

ONDERZOEK NAAR DE ACHTERGRONDTEMPERATUUR VAN HET WAD
TER HOOGTE VAN DE EEMSCENTRALEArjen E. Ronner^{*)}

1. INLEIDING EN SAMENVATTING

In het begin van de zeventiger jaren is bij de Eemshaven de Eemscentrale gebouwd, een gasgestookte electriciteitscentrale. Deze loost haar koelwater op het Wad. De invloed van dit koelwater op het Eems-Dollardestuarium wordt gemeten door middel van frequente temperatuurbepalingen op diverse plaatsen. Eén van de meetpunten bevindt zich aan de Emshornpaal, gelegen op ca 6 kilometer ten noordwesten van de centrale. Dit meetpunt wordt als een geschikte plaats beschouwd ter vaststelling van de zogenaamde achtergrondtemperatuur, d.w.z. die watertemperatuur die zou heersen als de centrale er niet was. In de winter evenwel heeft de Emshornpaal veel te lijden van ijsgang en is weken buiten gebruik. In de zomer wordt de temperatuur bij de paal sterk beïnvloed door relatief warm water dat van nabijgelegen platen stroomt. De bedrijfseconomische vraag doet zich nu voor of dit betrekkelijk kostbare meetpunt niet vervangen kan worden door een dichter bij de centrale gelegen punt. Als alternatief komt een meetpunt in aanmerking dat zich bij de "inlaat" van koelwater bevindt op 2 kilometer ten noorden van de "uitlaat". De vrees bestaat echter dat en gevolg van recirculatie het geloosde koelwater de temperatuur bij de inlaat beïnvloedt, zodat de "inlaat" geen geschikt

^{*)} Adres: Interfaculteit Econometrie, Rijksuniversiteit Groningen, Postbus 800, 9700 AV Groningen. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat-Delfzijl. Voor het computerwerk is dank verschuldigd aan de heren R. Brilhuis (RWS) en G.H. Kuper (IAE).

meetpunt zou zijn ter bepaling van de achtergrondtemperatuur.

In deze studie hebben we geconstateerd dat er significante verschillen bestaan tussen de temperaturen gemeten bij respectievelijk de Emshornpaal en de "inlaat". Het blijkt evenwel dat het getij de belangrijkste verklaring vormt voor deze temperatuurverschillen. Als we de invloed van het getij elimineren dan blijkt dat de werking van de centrale geen invloed heeft op de "voor het getij gezuiverde verschillen". De Emshornpaal is o.i. niet noodzakelijk ter bepaling van de achtergrondtemperatuur en kan wat dat betreft vervangen worden door het meetpunt bij de "inlaat".

2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

Sinds mei 1979 zijn per uur temperatuurmetingen uitgevoerd van het ingelaten water van de Eemscentrale en van het water bij de Emshornpaal. Het is bekend dat zich op het Wad op een vast tijdstip temperatuurverschillen voordoen. Deze verschillen kunnen enerzijds veroorzaakt worden door factoren, zoals de getijwerking en seizoeninvloeden, die los staan van menselijke activiteiten. Anderzijds kan menselijk handelen van invloed zijn op de temperatuurverschillen, waarbij we in dit verband denken aan het lozen van koelwater van de Eemscentrale op het Wad. Het doel van dit onderzoek is de beide temperatuurreksen te vergelijken en de verschilreeks te analyseren. We zijn daarbij als volgt te werk gegaan. In de eerste plaats hebben we uit de beschikbare meetgegevens een systematische steekproef getrokken omdat integrale verwerking van de gegevens te tijdrovend werd geacht. Via de methode van Box en Jenkins hebben we bij de steekproefgegevens een "seizoenmodel" aangepast, dat op bevredigende wijze de temperatuurverschillen tussen de Emshornpaal en de inlaat verklaart uit een getijinvloed en vertragingen. Het idee is dat het aldus geschatte model die temperatuurverschillen beschrijft, die niet afhankelijk zijn van het motorvermogen van de Eemscentrale, maar alleen het gevolg zijn van periodieke patronen zoals de getijwerking en eventuele vertragingen. De waargenomen temperatuurverschillen en

de via Box-Jenkins geschatte reeks laten afwijkingen zien die we hetzij als toeval kunnen beschouwen, hetzij kunnen verklaren uit b.v. het motorvermogen. Deze reeks van afwijkingen zullen we voor het getij gezuiverde verschillen noemen. Als (naast het getij- en vertragingseffect) het motorvermogen een belangrijke verklarende is voor de waargenomen temperatuurverschillen, dan kunnen we verwachten dat het voor het getij gezuiverde verschil tussen de Emshornpaaltemperatuur en de inlaattemperatuur afneemt als het motorvermogen toeneemt, omdat de inlaat zich dichterbij de uitlaat bevindt dan de Emshornpaal.

3. DE GEGEVENS EN HET TIJDREEKSMODEL

Met uitzondering van met name de perioden augustus en oktober 1981, waarin de centrale niet heeft gewerkt, zijn gegevens beschikbaar per uur. Deze gegevens zijn echter slechts op protocollen vastgelegd, zodat ze niet direct bruikbaar zijn voor computerverwerking. We hebben derhalve besloten een systematische steekproef te nemen die voldoende snel verwerkt kan worden en die voldoende groot is om seizoen- en getijinvloeden te reproduceren. We hebben over een periode van twee weken de urengegevens geanalyseerd en geconstateerd dat de fluctuaties per dag gering waren. Derhalve hebben we gebruik gemaakt van één meting per dag. Om een getijinvloed te achterhalen, hebben we een vast meettijdstip (22.00 uur) gekozen. Dit tijdstip correspondeert niet met een bepaald vast motorvermogen van de centrale over de waarnemingsperiode.

Aanvankelijk lag het in de bedoeling de verschilreeks te bestuderen en te toetsen of deze "significant van nul verschilde". We waren ons bewust van de tijdsafhankelijkheid van de gegevens en we waren van plan Wilcoxon's toets voor afhankelijke variabelen toe te passen. Echter, toen we de verschilreeks hadden "geplot", bleek een zeer duidelijke cyclische component op te treden, die het gebruik van Wilcoxon's toets niet rechtvaardigde. Veel meer lag het voor de hand deze cyclische component te achterhalen en we hebben dat via

de methode van Box-Jenkins gedaan.

De steekproefgegevens staan afgebeeld in de figuren 1,2,3 en 4, waarbij met name figuur 3 van belang is. In deze figuur staat de verschilreeks V_t afgebeeld, waarbij

$$V_t = E_t - I_t,$$

met

I_t = inlaattemperatuur van de Eemscentrale in graden Celsius op tijdstip t .

E_t = gemeten watertemperatuur bij de Emshornpaal in graden Celsius op tijdstip t .

Figuur 3 toont een duidelijk patroon voor de zomermaanden, waarbij V_t positief is, d.w.z. de inlaattemperatuur is lager dan de Emshornpaaltemperatuur. We concluderen hieruit dat voor de zomermaanden de Emshornpaal geen goed meetpunt is voor de zogenaamde achtergrondtemperatuur. Zoals al gezegd in de inleiding, stroomt dan relatief warm water van de zandplaten langs de Emshornpaal. Laten we de zomer buiten beschouwing, dan kunnen we voor het eerste gedeelte van de reeks, 1 oktober 1980 t/m 30 juni 1981 een tijdreeksmodel gaan aanpassen.

We hebben eerst in het kort de "outliers" corresponderend met 11,12 en 24 mei en 7 juni apart bekeken. We vonden dat voor 11 en 12 mei de luchttemperatuur relatief hoog (ca 26°) was. De waarneming van 24 mei correspondeerde met een thermoshock, die nodig was om mosselaanslag te verwijderen bij de Eemscentrale, terwijl voor de outlier van 7 juni niet direct een bevredigende verklaring kon worden gevonden. Verder ontbraken de waarnemingen voor 8 mei en 28 juni.

Nadat de "outliers en missing data" vervangen zijn door het gemiddelde van twee omliggende waarden, hebben we via Box-Jenkins een "seizoenmodel" aangepast, dat twee essentiële kenmerken bezit. In de eerste plaats vinden we een getijeffect omdat V_t sterk afhangt van V_{t-15} . Het opnemen van een AR(15) term leidt tot een schatting van vrijwel 1 voor de AR(15) coëfficiënt. We hebben derhalve het getijeffect beschreven door de verschilreeks $V_t - V_{t-15}$ te analyseren. Verder zien we

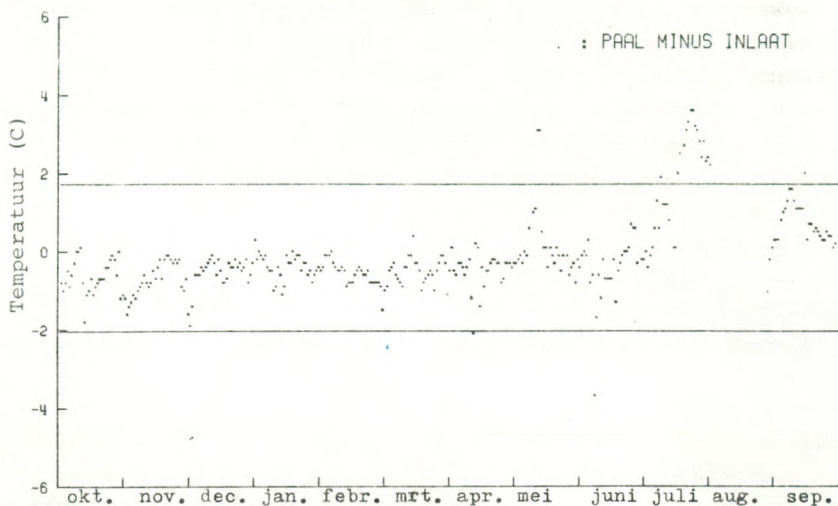
Figuur 1. De watertemperatuur in graden Celsius bij de Ems-hornpaal, dagelijks gemeten om 22.00 uur in de periode 1 oktober 1980 t/m 31 september 1981 (E_t).



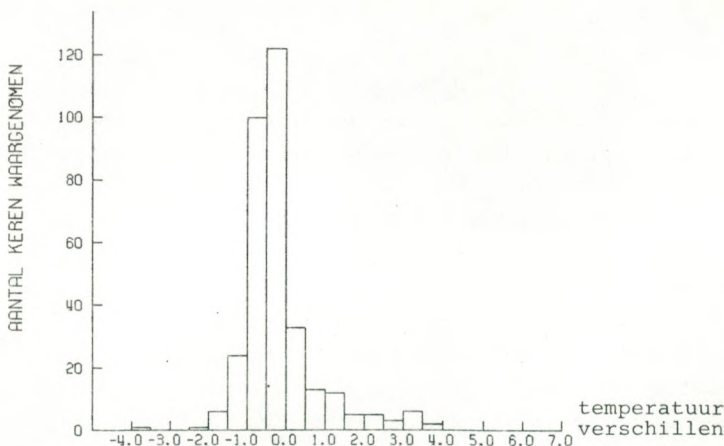
Figuur 2. De watertemperatuur in graden Celsius bij de inlaat van de Eemscentrale, dagelijks gemeten om 22.00 uur in de periode 1 oktober 1980 t/m 31 september 1981 (I_t).



Figuur 3. Het verschil in graden Celsius tussen de reeksen E_t en I_t , dagelijks gemeten om 22.00 uur in de periode 1 oktober 1980 t/m 31 september 1981 (V_t). De lijnen geven 2σ -grenzen weer.



Figuur 4. Frequentieverdeling van de temperatuurverschillen V_t , dagelijks gemeten om 22.00 uur in de periode 1 oktober 1980 t/m 31 september 1981.



Het gemiddelde bedraagt -0.16°C en de standaarddeviatie 0.94°C .

een vertragingseffect optreden. De gedetailleerde specificatie is vermeld in bijlage 1.

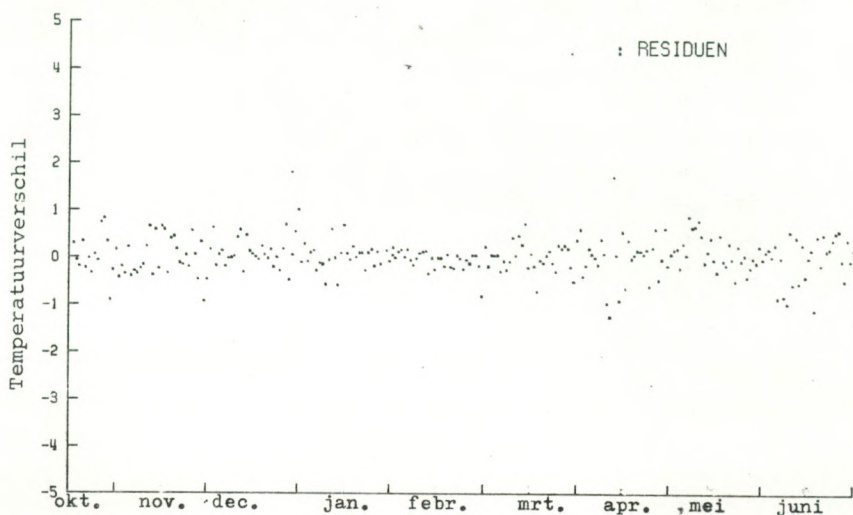
De getijperiode van 15 dagen houdt in dat de verschilreeks V_t voor een belangrijk deel verklaard wordt uit de getijcyclus en - zie bijlage 1 - wel zo dat toppen in de V_t -reeks corresponderen met hoog water en dalen in de V_t -reeks met laag water. Daarnaast treden nog vertragingen van een periode op. Figuur 5 bevat de confrontatie van de steekproefgegevens (V_t) met de corresponderende geschatte reeks ($\hat{V}_t$).

Uit de geschatte verschillen $\hat{V}_t$ en de actuele verschillen V_t is de reeks $\hat{R}_t = V_t - \hat{V}_t$ te berekenen - zie figuur 6 - die we opvatten als de verschilreeks, gezuiverd voor het getijeffect. Zoals uit bijlage 1 blijkt kan met hoge mate van waarschijnlijkheid de nulhypothese niet verworpen worden dat deze reeks toeval, "witte ruis" is. Nochtans hebben we deze $\hat{R}_t$ -reeks geconfronteerd met de reeks van het beschikbare motorvermogen. Uit figuur 7 en de bijgevoegde toelichting blijkt dat de gemiddelde $\hat{R}_t$'s bij de diverse klassen voor het motorvermogen niet afnemen. Dit betekent dat we het niet aannemelijk achten dat een toename van het motorvermogen leidt tot verlaging van het gezuiverde verschil tussen de Emshornpaaltemperatuur en de inlaattemperatuur.

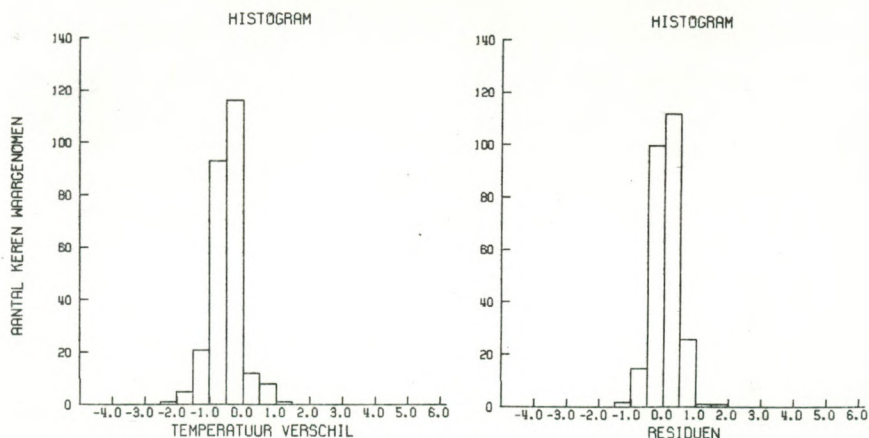
4. CONCLUSIES

1. De frequentieverdeling van de verschillen V_t tussen de Emshornpaal en de inlaat van de Eemscentrale voor de periode 1 oktober 1980 t/m 31 september 1981 heeft een gemiddelde van -0.16°C en een standaarddeviatie van 0.94°C . Daarnaast is 60.36% van de waarnemingen groter dan -0.5°C (zie figuur 4).
2. De steekproefuitkomsten laten een duidelijk verschil tussen de zomermaanden en de overige maanden zien. Waarschijnlijk ligt in de zomermaanden de temperatuur bij de Emshornpaal relatief hoog door opwarming van water op nabij gelegen zandplaten. Voor de zomermaanden is de Emshornpaal derhalve geen goed meetpunt voor de "achtergrondtemperatuur".
3. Gedurende de periode 1 oktober 1980 t/m 30 juni 1981 laat

Figuur 5. De verschilreeks $\hat{V}_t - V_t$ voor de periode 17 oktober 1980 t/m 31 juni 1981.



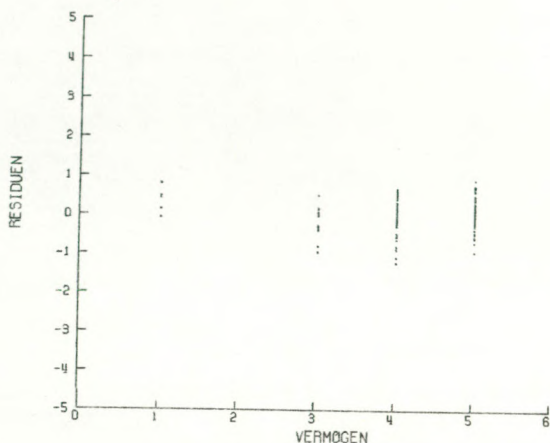
Figuur 6. Frequentieverdeling van de reeks V_t (6a) en de reeks $R_t = V_t - \hat{V}_t$ (6b) over de periode 17 oktober 1980 t/m 30 juni 1981.



Het gemiddelde bedraagt -0.45°C
en de standaarddeviatie 0.46°C

Het gemiddelde bedraagt 0.03°C
en de standaarddeviatie 0.38°C

Figuur 7. Het verband tussen het motorvermogen (M)* en de voor het getij gezuiverde verschilreeks over de periode 1 januari 1981 t/m 30 juni 1981.



*) Het motorvermogen is als volgt geclassificeerd

klasse motorvermogen in MW over de periode 9.00 t/m 22.00 u.

1	0
2	0 -< 150 MW
3	150 -< 300 MW
4	300 -< 450 MW
5	450 -< 600 MW (maximum vermogen)

Per klasse vinden we de volgende gemiddelden en standaarddeviaties.

klasse	gemiddelde temperatuur van de gezuiverde verschilreeks	standaarddeviatie
1	0.35	0.30
2	-0.18	0.39
3	0.04	0.43
4	0.01	0.31

het verschil V_t tussen de Emshornpaaltemperatuur E_t en de inlaattemperatuur van de Eemscentrale I_t zich bevredigend door een tijdreeksmodel met een getijcomponent van 15 dagen beschrijven.

4. Het getijeffect houdt in dat hoog water correspondeert met hoge $V_t = E_t - I_t$ waarden, en laag water correspondeert met lage $V_t = E_t - I_t$ waarden.

5. De geschatte residuen van het tijdreeksmodel hebben een steekproefgemiddelde van 0.03°C en een standaarddeviatie van 0.38°C . Van deze voor het getij gezuiverde residuen is 93.39% groter dan -0.5°C (zie figuur 6b).

6. De confrontatie van de voor het getij gezuiverde residuen en het motorvermogen van de Eemscentrale leidt niet tot de conclusie dat het lozen van koelwater van de Eemscentrale de temperatuurverschillen tussen de Emshornpaal en de inlaat van de Eemscentrale verklaart. Figuur 7 toont een fluctuerend patroon voor het gemiddelde residu bij toenemend motorvermogen.

7. De Emshornpaal is niet nodig als meetpunt ter bepaling van de achtergrondtemperatuur en kan voor dat doel vervangen worden door het meetpunt bij de inlaat van de Eemscentrale.

Bijlage 1. Het Box-Jenkins model voor de temperatuurverschillen V_t over de periode oktober 1980 t/m juni 1981.

De autocorrelaties van de V_t -reeks, zie Tabel B1, blijken langzaam uit te dampen, totdat bij de 15e autocorrelatie de uitslagen weer toenemen.

Tabel B1. Autocorrelaties van de V_t -reeks gebaseerd op 273 waarnemingen met tussen haakjes de standaarddeviaties.

01 - 09	.64 (.06)	.48 (.08)	.42 (.09)	.29 (.10)	.21 (.10)	.10 (.10)	.09 (.10)	.04 (.10)	.03 (.10)
10 - 18	.04 (.10)	.04 (.10)	.07 (.10)	.01 (.10)	.02 (.10)	.09 (.10)	.06 (.10)	.10 (.10)	.10 (.10)
19 - 27	.08 (.11)	.08 (.11)	.09 (.11)	.09 (.11)	.08 (.11)	.07 (.11)	.05 (.11)	-.01 (.11)	-.01 (.11)
28 - 30	-.03 (.11)	-.04 (.11)	-.02 (.11)						

Ook de partiële autocorrelaties vertonen een aanvankelijke damping, maar slaan uit bij 15, zie Tabel B2. We hebben derhalve een 15e differentie toegepast die geïnterpreteerd kan worden als een getijddifferentie.

Tabel B2. Partiële autocorrelaties van de V_t -reeks gebaseerd op 273 waarnemingen.

01 - 11	.64	.12	.12	-.07	-.02	-.11	.09	-.05	.06	-.00	.04
12 - 22	.04	-.09	.02	.13	-.04	.08	-.02	-.02	.01	-.04	.01
23 - 30	.03	-.01	-.01	-.10	.01	-.01	.01	.02			

In het volgende zullen we de Box-Jenkins symbolen B, ∇, ∇_s gebruiken die resp. gedefinieerd zijn door

$$BV_t := V_{t-1}$$

$$\nabla V_t := (1-B)V_t = V_t - V_{t-1}$$

$$\nabla_s V_t := (1-B^s)V_t = V_t - V_{t-s}$$

In tabel B3 staan de autocorrelaties van de reeks

$\nabla_{15}V_t = V_t - V_{t-15}$ afgebeeld.

Tabel B3. Autocorrelaties van de $\nabla_{15}V_t$ -reeks gebaseerd op 258 waarnemingen met tussen haakjes de standaarddeviaties.

01 - 09	.66 (.06)	.48 (.09)	.39 (.10)	.27 (.10)	.18 (.10)	.05 (.10)	.03 (.10)	-.05 (.10)	-.06 (.11)
10 - 18	-.12 (.11)	-.11 (.11)	-.13 (.11)	-.20 (.11)	-.26 (.11)	-.37 (.11)	-.19 (.12)	-.11 (.12)	-.08 (.12)
19 - 27	-.04 (.12)	-.02 (.12)	.04 (.12)	.04 (.12)	.04 (.12)	.04 (.12)	-.02 (.12)	-.13 (.12)	-.18 (.12)
28 - 36	-.18 (.12)	-.21 (.12)	-.25 (.12)	-.26 (.12)	-.21 (.13)	-.19 (.13)	-.14 (.13)	-.07 (.13)	-.06 (.13)
37 - 40	-.05 (.13)	-.02 (.13)	.00 (.13)	.02 (.13)					

De uitdemping van de autocorrelaties en het symmetrische patroon rond de 15e autocorrelatie leiden tot het uiteindelijk gekozen model van de volgende gedaante

$$(1-\varphi B)\nabla_{15}V_t = (1-\theta_{15}B^{15})a_t,$$

waarbij a_t witte ruis voorstelt. De geschatte coëfficiënten zijn

coëfficiënt	95% betrouwbaarheidsinterval
$\hat{\varphi}$ 0.64	0.55 - 0.74
$\hat{\theta}_{15}$ 0.69	0.60 - 0.79

met correlatiecoëfficiënt $\hat{\rho}(\hat{\varphi}, \hat{\theta}_{15}) = -0.062$. De hypothese dat de geschatte residuen witte ruis zijn, kan niet worden verworpen. We vinden een χ^2 -waarde van 28.8 bij een χ^2 -verdeling met 38 graden van vrijheid.