

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT
DE BILT

VERSLAGEN

V-219

(R III 307-1969)

"Resultaten van een mesoklimatologisch onderzoek
naar de wijziging van het klimaat bij
het ontstaan van het Veerse Meer"

door

A. Denkema

De Bilt, 1969.

Publicatienummer: K.N.M.I. V 219-III (R III 307-1969)

Resultaten van een mesoklimatologisch onderzoek naar de
wijziging van het klimaat bij het ontstaan van het Veerse Meer.

door

A. Denkema

1. Doel van het onderzoek

De afsluiting van de Zandkreek vond plaats op 4 mei 1960 en die van het Veerse Gat op 27 april 1961, zodat het water van het aldus ontstane Veerse Meer sinds laatstgenoemde datum niet meer in open verbinding stond met de Noordzee.

Daar de "Werkcommissie voor het klimatologisch onderzoek in het Delta-gebied" eerst in de loop van 1961 uitvoering kon geven aan de door haar opgezette plannen van waarnemingen en onderzoekingen en zij de geboden kans om reeds bij het begin van alle activiteiten enig inzicht te verwerven omtrent mogelijke klimaatveranderingen als gevolg van de uitvoering van de Deltawerken niet wilde laten voorbijgaan, werd in december 1959 overgegaan tot de inrichting van een viertal bijzondere ¹⁾ klimatologische stations rond het toekomstige Veerse Meer, t.w. Veere, Wolphaartsdijk, Katse Veer en Wissenkerke. Het laatstgenoemde station kwam van 1 april 1962 af tevens als gewoon ¹⁾ klimatologisch station in gebruik.

Daar verwacht mocht worden dat enige klimaatwijziging van betekenis allereerst tot uitdrukking zou moeten komen in wijziging van de temperatuur van het afgesloten waterbekken en van de temperatuur van de lucht in de naaste omgeving en voorts, maar dan waarschijnlijk in veel mindere mate, in verandering van de luchtvochtigheid in de omgeving, werden alleen deze elementen in het meetprogramma opgenomen. De hierna volgende beschouwingen blijven evenwel beperkt tot die over de water- en luchttemperatuur.

2. Korte beschrijving van de bijzondere klimatologische stations

De geografische situatie van het Veerse Meer en de klimatologische stations is in fig. 1 weergegeven.

1) De termen "bijzonder klimatologisch station" en "gewoon klimatologisch station" worden hier gebruikt overeenkomstig de definitie gegeven door de WMO in de Technical Regulations van "climatological station for specific purposes" en "ordinary climatological station".

a. Veere

De waarnemingen te Veere, die verricht zijn in het tijdvak 13 januari 1960-31 december 1965, bestonden uit het driemaal daags aflezen van de droge- en nattebolthermometer (om 8.45, 14.45 en 19.45 uur M.E.T.) en de dagelijkse verzorging van een thermograaf en een hygrograaf. Ze werden uitgevoerd door personeel van Rijkswaterstaat. De instrumenten bevonden zich in een hut die op enkele meters van het sluisencomplex, vrij naar alle richtingen stond opgesteld.

b. Wolphaartsdijk

Te Wolphaartsdijk werd op 11 januari 1960 met dezelfde soort waarnemingen als te Veere een begin gemaakt door de heer G.Post, employé van de Provinciale Stoombootdienst. De instrumenten bevonden zich in een hut, die op de dijk nabij het Wolphaartsdijkse Veer, aan de Westzijde van het daar aanwezige hotel, maar voldoende vrij naar alle richtingen, stond opgesteld.

In verband met zijn werkzaamheden aan het veer kon de heer Post de waarnemingen niet langer dan 14 dagen verrichten; zijn taak werd overgenomen door de heer P. Verheule, kantonier bij Rijkswaterstaat, die de waarnemingen meestal liet doen door zijn dochter. Tevens werd de hut op de dijk ca 150 m in westelijke richting verplaatst. Na het huwelijk van mej.Verheule werden de waarnemingen in het tijdvak van 15 september 1964 - 31 december 1965 door haar moeder verzorgd.

c. Katse Veer

Met de waarnemingen van temperatuur en vochtigheid te Katse Veer op Noord-Beveland werd op 12 januari 1960 een begin gemaakt. Ze werden verricht door sluiswachters o.l.v. de hoofdsluiswachter A.P.Jobse (tot 1 november 1964) en J. Pals (na 1 november 1964). Tot 25 augustus 1960 was de hut opgesteld op ongeveer 200 m afstand van de dam in de Zandkreek; op deze datum werd, in verband met het in gebruik nemen van het sluiswachtershuisje door de waarnemers, de hut ca.50 m in zuidoostelijke richting verplaatst, op de rand van een opgehoogd terrein.

De waarnemingen werden per 31 december 1965 beëindigd.

d. Wissenkerke

Het station Wissenkerke werd 15 januari 1960 op het terrein van de heer Filius, landbouwer, ingericht. De waarnemingen, die door hem tot 26 maart 1962 zijn verricht, bestonden uit het driemaal daags aflezen van de droge- en de nattebolthermometer (om 8.45, 14.45 en 19.45 uur M.E.T.) en het dagelijks verzorgen van de thermograaf en de hygrograaf. Van 1 april 1962 af werden de metingen voortgezet op het terrein van de heer van der Maas, op korte afstand van het eerstgenoemde terrein gelegen en verricht door de heer P. de Schipper (tot 1 november 1965) en mevrouw P.K. de Nooyer-van der Maas (na 1 november 1965). De waarnemingen te Wissenkerke werden bovendien van 1 april 1962 af uitgebreid met de volgende metingen (waardoor het karakter van Wissenkerke als "bijzonder klimatologisch station" werd gewijzigd in dat van "gewoon klimatologisch station"):

minimumtemperatuur op 10 cm (boven zware zeelei, bedekt met gras), te 8.45, 14.45 en 19.45 uur;

grondtemperatuur op 5, 10 en 20 cm diepte te 8.45, 14.45 en 19.45 uur;

grondtemperatuur op 50 en 100 cm diepte te 14.45 uur;

hoeveelheid neerslag, af te tappen te 8.45, 14.45 en 19.45 uur;

hoeveelheid bewolking, te schatten te 8.45, 14.45 en 19.45 uur;

verdamping op 30 cm hoogte, te meten over het etmaal, dat te 8.45 uur eindigt;

verdamping op 1.50 m hoogte, te meten over het etmaal, dat te 8.45 uur eindigt (van 3 juli 1962 af).

3. Watertemperatuur

Zoals in par. 1 is opgemerkt, is het onderzoek naar de invloed van de afsluiting van de Zandkreek (in het vervolg te noemen afsluiting I) en die van het Veerse Gat (in het vervolg aan te duiden als afsluiting II) op het klimaat van de omliggende gebieden beperkt gebleven tot de invloed op de temperatuur van het water van het Veerse Meer en van de lucht in de omgeving. Watertemperaturen werden éénmaal daags opgenomen bij Veere en Wolphaartsdijk en tweemaal daags, nl. tijdens hoogwater en laagwater, bij Zierikzee, dat als referentiestation werd gekozen. De waarnemingen strekten zich uit over het tijdvak december 1959 - december 1964. Alleen van Zierikzee zijn ook vóór december 1959 gegevens van de watertemperatuur bekend. Door Zierikzee als referentiestation

te gebruiken, d.w.z. door de gemiddelde watertemperatuur van Veere en Wolphaartsdijk met die van Zierikzee te verminderen, meenden wij, een algemene trendinvloed van het klimaat te elimineren in de onderstelling, dat deze, indien hij al aanwezig zou zijn, gelijkelijk op alle stations zou werken.

In tabel 1 zijn opgenomen de gemiddelden van het verschil in watertemperatuur (berekend uit de één resp. tweemaal daagse waarnemingen) tussen resp. Veere en Zierikzee ($T_{ve} - T_{zi}$) en tussen Wolphaartsdijk en Zierikzee ($T_{wo} - T_{zi}$), en korthedshalve met relatieve watertemperatuur aangeduid, per zomer- en winterseizoen. Het zomerseizoen omvat de maanden juni, juli en augustus; het winterseizoen de maanden december, januari en februari. Voor de drie jaren 1962, 1963 en 1964 na afsluiting II werd een gemiddelde berekend, dat vergeleken kan worden met één volledig zomer- en winterseizoen er voor. In fig. 2 zijn de gegevens van tabel 1 in grafiek gezet.

Tabel 1

Gemiddelden van de (relatieve) watertemperatuur per seizoen

Seizoen	<u>zomer</u>	$T_{ve} - T_{zi}; ^\circ C$	$T_{wo} - T_{zi}; ^\circ C$	
1	1960	-0,1	+0,7	II afsluiting 27-4-'61
3	1961	+0,3	+0,9	overgangsjaar
5	1962	+0,6	+1,5	
7	1963	+1,0	+1,4	
9	1964	+0,7	+1,7	
gemidd. 1962/64		+0,8	+1,5	

Seizoen	<u>winter</u>			
0	1959/60	+0,2	-0,3	I afsluiting 4-5-'60
2	1960/61	+0,3	-1,2	II afsluiting 27-4-'61
4	1961/62	-0,5	-0,5	
6	1962/63	-0,1	+0,1 ¹⁾	
8	1963/64	-1,3	-1,2	
gemidd. 1961/64		-0,6	-0,5	

Het blijkt, dat het water zowel te Veere als te Wolphaartsdijk t.o.v. Zierikzee na de definitieve afsluiting op 27 april 1961 in de zomer duidelijk warmer is geworden (zie $-0,1 \rightarrow +0,8$ resp. $+0,7 \rightarrow +1,5$)

1) Waarde geschat; wegens ijsvorming te Wolphaartsdijk geen metingen mogelijk.

en in de winter, althans te Veere, kouder (zie $+0,2 \rightarrow -0,6$). De eerste zomer direct na de tweede afsluiting (d.i. zomer 1961) ligt a.h.w. in een "overgangsperiode". De gemiddelde watertemperatuur lijkt er op te wijzen, dat deze zich moest aanpassen bij de nieuwe situatie. ($+0,3$ tussen $-0,1$ en $+0,8$ en $+0,9$ tussen $+0,7$ en $+1,5$).

De winters te Wolphaartsdijk geven een minder duidelijk beeld te zien, tenzij men aanneemt, dat de winter 1960/61 (toen de Zandkreek reeds afgesloten was) bij de seizoenen van na afsluiting II geteld moet worden (dan zou een verandering van $-0,3 \rightarrow -0,7$ gelden, waarbij $-0,7$ het gemiddelde is van $-1,2$, $-0,5$, $+0,1$ en $-1,2$).

Samenvattend kan gezegd worden, dat de watertemperatuur te Veere en te Wolphaartsdijk 's zomers $0,5$ à 1°C gestegen is, en 's winters met $0,5$ à 1°C is gedaald, beide relatief t.o.v. Zierikzee, en beide in het gemiddelde.

4. Luchttemperatuur

Voor het verkrijgen van een eerste indruk van de invloed, die de afsluitingen I en II op de luchttemperatuur te Veere en Wolphaartsdijk zou hebben, werden uurwaarnemingen op deze stations met die van gelijktijdige metingen te Vlissingen verminderd (teneinde een algemene trend van het klimaat te elimineren, wederom in de onderstelling, dat deze, zo al aanwezig, gelijkelijk op alle stations zou werken) en per zomerseizoen resp. winterseizoen gemiddeld. De waarnemingen werden in twee groepen ondergebracht al naar gelang te Veere of Wolphaartsdijk de lucht wel of niet rechtstreeks over het Veerse Meer werd aangevoerd. Zulks geschiedde in de veronderstelling, dat de waarnemingen bij afluiddige wind niet beïnvloed zijn door de afsluiting. Te Veere werd een windrichting als aanlandig beschouwd, als de wind uit een van de richtingen NNW, N, NNE, NE, ENE, E of ESE waaide (en als afluiddige wind uit één van de overige windrichtingen) en te Wolphaartsdijk werd een windrichting als aanlandig beschouwd indien de wind uit één van de richtingen WNW, NW, NNW, N, NNE, NE, ENE waaide (en als afluiddige wind uit één van de overige richtingen) (zie fig.1).

De gebruikte windrichtingen waren de uurlijkse van het hoofdstation Vlissingen. Voorts werden, om redelijk zeker te zijn, dat de windrichting te Veere en Wolphaartsdijk overeenkwam met die te Vlissingen, alle uren met een windsnelheid $< 2,0$ m/s (Vlissingen), buiten beschouwing gelaten.

In tabel 2 zijn de gemiddelden van de relatieve luchttemperatuur per zomer- en winterseizoen opgenomen, terwijl deze waarden in fig. 3 in grafiek zijn gebracht.

Tabel 2

Gemiddelden van de relatieve luchttemperatuur per seizoen, bij aanlandige en afluandige wind (in °C)

Seizoen	zomer	aanlandig	afluandig	aanlandig	afluandig	
		$T_{ve} - T_{vl}$	$T_{ve} - T_{vl}$	$T_{wo} - T_{vl}$	$T_{wo} - T_{vl}$	
1	1960	-0,11	-0,27	-0,20	-0,36	II afsl.27-4-'61
3	1961	-0,01	-0,41	-0,07	-0,41	overgangsjaar
5	1962	-0,03	-0,12	+0,02	-0,07	
7	1963	-0,08	-0,27	+0,33	-0,11	
9	1964	+0,03	-0,11	-0,02	-0,12	
gemidd. 1962/64		-0,03	-0,16	+0,11	-0,10	

Seizoen winter

2	1960/61	-0,18	-0,26	-0,18	-0,24	afsl.27-4-'61
4	1961/62	-0,20	+0,09	-0,37	-0,18	
6	1962/63	-0,39	-0,15	-0,28	-0,67	
8	1963/64	-0,17	+0,04	-0,35	-0,21	
gemidd. 1961/64		-0,25	-0,01	-0,33	-0,35	

Voor zowel Veere als Wolphaartsdijk krijgt men de indruk, dat de luchttemperatuur (t.o.v. Vlissingen) in de zomer gestegen is, als wij haar voor en na afsluiting II beschouwen en wel voor Veere bij aanlandige winden iets minder dan bij afluandige winden (zie $-0,11 \rightarrow -0,03$ resp. $-0,27 \rightarrow -0,16^{\circ}\text{C}$) en voor Wolphaartsdijk bij aanlandige winden iets meer dan bij afluandige winden (resp. $-0,20 \rightarrow +0,11$ en $-0,36 \rightarrow -0,10^{\circ}\text{C}$), maar een duidelijk verschil in de stijging van de luchttemperatuur bij af- en aanlandige winden komt (in strijd met ons vermoeden) in de getallen niet tot uiting, noch bij Veere, noch bij Wolphaartsdijk; zie Veere: $0,08 = -0,03 - (-0,11)$ resp. $0,11^{\circ}\text{C} = -0,16 - (-0,27)$ en Wolphaartsdijk: $0,31 = +0,11 - (-0,20)$ resp. $0,26^{\circ}\text{C} = -0,10 - (-0,36)$. Het omgekeerde doet zich voor in de winter, althans bij Veere, d.w.z. bij aanlandige wind een daling en bij afluandige wind een stijging van de temperatuur (zie $-0,18 \rightarrow -0,25$ resp. $-0,26 \rightarrow -0,01$), waarbij alleen de daling overeenstemt met de verwachting. Voor Wolphaartsdijk is het

trekken van conclusies moeilijk in verband met het in par. 3 genoemde winterprobleem.

5. Toepassing van statistische toetsen

Teneinde van de in par. 4 gevonden verschillen de (statistische) realiteit aan te tonen, was het om statistisch-technische redenen wenselijk, van de gebruikte uurlijkse waarnemingen een zodanig gedeelte weg te laten, dat het resterende materiaal geacht kon worden uit onderling onafhankelijke waarnemingen te bestaan. Het is immers bekend, dat opvolgende uurlijkse waarnemingen te Veere en te Vlissingen een sterke persistentie (afhankelijkheid, autocorrelatie) vertonen, en dat deze afhankelijkheid ook geldt voor verschillen van synchrone, uurlijkse metingen op deze beide stations. Weliswaar vermindert het effect van deze persistentie enigszins door de uurlijkse waarnemingen bij afluiddige en die bij aanlandige winden afzonderlijk te beschouwen, maar in verband met de persistentie van de wind zelf, zal dit effect gering zijn. Daarom werd besloten, alleen voor de uren 02 en 14 frequentieverdelingen van het verschil $\Delta T \equiv T_{ve} - T_{vl}$ tussen de luchttemperatuur te Veere en die te Vlissingen te vervaardigen en wel afzonderlijk voor de vier klimatologische seizoenen (lente, zomer, herfst, winter) in het tijdvak 1960 t/m 1965, zowel voor afluiddige als voor aanlandige wind. Aldus werden (zie het overzicht in tabel 3) 2 (richtingen) x 2 (uren) x 27 (seizoenen) = 108 frequentieverdelingen verkregen, waarvan 24 stuks op onvolledige seizoenen betrekking hebben. Deze onvolledige seizoenen zijn de winters van 1959/60 en 1965/66 i.v.m. het ontbreken van resp. dec. 1959 en jan., febr. 1966 en de splitsing van de lente 1960 en 1961 in twee delen resp. voor en na de afsluitingen van Zandkreek en Veerse Gat. Noemen wij het tijdvak vóór de afsluiting I het tijdvak I, het tijdvak tussen de beide afsluitingen het tijdvak II en dat na de afsluiting II het tijdvak III.

We proberen nu eerst van de in tabel 3 vermelde frequentieverdelingen die frequentieverdelingen te combineren, waarvan de waarnemingen geacht kunnen worden uit identieke populaties afkomstig te zijn.

Daarbij stellen wij achtereenvolgens de vragen A, B, C, D en E.

A. Mogen de jaren verenigd worden?

A1. De jaren in tijdvak II.

Allereerst werd nagegaan, of de beide frequentieverdelingen van ΔT voor de twee onvolledige lentes 1960 (alleen mei 1960) en 1961

Tabel 3

Overzicht van de gebruikte frequentieverdelingen van T
voor Veere (1960-1965)

$$\Delta T = T_{\text{Veere}} - T_{\text{Vlissingen}}$$

aanlandige wind (1)

richting te Vlissingen

NNW, N, NNE, NE, ENE, E, ESE

windsnelheid ≥ 2 m/s

aflandige wind (2)

richting te Vlissingen

SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW

windsnelheid ≥ 2 m/s

	uur 02				uur 14				uur 02				uur 14				
	le	zo	he	wi	le	zo	he	wi	le	zo	he	wi	le	zo	he	wi	
1959/60				(x)				(x)				(x)				(x)	I
1960	(x)				(x)				(x)				(x)				4-5-'60
1960	(x)	x	x		(x)	x	x		(x)	x	x		(x)	x	x		II
1960/61				x				x				x				x	
1961	(x)				(x)				(x)				(x)				27-4-'61
1961	(x)	x	x		(x)	x	x		(x)	x	x		(x)	x	x		III
1961/62				x				x				x				x	
1962	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		
1962/63				x				x				x				x	
1963	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		
1963/64				x				x				x				x	
1964	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		
1964/65				x				x				x				x	
1965	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		
1965/66				(x)				(x)				(x)				(x)	

x = volledig seizoen

(x) = onvolledig seizoen

Totaal 108 frequentieverdelingen, waarvan 24 stuks op onvolledige seizoenen betrekking hebben.

(alleen maart en april 1961) in tijdvak II verenigd kunnen worden. In verband met het kleine aantal waarnemingen (dit geldt voor elk van de gevallen aanlandige wind, uur 02; aanlandige wind, uur 14; aflandige wind, uur 02; aflandige wind, uur 14) werd, om de nulhypothese H_0 (de verschillen ΔT in de "lente" 1960 en de "lente" 1961 zijn afkomstig uit eenzelfde populatie, zowel voor aanlandige als aflandige wind, en zowel voor 2 als voor 14 uur) te toetsen, de parameter vrije toets van Smirnov (zie par. 7.4) gekozen. Het resultaat was, dat H_0 in de laatste drie van de vier bovengenoemde gevallen niet verworpen kon worden (bij een significantiedrempel 0.05). Alleen in het eerste geval "aanlandige wind, uur 02" werd voor de toetsingsgrootte een overschrijdingskans tussen 0,01 en 0,05 gevonden; toch werden ook hier de beide frequentieverdelingen ongeacht de jaren samengevoegd, daar anders het aantal waarnemingen te gering zou zijn geworden voor verdere studies.

A2. De jaren in tijdvak III.

Hierna werd voor tijdvak III met de methode van de variantie-analyse onderzocht, of de frequentieverdelingen van ΔT , in eenzelfde seizoen, bij eenzelfde windgroep en voor eenzelfde uur, doch van verschillende jaren, bij elkaar gevoegd konden worden. Hierbij werd stilzwijgend verondersteld, dat aan de voorwaarden, waaronder de variantie-analyse toegepast kon worden, voldaan was. (deze zijn: de steekproeven komen uit normaal verdeelde populaties met gelijke varianties). De variantie-analyse toetst de gelijkheid der populatiegemiddelden. Het bleek dat in zes van de zestien onderzochte gevallen de nulhypothese H_0 luidende: "de vijf frequentieverdelingen hebben gelijke theoretische gemiddelden" verworpen moest worden (significantiedrempel 0.05) en dus, dat in deze zes gevallen de frequentieverdelingen niet voor alle jaren in statistische zin dezelfde geacht mogen worden. Niettemin werd, om het onderzoek niet te gecompliceerd te maken, besloten, voor verdere studies de betreffende frequentieverdelingen, per geval, tot één verdeling samen te voegen, d.w.z. tussen de jaren werd geen onderscheid meer gemaakt (deze zes gevallen zijn, genoteerd als tijdvak, wind, seizoen, uur: III, 1, le, 02; III, 1, he, 02; III, 1, wi, 02; III, 1, le, 14; III, 1, zo, 14; III, 2, wi, 02).

B. Mogen seizoenen verenigd worden?

De vraag, of de frequentieverdelingen van ΔT uit eenzelfde tijdvak, voor eenzelfde uur en in eenzelfde windgroep, toch uit verschillende seizoenen samengevoegd mochten worden, leverde verschillende antwoorden,

b.v. mogen le en zo van uur 02 wel samengevoegd worden, wat de landwind betreft, maar niet wat de zeewind betreft en evenmin voor uur 14 met landwind. Meer details blijven hier onvermeld in verband met vraag C.

C. Mogen de uren verenigd worden?

Bij de vraag, of frequentieverdelingen van ΔT , in eenzelfde seizoen of seizoenencombinatie, uit eenzelfde windgroep en eenzelfde tijdvak, doch van verschillende uren, verenigd mogen worden, werd toch om der wille van uniforme behandeling van niet gecombineerde seizoenen uitgegaan. Zo werd vergeleken III, 1, le, 02 met III, 1, le, 14 en III, 1, zo, 02 met III, 1, zo, 14 etc. Deze vraag (toepassing van de toets van Smirnov) kon in geen van de acht gevallen (tijdvak III) bevestigend beantwoord worden, m.a.w. de frequentieverdelingen van ΔT met betrekking tot de metingen van uur 02 zijn, ongeacht seizoen of windgroep, statistisch verschillend (significantiëdrempel 0.05) van die van uur 14. Hoewel dit niet onderzocht werd in I + II, mogen we aannemen, dat het resultaat dan hetzelfde geweest zou zijn.

D. Mogen de tijdvakken I, II en III verenigd worden?

D1. De afsluiting van de Zandkreek (tijdvak I tegenover tijdvak II)

Toegepast werd de toets van Wilcoxon (zie par. 7.2). De nulhypothese H_0 luidt: "de waarden van ΔT , betrekking hebbend op eenzelfde uur, op eenzelfde windgroep en op eenzelfde seizoen (nl. resp. lente en winter; zomer en herfst ontbreken in tijdvak I), maar van verschillende tijdvakken (nl. I en II) behoren tot eenzelfde populatie". We toetsen H_0 tweezijdig, daar van tevoren niet is in te zien (eb en vloed zullen nog volledig hun invloed doen gelden) of het effect van de afsluiting I, als H_0 verworpen dient te worden, een verhoging dan wel een verlaging van de temperatuur te Veere zal zijn. Uit de tweezijdige overschrijdingskansen P van de berekende toetsingsgrootheden

$$z = \frac{|w - \mu| - 0,5}{\sigma}$$

blijkt, dat H_0 in geen enkel geval verworpen behoeft te worden (significantiëdrempel 0.05). Zie tabel 4.

Tabel 4

Overzicht van de uitkomsten voor Veere verkregen met de toets van Wilcoxon.

aanlandige wind (1)				aflandige wind (2)			
uur 02		uur 14		uur 02		uur 14	
le	wi	le	wi	le	wi	le	wi
P=0,96	0,61	0,10	0,11	0,47	0,71	0,99	0,40

Conclusie: Een effect van de eerste afsluiting, 4 mei 1960, is niet aantoonbaar (bij "effect" wordt voornamelijk aan een niveauverschuiving van de temperatuur gedacht, daar de toets van Wilcoxon vooral niveau-gevoelig is).

D2. De afsluiting van het Veerse Gat (tijdvakken I + II tegenover tijdvak III)

Om de "statistische realiteit" van het effect van de tweede afsluiting (27 april 1961) te onderzoeken, werd voor het toetsen van de hypothesen H_0 : "de waarden van ΔT , betrekking hebbende op eenzelfde uur, op eenzelfde windgroep en op eenzelfde seizoen, maar op verschillende tijdvakken (nl. I + II en III) behoren tot éézelfde populatie" gebruik gemaakt van de toets van Student voor 2 steekproeven (zie par. 7.3), waarbij s_x^2 en s_y^2 in de beide steekproeven schattingen zijn van de populatievarianties σ_x^2 en σ_y^2 met òf $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$, òf $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ (in beide gevallen werd verondersteld, zoals al eerder vermeld, dat de populaties normaal verdeeld zijn).

In tegenstelling tot de hypothesen in D1, die tweezijdig getoetst zijn, is H_0 nu steeds eenzijdig getoetst, omdat beredeneerd kan worden, dat het effect van afsluiting 2, àls H_0 verworpen moet worden, zal resulteren in een verlaging resp. een verhoging van de luchttemperatuur te Veere.

De waarden van de gebruikte toetsingsgrootheid $t_2 = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \sqrt{\frac{mn(m+n-2)}{m+n}}$,

waarin m = aantal waarnemingen in tijdvak I + II

n = aantal waarnemingen in tijdvak III

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{m}, \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$S_1^2 = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_2^2 = \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2,$$

met hun eenzijdige overschrijdingskansen P , zijn in tabel 5 samengevat.

Tabel 5

Veere. Overzicht van de uitkomsten verkregen met de toets van Student.

		aanlandige wind				aflandige wind											
		uur 02		uur 14		uur 02		uur 14									
		le	zo	he	wi	le	zo	he	wi								
t_2		+1,65	-0,08	-0,09	+0,48	+2,08	+0,76	+2,19	+0,26	+0,09	-1,55	-1,14	-2,09	+0,90	+1,74	-0,57	-1,65
P		0,05	0,47	0,46	0,32	<u>0,02</u>	0,22	<u>0,015</u>	0,40	0,46	0,07	0,14	<u>0,02</u>	0,18	<u>0,04</u>	0,28	0,05

We zien hieruit, dat slechts in vier van de zestien gevallen een (statistisch) significant verschil tussen de gemiddelden $\overline{\Delta T}$ der verdelingen van ΔT vóór en na de afsluiting van het Veerse Gat aangetoond kan worden, nl.

in de lente bij aanlandige wind

in de zomer bij afluandige wind te 14 uur

in de herfst bij aanlandige wind

en in de winter bij afluandige wind, te 2 uur,

d.i. een landafwaarts effect 's zomers enkel 's middags

en 's winters enkel 's nachts

en een landaanwaarts effect in de lente en in de herfst enkel 's middags.

In D3 zal blijken, hoe gering deze effecten niettemin zijn, al zijn ze statistisch significant, zodat men zich kan afvragen, of deze verschillen enige praktische betekenis hebben.

D3. Grootte der effecten (punt- en intervallschattingen)

In tabel 6 zijn de gemiddelden $\overline{\Delta T}$ van de ΔT 's in tijdvak I en II resp. in tijdvak III samengevat (zie eveneens fig.4), met het 95% betrouwbaarheidsinterval van het verschil tussen de gemiddelden dezer tijdvakken.

E. Mogen waarnemingen bij afluandige- en aanlandige wind verenigd worden?

Een laatste vraag betrof het verschil tussen de gemiddelden der frequentieverdelingen van de ΔT 's van eenzelfde uur en in eenzelfde seizoen, doch van de twee verschillende windgroepen. Slechts in twee van de onderzochte gevallen kon de statistische realiteit van dit verschil niet aangetoond worden (toepassing toets van Smirnov), nl. in de winter bij de metingen van 2 uur (betroft tijdvak III, niet I en II) en in de herfst (slechts het jaar 1960) bij de metingen van 14 uur; korthedshalve: III, -, wi, 02 en II, -, he, 14. Onze conclusie luidt dan ook:

De effecten van afluandige en aanlandige wind op de luchttemperatuur zijn doorgaans verschillend.

6. Samenvatting der conclusies

De watertemperatuur te Veere en die te Wolphaartsdijk bleek, t.o.v. Zierikzee na de afsluiting van de Zandkreek en het Veerse Gat, 's zomers 0,5 à 1,0°C hoger te zijn en 's winters 0,5 à 1,0°C lager, althans in het gemiddelde. Het onderzoek van het verschil in luchttemperatuur $\Delta T = T_{\text{Veere}} - T_{\text{Vlissingen}}$ leidde tot de volgende conclusies:

1. een effect van de afsluiting van de Zandkreek is niet aantoonbaar;
2. nòch de uren 02 en 14, nòch de seizoenen, nòch de twee windgroepen aan- en afluandig mag men verenigen; m.a.w. er is een dagelijkse gang, een jaarlijkse gang en een effect van windrichting;
3. voor zover de afsluiting van het Veerse Gat en dus het ontstaan van het Veerse Meer een aantoonbaar "effect" op de gemiddelde relatieve temperatuur sorteert, is dat alleen in de lente en in de herfst bij aanlandige wind en in de zomer bij afluandige wind het geval en wel alleen 's middags (14 uur); voorts in de winter bij afluandige wind, alleen 's nachts (2 uur).

De "effecten" impliceren in de eerste drie gevallen verwarmingen: in het eerste geval van positieve $\overline{\Delta T}$ naar meer positieve $\overline{\Delta T}$, in het tweede geval van negatief naar positief, in het derde geval van negatieve $\overline{\Delta T}$ naar minder negatieve $\overline{\Delta T}$; in de winter is het effect een afkoeling: $\overline{\Delta T}$ van negatief naar meer negatief. Het gaat echter om gemiddelde verwarmingen, resp. afkoelingen, van een fractie van een graad (0,2 à 0,4°C). Bij deze uitkomsten zij opgemerkt dat uit de geringheid van de gemeten gemiddelde verandering der luchttemperatuur niet de conclusie mag worden getrokken dat in het overige deel van het Deltagebied het effect ook slechts gering kan zijn. Het Veerse Gat en de Zandkreek zijn slechts smalle wateren vergeleken bij de overige zeearmen die zullen worden afgesloten. De wegen welke de lucht over het water kan afleggen zijn in die gevallen doorgaans veel groter dan in het hierbetrokken geval.

Aan dit verslag werd medewerking verleend door Dr.L.J.L. Deij,
Dr. H. ten Kate en Dr.C. Levert.

Tabel 6

Overzicht van de uitkomsten voor Veere

Tabel 6a	Aanlandige wind (1)						Aflandige wind (2)						
	le	zo	he	wi	le	wi	le	zo	he	wi	le	wi	
Seizoen	02	14	02	14	02	14	02	14	02	14	02	14	
N = aantal Δ 's in periode I+II (of II alleen)	71	77	67	67	66	83	82	80	72	20	23	25	30
ΔT	-0.30	+0.70	-0.68	+0.12	-0.81	-0.09	+0.24	+0.09	-0.19	+0.44	-0.93	-0.02	+0.02
N = aantal Δ 's in periode III	231	239	304	332	285	292	222	158	156	116	113	160	148
ΔT	-0.10	+1.08	-0.69	+0.22	-0.82	+0.13	+0.27	+0.10	-0.02	+0.16	-0.49	-0.32	-0.06
Vershil* III - (I+II)	+0.20	+0.38	-0.01	+0.10	-0.01	+0.22	+0.03	+0.01	+0.17	-0.28	+0.44	-0.30	-0.08
95% betr.inter- val v/h verschil (tweezijdig)	-0.04	+0.06	-0.25	-0.16	-0.24	+0.08	-0.20	-0.20	-0.23	-0.64	+0.03	-0.71	-0.36
idem (éénzijdig)	+0.44	+0.70	+0.23	+0.36	+0.22	+0.36	+0.26	+0.22	+0.57	+0.08	+0.85	+0.11	+0.20
	{	+0.38			+0.22					+0.44		-0.23	
		+0.64			+0.33					+0.78		-0.41	

Tabel 6b

Tabel 6b	jaar			jaar		
	02	14	02+14	02	14	02+14
Uur	287	292	579	150	150	300
N (in I+II)	-0.52	+0.26	-0.13	+0.09	-0.24	-0.08
ΔT	1038	1085	2123	582	570	1152
N (in III)	-0.51	+0.40	-0.05	-0.10	-0.17	-0.14
ΔT	+0.01	+0.14	+0.08	-0.19	+0.07	-0.06
Vershil III-(I+II)						

* De onderstreepte verschillen in tabel 6a zijn, behoudens een onbetrouwbaarheid van 0,05, zowel bij éénzijdige, als tweezijdige toetsing significant van 0 verschillend; de niet onderstreepte zijn dit noch bij éénzijdige, noch bij tweezijdige toetsing. De tweezijdige 95% betr. intervallen liggen symmetrisch rondom ΔT , de eenzijdige liggen aan één zijde van ΔT .

7. Appendix. Beschrijving van enkele statistische toetsen

Voor hen, die minder vertrouwd zijn met diverse begrippen uit de wiskundige statistiek, moge hiervan, voor zover ze in de vorige paragrafen gebruikt zijn, een korte toelichting (die niet beoogt volledig te zijn) volgen.

7.1 Het toetsen van hypothesen in het algemeen.

Bij een toetsingsprobleem wil men, op basis van de waarnemingen in een steekproef, onderzoeken (toetsen), welke van enkele onderstellingen (hypothesen) juist geacht kan worden. Dit probleem kan men oplossen door middel van de statistische toetsingstheorie. Deze theorie komt in het kort op het volgende neer.

De te toetsen veronderstelling (nulhypothese, H_0 , genoemd) kan b.v. inhouden, dat de onbekende parameter θ in de x -kansverdeling $F(x) = P(x \leq x)$ de waarde θ_0 heeft; wij schrijven $H_0 : \theta = \theta_0$. Zij T een functie van de waarnemingen in een steekproef x_1, x_2, \dots, x_n , waarmee men H_0 wil toetsen (d.w.z. waarmee men wil uitmaken, of H_0 waar is of niet). T heet daarom de toetsingsgrootte en men schrijft $T = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Door T te onderstrepen, geven we aan, dat onder H_0 deze T een kansverdeling volgt, aangeduid met $\Phi(T) = P(\underline{T} \leq T | H_0)$.

In het gebied van waarden, die T kan aannemen, wordt een deelgebied Z afgebakend, waarin, als H_0 geldt, de T met kans α (bv. 0,05) terecht kan komen. Dit gebied kan men berekenen, als $\Phi(T)$ bekend is (wat lang niet altijd het geval is bij ingewikkelde T 's en "moeilijke" F 's). In het overblijvende gebied Z^1 valt T , onder H_0 , met kans $1 - \alpha$.

Valt de berekende T in Z , dan verworpt men H_0 ; daarom heet Z het verwerpingsgebied (ook wel de kritieke zone); α heet de significantiëdrempel (ook onbetrouwbaarheidsdrempel genoemd).

Valt T in Z^1 , dan wordt H_0 niet verworpen (aanvaard): Z^1 heet het aanvaardingsgebied. Aldus verworpt men in 100% der gevallen ten onrechte de H_0 (d.w.z. terwijl H_0 waar is) en in 100 (1 - α)% aanvaardt men terecht de H_0 (d.i. terwijl H_0 waar is). De significantiëdrempel heet de kans op een fout van de eerste soort. (een α -fout). Men zal allicht α klein kiezen (bij de meeste onderzoeken is $\alpha = 0,05$). Als echter H_0 onjuist is en een andere (alternatieve) hypothese H_1 is waar, zou het aanvaarden van H_0 ook een fout zijn. Deze fout heet een fout van de tweede soort. (een β -fout); de kans daarop heet β , zodat $1 - \beta$ de kans voorstelt op terecht verwerpen

van H_0 (d.i. als H_0 onjuist is). Hoe kleiner men α neemt, hoe groter β wordt. Natuurlijk neemt men $1 - \beta$ groot, b.v. 0,99. Men noemt $1 - \beta$ het onderscheidingsvermogen of de macht van de toets t.o.v. de alternatieve hypothese, omdat $1 - \beta$ de kans is, een "onderscheid" te maken tussen H_0 en H_1 , als H_0 en H_1 werkelijk verschillen.

Overzichtelijk samengenomen

De beslissing luidt:	H_0 is juist; H_1 niet	H_1 is juist; H_0 niet
H_0 niet verwerpen (aanvaarden)	juiste beslissing (kans $1 - \alpha$)	onjuiste beslissing (kans β) β -fout
H_0 verwerpen	onjuiste beslissing α -fout (kans α)	juiste beslissing (kans $1 - \beta$)

Nu behoeft statistische significantie niet identiek met practische significantie te zijn. Zo hebben we in de vorige paragrafen een aantal gevallen ontmoet, waarbij H_0 verworpen dient te worden en het gevonden verschil tussen de gemiddelden $\overline{\Delta T}$ van de frequentieverdelingen van ΔT in de tijdvakken I + II en III statistisch significant was. Het is echter zeer de vraag, of deze statistische significantie enige praktische betekenis heeft. Is men echter in staat, om vooraf aan te geven, welk verschil men praktisch van betekenis acht, dan kan men het feit benutten, dat $1 - \beta$ een functie van de steekproefomvang n_1 en n_2 (aantal waarnemingen resp. vóór en na een zekere ingreep, waarvan men een zeker effect verwacht) is, en vooraf het aantal waarnemingen te bepalen, nodig om een gegeven onderscheidingsvermogen te bereiken. Dit aspect is overigens bij het onderhavige project geen punt van studie geweest.

7.2 De toets van Wilcoxon

Deze toets kan worden toegepast, als men de nulhypothese (H_0) wil toetsen, dat twee aselechte steekproeven afkomstig zijn uit populaties met dezelfde verdeling. De toets is voornamelijk gevoelig voor verschillen in niveau van de vergeleken verdelingen. De twee steekproeven zijn x_1, \dots, x_m en y_1, \dots, y_n . Zij A het aantal paren x_u, y_v met $x_u > y_v$ en B het aantal paren x_u, y_v met $x_u = y_v$; $u = 1, 2 \dots m$; $v = 1, 2 \dots n$. De toetsingsgrootte van Wilcoxon is $w = A + \frac{1}{2}B$. Onder H_0 is

$$E(w) = \mu = \frac{1}{2} m n \quad \text{en} \quad \sigma^2 = \frac{m n (m+n+1)}{12}$$

12

Mits m en n niet te klein zijn, en niet te veel verschillen, is \underline{T} bij benadering normaal verdeeld met gemiddelde μ en standaardafwijking σ .

Daar de afstand tussen de opvolgende waarden van T gelijk aan 1 is, dient de aan te brengen continuïteitscorrectie $\frac{1}{2}$ te bedragen. Bij gebruik van de normale benadering berekent men dus

$z = \frac{|w - \mu| - \frac{1}{2}}{\sigma}$ en de dubbelzijdige overschrijdingskans $P_D(z)$ bij tweezijdige toetsing

of $z = \frac{(w - \mu) + \frac{1}{2}}{\sigma}$ en de linkse overschrijdingskans $P_L(z)$ bij linkse-eenzijdige toetsing

of $z = \frac{(w - \mu) - \frac{1}{2}}{\sigma}$ en de rechtse overschrijdingskans $P_R(z)$ bij rechts-eenzijdige toetsing.

H_0 wordt verworpen, indien de gevonden overschrijdingskans kleiner is dan α , de vooraf gekozen onbetrouwbaarheidsdrempel.

Als er (veel) gelijken zijn, vermindert men σ^2 met de term

$$C = \frac{m n}{12(m+n)(m+n-1)} \sum_{i=1}^k (t_i^3 - t_i)$$

waarin de t_i 's de uitgebreidheden der k groepen gelijke waarnemingen in de beide steekproeven tezamen voorstellen; zonder "gelijken" is $C = 0$.

Hieruit blijkt, dat het berekenen van deze correctieterm achterwege kan blijven, als H_0 al verworpen wordt, zonder dat de correctie op σ^2 voor gelijke waarnemingen in rekening is gebracht.

7.3 De toets van Student

Is $x_1, x_2 \dots x_m$ één steekproef uit een normale verdeling met gemiddelde μ en variantie σ^2 , en wenst men de hypothese $H_0: \mu = \mu_0$ te toetsen, dan berekent men $t_1 = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{m}$ (met $\bar{x} = \frac{1}{m} \sum x_i$ en $s^2 =$

$\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2$ en zoekt in een daarvoor geschikte tabel, in de regel met $v = m - 1$ ($v =$ aantal vrijheidsgraden), de kansen op, waar t_1 tussen ligt. Aan de kop van de desbetreffende kolommen vindt men dan de twee grenzen waar de tweezijdige overschrijdingskans tussen ligt (de eenzijdige overschrijdingskans vindt men door deze 2 grenzen te halveren). Is de aldus opgezochte overschrijdingskans $\leq \alpha$, dan wordt met de voorafgekozen onbetrouwbaarheidsdrempel α de H_0 verworpen (t_1 is de "toetsingsgrootheid").

Zijn $x_1, x_2 \dots x_m$ en $y_1, y_2 \dots y_n$ twee onafhankelijke steekproeven uit twee normale verdelingen met μ_1 resp. μ_2 als populatiegemiddelden en gelijke varianties σ^2 , en wenst men de hypothese

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta$$

te toetsen, dan berekent men de toetsingsgrootheid

$$t_2 = \frac{\bar{x} - \bar{y} - \delta}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \sqrt{\frac{m n (m+n-2)}{m+n}},$$

waarin $S_1^2 = \sum(x_1 - \bar{x})^2$ en $S_2^2 = \sum(y - \bar{y})^2$, en gaat verder te werk als in het geval van 1 steekproef, met $v = m + n - 2$.

De toets van Student is vrij robuust t.a.v. de beide genoemde voorwaarden (normaal verdeeld zijn en gelijke varianties der beide steekproeven) d.w.z. ook als aan deze voorwaarden "in niet te sterke mate niet voldaan" is, mag men de toets van Student nog wel toepassen.

7.4 De toets van Smirnov

Deze toets wordt gebruikt, om de hypothese H_0 te toetsen, dat twee steekproeven uit populaties met dezelfde verdeling (i.c. met gelijke gemiddelden) afkomstig zijn. De uitvoering van de toets verloopt op de volgende wijze.

a. Noteer eerst elk der twee steekproeven in volgorde van toenemende grootte: x_1, x_2, \dots, x_m en y_1, y_2, \dots, y_n . Bereken voor lopende t de fracties $F_x(t) = \frac{u}{m}$ en $F_y(t) = \frac{v}{n}$, waarbij $x_u \leq t < x_{u+1}$ en $y_v \leq t < y_{v+1}$; verder $F_x(t) = 0$ als $t < x_1$; $F_x(t) = 1$ als $t \geq x_m$; $F_y(t) = 0$ als $t < y_1$, en $F_y(t) = 1$ als $t \geq y_n$; $F_x(t) = P(\underline{x} \leq t)$ en $F_y(t) = P(\underline{y} \leq t)$, zie par. 7.1.

b. Zij $D_0 = \max |F_x(t) - F_y(t)|$. Deze D_0 is de toetsingsgrootte.

Onder H_0 is de kans op $D_0 > \lambda \sqrt{\frac{1}{m+n}}$ voor grote m en n asymptotisch gelijk aan

$$L(\lambda) = 2 \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j-1} e^{-2j^2 \lambda^2}$$

$$= 2 \left[e^{-2 \cdot 1^2 \lambda^2} - e^{-2 \cdot 2^2 \lambda^2} + e^{-2 \cdot 3^2 \lambda^2} - e^{-2 \cdot 4^2 \lambda^2} + \dots \right]$$

Er zijn tabellen, waarin men bij gegeven λ de waarde van $L(\lambda)$ kan opzoeken en omgekeerd; kiest men $L(\lambda) = 0,05$, dan is $\lambda = 1,36$.

Men zal dus, bij een onbetrouwbaarheidsdrempel 0,05, de H_0 verwerpen, als de gevonden $D_0 > 1,36 \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n}}$ is; daarin is $1,36 = \sqrt{-\frac{1}{2} \lg\left(\frac{0,05}{2}\right)}$.

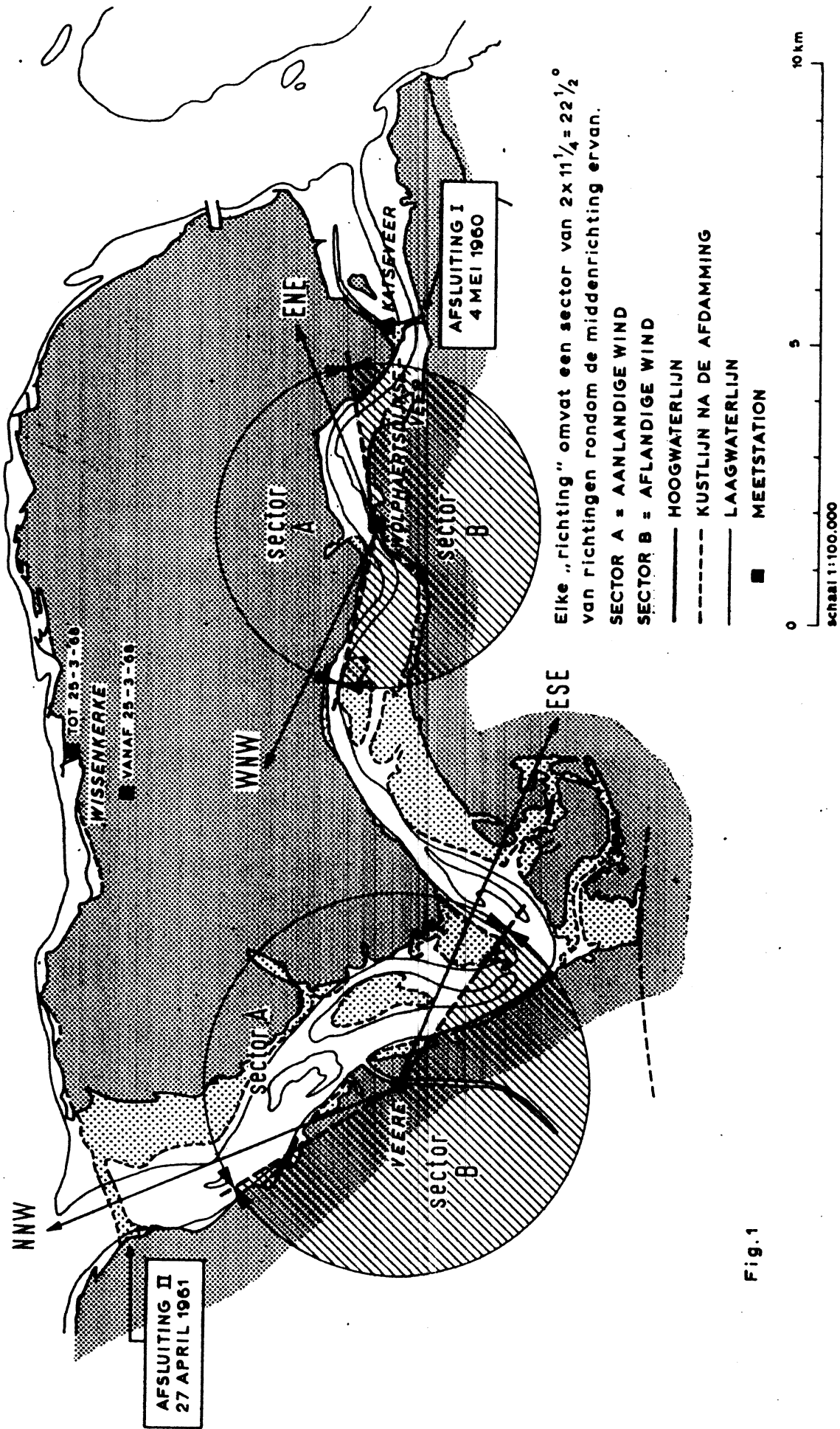


Fig.1

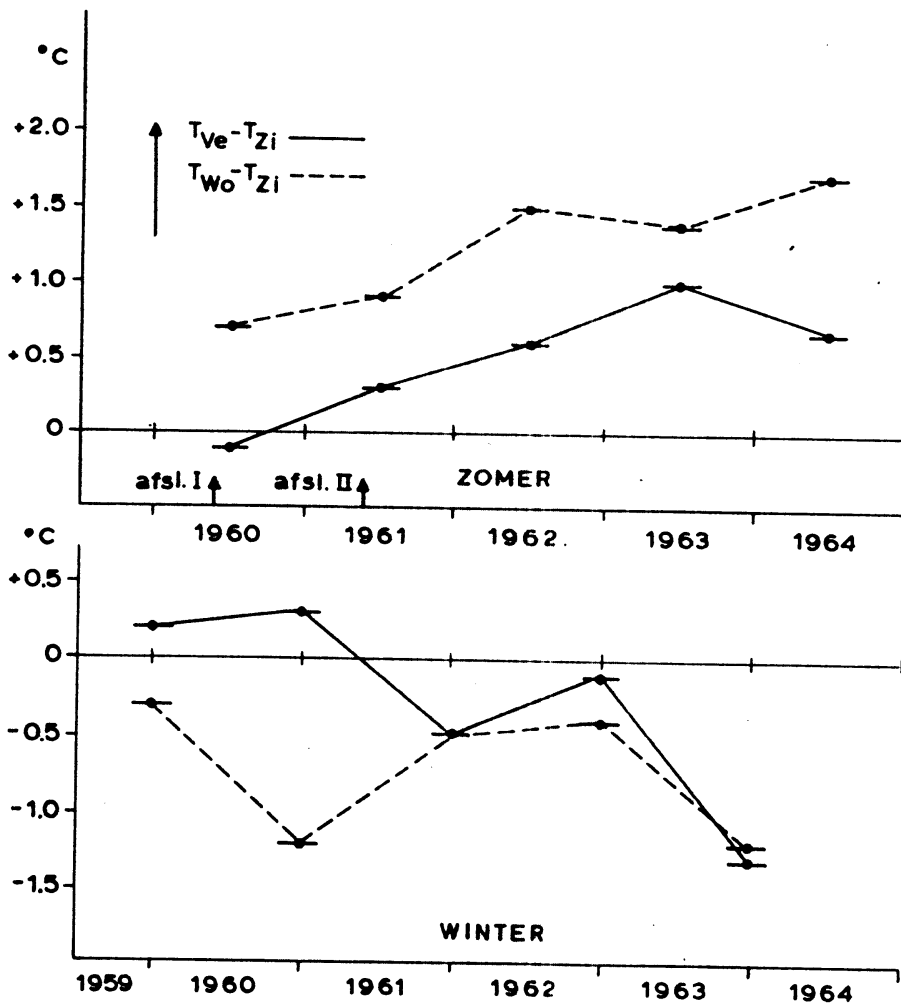


Fig. 2 Gemiddeld verschil in watertemperatuur

Tussen Veere en Zierikzee

Tussen Wolphaartsdijk en Zierikzee

—●—
- -●- -

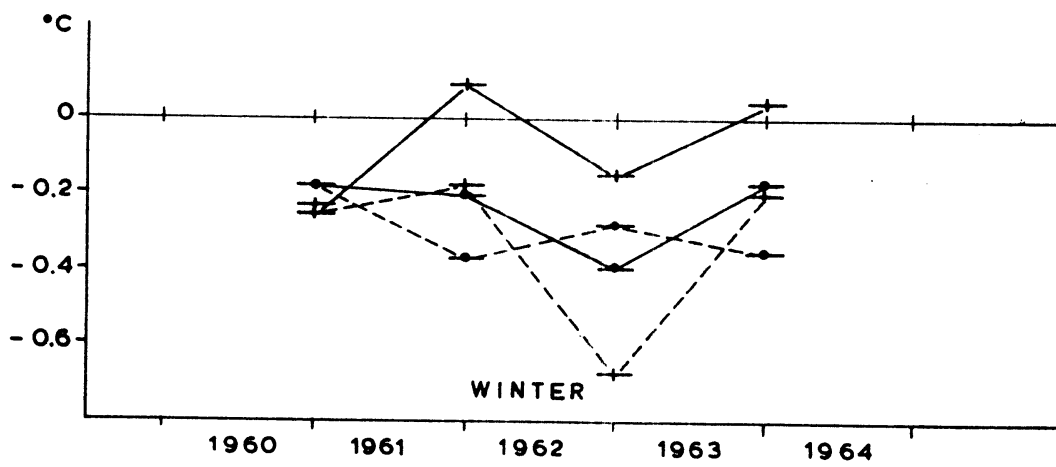
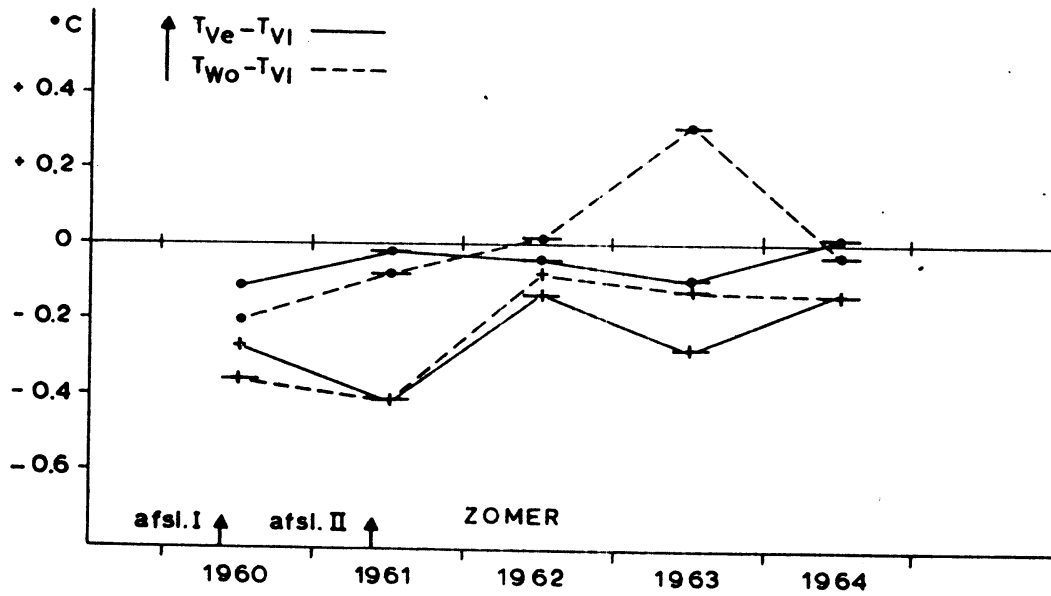


Fig. 3 Gemiddeld verschil in luchttemperatuur
 Tussen Veere en Vlissingen bij aanlandige wind ●—●
 " " " " " " " " aflandige wind +—+
 Tussen Wolphaartsdijk en Vlissingen bij aanlandige wind ●- - -●
 " " " " " " " " aflandige wind + - - -+

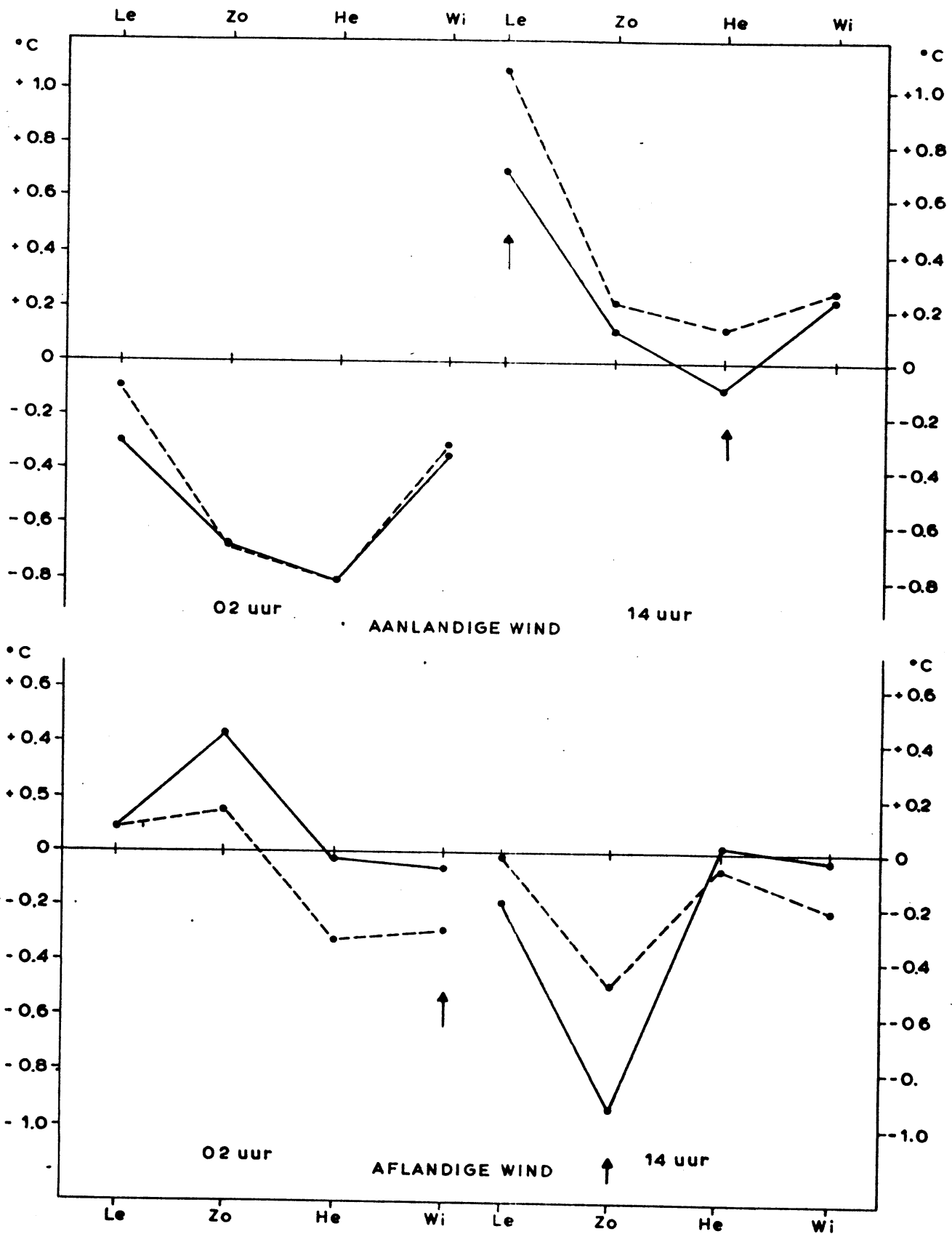


Fig. 4

- Gemiddelden van ΔT in tijdvak I+II ($\Delta T \equiv T_{\text{veere}} - T_{\text{vliissingen}}$)
- - -•- - - Gemiddelden van ΔT in tijdvak III.
- ↑ Significant verschil tussen $\overline{\Delta T}$ (tijdvak I+II) en $\overline{\Delta T}$ (tijdvak III)