven in de huidige situatie



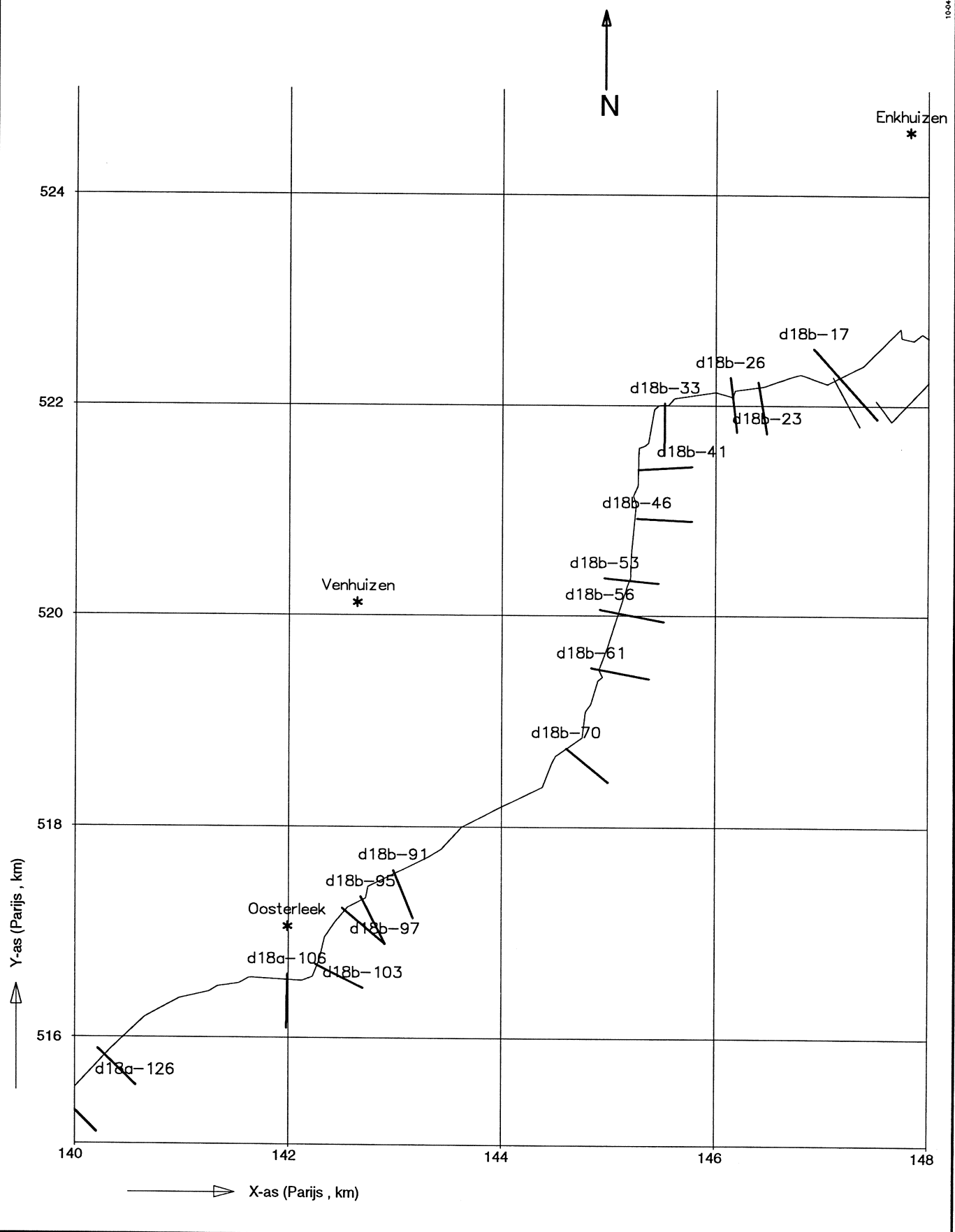
Overzicht dijkklocaties Markermeer, Gooi- en Eemmeer

Schaal 1 :300.000

WL I delft hydraulics

H3211

Fig. 3.5



Ligging en orientatie dijklocaties

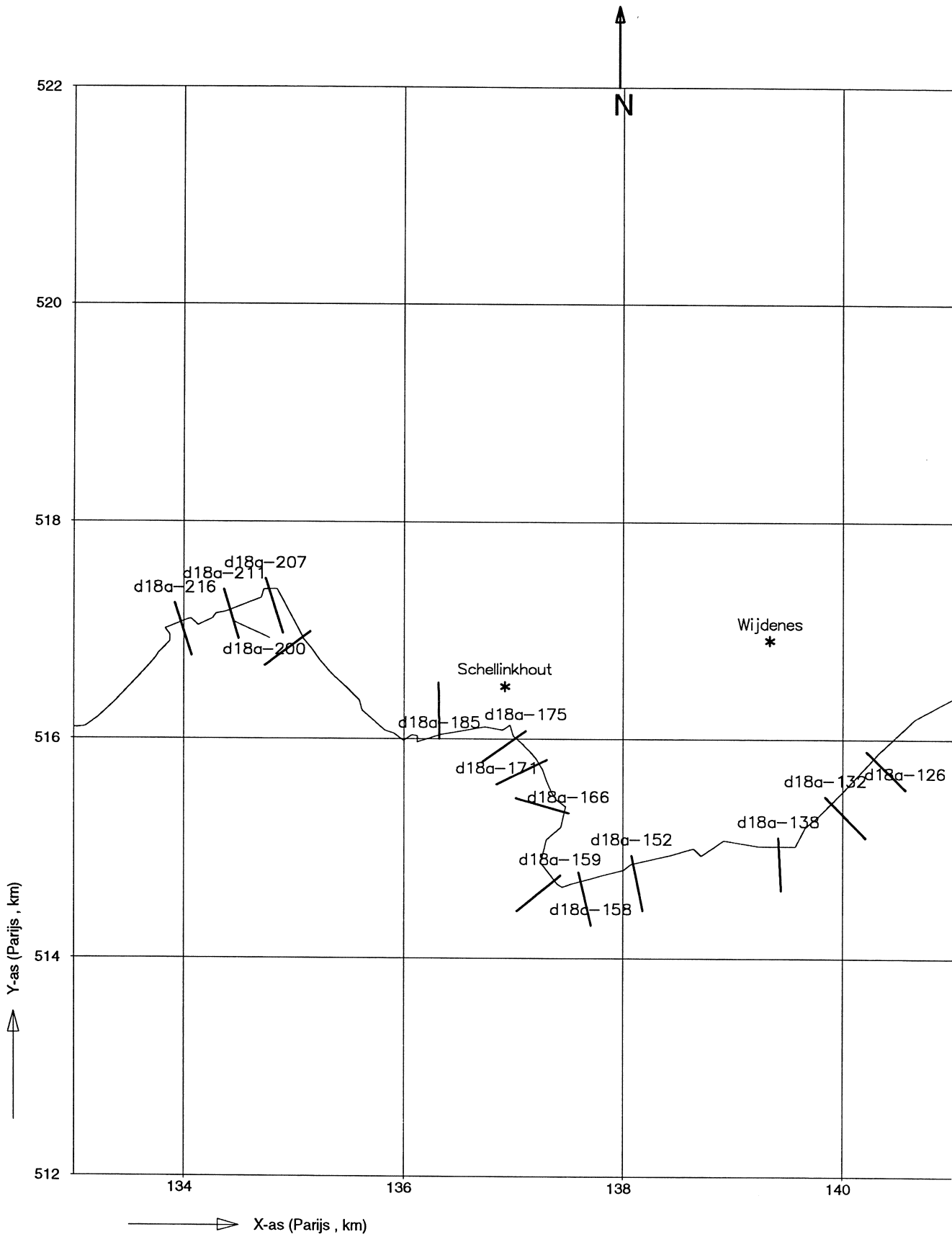
d18b-17 t/m d18a-126

Schaal 1 : 50.000

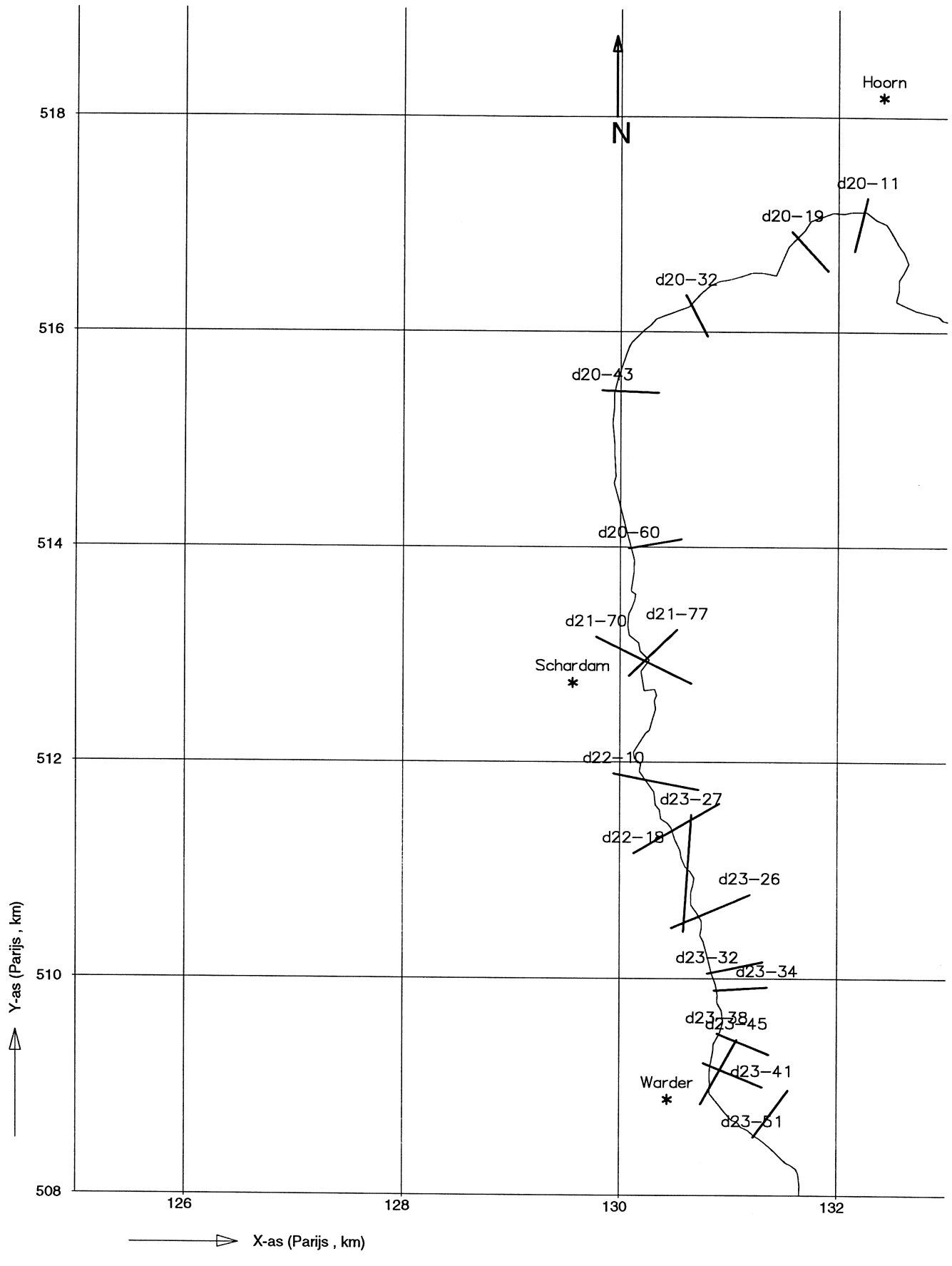
WL I delft hydraulics

H3211

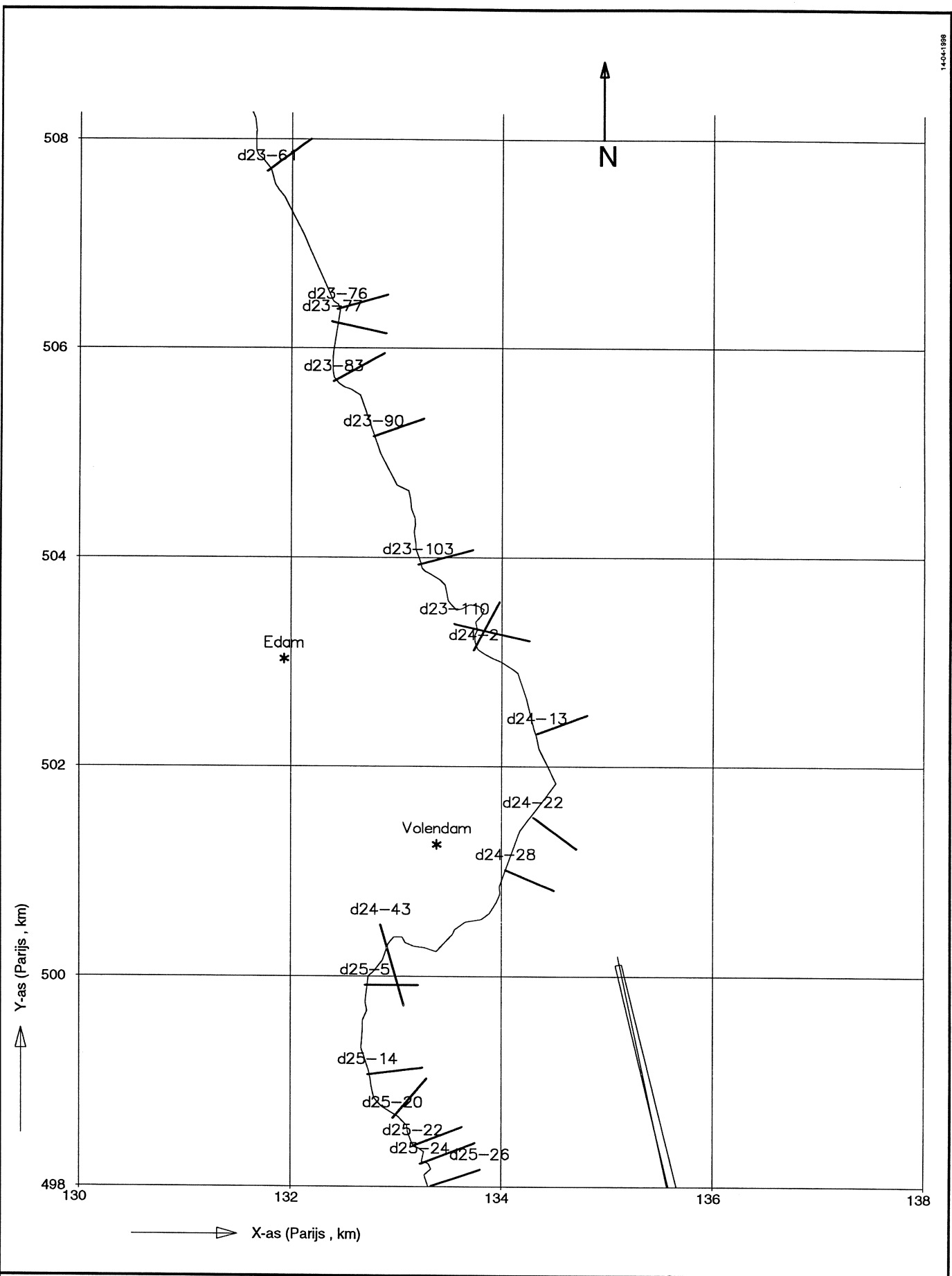
Fig. 3.6



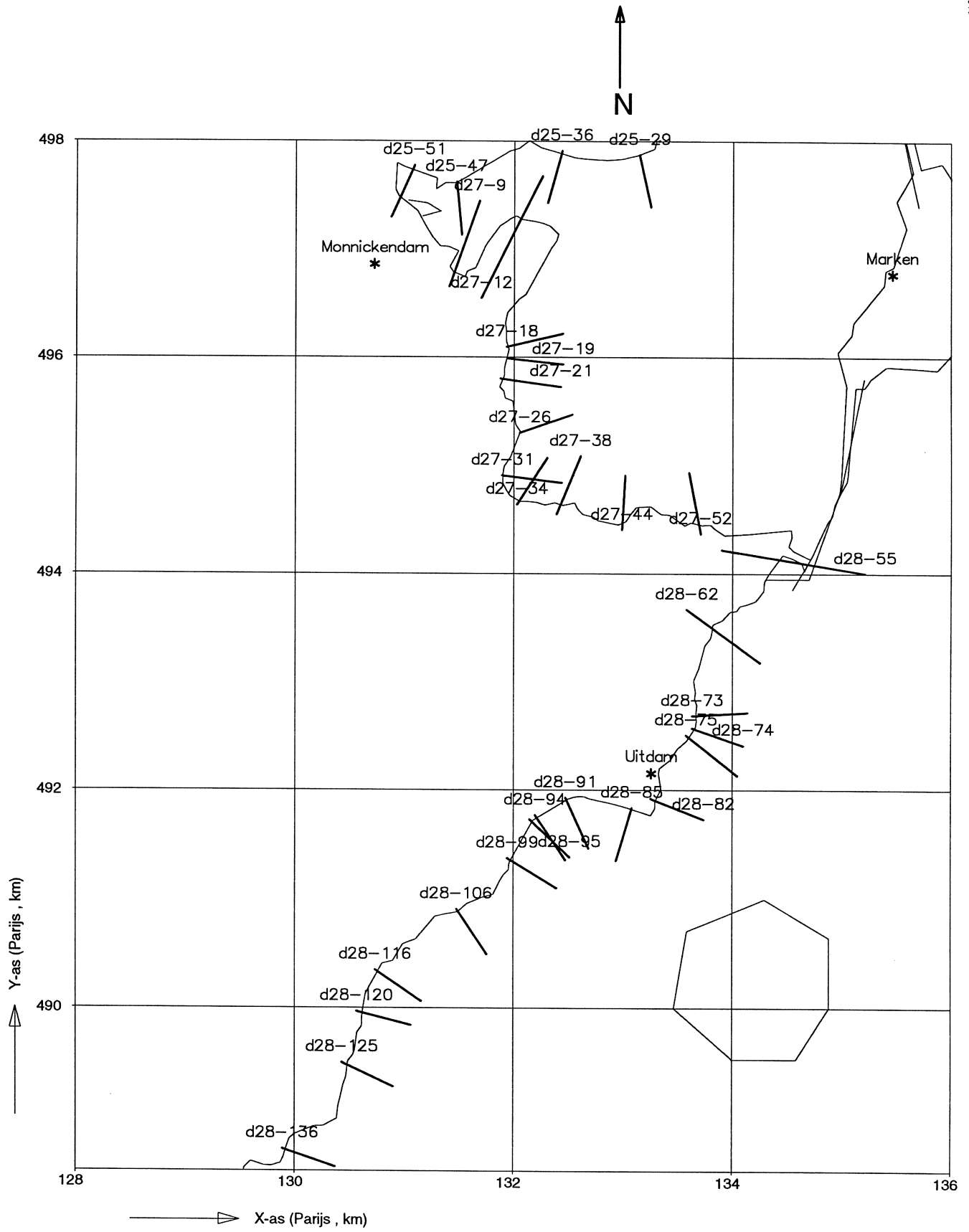
Ligging en orientatie dijklocaties d18a-126 t/m d18a-216		
	Schaal 1 : 50.000	
WL I delft hydraulics	H3211	Fig. 3.7



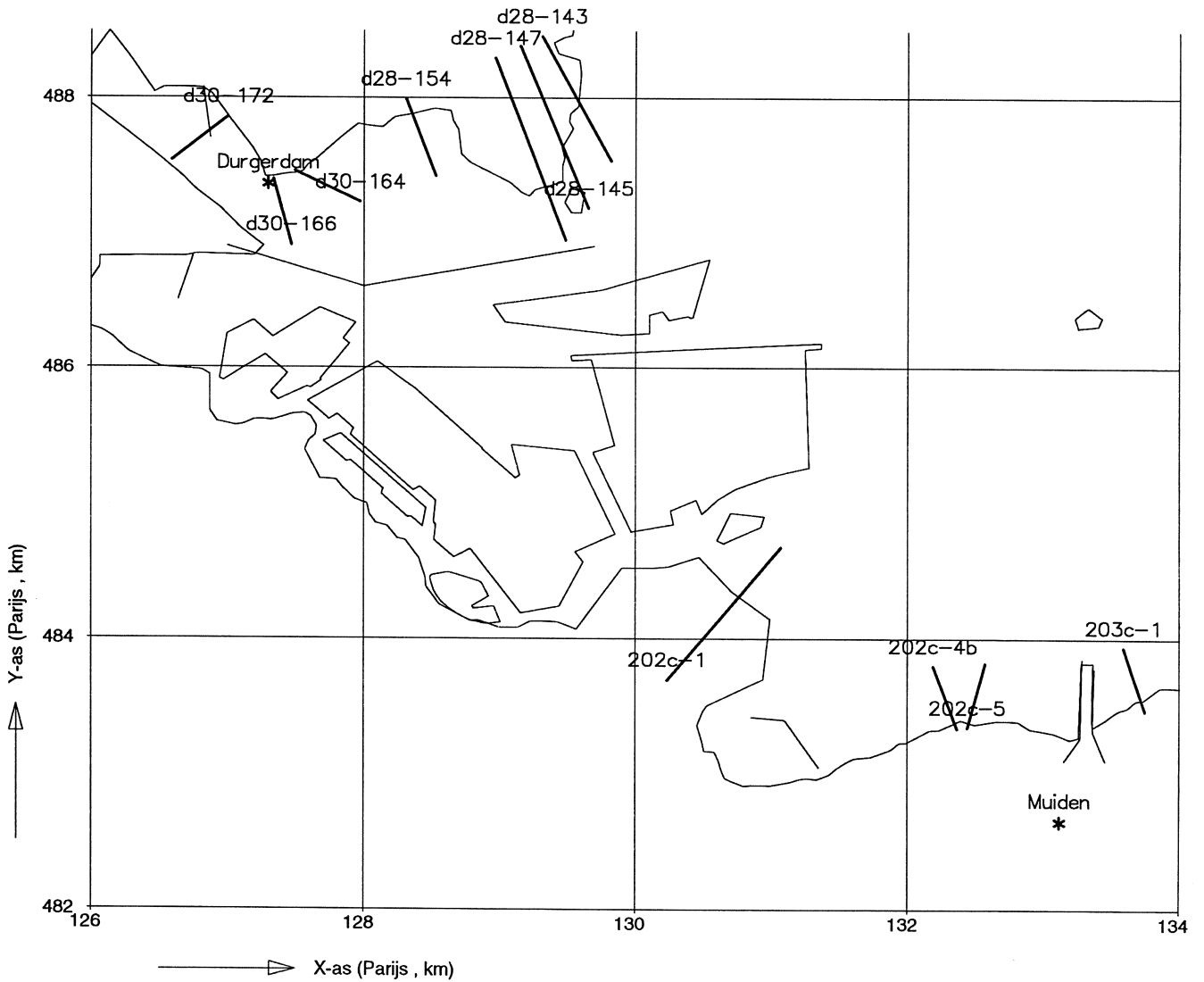
Ligging en orientatie dijklocaties d20-11 t/m d23-51		
	Schaal 1 : 50.000	
WL delft hydraulics	H3211	Fig. 3.8



Ligging en orientatie dijklocaties d23-61 t/m d25-26		
	Schaal 1 : 50.000	
WL I delft hydraulics	H3211	Fig. 3.9



Ligging en orientatie dijklocaties d25-29 t/m d28-136		
	Schaal 1 : 50.000	
WL delft hydraulics	H3211	Fig. 3.10



Ligging en orientatie dijklocaties

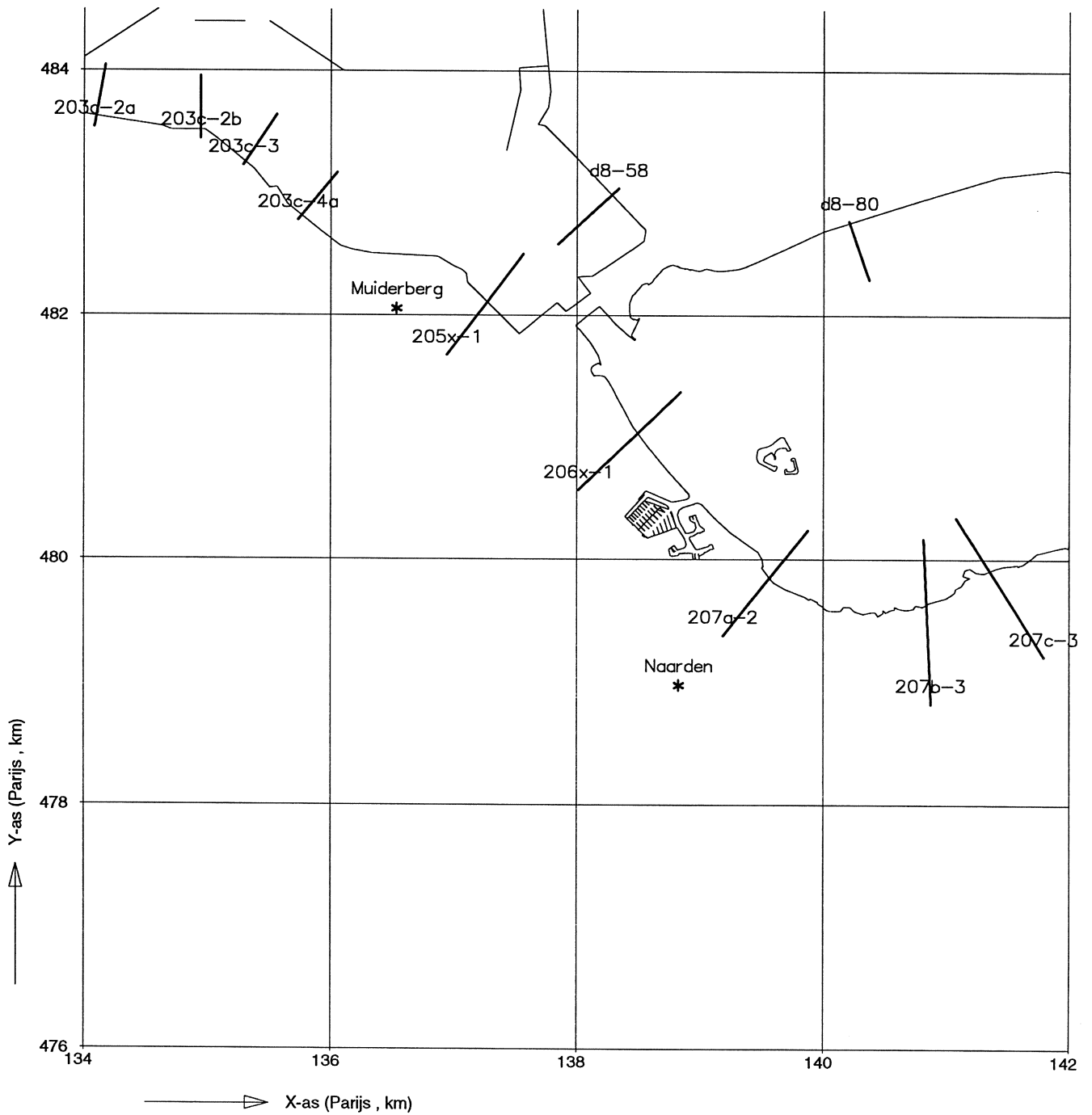
d28-143 t/m 203c-1

Schaal 1 : 50.000

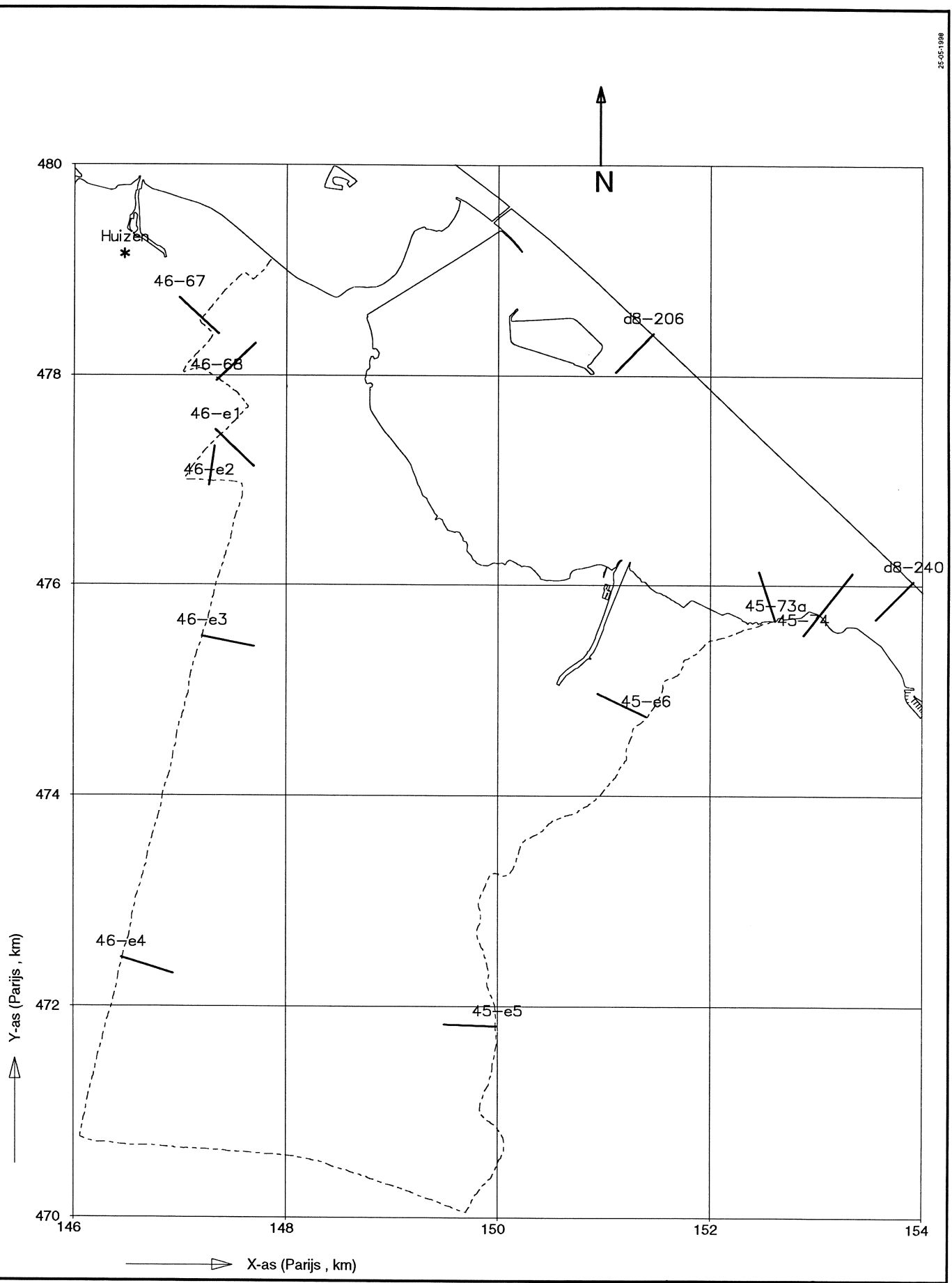
WL I delft hydraulics

H3211

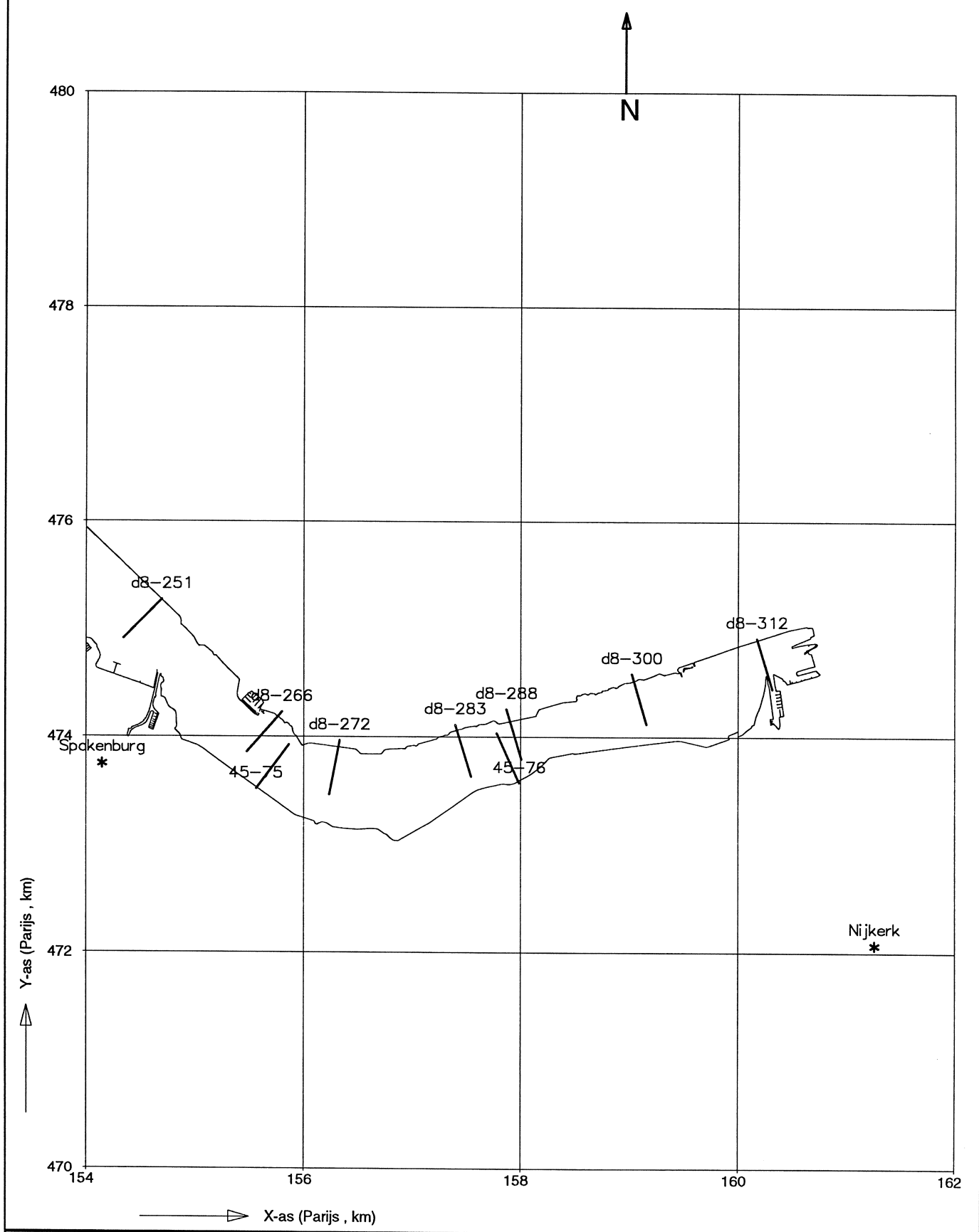
Fig. 3.11



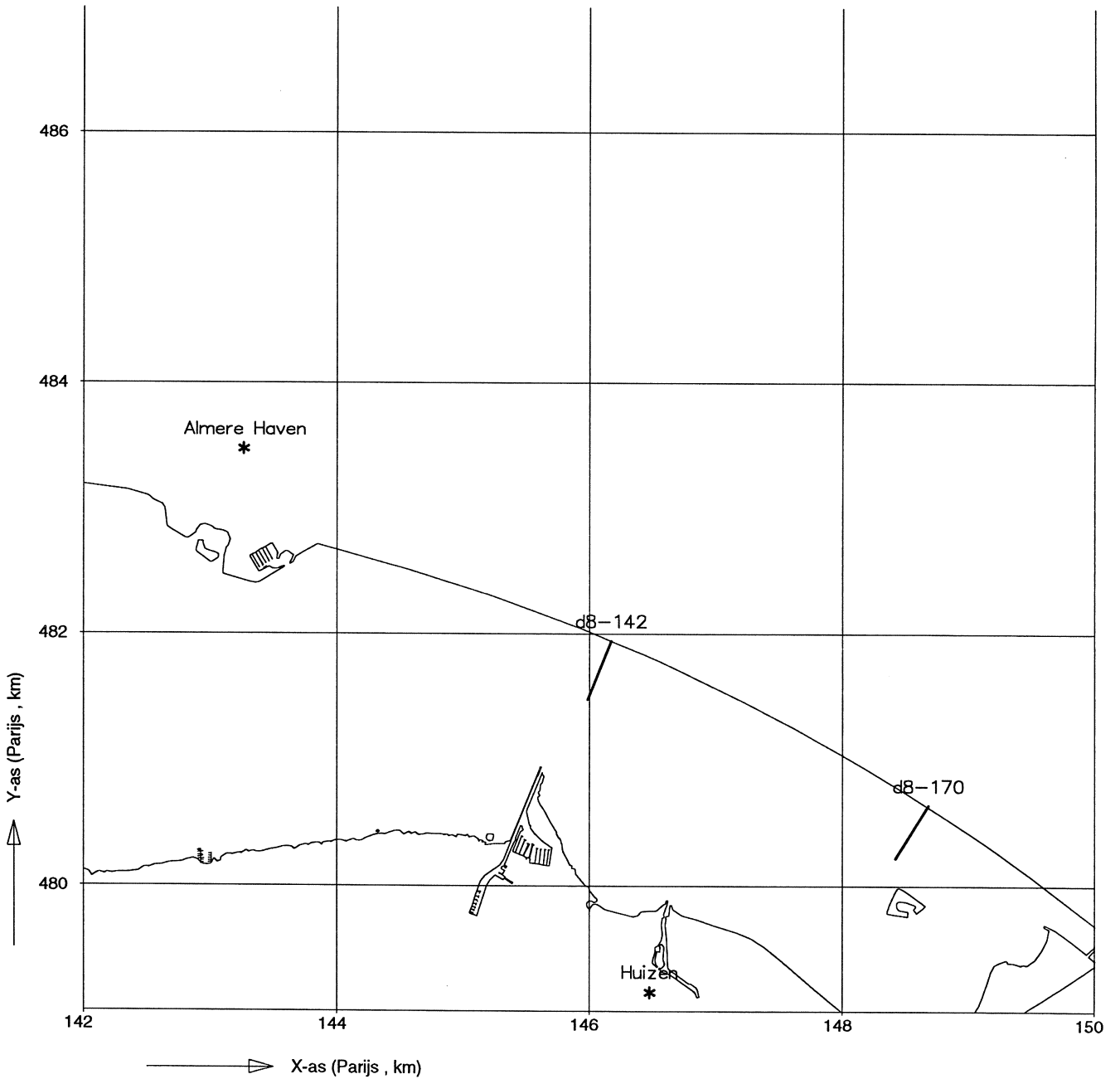
Ligging en orientatie dijklocaties 203c-2a t/m 207c-3, d8-58 t/m d8-80		
	Schaal 1 : 50.000	
WL delft hydraulics	H3211	Fig. 3.12



Ligging en orientatie dijklocaties 46-67 t/m 45-74, d8-206 t/m d8-240		
	Schaal 1 : 50.000	
WL delft hydraulics	H3211	Fig. 3.13



Ligging en orientatie dijklocaties 45-75 t/m 45-76, d8-251 t/m d8-312		
	Schaal 1 : 50.000	
WL delft hydraulics	H3211	Fig. 3.14



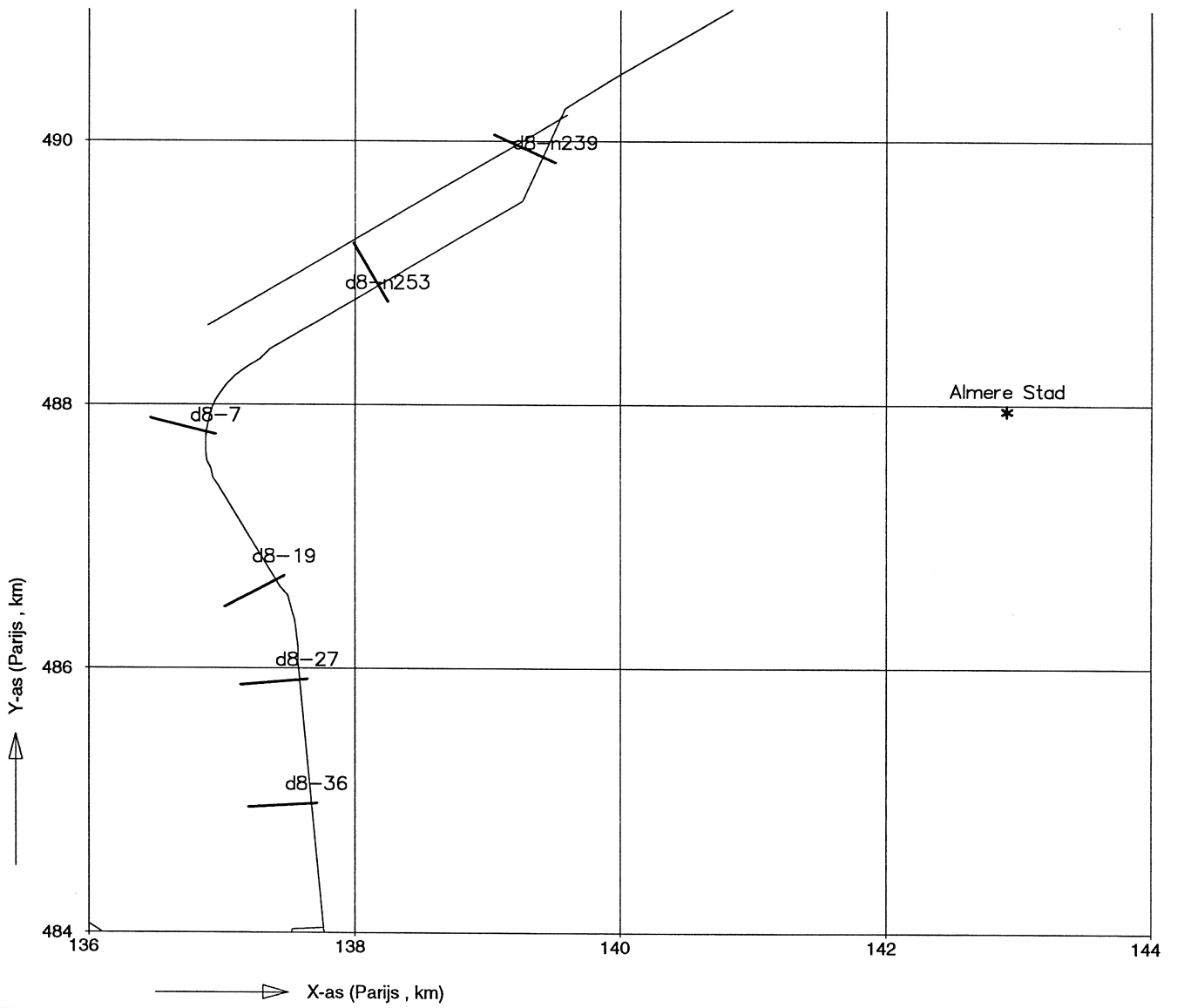
Ligging en orientatie dijkklocaties
d8-142 t/m d8-170

Schaal 1 : 50.000

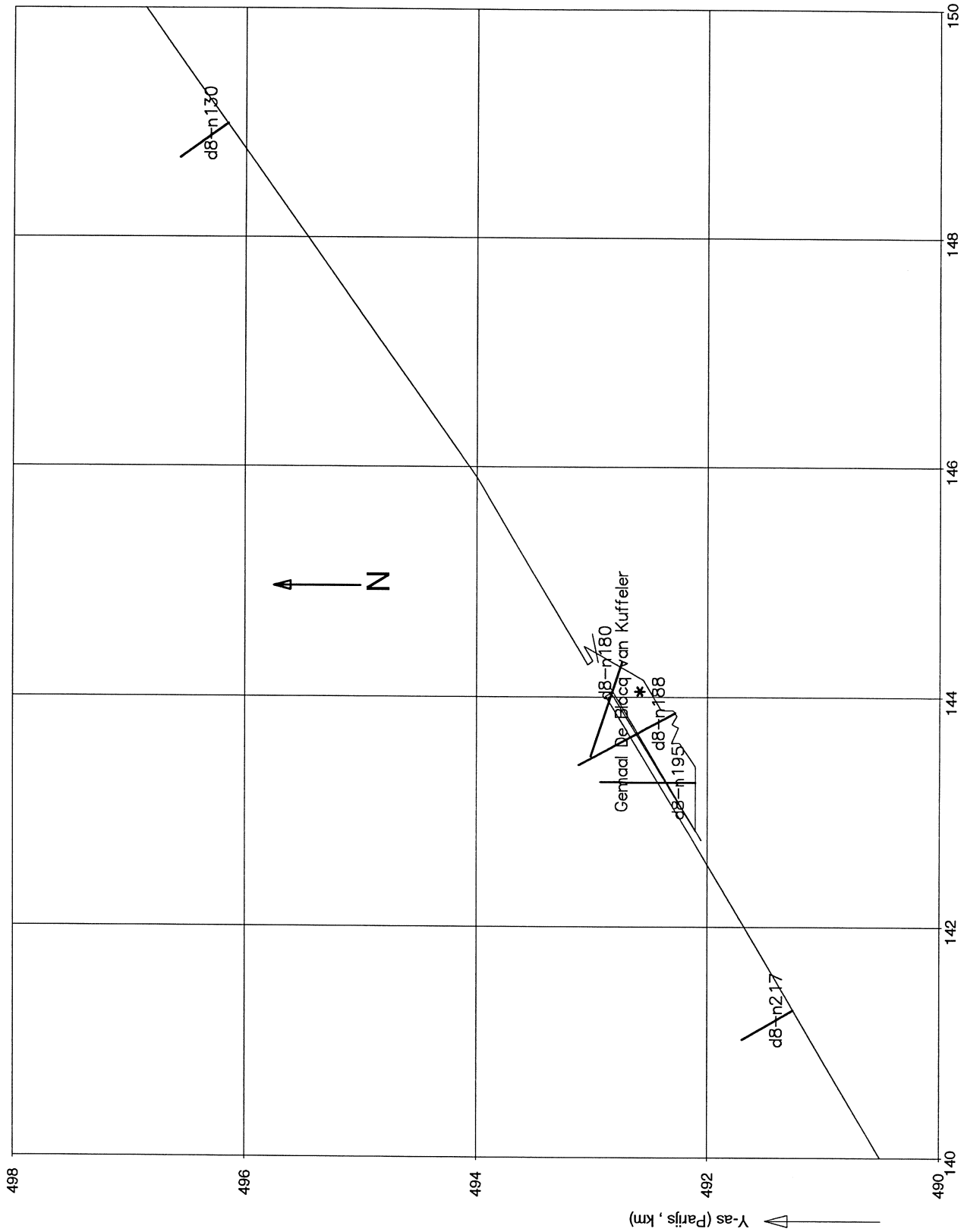
WL I delft hydraulics

H3211

Fig. 3.15



Ligging en orientatie dijklocaties d8-7 t/m d8-36, d8-n239 t/m d8-n253		
	Schaal 1 : 50.000	
WL I delft hydraulics	H3211	Fig. 3.16



Ligging en orientatie dijklocaties

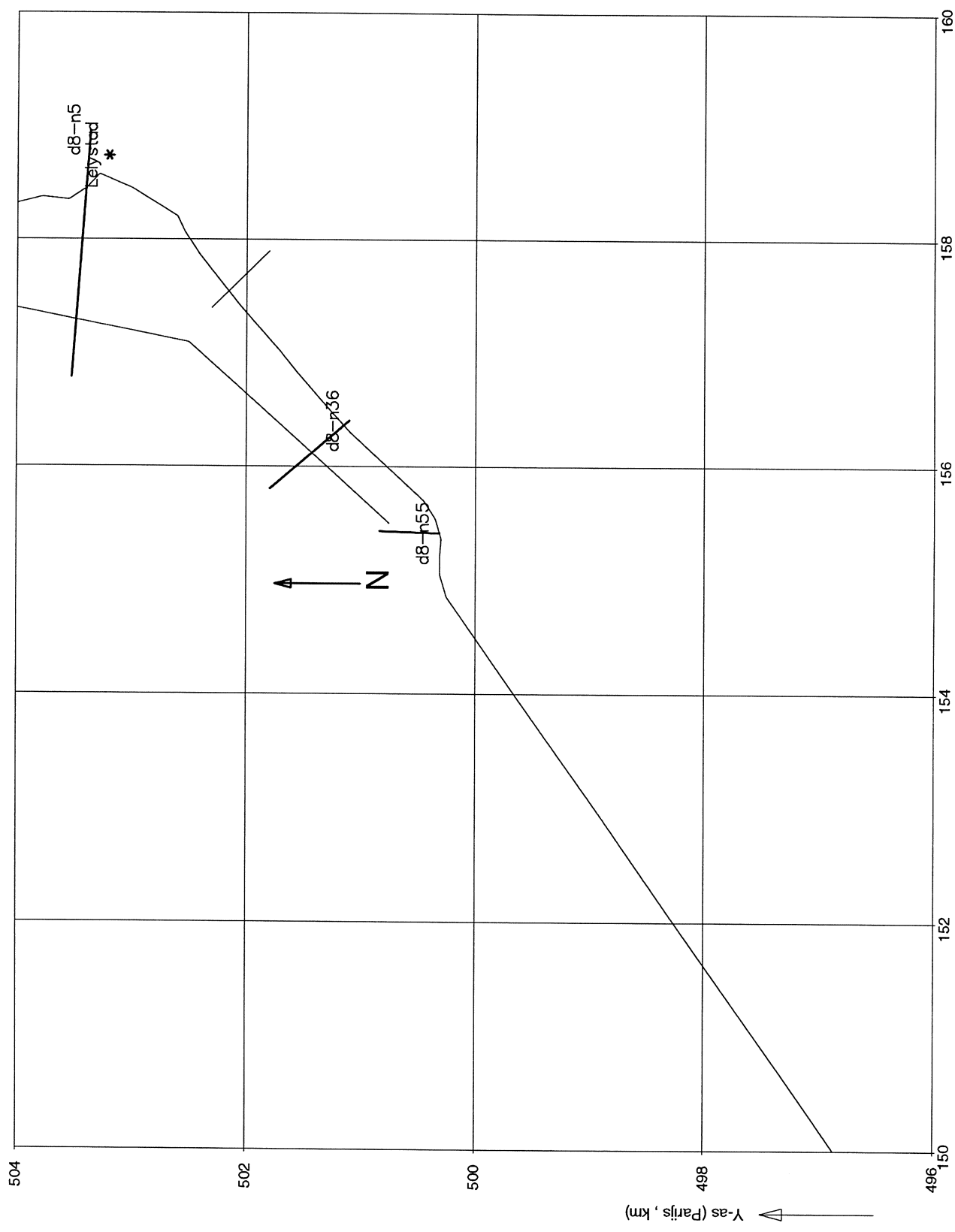
d8-n130 t/m d8-n217

Schaal 1 : 50.000

WL I delft hydraulics

H3211

Fig. 3.17



Ligging en orientatie dijklocaties d8-n5 t/m d8-n55		
	Schaal 1 : 50.000	
WL delft hydraulics	H3211	Fig. 3.18

A Voorbeeld invoerfile HYDRA_M

GEBIED : MARKERMEER
LOCATIE : KRAAIENBURG
PROFIELCODE : d18a-138
X-COORDINAAT : 139489.000
Y-COORDINAAT : 514639.000
ONTWERPCRITERIUM : 2%-GOLFOPLOOP
OVERSLAGCRITERIUM : .00
MINIMUM WAAKHOOGTE : .00
ONTWERPPUNTFREQ. : 1/10000
DAMCONSTRUCTIE : NEE
VOORLAND : JA
WATERSTANDENMODEL : TRISULA
GOLVENMODEL : HISWA
RICHTING : 178.00
KRUIN : 3.43
DIJKPROFIELCOORDINATEN:
.00 3.43 2.00
3.17 1.89 3.00
9.02 -.12 3.00
11.08 -.38 3.00
15.04 -1.70
-9999.99 -9999.99
VOORLANDPROFIELCOORDINATEN:
15.04 -1.70
40.00 -2.80
60.00 -3.40
79.80 -4.00
-9999.99 -9999.99

B Voorbeeld uitvoerfile HYDRA_M

***** Model HYDRA_M versie 97.1 *****

++++
RIKSWATERSTAAT : RIZA (AFD. WS-HYDRODYNAMICA) BLZ : 1
MODEL : HYDRA_M (VERSIE 97.1) DATUM : 02/12/98

ONTWERPCRITERIUM : 2%-GOLFOPLOOP
BEREKEND MET METHODE TAW1994
WATERSTAND IS BEREKEND MET HET MODEL : TRISULA
GOLFHOOGTE IS BEREKEND MET HET MODEL : HISWA
MINIMALE WAAKHOOGTE: 0.00 m
++++

BEREKENING : DATUM : 02/12/98
TIJD : 17:02:33

WEERGAVE INGEVOERDE GEGEVENS

GEBIED : MARKERMEER
LOCATIE : KRAAIENBURG
PROFIELCODE : d18a-138
X-COORDINAAT : 139489.000
Y-COORDINAAT : 514639.000
KRUIHOOOGTE : 3.43 m NAP
RICHTING NORMAAL : 178.00 GRADEN TOV NOORD

PROFIELKENMERKEN --> KRAAIENBURG

DIJKPROFIELCOORDINATEN TALUDRUWHEID

X	Y	CODE
0.00	3.43	2.
3.17	1.89	3.
9.02	-0.12	3.
11.08	-0.38	3.
15.04	-1.70	0.

VOORLANDPROFIELCOORDINATEN

VX	VY
15.04	-1.70
40.00	-2.80
60.00	-3.40
79.80	-4.00

***** TABEL Overschrijdingsfrequenties *****

TERUGKEERTIJD (jaren)	HYD. BELASTINGNIVEAU (m. tov. NAP)
--------------------------	---------------------------------------

++++

10.000	2.495
25.000	2.698
50.000	2.850
100.000	3.008
250.000	3.228
500.000	3.393
1000.000	3.557
1250.000	3.609
2000.000	3.721
4000.000	3.884
10000.000	4.100

++++

...vervolg uitvoerfile HYDRA_M

***** TABEL BEREKENDE FREQUENTIES *****

FREQUENTIE TERUGKEERTIJD HYD. BELASTINGNIVEAU
(jaren) (m. tov. NAP)

+++++		
FREQUENTIE	TERUGKEERTIJD	HYD. BELASTINGNIVEAU
	(jaren)	(m. tov. NAP)
@@ 9.76318169	0.10	-0.20
@@ 9.31324005	0.11	-0.10
@@ 8.48102570	0.12	0.00
@@ 8.01093769	0.12	0.10
@@ 7.70283842	0.13	0.20
@@ 7.39883566	0.14	0.30
@@ 7.21168709	0.14	0.40
@@ 6.93667984	0.14	0.50
@@ 6.57319307	0.15	0.60
@@ 6.02391052	0.17	0.70
@@ 5.42789650	0.18	0.80
@@ 4.97513294	0.20	0.90
@@ 4.58809948	0.22	1.00
@@ 4.22965240	0.24	1.10
@@ 3.82093167	0.26	1.20
@@ 3.38226461	0.30	1.30
@@ 2.92990279	0.34	1.40
@@ 2.46882772	0.41	1.50
@@ 2.02630949	0.49	1.60
@@ 1.62434232	0.62	1.70
@@ 1.26931870	0.79	1.80
@@ 0.95915765	1.04	1.90
@@ 0.70011753	1.43	2.00
@@ 0.49715808	2.01	2.10
@@ 0.34418604	2.91	2.20
@@ 0.23138106	4.32	2.30
@@ 0.15162708	6.60	2.40
@@ 0.09789845	10.21	2.50
@@ 0.06252023	15.99	2.60
@@ 0.03970159	25.19	2.70
@@ 0.02507273	39.88	2.80
@@ 0.01598225	62.57	2.90
@@ 0.01035944	96.53	3.00
@@ 0.00682539	146.51	3.10
@@ 0.00450066	222.19	3.20
@@ 0.00296088	337.74	3.30
@@ 0.00193911	515.70	3.40
@@ 0.00127184	786.26	3.50
@@ 0.00083272	1200.88	3.60
@@ 0.00054556	1832.99	3.70
@@ 0.00035749	2797.31	3.80
@@ 0.00023366	4279.73	3.90
@@ 0.00015276	6546.41	4.00
@@ 0.00010000	9999.94	4.10
@@ 0.00006547	15274.86	4.20
@@ 0.00004284	23341.07	4.30
@@ 0.00002813	35550.44	4.40
@@ 0.00001849	54092.60	4.50
@@ 0.00001215	82327.94	4.60
@@ 0.00001000	100000.00	4.65

+++++

...vervolg uitvoerfile HYDRA_M

***** TABEL ONTWERPPUNTEN PER WINDRICHTING *****

FREQUENTIE WAARVOOR HET ONTWERPPUNT IS BEPAALD: 1/10000
HYDRAULISCH BELASTINGNIVEAU BIJ DEZE FREQUENTIE: 4.10 m

GEGEVENS PER WINDRICHTING WAARVOOR HET HYDRAULISCH
BELASTINGNIVEAU OPTREEDT:

RICHT.	WINDS.	PEIL WATER	GOLFH	PIEKP.	GOLFR.	FREQ.	TKT	
120.0	15.50	1.05	1.17	1.20	5.19	310.5	3.021E-08	3.310E+07
150.0	16.50	0.75	0.95	1.30	5.28	323.2	3.225E-07	3.100E+06
180.0	19.65	0.50	0.80	1.25	5.36	354.3	2.576E-06	3.882E+05
210.0	23.00	0.53	0.84	1.31	5.37	331.3	2.353E-06	4.250E+05
240.0	24.00	0.85	0.96	1.29	5.38	314.3	1.805E-07	5.541E+06

ONTWERPPUNT (COMBINATIE WINDRICHTING-WINDSNELHEID-
MEERPEIL MET GROOTSTE FREQUENTIE VAN OPTREDEN):

RICHT.	WINDS.	PEIL WATER	GOLFH	PIEKP.	GOLFR.	FREQ.	TKT	
180.0	19.65	0.50	0.80	1.25	5.36	354.3	2.576E-06	3.882E+05

BETEKENIS GEGEVENS:

- RICHT. = De windrichting in graden t.o.v. Noord
- WINDS. = De ontwerp-windsnelheid in m/s
- PEIL = Het ontwerp-meerpeil in m +NAP
- WATER = De ontwerp-waterstand in m +NAP
- GOLFH = De ontwerp-golffhoogte
- PIEKP. = De ontwerp-golf(piek)periode
- GOLFR. = De ontwerp-golfrichting (in nautische conventie, naar de dijk toe)
- FREQ. = De frequentiedichtheid van het ontwerp punt in keren per jaar
- TKT = De bij de frequentiedichtheid horende terugkeertijd in jaren

***** BIJDRAGE WINDRICHTING AAN OVERSCHRIJDINGSFREQUENTIE *****

FREQUENTIE ALS OPgegeven VOOR ONTWERPPUNT:: 1/10000

***** TABEL BIJDAGEN PER WINDRICHTING *****

WIND- RICHTING	FREQUENTIE (jaren)	TERUGKEERTIJD
0.	0.000E+00	
30.	0.000E+00	
60.	0.000E+00	
90.	0.000E+00	
120.	2.707E-07	3.695E+06
150.	3.545E-06	2.821E+05
180.	4.023E-05	2.486E+04
210.	5.208E-05	1.920E+04
240.	3.876E-06	2.580E+05
270.	0.000E+00	
300.	0.000E+00	
330.	0.000E+00	

SOMMATIE OVER BIJDAGEN: 1.000E-04
(Door afrondingen en interpolatie niet exact gelijk aan normfrequentie)

C Analyse opzetten Gooi- en Eemmeer

Probleemstelling

In het Gooi- en Eemmeer is de maatgevende waterstand in de huidige studie aanzienlijk lager dan in de vorige Markermeerstudie (RIZA, 1991 en 1993). De verschillen bedragen bijna 1 m bij Nijkerk en nemen af naar de Hollandse Brug. Op het Markermeer zijn de verschillen gering. Het gevolg van de lagere waterstanden is dat de dijken van het Gooi- en Eemmeer in de huidige studie overal voldoen, terwijl in de vorige studie deze dijken over een aanzienlijke afstand niet voldeden wat betreft de benodigde kruinhoogte. Gezien het feit dat het verschil in waterstand op het Gooi- en Eemmeer grote consequenties heeft voor de kosten van dijkverbetering, worden in deze notitie de verschillen tussen de twee studies nader geanalyseerd en gekwantificeerd.

Analyse verschillen

De verschillen in de maatgevende waterstand in het Gooi- en Eemmeer tussen de twee studies kunnen worden verklaard aan de hand van de volgende drie aspecten:

1. de gehanteerde methode ter bepaling van de maatgevende kruinhoogte, met name het gehanteerde meerpeil;
2. de wijze waarop de aandrijvende krachten (windvelden) voor de waterbewegingsmodellen zijn beschreven;
3. de toegepaste waterbewegingsmodellen (parameters, schematisaties).

Deze aspecten worden hieronder nader toegelicht en uitgewerkt.

Ad 1) Voor de bepaling van de benodigde kruinhoogte is in de vorige Markermeerstudie uitgegaan van de M&W-methode (Meerpeil en Wind). Deze methode komt neer op het berekenen van de hydraulische situatie voor twee extreme combinaties van meerpeil en windsterkte, waarbij alle windrichtingen worden beschouwd (RIZA, 1991). In de huidige studie is de benodigde kruinhoogte echter volgens een meer probabilistische wijze bepaald, namelijk met het model HYDRA_M. De kern van dit model is de vertaling van allerlei mogelijke situaties van meerpeilen, waterstanden en golven naar kansen van optreden van bepaalde hydraulische belastingniveau's op de dijken.

Ad 2) Aangezien het Markermeer en de randmeren niet in open verbinding staan met de zee zijn het meerpeil en de wind de enige factoren die de hydraulische omstandigheden in dit gebied bepalen, met uitzondering van de geometrie van het gebied en de bodemtopografie. Het meerpeil is hierbij een maat voor de gemiddelde waterstand op het meer en is in beide modellen eenvoudig op te geven. Het goed beschrijven van een windveld tijdens een storm is echter een ingewikkelder proces. Tussen de twee modellen zijn de volgende verschillen aan te geven in de opbouw van de windvelden:

- de duur van de voorflank (11 uur vs. 9 uur)
- de duur van de stormtop (11 uur vs. 4 uur)
- de ruimtelijke variabiliteit van het windklimaat (uniforme toepassing potentiële wind Schiphol vs. reductie potentiële windsnelheden in noord- en oostelijke richting).

Ad 3) Tenslotte zijn er verschillen in de toegepaste waterbewegingsmodellen zelf, variërend van verschillen in modelschematisatie (grid, bodem) tot verschillen in de instellingen van de parameters. Deze verschillen zijn:

- de windschuifspanningscoëfficiënt C_d $((0.7 + 0.06u_{10})10^{-3}$ vs. $(0.9 + 0.06u_{10})10^{-3}$);
- de bodemruwheid m (0.0243 vs. 0.0263);
- de gemiddelde bodemdpte van het model (huidig model is gemiddeld dieper, stel 0.10 m);
- detail van het rekengrid en de bodemgeometrie.

Kwantificeren verschillen

Getracht is de verschillen te kwantificeren met aanvullende DELFT3D-FLOW (2DH) berekeningen en met behulp van reprofuncties op basis van huidige Markermeer bestanden. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de ‘productie som’ waarbij de resultaten het dichtst gelegen zijn bij de ontwerpconditie ter plaatse van Nijkerk, namelijk een westnoordwester storm (300°) met een windsnelheid van 33 m/s en een meerpeil van 0.40 m -NAP. Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de verschillen en hun bijdrage aan de verklaring van het verschil in waterstand bij Nijkerk. In de tweede kolom staat aangegeven op welke wijze de kwantificering is uitgevoerd (B = berekening, R = reprofunctie).

Type verschil		RIZA '93	WL '97	Consequentie waterstand voor Nijkerk (m) ('RIZA'93-WL'97')
M&W-methode/HYDRA_M				
Meerpeil				
- direct	-	MP = 0.08 m	MP = -0.35 m	+0.43
- indirect	R	opzet bij MP=0.08m	opzet bij MP=-0.35m	-0.14
Ontwerp windsnelheid	R	34 m/s	33.17 m/s	+0.12
Aandrijvende krachten				
Duur voorflank storm	B	11 uur	9 uur	+0.01
Duur top storm	B	11 uur	4 uur	+0.04
Windklimaat	B	uniform (Schiphol)	ruimtelijk variabel	+0.24
Waterbewegingsmodellen				
Windschuifspanningscoëfficiënt C_d	R	$(0.7 + 0.06u_{10})10^{-3}$	$(0.9 + 0.06u_{10})10^{-3}$	-0.15
Bodemruwheid m	R	0.0243 (-)	0.0263 (-)	+0.09
Gemiddelde bodemdpte	R		gem. 0.10 m dieper	+0.04
Subtotaal				+0.68
Overige schematisatie verschillen	-			+0.28
Totaal				+0.96

In ‘overige schematisatie verschillen’ zit ook het effect van de horizontale viscositeit v_{2D} . In het WL model is $v_{2D} = 10 \text{ m}^2/\text{s}$, op basis van calibratie. De viscositeit is onder meer afhankelijk van de gridresolutie, waarbij een fijner grid doorgaans leidt tot een lagere

viscositeit. Wanneer in de RIZA studie $v_{2D} = 10 \text{ m}^2/\text{s}$ is (veronderstelling WL), zou het equivalent in de huidige studie bijvoorbeeld $v_{2D} = 1 \text{ m}^2/\text{s}$ kunnen zijn.

In tegenstelling tot de eerste verwachting levert een lagere viscositeit geen hogere waterstand op bij Nijkerk. De waterstand te Nijkerk reduceert met 10 cm door een verandering van de viscositeitscoëfficiënt (ν) van 10 naar $1 \text{ m}^2/\text{s}$. De verklaring hiervoor is gelegen in het feit dat bij lagere viscositeit hogere stroomsnelheden en hiermee sterkere circulatiepatronen in het Gooi- en Eemmeer worden waargenomen. Hierdoor neemt de dissipatie als gevolg van bodemwrijving toe.

De analyse van verschillen in viscositeit maken duidelijk dat de hogere resolutie van het rekengrid in het Gooi- en Eemmeer in het huidige model ten opzichte van het RIZA model en de bijbehorende gedetailleerde circulatiepatronen bij stormen op orkaanschaal, een wezenlijke bijdrage aan de dissipatie leveren als gevolg waarvan de opzettingen bij Nijkerk worden gereduceerd (ook in de stationaire toestand). Hiermee wordt het resterende verschil van ca. 30 cm verklaard. Desgewenst kan dit nog nader onderbouwd worden door bijvoorbeeld de feitelijke energiedissipatie in het Gooi- en Eemmeer in beide modellen te kwantificeren, of door verdere modelexercities.

Conclusie

Het verschil in maatgevende waterstand in het Gooi- en Eemmeer tussen de huidige studie en de vorige Markermeerstudie is verklaarbaar aan de hand van:

- het verschil in de gehanteerde methode ter bepaling van de maatgevende kruinhoogte;
- de wijze waarop de aandrijvende krachten (windvelden) zijn beschreven;
- de verschillen in de waterbewegingsmodellen.

De bijdragen van deze aspecten aan het verschil in opzet nabij Nijkerk zijn respectievelijk circa 0.4 m, 0.3 m en 0.3 m. De belangrijkste bijdragen aan het verschil in opzet nabij Nijkerk zijn het directe effect van een lagere meerpeil, het gebruik van een ruimtelijk variabel windveld en het rekenen met een fijnmaziger rekengrid en een meer gedetailleerde bodem in het Gooi- en Eemmeer.



wL | delft hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

