

praktijkproef met Enkamatten in
het Grevelingenmeer 1974-1985

verslag onderzoek

R 2350/H 321

april 1987

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Inrichting van het onderzoek</u>	2
2.1 Algemeen.....	2
2.2 Het vervaardigen en vullen van de matten, opgesteld in samen- werking met Enka.....	4
2.3 Het transport van de matten en het inrichten van de proef- opstelling.....	6
2.4 De opzet van de metingen.....	7
3 <u>Resultaten en conclusies van het onderzoek in 1974</u>	9
3.1 De opgetreden golfbelasting op de dam.....	9
3.2 Peilingen van het profiel van de dam.....	11
3.3 Het gedrag van de matten.....	11
3.4 Beschouwing van de resultaten.....	13
3.5 Conclusies en aanbevelingen.....	16
4. <u>Resultaten en conclusies van het onderzoek van 1975-1985</u>	19
4.1 Het gedrag van de ENKAMATTEN op langere termijn.....	19
4.2 De opgetreden golfomstandigheden van 1975-1985.....	19
4.3 Beschrijving van de biologische condities.....	23
5. <u>Conclusies en aanbevelingen</u>	24

FIGUREN

1. Situatie en constructie proefvak ENKAMATTEN in het Grevelingenmeer.
2. Dwarsprofielen.
3. Korrelverdeling van het zand en van de vullingsmaterialen in de ENKAMATTEN.
4. Resultaten van proef met invegen kif in ENKAMATTEN.
5. Verband tussen windsnelheid Oosterscheldemonding en Roggenplaat.
- 6...13 Overzicht windgegevens. Significante golfhoogten.
14. Situatie.
15. Gemeten significante golfhoogte in relatie met de windsnelheid.
16. Simultaan verloop van gemeten windsnelheid en significante golfhoogte in 1974.
17. Gemeten golfhoogten in relatie met windsnelheid en windrichting.
18. Waterstanden gemeten bij Sluis van Bruinisse.
19. Waterstanden gemeten bij Sluis van Bruinisse.
20. Uurgemiddelde windsnelheid Roggenplaat en Oosterschelde monding.

FOTO'S

1. Oprollen van de matten aan boord van het ponton.
2. Bevestigen van de opgerolde volle mat aan het legframe
3. De mat wordt boven zijn plaats gevaren.
4. Uitrollen van de mat over de zanddam.
5. De nieuwe mat boven zijn plaats. Het nylondoek onder de te maken las is duidelijk zichtbaar.
6. Vullen van de naad tussen de matten met gietasfalt.

PRAKTIJKPROEF MET ENKAMATTEN IN HET GREVELINGENMEER

1. Inleiding

In de stroomgoot te Lith werd in opdracht van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat het gedrag van ENKAMATTEN onderzocht als bescherming van een uit fijn zand (wadzand) bestaande dam tegen golfaanval (verslag R460-XI van het Waterloopkundig Laboratorium). Op grond van de resultaten van dit onderzoek werd door de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden in overleg met Enka-Glanzstoff*) en het Waterloopkundig Laboratorium, besloten tot het in onderlinge samenwerking uitvoeren van een praktijkproef in het Grevelingenmeer. Als plaats voor de proefopstelling werd een gebied gekozen dat gelegen is in de nabijheid van de sluis te Bruinisse langs de Grevelingendam. Het aanbrengen van ballastmateriaal in de matten en het inrichten van de proefopstelling vond plaats in de periode maart tot juni 1974.

Bij de uitvoering van de proef werd door Enka het ENKAMAT-materiaal, vullingsmateriaal voor de matten (koperslaggranulaat en glasas) en personeel dat behulpzaam was bij het vullen en aanbrengen van de matten ter beschikking gesteld. De Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden stelde ook vullingsmateriaal voor de matten ter beschikking en voorts personeel en middelen voor het transport en het aanbrengen van de matten. Het Waterloopkundig Laboratorium heeft aanwijzingen verstrekt over de vereiste samenstelling van kif als vullingsmateriaal van de matten (kif is fijn grind), de bestelling van het kif verzorgd en apparatuur ter beschikking gesteld voor het uitvoeren van golfmetingen. De begeleiding bij het uitvoeren van de proef werd van de zijde van het Waterloopkundig Laboratorium gegeven door ing. H. Derks, die tevens in samenwerking met de Researchafdeling voor Industriële garens van Enka en de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden de samenstelling van dit verslag heeft verzorgd.

*) De toenmalige Enka-Glanzstoff heet sinds 1980 Enka bv. en zal verder in dit verslag kortweg Enka genoemd worden.

2. Inrichting van het onderzoek

2.1 Algemeen

De plaats en de inrichting van de proefopstelling in het Grevelingenmeer is weergegeven in figuur 1. De ENKAMATTEN werden aangebracht op een dam die gevormd werd uit het ter plaatse aanwezige zand. De dam was op een afstand van ca. 150 m uit de oever gelegen. De waterdiepte ter plaatse van de dam bedroeg 0,70-0,90 m. Over ongeveer 100 m vanaf de dam verloopt de bodem in de richting van het meer geleidelijk naar een diepte van 1,5 à 2 m. Daarna vertoont de bodem een sterker verloop. De waterdiepte neemt daarbij over een afstand van 100 m toe tot ca. 10 m. Het dwarsprofiel in de richting loodrecht op de dam is gegeven in figuur 2. Er werden 7 verschillende ENKAMAT-constructies beproefd in twee situaties, namelijk op een damgedeelte met een aan de golfaanval blootgestelde taludhelling van 1:3 en op een damgedeelte met een aan de golfaanval blootgestelde taludhelling van 1:7. De niet aan de golfaanval blootgestelde taludhelling van beide damgedeelten bedroeg 1:4. De damgedeelten werden verbonden door middel van een overgangsgedeelte met een lengte van 20 m, dat uit grof grind bestond. Ook de beide damkoppen werden gevormd uit grof grind. De normale breedte van de matten bedroeg 5 m, gemeten in de lengterichting van de dam. Een drietal matten werd in een breedte van 4 m uitgevoerd. De kruinbreedte van de dam werd gekozen op 2 m. De hoogteligging van de kruin van de dam werd gekozen op 0,10 m boven het gemiddelde peil van het Grevelingenmeer. Het gemiddelde peil van het Grevelingenmeer is ca. NAP-0.20 m.

De voorgenomen wijze van aanbrengen van de matten werd vooraf in een proefput op het terrein van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden te Willemstad onderzocht. Het bleek dat matten die rond een kern opgerold zijn, eenvoudig langs het talud naar beneden konden worden afgerold. Ook de zijdelingse verbinding tussen de matten werd hier beproefd. De constructie van deze verbinding dient zodanig te worden uitgevoerd dat tijdens de proef via de naad geen verlies van zand uit de dam kan optreden. De vaste en dichte zijdelingse verbinding werd gevormd door aan de onderzijde van de matten, ter plaatse van de naad, een strook zanddicht weefsel met een breedte van 2 m aan te brengen en de naad vervolgens over een zekere breedte af te gieten met asfaltmastiek. De korrelgrootte van het vullingsmateriaal van de ENKAMATTEN moet afgestemd zijn op de korrelgrootte van het zand waaruit de dam is opgebouwd. Gegevens

over het zand waren beschikbaar van een in de omgeving van de dam verrichte boring. In figuur 3 is de korrelverdeling van het zand weergegeven tesamen met de korrelverdeling van het in de matten toegepaste kif en koperslakgranulaat en de glasas. De streep-stiplijn geeft de bovengrens aan waaraan de korrelverdeling van het vulmateriaal mag voldoen. In de fijne fractie van het vulmateriaal wordt deze grens bepaald door de regel dat de d_{10} van het vulmateriaal niet groter dan 2 à 3 maal de d_{90} van het zand mag zijn. In de grove fractie wordt de grens gesteld door de grootte van de openingen tussen de draden van de ENKAMAT. Zowel het kif en het koperslakgranulaat als de glasas voldoen aan de gestelde (globale) grenzen. Het kif werd samengesteld als mengsel van 4 afzonderlijke fracties, namelijk de fracties met een korrelgrootte van 0,85-1,4 mm en 1,4-3,0 mm, die uit de handel werden betrokken en de fracties met een korrelgrootte van 0,71-0,85 mm en 3,0-5,6 mm die met behulp van de zeefinstallatie van het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst werden vervaardigd.

Met het in de mat vegen van het kif werd een proef uitgevoerd. Hiervoor werden 2 exemplaren van de ENKAMAT type 5004 gebruikt, waarvan de een met onbezande zool en de ander met een met rivierzand bezande zool. Na afloop van het vullen van de matten bleek dat in beide gevallen een geringe hoeveelheid kif door de mat was geveegd. Bij de onbezande zool bedroeg deze hoeveelheid bij de proef ca. 2 gewichtsprocenten en bij de bezande zool ca. 1 gewichtsprocent van de totale in de mat aangebracht hoeveelheid. De hoeveelheden werden bepaald aan de hand van 1 m² matoppervlak. Deze hoeveelheden komen globaal overeen met die welke bij andere onderzoeken werden gevonden (zie verslag M1260 deel 1 van het Waterloopkundig Laboratorium). De korrelverdelingen tonen aan dat het door de mat geveegde materiaal duidelijk fijner was dan het oorspronkelijke materiaal. In figuur 4 zijn de korrelverdelingen van het gebruikte oorspronkelijke kifmengsel en het onder de mat aangetroffen materiaal weergegeven.

2.2 Het vervaardigen en vullen van de matten, opgesteld in samenwerking met Enka

ENKAMAT*) is een produkt dat bestaat uit nylon monofilamenten, die in een warrige konstruktie met elkaar zijn verkleefd. ENKAMAT wordt, op een speciaal daarvoor ontworpen machine, op 1 meter breedte gesponnen. Om de sterkte van de mat te verhogen wordt deze na het spinnen met een bindmiddel versterkt. Op het Enka bedrijf in de Kleefse Waard te Arnhem werden de 1 meter brede matten gekonfektioneerd op een breedte van 5 meter en een lengte van respectievelijk 14 of 17 meter (afhankelijk van de taludhelling van de dam). De 1 meter brede matten werden met nielen aan elkaar gekramd en daarna met hotmelt (Strucol) aan elkaar gelijmd.

Voor de proeven zijn 2 typen ENKAMAT gebruikt, type 5002 met een dikte van 6 cm en type 5004 met een dikte van 4 cm. De onderzijde van ENKAMAT type 5004 is verdicht met het doel het verlies van vullingmateriaal tegen te gaan. Bij een aantal matten is deze verdichte zijde nog met bitumenemulsie bespoten en met rivierzand afgestrooid (zie de tabel van figuur 1). Om het doorvallen van vullingsmateriaal door ENKAMAT type 5002, die geen verdichte zool heeft, te voorkomen is deze mat in de konstrukties no 1 en 14 en no 6 en 9 door middel van propertack geplakt op respectievelijk Lückenhausweefsel 5 x 6 en COLBACK-vlies (eveneens een product van Enka).

De gekonfektioneerde matten zijn hierna vervoerd naar Willemstad, waar de matten op het terrein van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden zijn gevuld en afgespoten. Voor het vullen en afsputten van de matten was door deze afdeling een betonnen bak gebouwd van 25 m x 6 m met een ommuring aan 3 zijden van 0,3 m hoogte. De bak liep naar de open zijde enigszins af. De te vullen mat werd hierin uitgerold.

Als vullingsmaterialen zijn kif, koperslakgranulaat en glasas gebruikt. De korrelverdeling van deze vullingsmaterialen is in figuur 3 weergegeven. Het kif werd in een betonmolen samengesteld als mengsel van 4 afzonderlijk geleverde frakties in de hieronder aangegeven mengverhouding.

*) Deze proeven betreffen Enkamat-typen vervaardigd in 1974.

De productiemethoden en het product zijn sindsdien sterk veranderd en verbeterd (zie laatste hoofdstuk).

- 6 volume % van de fraktie 0,71 - 0,85 mm
- 22 volume % van de fraktie 0,85 - 1,4 mm
- 60 volume % van de fraktie 1,4 - 3,0 mm
- 12 volume % van de fraktie 3,0 - 5,6 mm

Koperslakgranulaat is aantrekkelijk voor toepassing als vullingsmateriaal door de grotere dichtheid van het materiaal in verhouding tot kif en glasas. Glasas is een scherphoekig materiaal en was daardoor in tegenstelling tot het kif en het koperslakgranulaat moeilijk in de mat te vegen. Bij het vullen bleek dat de aangevoerde oorspronkelijke partij glasas relatief veel grove delen bevatte. Ca. 30% van het materiaal was zodanig van korrelgrootte dat het niet in de mat kon worden aangebracht. Dit grovere materiaal werd daarna vóór het vullen uitgezeefd. Verwacht werd dat de hakerige structuur van glasas die weliswaar het invegen bemoeilijkte, aan eenmaal in de mat geveegd materiaal een grotere weerstand zou verlenen tegen uitspoelen van de mat door de golfbeweging.

Een overzicht van het gemiddelde volumegewicht en de gemiddelde dichtheid van de vulmaterialen is gegeven de volgende tabel:

Materiaal	Volumegewicht kg/m ³	Dichtheid kg/m ³
kif	1650	2620
koperslak	1850	3300
glasas	1200	2450

De korte open zijde van de bak werd nadat het vullingsmateriaal in de vereiste hoeveelheid over de mat was verdeeld, waterdicht afgesloten met een balk en plastic folie. In de bak werd door middel van klokpompen, vanuit het Hollandse Diep ca. 0,10 m water op de mat gepompt. Tijdens het vullen van de bak met water werd het vullingsmateriaal op de waterlijn in de mat geveegd. Het water werd na het vullen afgelaten door het verwijderen van de afsluitbalk. De mat werd geïnspekteerd op zijn vulgraad en eventueel nagevuld. De betonnen bak was door middel van tentzeilen afgedekt en de ruimte kon met hetelucht-kachels verwarmd worden, waardoor de gevulde mat enigszins werd gedroogd.

Na het vullen werd de bovenzijde van de matten afgespoten met een hechtingsmiddel waardoor het vullingsmateriaal aan de oppervlakte werd gefixeerd. Als hechtingsmiddelen werden gebruikt bitumenemulsie Eshalite Label C en een polyurethaan lak van Sikkens (MC-lak KV 0/1) (zie figuur 1). Gedurende de nacht kon de bitumenemulsie destabiliseren, respectievelijk de lijm drogen. De volgende morgen kon de mat in de werkruimte worden opgerold en naar buiten worden afgevoerd. De matten werden in ontronde toestand opgeslagen. Per dag kwam 1 proefmat gereed. Bij het oprollen werd gebruik gemaakt van een stalen kern met een diameter van ca. 0,20 m. Met de hand werden de eerste slagen rond de kern aangebracht. Het verdere oprollen werd verricht door met behulp van een kleine dragline te trekken aan een tweetal sterke nylonbanden met een breedte van ca. 0,30 m die vóór het vullen van de mat op de betonvloer onder de mat waren aangebracht. Het afrollen werd op soortgelijke wijze verricht door met behulp van een dragline te trekken aan een tweetal nylon banden die tijdens het oprollen van de mat aan de bovenzijde waren aangebracht.

2.3 Het transport van de matten en het inrichten van de proefopstelling, opgesteld in samenwerking met de Afdeling Nieuwe Werkmethoden

Na het vullen van de matten zijn deze gestapeld op een ponton en over water vervoerd (in combinatie met de rijksbok "Ursus") met behulp van een sleepboot vanaf Willemstad naar het Grevelingmeer. De samengestelde eenheidsponton met aan boord de opgestapelde matten lag op afstand voor de "Ursus" gemeerd. De lege haspels werden op de uiteinden van de mat neergelegd. Met merktekens werd de plaats van de as van de kruin van de zanddam op de mat aangebracht. Beide uiteinden van de mat werden toen zo nauwkeurig mogelijk naar deze merktekens toegerold. Dit oprollen geschiedde door middel van handkracht, en zo mogelijk met de runners van de "Ursus". Daarna werd het uitlegframe met de runners boven de gevulde haspels gebracht en werden deze met de hulpliertjes aan het frame gekoppeld (zie foto 1). Het legframe met de mat werd op de in juiste positie gebrachte dekschuiten neer gelaten en vervolgens werd met deze combinatie naar de gereed gemaakte zanddam gevaren (zie foto 2).

Ondertussen werd op de van de te voren bepaalde plaats in het Grevelingenmeer nabij de haven van Bruinisse ca. 100 m uit de Grevelingendam met behulp van een hydraulische graafmachine een zanddam gemaakt op een diepte van NAP -0.90 m (zie fig. 1). De hydraulische graafmachine schraapte aan de binnenzijde van

de geprojecteerde dam een zandlaag van ca. 0,20 m af. Dit zand werd in verband met de pakkingsdichtheid zo goed mogelijk onder water naar de dam gebracht en gestort. Nadat bij de aanvang van de te maken dam de benodigde hoeveelheid zand over een lengte van ca. 15 m was aangebracht werd eerst de kop beschermd met een laag grind 30 mm/alles. Dit grind werd vanaf de dekschuit "Servant" met de hand aangebracht. Alvorens de le mat werd aangevoerd moest het zand onder profiel worden afgewerkt met taluds van 1:3 (meerzijde) en 1:4 (landzijde). Daarna werd de mat hangend aan het legframe over de dam in positie gebracht en afgevierd (zie foto 3 en 4).

Tijdens het afvieren en uitrollen van de mat naar beide zijden, werd een 2,00 m brede baan polyamide doek onder de mat mede uitgerold (zie foto 5). De ligging van het polyamide doek was zodanig dat dit de volgende mat eveneens onderlapt. De matten werden koud tegen elkaar gelegd. De naden zijn telkens direct na het leggen volgegoten met gietasfalt (zie foto 6).

De dekschuiten met legframe werden naar de "Ursus" teruggevaren voor het ophalen van de volgende mat. De hydraulische graafmachine bouwde inmiddels de dam uit en bracht deze onder profiel.

Dit werd herhaald tot en met mat 7, waarna een grindovergang werd gemaakt naar een dam met taluds van 1:7 (meerzijde) en 1:4 (landzijde). De lengte van de grindovergang was ongeveer 20 m. Op de dam werden weer 7 matten met verschillende vulling aangebracht. De methode van aanbrengen was dezelfde als die van de eerste serie matten. Na de laatste mat volgde een grindkop.

Door de verslechterde weersomstandigheden kon de dam tegen het eind niet goed meer onder profiel worden gebracht zodat de laatste matten wat lager kwamen te liggen dan de voorgaande. Om een adequate controle over de dam uit te kunnen voeren is aan de landzijde van de dam een stelling met daarop een meethuisje geplaatst. Van hieruit kon men het gedrag van de matten, golfpatroon en dergelijke goed observeren.

2.4 De opzet van de metingen, beschreven door het Waterloopkundig Laboratorium

Voor het vastleggen van de golfbelastingstoestand waaraan de proefsectie bij de praktijkproef was blootgesteld, werd een waverider geïnstalleerd. De waverider werd ter beschikking gesteld en geplaatst door het Waterloopkundig

Laboratorium. De waverider was voorzien van een zendkristal met een frequentie van 27,615 Mc. De boei was van het type 3000 (zonder flash). De ontvangst- en registratieapparatuur werd geplaatst in een ruimte bij de sluis te Bruinisse.

De waverider werd ter hoogte van het midden van het damvak gelegd, op een afstand van 50-60 m van de dam. De plaats van de boei is niet vast maar afhankelijk van de windrichting daar de boei met behulp van een speciale rubberkabel met een lengte van 7-8 m is bevestigd aan een ankergewicht. De plaats van de waverider ten opzichte van de proefdam werd gekozen in relatie met de bodemligging in de omgeving van de dam. Zoals reeds eerder werd vermeld in hoofdstuk 2.1 loopt de bodem vanaf de oever over ca. 250 m geleidelijk af naar een diepte van ca. N.A.P. -1,5 à 2,0 m. Daarna loopt de bodem over ca. 100 m af naar een diepte van ca. N.A.P. -10,0 m. De dam is op een afstand van ca. 150 m uit de oever gelegen. Het punt waar het diepteverloop belangrijk wijzigt, is dus gelegen op ca. 100 m van de dam. Vanaf dit punt kunnen de hogere golven breken door het afnemen van de diepte. Doordat de diepte vanaf dit punt naar de dam toe weinig verandert, zal het golfbeeld na het breken van de hogere golven naar de dam toe weinig meer veranderen. De gemeten golfhoogte kan dus als representatief worden beschouwd voor de golfbelasting op de dam.

Gegevens betreffende de windrichting en de windsnelheid werden verkregen van het K.N.M.I.-Station te Zierikzee. Er werd gebruik gemaakt van gegevens die werden gemeten op het meetstation op het eiland Roggenplaat in de monding van de Oosterschelde. Dit meetstation is in 1981 opgeheven. Vanaf dit jaar werden gegevens gebruikt van het meetstation OS 12 dat ook in de monding van de Oosterschelde staat. Voor de onderzochte overlappingsperiode in 1981 bleek een redelijk goede overeenkomst te bestaan tussen de extreme waarden van de uurgemiddelde windsnelheid die in beide stations werd gemeten (zie figuur 5).

Gegevens betreffende de waterstand van het Grevelingenmeer in de omgeving van de proefsectie konden worden betrokken bij de sluis te Bruinisse waar een zelfregistrerende peilschaal aanwezig is.

De golfregistraties werden verzameld in samenwerking met de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst. Als procedure voor de registratie werd afgesproken om slechts metingen te verrichten indien de verwachte windsnelheden groter waren dan 6 m/s, bij windrichtingen tussen 210° en 360°.

3 Resultaten en conclusies van het onderzoek in 1974

3.1 De opgetreden golfbelasting op de dam

In de figuren 6 tot en met 13 zijn de gemeten windsnelheden en windrichtingen voor de periode van 1 mei 1974 tot en met 31 december 1974 weergegeven. Als windsnelheid is uitgezet de gemiddelde snelheid over een heel uur. Tevens zijn in deze figuren maxima van de significante golfhoogte weergegeven (zowel gemeten waarden die uit de golfregistraties afkomstig zijn als waarden die afgeleid zijn uit de relatie windsnelheid-golfhoogte). De duur van golfregistraties bedroeg over het algemeen 20 minuten. Hiervan werd 18 minuten gebruikt voor het bepalen van de golfhoogte. De significante golfhoogte wordt als volgt bepaald: selecteer het hoogste één derde deel van de geregistreerde golven en bepaal daarvan de gemiddelde hoogte.

De golfhoogte die ter plaatse van het meetpunt optreedt, is onder meer afhankelijk van de windsnelheid en windrichting. In figuur 14 is de situatie van de proefdam in het Grevelingenmeer aangegeven met de richtingen die voor de golfaanval op de dam van belang zijn. In figuur 15 is de gemeten significante golfhoogte uitgezet tegen de op het eiland Roggenplaat gemeten windsnelheid en windrichting, voor een drietal gekozen sectoren van de windrichting. Gezien het verschil in plaats (de afstand tussen het eiland Roggenplaat en de proefsectie in het Grevelingenmeer bedraagt hemelbreed ca. 27 km.) mag worden verwacht dat verschil bestaat tussen de bij de proefdam optredende wind en die bij het eiland Roggenplaat. Aangenomen mag worden dat voor een globale benadering en voor extreme situaties, mede gezien de uitgestrektheid van het Grevelingenmeer, de gegevens voldoende representatief zijn om de situatie ter plaatse van de proefdam te karakteriseren. Uit de figuur 15 blijkt dat met een zekere spreiding een verband tussen de gemeten windsnelheid en de optredende significante golfhoogte aanwezig is. Tevens blijkt dat bij eenzelfde windsnelheid de significante golfhoogte bij de dam groter is naarmate de wind een meer noordelijke richting heeft. Ook in figuur 16 wordt het verband tussen de windsnelheid en de golfhoogte geïllustreerd.

Een verdere illustratie hiervan wordt gegeven in figuur 17. In deze figuur is de gemeten significante golfhoogte uitgezet tegen de gemeten windrichting. De bijbehorende gemeten windsnelheden zijn bij de punten aangegeven. Door de

punten zijn voor een aantal windsnelheden lijnen getekend van gelijke windsnelheid. Ook uit deze figuur blijkt dat bij gelijke windsnelheid de significante golfhoogte groter is naarmate de windrichting meer noordelijk is. De windbaan op het Grevelingenmeer is het langst bij 310° à 320° . Dat de gemiddelde golfhoogten bij meer noordelijke windrichtingen waarbij de windbaan kleiner is, niettemin groter zijn, kan een gevolg zijn van het geulenpatroon in het Grevelingenmeer.

Met behulp van de gevonden relaties tussen de windsnelheid, de windrichting en de golfhoogte en op grond van de uitgevoerde golfmetingen zelf, kan het volgende overzicht worden samengesteld van de opgetreden golfbelasting op de dam.

- Tijdens de bouw van de dam in de maand mei 1974 werden slechts enkele keren gedurende korte tijd significante golfhoogten van 0,20-0,30 m bereikt.
- Ook in juni, juli, augustus en het eerste gedeelte van september 1974 zijn de maximale waarden van de bij de dam opgetreden significante golfhoogten niet groter geweest dan ca. 0,30 m.
- Op 24 september 1974 waren de omstandigheden gedurende korte tijd zodanig dat een significante golfhoogte van ca. 0,40 m werd bereikt.
- In de nacht van 22 op 23 oktober bereikte de significante golfhoogte voor het eerst sinds de aanleg van de proefsectie een maximale waarde van ca. 0,45 m. Gedurende ca 6 uren bedroeg de significante golfhoogte tijdens deze storm 0,40 à 0,45 m.
- Op 28 oktober 1974 waren de golfomstandigheden nog enigszins zwaarder en werden maximale significante golfhoogten bereikt van iets meer dan 0,45 m.
- Soortgelijke omstandigheden deden zich voor op 28 november 1974. Toen bedroeg de maximale gemeten significante golfhoogte 0,48 m. Ook op 11 december 1974 werd een dergelijke significante golfhoogte gemeten.

Ook de waterstand is van invloed op de bij de dam optredende golfhoogte. Bij een grotere diepte ter plaatse van de vooroever van de dam kunnen golven met grotere hoogten zonder te breken de dam bereiken, omdat het breken van de golven onder andere afhankelijk is van de verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte. Een hogere waterstand op het bekken heeft voor de dam dus een grotere golfbelasting tot gevolg. Een ander gevolg van de hogere waterstand is dat de golfaanval op de dam op een andere plaats (hoger niveau) op het talud aangrijpt.

In figuur 18 en 19 is een overzicht gegeven van het verloop van de waterstand van mei tot november 1974. Deze waterstand is gemeten bij de sluis bij Bruinisse. Hieruit blijkt dat de waterstand in de omgeving van de dam op 23 oktober 1974 ongeveer 0,20 m hoger was dan ten tijde van de aanleg van de damsectie. Deze hogere waterstand kan, gezien de vergroting van de mogelijkheid voor het doordringen van de golven, als ongunstig worden beschouwd voor de stabiliteit van de dam.

3.2 Peilingen van het profiel van de dam

Peilingen van het profiel van de dam werden verricht door de Afdeling Nieuwe Werkmethoden. Per mat werd in 3 raaien het profiel gemeten. Er werden peilingen verricht op 20 mei, 22 mei, 20 juli en 30 oktober 1974. De eerste 3 metingen geven onderling slechts geringe verschillen te zien. Uit de peilingen van 30 oktober echter blijkt dat het profiel van de dam drastisch is vervormd.

3.3 Het gedrag van de matten

Op gezette tijden werd de dam geïnspecteerd om het gedrag van de matten te volgen. Een week na het aanbrengen van de mat bleek dat bij ENKAMAT-constructie nr. 14 (een met kif gevulde mat type 5002 met het Lückenhaus weefsel als zool) uitzakken van vullingsmateriaal optrad. Het kif verzamelde zich tussen de ENKAMAT en het zoolweefsel. Het uitzakken werd veroorzaakt door het losraken van de lijmverbinding tussen het zoolweefsel en de mat. Hetzelfde verschijnsel bleek op te treden bij matconstructie nr. 6, een met glasas gevulde mat type 5002 met een colback-vlies als zool. De indruk bestond dat bij deze mat ook via de bovenzijde glasas ontweek. Het talud vertoonde bij deze mat een enigszins onregelmatig verloop, dat echter ook kan zijn veroorzaakt doordat het onbeschermd zandtalud voordat de mat was aangebracht door de golfwerking enigszins was vervormd. Tevens bleek bij de matconstructies nr. 3 en 12, die bestaan uit een met kif gevulde ondermat type 5004 waarop een ongepulde mat type 5002 is aangebracht, dat de lijmverbinding tussen de boven- en ondermat was losgeraakt. De bovenmat kon onder invloed van de golfwerking onafhankelijk van de ondermat bewegen.

Uit de peilingen van het profiel van de dam blijkt dat tussen het begin van de proef en 20 juli 1974 geen veranderingen van betekenis van het profiel van de

dam zijn opgetreden. Na 20 juli zijn de weersomstandigheden tot het einde van de maand september rustig geweest. Op 24 september kwamen gedurende korte tijd (enkele uren) omstandigheden voor waarbij de significante golfhoogte een waarde van ca. 0,40 m kan hebben bereikt. Uit visuele waarnemingen die korte tijd na dit tijdstip zijn gedaan, bleek dat ook toen geen grote veranderingen zijn opgetreden. Bij de visuele waarnemingen, gedaan op 24 oktober en 28 oktober 1974, bleek een belangrijke schadeontwikkeling te hebben plaatsgevonden. Voor de periode tussen 24 september en 22 oktober kan uit de weersomstandigheden worden afgeleid dat de significante golfhoogten niet groter zijn geweest dan ca. 0,30 m. Daaruit volgt dat de weersomstandigheden die zich in de nacht van 22 op 23 oktober 1974 voordeden, voor het eerst na de aanleg van de proefsectie voldoende ongunstig zijn geweest voor het ontwikkelen van de belangrijke schade die op 24 oktober 1974, een dag na de storm bij een inspectie, werd geconstateerd. De omstandigheden in de nacht van 22 op 23 oktober betroffen een golfaanval met significante golfhoogten van 0,40 - 0,45 m gedurende ca. 6 uren.

Enige dagen daarna, op 27 en 28 oktober 1974, deden zich opnieuw omstandigheden voor met zware golfaanval op de dam. Een inspectie van de dam vond plaats tijdens deze omstandigheden. De schade aan het aangevallen talud en de kruin van de dam was nog toegenomen ten opzichte van die op 24 oktober. Op de plaats waar de brekende golven op het talud neerslaan was een verdieping opgetreden die over de gehele lengte van de dam een soort geul in het talud vormde. De vulling van de meeste matten was op deze plaats geheel of gedeeltelijk verloren gegaan en de matten vertoonden beweging onder invloed van de golven. Kennelijk was zanddichtheidsverlies van de matten opgetreden. De situatie vertoonde overeenkomst met de situatie die bij de proeven met ENKAMATTEN in de goot te Lith werd geconstateerd als zanddichtheidsverlies optrad onder de ingestelde golfaanval.

Op 30 oktober 1974 werd het profiel van de dam opnieuw gepeild. Het verschil tussen de peilingen van 20 juli en 30 oktober, geeft dus een beeld van de schadeontwikkeling aan de dam ten gevolge van de op 23 oktober en op 27 en 28 oktober 1974 opgetreden omstandigheden.

De schadeontwikkeling had een dermate snel verloop bij alle ENKAMAT-constructies dat het aangeven van onderlinge verschillen in weerstand tegen de opgetreden golfbelasting hierdoor ernstig wordt belemmerd. Het doen van uitspraken

in deze zin, aan de hand van de op 30 oktober verrichte peilingen, kan daarom beter achterwege blijven. Door de betrekkelijk geringe verschillen die de matten qua schadeontwikkeling onderling vertonen en de reële kans dat de matten elkaars gedrag onderling hebben beïnvloed in zijdelingse richting, kan namelijk een vertekend beeld zijn ontstaan. De snelle uitbreiding van schade in zijdelingse richting vanaf een plaats waar stabiliteitsverlies begint op te treden, werd reeds in de goot te Lith geconstateerd (zie verslag R 460 deel XI van het Waterloopkundig Laboratorium).

3.4 Beschouwing van de resultaten.

De belangrijkste feiten zijn:

- De bescherming van ENKAMATTEN heeft gedurende de zomermaanden voldoende weerstand tegen de in deze periode opgetreden golfbelasting geleverd om schade van betekenis aan de dam te voorkomen.
- De golfbelastingomstandigheden die in de nacht van 22 op 23 oktober optraden, zijn aanleiding geweest tot belangrijke schade aan de bescherming en wijzigingen van het oorspronkelijke profiel van de zanddam.

Uit de in figuur 14 bepaalde relatie tussen de gemeten uurgemiddelde windsnelheid en de gemeten golfhoogte bij de dam blijkt dat tijdens de zomermaanden van 1974 de significante golfhoogte een maximale waarde van 0,30 - 0,35 m heeft bereikt. Op 24 september 1974 werd bij een NW-wind met uurgemiddelde snelheid van maximaal 16 m/s gedurende enkele uren een grootste significante golfhoogte van bijna 0,40 m gemeten. Tijdens de weersomstandigheden die in de nacht van 22 op 23 oktober 1974 optraden (Noordenwind met uurgemiddelde windsnelheid van maximaal 15,5 m/s) werd gedurende ca. 6 uren een significante golfhoogte met waarden tussen 0,40 en 0,45 m gemeten. Deze laatste omstandigheden zijn voor de bescherming te zwaar geweest om hieraan weerstand te kunnen bieden.

Bij het onderzoek in de goot te Lith werd de op de zanddam aangebrachte bescherming van ENKAMATTEN belast met regelmatige golven met een hoogte van 0,60 - 0,65 m. In de goot te Lith bleef de bescherming onder deze omstandigheden stabiel.

Tijdens de proef in het Grevelingenmeer is de dam belast door onregelmatige golven. Als de golfhoogten bij deze onregelmatige golven aan de Raleigh-

verdeling voldoen dan zouden bij de gemeten significante golfhoogte van 0,45 m in de periode van 6 uur een golfhoogte van 0,75 m ca. 30 keer zijn overschreden. Hoewel de verdeling van de golfhoogten door breking van de golven in het gebied op ca. 100 m voor de dam mogelijk niet geheel aan de Raleighverdeling zal voldoen, mag worden aangenomen dat onder de omstandigheden die in de nacht van 22 op 23 oktober 1974 optraden, de maximale golfhoogte waarden heeft bereikt die de genoemde waarde van 0,75 m benadert. De omstandigheden met onregelmatige golven in het Grevelingenmeer die in de nacht van 22 op 23 oktober optraden, zijn dus in orde van grootte vergelijkbaar met de omstandigheden tijdens de proeven met regelmatige golven in de goot te Lith.

Een mogelijke oorzaak van het bezwijken van de bescherming in het Grevelingenmeer onder deze omstandigheden is waarschijnlijk gelegen in enkele zwakke punten die voorkomen in de constructies die in het Grevelingenmeer zijn beproefd. Een van de kenmerken van de proeven in de goot te Lith was namelijk een zeer zorgvuldige uitvoering van de constructieve details. Dit werd mogelijk gemaakt doordat de omstandigheden tijdens het aanbrengen van de matten controleerbaar waren. Bovendien was het werk minder omvangrijk. Bij de proeven in het Grevelingenmeer is de kans op kleine afwijkingen, ondanks de toegepaste grote zorgvuldigheid bij de uitvoering van de constructieve details, vrijwel zeker niet te vermijden.

Ook is het interessant om op te merken dat er bij de opgetreden golfomstandigheden een groot verschil is tussen het gewicht van de matten en de krachten die bij het breken van de golven op de dam worden ontwikkeld. Uit de literatuur (o.a. onderzoeken van Popov) is bekend dat bij een golfhoogte van 0,45 m bij het neerslaan van golven op vergelijkbare taluds de golfdruk waarden kan bereiken van 0,85 m waterkolom. Ten gevolge van deze druk kunnen krachten ontwikkeld worden die een orde groter zijn dan het gewicht van de matten zelf. Een geringe plaatselijke schade door een zwak punt in de constructie kan hierdoor snel tot een omvangrijke schadeontwikkeling leiden.

Hoewel door het snelle verloop van de schade niet nauwkeurig kan worden aangegeven hoe het schadeproces precies is verlopen, kunnen echter op basis van de gedane waarnemingen wel een aantal mogelijke zwakke punten in de beproefde constructies worden aangegeven. De hechtmiddelen zijn over het algemeen onvol-

doende gebleken. Deze hechtmiddelen vormen een essentiële factor bij de zoolconstructie van een aantal matten en bij het vasthouden van het vullingsmateriaal aan de bovenzijde van de matten. Het loslaten van lijmverbindingen tussen de boven- en ondermat en bij de zoolconstructie van een aantal matten, kan te maken hebben met de wijze waarop het transport en het aanbrengen van de matten heeft plaatsgevonden. Met name valt hierbij te denken aan het oprollen van de matten rond de kern, en het weer afrollen vanaf de kern.

Verder is de vullingsgraad van de matten van belang. Deze vullingsgraad was bij de met kif gevulde matten lager dan bij de proeven in de goot te Lith het geval was. In combinatie met het vullingsmateriaal speelt de vullingsgraad van de matten een rol bij de zanddichtheid van de matten. Dit is gebleken uit een onderzoek naar de zanddichtheid van ENKAMATTEN onder dynamische belastingomstandigheden dat door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van Enka werd uitgevoerd met de verschillende constructies die bij de proef in het Grevelingenmeer werden onderzocht. Uit dit onderzoek, waarvan de resultaten zijn beschreven in het verslag M 1260 deel III van het Waterloopkundig Laboratorium, blijkt dat alle matten zand kunnen doorlaten, met uitzondering van de mat met de zool van COLBACK-vlies. Dit onderzoek werd uitgevoerd bij een optimale vullingsgraad van de matten.

Uit het eveneens door Enka opgedragen onderzoek dat door het Waterloopkundig Laboratorium werd uitgevoerd naar het verlies van vullingsmateriaal uit de ENKAMATTEN en de invloed hiervan op de zanddichtheid (verslag M 1260 deel I en II van het Waterloopkundig Laboratorium), bleek dat in situaties met permanent drukverval over de matten bij niet optimale vullingsgraad van de matten (waarbij verlies van vullingsmateriaal kunstmatig werd opgewekt) de zanddichtheid bewaard bleef. Dit zal bij niet optimaal gevulde matten onder lichte dynamische belastingomstandigheden tot een zekere grens eveneens het geval zijn.

Bij zwaardere dynamische belastingomstandigheden zal het vullingsmateriaal in niet optimaal gevulde matten echter in beweging kunnen worden gebracht, waardoor een wezenlijk verschil kan ontstaan met de situatie in de matten bij de schudproeven. Bij deze schudproeven werd het verlies door middel van trillen en schudden op een zeefapparaat opgewekt. Het in de mat achterblijvende materiaal verzamelde zich bij de schudproeven in een gesloten laag onderin de

matten. De zanddichtheid van deze laag werd onderzocht voor permanente verhangomstandigheden. Redelijkerwijs mag echter worden verwacht dat bij zwaardere dynamische omstandigheden, zoals bijvoorbeeld die welke optraden in het Grevelingenmeer, het gesloten karakter van een dergelijke laag tijdelijk en/of plaatselijk kan worden verstoord waardoor de zanddichtheid van de matten verloren kan gaan. Als bovendien onder deze omstandigheden aan de bovenzijde van de matten de hechtlaag van het vullingsmateriaal geheel of gedeeltelijk ontbreekt, dan kan ook nog via de bovenzijde van de mat vullingsmateriaal uit de mat ontwijken. Een dergelijke situatie kan zich hebben voorgedaan bij de golfbelastingomstandigheden die optraden in de nacht van 22 op 23 oktober 1974. Het is uit waarnemingen bij de proeven met ENKAMATTEN in Lith bekend dat, als op uitgebreide schaal zanddichtheidsverlies bij een ENKAMAT optreedt, de mat in beweging wordt gebracht en niet langer blijft aansluiten tegen het talud. Bij het in beweging komen van de mat treedt een snelle uitbreiding van schade op, in de vorm van deformatie van het talud, zoals bleek in de goot te Lith.

Het is essentieel te achten voor een stabiele ligging van een beschermende ENKAMAT-constructie dat een voldoende grote hoeveelheid geschikt vullingsmateriaal in de mat aanwezig is en blijft. Voor wat dit laatste betreft is een voldoende dichte zoolconstructie en een voldoende dichte afwerking van de bovenzijde van de mat gedurende een voldoende lange periode vereist. Aan deze eisen hebben de constructies onder de in de nacht van 22 op 23 oktober 1974 opgetreden omstandigheden kennelijk niet kunnen voldoen.

Er zijn geen aanwijzingen dat de naden tussen de verschillende ENKAMAT-constructies aanleiding tot stabiliteitsverlies hebben gegeven.

3.5 Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste algemene conclusie is dat de onderzochte ENKAMAT-constructies niet opgewassen zijn geweest tegen de golfbelastingomstandigheden die zich in de nacht van 22 op 23 oktober 1974 ter plaatse van het proefvak voordeden. Tijdens deze omstandigheden bedroeg de significante golfhoogte ca. 0,45 m. Op grond van de tijdsduur gedurende welke deze golfbelastingomstandigheden optraden, mag worden aangenomen dat tijdens de storm de maximale golfhoogte een waarde had van ca. 0.75 m. Uit het feit dat bij het onderzoek in de goot

te Lith onder een hiermee gelijkwaardige golfbelasting regelmatige golven met een hoogte van 0,60 à 0,65 m gedurende 24 uur bij de daar onderzochte ENKAMAT-constructies geen stabiliteits- en zanddichtheidsverlies optrad, moet worden afgeleid dat bij de proef in het Grevelingenmeer andere factoren een rol hebben gespeeld.

Aangenomen mag worden dat deze factoren te maken hebben met de werking en de duurzaamheid van de gebruikte hechtingsmiddelen en de vullingsgraad van de matten.

De verwachting blijft gerechtvaardigd, op grond van de resultaten van het onderzoek in de goot te Lith, dat onder de belastingomstandigheden die tijdens de proef in het Grevelingenmeer zijn opgetreden, in ieder geval de ENKAMAT--constructies die met de in de goot te Lith onderzochte constructies overeenkomen, voldoende weerstand hadden kunnen bieden tegen beschadiging van de dam . De vraag is echter of voor normale praktijkomstandigheden zoals die welke bij de proef in het Grevelingenmeer aan de orde waren, aan de hiervoor noodzakelijke uitvoerings- en constructievoorwaarden kan worden voldaan.

Met betrekking tot het vullingsmateriaal in de ENKAMATTEN waren deze voorwaarden dat het vullingmateriaal (blijvend):

- de zanddichtheid van de bescherming moet kunnen verzorgen
- de filterwerking moet kunnen verzorgen en
- de stabiliteit moet kunnen verzorgen door voldoende en gelijkmatig verdeeld gewicht

Bij het blijvend verzorgen van deze drie elementen speelt ook de duurzaamheid van de hechtmiddelen een belangrijke rol. Het toekennen van de drie genoemde functies aan het vullingsmateriaal is in principe een reële mogelijkheid. In de praktische realiteit echter kunnen de eisen met betrekking tot uitvoering en constructie die hiervoor moeten worden gesteld zo scherp zijn, dat uit kostenoverwegingen hiertegen bezwaren ontstaan. Dit dient echter eerst terdege te worden onderzocht, omdat het prijsgeven van het aanvankelijke uitgangspunt om deze drie functies toe te kennen aan het vullingmateriaal een fundamentele wijziging van de oorspronkelijke benadering is. Deze oorspronkelijke benadering is steeds geweest het vormen van een lichte oever- en bodembescherming met loskorrelig filtermateriaal. Het nylonmateriaal werd hierbij een filtermateriaal-besparende rol toegekend, doordat het als een soort wapening van het filtermateriaal fungeert.

Als de bezwaren uit kostenoverwegingen echter te groot zijn, dan kan een tweede constructiemogelijkheid voor de ENKAMATTEN worden overwogen. Deze mogelijkheid is om de zanddichheidsfunctie en filterfunctie niet langer bij het vullingsmateriaal te leggen maar hiervoor een geschikt kunststoffilter te kiezen. Het vullingmateriaal heeft dan nog alleen de gewichtsfunctie.

Op grond van de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken met ENKAMATTEN kan worden aanbevolen, enkele concrete op constructieve en economische overwegingen gebaseerde ontwerpen te maken van ENKAMAT-constructies. Het ontwerp dient mede te zijn gebaseerd op een correct uitvoeringstechnisch plan voor het construeren en leggen van de matten. De ontworpen constructies kunnen ten behoeve van de toepassing in de praktijk in een overeenkomstig het uitvoeringstechnische plan ingerichte opstelling nog aan enkele proeven, bijvoorbeeld in de goot te Lith, worden onderworpen.

Hier eindigt de rapportage van de eerste onderzoekperiode. Deze beslaat in hoofdzaak de periode maart-december 1974.

4. Resultaten en conclusies van het onderzoek van 1975-1985

4.1 Het gedrag van de ENKAMATTEN op langere termijn

Eind oktober 1974 bleek dat de ENKAMAT-constructies niet in staat waren onder de toen optredende golfomstandigheden hun beschermende rol ten opzichte van de zanddam te vervullen. Niettemin blijkt echter dat de ENKAMATTEN toch op langere termijn de zanddam in stand kunnen houden. Deze termijn betreft de periode van 1975-1985.

In juli 1985 werd de dam uitgebreid geïnspecteerd. Hierbij bleek dat voor wat betreft de ligging van de zanddam er in feite niet veel veranderd was ten opzichte van de situatie die einde 1974 was ontstaan. Bij het bekijken van de matten bleek dat er een aanpassing had plaats gevonden van de ENKAMAT aan de natuurlijke omstandigheden in het Grevelingenmeer. De ENKAMATTEN bleken vol te zitten met jonge mosselen. Ook was hier en daar een flinke algengroei tot ontwikkeling gekomen. Waarschijnlijk is de aanvankelijke schade aan de ENKAMATTEN door de aanpassing aan het natuurlijke milieu gecompenseerd. Een beschrijving van de aangetroffen biologische situatie is gegeven in hoofdstuk 4.3

4.2 De opgetreden golfomstandigheden van 1975-1985

Bij de beoordeling van de resultaten van het gedrag van de matten tijdens de periode van 1975-1985 is het nodig om een beeld te hebben van de golfomstandigheden die in deze periode zijn opgetreden. Na januari 1976 zijn geen golfmetingen meer verricht. In de omgeving van het Grevelingenmeer zijn echter wel windsnelheden gemeten. Verder zijn op grond van de metingen van 1974, 1975 en 1976 relaties bekend tussen de windsnelheid en de golfhoogte bij de dam. Aan de hand van deze gegevens kan een karakterisering van de golfomstandigheden die in de periode van 1975-1985 zijn opgetreden, worden gegeven.

Bij de karakterisering van de golfomstandigheden zijn in feite alleen de extreme omstandigheden van belang. Om deze reden zijn uit de beschikbare windgegevens alleen windsnelheden geselecteerd die groter of gelijk zijn aan 20 m/s, bij een windrichting tussen west en noord. Dit laatste omdat door de situering van het Grevelingenmeer bij deze windrichtingen de strijklengte van de wind het grootst is. Men kan er namelijk van uitgaan dat de extreme

golfhoogten bij de dam worden veroorzaakt door golven die elders op het Grevelingenmeer worden opgewekt en niet door lokaal opgewekte golven. De lokale omstandigheden begrenzen wel de hoogte van de golf.

Bij de opwekking van golven op het Grevelingenmeer spelen een rol:

- de tijd die nodig is om een golfveld bij een bepaalde windsnelheid volledig tot ontwikkeling te laten komen;
- de strijklengte van de wind (afmetingen van het wateroppervlak in de windrichting);
- de waterdiepte.

Lokale omstandigheden die de golfhoogte beïnvloeden zijn:

- refractie van de golven door de bodemgeometrie in de omgeving van het damvak waardoor de golfenergie gespreid of geconcentreerd kan worden.
- ondiepte op de vooroever van de dam waardoor breking kan optreden van de hogere golven die in het spectrum voorkomen.

Bij de betrekkelijk geringe afmetingen van het Grevelingenmeer speelt de tijdsduur van het optreden van de wind niet zozeer een beperkende rol. Bij een tijdsduur van 1 uur, een strijklengte van de wind van 10 km en een windsnelheid van 20 m/s, bijvoorbeeld, is het golfveld reeds volledig tot ontwikkeling gekomen. (Bij stormen met windsnelheden > 20 m/s is de tijdsduur meestal groter dan 1 uur). Als er geen beperking was door de waterdiepte op het meer dan zou de significante golfhoogte onder die omstandigheden reeds een waarde bereiken van ca. 1,50 m. Ook de strijklengte zal bij richtingen tussen west en noord en bij windsnelheden boven 20 m/s op het Grevelingenmeer geen beperking opleveren voor de golfhoogte bij de dam.

De waterdiepte op het Grevelingenmeer beperkt de golfhoogte tijdens de golfopwekking. Bij een waterdiepte van 10 m, bijvoorbeeld, wordt de significante golfhoogte onder de voorgenoemde omstandigheden beperkt tot 1,00 m à 1,20 m. Voor de lokale golfhoogte zal ook dit echter geen beperking opleveren. Uitgaande van het feit dat de strijklengte van de wind met name bij richtingen tussen west en noord aanmerkelijk groter is dan 10 km terwijl ook de gemiddelde waterdiepte in het geulenstelsel van het Grevelingenmeer groter is dan 10 m mag worden verwacht dat bij stormen met windsnelheden van 20 à 25 m/s de significante golfhoogte van de op het meer opgewekte golven ondanks de beperkende factoren wel 1,50 m kan bedragen bij een golfperiode van 3,5-4 s.

Door refractie ten gevolge van de bodemgeometrie zal deze golfhoogte in de omgeving van de sluis bij Bruinisse kunnen afnemen. Maar zelfs als deze afname 25% bedraagt, dan is voor de proefdam (in verband met de aanwezige diepte op de vooroever) nog sprake van een zeer hoge golf.

De hoogten van de in de omgeving van de dam aankomende golven zullen op een bepaalde manier zijn verdeeld. Bij een Raleigh-verdeling wordt een hoogte van $1,51 H_g$ door 1% van de golven overschreden. Als breking van de golven optreedt dan voldoet de verdeling van de golfhoogten meestal niet meer aan de Raleigh-verdeling. Bij aankomst van de golven in de omgeving van de dam zullen de hoogste golven beginnen te breken. Uit berekeningen blijkt dat bij een significante golfhoogte van 1,50 m en een golfperiode van ca. 4 s, breking van de hoogste golven begint op te treden bij diepten tussen 1,70 en 2,00 m. Deze diepte is aanwezig op ca. 100 m voor de dam, bij de overgang van de geul naar de onder een flauwe helling van 1:50 oplopende vooroever.

Bij de teen van de dam bedraagt de waterdiepte (zonder waterstandsverhoging op het meer) ca. 0,90 m. Uit berekeningen volgt dat bij een helling van de vooroever van 1:50 bij deze diepte een brekerhoogte behoort van 0,70 m. Dit is dus de maximale golfhoogte die bij deze waterdiepte kan bestaan (bij de golfperiode van ca. 4 s).

In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de extreme windsnelheden uit de periode 1974-1985 voor richtingen tussen west en noord. Tevens is in deze tabel de significante golfhoogte aangegeven die volgt uit rechtlijnige interpolatie van de gevonden relaties windsnelheid - golfhoogte in figuur 15. Deze golfhoogten zullen dus op grond van de voorgaande beschouwing over de mogelijke golfhoogten bij de dam, enigszins aan de hoge kant zijn. Als tijdens de opgetreden stormen ook sprake geweest is van waterstandsverhogingen ten gevolge van opwaaiing dan zijn de vermelde golfhoogten als meer realistisch te beschouwen. In ieder geval is het aannemelijk dat tijdens de windomstandigheden gedurende de periode 1975-1985, de dam regelmatig is blootgesteld geweest aan maximale golfhoogten van 0,70-0,80 m.

Jaar	Maand	Maximum windsnelheid (m/s)	Windrichting (°Noord)	Grootste significante golfhoogte bepaald uit relaties fig. 15 (m)
1974	oktober	19	290°	0,45 (meting)
1974	november	21,5	300°	0,48
1974	december	20	280°	0,45
1976	september	19,5	290°	0,45
1976	november	20	320°	0,50
1978	januari	22,5	280°	0,50
1979	januari	22,5	300°	0,60
1979	mei	20	340°	0,60
1979	december	20,5	270°	0,50
1981	oktober	20,5	270°	0,50
1981	december	21,5	290°	0,55
1983	februari	21,5	270°	0,55
1983	maart	20,5	320°	0,50
1983	november	23	270°	0,60
1983	december	24,5	290°	0,65
1984	februari	22,5	310°	0,60
1984	november	21	280°	0,50

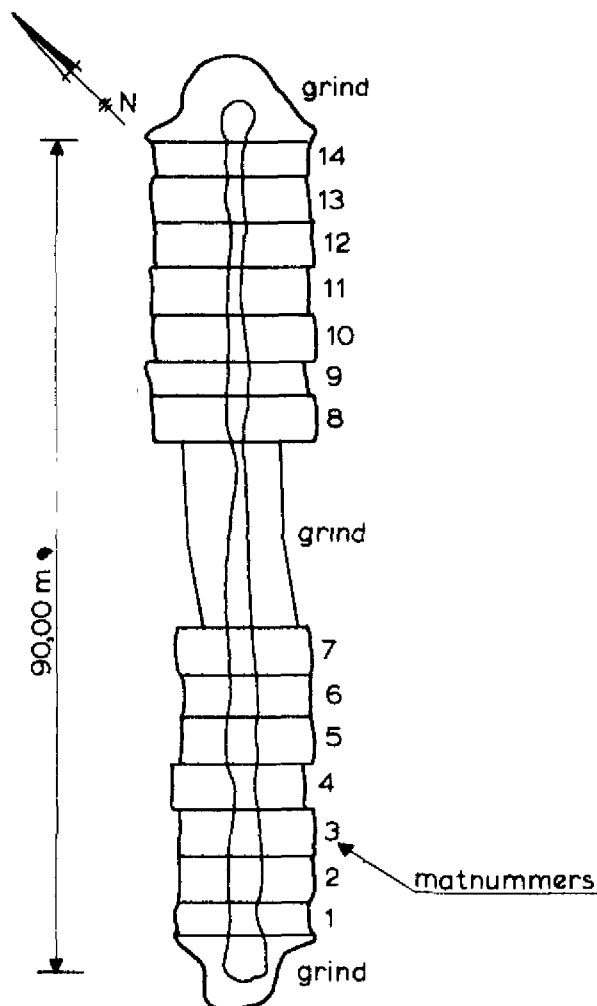
Tabel 4.1

4.3 Beschrijving van de biologische condities

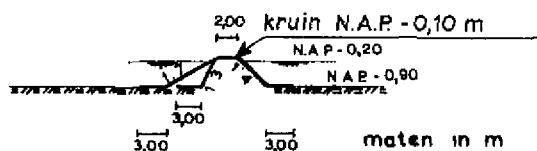
- a) De Enkamat met vulling vormt een constructie, die redelijk begroeibaar is voor mossels, pokken, wieren e.d. Hoofdzakelijk wordt dit veroorzaakt door het ruwe open oppervlak van de mat, alhoewel de draad op zich erg glad is.
- b) Koperslakgranulaat of enig ander potentiëel toxisch materiaal mag niet toegepast worden als matvulling. Het nadeel is dat niet alleen de soortenrijkdom minder is, maar ook dat de wiersoorten die redelijk goed gedijen koper opnemen en dat bij consumptie van deze planten door dieren (m.n. vogels) het koper in de voedselketen terechtkomt.
- c) De indruk bestaat dat de grindbekleding op de dankoppen in het middenstuk minder begroeid was dan de Enkamatten. Waarschijnlijk is dit te wijten aan de relatief kleine massa van de grindkeien, die als gevolg van brekende golven spoedig zullen bewegen en eventueel over elkaar rollen en daardoor aanhechting van organismen tegengaan.
- d) Opgemerkt wordt nog dat veel wiersoorten alleen in het zomerseizoen voorkomen en 's winters afsterven. De maximale diepte waar wieren voorkomen bedraagt in het Grevelingenmeer ca. 7 m, omdat planten licht nodig hebben. "Verstoring" van de constructie middels wieren is vooral effectief in de brandingszone, daar een dikke wierbekleding de kracht van de golven absobeert. Hiervoor komen vooral grote wieren in aanmerking, zoals Blaaswier, Knotswier en Zee-eik. (Het iets dieper (ca. 1 m) voorkomende Hoorntjeswier kan bij forse ontwikkeling - zoals op diverse lokaties in de Oosterschelde - ook een bijdrage leveren). Japans Berrenwier kan ook een redelijke golfkrachtbreker zijn, maar heeft de neiging qua uitbreiding uit de hand te lopen, en dan (zeer) bezwaarlijk te worden voor de scheepvaart/pleziervaart.

5. Conclusies en aanbevelingen

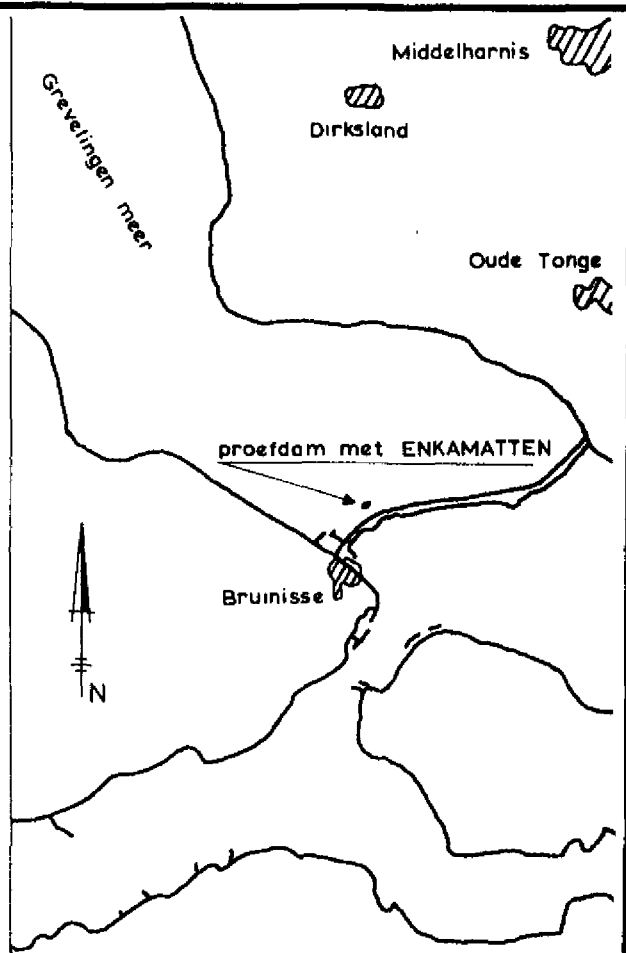
1. De ENKAMAT is onder bepaalde omstandigheden in staat over langere tijd (meer dan 10 jaar) een uit relatief fijn zand bestaande dam te beschermen tegen golfaanval. De omstandigheden tijdens de proef op het Grevelingenmeer waren: waterdiepte ca. 1 m, flauwe helling van de vooroever (ca. 1:50), windgolven met maximale golfhoogten van 0,70 m - 0,80 m.
2. De schade die aanvankelijk in de herfst van 1974 aan het proefvak ontstond, is hoogstwaarschijnlijk een gevolg geweest van zwakke plekken in de constructie die een uitvoeringstechnische oorzaak hebben. Door verbeteringen aan het Enkamat-product na 1974 en door zorgvuldige uitvoeringstechnieken moet het zeker mogelijk geacht worden om dergelijke zwakke plekken te voorkomen.
3. De belangrijkste reden van het in stand blijven van de zanddam in de periode van 1975-1985 is gelegen in de aanpassing van ENKAMAT aan het biologische milieu van het Grevelingenmeer. Deze biologische aanpassing is kennelijk in staat eventueel onstane zwakke plekken te compenseren en zo wat extra reserve voor de toekomst te verlenen als oeverbescherming.
4. De toepassing van de ENKAMAT op wat grotere schaal, met een zeker experimenteel karakter en onder vergelijkbare omstandigheden, is zeker aan te bevelen.



BOVENAANZICHT DAM



ONTWERP DWARSPROFIEL



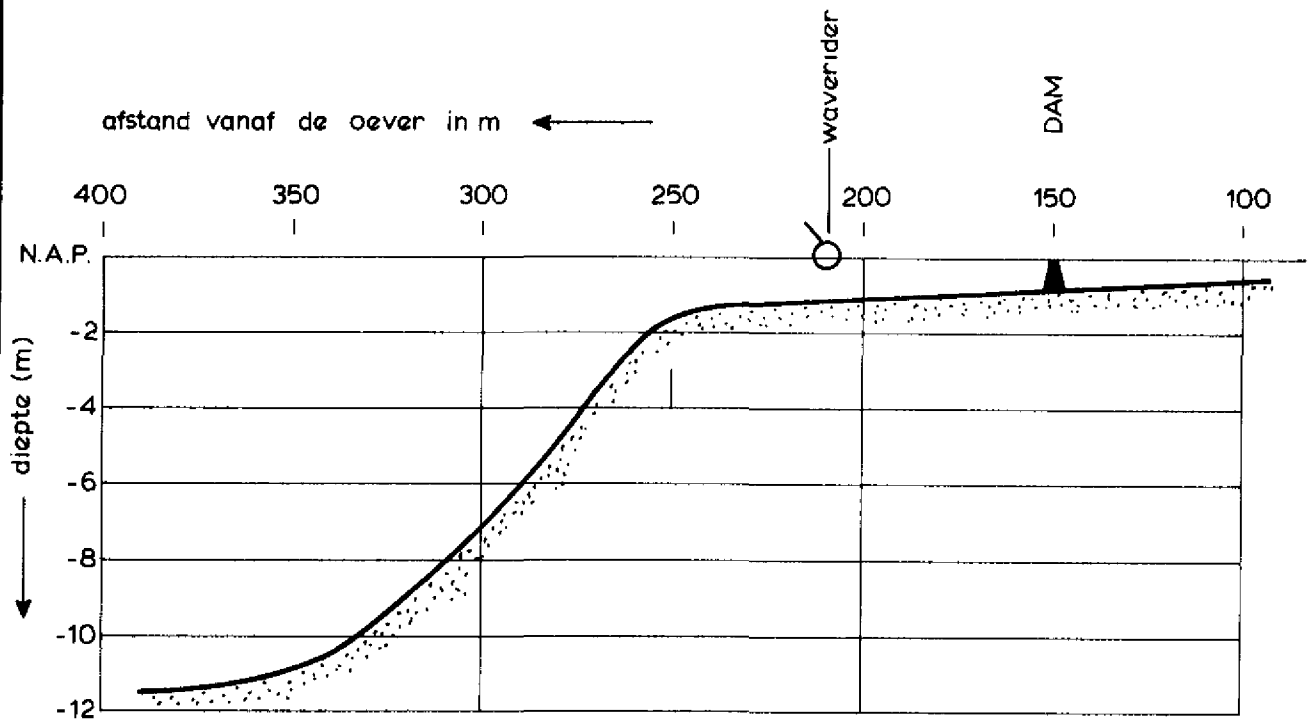
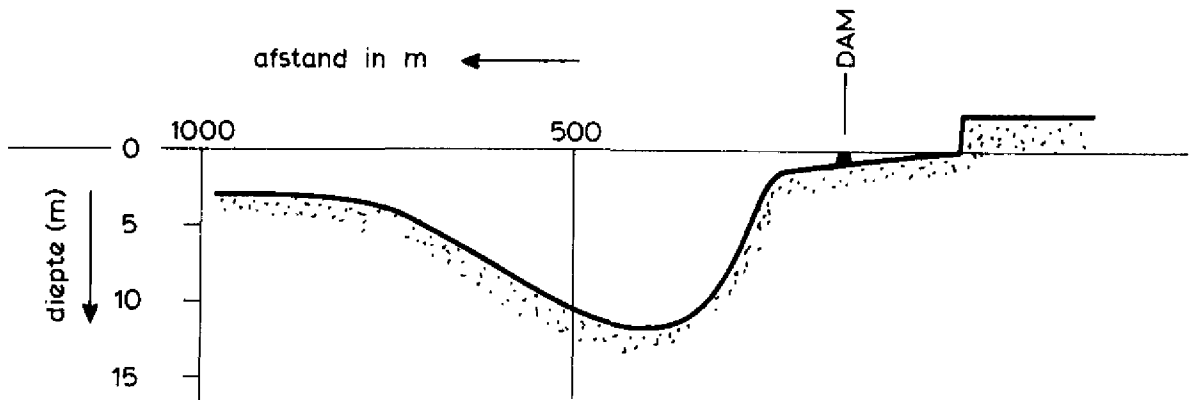
MAT					ZOOL	VULLING	
nr	type	binder	dikte cm			vulmateriaal	hechtmiddel
1	14	5002	lichtgebonden propertack	6	Lückenhaus weefsel	kif	Sikkens MC
2	13	5004	1 zijde gebonden latex	4,5	zand + propertack	kif	Sikkens MC
3	12	5002	lichtgebonden propertack	6	---	---	---
		5004	1 zijde gebonden latex	4,5	---	kif	Sikkens MC
4	11	5004	gebonden propertack	4,5	zand + Eramul bitumen	glasas	---
5	10	5004	gebonden propertack	4,5	zand + Eramul bitumen	kif	Eshalite bitumen
6	9	5002	lichtgebonden propertack	6	COLBACK vlies	glasas	Sikkens MC
7	8	5004	gebonden propertack	4,5	zand + Eshalite bitumen	koperslak	Eshalite bitumen

SITUATIE EN CONSTRUCTIE PROEFVAK
ENKAMATTEN IN HET GREVELINGEN MEER

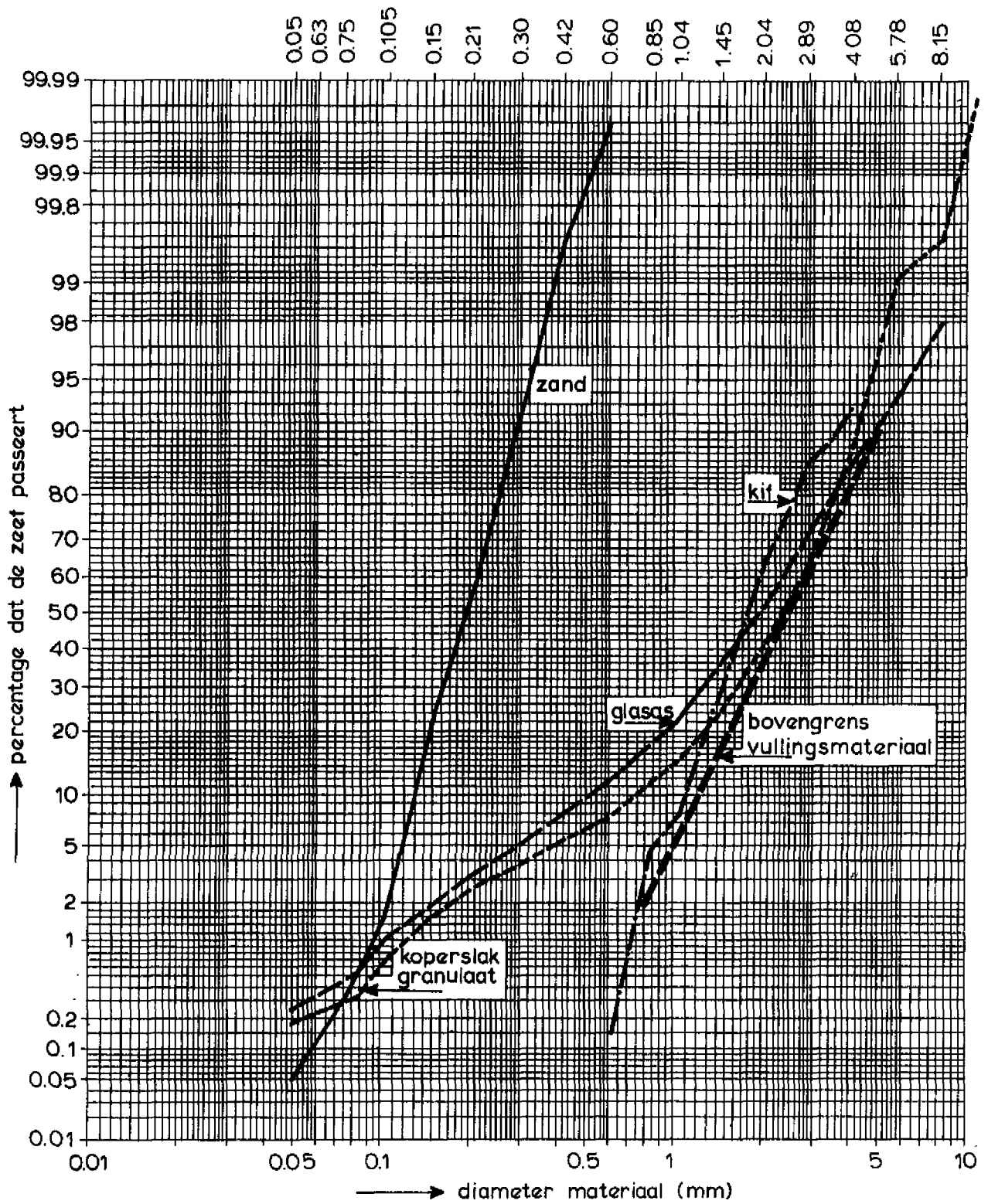
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2350

FIG. 1



DWARSPROFIELEN

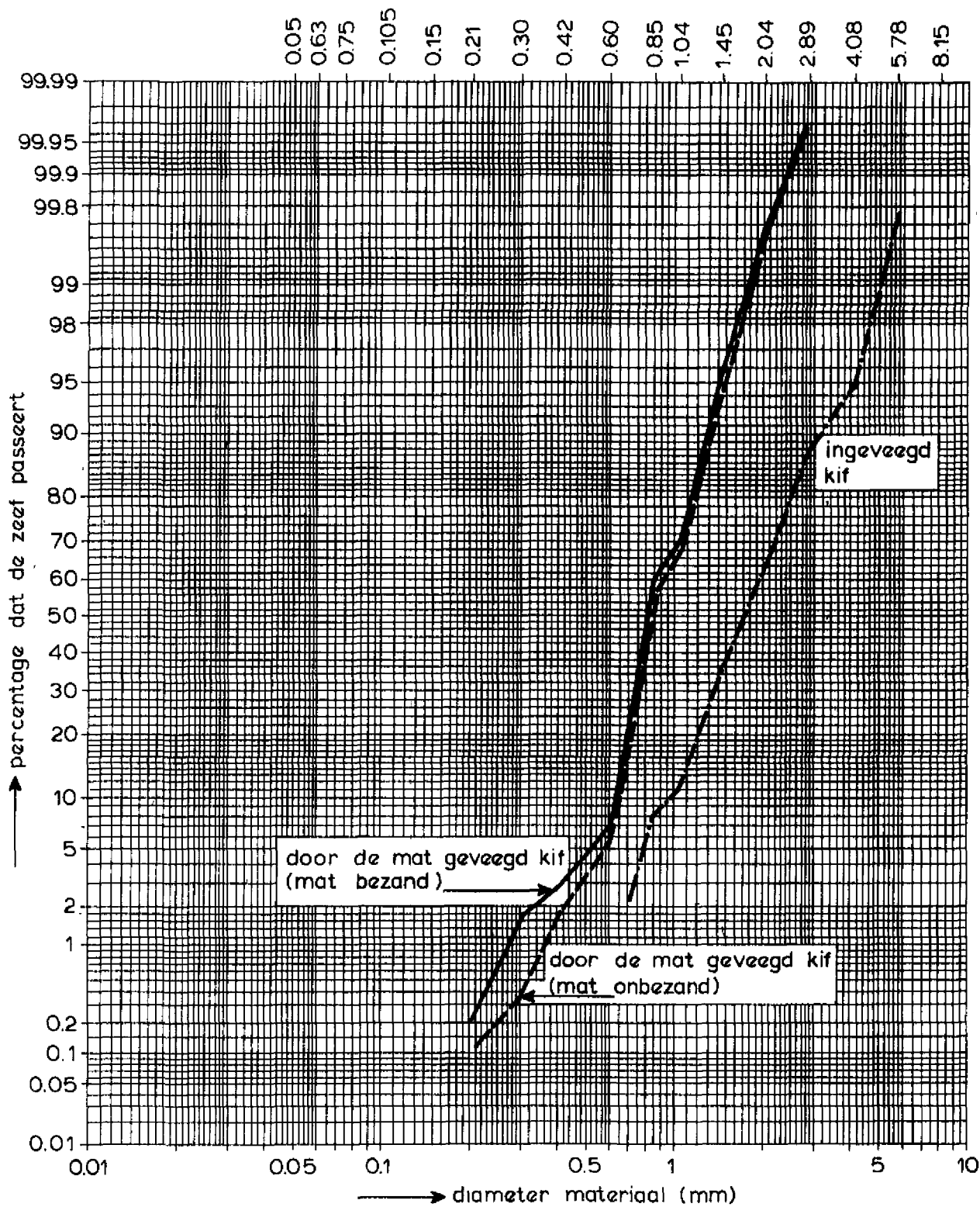


KORRELVERDELINGEN ZAND EN
VULLINGSMATERIAAL ENKAMATTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2350

FIG. 3

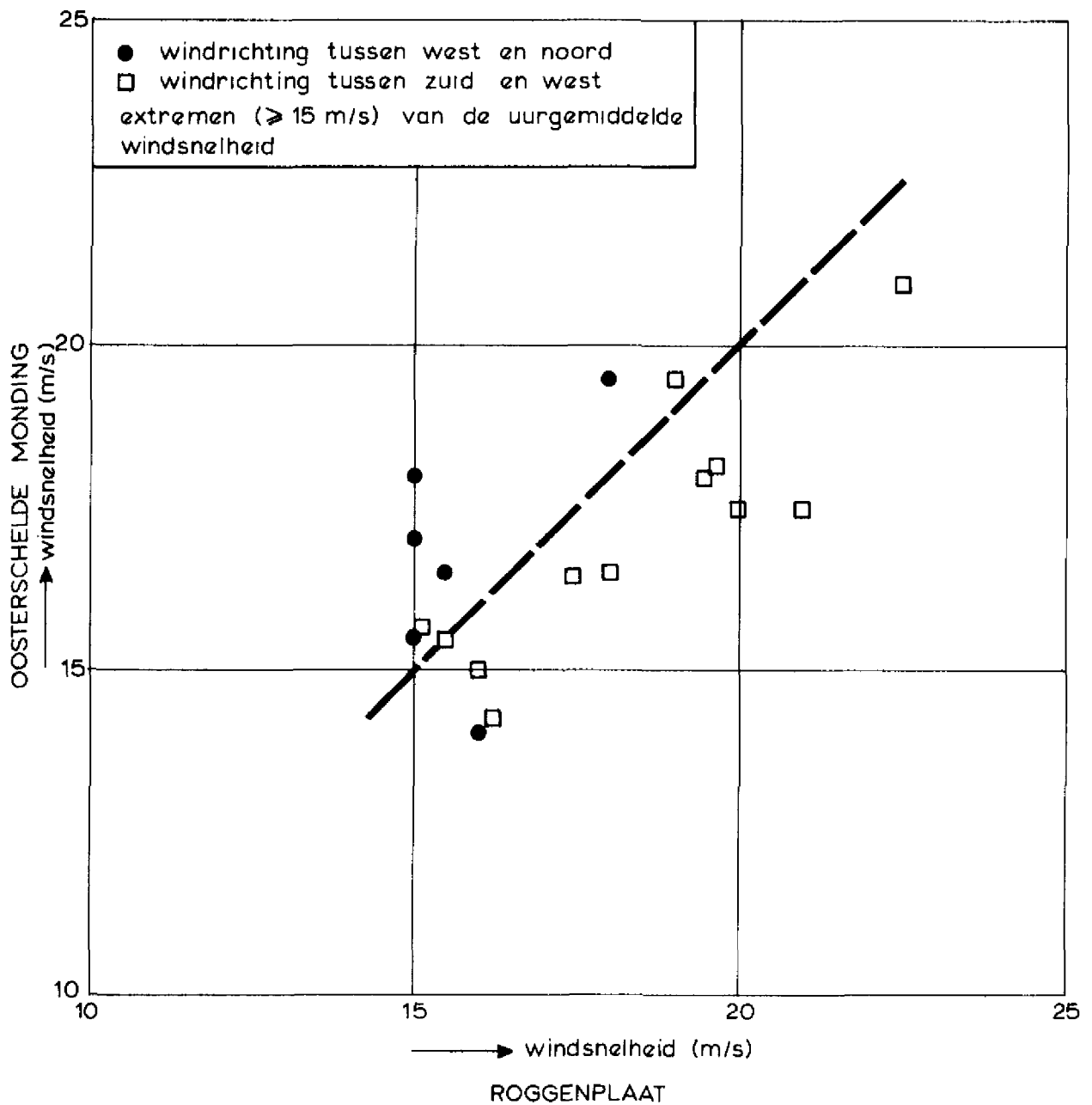


RESULTATEN PROEF INVEGEN KIF IN ENKAMATTEN

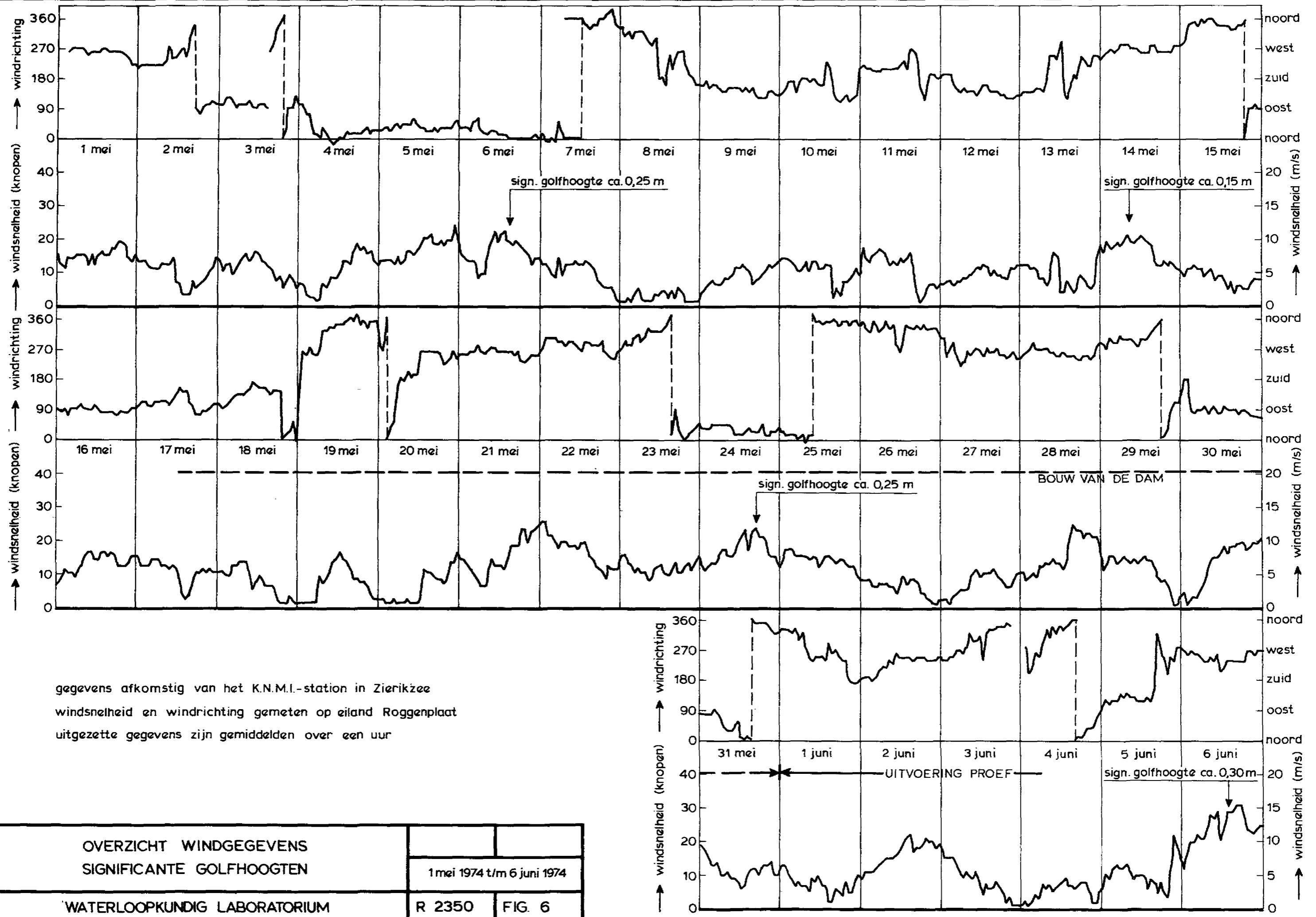
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2350

FIG. 4

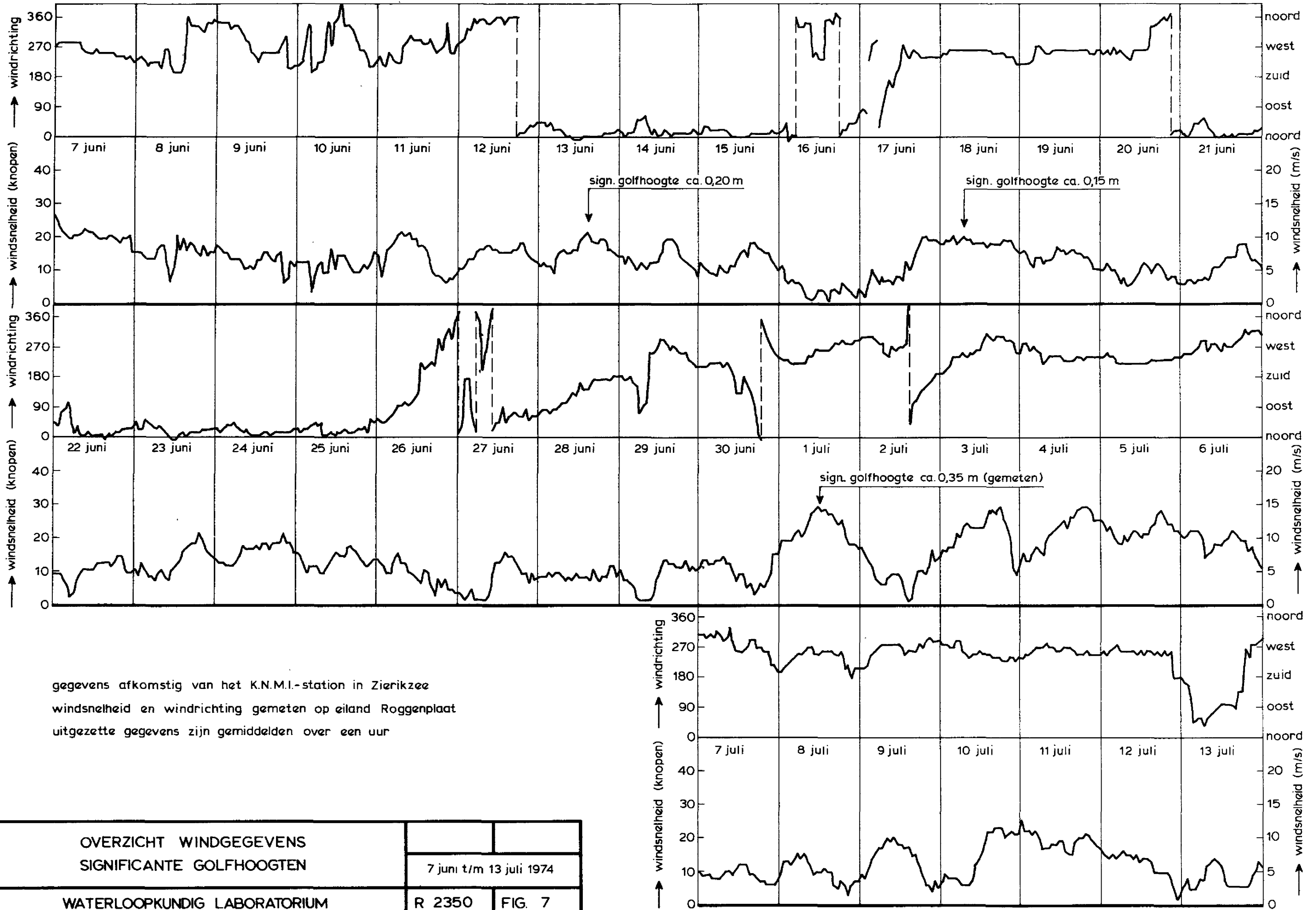


VERBAND TUSSEN WINDSNELHEID
 OOSTERSCHELDE MONDING EN ROGGENPLAAT



gegevens afkomstig van het K.N.M.I.-station in Zierikzee
windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

OVERZICHT WINDGEGEVENS SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN		
	1 mei 1974 t/m 6 juni 1974	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 2350	FIG. 6



gegevens afkomstig van het K.N.M.I.-station in Zierikzee
 windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
 uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

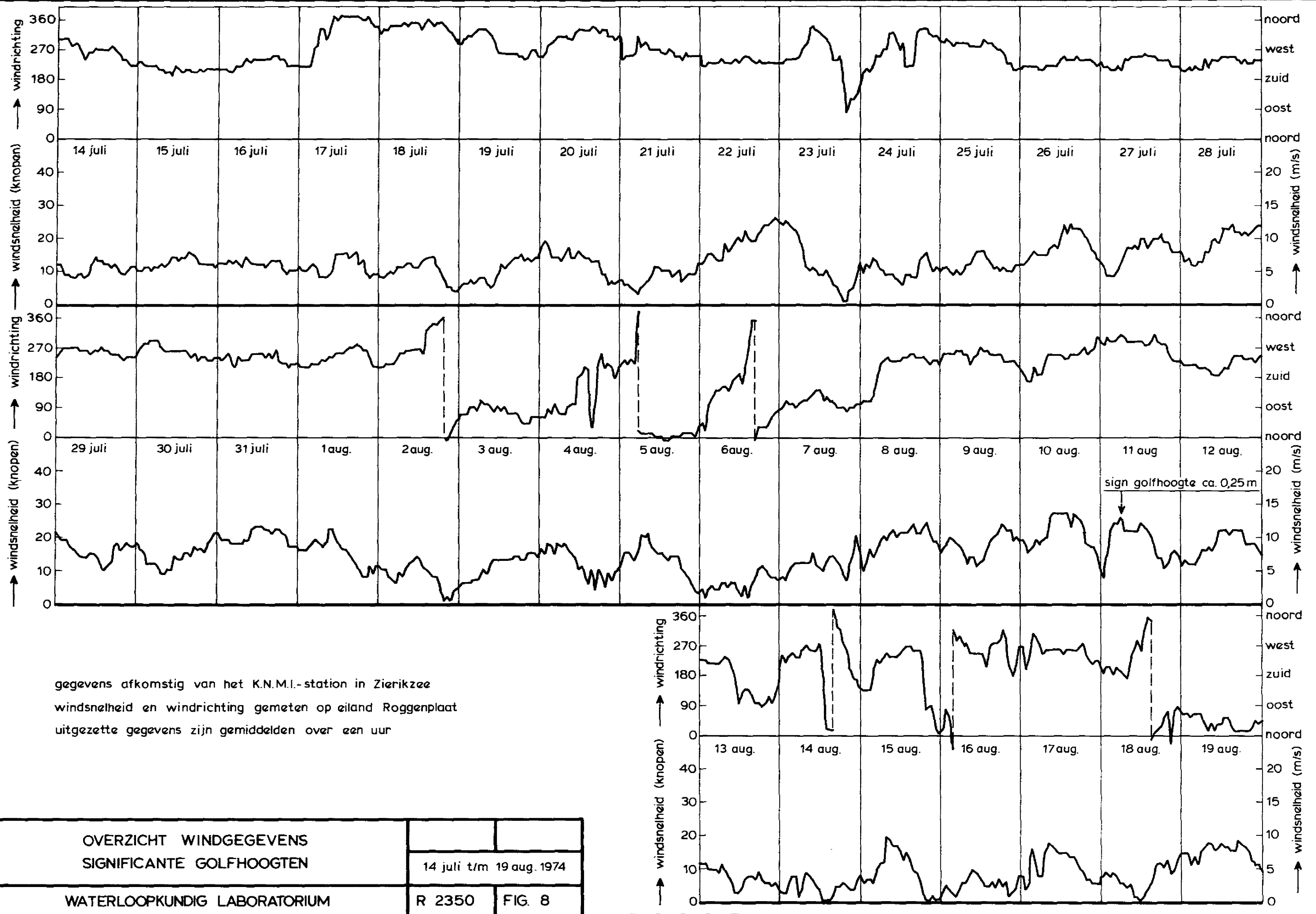
OVERZICHT WINDGEGEVENS
 SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN

7 juni t/m 13 juli 1974

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

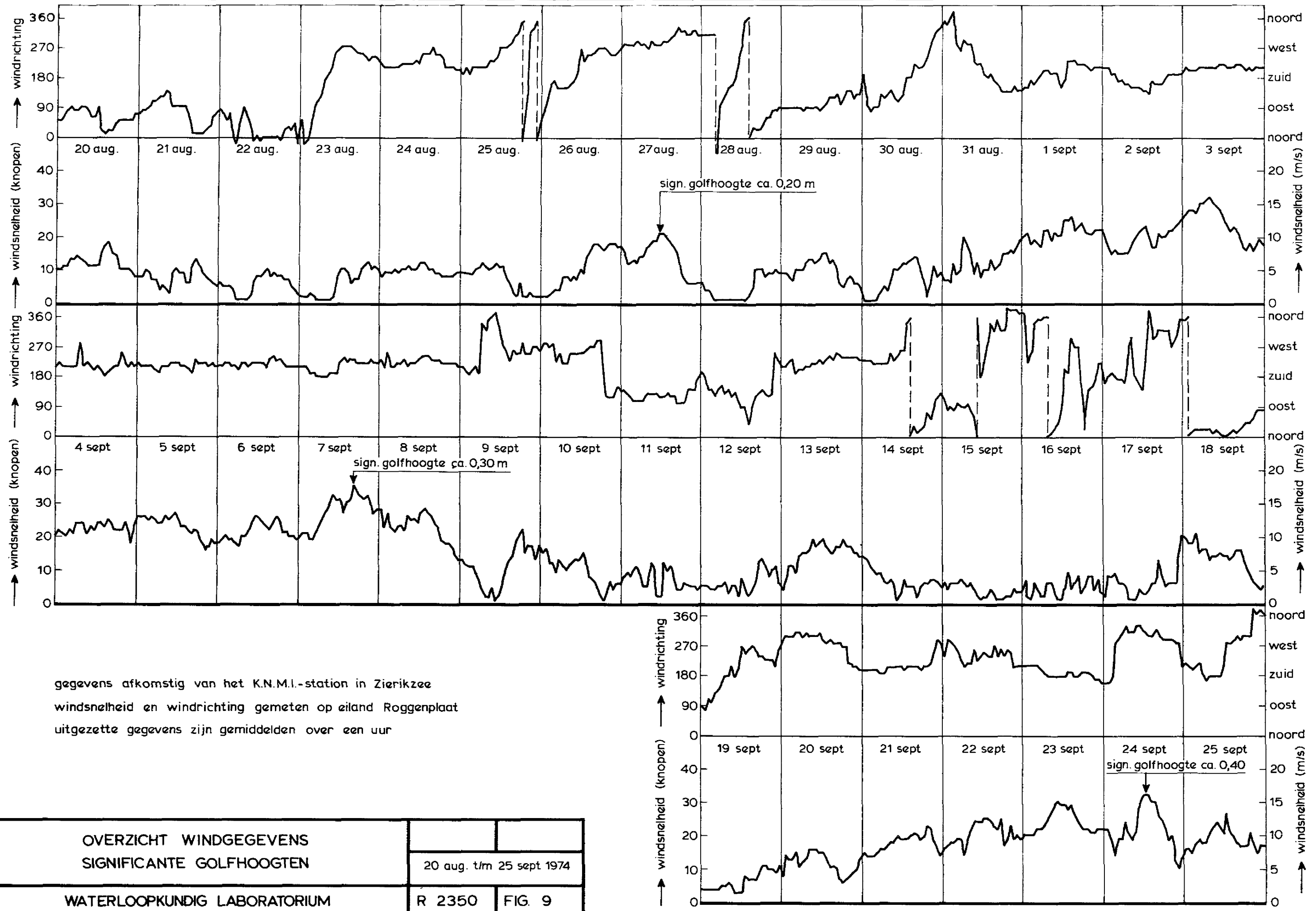
R 2350

FIG. 7



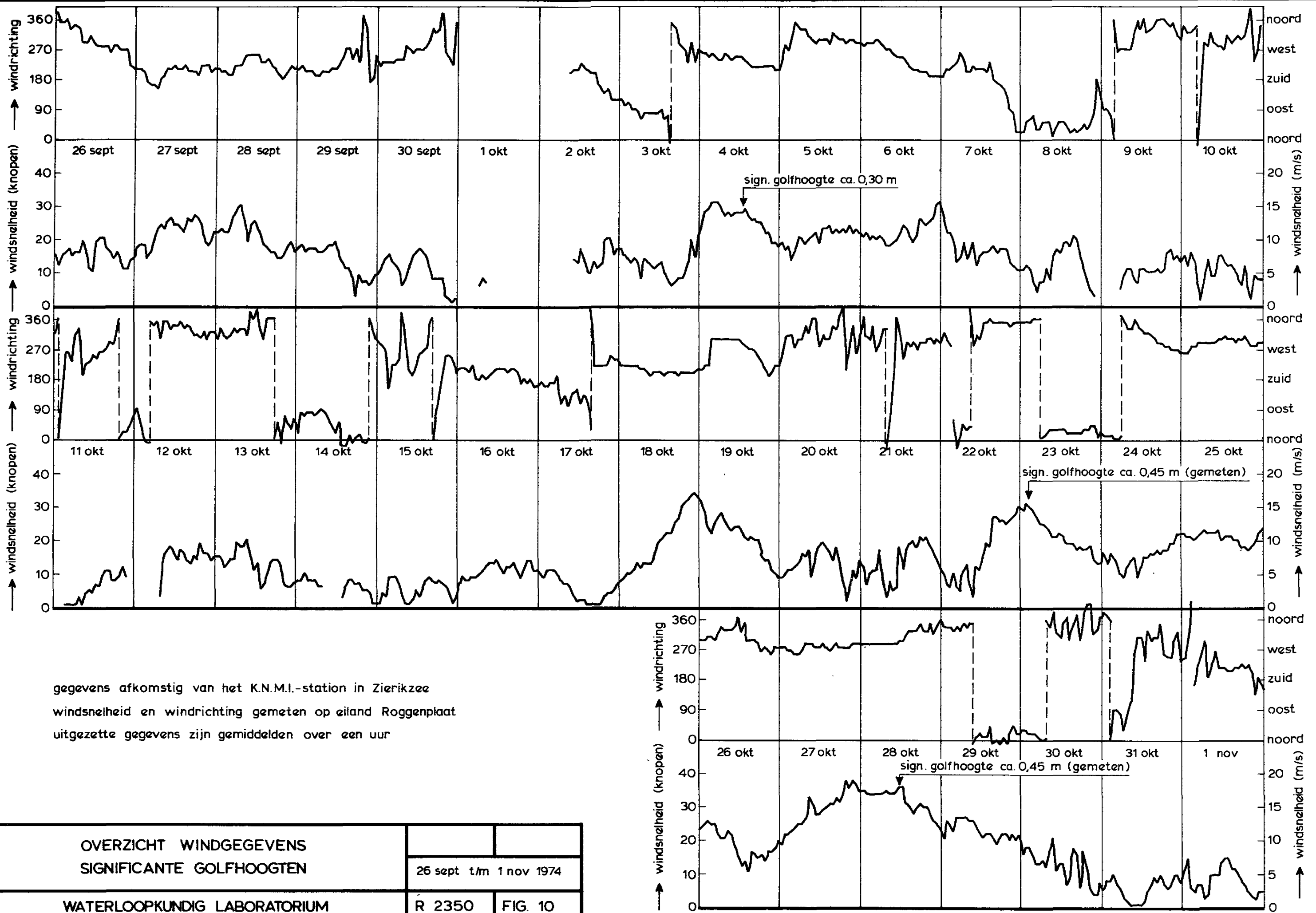
gegevens afkomstig van het K.N.M.I.-station in Zierikzee
windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

OVERZICHT WINDGEGEVENS SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN	14 juli t/m 19 aug. 1974	
	R 2350	FIG. 8
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		



gegevens afkomstig van het K.N.M.I.-station in Zierikzee
windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

OVERZICHT WINDGEGEVENS SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN		
	20 aug. t/m 25 sept 1974	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 2350	FIG. 9



gegevens afkomstig van het K.N.M.I.-station in Zierikzee
windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

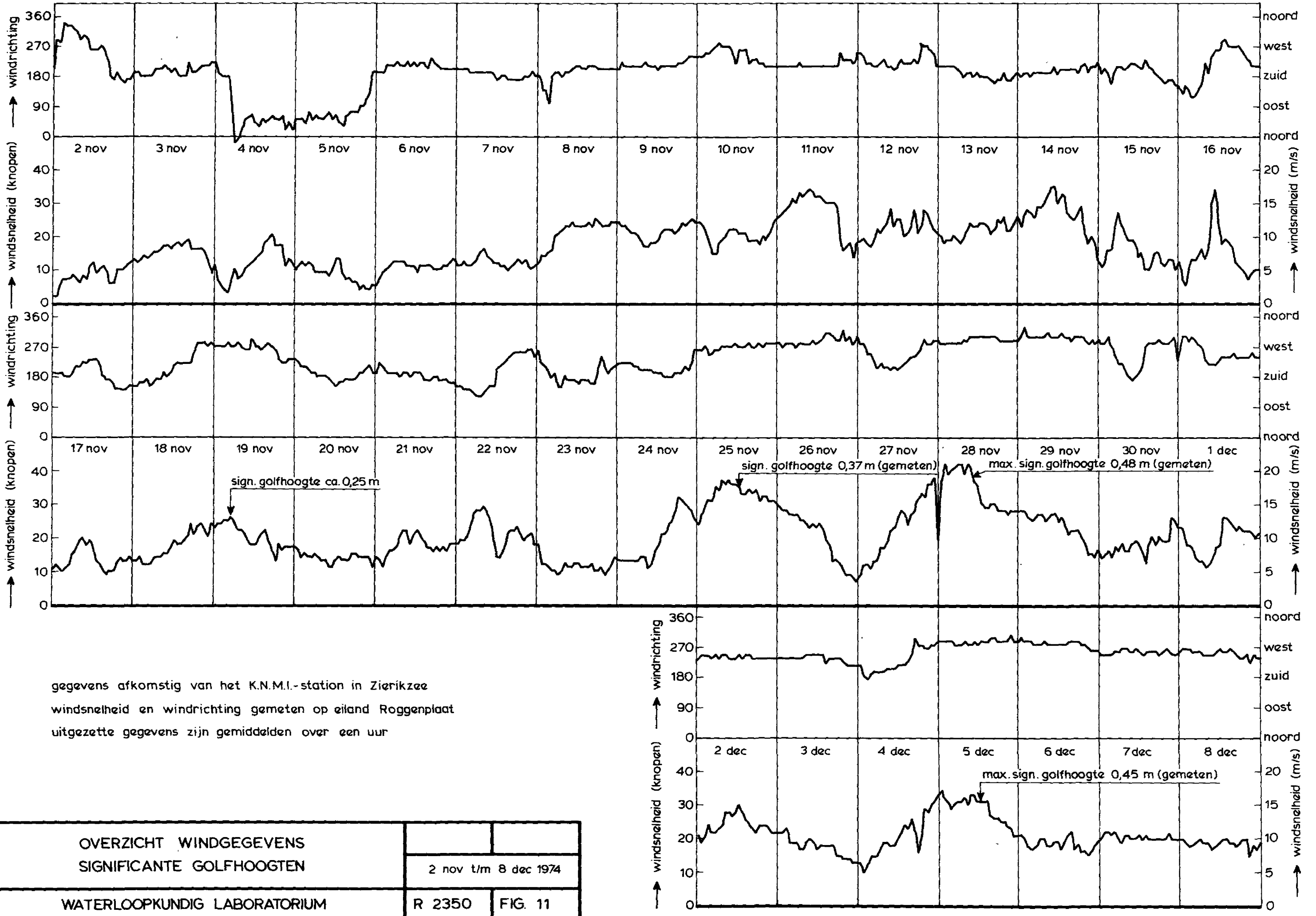
OVERZICHT WINDGEGEVENS
SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN

26 sept t/m 1 nov 1974

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

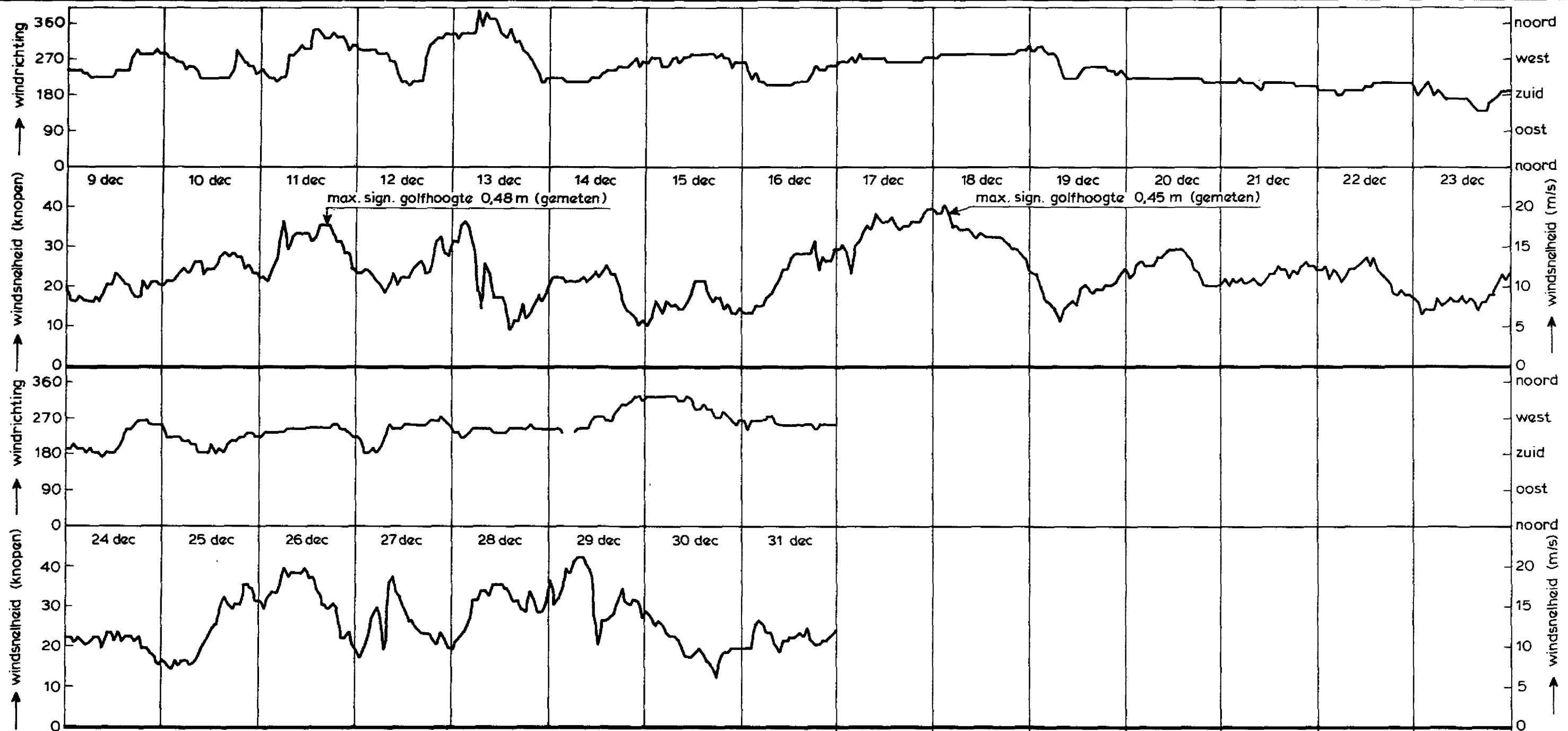
R 2350

FIG. 10

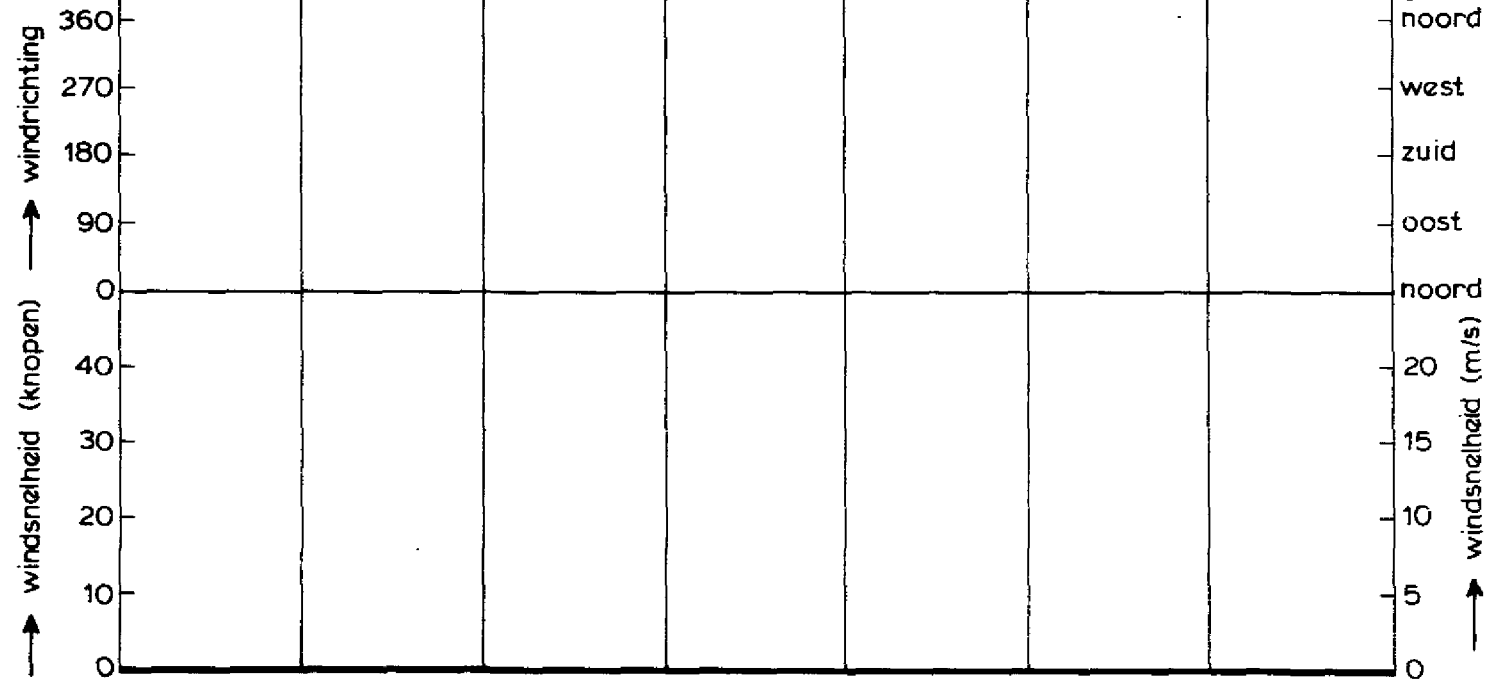


gegevens afkomstig van het K.N.M.I.-station in Zierikzee
windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

OVERZICHT WINDGEGEVENS SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN		
	2 nov t/m 8 dec 1974	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 2350	FIG. 11

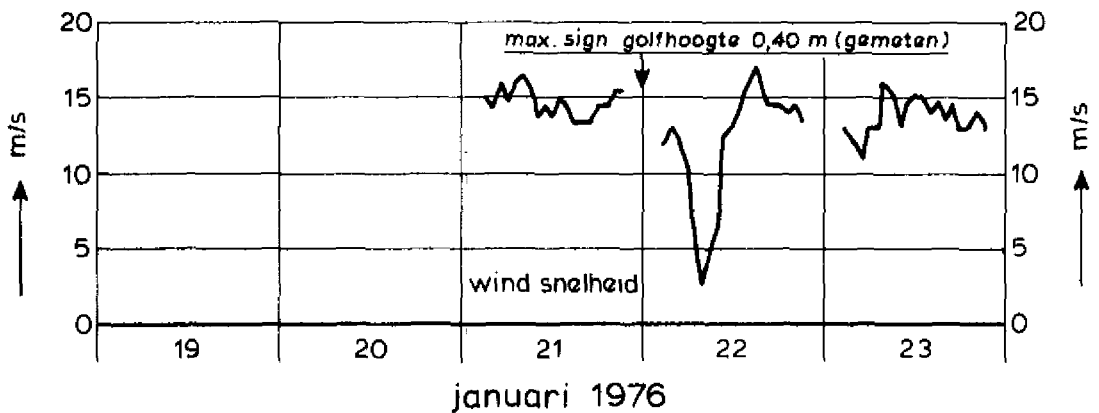
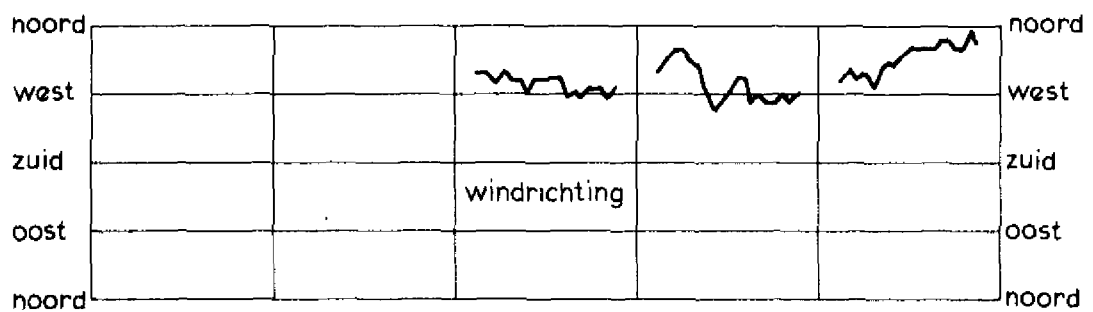
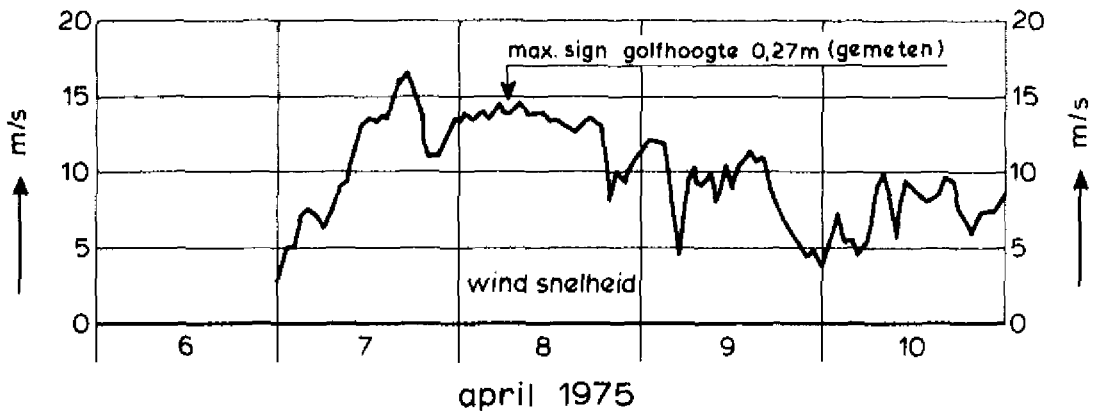
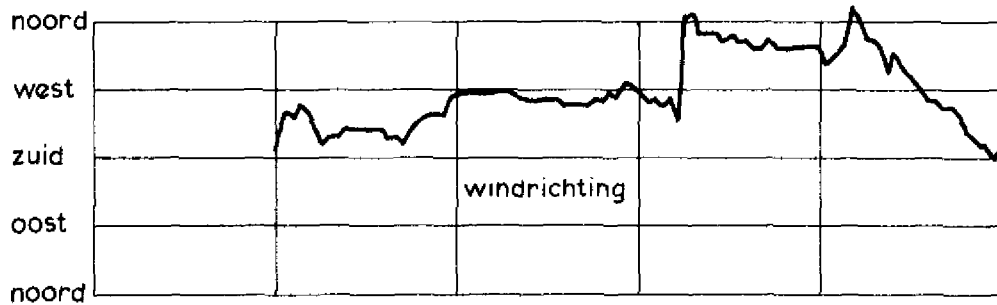


gegevens afkomstig van het K.N.M.I. station in Zierikzee
windsnelheid en windrichting gemeten op eiland Roggenplaat
uitgezette gegevens zijn gemiddelden over een uur

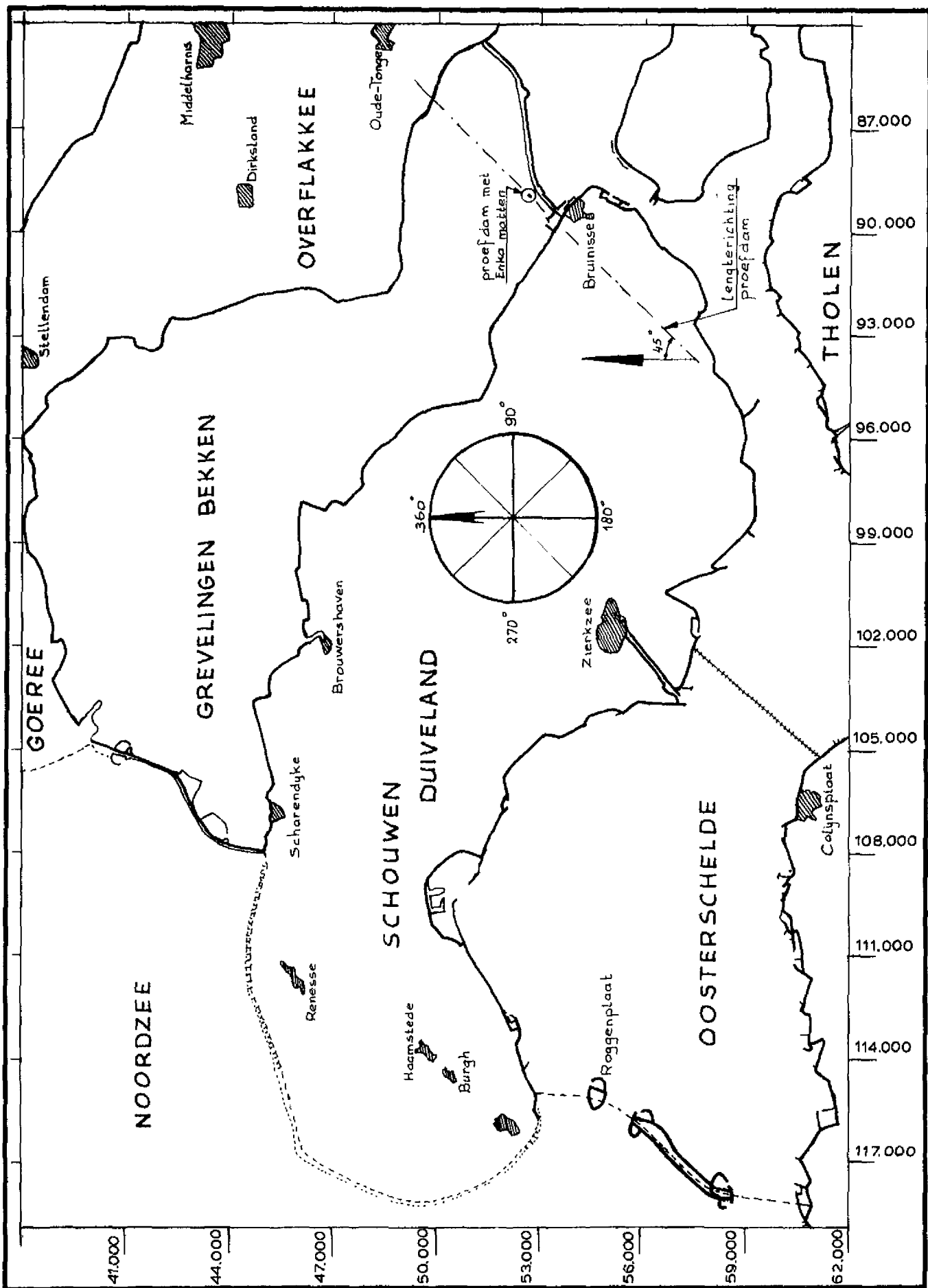


OVERZICHT WINDGEGEVENS
SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN

9 dec t/m 31 dec 1974



OVERZICHT WINDGEGEVENS
SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN



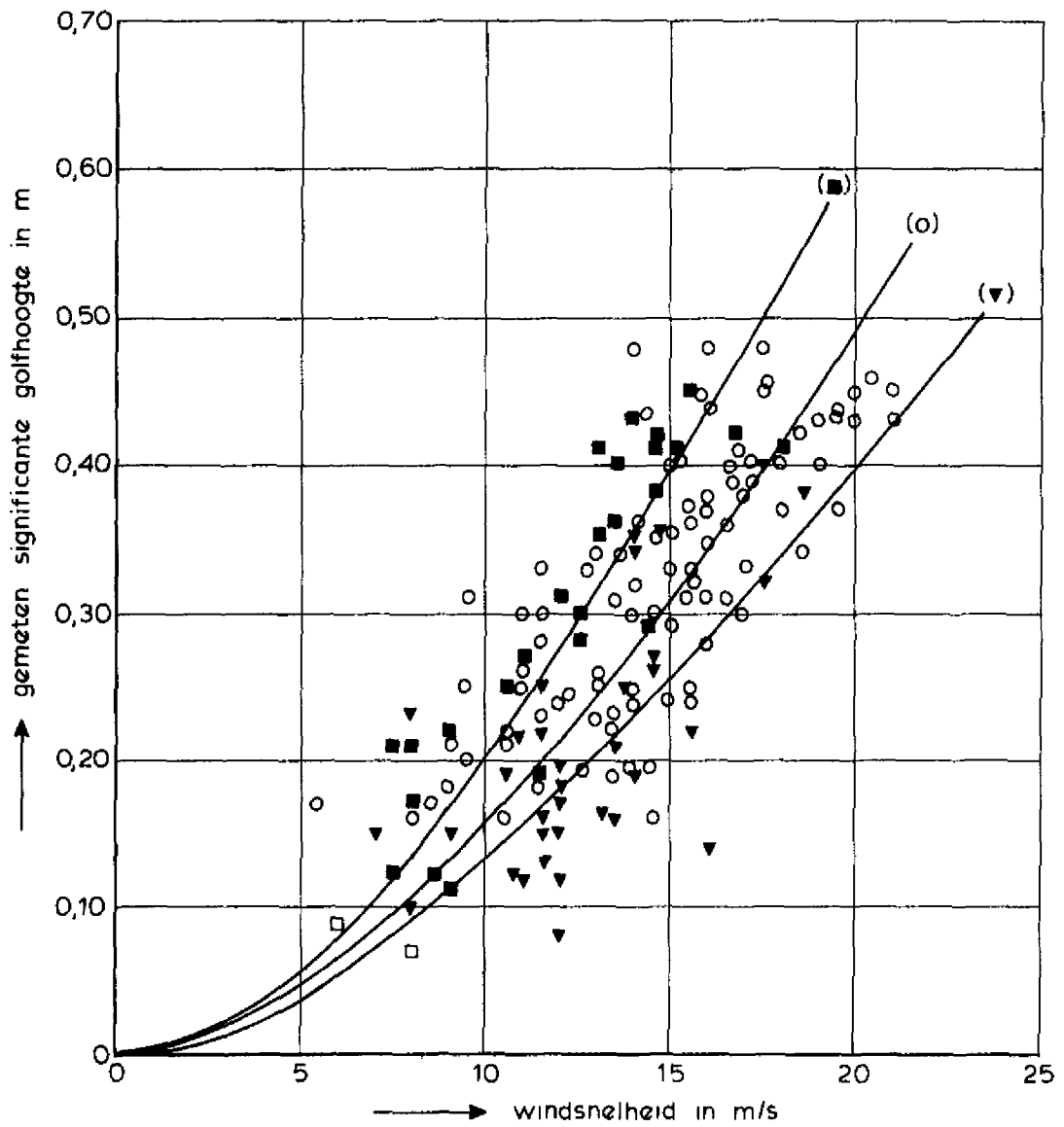
SITUATIE

SCHAAL 1: 150.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2350

FIG. 14



- ▼ wind uit richtingen 210° - 260°
- wind uit richtingen 270° - 320°
- wind uit richtingen 330° - 10°

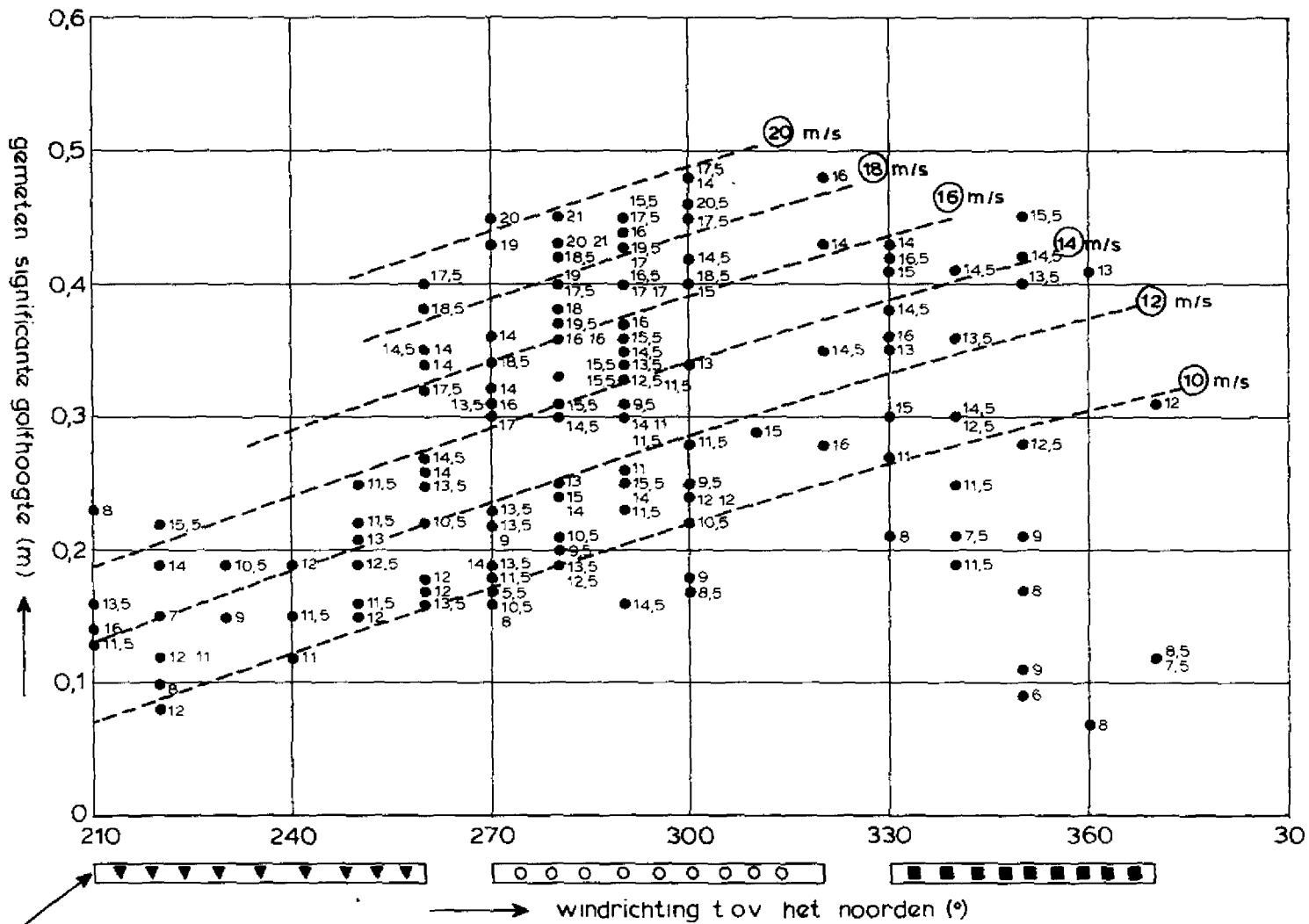
GEMETEN SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE IN RELATIE
MET DE WINDSNELHEID

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

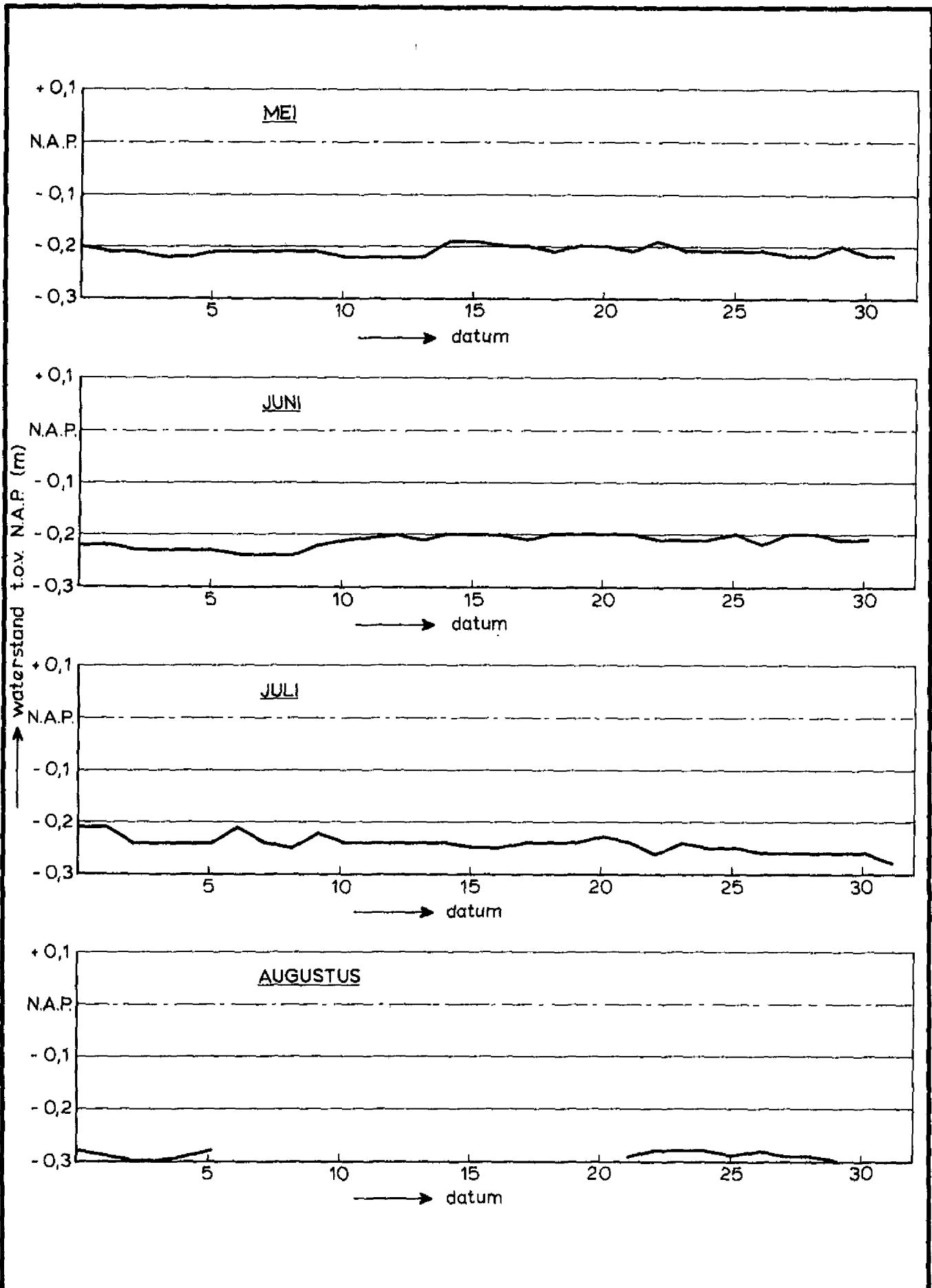
R 2350

FIG. 15

GEMETEN GOLFHOOGTEN IN RELATIE MET
WINDSNELHEID EN WINDRICHTING



gekozen sectoren van de windrichting
(codering gebruikt in figuur 15)



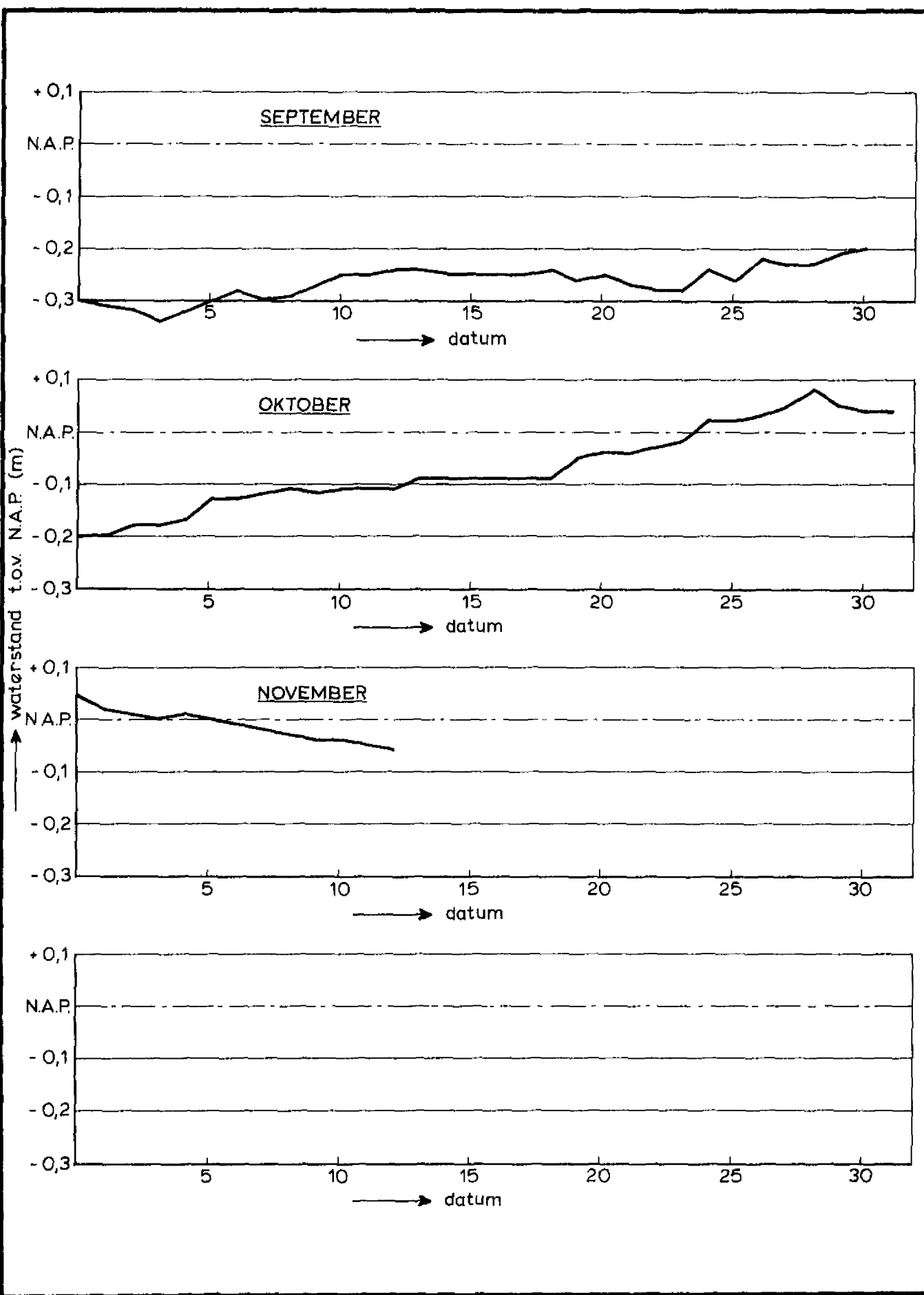
WATERSTANDEN GEMETEN
 BIJ SLUIS VAN BRUINISSE

1 MEI t/m 31 AUG. 1974

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2350

FIG. 18



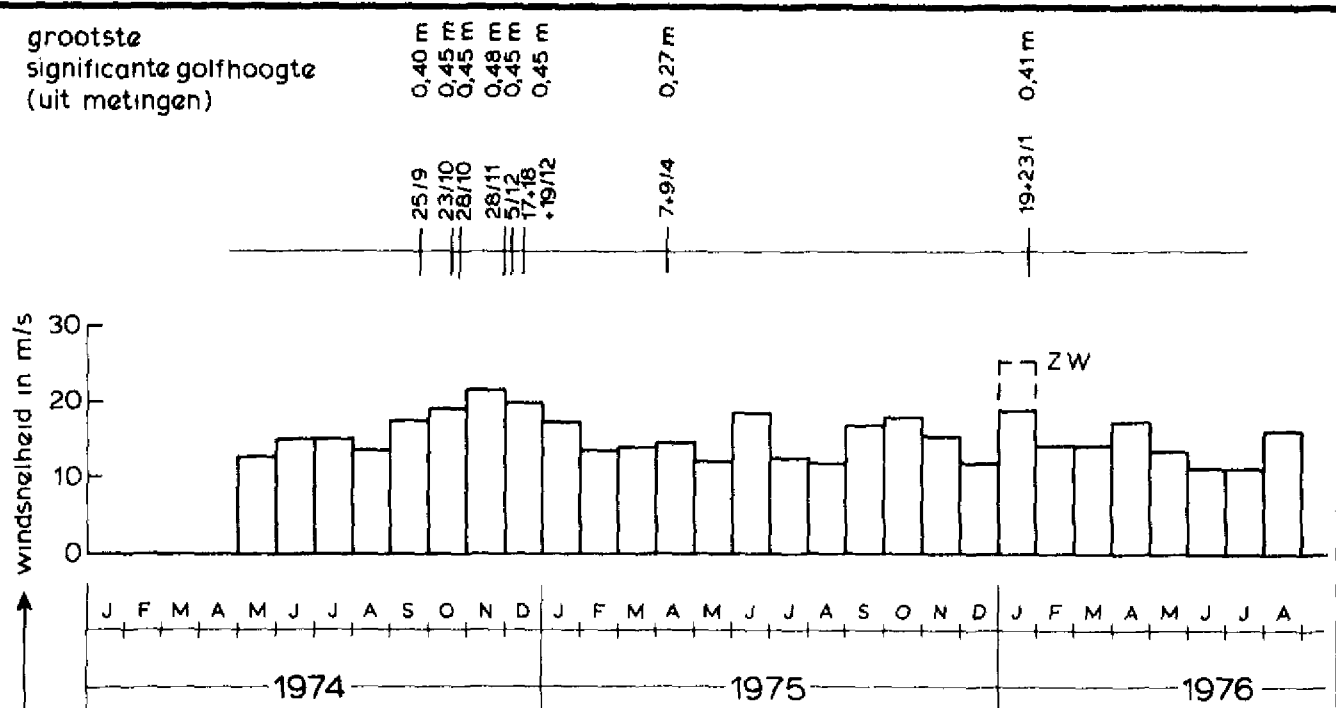
WATERSTANDEN GEMETEN
 BIJ SLUIS VAN BRUINISSE

1 SEPT. t/m 12 NOV. 1974

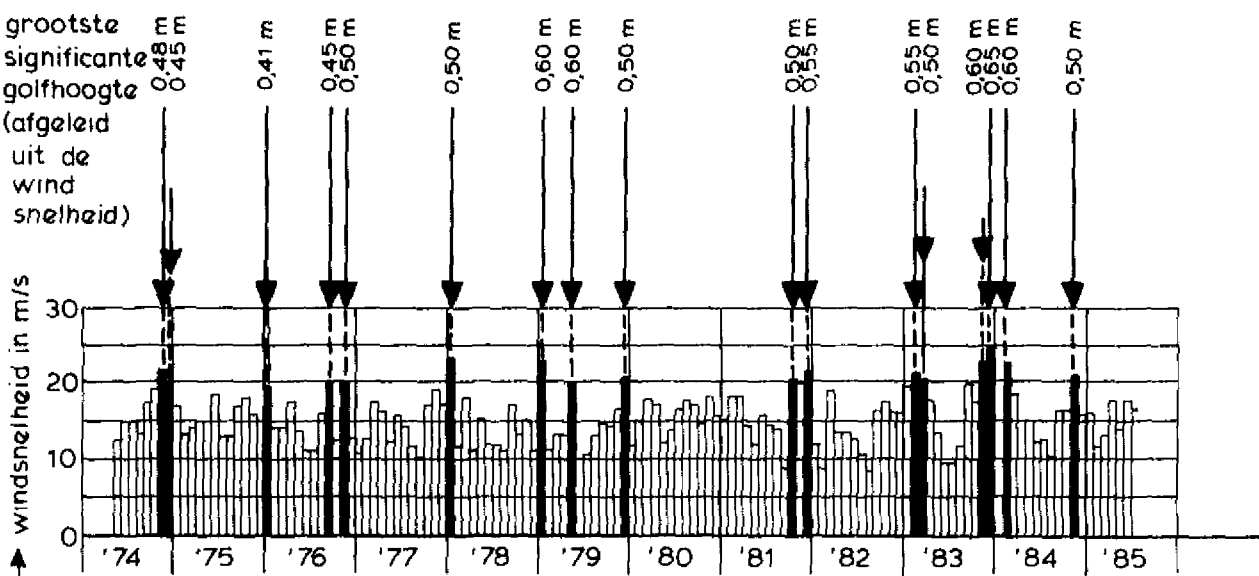
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2350

FIG. 19

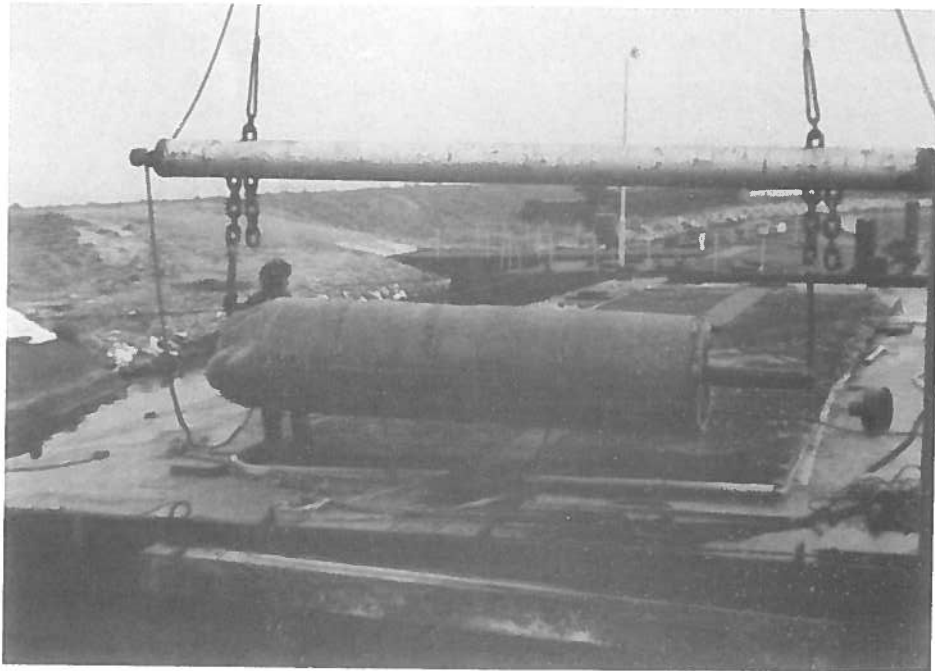


maandelijkse maxima van de uurgemiddelde windsnelheid te Roggenplaat 1974 -1975 -1976

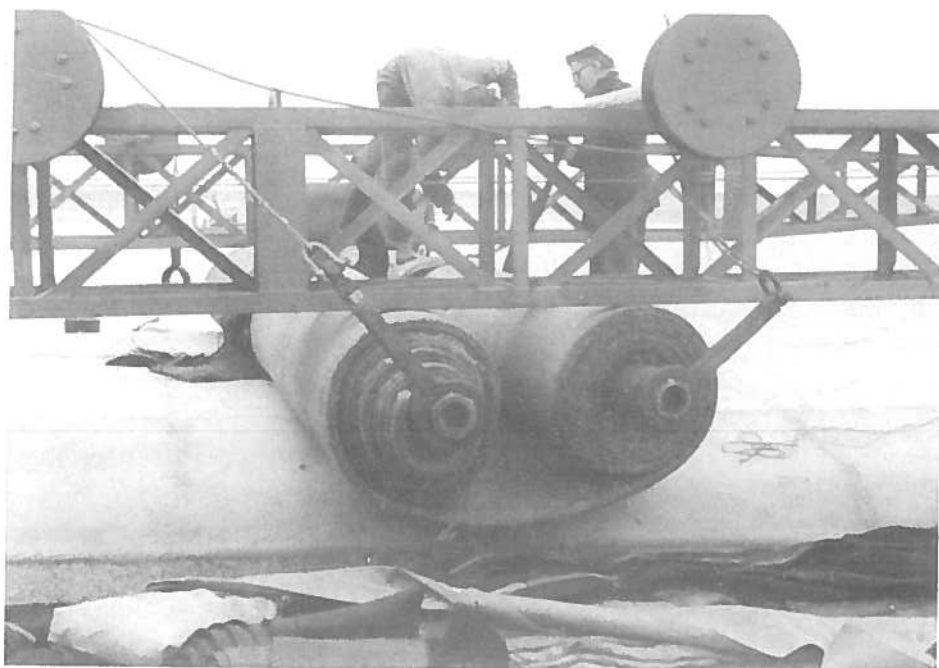


maandelijkse maxima ≥ 20 m/s van de uurgemiddelde windsnelheid te Roggenplaat en Oosterschelde monding

alleen wind uit richtingen tussen west en noord



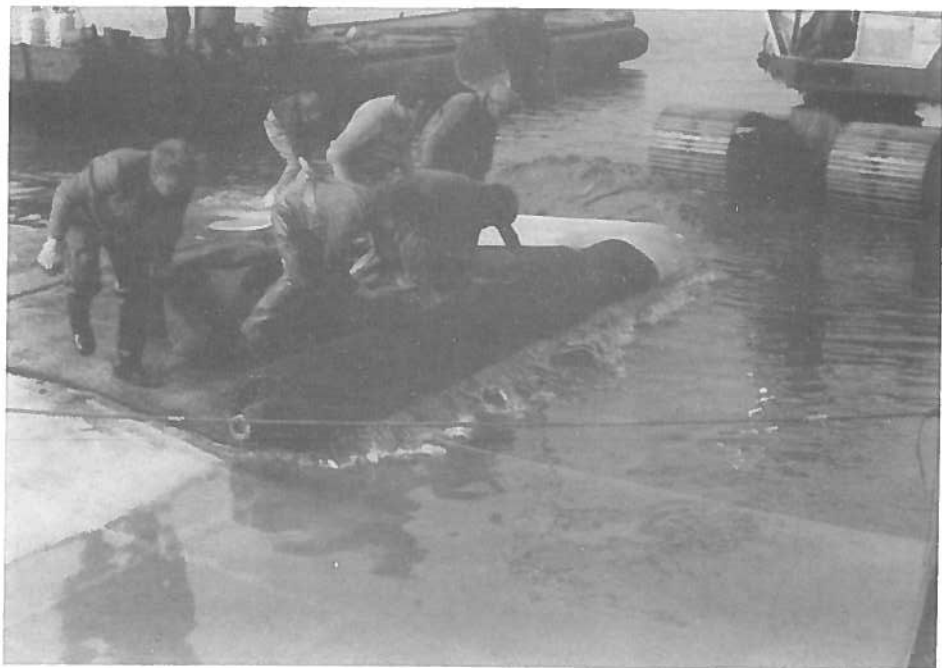
1. Oprollen van de matten aan boord van het ponton



2. Bevestigen van de opgerolde volle mat aan het legframe



3. De mat wordt boven zijn plaats gevaren



4. Uitrollen van de mat over de zanddam



5. De nieuwe mat boven zijn plaats. Het nylondoek onder de te maken las is duidelijk zichtbaar



6. Vullen van de naad tussen de matten met gietasfalt