

WINDTURBINES IN ZEE

DEEL II:

Plaatsingsmogelijkheden buitengaats

Rapport Nr.: R en D 78379
september 1978



SAMENVATTING

Het onderzoek: "Windturbines in zee" wordt uitgevoerd door Rijn-Schelde-Verolme N.V. in samenwerking met Hydronamic B.V. Het maakt deel uit van de tweede fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie waarvan de coördinatie en het beheer is opgedragen aan het Energie-onderzoek Centrum Nederland. Dit rapport behandelt het gedeelte van het onderzoek dat betrekking heeft op de plaatsingsmogelijkheden voor een groot aantal windturbines buitengaats.

Van de mogelijke konstrukties, welke als draagkonstruktie voor de windturbines kunnen dienen, uitgevoerd in staal en/of beton en al dan niet verankerd op de zeebodem, wordt in het rapport een overzicht gegeven.

Voor de lokatie van de windturbines zijn de aspecten beschouwd welke van invloed zouden kunnen zijn zoals de legale, de planologische, de meteorologische en de geotechnische aspecten.

Een globale kosten indikatie is voorts opgesteld voor een stalen en een betonkonstruktie waarbij een waterdiepte van 30 meter als uitgangspunt is genomen. Bovendien wordt een kosten indikatie gegeven voor een strekdam of eilandkonstruktie.

De installatiekosten voor draagkonstrukties worden eveneens gegeven.

Daar in het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie is uitgegaan van direkte omzetting in elektriciteit en van aansluiting op een landelijk net, zijn de mogelijke aanlandingsplaatsen op de Nederlandse kust aangegeven voor de kabels voor het elektriciteitstransport.

INHOUD DEEL II

	<u>Blad</u>
<u>SAMENVATTING</u>	i
<u>INHOUD</u>	ii
<u>1.0. INLEIDING</u>	1- 1
<u>2.0. HOE TE PLAATSEN</u>	2- 1
2.1. Enkelvoudige plaatsing	2- 3
2.2. Groepsgewijze plaatsing	2- 9
2.3. Evaluatie van de plaatsing	2-11
<u>3.0. WAAR TE PLAATSEN</u>	3- 1
3.1. Meteorologische aspecten	3- 1
3.2. Geotechnische aspecten	3- 4
3.3. Legale aspecten	3- 6
3.4. Planologische aspecten	3- 8
3.5. Evaluatie van de lokatie	3-12
<u>4.0. EERSTE TOETSING</u>	4- 1
4.1. Globale kosten indicatie	4- 1
4.2. Energie transportmogelijkheden	4- 3
<u>5.0. KONKLUSIES</u>	5- 1
<u>6.0. REFERENTIES</u>	6- 1

TABELLENFIGUREN

1.0. INLEIDING

In het kader van de tweede fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie wordt door Rijn-Schelde-Verolme Machinefabrieken en Scheepswerven N.V. in samenwerking met Hydronamic B.V. een studie uitgevoerd naar de konsekwenties van de plaatsing van een groot aantal windturbines in zee. Deze studie omvat de volgende taken:

- Plaatsingsmogelijkheden buitengaats,
- Selectie van de voorkeursplaatsing,
- De buitengaatse plaatsing.

De eerstgenoemde taak: "Plaatsingsmogelijkheden buitengaats" wordt in dit deel beschreven.

Het doel van deze taak is: "Het selekteren van een aantal mogelijke vestigingsplaatsen op het Nederlandse continentale plat voor groepen van windturbines".

De eisen, gesteld aan deze selectie zijn:

- de draagkonstrukties moeten bestand zijn tegen de statische en dynamische belastingen afkomstig van de wind en de zee; de belastingen en overige invloeden van de omgeving op de draagkonstrukties worden daartoe geïnventariseerd.
- de lokaties moeten uiteraard gekozen worden op grond van een maximaal aanbod aan windenergie, maar moeten ook voldoen aan de voorwaarden die door de draagkonstrukties worden gesteld.

In de volgende hoofdstukken zullen achtereenvolgens de volgende onderwerpen aan de orde komen, een en ander volgens het Werkplan, zoals omschreven in Deel I: "Algemene gezichtspunten", te weten:

1. Hoe te plaatsen
2. Waar te plaatsen
3. Eerste toetsing en selectie.

2.0. HOE TE PLAATSEN

Overeenkomstig het Werkplan zijn voor deze activiteiten de volgende sub-activiteiten bestudeerd:

1. Enkelvoudige plaatsing,
2. Groepsgewijze plaatsing,
3. Evaluatie van de plaatsing.

Ieder van de genoemde sub-activiteiten, bleek een aantal mogelijkheden te bevatten, die in de volgende paragrafen nader worden uitgewerkt. Alvorens echter deze sub-activiteiten te behandelen worden de delen gedefinieerd waaruit de konstruktie wordt gedacht te zijn opgebouwd, te weten:

- de draagkonstruktie,
- de overgangskonstruktie,
- de bovenbouw.

De draagkonstruktie is opgebouwd uit de fundering en de tussenbouw. De fundering is de konstruktie, die de overbrenging van krachten uit de tussenbouw naar de ondergrond dient te waarborgen.

De tussenbouw is dat gedeelte van de konstruktie dat de bovenbouw duurzaam gescheiden houdt van de fundering.

De overgangskonstruktie realiseert de overgang van bovenbouw naar de draagkonstruktie en kan als een apart element aanwezig zijn.

Tot de bovenbouw van de konstruktie behoren de windturbine-konstrukties.

Voor de draagkonstruktie kunnen onderverdelingen worden gemaakt naar diverse aspecten met betrekking tot:

- a. de wijze van fundering,
- b. de wijze van verankering,
- c. de vorm van de tussenbouw.

ad a. Bij de onderscheiding naar de gekozen funderingswijze spelen uiteraard de bodemeigenschappen van de ondergrond een belangrijke rol. De wijze van fundering kan geschieden "op staal" of op palen. Bij fundering "op staal" wordt als eis gesteld dat de krachten, geleverd via de tussenbouw, zodanig overgebracht dienen te worden op de bovenlagen van de ondergrond, dat de maximaal toelaatbare spanningen in de ondergrond op geen enkel niveau worden overschreden. Voorbereidende werkzaamheden aan de bodem zullen noodzakelijk zijn om een gelijkmatig contactvlak met het starre deel van de fundering te bewerkstelligen en om eventueel door grondverbetering de maximaal toelaatbare spanningen in de bovenste lagen gunstig te beïnvloeden.

De fundering op palen zal gekozen worden wanneer, vanwege lage grondweerstand van de bovenste lagen, tegen drukspanning het benodigde kontaktoppervlak bij fundering "op staal" tot niet-acceptabele afmetingen zou leiden. Er dienen dan echter geen eisen m.b.t. de verplaatsbaarheid van de draagconstructie te worden gesteld en uiteraard zal de mogelijkheid tot heien van de palen aanwezig moeten zijn. De paalfundering zal zijn krachtenoverbrenging in principe op twee manieren kunnen verwezenlijken, t.w. via de paalvoet op een laag met hoge weerstand tegen drukspanningen en via de wrijving door de kleef van de grond over de lengte van de paal.

ad b. Bij de wijze van verankering spelen die optredende krachten een rol welke de stabiliteit van de constructies in gevaar brengen zonder dat direct de toelaatbare spanningen in de ondergrond zouden worden overschreden. Hoewel dit aspekt niet is te scheiden van de overwegingen die bij het bepalen van de funderingsconstructie een rol spelen, wordt de stabiliteit in hoge mate beïnvloed door de vorm van de draagconstructie. Om de stabiliteit van de draagconstructie bij gegeven oplossingen te verzekeren, kunnen als het ware "kunstgrepen" nodig zijn zoals b.v. het vergroten van het eigen gewicht, het aanbrengen van palen of tuien, dan wel op andere wijze.

Door het vergroten van de massa van de konstruktie-elementen kan men trachten het krachterspel gunstig te beïnvloeden. Oplossingen zoals het vullen van caissons met zand kunnen daarvoor gekozen worden.

Momenten, welke niet op direkte wijze kunnen worden opgenomen in de fundering, kunnen worden opgevangen door het aanbrengen van paaljukken. De arm van de paaljukken kan zodanig worden gekozen dat de palen buiten de draagkonstruktie komen te liggen.

De stabiliteit van de konstruktie kan ook verzekerd worden door het aanbrengen van tuien. Men moet er echter rekening mee houden dat door de doorhang van de tuien vrij grote verplaatsingen van de bovenzijde van de draagkonstruktie mogelijk zijn. Voorts dient de nodige aandacht geschonken te worden aan het aangrijpingspunt van de tui aan de bodem.

Een bijzondere vorm, waarbij een tuikonstruktie gebruikt wordt, is een drijvend ponton verankerd door middel van een tui.

- ad c. De vorm van de tussenbouw kan in zijn eenvoudigste vorm bestaan uit één of meer palen; deze kunnen diverse doorsneden hebben en kunnen los staan of onderling verbonden zijn. Extreme oplossingen doen zich voor bij de caissonkonstrukties waarbij een of meer slanke palen voor de overbrugging van fundering en bovenbouw zorgdragen.

2.1. ENKELVOUDIGE PLAATSING

Bij de enkelvoudige plaatsing is nagegaan op welke wijze deze gerealiseerd zou kunnen worden, zonder te letten op de geschiktheid van de verschillende mogelijkheden. Er is onderscheid gemaakt in:

1. Stalen konstrukties,
2. Beton konstrukties,
3. Beton en staal kombinaties,

welke achtereenvolgens beschreven zullen worden.

2.1.1. Stalen konstrukties

De mogelijkheden van stalen konstrukties zijn geïnventariseerd.

De belangrijkste stalen konstrukties zijn:

- a. jacket-konstruktie
- b. jack-up of zelfheffend eiland
- c. stalen zwaartekracht platform
- d. paalkonstruktie
- e. scharnierende poort
- f. single buoy mooring
- g. tension leg platform
- h. semi-submersible platform
- i. drijvende bak.

De platformkonstrukties a tot en met d staan op de zeebodem, terwijl f tot en met i drijvende konstrukties zijn en e een tussenvorm is.

ad a. Jacket-konstruktie (fig. 1)

Deze konstruktie bestaat uit een stalen buisframe dat door middel van heipalen in de zeebodem verankerd wordt. Het is een eenvoudige beproefde methode, die gebruikt wordt voor waterdiepten tot 400 m.

Voor de berekeningen van statisch of dynamisch gedrag onder invloed van golven en dergelijke zijn komputerprogramma's beschikbaar. Het jacket wordt op land samengesteld en op een of meer bakken naar de lokatie gesleept om daar met een kraan op de zeebodem te worden geplaatst. Alleen grote jackets worden drijvend uitgevoerd en ter plaatse afgezonken.

Het installatiewerk op zee is tamelijk uitgebreid.

ad b. Jack-up of zelfheffend eiland (fig. 2)

Het bestaat uit een drijvend ponton dat met opgetrokken poten naar de lokatie wordt gesleept. Daar laat men de poten zakken tot op de zeebodem en wordt het ponton met behulp van een hefmechanisme langs de poten zover omhoog gebracht, dat het onder alle weersomstandigheden vrij blijft van de golven.

De poten worden open of gesloten uitgevoerd; kleine eilanden hebben meestal ronde of vierkante gelaste palen, terwijl grote eilanden vaker driehoekige of vierkante open vakwerkkonstrukties hebben.

De bodemgesteldheid bepaalt de mate van penetratie van de poten in de grond. Om de druk over een groter oppervlak te verdelen worden de poten soms uitgerust met zogenaamde footings.

De konstruktie is geheel compleet, waardoor er geen kraanwerk of heiwerk op zee aan te pas komt.

ad c. Stalen zwaartekracht platform (fig. 3)

Het zwaartekracht platform bestaat uit een onder- en boventank, met elkaar verbonden door een of meer cilindervormige kolommen. Op lokatie wordt het platform door ballasten, met water of zand, afgezonken tot de ondertank op de bodem rust. De stabiliteit komt van het eigen gewicht en eventueel ballast.

De konstruktie is geheel afgebouwd, waardoor er weinig werk buitengaats is.

Een combinatie van het jack-up en het stalen zwaartekracht platform is het zogenaamde mat-supported-steel-gravity-platform (fig. 4). Tijdens het transport rust de boventank op de ondertank, die als een platte bak is uitgevoerd. Bij de installatie wordt de ondertank met ballast gevuld en met behulp van een jacking-mechanisme, dat op de boventank staat, neergelaten op de zeebodem.

Daarna wordt de boventank langs de kolom omhoog gebracht tot boven de golfhoogte. Het jacking-mechanisme kan worden gedemonteerd en elders opnieuw worden gebruikt. De installatie is erg eenvoudig doordat, door de vorm van de ondertank, heien overbodig is.

ad d. Paalkonstruktie

Indien de bodemlagen voldoende weerstand bieden kan ook worden gebruik gemaakt van een paalkonstruktie die naar boven doorloopt en tevens de ondersteuning vormt voor de bovenbouw.

ad e. Scharnierende poot (fig. 5)

Dit is een konstruktie waarbij een poot aan de onderkant met behulp van een bol- of cardanscharnier bevestigd is aan een fundatieplaat op de bodem. De fundatie wordt op zijn plaats gehouden door het eigen gewicht of door middel van heipalen. De poot blijft nagenoeg in een vertikale stand door toepassing van een drijflichaam en/of tuien.

Wil men de bewegingen beperken, dan is een groot drijfvermogen noodzakelijk.

Deze konstruktie is voornamelijk geschikt voor grotere waterdiepten en wordt toegepast voor het afmeren van tankers op open zee.

ad f. Single buoy mooring (fig. 6)

Voor wat betreft het principe is deze konstruktie gelijk aan die zoals beschreven in ad e, zij het dat deze drijvende boei door middel van een ketting verankerd is aan de fundatieplaat.

ad g. Tension-leg-platform (fig. 7)

Dit platform bestaat uit een drijflichaam dat door middel van strak gespannen kabels aan een fundatieplaat vast zit. De fundatieplaat bestaat meestal uit een stalen frame dat met heipalen in de zeebodem is verankerd.

De opdrijvende kracht van het drijflichaam houdt de kabels gespannen waardoor de verticale bewegingen van het platform zeer sterk worden beperkt. De installatie van de kabels aan het drijflichaam moet gebeuren met behulp van duikers.

Deze konstruktie is een goedkoper alternatief voor een vast platform bij grotere diepten.

ad h. Semi-submersible platform (fig. 8)

Deze drijvende konstruktie, die door middel van ankers op zijn plaats wordt gehouden, bestaat uit een dek dat met verticale holle kolommen op horizontale drijvers rust. Eenmaal op lokatie wordt zoveel ballast ingenomen, dat de drijvers geheel onder water komen en het dek vrijblijft van de golven.

De invloed van de zeegang op het platform is gering door het geringe waterlijn-oppervlak van de kolommen.

De konstruktie is geschikt voor grote waterdiepten en is verplaatsbaar.

ad i. Drijvende bak (fig. 9)

Deze bak kan volledige afgebouwd naar de lokatie worden gesleept en daar door middel van een of meer ankers worden verankerd.

In ondiep water worden soms ook heipalen gebruikt die de bak in horizontale richting fixeren. Vertikaal kan de bak vrij langs de palen met de golven of getijden meebewegen.

2.1.2. Beton konstrukties

Afhankelijk van de omstandigheden en voorwaarden kunnen combinaties worden samengesteld, waarin enerzijds de onderverdeling overgangskonstruktie, tussenbouw en fundering duidelijk in de vorm gescheiden is, terwijl anderzijds konstrukties mogelijk zijn waarbij deze onderverdeling in de gekozen vorm wegvalt.

Een zestal basismogelijkheden zijn:

- a. dooskonstruktie
- b. dubbele dooskonstruktie
- c. paalkonstruktie
- d. platform met neerlaatbare palen
- e. platform op geprefabriceerde palenskelet
- f. pontonkonstruktie

Alleen de laatstgenoemde konstruktie is een drijvende konstruktie.

ad a. Dooskonstruktie (fig. 10)

De doos- ofwel caissonkonstruktie leent zich voor prefab-bouw in werkhavens. Direkt op de zeebodem, dan wel na de verwijdering van de bovenste inferieure lagen, dient een kontakvlak te worden geprepareerd, waarop het caisson wordt afgezonken.

In het geval dat de stabiliteit van het caisson, geleverd door het eigen gewicht, niet voldoende is, kan het caisson verankerd worden door middel van trekpalen of tuien.

ad b. Dubbele dooskonstruktie (fig. 11)

Zowel de funderingsplaat als de overgangskonstruktie kunnen als caisson worden geprefabriceerd. De verbinding kan dan gekonstrueerd worden als een of meerdere palen.

ad c. Paalkonstruktie (fig. 12)

Indien de bodemlagen voldoende weerstand bieden kan ook worden gebruikt gemaakt van konstrukties op palen, die naar boven doorlopen en direkt de ondersteuning leveren voor de bovenbouw. Deze wordt dan òf in onderdelen òf in zijn geheel op de palen aangebracht.

ad d. Platform met neerlaatbare palen (fig. 13)

Het platform wordt drijvend naar de lokatie gesleept, waar men de poten laat zakken tot op een diepte in de zeebodem, waar voldoende weerstand wordt ondervonden.

Het platform wordt dan tot op de benodigde hoogte opgevijseld.

ad e. Platform op geprefabriceerd palenskelet (fig. 14)

Een geprefabriceerd palenvakwerk wordt geplaatst op een geprepareerd zeebodemoppervlak. Verankering vindt plaats door middel van palen in de grond, geheid door holle geleidepalen van het vakwerk.

ad f. Pontonkonstruktie (fig. 15)

De pontonkonstruktie kan, inclusief de opbouw, geheel in beschutte havens worden vervaardigd. De enige -civiele- aktiviteit ter plaatse van de gewenste lokatie is te zorgen voor een deugdelijke verankering.

2.1.3. Beton en staal kombinaties

Een van de mogelijke kombinaties van beton en staalkonstruktie is te zien in figuur 16. Het geprefabriceerde betonelement, b.v. caisson, wordt op de bodem geplaatst en zonodig met palen verankerd.

De staalkonstruktie wordt daarna in z'n geheel in het element geplaatst. De installatie is hierdoor eenvoudig; de staalkonstruktie en het betonelement zijn geschikt voor seriebouw.

2.2. GROEPSGEWIJZE PLAATSING

In het geval van groepsgewijze plaatsing is onderscheid gemaakt in:

1. groepsmodellen
2. "eiland"konstrukties

2.2.1. Groepsmodellen (fig. 17-20)

Bij de groepsmodellen kan weer onderscheid worden gemaakt in:

- a. roosteropstelling
- b. lijnopstelling

ad a. Hierbij is uitgegaan van - een onderlinge afstand van 500 m
 - een vrije zone van 500 m
 - de wind uit alle richtingen wordt benut.

Indien verder uitgegaan wordt van een basispatroon van 7 windturbine-installaties, dan wordt het benodigd oppervlak voor dit basispatroon $3,6 \text{ km}^2$; uitbreiding met 3 windturbines geeft een oppervlak van $4,6 \text{ km}^2$. Extrapolatie naar 5000 windturbine-installaties geeft een benodigd oppervlak van 1670 km^2 (zie figuur 17).

Indien echter uitgegaan wordt van een onderlinge afstand van 400 m, dan wordt het benodigd oppervlak gereduceerd tot ongeveer 60%, namelijk voor 5000 installaties 1000 km^2 .

ad b. Hierbij is uitgegaan van - een onderlinge afstand tussen de lijnen van 500 m,
 - alleen gebruikmaking van de windrichtingen over een 90° sektor, b.v. tussen NW en ZW,
 - een onderlinge afstand in lijn van minimaal 75 m, in het voorbeeld bij een richting van de lijn NZ,
 - een vrije zone van 500 m.

In het geval dat ± 5000 windturbine-installaties nodig zijn, wordt bij bijvoorbeeld 27 lijnen met elk 180 installaties het benodigd oppervlak 209 km^2 . Deze opstelling kan dan gezien worden als lijnen van enkelvoudige plaatsingen, alswel een opstelling van lijnen met meervoudige plaatsingen, dat wil zeggen meerdere windturbine-installaties per draagkonstructie, bijvoorbeeld op een strekdam (zie figuren 18, 19 en 20).

2.2.2. "Eiland"-konstrukties (fig. 21-22)

Eilanden opgebouwd uit zand en klei kunnen worden uitgevoerd:

- a. met een ringdijk als zeewering
- b. met een strand als zeewering
- c. als combinaties van a en b.

Eilanden kunnen ook als polder worden uitgevoerd. In het geval dat deze wordt drooggemalen, dient de ringdijk echter aan zwaardere eisen met betrekking tot de permeabiliteit van het toegepaste vulmateriaal te voldoen. De windturbines kunnen daarbij zowel op de dijk als in de al of niet drooggemalen polder worden geplaatst. Bij de eiland-konstrukties is het voor de hand liggend de gedachten uit te laten gaan naar multipurpose toepassingen zoals bijvoorbeeld voor een industrie-eiland, (indien de oppervlakte gelegen binnen de ringdijk is gevuld met zand) of anders voor bijvoorbeeld:

- energieopslag (atol)
- afvalwaterzuivering
- viskweekvijvers.

Zij vallen weliswaar buiten het kader van het onderzoek, maar zouden van doorslaggevend belang kunnen zijn bij een economische evaluatie van de grootschalige toepassing van windenergie.

2.3. EVALUATIE VAN DE PLAATSING

In het kader van het onderzoek zijn de mogelijkheden geïnventariseerd van de wijze van plaatsen van grote aantallen windturbine-installaties in zee. Deze mogelijkheden betreffen enkelvoudige plaatsingen van installaties op draagkonstrukties, opgebouwd uit staal, uit beton of combinaties van staal en beton en groepsgewijze plaatsingen van de installaties, eventueel op eilandkonstrukties.

De overwegingen, die hebben geleid tot de verschillende mogelijkheden, berusten op de kennis en ervaring binnen RSV en Hydronamic op het gebied van de buitengaatse werken, opgebouwd bij het uitvoeren van diverse projecten.

Aan alle in de vorige paragrafen opgesomde mogelijkheden zijn vrijwel geen beperkingen gesteld, omdat ideeën die in dit stadium niet mogelijk geacht worden, bijvoorbeeld uit fabrikagetechnisch oogpunt, in een later stadium toch bruikbaar zouden kunnen blijken te zijn.

Voor een verdere evaluatie van de plaatsing zijn de punten van belang die in het volgende hoofdstuk worden beschreven, daar de lokatie één van de essentiële factoren zal zijn bij de bepaling van de voorkeursplaatsing; bij de aspecten valt te denken aan bijvoorbeeld de waterdiepte, het windprofiel, bodemprofiel, etc. daar ter plaatse.

3.0. WAAR TE PLAATSEN

Deze aktiviteit omvat de volgende sub-aktiviteiten:

1. Meteorologische aspekten
2. Geotechnische aspekten
3. Legale aspekten
4. Planologische aspekten
5. Evaluatie van de lokatie.

De meteorologische aspekten omvatten onderwerpen betreffende wind en water, terwijl de geotechnische aspekten zaken behandelen over de bodem van de Noordzee. In de paragraaf "Legale aspekten" wordt onder andere aandacht besteed aan de rechtmatigheid van het gebruik van de wind en de plaatsing in vrije zee. Onderwerpen van planologische aard, zoals met welke gebruikers van de Noordzee nu en in de toekomst rekening moet worden gehouden, komen ter sprake bij de planologische aspekten.

3.1. METEOROLOGISCHE ASPEKTEN

3.1.1. Waterstanden

De waterstanden worden bepaald door een aantal factoren:

- a. het astronomisch getij
- b. de vorm van het Noordzeebekken
- c. rotatie van de aarde
- d. meteorologische omstandigheden.

De factoren a tot en met c zijn deterministisch te bepalen, terwijl faktor d een duidelijk stochastisch karakter heeft, waarbij de belangrijkste komponent de windopzet is.

In figuur 23 is het gekombineerde effect van alle factoren weergegeven door lijnen die een gelijke maximum toename van het waterniveau voorstellen.

De kans dat deze situatie optreedt is 1 x per 3000 à 4000 jaar.

Uiteraard kan er ook een laagste waterstand optreden die echter minder relevant geacht wordt voor de evaluatie van de lokatie. De waterdiepte op het Nederlands deel van het continentale plat, zoals aangegeven op de dieptekaart (fig. 24), is nergens van dien aard dat plaatsing van een konstruktie onmogelijk moet worden geacht.

3.1.2. Stromingen

Stromingen in de Noordzee worden op twee manieren veroorzaakt; te weten:

- a. onder invloed van de wind
- b. door het getij

ad a. Stromingen ten gevolge van de wind zijn alleen aan het oppervlak merkbaar. Op een diepte van ca. 5 meter is deze invloed al vrijwel te verwaarlozen.

ad b. De belangrijkste stromingsgegevens zijn samengevat in figuur 25 waaruit blijkt dat de stroomsnelheden relatief klein zijn.

De stroomsnelheden tengevolge van de wind en die tengevolge van het getij, kunnen in dezelfde orde van grootte zijn, terwijl de richting van de stroming verschillend kan zijn.

De richting van de stroming tengevolge van de wind zal meestal overeenkomen met de windrichting.

De reststroomsnelheid, resulterend uit a en b en gemiddeld over een getijperiode, is echter zeer klein; in de orde van 0,10 - 0,15 m/sec.

3.1.3. Wind

Een overzicht van de windsterkten in het zuidelijk deel van de Noordzee en wel ten zuiden van de 56^{ste} breedtegraad, wordt gegeven in tabel 1 en in figuur 26; de tabel is gebaseerd op scheepswaarnemingen, terwijl de figuur gebaseerd is op waarnemingen gedaan op booreilanden.

Alle waarnemingen zijn teruggerekend tot de windsterkte op 10 m hoogte en zullen opnieuw omgerekend dienen te worden naar grotere hoogten om de windbelastingen op de windturbine-installaties te verkrijgen.

Al deze gegevens, inclusief die van de richting van de wind zoals weergegeven in figuur 27 (verkregen uit scheepswaarnemingen), zijn gebaseerd op losse waarnemingen waardoor niet direkt een uitspraak gedaan kan worden over de duur van bepaalde windsterkten en windrichtingen. Bij het K.N.M.I. zijn veel gegevens opgeslagen en gekatalogiseerd, ze zijn echter niet direkt toegankelijk, daar het betreffende onderzoek nog niet is afgerond.

Over de kans op extreem hoge windsnelheden bestaan weinig nauwkeurige gegevens. In figuur 28 worden windsnelheden gegeven die eens in de 50 jaar overschreden worden op het Nederlands continentaal plat. De gegeven waarden zijn berekend uit uurgemiddelden van metingen op booreilanden.

3.1.4. Golven

Het golfklimaat is het best te beschrijven als een stochastisch proces, vanwege het onregelmatige karakter van de golven op zee.

Het beschrijven kan op twee manieren:

- a. via de Rayleigh-verdeling
- b. met een energiedichtheidsspektrum

Alhoewel de tweede methode een betere beschrijving van het golfbeeld geeft, is toch gekozen voor een beschrijving via de Rayleigh-verdeling en wel om twee redenen:

- a. voor een eerste benadering is de golfbeschrijving overzichtelijker omdat het golfklimaat dan met slechts één getal beschreven kan worden.
- b. het is met de beschikbare gegevens niet zonder meer mogelijk het energiedichtheidsspektrum te bepalen.

Het golfbeeld volgens de Rayleigh-verdeling wordt bijvoorbeeld beschreven met de significante golfhoogte H_s , waarbij aangenomen is dat deze gelijk is aan de visueel waargenomen golfhoogte H_{vis} .

Uit de studie voor de Noordzee-eiland Groep volgde voor de Noordzee het verband tussen golfhoogte en golfperiode, zoals weergegeven in tabel 2.

In figuur 29 is de kans op voorkomen van verschillende golven weergegeven, bepaald uit waarnemingen van schepen. Het blijkt dat een golf van 10 m (H_{vis}) éénmaal per 100 jaar voorkomt gedurende 8-9 uur; voor de hoge golven wordt aangenomen dat H_s 10-15% minder hoog is dan H_{vis} (zie fig. 30).

Deze ontwerp golfhoogte wordt gebruikt in gevallen waarbij met de veiligheid van mensen rekening moet worden gehouden; de vraag is echter of een dergelijke kleine kans ook aangehouden moet worden voor onbemande windturbine-installaties. Een en ander zal moeten volgen uit kosten-baten analyses bij verschillende kansen en het in bepaalde mate accepteren van uitvallen van dergelijke installaties en de consequenties daarvan.

3.2. GEOTECHNISCHE ASPEKTEN

Van belang bij de keuze van een lokatie voor een groep van windturbine-installaties zijn de volgende geotechnische factoren:

1. de bodemveranderingen
2. de bodemgesteldheid.

3.2.1. Bodemveranderingen

In een getijgebied is in het algemeen het zand in beweging, hetgeen mogelijkwerijs kan resulteren in een verandering van de bodemligging, door het migreren van onderzeese duinen. De duinen op de Noordzeebodem zijn, voor wat hun gemiddelde ligging betreft, relatief stabiel.

Per getij wordt vrij veel zand verplaatst; het resulterend transport is echter zeer gering. Bovendien blijkt een verband te bestaan tussen de aanwezigheid van zogenaamde megaribbels en de sterkte van de getijstroom. Deze ribbels zijn alleen geconstateerd in het zuidelijk deel van de Noordzee (figuur 31). Mogelijkwerijs bestaat er ook verband tussen de aanwezigheid van (relatief onstabiele) lagen jong zeezand en deze megaribbels. In dat geval bestaat de kans dat op de Doggersbank eveneens megaribbels voorkomen. Afgezien van deze mogelijke migrerende megaribbels is de bodem van de Noordzee uiterst stabiel.

3.2.2. Bodemgesteldheid

Vrijwel de gehele Noordzeebodem bestaat uit zand, klei en keileem.

Wel wordt op sommige plaatsen, zoals bijvoorbeeld in een klein gebied rond $54^{\circ}10' \text{ NB}$, $4^{\circ}40' \text{ OL}$, veen aangetroffen.

In vrijwel het gehele gebied ten noorden van de 53^{ste} breedtegraad bevindt zich op minder dan 8 m onder de zeebodem de fluvio-glaciale kleilaag.

Deze laag is overgeconsolideerd, hetgeen tot gevolg heeft dat heiwerk in deze laag erg zwaar is. Op het zuidelijk deel van het continentale plat ligt deze laag veel dieper; hier treft men echter dicht onder de oppervlakte afwisselend zand- en kleilagen aan. De klei biedt echter een minder goede funderingsgrondslag.

De dikte van de deklaag varieert vrij sterk: in het zuidelijk gebied is deze laag over het geheel genomen meer dan 2 m dik, in het noord-oostelijk gebied is de laag minder dan 50 cm.

In figuur 32 is een overzicht gegeven van de dikten van deklagen.

Het zand is relatief fijn, met name op de diepe, vlakke oestergronden, namelijk minder dan 125μ , terwijl voor het overige de grofheid varieert tussen 125 en 250μ , met uitzondering van enkele banken.

Een en ander is weergegeven in figuur 33.

3.3. LEGALE ASPEKTEN

Vooropgesteld moet worden dat het onttrekken van energie aan de wind in het algemeen erkend zal worden als een legaal gebruik van een natuurlijke energiebron. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat op de door de zonnestraling geïnitieerde luchtbewegingen, als ook op de lucht zelf als mondiaal gemeenschappelijk bezit, geen aanspraken door derden kunnen worden gedaan. Onder derden moet in dit verband worden verstaan alle personen, instanties of vertegenwoordigers van groepen, niet behorende tot de internationaal erkende rechthebbenden voor het territorium waar windenergiebenutting op grote schaal tot de intenties behoort.

De uitzondering van derden om aanspraken te doen gelden houdt echter niet in dat geen rekening moet worden gehouden met andere legitieme gebruikers van de lucht boven het territorium; te denken valt hierbij aan de verleende rechten van overvliegen van vliegtuigen en satellieten, alsook aan straalverbindingen voor de telekommunikatie en militaire beveiligingssystemen.

Belemmering van de windenergiebenutting kan dan ook slechts worden voorzien ingeval deze reeds verleende rechten in het geding zouden komen en ook in de territoriale grensgebieden indien dit op enigerlei wijze verstoringen te weeg zou brengen bij de aangrenzende buurlanden.

Dit moet allerm minst worden onderschat daar het in de onderhavige studie gaat om grootschalige projecten. Tijdige onderkenning kan de procedure van de internationale afspraken tenminste vereenvoudigen.

De noodzaak van internationale afspraken komt aan de orde zodra de benutting van windenergie zich buiten het territorium zal afspelen. In deze streken zal het dan uitsluitend gaan om de windturbineparken in zee en wel alleen op het Nederlandse deel van het Continentale Plat.

Er zijn voorzover bekend nog geen afspraken m.b.t. het gebruik van algemene materiële en energiegrondstoffen behalve die voortkomend uit de Conferenties over het internationale zeerecht en in het bijzonder uit de multilaterale overeenkomst over de verdeling van het Continentaal Plat van de Noordzee.

In het algemeen kan worden gesteld dat het plaatsen van windturbines op het Continentaal Plat gerekend mag worden onder het legitieme gebruik van de vrije zee zolang het tegendeel niet is overeengekomen. De Staat, op wiens deel van het Continentaal Plat de windturbines zijn geplaatst, voert dan de jurisdictie over de windturbineparken; zij heeft het recht om toestemming te verlenen voor de plaatsing en het gebruik van de windturbine-installaties, evenals dit binnen haar territorium het geval is behalve als daardoor dit territorium wordt uitgebreid. Wel moet met de onvermijdelijke verstoring van de overige legitieme gebruiken van de zee rekening worden gehouden; dit zou dan een grondige bestudering vergen van de planologie van de Noordzee en moeten uitmonden in een ruimtelijke-orderingsbeleid.

In zekere mate wordt in de onderhavige studie reeds rekening gehouden met die ruimtelijke ordening door er van uit te gaan dat zo min mogelijk belangen geschaad moeten worden door de projektering van windturbineparken in de Noordzee. Dit zal dan moeten resulteren in een voorkeurslokatie. In dit gebied zal dan uiteindelijk de concessie uitgegeven moeten worden tot de winning van windenergie. Nagegaan moet worden of de ruimte tussen de windturbine-installaties benut kan worden voor een optimaal gebruik van die ruimte met de aangrenzende vrije zones en zo ja, welke vormen van gebruik daarvoor in aanmerking komen.

Tenslotte zal moeten worden bestudeerd hoe de windturbine-installaties en de bijkomende werken, alsook het eventueel aanwezige personeel, kunnen worden beveiligd, hoe de bebakening zal moeten worden uitgevoerd voor zee- en luchtvaart en hoe eventueel misbruik van de windturbineparken kan worden voorkomen.

Hiertoe zal in een later stadium een plan moeten worden opgesteld voor een internationale ratificatie van de voor te stellen maatregelen.

3.4. PLANOLOGISCHE ASPEKTEN

Voor het plaatsen van windturbine-installaties op zee gelden gelijksoortige voorwaarden als die voor de situering van een industrie-eiland. In het Interim-rapport Studiegroep Planologie worden een zevental gebruiksvormen van de zee onderscheiden, hieraan kunnen nog twee gebruiksvormen worden toegevoegd.

De diverse gebruiksvormen zijn:

1. Offshore mijnbouw
2. Scheepvaart
3. Visserij en visstand
4. Telekommunikatie, kabels, etc.
5. Militaire activiteiten
6. Kustverdediging
7. Recreatie
8. Overige gebruikers
9. Energie transport

3.4.1. Offshore mijnbouw

De offshore mijnbouw is te splitsen in de exploratie en winning van aardolie en aardgas enerzijds en de winning van mineralen anderzijds. De winputten en de exploratieputten zijn aangegeven in fig. 34. Specifieke zandwingebieden zijn niet bekend, grindwinning is op het Nederlands Continentaal Plat alleen mogelijk in het zuidwesten (de vakken O en R). Gezien de omvang van deze winning levert het vermoedelijk geen enkel bezwaar op, dat de zand en grindwinning in de omgeving van windturbine-installaties is uitgesloten.

De plaatsing van windturbine-installaties in een gas en/of oliewinningsgebied hoeft niet op grote bezwaren te stuiten, echter grote onderhouds- en reparatiewerkzaamheden kunnen mogelijk tot problemen leiden, doordat het manoeuvreren met groot materieel binnen zo'n gebied moeilijk zal zijn.

De pijpleidingen voor het afvoeren van de gewonnen olie of gas zullen voor de situering van de windturbine-installaties weinig problemen opleveren. Mogelijk moet rekening gehouden worden met een veiligheidszone.

3.4.2. Scheepvaart

De scheepvaartroutes zijn weergegeven in fig. 35, hierbij zijn de categorieën, zoals bepaald in de studie voor het industrie-eiland. Deze categorieën houden in:

- 1e categorie: gebieden waar windturbine-installaties op niet te rechtvaardigen wijze overlast aan de scheepvaart zouden aandoen.
- 2e categorie: gebieden die van groot belang zijn voor de scheepvaart, maar die niettemin mogelijkheden bieden voor de plaatsing van windturbine-installaties, mits dit geen aanleiding geeft tot drastische aanpassingen van het verkeer.
- 3e categorie: gebieden die van belang zijn voor de scheepvaart, doch waar mogelijkheden aanwezig zijn het verkeer aan te passen.

In de gebieden buiten de genoemde categorieën is de scheepvaart minder dicht en worden uiteenlopende koersen gevolgd.

Daar het niet wenselijk geacht wordt dat er scheepvaart plaatsvindt tussen de afzonderlijke c.q. groepsgewijze geplaatste installaties door, zal een groot gebied moeten worden afgesloten, hetgeen vermoedelijk nieuwe scheepvaartconcentraties zal doen ontstaan, omdat tot dan toe verspreid liggende scheepvaartbewegingen in een kleiner gebied worden samengedrongen.

3.4.3. Visserij

De invloed van windturbine-installaties op de visserij laat zich erg moeilijk bepalen. Vissen in dit gebied zal niet onmogelijk zijn, zij het dat bepaalde industriële vismethoden minder goed toe te passen zijn, en andere methoden daarentegen wellicht beter.

De invloed van de konstrukties op de visstand zelf is ook vrij onbepaald. Enerzijds hebben vaste punten (zoals pijpleidingen) een positieve invloed op het broed, anderzijds zullen de trillingen veroorzaakt door de windturbine-installatie vermoedelijk een negatieve invloed hebben. Het is ook zeer goed mogelijk dat bepaalde vissoorten zullen afnemen, waarbij hun plaats wordt ingenomen door andere vissoorten. Rekening moet worden gehouden met het paaigedrag van vissen.

3.4.4. Telekommunikatie, kabels, etc.

Voor wat betreft kabels zullen de windturbine-installaties waarschijnlijk niet op problemen stuiten, terwijl straalverbindingen, radar en mogelijk ook radioverkeer wel gevoelig zijn voor die installaties. In figuur 36 zijn naast de kabels ook de geplande lokatie voor een straalzender aangegeven.

Voor wat betreft de radar worden weinig problemen verwacht voor de niet-militaire scheepvaart; voor de militaire scheepvaart kan een en ander wel bezwaarlijk zijn. Wat de invloed van installaties is op radar t.b.v. de luchtvaart, is niet bekend. Wellicht moet ook hier onderscheid gemaakt worden tussen burger en militaire luchtvaart. Eveneens onbekend is, wat de invloed van windturbine-installaties is op het radioverkeer in de omgeving.

3.4.5. Militaire activiteiten

In figuur 37 zijn de gebieden aangegeven, waar voorwaarden aan verbonden zijn in verband met defensie belangen. In de gebieden I vinden oefeningen plaats met scherpe munitie. Het verplaatsen van deze gebieden is slecht mogelijk; de gebieden waar munitie gedumpt wordt, zijn niet voor andere doeleinden te gebruiken. Het gebied II en de gebieden III zijn voor schietoefeningen vanuit vliegtuigen respectievelijk voor oefeningen met oefenmijnen. Een verplaatsing van deze gebieden is eventueel mogelijk.

3.4.6. Kustverdediging

Als de windturbine-installaties niet al te ver van de kust af liggen is de invloed op de kust sterk afhankelijk van de uitvoering van de konstruktie. Is de konstruktie een "vrij open" konstruktie dan is de invloed op het golfpatroon heel klein. Bij een meer gesloten konstruktie neemt de golfhoogte aan de kust iets af, terwijl ook de richting van de op de kust invallende golven zich iets kan wijzigen. Volgens het Stunet-onderzoek is er bij een industrie-eiland op 50 km van de kust nog een invloed aan de kust merkbaar. De aan te houden afstand is dus sterk afhankelijk van het type konstruktie.

3.4.7. Rekreatie

Voor wat betreft de rekreatie is het niet mogelijk de eventueel optredende hinder af te schatten, mede gezien het feit dat de rekreatievaart op de Noordzee nog van beperkte omvang is. Uiteraard kan gesteld worden dat een grote groep windturbine-installaties de mogelijkheid om bijv. in dat gebied te zeilen, wegneemt.

3.4.8. Overige gebruikers

In het noordelijk deel van het Nederlandse Continentaal Plat kan in de toekomst nog gebruik worden gemaakt van de aanwezige zouthorsten.

3.4.9. Energie transport

Het energie transport van de groepen windturbine-installaties naar de vaste wal kan op verscheidene manieren gebeuren, bijvoorbeeld:

- als elektrische energie via hoogspanningskabels
- als gasvormige chemische energie via een pijpleiding
- als gasvormige of vloeibare energie via schepen.

In de eerste twee gevallen is het wenselijk de installaties zo dicht mogelijk bij de kust te situeren.

Bij een hoogspanningskabel zal een aansluiting op het landelijk net nodig zijn.

Bij de aanvoer van chemische energie zal een centrale nodig zijn om deze energie weer om te zetten in elektrische energie.

3.5. EVALUATIE VAN DE LOKATIE

De evaluatie van de mogelijke vestigingsplaatsen van grote aantallen windturbine-installaties op het Nederlands Continentaal Plat geschiedt aan de hand van de aspecten die beschreven zijn in de paragrafen 3.1. tot en met 3.4.

Onderstaand is een opsomming gegeven van de belangrijkste aspecten:

a. Ten aanzien van de meteorologische aspecten:

1. de maximum toename van het waterniveau, tengevolge van een gekombineerd effect van alle factoren, die hierop invloed hebben, is 1 m in het noordelijk deel en 1,5 m langs de Noordzeekust.
2. de waterdiepte is in het zuidelijk deel minder dan 30 m en in het noordelijk deel overwegend 40 meter.
3. de gemiddelde stroomsnelheid op het plat ligt in de orde van 0,10 - 0,15 m/sec.
4. de gemiddelde windsnelheid in de zomer bedraagt 8,75 m/sec. en in de winter 11,63 m/sec.

5. de windsterkte die eens in de 50 jaar optreedt ligt tussen 30 m/sec. en 33 m/sec.
 6. de significante golfhoogte van een storm van 8-9 uur die eens in de 100 jaar voorkomt, ligt tussen 8 m en 12 m.
- b. Ten aanzien van de geotechnische aspecten:
1. de megaribbels in het noordelijk deel van het Continentaal Plat zijn lager dan 3 m, terwijl in het zuidelijk deel de hoogte meer dan 3 m, en plaatselijk meer dan 7 m, bedraagt.
 2. ten noorden van de 53^{ste} breedtegraad bevindt zich op minder dan 8 m onder de zeebodem een overgeconsolideerde kleilaag; ten zuiden van deze breedtegraad worden afwisselend zand- en kleilagen aangetroffen.
 3. de dikte van de deklaag varieert van minder dan een halve meter in het noordoostelijk gebied tot meer dan twee meter in het zuidelijk deel.
 4. de grofheid van het zand ligt tussen 125 μ en 250 μ .
- c. Ten aanzien van de legale aspecten:
1. rekening dient te worden gehouden met andere legitieme gebruikers
 2. onderzocht dient te worden op welke wijze windturbine-installaties en toebehoren beveiligd kunnen worden, hoe de bebakening voor zee- en luchvaart dient te geschieden, hoe eventueel misbruik van de windturbine-installaties kan worden voorkomen.
- d. Ten aanzien van de planologische aspecten:
1. de exploratie en winning van aardolie en aardgas gebeurt momenteel voornamelijk in de vakken K en L; de grindwinning geschiedt in de vakken O en R.
 2. een groot deel van het Nederlands Continentaal Plat wordt gebruikt voor het scheepvaartverkeer. Verplaatsing van de scheepvaartroutes is niet of moeilijk te rechtvaardigen.

3. de invloed op de visstand, de vissoorten en de visserij is moeilijk te bepalen.
4. storingsinvloeden zijn mogelijk op straalverbindingen, radar en radioverkeer.
5. bepaalde delen van de Noordzee zijn onbruikbaar door militaire activiteiten.
6. afhankelijk van de toepassing van "vrij open" of gesloten draagkonstrukties is invloed merkbaar op de golfhoogte, als ook op de richting van de op de kust invallende golven.
7. de recreatievaart zal in de toekomst hinder kunnen ondervinden.
8. in de toekomst kan nog gebruik worden gemaakt van de op het noordelijk deel van het plat aanwezige zouthorsten.
9. afhankelijk van de wijze van het energie transport is de situering nabij de kust al dan niet noodzakelijk.

Naar aanleiding van het bovenstaande kan voor de bepaling van de lokatie het volgende gesteld worden:

- de meteorologische aspecten spelen geen overwegende rol
- de geotechnische aspecten leggen geen echter beperkingen op, zij het dat het heiwerk boven de 53^{ste} breedtegraad minder aantrekkelijk is.
- de legale aspecten leggen geen beperkingen op.
- de planologische aspecten leggen zodanige beperkingen op (zie het totaalbeeld in fig. 38) dat op het Nederlands Continentaal Plat maar drie gebieden overblijven voor grote aantallen windturbines. Deze gebieden zijn aangegeven in figuur 39. Hierbij dient nog opgemerkt te worden dat in gebied 3 (in de vakken E en F) nog rekening moet worden gehouden met een geplande straalverbindingstoren in vak F11 en F14.

Aan de hand van de evaluatie van de lokatie en globale kosten indicaties van draagkonstrukties en de mogelijkheden van energie transport kan een voorlopige selectie gemaakt worden van de plaatsing. Laatstgenoemde onderwerpen worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

4.0. EERSTE TOETSING

In dit hoofdstuk komen twee onderwerpen aan de orde, die een bijdrage leveren om tot een toetsing te kunnen komen, zonder hier direkt konklusies aan te verbinden.

Deze onderwerpen zijn:

1. Globale kosten indikatie
2. Energie transportmogelijkheden.

4.1. GLOBALE KOSTEN INDIKATIE

De globale kosten indikatie heeft alleen betrekking op de draagkonstruktie; tevens worden hierbij betrokken de installatiekosten van de draagkonstruktie bij plaatsing op de Noordzee.

De draagkonstruktie wordt gedacht te zijn:

- a. jacket-konstruktie van staal
- b. caisson met bovenbouw van beton
- c. eiland konstruktie

ad a. Jacket-konstruktie van staal

Uitgangspunten hiervoor zijn geweest:

- waterdiepte van 30-40 m
- maximale golfhoogte 10 m
- maximaal getijdeverschil 8 m

Hierdoor wordt de jacket-konstruktie $\approx$ 50 m hoog; het platform komt dan op $\approx$ 15 m boven de zeespiegel. De diameter van de poten is 1,5 m met een wanddikte van 25 mm.

Het totaalgewicht aan staal, inklusief de dwarsverbanden, wordt dan $\approx$ 200 ton.

Uitgaande van dit gewicht en een staalprijs van f 4,80/kg zullen de fabrikagekosten van deze 50 m hoge jacket-konstruktie ongeveer f 1.000.000,-- bedragen.

Bij de bouw van zeer grote aantallen in serie zal dit bedrag per konstruktie lager komen te liggen.

ad b. Caisson met bovenbouw van beton

Uitgangspunten hiervoor zijn geweest:

- waterdiepte 30 m
- hoogte bovenbouw 50 m boven zeeniveau

Het caisson wordt gedacht een diameter van 40 m en een hoogte van 10 m te hebben. Aan betonvolume is dan ongeveer 15% van het totaalvolume aanwezig i.e. $\approx 2000 \text{ m}^3$. De bovenbouw heeft een diameter van $\approx 4 \text{ m}$, een dikte van de betonlaag van 0,3 m en een hoogte van 70 m. Het volume aan beton voor de bovenbouw is dan $\approx 300 \text{ m}^3$.

Het totaalvolume van de draagkonstruktie met bovenbouw wordt $\approx 2300 \text{ m}^3$. De prijs per m^3 ligt tussen f 600,-- en f 1000,--.

Hiermede zullen de fabrikagekosten tussen f 1.380.000,-- en f 2.300.000,-- liggen.

ad c. Eiland konstruktie

De prijs van het aanleggen van een dijklichaam bedraagt voor de meest belaste zijde $\approx$ f 100.000,-- tot f 120.000,-- per meter voor de minst belaste zijde $\approx$ f 50.000,-- tot f 60.000,-- per meter.

De globale kosten indicatie voor de installatie van de draagkonstrukties is als volgt:

- grote kraanschepen (2000-3000 ton)	f 100.000,-- tot f 250.000,--/dag
- kleine kraanschepen (300 ton)	f 75.000,--/dag
- bevoorradingsschepen	f 12.000,-- tot f 24.000,--/dag
- hydroblok hamer	f 20.000,--/dag

4.2. ENERGIE TRANSPORTMOGELIJKHEDEN

Binnen de beschouwde energie transportmogelijkheden, transport via elektriciteitskabels en transport via energie konversie wordt alleen gekeken naar de eerstgenoemde mogelijkheid.

Bij het plaatsen van grote aantallen windturbines op de Noordzee zal de aanleg van een wijd vertakt koppelnetstelsel tussen de windturbines noodzakelijk zijn om uiteindelijk tot minimaal één transportkabel te komen. Deze transportkabels kunnen afhankelijk van de lokatie van de windturbines op twee plaatsen aan land gebracht worden en gekoppeld worden aan het elektriciteitskoppelnet in Nederland.

Wanneer de windturbines geplaatst worden op lokatie 1 (fig. 39) komt Den Helder in aanmerking en aansluiting op het 150 kV net hetgeen eveneens voor lokatie 2 kan gelden. Voor deze lokatie kan echter ook Leeuwarden gekozen worden en aansluiting op het daar aanwezige 220 kV net. Voor lokatie 3 komt alleen Leeuwarden in aanmerking.

In het geval dat in eerste instantie niet aan aansluiting op het koppelnet wordt gedacht, maar dat de opgewekte energie benut wordt voor een industrie of een aantal gegroepeerde industrieën komen uiteraard geheel andere aanlandingspunten in aanmerking welke nu nog niet te voorzien zijn.

De kosten voor de transportkabel bedragen $\pm$ f 1.000.000,-- per km, hierin zijn niet begrepen de bouw van de benodigde stations in geval van koppeling aan het Nederlandse net.

5.0. KONKLUSIES

Onderzocht zijn de mogelijkheden van plaatsing van draagkonstrukties voor windturbine-installaties, indien deze in de Noordzee geplaatst worden. Daarnaast is onderzocht welke lokaties op de Noordzee, en wel op het Nederlands Continentaal Plat, resteren, nadat rekening is gehouden met de gebruikers van de Noordzee.

Op het Nederlands Continentaal Plat zijn 3 mogelijke gebieden aan te wijzen waarvan 2 gebieden (nr. 1 en 2, fig. 39) beperkingen hebben, zoals aanwezige olie- en gaswinputten, telefoonkabels en pijpleidingen. Het derde gebied, waar vooralsnog geen beperkingen van importantie zijn, ligt echter op een afstand van ca 200 km van Den Helder.

De gebieden 1 en 2 komen echter meer in aanmerking dan gebied 3 vanwege geringere diepten, de lagere significante golfhoogten, factoren die een duidelijke invloed hebben op de draagconstructie zelf als op de daarmee samenhangende bouwkosten. Bovendien is de afstand tot Den Helder beduidend kleiner, nl. 60-90 km, hetgeen de kosten voor het aan land brengen van de opgewekte energie d.m.v. kabels reduceert.

Ten aanzien van de draagkonstrukties bestaat op basis van de globale kosten indicatie enigszins een voorkeur voor stalen konstrukties in geval van een enkeelvoudige, lijn of roosteropstelling.

Indien de draagkonstrukties geplaatst worden op een eiland kan echter geen uitspraak gedaan worden over de toe te passen materiaal soort, daar dan andere factoren mede een rol gaan spelen in de kostenopbouw, zoals:

wordt de opgewekte energie voor bijv. industrieën gebruikt, geplaatst op het eiland, hoe ligt de kostenverhouding van de turbine-installaties t.o.v. het eiland.

6.0. REFERENTIES

1. Voorstel Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie
Projekt Voorbereidings Groep Windenergie, juni 1975
2. Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie
Voorstel voor de werkzaamheden in de 2e fase
Stichting E.C.N., januari 1977
3. Voorstel tot bijdrage van RSV aan de 2e fase van het
Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie
Ir. W. Swart, november 1976
4. Windturbines in zee, deel I: Algemene Gezichtspunten
Ir. M.J.A. Koning, Ir. W. Swart, april 1978
5. Rapporten van het Noordzee-Eiland Projekt (N.S.I.G.)
6. The interaction of windmill wakes
Dr.Ir. P.J.H. Builtjes, april 1978
7. Direkte kommunikatie met K.N.M.I. en RIVO

TABELLEN

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 : Windsnelheden op de Noordzee

Tabel 2 : Verband tussen golfhoogte en golfperiode

Sector Noord (53° - 55° NB)

windkracht maand	0-1,5 m/s	1,6-5,4 m/s	5,5-7,9 m/s	8,0-13,8 m/s	> 13,9 m/s
Januari	4%	25%	18%	41%	12%
Februari	4%	28%	22%	28%	18%
Maart	8%	32%	31%	26%	13%
April	9%	36%	23%	24%	8%
Mei	14%	45%	21%	16%	4%
Juni	14%	43%	19%	21%	3%
Juli	16%	48%	19%	15%	3%
Augustus	12%	44%	20%	20%	4%
September	10%	37%	21%	23%	9%
Oktober	6%	30%	21%	17%	16%
November	4%	25%	16%	32%	23%
December	3%	25%	19%	33%	20%

Sector Zuid (51° - 53° NB)

windkracht maand	0-1,5	1,6-5,4	5,5-7,9	8,0-13,8	> 13,9
Januari	6%	22%	30%	28%	14%
Februari	7%	34%	21%	27%	11%
Maart	12%	38%	19%	23%	8%
April	12%	42%	21%	19%	6%
Mei	18%	47%	17%	15%	3%
Juni	18%	45%	19%	15%	3%
Juli	18%	46%	18%	15%	3%
Augustus	12%	44%	20%	18%	4%
September	12%	42%	22%	18%	6%
Oktober	10%	35%	22%	23%	10%
November	6%	30%	19%	27%	18%
December	4%	30%	20%	28%	18%

Tabel 1: Windsnelheden op de Noordzee

Significante golfhoogte H_s (m)	Gemiddelde golfperiode T_m (sec.)	Significante golfperiode T_s (sec.)
4	7	9
6	8	10
8	9	11
10	10	12
12	11	13

Tabel 2: Verband tussen golfhoogte en golfperiode

FIGURE

LIJST VAN FIGUREN

- Figuur 1 : Jacket konstruktie
- Figuur 2 : Jack-up
- Figuur 3 : Stalen gravity platform
- Figuur 4 : Mat supported steel gravity platform
- Figuur 5 : Scharnierende poot
- Figuur 6 : Single buoy mooring
- Figuur 7 : Tension leg platform
- Figuur 8 : Semi-submersible platform
- Figuur 9 : Drijvende bak
- Figuur 10 : Dooskonstruktie
- Figuur 11 : Dubbele dooskonstruktie
- Figuur 12 : Paalkonstruktie
- Figuur 13 : Platform met neerlaatbare palen
- Figuur 14 : Platform op geprefabriceerd palen skelet
- Figuur 15 : Ponton konstruktie
- Figuur 16 : Beton en staal combinatie
- Figuur 17 : Groepsgewijze opstelling
- Figuur 18 : Lijnopstelling
- Figuur 19 : Lijnopstelling
- Figuur 20 : Lijnopstelling (event. met loopbrug)

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- Figuur 21 : Atol of eiland
- Figuur 22 : Eiland oplossingen
- Figuur 23 : Lijnen van gelijke waterstandsverhoging t.g.v. een samenvallen van springtij en wind opzet
- Figuur 24 : Dieptekaart
- Figuur 25 : Getijstromen op het Nederlands Continentaal Plat
- Figuur 26 : Verdeling van de windsnelheid in zomer en winter ten zuiden van de 56^e breedtegraad
- Figuur 27 : Windrichtingsverdeling op het Nederlands Continentaal Plat
- Figuur 28 : Windoverschrijding eens per 50 jaar
- Figuur 29 : Golfoverschrijdingskans per jaar
- Figuur 30 : Significante golfhoogte van een 8-9 uur durende storm, die eenmaal per 100 jaar optreedt
- Figuur 31 : Hoogte van de megaribbels
- Figuur 32 : Laagdikte dekzand
- Figuur 33 : Korrelverdeling Nederlands Continentaal Plat
- Figuur 34 : Offshore mijnbouw
- Figuur 35 : Scheepvaart
- Figuur 36 : Telefoonkabels
- Figuur 37 : Militaire gebieden
- Figuur 38 : Samenvatting
- Figuur 39 : Mogelijke lokatiezones voor een wind energiecentrale

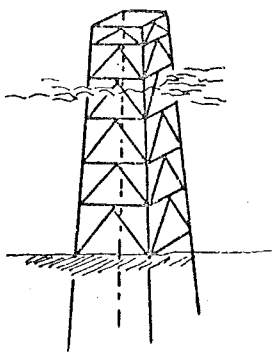


FIG. 1 JACKET KONSTRUKTIE

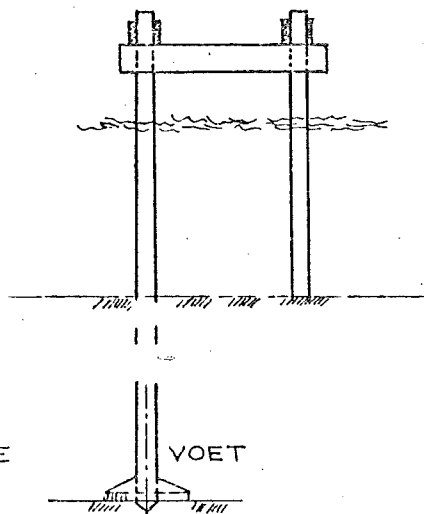


FIG. 2 JACK-UP

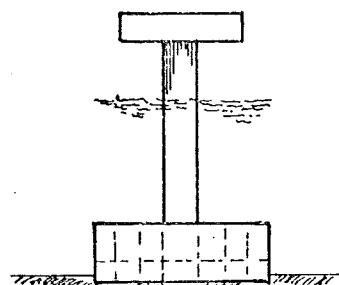


FIG. 3 STALEN
GRAVITY PLATFORM

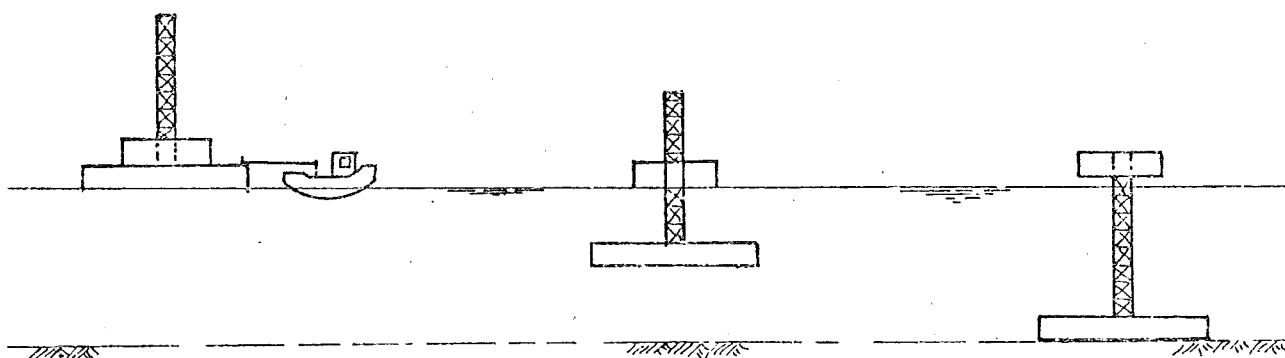


FIG. 4 MAT SUPPORTED STEEL GRAVITY PLATFORM

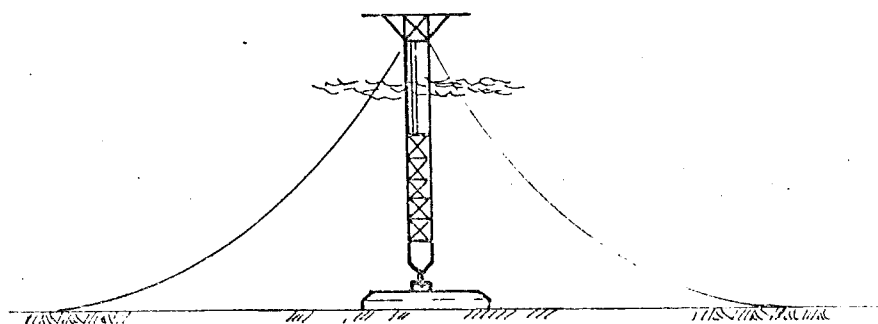


FIG. 5 SCHARNIERENDE POOT



wind energie onderzoek

STALEN KONSTRUKTIES STAAND OP DE ZEEBODEM

datum:

schaal:

tek. no: 1 $\frac{1}{m}$ 5

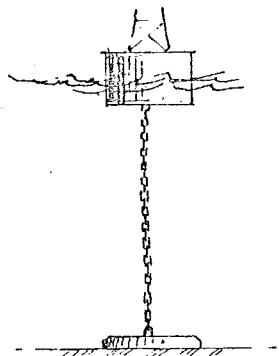


FIG. 6 SINGLE BUOY MOORING

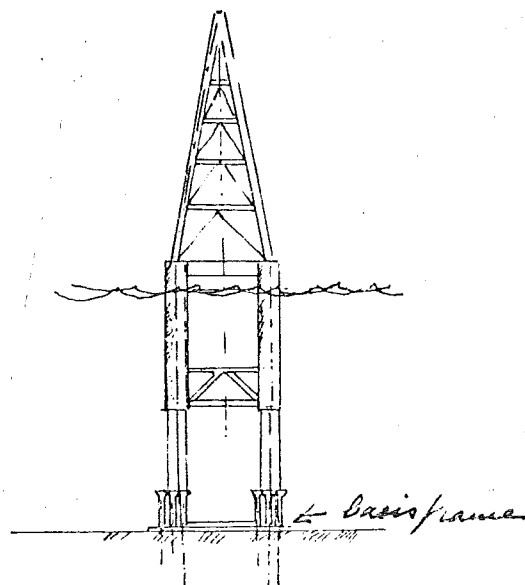


FIG. 7 TENSION LEG PLATFORM

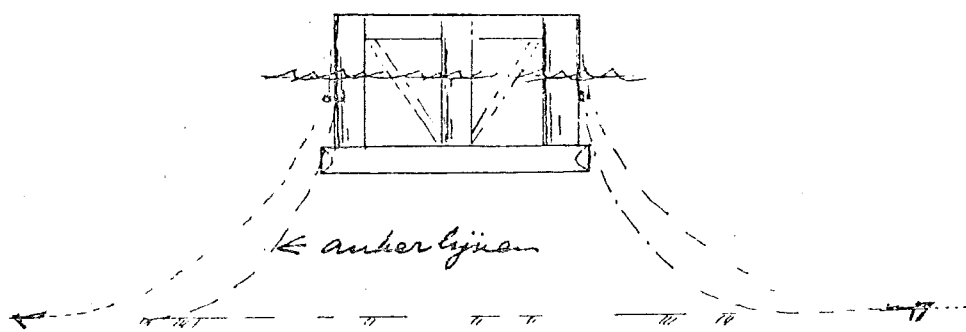
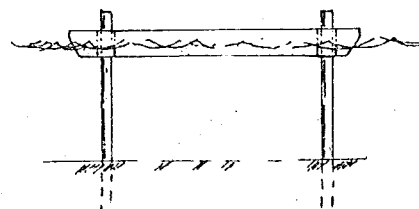
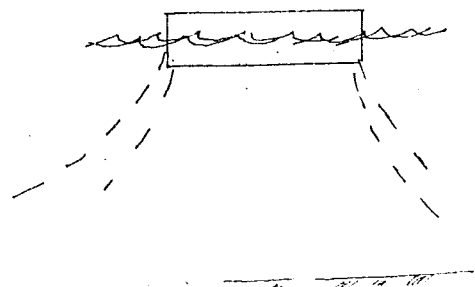


FIG. 8 SEMI-SUBMERSIBLE PLATFORM



HORIZONTAAL GEFIXEERD

FIG. 9 DRIJVENDE BAK



hydrodynamic
slidrecht holland

wind energie onderzoek

DRIJVENDE STALEN KONSTRUKTIES

datum:

schaal:

tek. no: 6 ⁴/_m 9

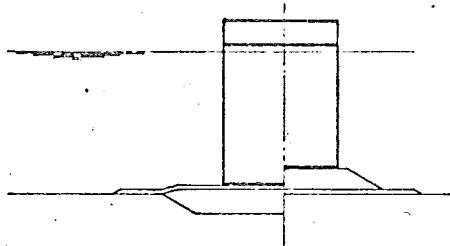


FIG. 10 DOOSKONSTRUKTIE

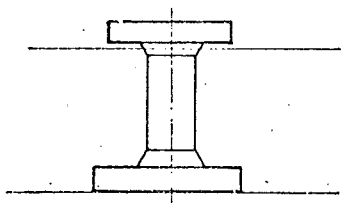


FIG. 11 DUBBELE DOOSKONSTRUKTIE

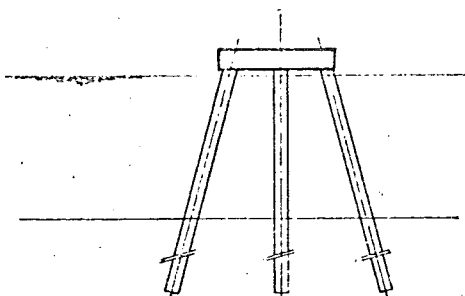


FIG. 12 PAALKONSTRUKTIE

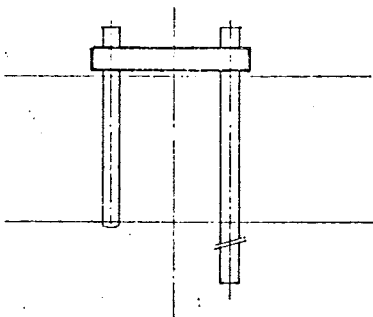


FIG. 13 PLATFORM MET NEERLAATBARE
PALEN

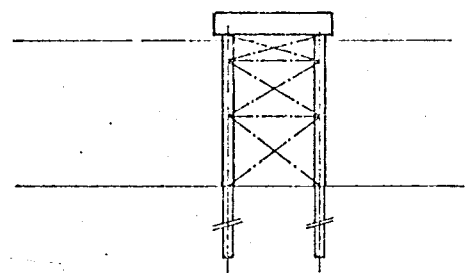


FIG. 14 PLATFORM OP GEPREFABRICEEERDE
PALEN SKELET

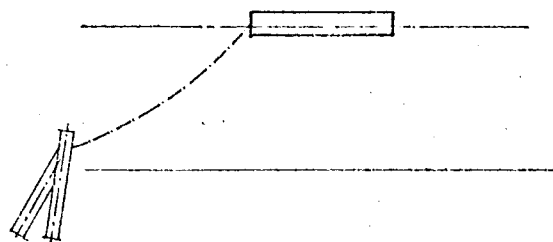


FIG. 15 PONTON KONSTRUKTIE



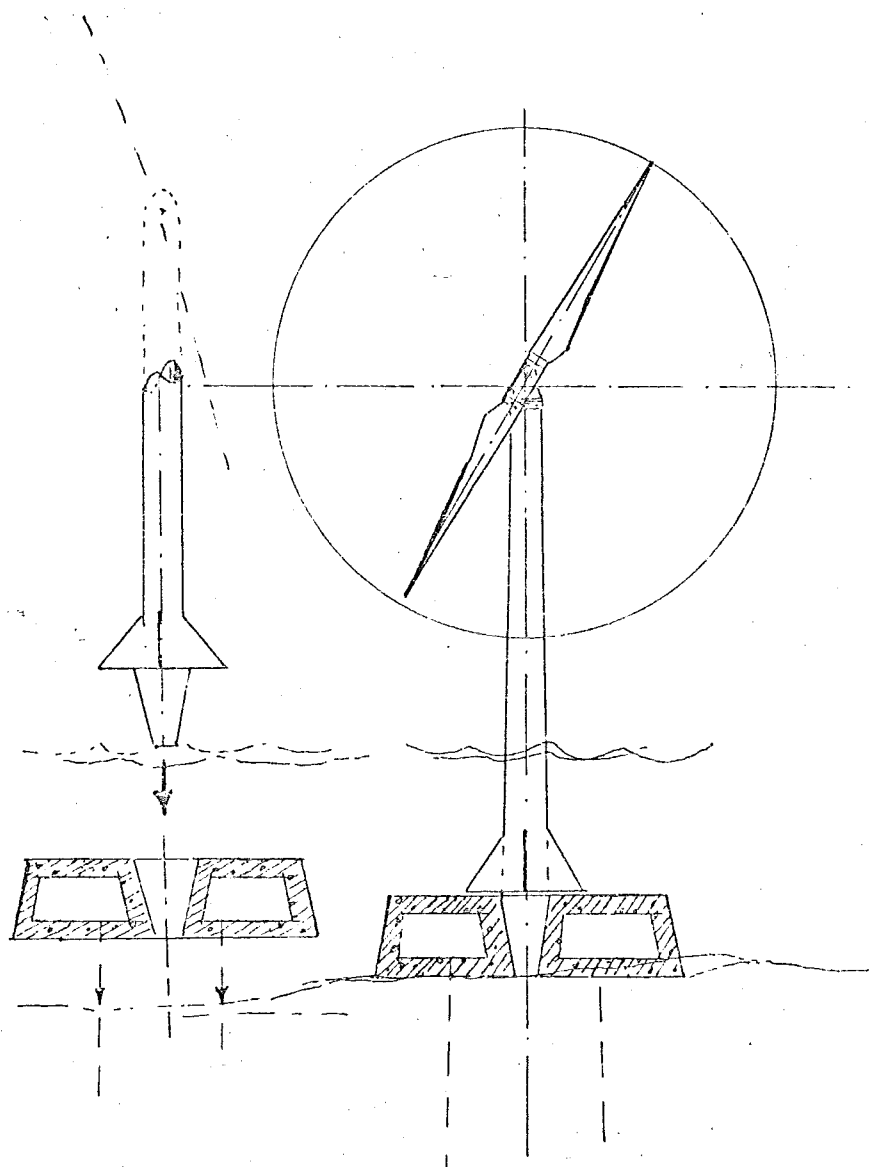
wind energie onderzoek

BETON KONSTRUKTIES

datum

schaal

tek. no: 10 t/m 15



RSV

hydrodynamic
bladderrecht holland

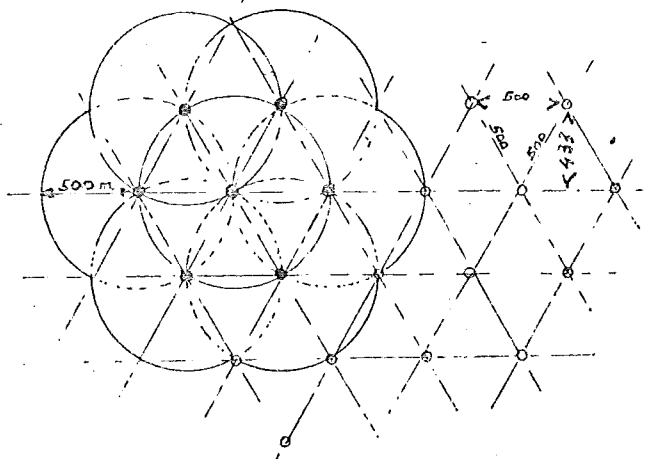
wind energie onderzoek

BETON EN STAAL KOMBINATIE

datum:

schaal

tek. nr: 16



hydrodynamic
oliedreefs holland

wind energie onderzoek

GROEPSGEWIJZE OPSTELLING

datum:

schaal:

tek. no: 17

FIG. 18

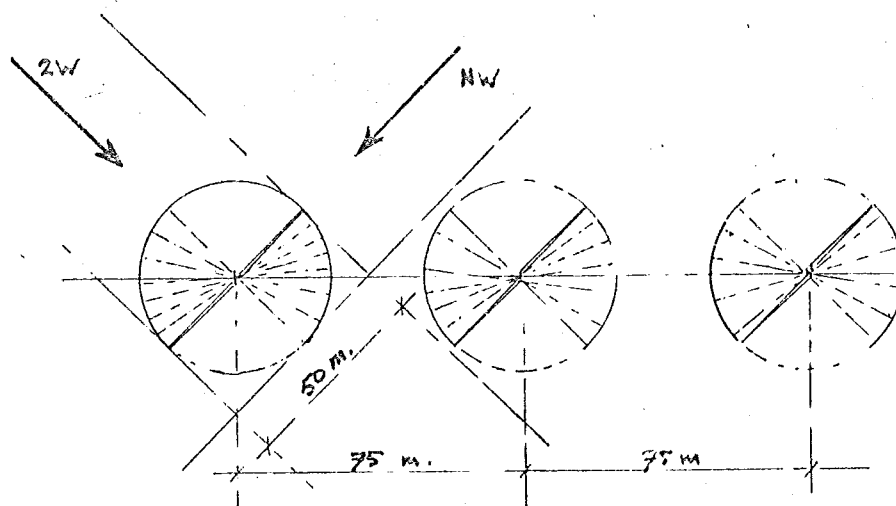
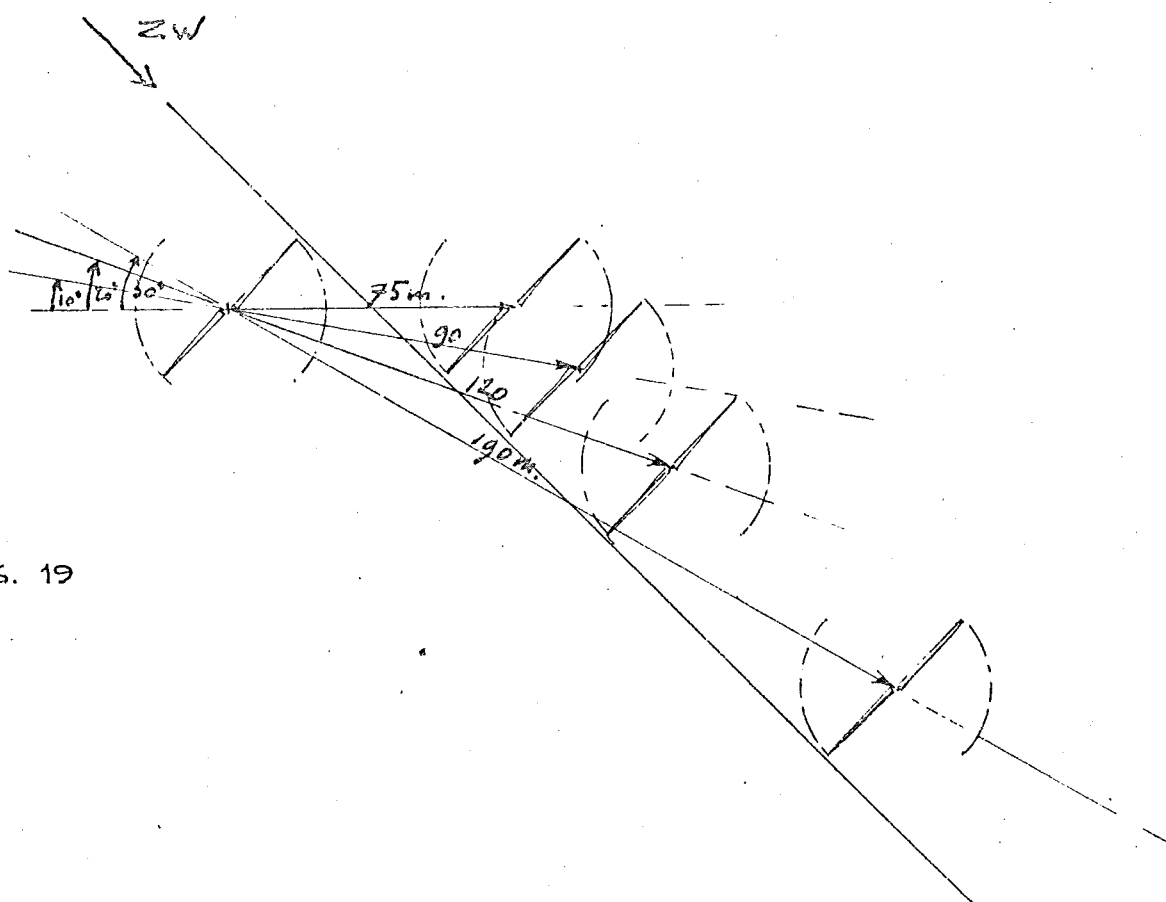


FIG. 19



hydrodynamic
slidrecht holland

wind energie onderzoek

LINOPSTELLING

datum:

schaal:

tek. nr: 18/19

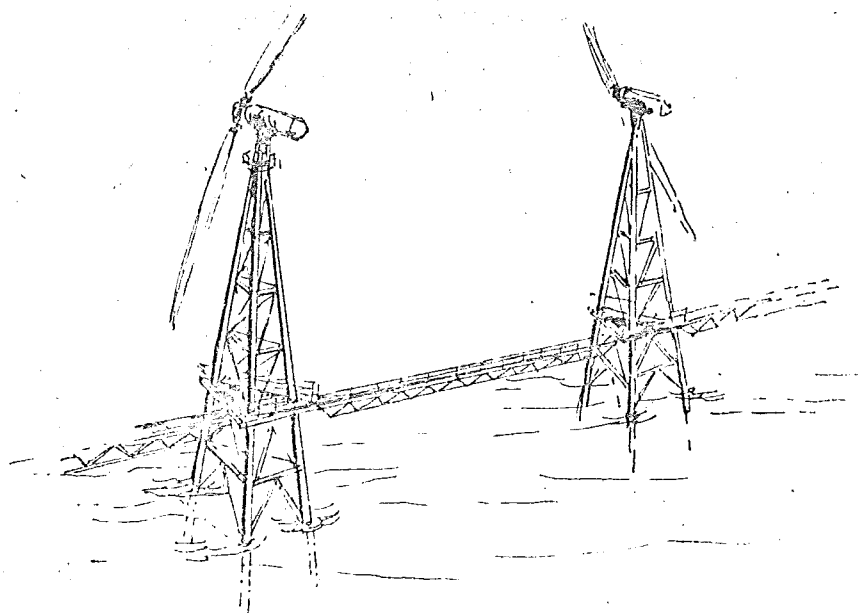


FIG. 20 LĲNOPSTELLING (event. met loopbrug)

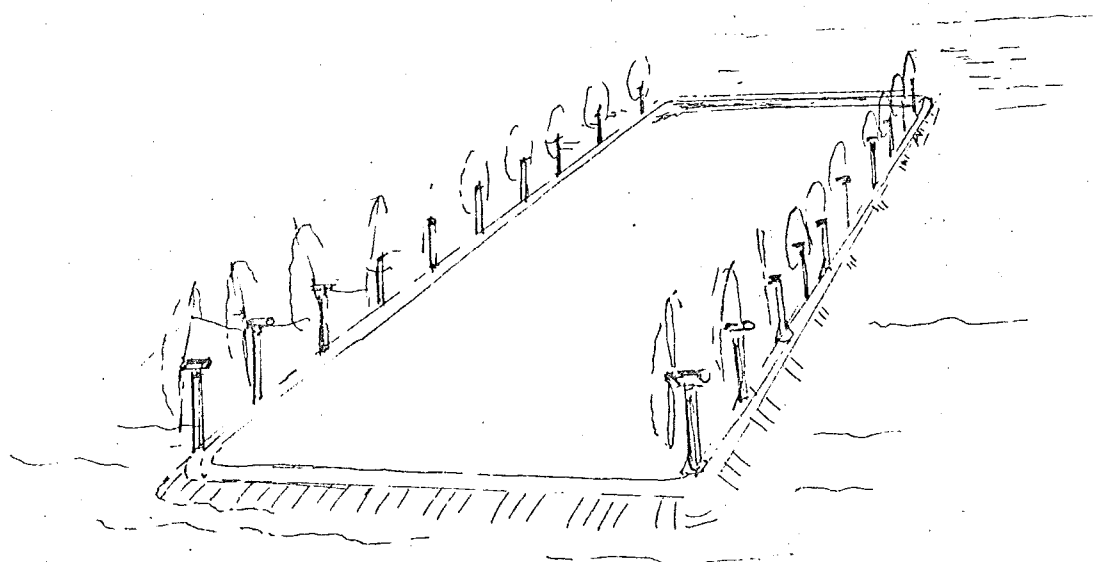


FIG. 21 ATOL OF EILAND



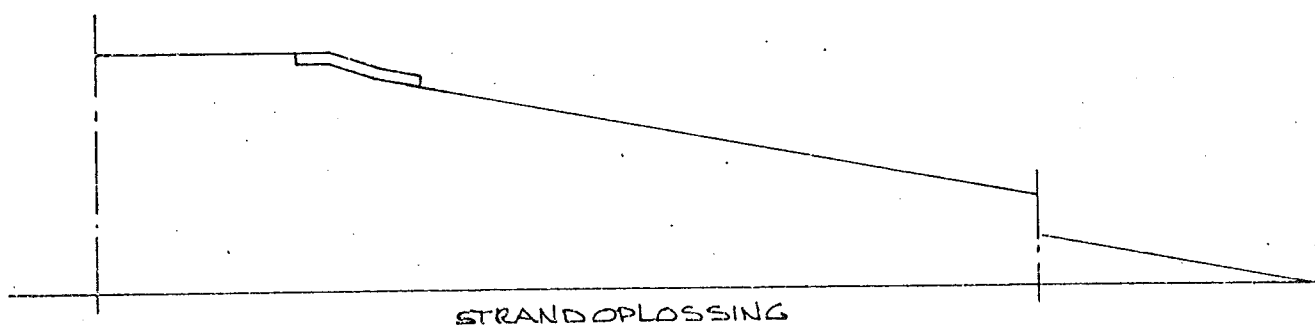
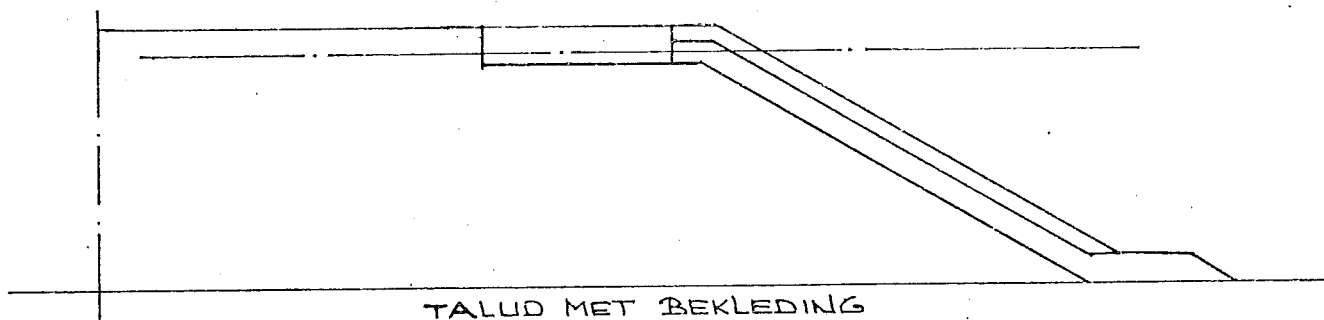
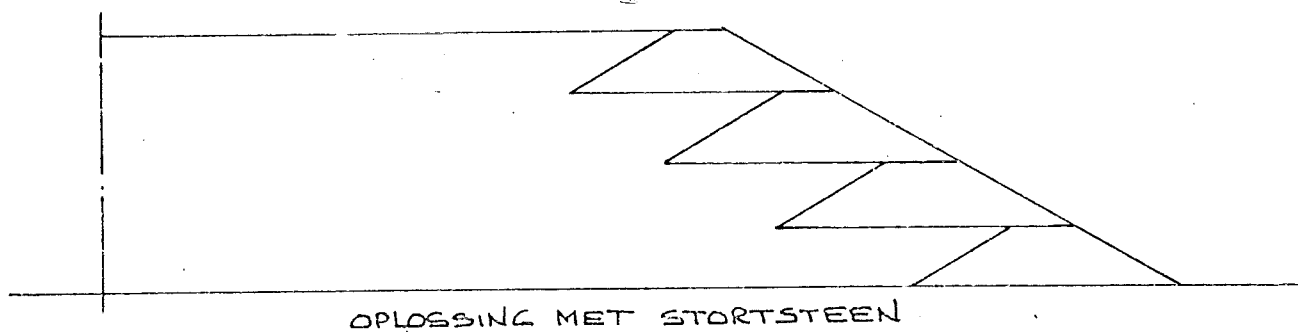
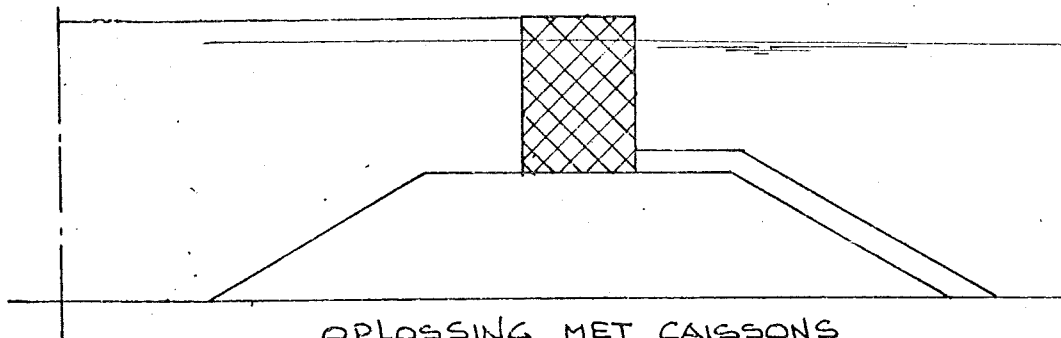
hydrodynamic
slidrecht holland

wind energie onderzoek

datum:

schaal:

tek. no: FIG. 20/21



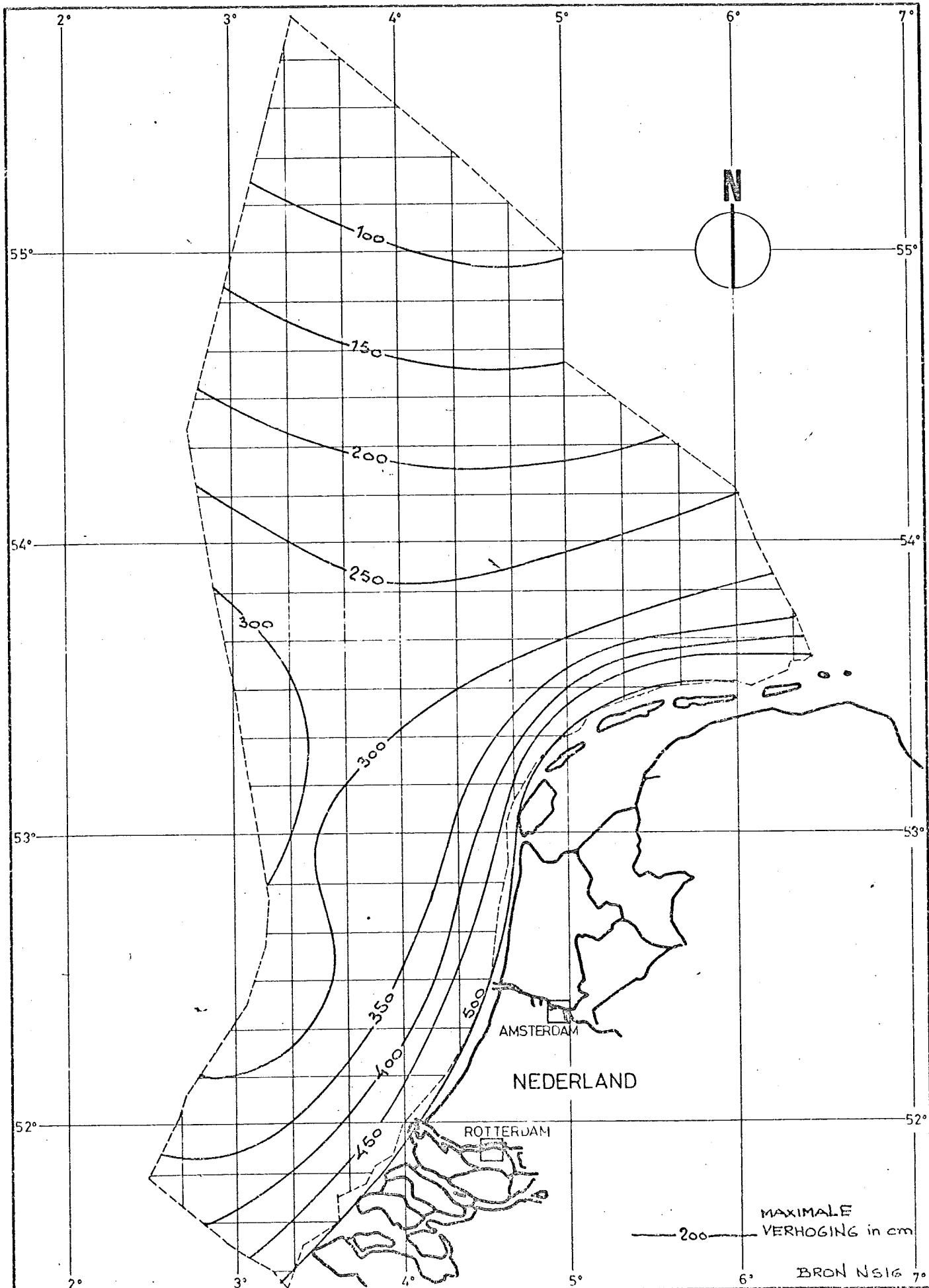
wind energie onderzoek

EILAND OPLOSSINGEN

datum:

schaal:

tek.no: 22



hydropartic
ellendrecht holland

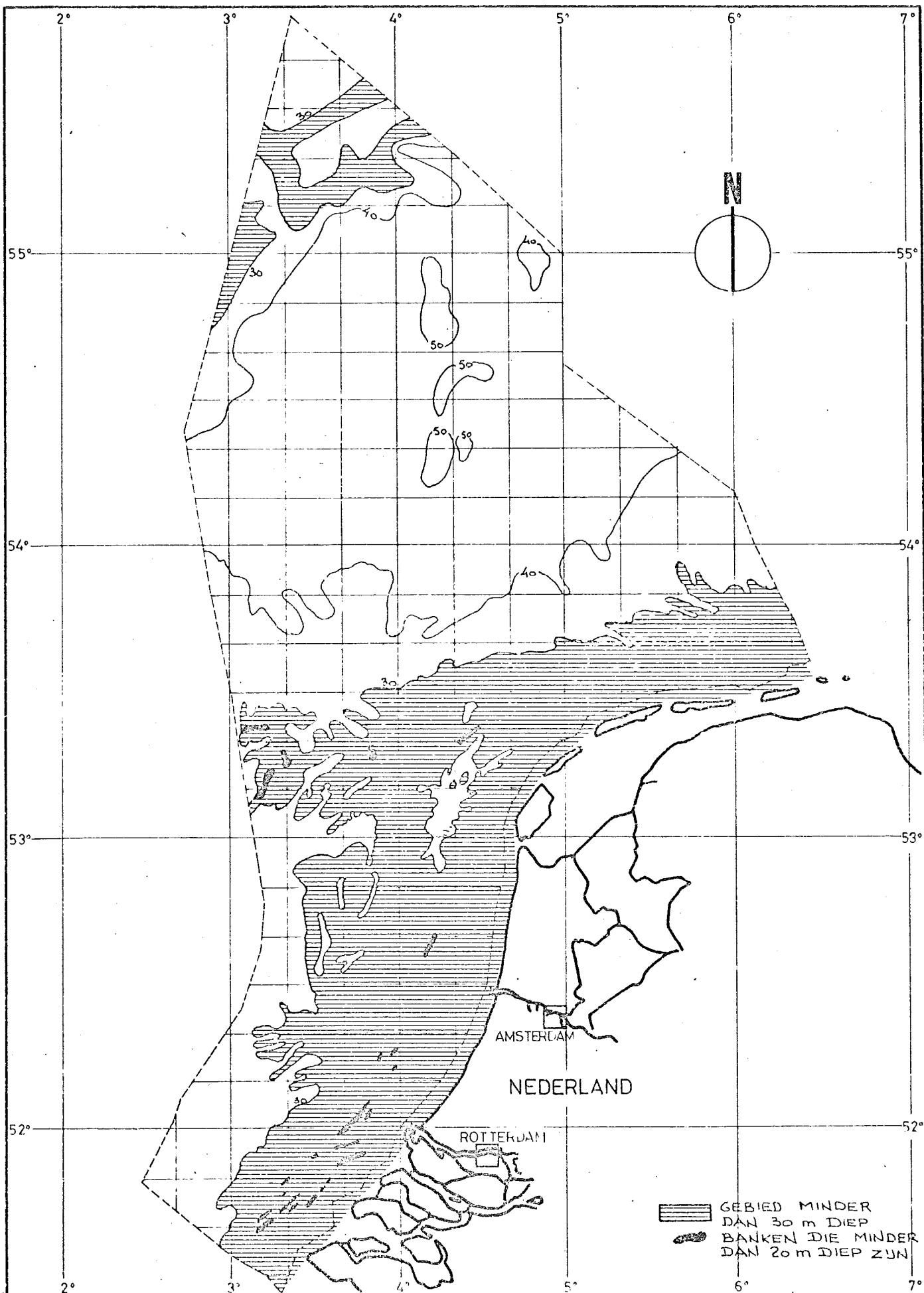
wind energie onderzoek

LIJNEN VAN GELIJKE WATERSTANDSVERHOOGING T.G.V. EEN
SAMENVALLLEN VAN SPRINGSTIJ EN WIND OPZET
(WINDSNEIHEID 28 m/s GEDURENDE 36 uur)

datum:

schaal:

tek.no: 23



hydrodynamic
slidrecht holland

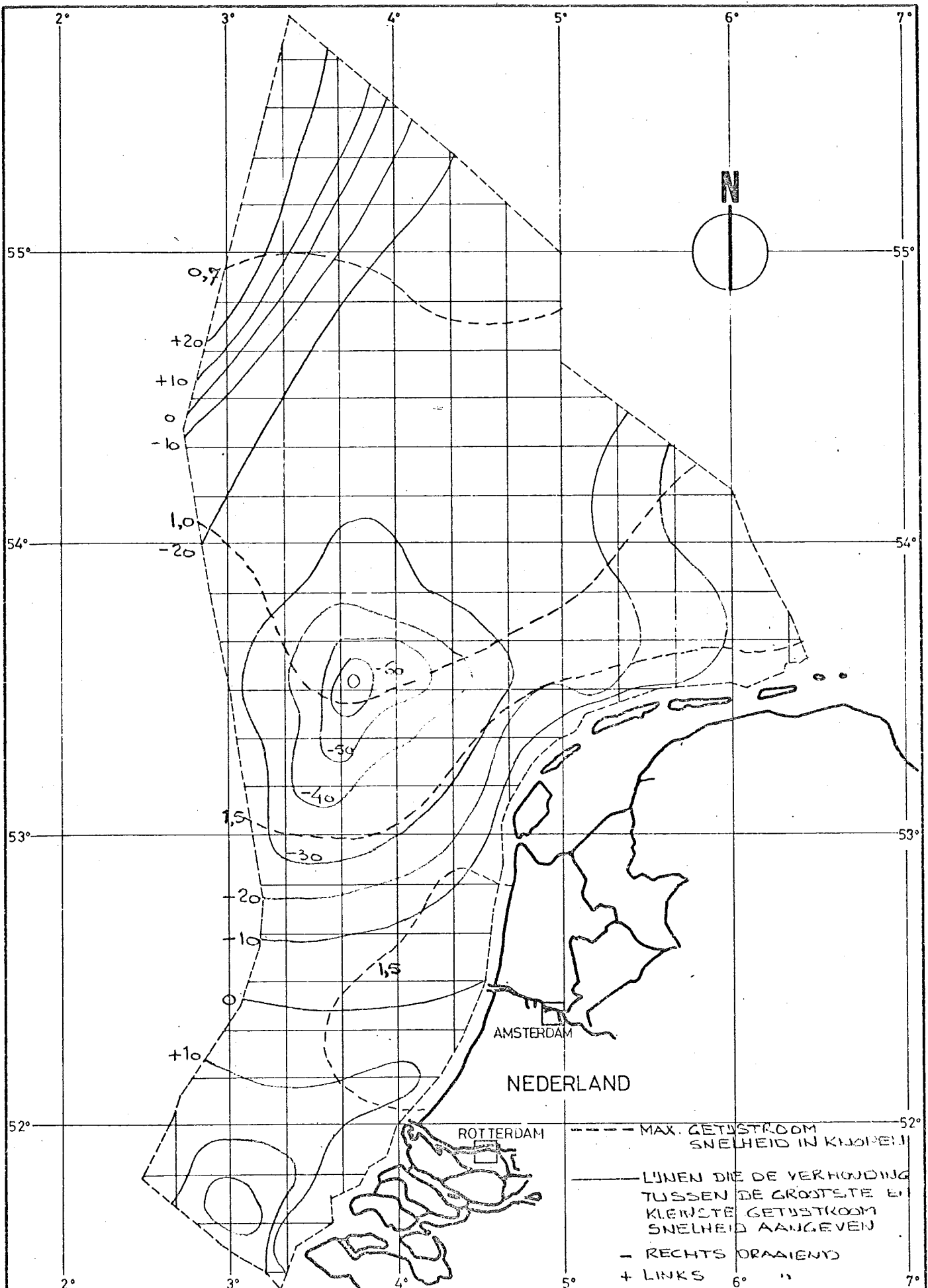
wind energie onderzoek

DIEPTEKAART

datum:

schaal:

tek.no: 24



hydrodynamic
vloedrecht holland

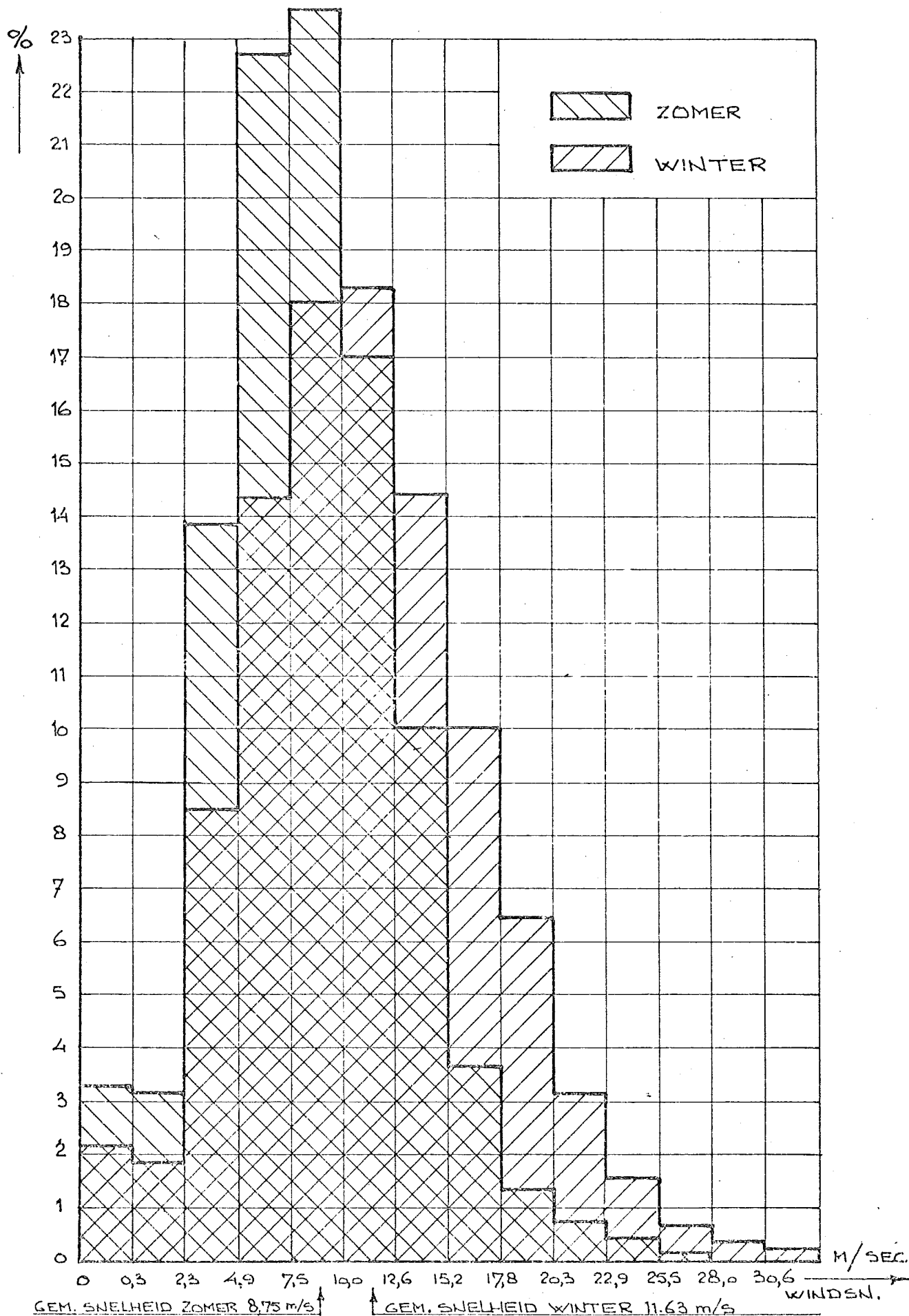
wind energie onderzoek

GETYSTROMEN OP HET NED. CONTINENTAAL PLAT

datum:

schaal:

tek.no: 25



hydra²amic
slidrecht holland

wind energie onderzoek

VERDELING VAN DE WINDSNELHEID IN ZOMER EN WINTER
TEN ZUIDEN VAN DE 56° BREEDTEGRAAD

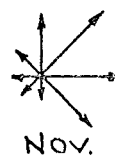
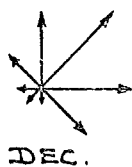
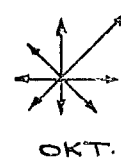
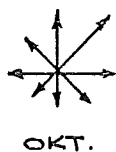
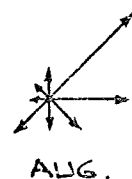
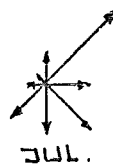
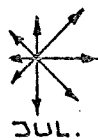
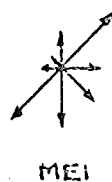
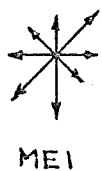
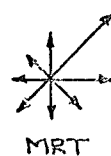
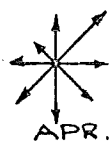
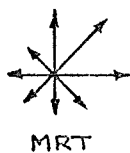
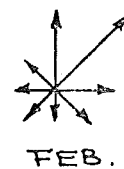
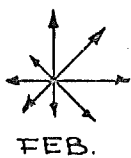
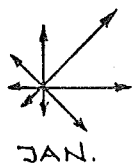
datum:

schaal:

tek. no: 26

NOORDELIJK DEEL

ZUIDELIJK DEEL



0 10 20% WIND IN OOSTRICHTING
(WESTENWIND)



hydrodynamic
slodreant holland

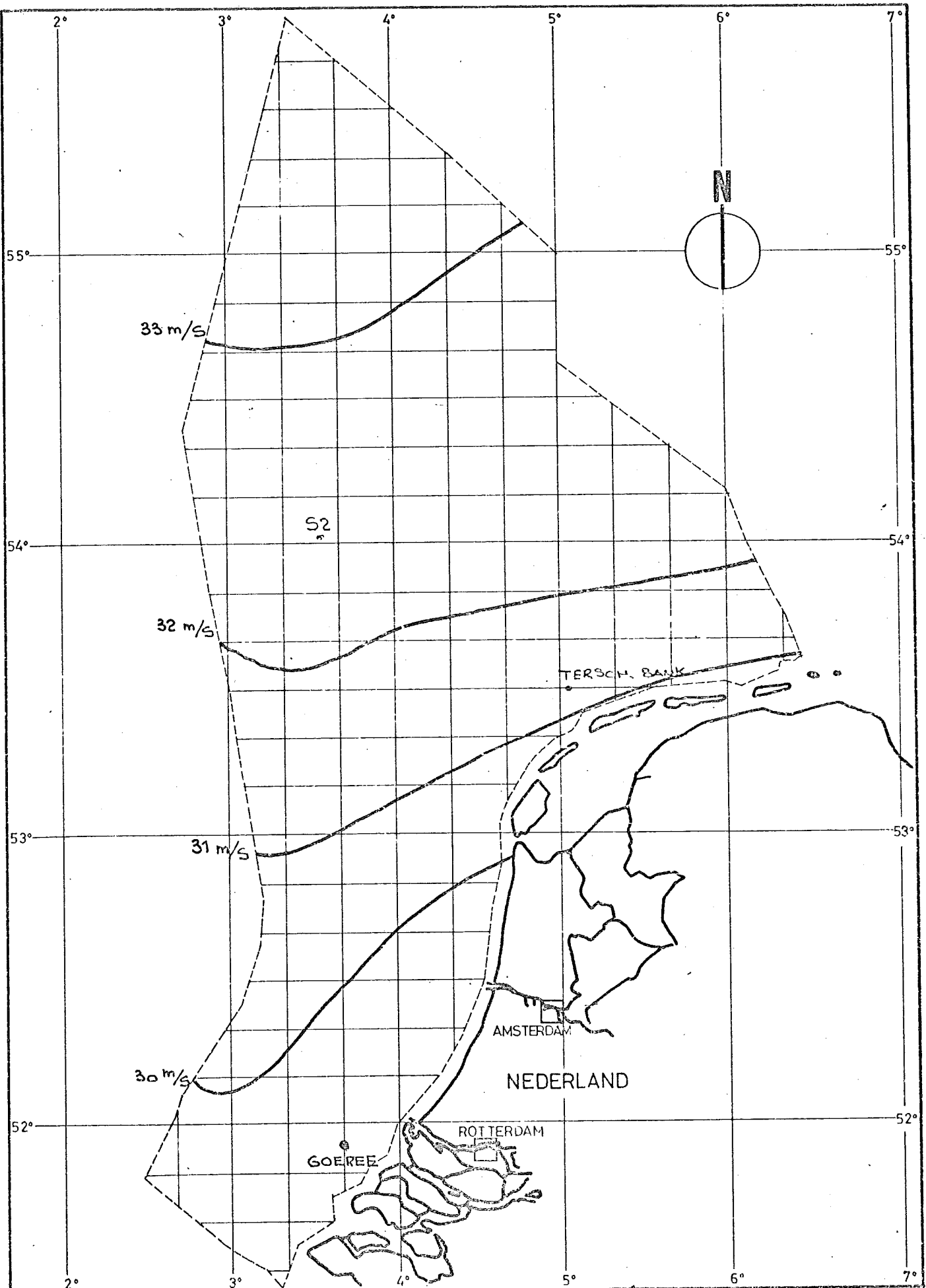
wind energie onderzoek

WINDRICHTINGSVERDELING OP HET
NEDERLANDS CONTINENTAAL PLAT

datum:

schaal:

tek.no: 27



hydrodynamic
alledrecht holland

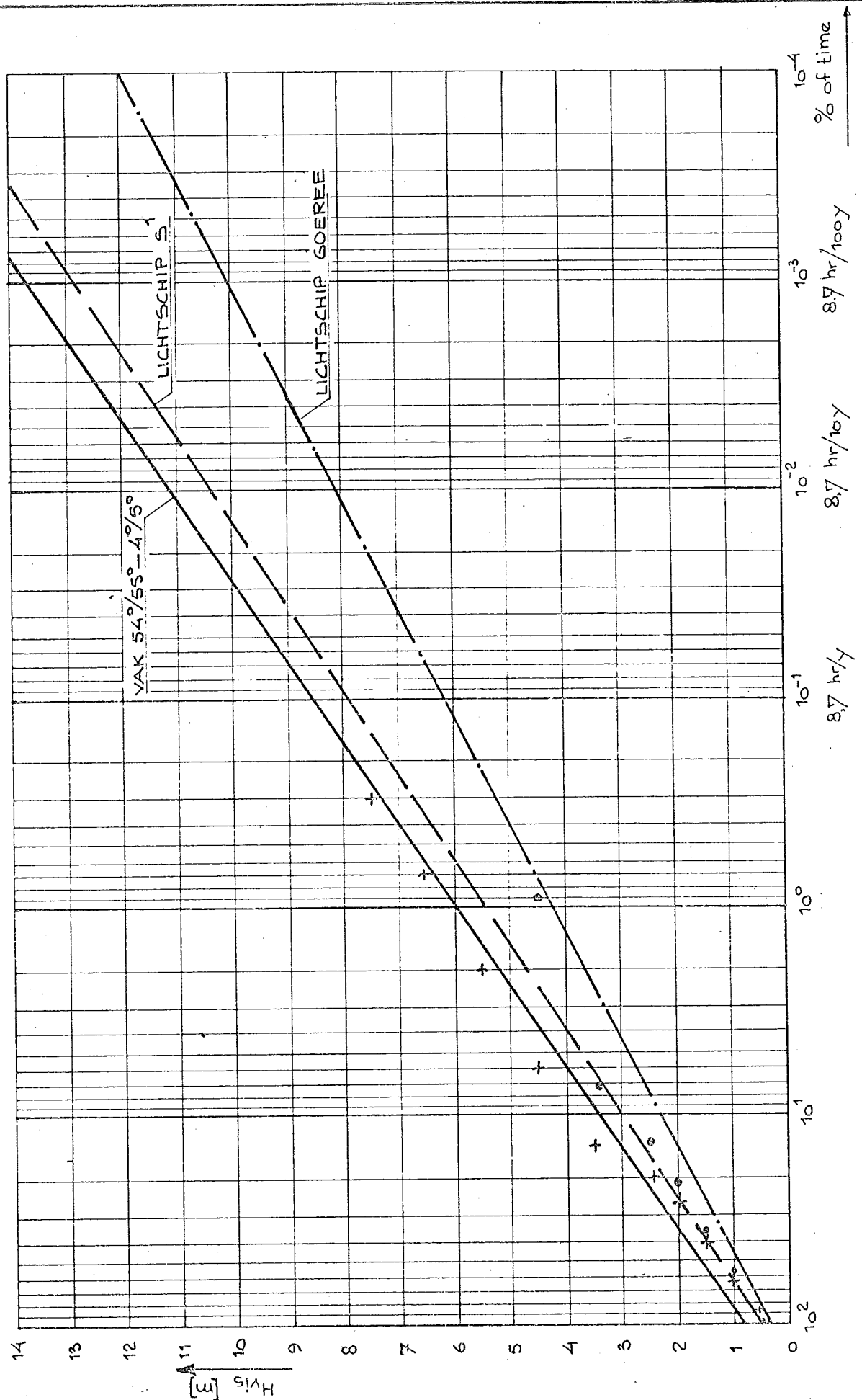
wind energie onderzoek

WINDOVERSCHRIJDING EENS PER 50 JAAR

datum:

schaal:

tek.no: 28



hyδronamic
sliepricht holland

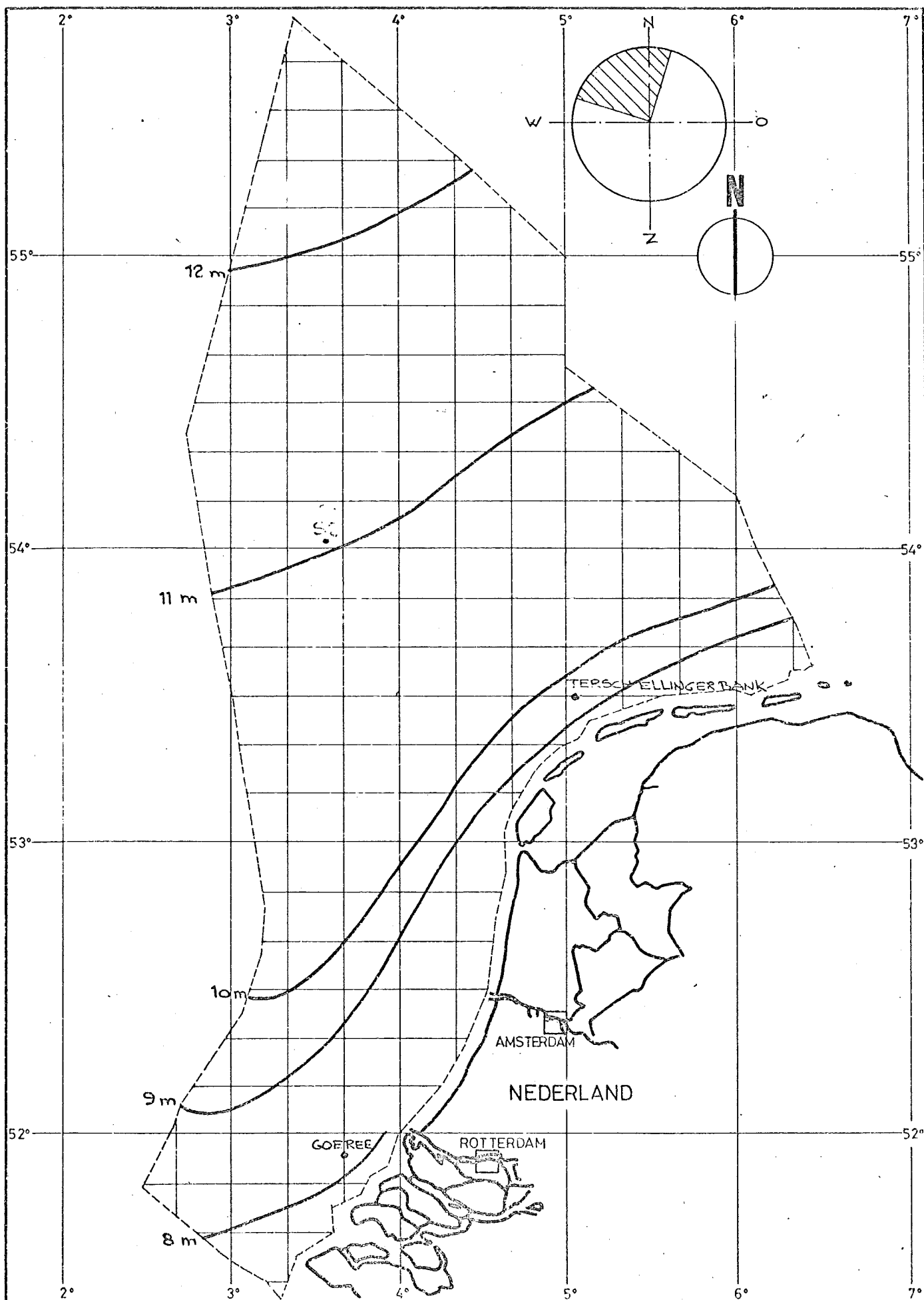
wind energie onderzoek

GOLFOVERSCHRIJDINGSKANS PER JAAR

datum:

schaal:

tek. nr: 29



hydrodynamic
afdracht holland

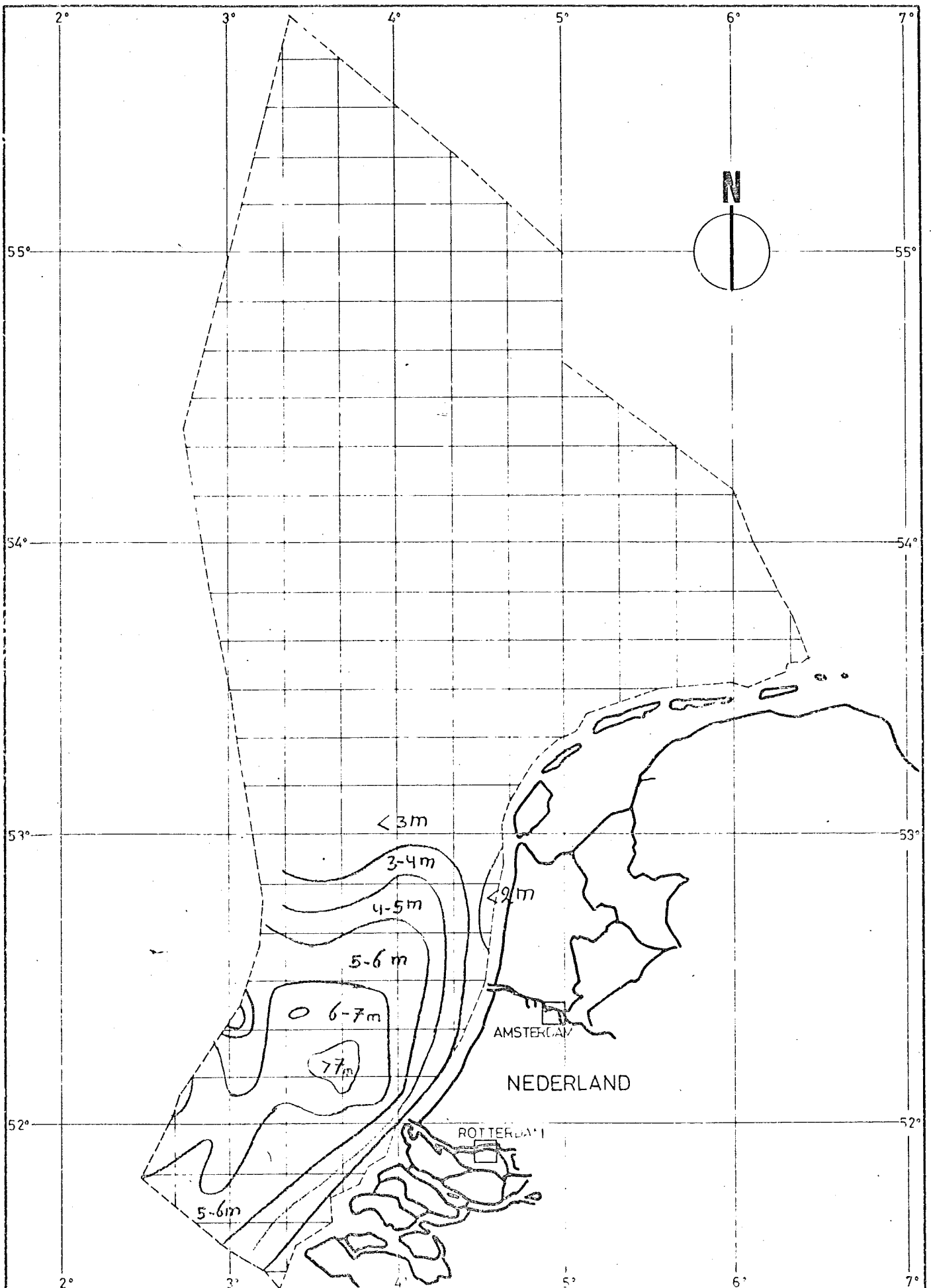
wind energie onderzoek

SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE VAN EEN 8-9 uur DURENDE
STORM DIE EENMAAL PER 100 JAAR OPTREEDT

datum:

schaal:

tek.no: 30



hydraNamic
wiedrecht Holland

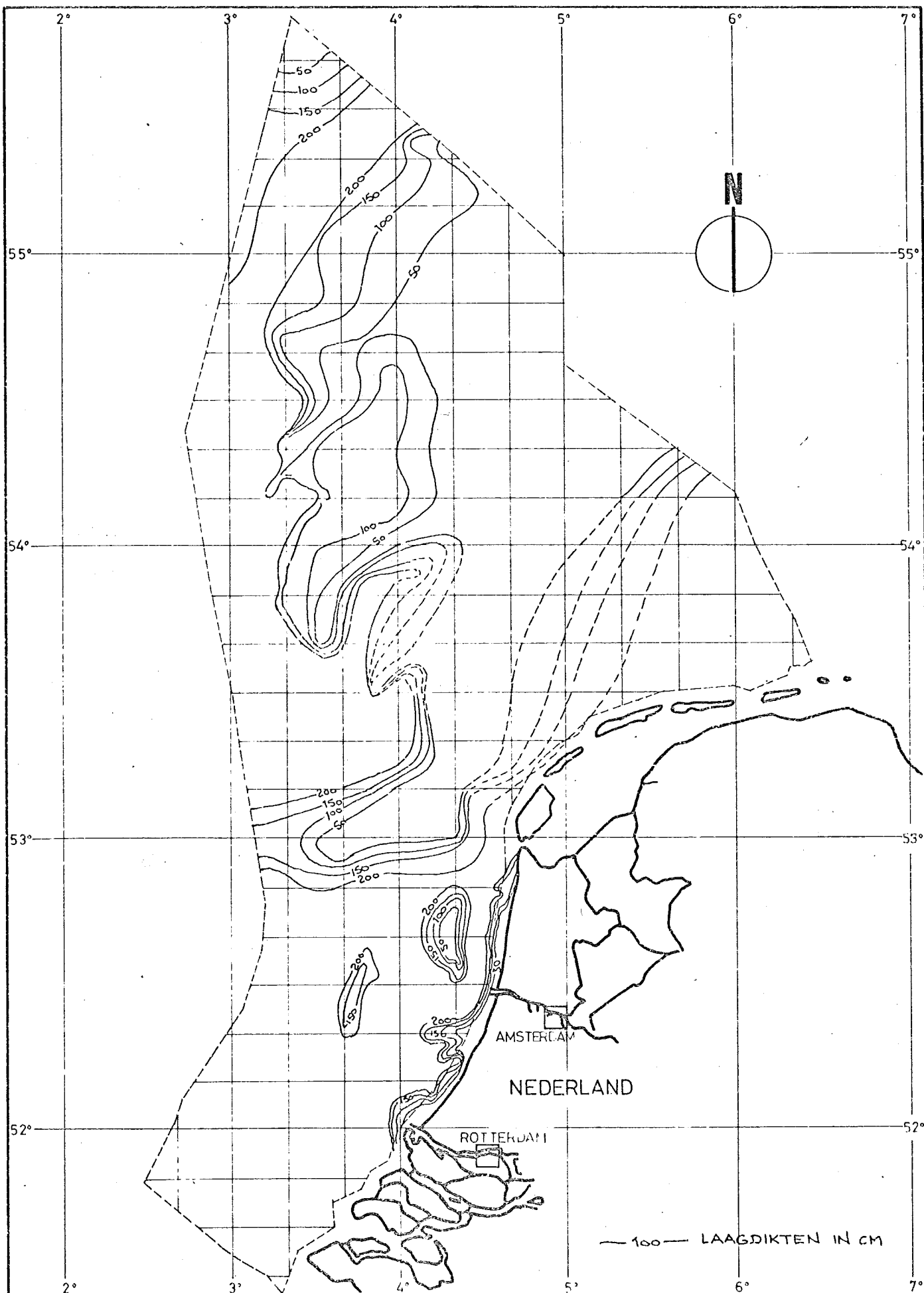
wind energie onderzoek

Hoogte van de megaribbels

datum:

schaal:

tek.no: 31



hydrodynamic
stedrecht hallend

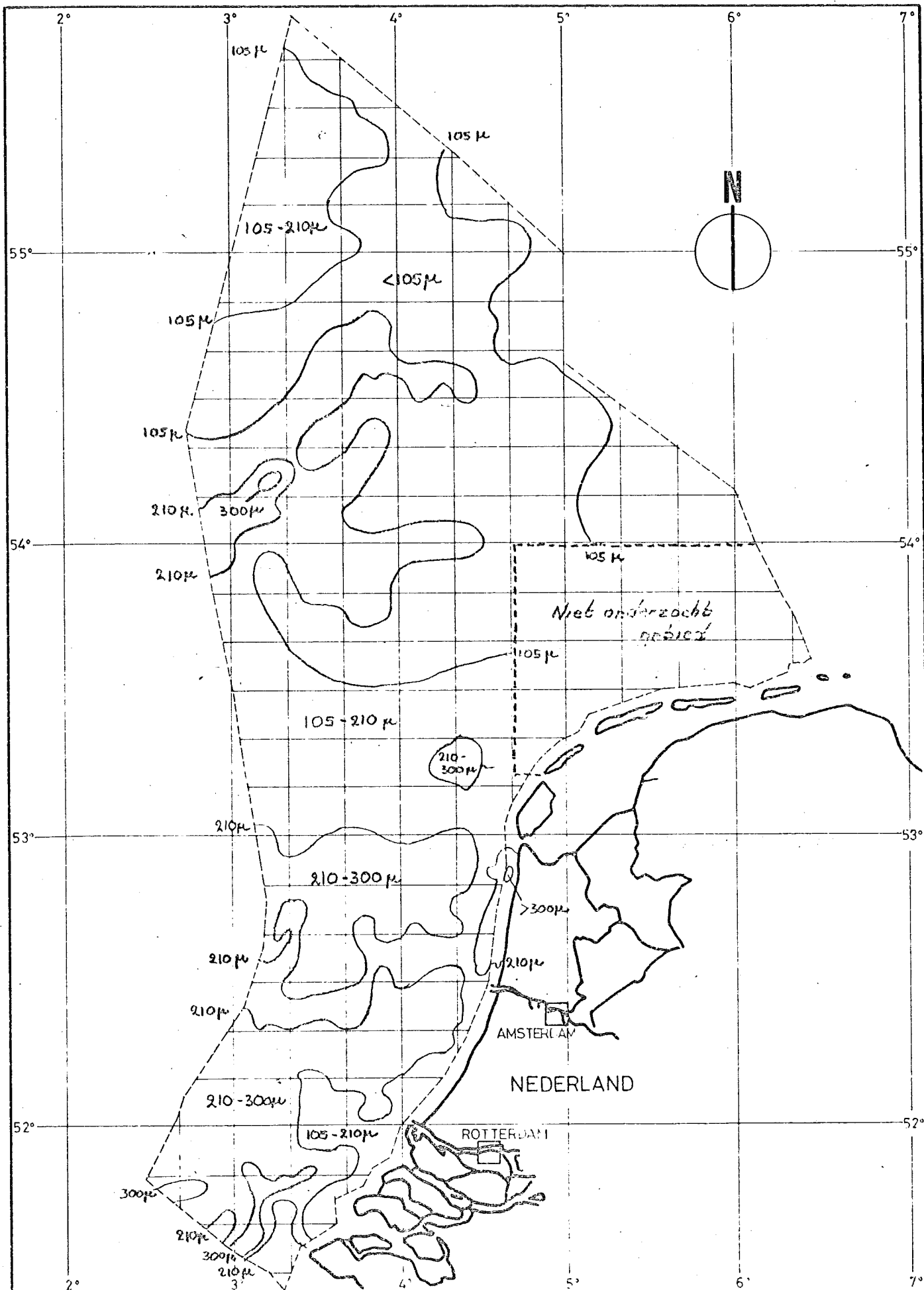
wind energie onderzoek

LAAGDIKTE DEKZAND
(DIKTE VAN MEER DAN 2 m ZIJN NIET VERDER ONDERVERDEELD)

datum:

schaal:

tek.no: 32



hydrodynamic
alledrecht holland

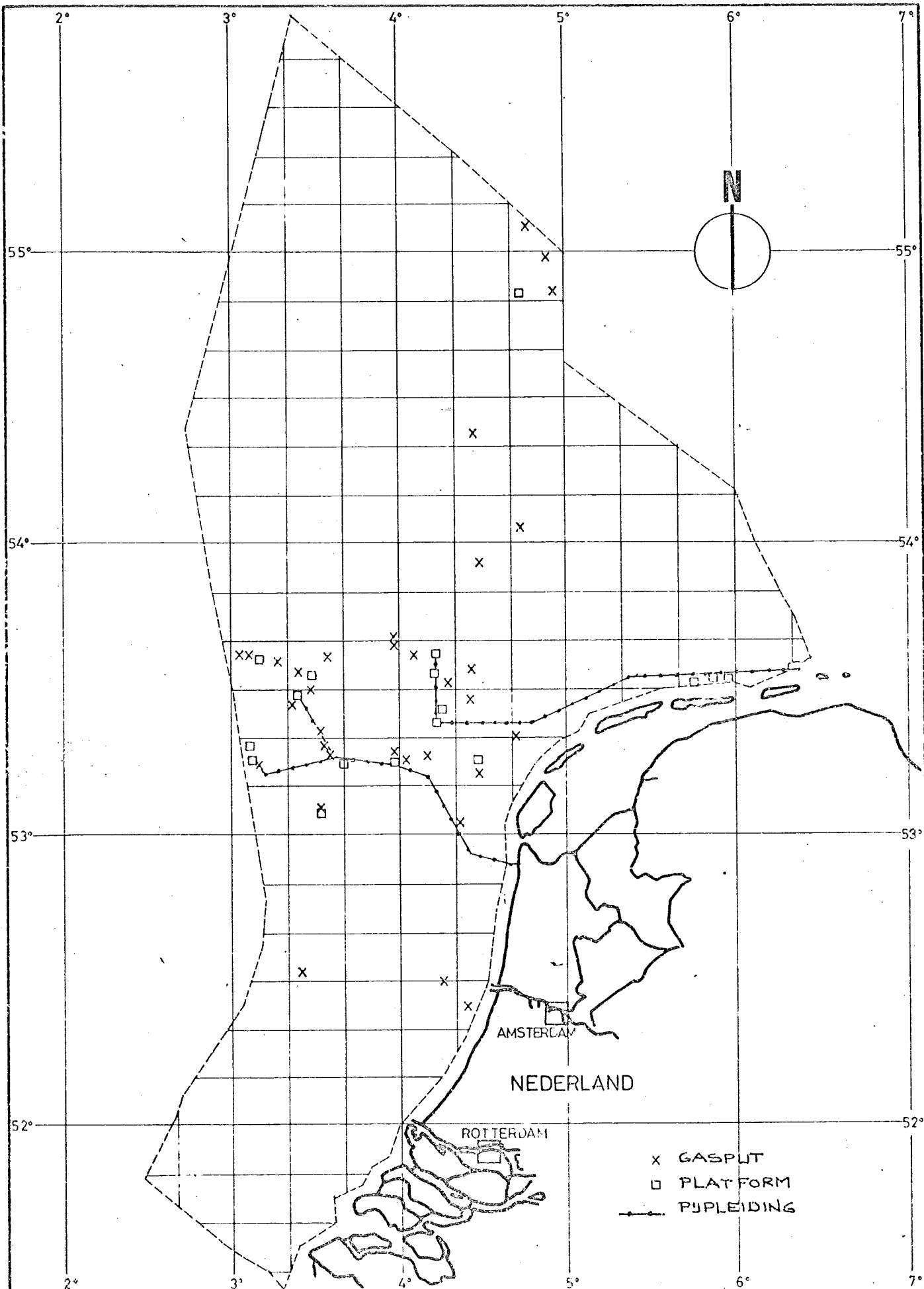
wind energie onderzoek

Korrelverdeling Nederlands continentale plat

datum:

schaal:

tek. no: 33



- x GASPIT
- PLATFORM
- PIPELEIDING



hydrodynamic
nederland holland

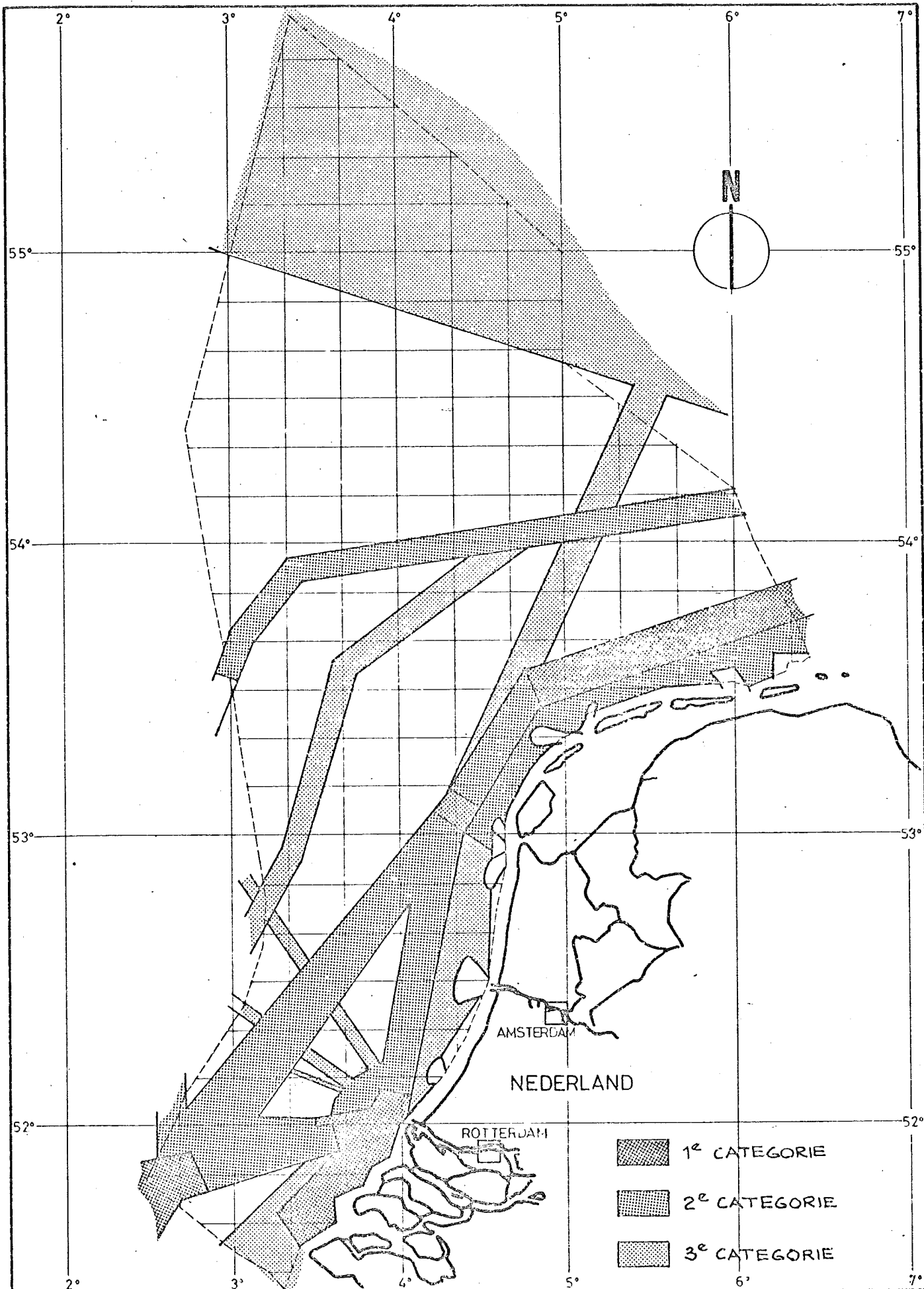
wind energie onderzoek

OFFSHORE MIJNBOW

datum:

schaal:

tek. no: 34



hydrodynamic
sliedrecht holland

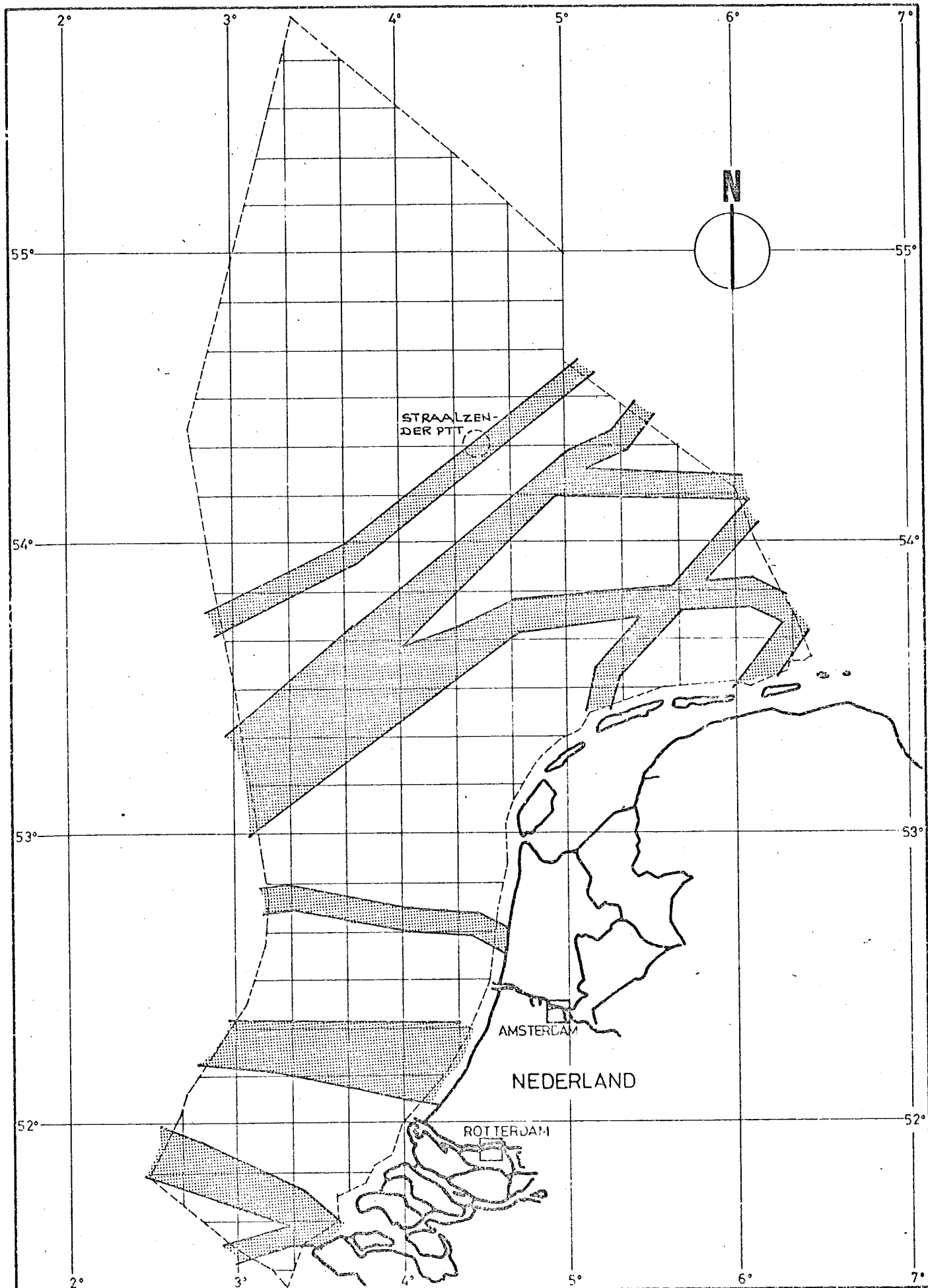
SCHEEPVAART

datum:

schaal:

tek. no: 35

wind energie onderzoek



hydonamic
stadrecht holland

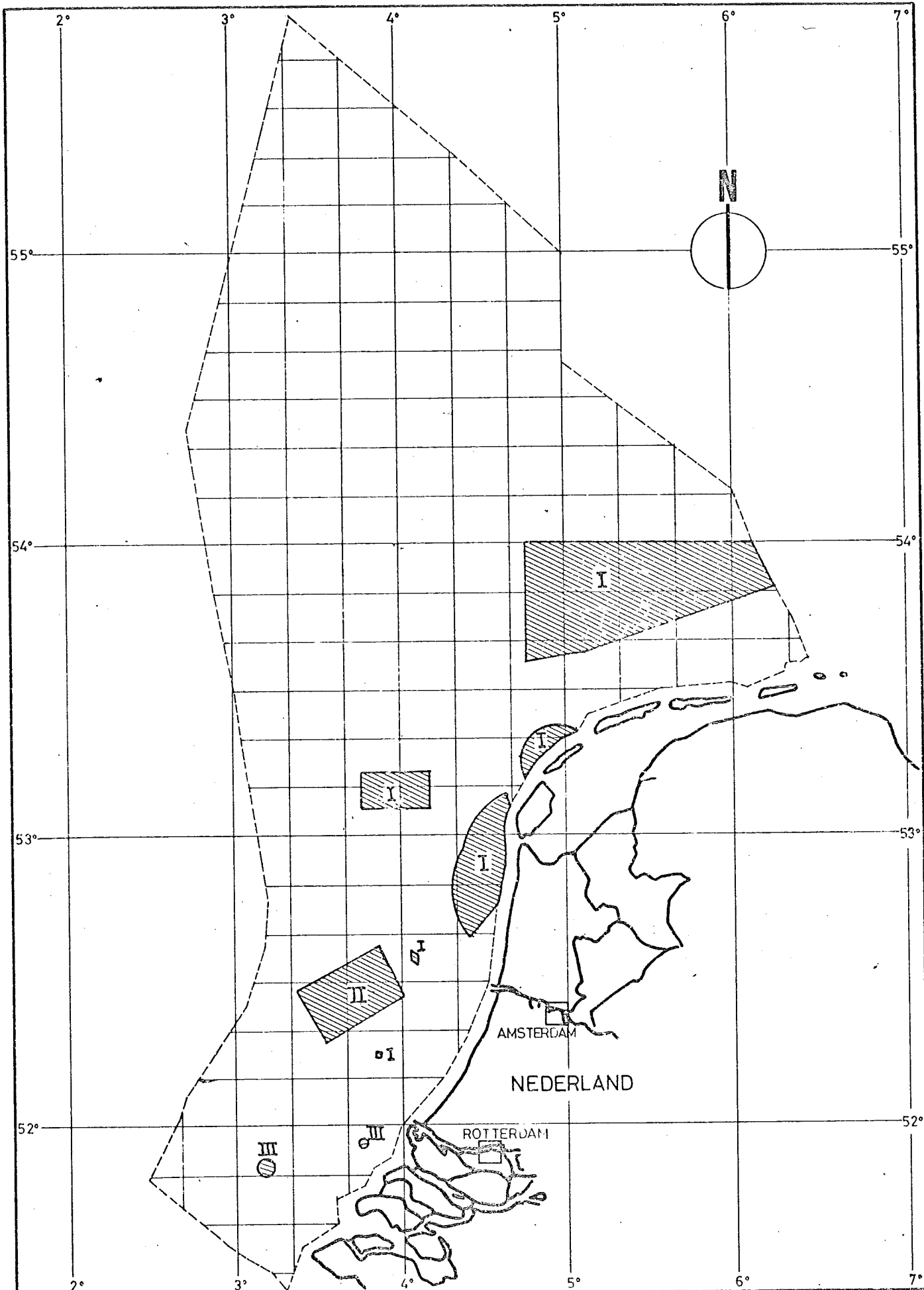
wind energie onderzoek

TELEFOONKABELS

datum:

schaal:

tek.no: 36



hydrodynamic
slidrecht holland

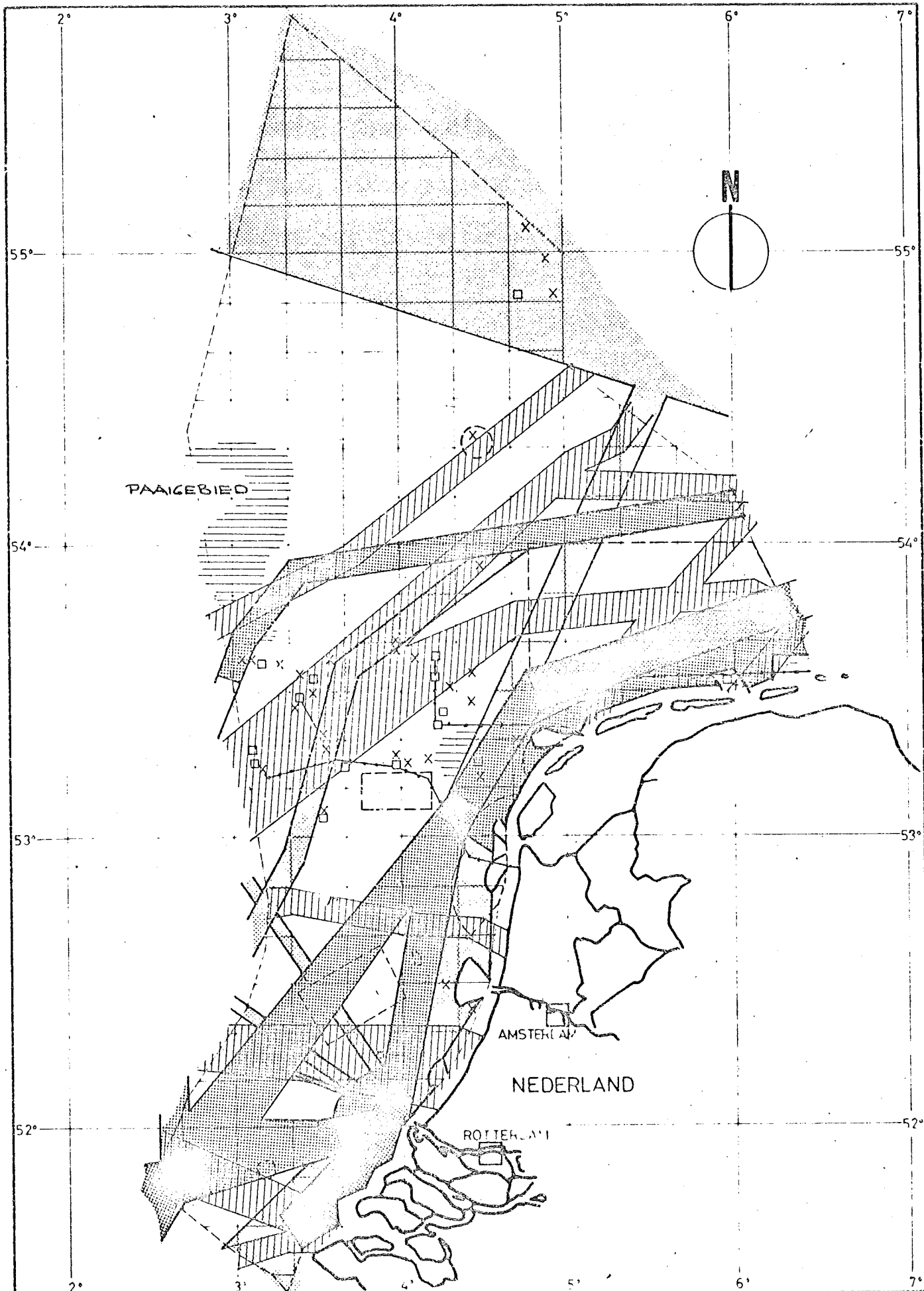
wind energie onderzoek

MILITAIRE GEBIEDEN

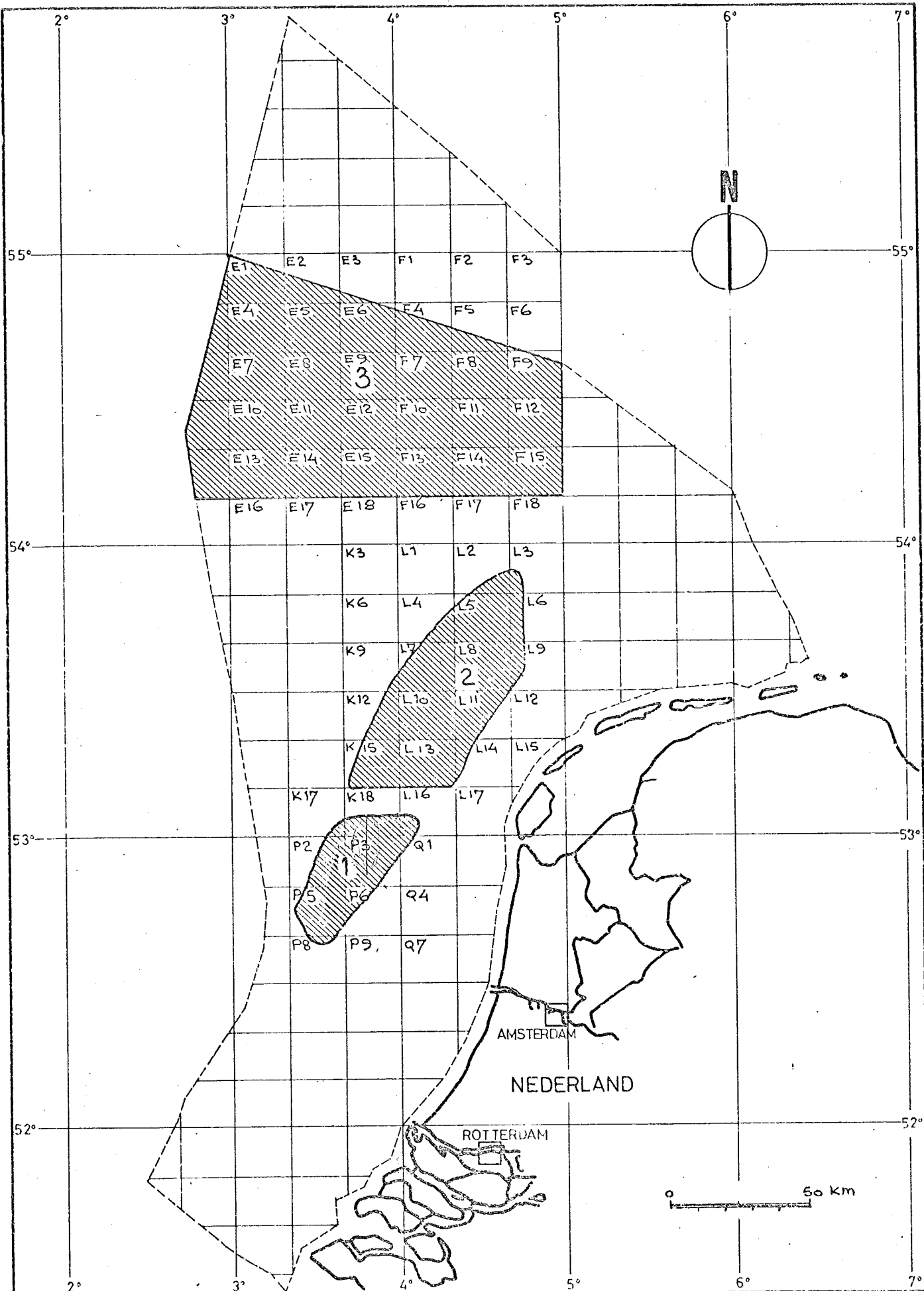
datum:

schaal:

tek.no: 37



hydoramic
sluizenrecht holland



hydrodynamic
sleedrecht holland

wind energie onderzoek

MOGELIJKE LOKATIEZONES VOOR EEN
WIND ENERGIECENTRALE

datum:

schaal:

tek. no: 39