



# De sluiting van de oppervlakte energiebalans in Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996)

*P.S. Kroon*

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut



**Technical report = technisch rapport; TR-261**

De Bilt, 2004

PO Box 201  
3730 AE De Bilt  
Wilhelminalaan 10  
De Bilt  
The Netherlands  
<http://www.knmi.nl>  
Telephone +31(0)30-220 69 11  
Telefax +31(0)30-221 04 07

Author: Kroon, Petra S.

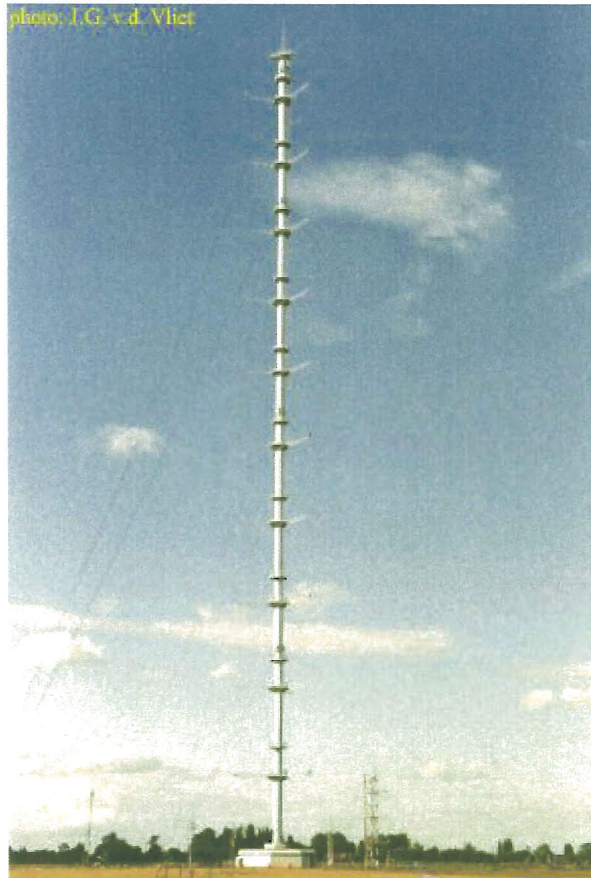
UDC: 551.510.522  
551.551.2

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2250-X



# De sluiting van de oppervlakte energiebalans in Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996)



P.S. Kroon  
De Bilt, december 2003



# **De sluiting van de oppervlakte energiebalans in Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996)**

P.S. Kroon

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut  
De Bilt, december 2003

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting .....</b>	<b>IV</b>
<b>Symbolenlijst.....</b>	<b>V</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theorie van de oppervlakte energiebalans.....</b>	<b>2</b>
2.1 <i>Opbouw van de atmosfeer .....</i>	2
2.2 <i>Theorie over de emissie van straling.....</i>	4
2.3 <i>De termen van de oppervlakte energiebalans .....</i>	6
2.3.1 <i>Inleiding.....</i>	6
2.3.2 <i>De stralingscomponenten .....</i>	7
2.3.3 <i>De bodem warmteflux .....</i>	9
2.3.4 <i>De turbulente fluxen.....</i>	10
<b>3 Meetmethoden bij KNMI meetmast Cabauw.....</b>	<b>13</b>
3.1 <i>Meetdata bewerking .....</i>	13
3.2 <i>Meetmethoden van de gebruikte grootheden bij de analyses .....</i>	13
<b>4 Data verwerkingsprogramma Mobibase.....</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Algemene introductie van Mobibase .....</i>	17
4.2 <i>De criteria file van het data verwerkingsprogramma Mobibase.....</i>	18
4.3 <i>Gebruikte Mobibase programma's bij de analyse .....</i>	19
<b>5 Beschrijving opzet analyses van oorzaken onbalans .....</b>	<b>21</b>
5.1 <i>Bepaling relatieve energieverschil met behulp van Mobibase.....</i>	21
5.2 <i>Opzet analyses.....</i>	22
<b>6 Analyses relatieve energieverschil naar dagelijkse gang en seizoenen .....</b>	<b>23</b>
6.1 <i>Analyse relatieve energieverschil naar dagelijkse gang .....</i>	23
6.2 <i>Analyse relatieve energieverschil naar seizoenen.....</i>	25
6.3 <i>Samenvatting analyses relatieve energieverschil naar dagelijkse gang en seizoenen .....</i>	27
<b>7 Analyses afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van diverse grootheden.....</b>	<b>28</b>
7.1 <i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de windsnelheid .....</i>	28
7.2 <i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de windrichting.....</i>	30
7.3 <i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van het temperatuurverschil.....</i>	32
7.4 <i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de vochtigheid.....</i>	34
7.4.1 <i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de dauwpuntsdepressie.....</i>	34
7.4.2 <i>Vergelijking relatieve energieverschil droge en natte perioden .....</i>	36
7.5 <i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de bewolgingsgraad.....</i>	38

7.5.1	Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de bewolgingsgraad 's nachts..	38
7.5.2	Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de bewolgingsgraad overdag ...	40
7.6	<i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van de grenslaaghoogte voor overdag ...</i>	41
7.7	<i>Samenvatting analyses afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van grootheden..</i>	42
<b>8</b>	<b>Analyses relatieve energieverschil voor enkele bijzondere dagen.....</b>	<b>43</b>
8.1	<i>Dagen waarop de bodem warmteflux ongeveer nul is .....</i>	43
8.2	<i>Drie nachten met dezelfde waarden voor de beschikbare energie en de windcomponenten</i>	44
<b>9</b>	<b>Samenvatting analyses met de eddycorrelatiemethode.....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>Analyses relatieve energieverschil met de profielmethode .....</b>	<b>47</b>
10.1	<i>Analyse relatieve energieverschil naar dagelijkse gang en seizoenen.....</i>	47
10.2	<i>Afhankelijkheid van het relatieve energieverschil van grootheden.....</i>	47
10.3	<i>Analyse dagen waarop de bodem warmteflux ongeveer nul is.....</i>	50
10.4	<i>Conclusie vergelijking resultaten van de eddycorrelatie - en profielmethode.....</i>	50
<b>11</b>	<b>Discussie en conclusie.....</b>	<b>51</b>
	<b>Literatuur.....</b>	<b>52</b>
	<b>Bijlage: De criteria files gebruikt bij de analyses .....</b>	<b>53</b>

## Samenvatting

Het niet sluitend zijn van de oppervlakte energiebalans is een internationaal erkend probleem. Het is belangrijk dat dit sluitingsprobleem wordt opgelost, aangezien aan de hand van de metingen van de energiebalans atmosferisch onderzoek wordt verricht. In dit rapport zijn de afhankelijkheden van de onbalans geanalyseerd met behulp van het relatieve energieverschil  $\delta$  welke gedefinieerd is als

$$\delta = \frac{\text{beschikbare.energie} - \text{turbulente.fluxen}}{\text{beschikbare.energie}}$$

Voordat de analyses zijn uitgevoerd is eerst een literatuuronderzoek verricht naar de oppervlakte energiebalans. Daarna zijn met behulp van de meetwaarden die gemeten zijn te Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996) analyses uitgevoerd.

De eerste analyses zijn met behulp van de eddycorrelatiemethode uitgevoerd. Deze analyses bestaan uit drie delen, namelijk een analyse naar de afhankelijkheid van  $\delta$  van de dagelijkse gang en de seizoenen, een analyse naar de afhankelijkheid van  $\delta$  van verschillende grootheden en een analyse naar  $\delta$  voor enkele bijzondere dagen. De belangrijkste resultaten die uit deze analyses volgen, zijn ook met de profielmethode uitgevoerd. Daarna zijn de resultaten van de analyses met behulp van de twee methoden met elkaar vergeleken.

Bij allebei de methoden zijn de volgende afhankelijkheden van de onbalans gevonden. In de nacht neemt  $\delta$  hogere waarden aan dan overdag. Overdag blijkt  $\delta$  af te nemen gaande de dag. De waarden in de nacht voor  $\delta$  zijn ongeveer 0,6 en voor overdag ongeveer 0,2. Voor de nacht is tevens gezien dat  $\delta$  afhankelijk is van de windsnelheid. Voor lage windsnelheden zijn hogere waarden van  $\delta$  waarneembaar dan voor hoge waarden van de windsnelheid. Ook is in de nacht  $\delta$  mogelijk afhankelijk van de stabiliteit. Des te stabielere de situatie 's nachts des te groter het waargenomen  $\delta$ .

Voor overdag is gevonden dat  $\delta$  mogelijk afhankelijk is van de dauwpuntsdepressie. Bij lage dauwpuntsdepressies is een hoger  $\delta$  waargenomen dan voor hoge dauwpuntsdepressies. Ook is voor overdag een mogelijke afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de grenslaaghoogte geconstateerd. Des te hoger de grenslaaghoogte des te lager het waargenomen  $\delta$ .

Met behulp van deze analyses wordt geen duidelijke oorzaak gevonden voor de onbalans in de oppervlakte energiebalans. Dit komt doordat aan de hand van de analyses geen één grootte van de energiebalans kan worden uitgesloten als mogelijke veroorzaker van de onbalans. Wel is geconstateerd dat de onbalans niet alleen veroorzaakt kan worden door een fout in de bodem warmtefluxmetingen.

Om de mogelijke oorzaken van het niet sluitend zijn van de oppervlakte energiebalans te Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996) beter te kunnen vaststellen, is het aan te bevelen om de volgende aanvullende analyses uit te voeren. Ten eerste een diepgaandere analyse naar de afhankelijkheid van  $\delta$  van de stabiliteit voor de nacht. Daarnaast is het aan te bevelen om de wintermaanden voor overdag verder te analyseren. Dit is noodzakelijk om te kunnen verklaren waarom een verschil in  $\delta$  voor verschillende grootteklassen optreedt, namelijk voor de windsnelheid, de windrichting, het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter en de bewolgingsgraad. Ten slotte is het belangrijk om de afhankelijkheid van  $\delta$  van de grenslaaghoogte voor overdag nader te analyseren.



## Symbolenlijst

Symbool	beschrijving	eenheid
A1	regressiecoëfficiënt	-
$c_p$	soortelijke warmte van lucht bij constante druk	J/kgK
$c_1$	constante	$Wm^2$
$c_2$	constante	mK
$c_3$	constante	-
$c_4$	constante	$mbar^{-0,5}$
C	constante	mK
$C_D$	weerstandcoëfficiënt	-
$C_E$	waterdamp overdrachtscoëfficiënt	-
$C_H$	warmte overdrachtscoëfficiënt	-
d	constante	$W/m^2$
e	waterdampdruk	mbar
$e_w$	verzadigingswaterdampdruk	mbar
E	fluxdichtheid van waterdamp	$kg/sm^2$
G	zwaartekracht	N
G	bodem warmteflux	$W/m^2$
H	sensibele warmteflux	$W/m^2$
K	Von-Karman constante	-
$k_s$	warmtegeleidingcoëfficiënt	$W/mK$
$K^\downarrow$	kortgolvlige neerwaartse straling	$W/m^2$
$K^\uparrow$	kortgolvlige opwaartse straling	$W/m^2$
L	Oboukhov-lengte	m
$L_v$	latente verdampingswarmte	J/kg
$L^\downarrow$	langgolvlige neerwaartse straling	$W/m^2$
$L_0^\downarrow$	langgolvlige neerwaartse straling zonder wolken	$W/m^2$
$L^\uparrow$	langgolvlige opwaartse straling	$W/m^2$
$L_vE$	latente warmteflux	$W/m^2$
m	fractie van de hemel bedekt met wolken	-
$m_d$	massa droge lucht in een bepaald volume	kg
$m_v$	massa waterdamp in een bepaald volume	kg
M	emissie van straling door een lichaam	$W/m^3$
$M_b$	emissie van straling door een zwart lichaam	$W/m^2$
p	heersende druk	Pa
$p_0$	standaarddruk	Pa
q	specifieke vochtigheid	-
$q_0$	specifieke vochtigheid aan het oppervlak	-
$q_1$	specifieke vochtigheid onderste luchtlag	-
$q_2$	specifieke vochtigheid bovenste luchtlag	-
Q	netto straling	$W/m^2$
r	reflectiecoëfficiënt	-
t	tijdstip	s
T	absolute temperatuur	K
$T_d$	dauwpuntstemperatuur	K
$T_l$	absolute temperatuur van het lichaam dat straling emitteert	K
$T_r$	middelingstijd	s
$T_s$	absolute temperatuur aan het aardoppervlak	K
$T_w$	natteboltemperatuur	K
u	horizontale windsnelheid	m/s

$u^*$	wrijvingsnelheid	m/s
$w$	verticale windsnelheid	m/s
$z$	hoogte vanaf het aardoppervlak	m
$z'$	diepte in de bodem	m
$\alpha$	meningsratio	-
$\gamma$	psychrometrische constante	-
$\delta$	relatieve energieverval	-
$\varepsilon$	emissiecoëfficiënt	-
$\varepsilon_{\text{atm}}$	effectieve atmosferische emissiecoëfficiënt	-
$\varepsilon_{\text{eff}}$	effectieve emissiecoëfficiënt	-
$\varepsilon_g$	effectieve grijze emissiecoëfficiënt	-
$\eta$	bodemwatergehalte	$\text{m}^3/\text{m}^3$
$\theta$	potentiële temperatuur	K
$\theta_v$	virtuele potentiële temperatuur	K
$\theta_0$	potentiële temperatuur aan het oppervlak	K
$\theta_1$	potentiële temperatuur onderste luchtlaag	K
$\theta_2$	potentiële temperatuur bovenste luchtlaag	K
$\kappa$	compressibiliteitsfactor	-
$\lambda$	golflengte	m
$\lambda_m$	golflengte waarbij maximum van de geëmitteerde straling wordt aangenomen	m
$\rho$	luchtdichtheid	$\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_d$	massa van de droge lucht in een luchtpakketje	$\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_v$	massa van de waterdamp in een luchtpakketje	$\text{kg}/\text{m}^3$
$\sigma$	constante van Stefan-Boltzmann	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$

# 1 Inleiding

Dit rapport is de weerslag van een stage van de master Applied Physics van de Technische Universiteit te Delft. Deze stage is uitgevoerd in de afdeling Atmosferisch onderzoek van het KNMI en is begeleid door Dr. F. C. Bosveld. De stageopdracht behandelt het probleem van het niet sluiten van de oppervlakte energiebalans. Het niet sluitend zijn van de oppervlakte energiebalans is een internationaal erkend probleem en er zijn al verscheidene studies naar verricht. De onbalans in de oppervlakte energiebalans is onder andere aangetoond door Wilson (2002) en Foken (1999). In tegenstelling hiermee is door Bosveld (2001) voor een specifieke boslocatie een goede sluiting van de oppervlakte energiebalans gevonden. Het is belangrijk dat de onbalans in de oppervlakte energiebalans wordt opgelost, aangezien aan de hand van de metingen van de energiebalans atmosferisch onderzoek wordt verricht. Het hoofddoel van dit rapport is het analyseren van de afhankelijkheden van de onbalans van de meteorologische omstandigheden. Deze analyses zijn uitgevoerd met behulp van meetwaarden die gemeten zijn te Cabauw gedurende TEBEX, Tropospheric Energy Budget experiment, (1995-1996) voor meer informatie hierover wordt verwezen naar Feyt (1996).

Er zijn verscheidene onderzoeken verricht naar de meettechnieken en hun nauwkeurigheden van de grootheden van de oppervlakte energiebalans. Door onder andere Halldin (1992) en Molen (1995) zijn studies verricht naar de nauwkeurigheid van de stralingsmetingen. De meettechnieken van de stralingscomponenten zijn de laatste tijd sterk verbeterd hierdoor is de fout in de stralingsmetingen kleiner dan  $10 \text{ W/m}^2$  geworden. In Mayocchi (1995) wordt onderzoek gedaan naar de meetfouten in de bodem warmtefluxmetingen. Deze fouten treden op doordat de bodem warmtefluxmeters zelf de bodem warmteflux beïnvloeden en door de niet homogeniteit van de grond. Bij de metingen van de turbulente fluxen worden tegenwoordig verschillende correcties uitgevoerd voor de dichtheidsfluctuaties, de spectrale verliezen en de stromingsobstructie, deze correcties zijn beschreven door onder andere Moncrieff (1997). Door de verrichtte correcties op de metingen zijn de fouten in de metingen kleiner geworden dan de waargenomen onbalans in de oppervlakte energiebalans.

De opbouw van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de organisatiestructuur van het KNMI. Deze beschrijving wordt gegeven om een beter beeld te kunnen vormen van het KNMI en de afdeling Atmosferisch onderzoek waarbinnen dit onderzoek heeft plaatsgevonden. Daarna wordt in hoofdstuk 3 de theorie van de oppervlakte energiebalans behandeld. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de meetmethoden van de componenten van de oppervlakte energiebalans en van de overige gebruikte grootheden bij de analyses besproken. In hoofdstuk 5 wordt het data verwerkingsprogramma MOBIBASE toegelicht en in hoofdstuk 6 de opzet van de uitgevoerde analyses. In hoofdstuk 7, 8, 9 en 10 worden de analyses met behulp van de eddycorrelatiemethode behandeld en in hoofdstuk 11 de analyses met behulp van de profielmethode. Tevens worden in hoofdstuk 11 allebei de methoden met elkaar vergeleken. Ten slotte zijn in hoofdstuk 12 de discussie en de conclusie opgenomen.

## 2 Theorie van de oppervlakte energiebalans

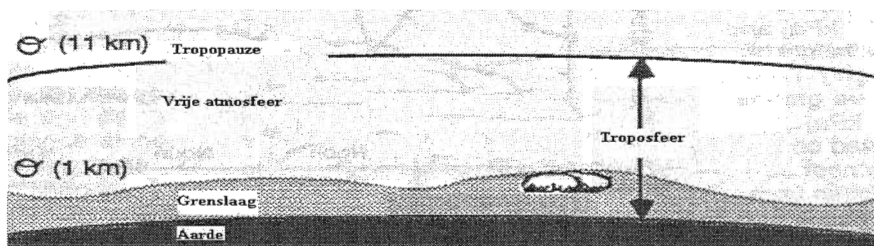
Om analyses naar de onbalansafhankelijkheden van de oppervlakte energiebalans uit te kunnen voeren, moeten eerst de eigenschappen van de omgeving rond het aardoppervlak bekeken worden. In paragraaf 3.1 zal daarom ook de theorie over de opbouw van de atmosfeer worden behandeld. Deze paragraaf is gebaseerd op Bruin (1985) en Stull (1988).

Daarna zal in paragraaf 3.2 de theorie over de emissie van straling worden besproken. Deze paragraaf is gebaseerd op Boeker (1999), Bruin (1985) en Liou (2002). Ten slotte worden in paragraaf 3.3 de termen van de oppervlakte energiebalans besproken. Deze paragraaf is gebaseerd op Bruin (1985), Garratt (1992), Nieuwstadt (1998) en Stull (1988).

### 2.1 Opbouw van de atmosfeer

De onderste vijftig kilometer boven het aardoppervlak worden opgedeeld in de stratosfeer en de troposfeer. De scheiding tussen de stratosfeer en de troposfeer wordt aangegeven met de tropopauze. De hoogte van de tropopauze wordt bepaald met behulp van het temperatuurprofiel. In de stratosfeer is namelijk een ander temperatuurprofiel waarneembaar dan in de troposfeer. In de stratosfeer neemt de temperatuur toe met de hoogte en in de troposfeer neemt de temperatuur af met de hoogte. De hoogte van de tropopauze is ongeveer elf kilometer.

De troposfeer is verdeeld in twee delen namelijk de vrije atmosfeer en de grenslaag. In figuur 3.1 is de troposfeer weergegeven, tevens is in deze figuur de verdeling zichtbaar tussen de vrije atmosfeer en de grenslaag.

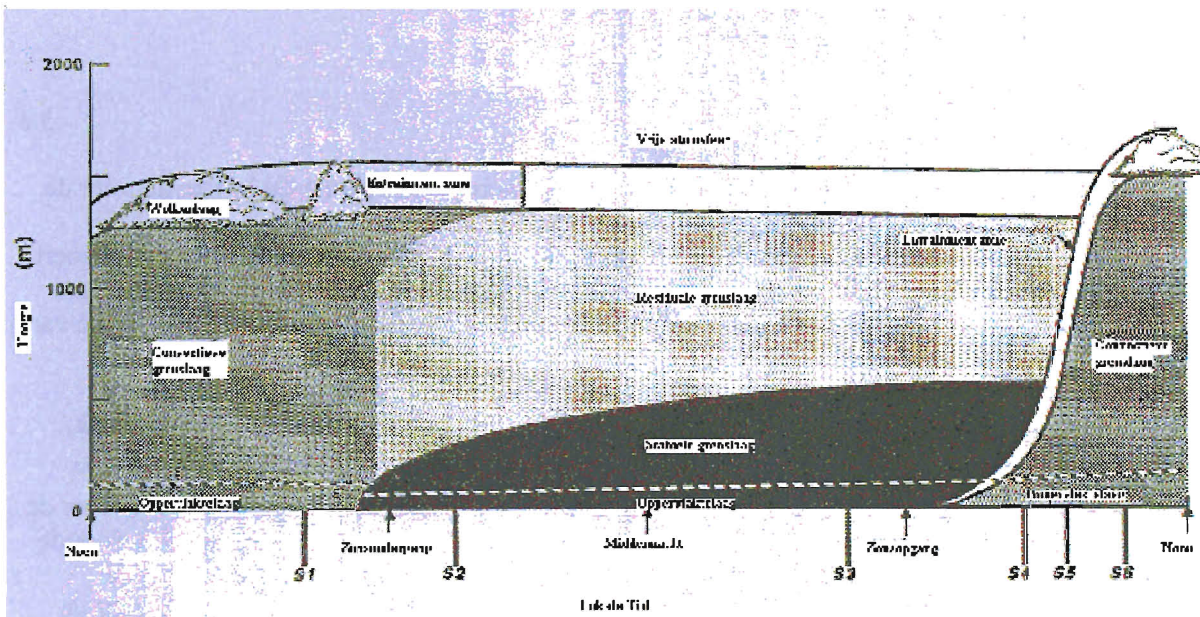


Figuur 3.1: *Verdeling van de troposfeer (Figuur uit Stull (1988))*

De grenslaag is het deel van de atmosfeer dat direct beïnvloed wordt door het aardoppervlak en dat reageert in een tijdsduur minder dan een uur op de variaties in de eigenschappen van het aardoppervlak. Deze hoogte is erg variabel en de hoogte hangt af van het tijdstip op de dag en van de plaats. De hoogte kan liggen tussen enkele tientallen meters tot aan een paar kilometer.

Gedurende een dag is de grenslaag opgebouwd uit verschillende soorten grenslagen. De belangrijkste grenslagen die tijdens een dag voorkomen zijn de convectieve grenslaag, residuale grenslaag (residual layer) en stabiele grenslaag. In figuur 3.2 zijn deze verschillende soorten grenslagen gedurende een dag weergegeven.

Aan de hand van deze figuur kan worden gezien dat er vanaf zonsopgang een convectieve grenslaag optreedt. Deze grenslaag groeit naarmate de dag vordert. Vervolgens als de zon ondergaat, ontstaat een stabiele grenslaag met daarboven een residuale laag. De stabiele grenslaag groeit naarmate de nacht vordert. Dit gehele verloop is bijna voor alle dagen waarneembaar.



Figuur 3.2: De grenslaagontwikkeling naar de dagelijkse gang (Figuur uit Stull (1988))  
De symbolen S1 tot en met S6 worden gebruikt in verband met figuur 3.3.

De onderste laag van de grenslaag wordt de oppervlaktelaag genoemd. In de oppervlaktelaag variëren de turbulente fluxen en spanningen minder dan 10% van hun grootte aan het aardoppervlak. Daardoor kunnen de momentumflux, de sensibele warmteflux en de latente warmteflux als constanten worden beschouwd in deze laag. Bij benadering is de oppervlaktelaag de onderste 10% van de grenslaag.

In de grenslaag neemt de windsnelheid af en op het aardoppervlak is de windsnelheid gelijk aan 0 m/s. Deze afname wordt veroorzaakt door de wrijving aan het aardoppervlak. Deze wrijving is één van de oorzaken van het opwekken van turbulentie in de atmosfeer.

Een andere belangrijke oorzaak van het opwekken van turbulentie zijn de dichtheidsverschillen in de grenslaag bij lage windsnelheden. Deze vorm van opwekken van turbulentie wordt vrije convectie genoemd. En het opwekken van turbulentie door wrijving wordt gedwongen convectie genoemd.

Vrije convectie wordt onderzocht met behulp van de grootte van de virtuele potentiële temperatuur. De virtuele potentiële temperatuur is de temperatuur waarbij droge lucht dezelfde dichtheid heeft als een luchtpakketje vochtige lucht bij dezelfde druk. Voor onverzadigde lucht geldt voor de virtuele potentiële temperatuur

$$\theta_v = \theta(1 + 0.61\alpha) \quad 3.1$$

In deze formule staat  $\theta_v$  voor de virtuele potentiële temperatuur (in K),  $\theta$  voor de potentiële temperatuur (in K) en  $\alpha$  voor de mengingsratio (in -). De potentiële temperatuur is de temperatuur die een luchtpakketje aanneemt als deze adiabatisch van de heersende druk naar de standaarddruk wordt gebracht. De waarde van de standaarddruk op het zeeniveau is gelijk aan  $1,013 \cdot 10^5$  Pa. Voor het berekenen van de potentiële temperatuur geldt

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^\kappa \quad 3.2$$

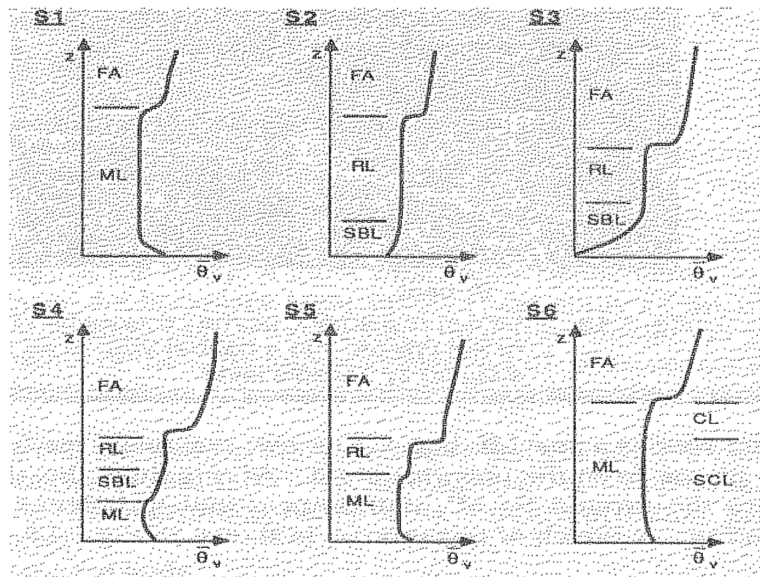
In deze formule staat T voor de absolute temperatuur (in K), p voor de heersende druk (in Pa),  $p_0$  voor de standaarddruk (in Pa) en  $\kappa$  voor de compressibiliteitsfactor (in -).

Voor de mengingsratio geldt

$$\alpha = \frac{m_v}{m_d} \quad 3.3$$

In deze formule staat  $m_v$  voor de massa van waterdamp in een bepaald volume (in kg) en  $m_d$  voor de massa van droge lucht in een bepaald volume (in kg).

Met behulp van het virtuele potentiële temperatuurprofiel kan worden afgeleid wat voor soort grenslaag optreedt. In figuur 3.2 staan bij verschillende tijdstippen indicaties S1 tot en met S6. Voor deze indicaties zijn in figuur 3.3 de virtuele potentiële temperatuurprofielen weergegeven als functie van de hoogte.



In deze figuur staat  $z$  voor de hoogte vanaf het aardoppervlak,  $\theta_v$  voor de gemiddelde virtuele potentiële temperatuur, ML voor de convectieve grenslaag, FA voor de vrije atmosfeer, SBL voor de stabiele grenslaag en RL voor de residuale grenslaag. Het gemiddelde virtuele potentiële temperatuurverloop in de convectieve grenslaag en de residuale grenslaag is constant met de hoogte. En in de stabiele grenslaag neemt de gemiddelde virtuele potentiële temperatuur toe met de hoogte.

Figuur 3.3: Profielen van de gemiddelde potentiële virtuele temperatuur naar de dagelijkse gang (Figuur uit Stull (1988))

De hoogte van de convectieve grenslaag ligt daar waar de waarde van de gemiddelde virtuele potentiële temperatuur gelijk is aan de waarde van de gemiddelde virtuele potentiële temperatuur aan het aardoppervlak. En de hoogte van de residuale grenslaag wordt bepaald door waar te nemen waar het profiel niet meer adiabatisch is. Ten slotte wordt de hoogte van de stabiele grenslaag bepaald door het laagste punt te bepalen waarbij de afgeleide van de gemiddelde virtuele potentiële temperatuur gelijk is aan nul.

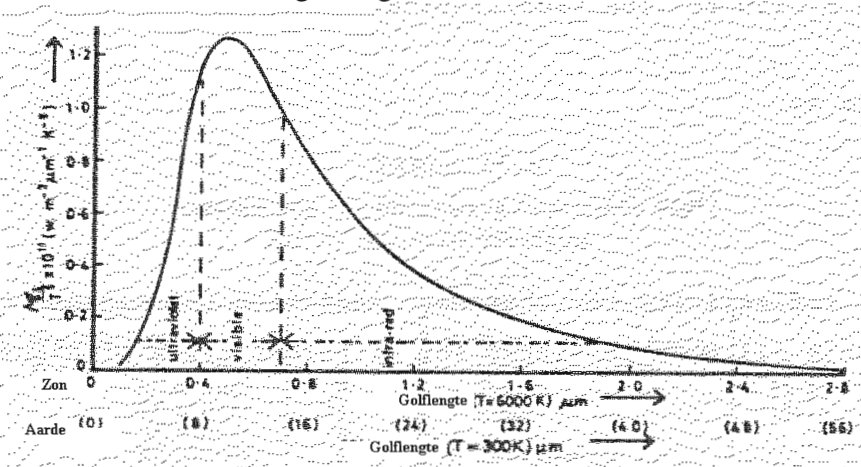
## 2.2 Theorie over de emissie van straling

Een zwart lichaam is volgens Boeker (1999) een lichaam dat alle thermische straling die erop valt absorbeert. Voor een zwarte lichaam kan de verdeling van de geëmitteerde straling over de golflengten worden beschreven met een beschrijving aan de hand van de wet van Planck

$$M_b(\lambda) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_l}\right) - 1} \quad 3.4$$

In deze formule staat  $M_b$  voor de emissie van straling van een zwart lichaam (in  $W/m^3$ ),  $\lambda$  staat voor de golflengte (in m),  $T_l$  staat voor de absolute temperatuur van het lichaam dat straling emitteert (in K) en  $c_1$  (in  $Wm^2$ ) en  $c_2$  (in mK) zijn constanten met respectievelijk de waarden  $3,74 \cdot 10^{-16} Wm^2$  en  $1,439 \cdot 10^{-2} mK$ .

In figuur 3.4 is de verdeling van de geëmitteerde straling over de verschillende golflengten weergegeven voor de zwarte lichamen de zon en de aarde die een absolute temperatuur hebben van 6000 K en 300 K. Hier wordt er aangenomen dat de aarde een zwart lichaam is, dit is niet voor alle oppervlakken juist. Met behulp van deze figuur is waarneembaar dat de verdeling van de geëmitteerde straling van zwarte lichamen over de golflengten een maximum aanneemt.



3.4: De verdeling van geëmitteerde straling van de zwart lichamen de zon en de aarde over de golflengten (Figuur uit Bruin (1985))

De waarde van de golflengte waarbij het maximum wordt aangenomen, wordt bepaald met behulp van de wet van Wien

$$\lambda_m T_l = C \quad 3.5$$

In deze formule staat  $\lambda_m$  staat voor de golflengte waarbij het maximum van de geëmitteerde straling optreedt (in m) en C voor een constante met de waarde gelijk aan  $2897 \mu\text{mK}$ . Deze formule geeft aan dat de maximale waarde van de emissie wordt aangenomen bij een golflengte die evenredig is met  $T^{-1}$ .

Meestal heb je niet te maken met een zwart lichaam, maar met een grijs lichaam. Een grijs lichaam absorbeert niet alle thermische straling die op het lichaam valt. Voor de verdeling van de geëmitteerde straling van een lichaam die niet zwart is geldt

$$M(\lambda) = \varepsilon(\lambda) M_b(\lambda) \quad 3.6$$

In deze formule staat M voor de emissie van straling van een lichaam (in  $\text{W/m}^2$ ) en  $\varepsilon$  voor de emissiecoëfficiënt (in -). Aan de hand van deze formule kan worden afgeleid dat de geëmitteerde straling van een grijs lichaam met een bepaalde temperatuur gelijk is aan de geëmitteerde straling van een zwart lichaam met dezelfde temperatuur vermenigvuldigd met de emissiecoëfficiënt van een grijs lichaam.

De totale hoeveelheid van geëmitteerde straling door een lichaam wordt bepaald met behulp van de wet van Stefan-Boltzmann

$$M = \varepsilon \sigma T_l^4 \quad 3.7$$

In deze formule staat  $\varepsilon$  voor de effectieve emissiecoëfficiënt (in -) en  $\sigma$  is de constante van Stefan-Boltzmann (in  $\text{W/m}^2\text{K}^4$ ). Deze constante heeft een waarde van  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .

De effectieve emissiecoëfficiënt is het gewogen gemiddelde van  $\varepsilon(\lambda)$  en neemt een waarde aan tussen nul en één. De waarde van de emissiecoëfficiënt is afhankelijk van de temperatuur en van de golflengte. Voor zwarte lichamen neemt de effectieve emissiecoëfficiënt voor alle golflengten een waarde van één aan en voor een grijs lichaam is de effectieve emissiecoëfficiënt niet voor alle golflengten gelijk aan één.

## 2.3 De termen van de oppervlakte energiebalans

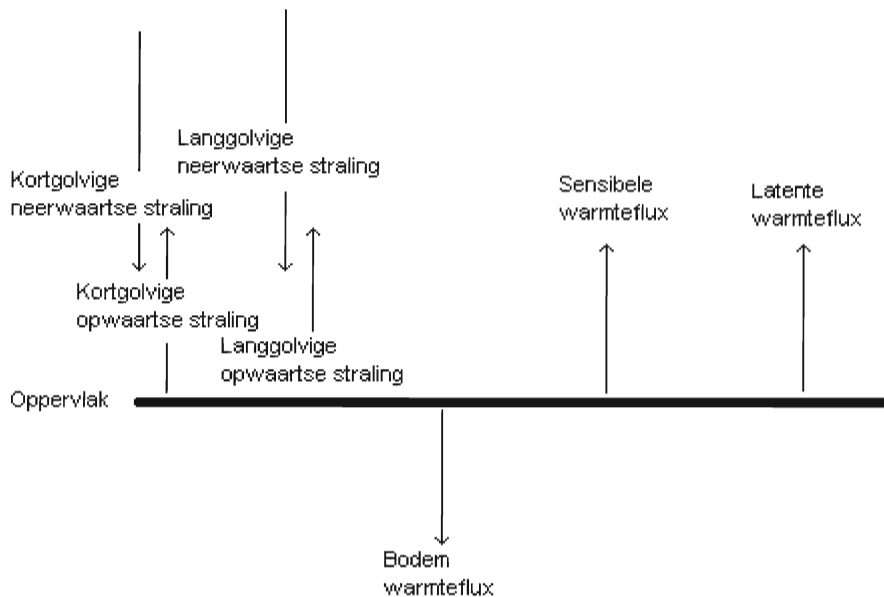
### 2.3.1 Inleiding

De oppervlakte energiebalans wordt beschreven met formule 3.8. Bij deze uitdrukking worden de kleine termen zoals de verandering van warmteopslag in de vegetatie en de energie die geproduceerd wordt door fotosynthese verwaarloosd.

$$Q - G = H + L_v E \quad 3.8$$

In deze formule staat  $Q$  voor de netto straling (in  $W/m^2$ ),  $G$  voor de bodem warmteflux (in  $W/m^2$ ),  $H$  voor de sensibele warmteflux (in  $W/m^2$ ) en  $L_v E$  staat voor de latente warmteflux (in  $W/m^2$ ). De netto stralingsterm is opgebouwd uit vier verschillende stralingstermen namelijk uit een kortgolvlige neerwaartse, kortgolvlige opwaartse, langgolvlige neerwaartse en een langgolvlige opwaartse stralingsterm. Alle termen van de oppervlakte energiebalans van formule 3.8 worden in figuur 3.5 weergegeven. Alle termen zijn positief in de richting van de pijl.

De termen van de oppervlakte energiebalans worden verdeeld in twee delen namelijk de term  $Q - G$  aan de linkerkant van het gelijkheidsteken vormt één deel en de term  $H + L_v E$  aan de rechterkant van het gelijkheidsteken vormt één deel. De term  $Q - G$  wordt de beschikbare energie genoemd. Dit is de energie die aanwezig is aan het aardoppervlak. En de term  $H + L_v E$  wordt de turbulente fluxen genoemd.



Figuur 3.5: *De verschillende termen van de oppervlakte energiebalans*



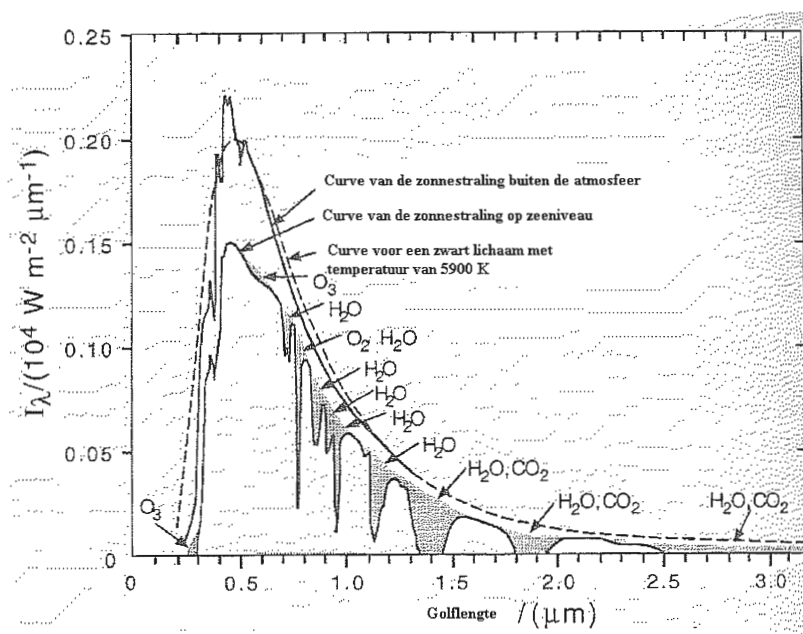
### 2.3.2 De stralingscomponenten

#### Kortgolvlige straling

De kortgolvlige neerwaartse straling is de straling die direct of indirect afkomstig is van de zon. De zon is bij benadering een zwart lichaam en heeft een absolute temperatuur van ongeveer 6000 K. Aan de hand van deze gegevens kan met behulp van formule 3.5 worden afgeleid dat het maximum van de geëmitteerde straling door de zon wordt bereikt voor een golflengte van ongeveer 0,5  $\mu\text{m}$ . Dit maximum is ook waarneembaar in figuur 3.4.

Het totale bereik van de golflengten van de kortgolvlige neerwaartse straling kan worden afgeleid met behulp van formule 3.4. Met behulp van deze formule wordt voor het bereik het interval van 0,2  $\mu\text{m}$  tot 4  $\mu\text{m}$  gevonden. Echter niet voor alle golflengten uit dit bereik bereikt de kortgolvlige neerwaartse straling het aardoppervlak, een deel van de straling wordt geabsorbeerd in de atmosfeer. In figuur 3.6 zijn drie curven weergegeven één voor de geëmitteerde straling van de zon gemeten buiten de atmosfeer, één voor de geëmitteerde straling van de zon gemeten aan het aardoppervlak en één voor de geëmitteerde straling van een zwart lichaam met een temperatuur van 5900 K.

Aan de hand van deze figuur is te zien dat niet voor alle golflengten de geëmitteerde straling



van de zon het aardoppervlak bereikt. Door de aanwezigheid van ozon ( $\text{O}_3$ ) in de atmosfeer bereikt de UV-straling met een golflengte kleiner dan 0,3  $\mu\text{m}$  het aardoppervlak niet. Deze straling wordt in het geheel geabsorbeerd. Tevens is te zien dat er geen geëmitteerde straling van de zon het aardoppervlak bereikt voor een golflengte groter dan 2,5  $\mu\text{m}$ . Deze straling wordt volledig geabsorbeerd door waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ). Hierdoor wordt voor het bereik van de kortgolvlige neerwaartse straling het interval van 0,3  $\mu\text{m}$  tot 2,5  $\mu\text{m}$  gevonden.

Figuur 3.6: Drie curven voor het bepalen van de kortgolvlige neerwaartse straling aan het aardoppervlak (Figuur uit Boeker (1999))

De hoeveelheid kortgolvlige neerwaartse straling aan het aardoppervlak hangt van de volgende grootheden af. Ten eerste van de hoeveelheid straling dat geabsorbeerd wordt in de atmosfeer. Aan de hand van figuur 3.6 kan een indruk worden gekregen van de absorptie in de atmosfeer. Daarnaast hangt de hoeveelheid kortgolvlige neerwaartse straling aan het aardoppervlak af van de bewolgingsgraad.

De kortgolvlige opwaartse straling is gelijk aan de gereflecteerde kortgolvlige neerwaartse straling aan het aardoppervlak. Het bereik van de kortgolvlige opwaartse straling is daarom ook gelijk aan het bereik van de kortgolvlige neerwaartse straling. Voor de waarde van de opwaartse kortgolvlige straling geldt

$$K^\uparrow = rK^\downarrow \quad 3.9$$

In deze formule staat  $K^\uparrow$  voor de kortgolvlige opwaartse straling (in  $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $K^\downarrow$  voor de kortgolvlige neerwaartse straling (in  $\text{W}/\text{m}^2$ ) en  $r$  is de reflectiecoëfficiënt van het oppervlak (in -).

In tabel 3.1 wordt een aantal reflectiecoëfficiënten voor de kortgolvlige opwaartse straling voor verschillende oppervlakken gegeven.

Tabel 3.1: *Reflectiecoëfficiënten voor de kortgolvlige straling voor verschillende oppervlakken (Gegevens uit Bruin (1985))*

Soort oppervlak of bedekking	Reflectiecoëfficiënt
Woestijn	0,24-0,30
Weiland	0,10-0,20
Bossen	0,10-0,20
Verse sneeuw	0,75-0,95
Oude sneeuw	0,40-0,70

### Langgolvlige straling

De langgolvlige neerwaartse straling is de straling die veroorzaakt wordt door de emissie van onder andere de broeikasgassen in de atmosfeer waarvan waterdamp de belangrijkste is. De atmosfeer is een grijs lichaam en heeft een temperatuur die veel lager is dan de temperatuur van de zon. Met behulp van formule 3.4 tot en met 3.6 kan worden afgeleid dat de golflengten van deze straling veel groter is dan de golflengten van de kortgolvlige straling die afkomstig is van de zon. Deze straling wordt daarom de langgolvlige neerwaartse straling genoemd. De golflengten van deze langgolvlige neerwaartse straling liggen ongeveer tussen 4  $\mu\text{m}$  en 100  $\mu\text{m}$ .

Voor de langgolvlige neerwaartse straling geldt

$$L^\downarrow = L_0^\downarrow + d \cdot m \quad 3.10$$

Hierin is  $L^\downarrow$  de langgolvlige neerwaartse straling (in  $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $L_0^\downarrow$  is de langgolvlige neerwaartse straling als er geen wolken aanwezig zijn (in  $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $d$  is een constante en deze is gelijk aan  $60 \text{ W}/\text{m}^2$  behalve bij hoge wolken dan is  $d$  gelijk aan  $20 \text{ W}/\text{m}^2$ . Ten slotte is  $m$  de fractie van de hemel die bedekt is met wolken (in -).

De waarde van de langgolvlige neerwaartse straling zonder bewolking wordt gegeven door

$$L_0^\downarrow = \epsilon_{atm} \sigma T^4 \quad 3.11$$

Hierin is  $\epsilon_{atm}$  de effectieve atmosferische emissiecoëfficiënt (in -). Voor deze coëfficiënt bestaan verschillende uitdrukkingen, hieronder wordt de uitdrukking volgens Brunt (in Bruin (1985)) vermeld

$$\epsilon_{atm} = c_3 + c_4 \sqrt{e} \quad 3.12$$

In deze uitdrukking zijn  $c_3$  (in -) en  $c_4$  (in  $\text{mbar}^{-0,5}$ ) constanten. Bij Nederlandse weersomstandigheden zijn deze constanten respectievelijk 0,53 en  $0,067 \text{ mbar}^{-0,5}$ . En  $e$  is de waterdampdruk (in mbar).

Aan de hand van de formules 3.10 is te zien dat de waarde van de langgolvlige neerwaartse straling afhangt van de bewolgingsgraad. Dit is te verklaren aan de hand van het atmosferisch spectrum, dat besproken wordt in Liou (2002). Als er geen bewolking is dan treedt een atmosferisch venster op bij de golflengten tussen 8,5  $\mu\text{m}$  en 12,5  $\mu\text{m}$ . Dit houdt in dat geen langgolvlige neerwaartse straling het aardoppervlak bereikt voor dit venster. Hiermee is te verklaren dat de totale langgolvlige neerwaartse straling een stuk lager is bij een heldere hemel dan bij een bewolkte hemel.

De langgolvlige opwaartse straling is de straling die geëmitteerd wordt door het aardoppervlak. Het aardoppervlak is net zoals de atmosfeer een grijs lichaam en heeft een lagere temperatuur dan de zon. De temperatuur van het aardoppervlak is van dezelfde orde als de temperatuur van de atmosfeer. Aan de hand van deze beweringen kan worden afgeleid dat het golflengtebereik van de langgolvlige opwaartse straling ongeveer hetzelfde is als het golflengtebereik van de langgolvlige neerwaartse straling. Het golflengte bereik van de langgolvlige opwaartse straling ligt daarom ook tussen 4  $\mu\text{m}$  en 100  $\mu\text{m}$ .

Voor de waarde van de langgolvlige opwaartse straling geldt

$$L^\uparrow = \epsilon_g \sigma T_s^4 \quad 3.13$$

In deze formule staat  $L^\uparrow$  voor de langgolvlige opwaartse straling (in  $\text{W/m}^2$ ),  $\epsilon_g$  is de effectieve grijze lichaam emissiecoëfficiënt (in -). In tabel 3.2 staan waarden van deze coëfficiënt voor verschillende oppervlakken. Ten slotte is  $T_s$  de absolute temperatuur aan het aardoppervlak (in K).

Tabel 3.2: *Voor verschillende oppervlakken de effectieve grijze lichaam emissiecoëfficiënt (Gegevens uit Bruin (1985))*

Soort oppervlak	$\epsilon_g$ (-)
Water	0,95
Verse sneeuw	0,99
Oude sneeuw	0,80
Gras	0,90-0,98
Woestijn	0,90

### 2.3.3 De bodem warmteflux

De bodem warmteflux is de hoeveelheid warmte die per seconde door het aardoppervlak de bodem ingaat. De bodem warmteflux hangt van veel dingen af bijvoorbeeld van de hoeveelheid zonnestraling en het bodemtype. Deze flux wordt beschreven met de wet van Fourier

$$G = -k_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \quad 3.14$$

In deze uitdrukking is  $G$  de bodem warmteflux (in  $\text{W/m}^2$ ),  $k_s$  de warmtegeleidingcoëfficiënt (in  $\text{W/mK}$ ) en  $z'$  de diepte in de bodem (in m). Voor een aantal verschillende aardoppervlakken en bodemwatergehalten  $\eta$  (in  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) wordt in tabel 3.3 de warmtegeleidingcoëfficiënt gegeven.

Tabel 3.3: *De warmtegeleidingcoëfficiënt voor verschillende oppervlakken (Gegevens uit Garratt (1992))*

Soort oppervlak	$K_s$ (W/mK)
Zand bodem	
Droog	0,3
$\eta=0,2$	1,9
$\eta=0,4$	2,2
Klei bodem	
Droog	0,25
$\eta=0,2$	1,1
$\eta=0,4$	1,6
Sneeuw	
Oud	1,0
Nieuw	0,1

### 2.3.4 De turbulente fluxen

Er zijn twee turbulente fluxen in de oppervlakte energiebalans namelijk de sensibele warmteflux en de latente warmteflux. Allebei deze fluxen worden voornamelijk veroorzaakt door convectie aan het aardoppervlak. De sensibele warmteflux wordt gebruikt om de atmosfeer op te warmen. En de latente warmteflux wordt gebruikt om vocht uit de bodem en de vegetatie te verdampen. Deze energie kan op een later tijdstip weer vrij komen bij condensatie in de wolken en bij neerslag.

De turbulente fluxen kunnen op verschillende manieren worden bepaald. In deze subparagraaf zullen de eddycorrelatiemethode en de profielmethode worden besproken. Bij deze twee methoden komt in de uitdrukking van de latente warmteflux de grootte van de specifieke vochtigheid voor.

#### De specifieke vochtigheid

De specifieke vochtigheid is de verhouding tussen de massa van de waterdamp in een luchtpakketje ten opzichte van de totale massa van een luchtpakketje. Voor de specifieke vochtigheid geldt de volgende formule

$$q = \frac{\rho_v}{\rho_v + \rho_d} \quad 3.15$$

In deze formule staat  $q$  voor de specifieke vochtigheid (in -),  $\rho_v$  staat voor de massa van de waterdamp in een luchtpakketje (in  $\text{kg/m}^3$ ) en  $\rho_d$  staat voor de massa van de droge lucht in een luchtpakketje (in  $\text{kg/m}^3$ ). Bij benadering kan de specifieke vochtigheid bepaald worden aan de hand van de volgende formule

$$q \approx \frac{5}{8} \frac{e}{p} \quad 3.16$$

De waterdampdruk  $e$  wordt als volgt bepaald

$$e = e_w(T_w) - \gamma(T - T_w) \quad 3.17$$

In deze formule staat  $T_w$  voor de natteboltemperatuur (in K). De natteboltemperatuur is de temperatuur die wordt gemeten met een thermometer die omgeven is door een vochtige doek. Deze thermometer geeft een lagere waarde aan dan de absolute temperatuur. En  $e_w$  staat voor de verzadigingswaterdampdruk (in mbar) en  $\gamma$  voor de psychrometrische constante (in mbar/K). Deze constante heeft op het zeeniveau een waarde van ongeveer 0,66 mbar/K.

Met behulp van de waterdampdruk kan ook de dauwpuntstemperatuur bepaald worden. De dauwpuntstemperatuur is de temperatuur waarbij de verzadigingswaterdampdruk gelijk is aan de waterdampdruk. Dit kan als volgt worden weergegeven

$$e_w(T_d) = e \quad 3.18$$

In deze formule staat  $T_d$  voor de dauwpuntstemperatuur (in K).

#### De eddycorrelatiemethode

Met behulp van een Reynoldsdecompositie van de balansen van de potentiële temperatuur en de specifieke vochtigheid en met de aanname dat er sprake is van een horizontaal homogeen medium aan het aardoppervlak, volgt

$$\frac{d\bar{\theta}}{dt} = - \frac{d\overline{w'\theta'}}{dz} \quad 3.19$$

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = - \frac{d\overline{w'q'}}{dz} \quad 3.20$$

In deze formules staat  $t$  voor de tijd (in s) en staat  $z$  voor de hoogte (in m). Daarnaast is  $(\overline{w'\theta'})$  de correlatie tussen de verticale windsnelheid en de potentiële temperatuur (in mK/s) en  $(\overline{w'q'})$  de correlatie tussen de verticale windsnelheid en de specifieke vochtigheid (in m/s).

De temperatuurflux is om te zetten in een sensibele warmteflux volgens

$$H = \rho c_p (\overline{w'\theta'}) \quad 3.21$$

In deze formule staat  $\rho$  voor de luchtdichtheid (in kg/m<sup>3</sup>),  $c_p$  voor de soortelijke warmte van de lucht bij constante druk (in J/kgK) en  $w$  is de verticale windsnelheid (in m/s).

De specifieke vochtigheidsflux is om te zetten in een latente warmteflux volgens

$$L_v E = \rho L_v (\overline{w'q'}) \quad 3.22$$

In deze uitdrukking staat de term  $L_v E$  voor de latente warmteflux (in W/m<sup>2</sup>) en in deze term staat  $L_v$  voor de latente verdampingswarmte (in J/kg) en  $E$  voor de fluxdichtheid van de waterdamp (in kg/sm<sup>2</sup>).

De correlaties in formule 3.21 en 3.22 worden bepaald door eerst de gemiddelden van de verticale windsnelheid, de potentiële temperatuur en de specifieke vochtigheid te berekenen. Vervolgens wordt de correlatie ten opzichte van de gemiddelden bepaald met behulp van

$$\overline{w'\theta'} = \frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} (w(t) - \overline{w})(\theta(t) - \overline{\theta}) dt \quad 3.23$$

In deze formule staat  $T_r$  voor de middelingstijd (in s). De correlatie in formule 3.22 wordt op eenzelfde manier bepaald.

#### De profielmethode

De sensibele warmteflux wordt met de profielmethode bepaald aan de hand van

$$H = \rho c_p C_H u (\theta_1 - \theta_2) \quad 3.24$$

In deze uitdrukking staat  $\theta_1 - \theta_2$  voor het potentiële temperatuurverschil tussen twee luchtlagen (in K);  $\theta_1$  staat voor de potentiële temperatuur van de onderste luchtlaag (in K) en  $\theta_2$  staat voor de potentiële temperatuur van de bovenste luchtlaag (in K). Daarnaast staat  $u$  voor de horizontale windsnelheid (in m/s) en  $C_H$  voor de warmte overdrachtscoëfficiënt (in -). De waarde van  $C_H$  hangt af van de oppervlakte eigenschappen en van de stabiliteit van de atmosfeer.

De waarde van  $C_H$  wordt bepaald aan de hand van de Oboukhov-lengte, deze is als volgt gedefinieerd

$$L = - \frac{u_*^3 \theta_0}{kg \overline{w'\theta'}} \quad 3.25$$

In deze formule staat  $L$  voor de Oboukhov-lengte (in m),  $\theta_0$  voor de potentiële temperatuur aan het aardoppervlak (in K),  $g$  voor de zwaartekrachtsversnelling (in m/s<sup>2</sup>),  $k$  voor de Von-Karman constante met een waarde van ongeveer 0,4. En  $u_*$  staat voor de wrijvingsnelheid (in m/s). In de oppervlaktelaag geldt bij benadering voor de wrijvingsnelheid

$$u_* \approx \sqrt{-\overline{u'w'}} \quad 3.26$$

In deze formule staat  $\overline{u'w'}$  voor de Reynoldsspanning (in m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>).

De waarde van de Reynoldsspanning wordt berekend met behulp van

$$\overline{\rho u' w'} = \rho C_D u^2 \quad 3.27$$

In deze formule staat  $C_D$  voor de weerstandscoefficiënt (in -). De waarde van de weerstandscoefficiënt wordt bepaald met behulp van een ruwheidskaart. De ruwheidskaart is een functie van de windrichting en van het seizoen.

De latente warmteflux wordt met behulp van de profielmethode bepaald aan de hand van

$$L_v E = L_v \rho C_E u (q_1 - q_2) \quad 3.28$$

Hierin staat  $q_1 - q_2$  voor het verschil in specifieke vochtigheid tussen twee luchtlagen (in -). In deze uitdrukking staat  $q_1$  voor de specifieke vochtigheid van de onderste luchtslaag (in -) en  $q_2$  voor de specifieke vochtigheid van de bovenste luchtslaag (in K).  $C_E$  staat voor de waterdamp overdrachtscoëfficiënt (in -). Bij benadering is  $C_E$  gelijk aan  $C_H$ . Voor verdere uitleg over de overdrachtscoëfficiënten  $C_E$  en  $C_H$  wordt verwezen naar Garratt (1992).

### **3 Meetmethoden bij KNMI meetmast Cabauw**

Bij de analyse van de afhankelijkheden van de onbalans zijn de meetgegevens van Cabauw van 1 juli 1995 tot en met 31 december 1996 gebruikt. Deze meetgegevens zijn afkomstig van twee programma's namelijk het Cabauw operationele programma, dat heeft gelopen van 1986 tot en met 1996 en het TEBEX programma met aanvullende fluxmetingen, dat heeft gelopen van 1995 tot en met 1996.

In dit hoofdstuk worden van de gebruikte meetgegevens een beschrijving gegeven van de meetmethoden. In paragraaf 4.1 wordt de bewerking van de meetdata besproken en in paragraaf 4.2 worden de meetmethoden besproken van de bij de analyses gebruikte grootheden. Er zal nauwelijks in worden gegaan op de kalibraties en de correcties van de metingen. Voor diepgaandere informatie over de kalibraties en de correcties van de metingen wordt verwezen naar Bosveld (1998) en Bosveld (1999). Dit gehele hoofdstuk is gebaseerd op Van der Vliet (1998) en op gegevens van de internetsite van het KNMI namelijk [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl).

#### **3.1 Meetdata bewerking**

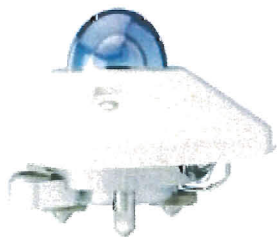
Alle gemeten signalen van de meetketens te Cabauw worden verzonden naar een computer te Cabauw. Door verschillende oorzaken, zoals tijdens het onderhoud van de meetapparatuur, kunnen de signalen die doorgegeven worden aan de computer onbruikbaar zijn. Daarom is een systeem beschikbaar dat de status van een sensor of van een meetkanaal aan de computer meldt. Tevens worden de gegevens die in Cabauw binnenkomen gecontroleerd, voordat die verzonden worden naar De Bilt.

Aangezien het bijna onmogelijk is om alle meteorologische grootheden met een hoge samplefrequentie in te zamelen en te verzenden naar De Bilt, is er een datareductiesysteem in Cabauw inwerking. Dit datareductiesysteem houdt in dat bij alle meetkanalen met een middelingstijd van 10 minuten wordt gewerkt. Hierdoor wordt het aantal datasamples flink gereduceerd. Om vervolgens de datasamples, die weergegeven zijn in spanningen, om te zetten in fysische grootheden zijn voor alle grootheden ijkfactoren aanwezig.

#### **3.2 Meetmethoden van de gebruikte grootheden bij de analyses**

##### Meetmethoden van de stralingscomponenten

De meetapparatuur van de stralingscomponenten stond aan de zuidoostkant van de meetmast op 1,5 meter hoogte boven kortgeknipt gras. Om de metingen zo goed mogelijk uit te kunnen voeren, werd het gras in het groeiseizoen wekelijks gemaaid en werden de sensoren minstens twee keer per week schoongemaakt en visueel gecontroleerd.

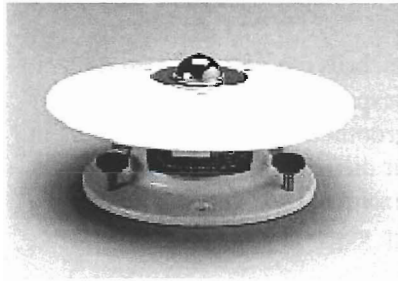


Bij het meten van de kortgolvlige neerwaartse en opwaartse straling werd gebruik gemaakt van een CM-11 pyranometer van het fabrikaat Kipp en Zonen, zie figuur 4.1 voor een afbeelding van deze pyranometer. Bij de metingen van de kortgolvlige neerwaartse straling stond de pyranometer rechtop en bij de metingen van de kortgolvlige opwaartse straling stond de pyranometer op z'n kop. Door de aanwezigheid van een ventilatie- en verwarmingssysteem had men niet veel last van sneeuw, ijs, rijp en dauw.

Figuur 4.1: *CM-11 pyranometer*  
(Figuur vanaf de site [www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com))

De CM-11 pyranometer bestaat, zoals in figuur 4.1 is te zien, uit een half bolletje. Onder het bolletje zit een zwart oppervlak. Het halve bolletje laat alleen straling door met een kleine golf lengte. De waarden van de kortgolvlige straling worden bepaald aan de hand van het temperatuurverschil tussen de bezwarming en het huis.

De langgolvlige neerwaartse en opwaartse straling werden gemeten met behulp van twee Epply langgolvlige stralingsmeters, zie figuur 4.2 voor een afbeelding van de Epply langgolvlige stralingsmeter. Eén Epply sensor keek naar de hemel voor het meten van de langgolvlige neerwaartse straling en de andere keek naar het aardoppervlak voor het meten van de langgolvlige opwaartse straling. Allebei de sensoren zaten in één behuizing en deze behuizing werd krachtig geventileerd.



De Epply sensor bestaat, zoals in figuur 4.2 is te zien, uit een half bolletje. Onder het bolletje zit een oppervlak waarvan de emissiviteit dichtbij één is in het langgolvlige deel van het spectrum. Het halve bolletje laat alleen langgolvlige straling door. De waarden van de langgolvlige stralingscomponenten worden op dezelfde manier bepaald als bij de kortgolvlige stralingscomponenten.

Figuur 4.2: *Epply langgolvlige stralingsmeter*  
(Figuur vanaf de site [www.knmi.nl/~bosveld](http://www.knmi.nl/~bosveld))

#### Meetmethode van de bodem warmteflux

De bodem warmteflux aan het aardoppervlak werd bepaald met behulp van een extrapolatie naar het oppervlak aan de hand van formule 3.14. Voor deze extrapolatie naar het oppervlak werden de bodem warmtefluxen gemeten op 5 en 10 cm diepte en de bodemtemperaturen op 0 en 2 cm diepte. Deze metingen vonden plaats ten zuidoosten van de hoofdmast.

Deze bodem warmtefluxmetingen werden verricht met warmtestroomplaatjes van het type WS 31S. Deze plaatjes waren gemaakt en gekalibreerd door de Technische Dienst TNO-TU Delft. Doordat het temperatuurverschil vrij klein was en er sprake was van een niet homogene bodem, werden de bodem warmtefluxen gemeten met zes warmtestroomplaatjes in serie. Hierdoor konden de metingen nauwkeuriger worden verricht. De zes warmtestroomplaatjes waren gepositioneerd in een gelijkvormige driehoek met zijden van 3 meter. En de grondtemperaturen werden bepaald met behulp van een weerstandselement, dat door het KNMI was ontwikkeld.

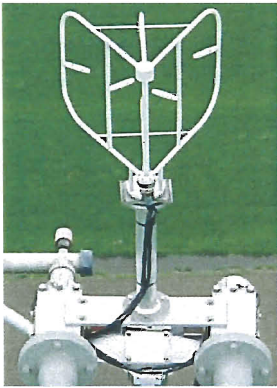
#### Meetmethoden van de sensibele en latente warmteflux

Zoals in paragraaf 3.3.4 is besproken, zijn er twee verschillende methoden om de sensibele en latente warmteflux te bepalen, namelijk de eddy correlatiemethode en de profielmethode. In deze paragraaf worden de bepalingen van de correlatietermen besproken. Aan de hand van de correlatietermen kunnen bij de correlatiemethode de waarden van de turbulente fluxen worden bepaald. Bij de profielmethode moeten nog aanvullende metingen worden verricht om de waarden van de turbulente fluxen te kunnen bepalen, zie hiervoor de formules in paragraaf 3.3.4.

Ten zuiden van de hoofdmast stond een meetopstelling voor het meten van de fluctuaties van de temperatuur, de windsnelheid en de relatieve vochtigheid. Deze meetopstelling was geplaatst op een hoogte van 5 meter. Alle instrumenten van deze meetopstelling waren open geconstrueerd om verstoringen van de turbulentie zo klein mogelijk te maken.

De temperatuurfluctuaties en de windsnelheidsfluctuaties werden bepaald met behulp van een sonische anemometer/thermometer. Deze sonische anemometer/thermometer was een Kaijo-Denki Dat-300. In figuur 4.3 is deze sonische anemometer/thermometer afgebeeld.





De windsnelheidsfluctuaties werden bepaald aan de hand van de metingen van de drie windsnelheidscomponenten. Deze windsnelheidscomponenten werden bepaald door het meten van de reistijd van een geluidspuls over een pad van 0,2 meter. Voor het meten van deze drie windsnelheidscomponenten was er één verticaal pad en waren er twee horizontale paden. De horizontale paden maakten een hoek van 120 graden.

De temperatuurfluctuaties werden ook bepaald met behulp van de sonische anemometer/thermometer. De temperatuurfluctuaties werden bepaald met behulp van het meten van de sonische temperatuur. De sonische temperatuur werd bepaald door het meten van de geluidssnelheid langs het verticale pad.

Figuur 4.3: *Kaijo-Denki sonische anemometer/thermometer*  
(Figuur vanaf de site [www.knmi.nl/~bosveld](http://www.knmi.nl/~bosveld))

De specifieke vochtigheidsfluctuaties werden bepaald met behulp van de infrarood fluctuatiemeter van het KNMI. Dit meetinstrument bepaalt de waarden van de specifieke vochtigheidsfluctuaties aan de hand van de absorptie van infrarood licht door vocht over een pad van 0,3 meter.

Voor het bepalen van de uiteindelijke waarden van de sensibele warmteflux en latente warmteflux werd een aantal kalibraties en correcties uitgevoerd. Voor meer informatie over de kalibraties en de correcties wordt verwezen naar Bosveld (1998) en Bosveld (1999).

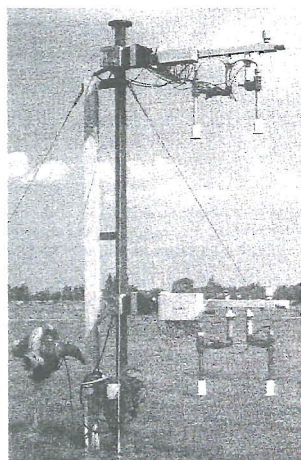
#### Meetmethoden van de windsnelheid en de windrichting

De windmetingen werden verricht op 10 meter hoogte op twee bijmasten, namelijk aan de zuidoostkant op de 20 meter hoge bijmast en aan de noordwestkant op de 10 meter hoge bijmast. Voor de metingen van zowel de windsnelheid als voor de windrichting werd er gebruik gemaakt van de drie bladige Gill propellervaan van het type 8002 DX.

Aan de hand van de metingen op de twee bijmasten kon de ongestoorde windsnelheid worden bepaald. Deze bepaling ging aan de hand van een selectieprocedure met behulp van de windrichting. Bij deze bepaling werd rekening gehouden met de verschillende constructies van de bijmasten en de verschillende posities van de bijmasten ten opzichte van de hoofdmast. De zuidoost bijmast had slecht een goede meethoek van 90° en deze meethoek zat tussen 85° en 175°. Voor verdere informatie over de selectieprocedure wordt verwezen naar Van der Vliet (1998).

#### Meetmethoden van de luchttemperaturen

De absolute droge- en natteboltemperatuur werden gemeten op een hoogte van 0,6 meter. De droge- en natteboltemperatuurverschillen werden gemeten tussen verschillende hoogtes, namelijk tussen 1,5 en 0,6 meter en 10 en 1,5 meter. Met behulp van deze temperatuurverschilmetingen werden de absolute droge- en natteboltemperatuur op een hoogte van 10 meter bepaald.



De sensoren van deze metingen bevonden zich op een hoogte van 10 meter aan de zuidoost bijmast en op een hoogte van 0,6 en 1,5 meter op een gescheiden mastje, zie figuur 4.4, in de omgeving van de zuidoost mast.

Voor alle sensoren werden koper-constantaan thermokoppels gebruikt die door het KNMI waren ontwikkeld. Deze thermokoppels waren gemonteerd in een gemodificeerde Assmann Psychrometer stralingsafscherming en ze werden geventileerd. Bij de meting van de natteboltemperatuur werd om de sensor een katoenen kousje gedaan, dat doormiddel van een pompje bevochtigd werd.

Figuur 4.4: *Temperatuursensoren op 0,6 en 1,5 meter*  
(Figuur uit Van der Vliet (1998))

#### Meetmethoden van de grenslaaghoogte

's Nachts zijn de grenslaaghoogten bepaald met behulp van een sodar en overdag zijn de grenslaaghoogten bepaald met behulp van een profiler. De sodar en de profiler stonden opgesteld op het terrein bij de meetmast Cabauw.

#### Meetmethode van de neerslaghoeveelheden

De regenhoeveelheden werden gemeten met het zogenaamde “melkbusmodel”. Het “melkbusmodel” is de standaard KNMI elektrische regenmeter met een opvangtrechter met een oppervlakte van 400 cm<sup>2</sup>. Deze regenmeter registreert het waterniveau in een reservoir als functie van de tijd. Deze regenmeter stond opgesteld op het zuidoost terrein.

#### Meetmethode van de luchtdruk

De luchtdruk werd gemeten met een Paroscientific barometer. Deze barometer stond opgesteld in het instrumentenrek in de meetruimte en hij had geen directe verbinding met de buitenlucht. De hoogte van de sensor was ongeveer 1 meter boven NAP.

## 4 Data verwerkingsprogramma Mobibase

In dit hoofdstuk zal het data verwerkingsprogramma Mobibase worden besproken. Dit programma is gebruikt bij het analyseren van de afhankelijkheden van de onbalans in de oppervlakte energiebalans. In paragraaf 6.1 wordt een introductie van het data verwerkingsprogramma Mobibase gegeven, daarna wordt in paragraaf 6.2 de criteria file besproken en ten slotte wordt in paragraaf 6.3 een aantal verschillende programma's besproken die bij de analyses zijn gebruikt. Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op de literatuur van de internetsite [www.knmi.nl/~bosveld](http://www.knmi.nl/~bosveld).

### 4.1 Algemene introductie van Mobibase

Mobibase is een data verwerkingsprogramma dat door Dhr. F.C. Bosveld is ontworpen. Het programma is ontwikkeld in Fortran-77 en het programma kan gedraaid worden in Unix en in Windows. Het programma heeft als doel het archiveren van data van de Mobibase database en het extraheren van data uit de Mobibase database.

Bij het uitvoeren van de analyses is de database genaamd cabteb gebruikt. In deze database zitten de data van 1995 en 1996 voor verscheidene grootheden. In tabel 5.1 worden van de gebruikte grootheden bij de analyses hun afkortingen en hun eenheden gegeven.

Tabel 5.1: *Gebruikte grootheden bij de analyses met hun gebruikte afkorting in Mobibase en hun eenheid*

<b>Afkorting in Mobibase</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Beschrijving grootheid</b>
BTIJD	hhmm	Begin tijd van een interval
DAGNR	dag	Dagnummer geteld vanaf het begin van het jaar
HLEED	w/m <sup>2</sup>	Turbulente fluxen met de correlatiemethode
HED	w/m <sup>2</sup>	Sensibele warmteflux met de correlatiemethode
LEED	w/m <sup>2</sup>	Latente warmteflux met de correlatiemethode
HLEPR	w/m <sup>2</sup>	Turbulente fluxen met de profielmethode
QNTBAL	w/m <sup>2</sup>	Netto straling
GS00	w/m <sup>2</sup>	Bodem warmteflux
SWD	w/m <sup>2</sup>	Kortgolvlige neerwaartse straling
SWU	w/m <sup>2</sup>	Kortgolvlige opwaartse straling
LWD	w/m <sup>2</sup>	Langgolvlige neerwaartse straling
LWU	w/m <sup>2</sup>	Langgolvlige opwaartse straling
GLOBCL	w/m <sup>2</sup>	Globale straling bij een heldere hemel
F10	m/s	Windsnelheid
D10	graden	Windrichting
TD10	°C	Drogeboltemperatuur op 10 meter
TDEW10	°C	Dauwpunttemperatuur op 10 meter
T001	°C	Drogebol temperatuur op 0,6 meter
T+00	°C	Grastemperatuur op 0 meter
T-02	°C	Bodemtemperatuur op 0,02 m diepte
SRAIN	m <sup>3</sup>	Regenhoeveelheden

In het programma Mobibase kan worden opgegeven of met gemiddelden van de grootheden over 30 minuten of over 10 minuten moet worden gewerkt. Bij de analyses die in dit rapport worden besproken, is gewerkt met 30 minuten gemiddelden.

## 4.2 De criteria file van het data verwerkingsprogramma Mobibase

Een criteria file wordt gebruikt om aan te geven met welke data een programma uitgevoerd moet worden. De verschillende programma's die uitgevoerd kunnen worden voor bepaalde data, die met behulp van de criteria file worden bepaald, worden besproken in paragraaf 5.3. Met behulp van een criteria file wordt de data dus geselecteerd. Bij de criteria file kunnen vier verschillende soorten selecties worden opgegeven. Deze file bestaat daarom ook uit vier verschillende secties. De vier secties zijn de tijdsindicatie sectie, de selectie sectie, de classificatie sectie en de output sectie. In figuur 5.1 is een voorbeeld van een criteria file te zien. In deze figuur kunnen de vier verschillende secties worden waargenomen. De secties worden namelijk onderscheiden door een niet doorgetrokken lijn.

```

-----
|Time identification          |   naux1 |   naux2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| |19960701|0000|19961231|2330|   |   |
|-----|-----|-----|
|Selection                   |   Min   |   Max   |
|-----|-----|-----|
| |BTIJD |   | | 0900. | 1430. |
|-----|-----|-----|
|Classification             |   Min   |   Max   |
|-----|-----|-----|
| |F10   |   | | 0.   | 5.   |
| |     |   | | 5.   | 10.  |
|-----|-----|-----|
|Output columns            |   Min   |   Max   |T| Naam| Unit|S|
|-----|-----|-----|
| |D10   |   |   |   |   |   | 5|
|-----|-----|-----|

```

Figuur 5.1: *Een voorbeeld criteria file*

In de tijdsindicatie sectie wordt aangegeven welke periodes gebruikt moeten worden om data uit de database te halen. De tijdsindicatie moet als volgt worden opgegeven. In het eerste vak en het derde vak van de tijdsindicatie worden respectievelijk de begindatum en de einddatum van een periode opgegeven. Dit gaat door eerst het jaar op te geven, daarna de maand en vervolgens de dag. Daarnaast worden in het tweede en vierde vak van de tijdsindicatie het begintijdstip bij de begindatum en het eindtijdstip bij de einddatum opgegeven. Met behulp van deze gegevens wordt een periode afgebakend. Het is ook mogelijk om meerdere periodes op te geven in de tijdsindicatie. Al deze periodes worden dan op dezelfde manier onder elkaar weergegeven.

Zoals in de figuur is te zien is in de tijdsindicatie sectie ook een vak naux1 en naux2. Deze vakken worden bij bepaalde programma's gebruikt om extra informatie te geven over wat het programma moet uitvoeren. Deze vakken worden bijvoorbeeld ingevuld bij het statistische programma mobiregr dat in de volgende paragraaf besproken zal worden.

In de selectie sectie kunnen extra eisen, aan de data waarmee bewerkingen worden uitgevoerd, worden toegekend. Zo kan men bijvoorbeeld opgeven dat de data die gebruikt wordt bij een bepaalde bewerking altijd tussen de tijdstippen 9 uur 's ochtends en 3 uur 's middag moeten liggen. In de selectie sectie kunnen meerdere selecties worden opgegeven.

De classificatie sectie is voor het verdelen in klassen van bepaalde grootheden. In deze sectie kan bijvoorbeeld de windsnelheid in twee klassen worden verdeeld. Met behulp van het statistische programma mobistat, dat in de volgende paragraaf behandeld wordt, kunnen dan de gemiddelde waarden van de opgegeven output per klasse worden bepaald. Bij de classificatie sectie kunnen ook meerdere classificaties worden gegeven. Als er twee classificaties worden opgegeven dan krijgt de output een vorm van een nxm matrix. Hierbij is n het aantal groepen van de eerste classificatie en m het aantal groepen van de tweede classificatie.

In de output sectie moet worden opgegeven van welke grootheden een output moet worden gegeven. De vorm van de output wordt bepaald door het programma dat uitgevoerd wordt. De output kan bijvoorbeeld een vorm zijn van een plot of een ascii file. Tevens kan in de output sectie een output worden gedefinieerd dat een operatie is van twee grootheden. Zo kan bijvoorbeeld de verhouding of verschil van twee grootheden worden opgegeven. Daarnaast kunnen in deze sectie ook meerdere outputgrootheden worden opgegeven.

Ten slotte nog twee extra opmerkingen. In figuur 5.1 is bij de output sectie een kolom te zien met het getal 5 erin. Dit getal geeft aan met wat voor kleur en symbool een bepaalde grootheid moet worden weergegeven in een plot. In deze kolommen kunnen dan ook verschillende getallen worden weergegeven.

Ook kunnen in de eerste kolom van de output sectie D's worden opgegeven. Deze D's betekenen dat de regel achter de D niet als output moet worden weergegeven. Op die regel wordt namelijk een bewerking uitgevoerd. Door het werken met deze D's kunnen grootheden worden gedefinieerd waarvoor eerst een bepaalde bewerking met de bestaande grootheden in het bestand noodzakelijk is. Een voorbeeld van een grootheid waarvoor eerst enkele bewerkingen nodig zijn, is het relatieve energieverval dat in de volgende hoofdstukken wordt besproken.

### **4.3 Gebruikte Mobibase programma's bij de analyse**

De gebruikte programma's bij de analyses kunnen worden verdeeld in drie groepen namelijk programma's met een ascii output, programma's met een grafische output en programma's met een statistische output.

#### Programma's met een ascii output

Bij de analyses is één programma gebruikt dat als output een ascii file geeft. Dit programma heet SELECT. Dit programma selecteert de data die aangegeven is in de criteria file vanuit de Mobibase database en geeft deze weer in een ascii file. Bij deze bewerking wordt de classificatie in de ascii file weergegeven in de eerste kolom. Bij alle figuren in de volgende hoofdstukken die gemaakt zijn met behulp van het programma SELECT zijn geen standaarddeviaties weergegeven, aangezien dit programma geen standaarddeviaties weergeeft.

#### Programma's met een grafische output

Bij de analyses zijn drie grafische programma's gebruikt namelijk PLOTDAG, PLOTWEEK en PLOTMND. Het programma PLOTDAG maakt een plot van een dag met daarin de output die opgegeven is in de criteria file. Bij PLOTDAG worden de selectie sectie en de classificatie sectie genegeerd.

Het programma PLOTWEEK maakt een plot van een tijdsperiode van zeven dagen. Bij PLOTWEEK verschijnen vier grafieken boven elkaar op het scherm. In het totaal kunnen er maximaal twintig curven worden weergegeven namelijk maximaal vijf curven per grafiek. Ook bij dit programma worden de selectie sectie en de classificatie sectie genegeerd.

En het programma PLOTMND maakt een plot over een periode van een maand voor de opgegeven output in de criteria file. Bij dit programma worden ook de selectie sectie en de classificatie sectie genegeerd.

#### Programma's met een statistische output

Bij de analyses zijn drie statistische programma's gebruikt namelijk DAGGEM, MOBISTAT en MOBIREGR. Het programma DAGGEM berekent de gemiddelde waarden van de outputgrootheden over een dag of een deel van een dag. Bij dit programma moet in de criteria file twee extra velden worden ingevuld. In het naux1 veld moet worden ingevuld hoe groot het aantal op elkaar volgende missende datapunten mag zijn dat nog opgevuld mag worden met behulp van een interpolatie. En in het naux2 veld moet worden aangegeven hoeveel datapunten er in het totaal op een dag mogen ontbreken, nadat de interpolatie is uitgevoerd. Als het aantal op elkaar volgende missende datapunten

of het aantal missende datapunten groter is dan wat is opgegeven in de velden naux1 en naux2 dan wordt het daggemiddelde niet uitgerekend.

Het statistische programma MOBISTAT berekent de statistische eigenschappen van de gegeven outputgrootheden in de criteria file. Dit programma werkt met hoogstens drie verschillende classificatiegrootheden en werkt met alle gegeven selecties. Voor elke klas, die ontstaat door de opgegeven classificaties in de criteria file, berekent dit programma het gemiddelde, het minimum, het maximum en de standaarddeviatie in het gemiddelde. Tevens geeft het programma aan hoeveel datapunten in een bepaalde klasse aanwezig zijn. Bij alle figuren in de volgende hoofdstukken die gemaakt zijn met behulp van het programma MOBISTAT zijn de standaarddeviaties in de gemiddelden weergegeven.

Ten slotte het statistische programma MOBIREGR. Dit programma berekent de lineaire regressiecoëfficiënt tussen twee opgegeven grootheden in de criteria file en de standaarddeviatie in de regressiecoëfficiënt. Dit programma kan werken met drie verschillende classificaties. Voor elke klasse wordt de regressiecoëfficiënt berekend. Bij dit programma moet in het naux1 veld het type van de regressie worden opgegeven en moet in het naux2 veld de orde van regressie worden opgegeven. Bij de analyses is een eerste orde regressie van de regressiemethode 2 gebruikt. Bij deze methode wordt een normale polynoom zonder offset bepaald. Bij alle figuren in de volgende hoofdstukken die gemaakt zijn met behulp van dit programma zijn de standaarddeviaties in de regressiecoëfficiënten weergegeven.

## 5 Beschrijving opzet analyses van oorzaken onbalans

In de hierop volgende hoofdstukken worden analyses uitgevoerd om de afhankelijkheden van de onbalans in de oppervlakte energiebalans te kunnen analyseren. Deze analyses worden uitgevoerd met behulp van de grootheid het relatieve energieverval. Deze grootheid is als volgt gedefinieerd

$$\delta = \frac{(Q - G) - (H + L_v E)}{Q - G} \quad 6.1$$

In deze formule staat  $\delta$  voor het relatieve energieverval (in -). Vanaf nu zal het relatieve energieverval meestal met dit symbool worden weergegeven. Voor uitleg over de overige grootheden wordt verwezen naar paragraaf 3.3. In paragraaf 6.1 worden de manieren besproken waarop het relatieve energieverval is bepaald met behulp van Mobibase. En in paragraaf 6.2 wordt de opzet van de analyses besproken.

### 5.1 Bepaling relatieve energieverval met behulp van Mobibase

Met behulp van de programma's in het softwarepakket Mobibase kan  $\delta$  op verschillende manieren worden bepaald. Bij de analyses in de volgende hoofdstukken zijn twee verschillende manieren toegepast. De eerste manier om  $\delta$  te bepalen is met behulp van het programma SELECT. Met behulp van SELECT wordt voor elk datapunt de output weergegeven in een ascii file. Om als output  $\delta$  te krijgen wordt in de output selectie van de criteria file formule 6.1 verwerkt. In figuur 6.1 is de output sectie met daarin formule 6.1 weergegeven voor de eddycorrelatiemethode. Voor de betekenis van de afkortingen wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
D QNTBAL-GS00				VERS		
D  VERS -HLEED				VER		
VER /VERS				REL		

Figuur 6.1: *Output sectie van de criteria file voor het berekenen van het relatieve energieverval met behulp van het programma SELECT*

De tweede manier waarop  $\delta$  is bepaald tijdens de analyses is met behulp van het statistische programma MOBIREGR. Bij het berekenen van  $\delta$  met behulp van dit programma wordt in de output sectie van de criteria file de grootheden de beschikbare energie en de turbulente fluxen opgegeven. Tevens wordt in het naux1 veld de waarde 2 opgegeven en in het naux2 veld de waarde 1. Met behulp van het programma MOBIREGR wordt dan de regressiecoëfficiënt bepaald met een eerste orde regressie en met een nuloffset. Aan de hand van de berekende regressiecoëfficiënten kan  $\delta$  worden bepaald door de volgende bewerking uit te voeren

$$\delta = 1 - A1 \quad 6.1$$

In deze formule staat A1 voor de berekende regressiecoëfficiënt (in -).

Ten slotte wordt toegelicht wanneer het programma SELECT en wanneer het programma MOBIREGR is gebruikt. Bij bijna alle analyses is het programma MOBIREGR gebruikt alleen bij de analyses waarbij er te weinig datapunten zijn om het statistische programma MOBIREGR te gebruiken, is gebruik gemaakt van het programma SELECT. Als in de volgende hoofdstukken niks wordt vermeld over het programma dat gebruikt is voor het bepalen van  $\delta$  dan is er gebruik gemaakt van het programma MOBIREGR.

## 5.2 Opzet analyses

Bij de analyses wordt er een onderscheidt gemaakt tussen de turbulente fluxen die bepaald zijn met behulp van de eddycorrelatiemethode en de turbulente fluxen die bepaald zijn met behulp van de profielmethode. Voor uitleg over deze twee methoden wordt verwezen naar hoofdstuk 3 en 4. In hoofdstuk 7, 8 en 9 worden analyses uitgevoerd met behulp van de eddycorrelatiemethode.

In hoofdstuk 7 wordt de eerste analyse uitgevoerd. Bij deze analyse wordt de afhankelijkheid van  $\delta$  van de dagelijkse gang en van de seizoenen bekeken. Daarna wordt in hoofdstuk 8 de afhankelijkheid van  $\delta$  van verschillende grootheden onderzocht. In dit hoofdstuk worden alleen afhankelijkheden onderzocht waarvan verwacht wordt dat er een mogelijke afhankelijkheid bestaat. Voor de volgende grootheden wordt de afhankelijkheid van  $\delta$  onderzocht namelijk de windsnelheid, de windrichting, de temperatuurgradiënt in de lucht, de vochtigheid, de bewolgingsgraad en de grenslaaghoogte. Ten slotte worden in hoofdstuk 9 analyses uitgevoerd voor enkele bijzonder dagen.

Daarna worden in hoofdstuk 11 de analyses van de belangrijkste resultaten met de correlatiemethode nogmaals uitgevoerd met behulp van de profielmethode. De profielmethode is gebaseerd op de eddycorrelatiemetingen die in het verleden op diverse locaties over de wereld zijn uitgevoerd onder andere in Cabauw. Mocht de profielmethode een ander resultaat opleveren dan de correlatiemethode dan zou dat impliceren dat de huidige eddycorrelatiemetingen zich anders gedragen dan de oude eddycorrelatiemetingen waarop de profielmethode is gebaseerd.



## **6 Analyse relatieve energieverval naar dagelijkse gang en seizoenen**

Het doel van dit hoofdstuk is om een eerste analyse naar  $\delta$  uit te voeren om een beeld te krijgen van het verloop van  $\delta$  naar de dagelijkse gang en de seizoenen. In paragraaf 7.1 zal een analyse uitgevoerd worden van  $\delta$  naar de dagelijkse gang. Daarna zal in paragraaf 7.2 een analyse uitgevoerd worden voor  $\delta$  naar dagnummer. Ten slotte zal in paragraaf 7.3 een samenvatting worden gegeven van de resultaten die bij deze analyses zijn gevonden.

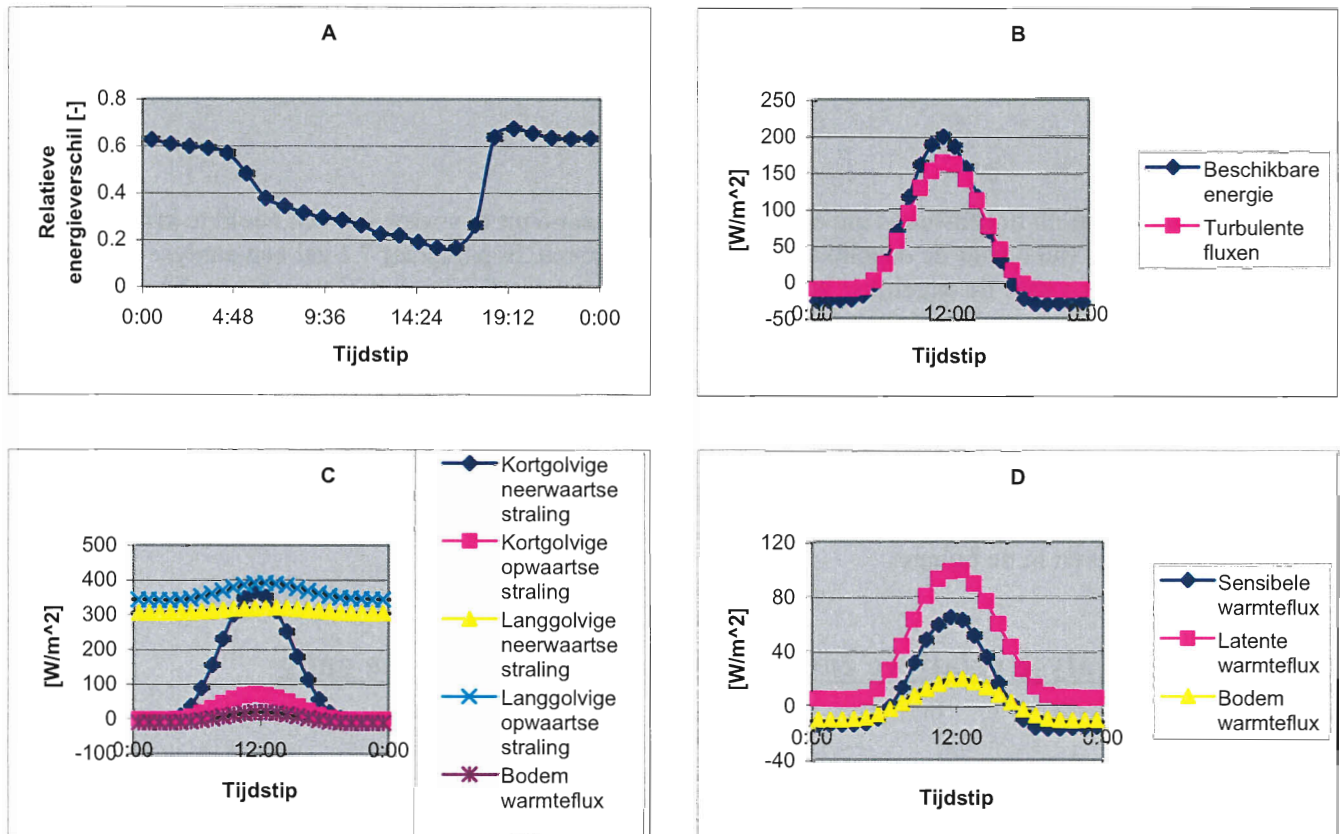
In dit hoofdstuk zal soms niet alleen een grafiek van  $\delta$  worden getoond, maar ook grafieken van de afzonderlijke termen van de energiebalans. Dit is gedaan om een beter beeld te krijgen van de grootte van de afzonderlijke termen. De grafieken van  $\delta$  zijn bepaald met behulp van het statistische programma MOBIREGR en de overige figuren zijn bepaald met behulp van het statistische programma MOBISTAT. Alle criteria files die gebruikt zijn om de betreffende figuren te verkrijgen, staan gegeven in de bijlage.

### **6.1 Analyse relatieve energieverval naar dagelijkse gang**

Het doel van deze paragraaf is het analyseren van  $\delta$  naar de dagelijkse gang. Voor deze analyse is in figuur 7.1a het gemiddelde  $\delta$  per uur voor alle data weergegeven. Met alle data wordt de data van 1 juli 1995 tot en met 31 december 1996 bedoeld. Tevens wordt in figuur 7.1b, c en d een beeld gegeven van de dagelijkse gang van de gemiddelde grootheden waaruit het gemiddelde  $\delta$  is opgebouwd. Bij alle analyses naar de dagelijkse gang zijn de waarden van de grootheden gemiddelden per uur, dit zal niet meer apart worden vermeld.

Voor  $\delta$  naar de dagelijkse gang is aan de hand van figuur 7.1a te zien dat  $\delta$  hoger is voor de avond – en nachttijdstippen dan voor de tijdstippen overdag. Tevens is te zien dat  $\delta$  afneemt naarmate het tijdstip op de dag vordert. In hoofdstuk 6 is besproken dat  $\delta$  is opgebouwd uit de beschikbare energie en de turbulente fluxen. In figuur 7.1b zijn de beschikbare energie en de turbulente fluxen naar de dagelijkse gang afgebeeld. Aan de hand van deze figuur is te zien dat beide termen voor avond – en nachttijdstippen kleine waarden aannemen. En dat voor allebei de termen midden op de dag de hoogste waarden worden bereikt. Daarnaast is voor allebei de termen naar de dagelijkse gang een parabolisch verloop zichtbaar.

In figuur 7.1c en d zijn de afzonderlijke componenten van de beschikbare energie en de turbulente fluxen weergegeven. Aan de hand van deze figuur kan worden gezien dat de meeste grootheden overdag hogere waarden aannemen dan 's avonds en 's nachts. Dit geldt voor alle grootheden behalve voor de beide langgolvlige stralingscomponenten. De langgolvlige stralingscomponenten hebben voor alle tijdstippen een grote positieve waarde.

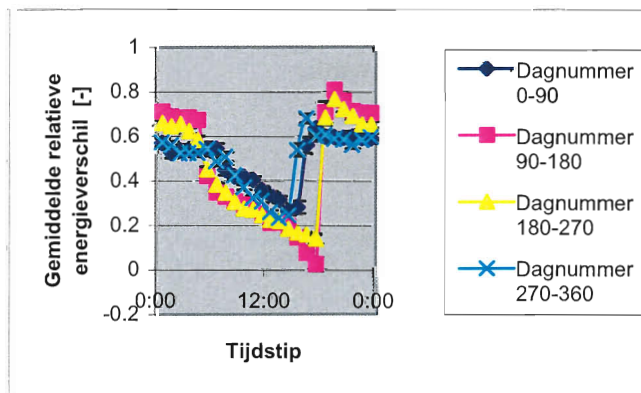


Figuur 7.1: Plots van verschillende grootheden naar de dagelijkse gang  
 a) Relatieve energieverval naar de dagelijkse gang  
 b) Beschikbare energie en turbulente fluxen naar de dagelijkse gang  
 c) Alle componenten van de beschikbare energie naar de dagelijkse gang  
 d) Sensibele, latente en bodem warmteflux naar de dagelijkse gang

Hieronder zal  $\delta$  naar de dagelijkse gang van figuur 7.1a worden opgesplitst in vier perioden van het jaar namelijk van dagnummer 0 tot 90, 90 tot 180, 180 tot 270 en 270 tot 360. In figuur 7.2 zijn voor deze vier perioden  $\delta$  naar de dagelijkse gang uitgezet.

Aan de hand van deze figuur is zichtbaar dat voor alle vier de perioden  $\delta$  naar de dagelijkse gang ongeveer hetzelfde verloop heeft. Toch zijn drie verschillen waarneembaar tussen de winterperioden en de zomerperioden. Hierbij worden de dagnummerklassen van 0 tot 90 en 270 tot 260 winterperioden genoemd en de dagnummerklassen van 90 tot 180 en 180 tot 270 zomerperioden.

Het eerste verschil dat waarneembaar is, is dat  $\delta$ 's nachts in de winterperioden lager is dan in de zomerperioden. 's Nachts neemt  $\delta$  in de winterperioden namelijk ongeveer een waarde van 0,6 aan en in de zomerperioden een waarde van 0,7. En overdag is  $\delta$  in de wintermaanden hoger dan in de zomermaanden.



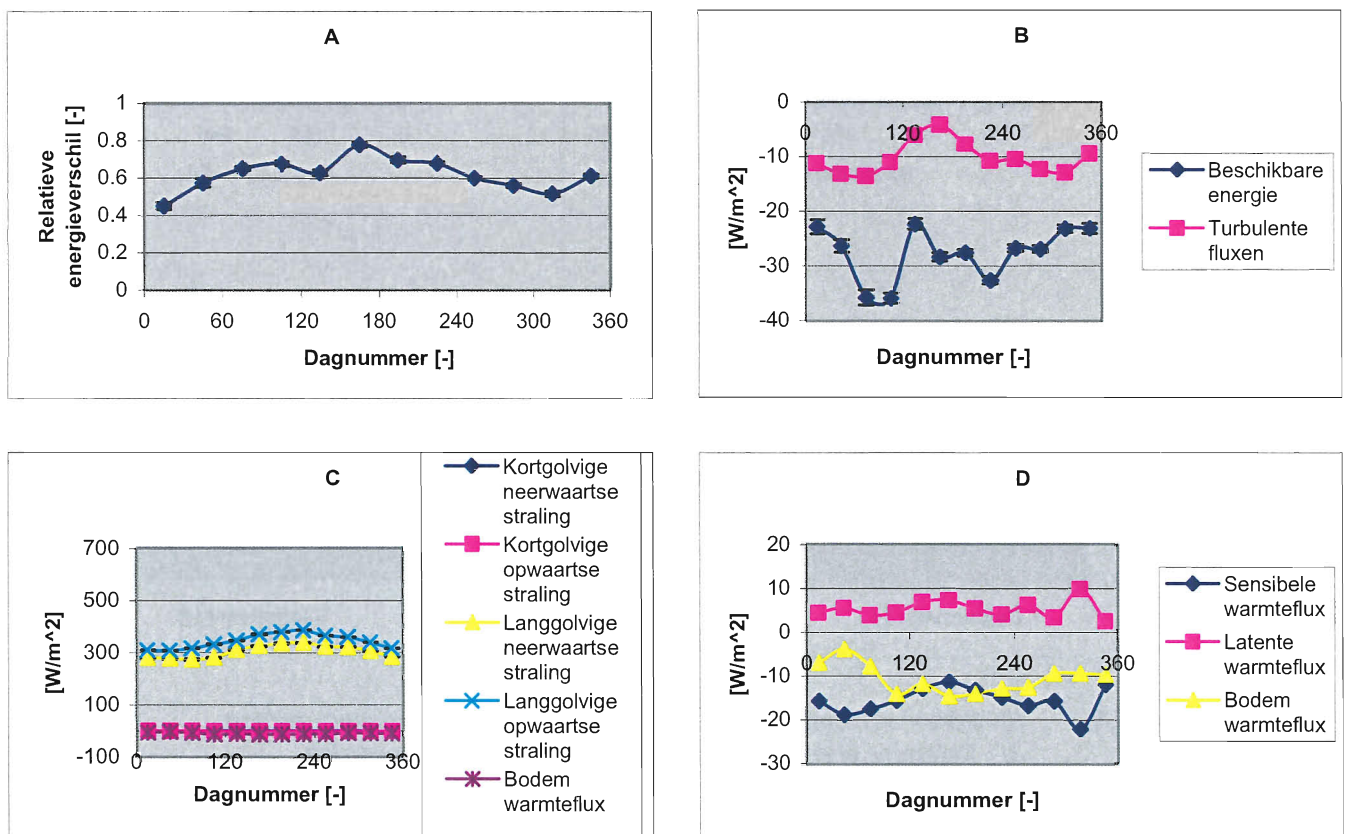
Figuur 7.2: Relatieve energieverval naar de dagelijkse gang voor dagnummerklassen

Het derde verschil dat waarneembaar is, is een verschil in het tijdstip dat  $\delta$  naar de nachtwaarden overspringt. In de winterperioden springt  $\delta$  eerder naar de nachtwaarden dan in de zomerperioden. Dit verschil is te verklaren met het verschil in daglengte. Hierdoor is het laagste punt van  $\delta$  in de winterperioden hoger dan in de zomerperioden. In de winterperioden is het laagste punt ongeveer 0,2 en in de zomerperioden ongeveer 0.

## 6.2 Analyse relatieve energieverval naar seizoenen

Het doel van deze paragraaf is om het verloop van  $\delta$  naar het dagnummer in beeld te krijgen. Bij deze analyse wordt het gemiddelde  $\delta$  per 30 dagen bepaald en wordt een onderscheid gemaakt tussen 's nacht en overdag. Bij alle analyses naar dagnummer zijn de waarden van alle grootheden gemiddelden per 30 dagen, dit zal niet meer apart worden vermeld.

In de onderstaande figuur 7.3a wordt  $\delta$  naar dagnummer voor de nacht weergegeven. Bij deze analyse zijn de datapunten vanaf 9 uur 's avonds tot 3 uur 's nachts meegenomen. Vervolgens zijn in de figuren 7.3b, c en d de termen waaruit  $\delta$  is opgebouwd weergegeven naar dagnummer voor de nacht.



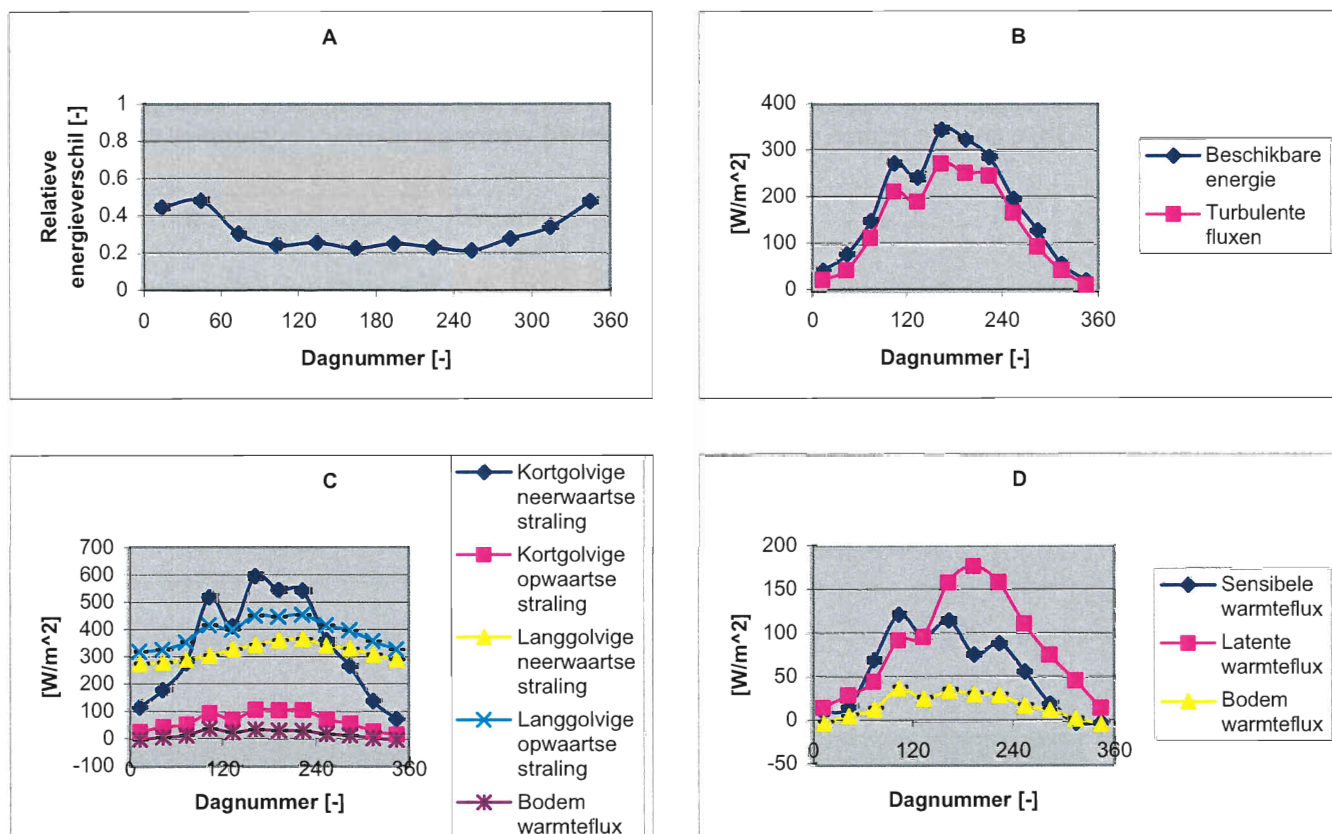
Figuur 7.3: Plots van verschillende grootheden naar dagnummer voor de nacht  
 a) Relatieve energieverval naar dagnummer voor de nacht  
 b) Beschikbare energie en turbulente fluxen naar dagnummer voor de nacht  
 c) Alle componenten van de beschikbare energie naar dagnummer voor de nacht  
 d) Sensibele, latente en bodem warmteflux naar dagnummer voor de nacht

Aan de hand figuur 7.3a is te zien dat  $\delta$  's nachts in de winter lager is dan in de zomer. Dit is ook geanalyseerd in de vorige paragraaf met behulp van figuur 7.2. Met behulp van figuur 7.3b is te zien dat de absolute waarde van de turbulente fluxen in de zomer lager is dan in de winter en in de herfst.

In figuur 7.3d is te zien dat dit voornamelijk wordt veroorzaakt doordat de absolute waarde van de sensibele warmteflux minder groot is in de zomer dan in de winter.

De beschikbare energie heeft een wisselend verloop over de dagnummers. In figuur 7.3c van de componenten van de beschikbare energie is te zien dat de langgolvlige stralingscomponenten rond de zomer hogere waarden aannemen dan in de winter. Aan de hand van de formules 3.10 tot en met 3.13 kan worden gezien, dat dit verschil te verklaren is aan de hand van het temperatuurverschil tussen de zomermaanden en de wintermaanden. Ook is aan de hand van deze formules af te leiden dat het verschil tussen de beide langgolvlige stralingscomponenten niet verandert gedurende het jaar.

Hieronder wordt dezelfde analyse uitgevoerd voor  $\delta$  naar dagnummer voor overdag. In figuur 7.4a, b, c en d zijn de verschillende figuren weergegeven. Deze figuren zijn bepaald met behulp van de datasamples van 9 uur 's ochtends tot 3 uur 's middags.



Figuur 7.4: Plots voor verschillende grootheden naar dagnummer voor overdag  
 a) Relatieve energieverval naar dagnummer voor overdag  
 b) Beschikbare energie en turbulente fluxen naar dagnummer voor overdag  
 c) Alle componenten van de beschikbare energie naar dagnummer voor overdag  
 d) Sensibele, latente en bodem warmteflux naar dagnummer voor overdag

Aan de hand van figuur 7.4a is te zien dat  $\delta$  overdag in de zomer lager is dan in de winter. Dit is ook geconstateerd in de vorige paragraaf met behulp van figuur 7.2. Met behulp van figuur 7.4b is te zien dat de beschikbare energie en de turbulente fluxen hogere waarden aannemen in de zomer dan in de winter. Ten slotte is in figuur 7.4c en d te zien dat alle termen waaruit de beschikbare energie en de turbulente fluxen zijn opgebouwd hogere waarden in de zomer aannemen dan in de winter.

### **6.3 Samenvatting analyses relatieve energieverval naar dagelijkse gang en seizoenen**

Aan de hand van de analyses is waargenomen dat  $\delta$  in de nacht hogere waarden aanneemt dan overdag. Bovendien neemt overdag  $\delta$  af naarmate de dag vordert. Voor alle maanden wordt dit zelfde verloop van  $\delta$  naar de dagelijkse gang waargenomen, echter er zijn drie verschillen geconstateerd tussen de winterperioden en de zomerperioden. Ten eerste is 's nachts  $\delta$  lager in de winter dan in zomer. In de winter wordt een waarde van ongeveer 0,6 aangenomen en in de zomer een waarde van ongeveer 0,7. En overdag is  $\delta$  hoger in de winter dan in de zomer. Ten derde is waargenomen dat  $\delta$  overdag in de winter op een eerder tijdstip naar de nachtwaarden springt dan in de zomer. Dit is te verklaren met het verschil in de daglengte. Hierdoor is het laagste punt dat voor  $\delta$  naar de dagelijkse gang wordt bereikt in de winter hoger dan in de zomer. In de winter neemt het laagste punt een waarde rond 0,2 aan en in de zomer neemt het laagste punt een waarde rond 0 aan.

Vervolgens worden de resultaten van de analyses van de grootheden waaruit  $\delta$  is opgebouwd gepresenteerd. In de nacht nemen de beschikbare energie en de turbulente fluxen lagere waarden aan dan overdag. Ook bijna alle afzonderlijke componenten waaruit deze twee termen zijn opgebouwd, nemen 's nachts lagere waarden aan dan overdag. Dit geldt alleen niet voor de langgolvlige stralingscomponenten. De langgolvlige stralingscomponenten nemen namelijk zowel 's nachts als overdag hoge waarden aan.

Aan de hand van de analyses naar dagnummer is geconstateerd dat de turbulente fluxen in de zomer in absolute waarde minder groot zijn dan in de winter. Voor de beschikbare energie is een grilliger verloop gevonden naar de dagnummers. Wel is geconstateerd dat voor de langgolvlige stralingscomponenten hogere waarden in de zomer worden aangenomen dan in de winter, echter geeft dit geen verandering voor het verschil tussen de beide langgolvlige stralingscomponenten. Voor overdag is geanalyseerd dat de waarden van de beschikbare energie, de turbulente fluxen en van alle componenten waaruit deze twee zijn opgebouwd in de zomer hogere waarden aannemen dan in de winter.

## **7 Analyses afhankelijkheid van het relatieve energieverval van diverse grootheden**

In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd of  $\delta$  afhankelijk is van verschillende grootheden. De afhankelijkheden van de volgende grootheden worden in dit hoofdstuk geanalyseerd, namelijk de windsnelheid, de windrichting, het temperatuurverschil tussen twee luchtlagen, de vochtigheid, de bewolingsgraad en de grenslaaghoogte. Deze grootheden zullen allemaal apart in de hierop volgende paragrafen worden besproken.

Voor bijna al deze grootheden worden eerst vier figuren uiteengezet met behulp van het statistische programma MOBIREGR. Ten eerste een figuur voor de betreffende grootheid met alle data van 1 juli 1995 tot en met 31 december 1996 naar  $\delta$ . Ten tweede een figuur met  $\delta$  naar de dagelijkse gang voor verschillende klassen van de grootheid. Deze figuur wordt geplott om te zien of er een afhankelijkheid bestaat tussen  $\delta$  en de grootheid onafhankelijk van de dagelijkse gang. Ten slotte een derde en een vierde figuur voor  $\delta$  overdag of 's nachts naar dagnummer voor verschillende klassen van de grootheid. Deze figuren zijn om te zien of er een afhankelijkheid bestaat tussen  $\delta$  en de betreffende grootheid onafhankelijk van het dagnummer. Alle criteria files van dit hoofdstuk worden weergegeven in de bijlage.

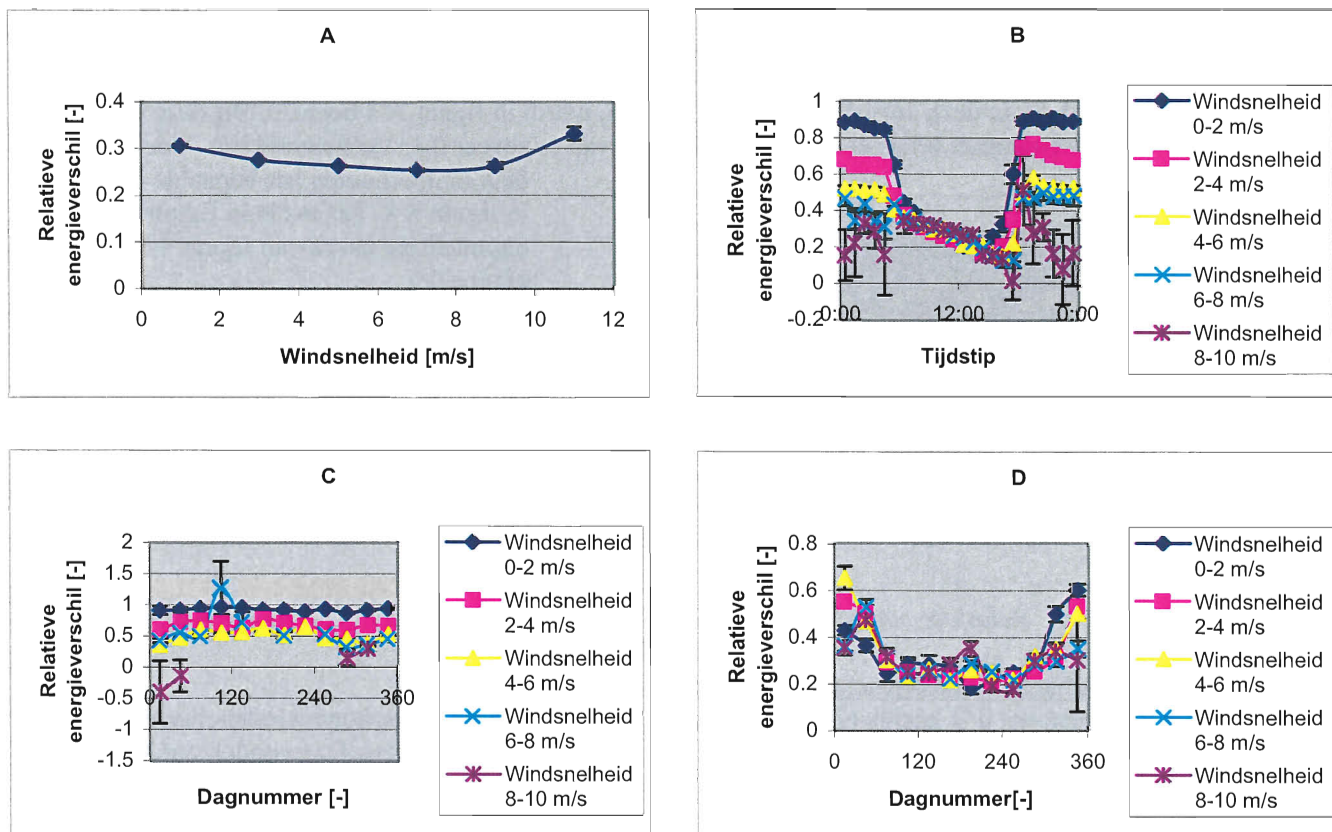
### **7.1 Afhangelijkheid van het relatieve energieverval van de windsnelheid**

Het doel van deze paragraaf is het analyseren of er een afhankelijkheid bestaat tussen  $\delta$  en de windsnelheid. Voor deze analyse worden in deze paragraaf eerst vier figuren gegeven om een eerste indruk te krijgen of er een afhankelijkheid aanwezig is. Deze figuren staan afgebeeld in figuur 8.1a, b, c en d.

Aan de hand van figuur 8.1a kan worden gezien dat  $\delta$  naar windsnelheid over alle datapunten niet heel erg uitlopend is. Het  $\delta$  neemt een licht parabolisch verloop aan als functie van de windsnelheid. De hoogste waarden van  $\delta$  worden aangenomen voor een windsnelheid rond 1 m/s en rond 11 m/s de waarden zijn dan ongeveer 0,3 en de laagste waarde wordt aangenomen voor een windsnelheid rond 7 m/s en heeft een waarde van ongeveer 0,25.

Met behulp van figuur 8.1b wordt bekeken of er een afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de windsnelheid is onafhankelijk van de dagelijkse gang. Aan de hand van deze figuur kan worden gezien dat voor de nacht een verschil in  $\delta$  optreedt voor de verschillende windsnelheidsklassen. Voor een windsnelheid tussen 0 en 2 m/s wordt een  $\delta$  van ongeveer 0,9 waargenomen, voor een windsnelheid tussen 2 en 4 m/s een waarde van ongeveer 0,7, voor een windsnelheid tussen 4 en 6 m/s een waarde van ongeveer 0,5, voor een windsnelheid tussen 6 en 8 m/s een waarde van ongeveer 0,4 en voor een windsnelheid tussen 8 en 10 m/s een waarde kleiner dan 0,4. Kortom des te lager de windsnelheid des te hoger het waargenomen  $\delta$ . Voor overdag is geen verschil in  $\delta$  waarneembaar voor de verschillende windsnelheidsklassen.

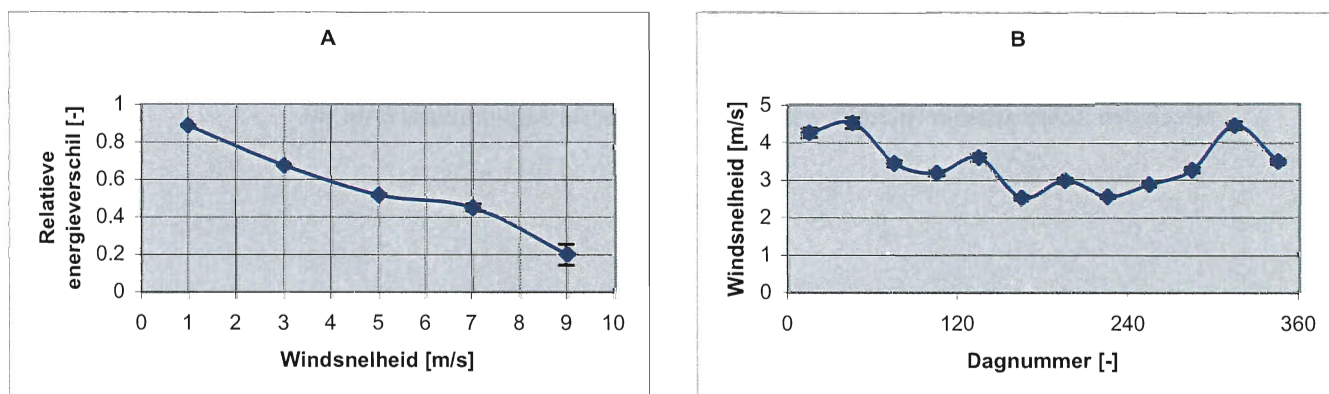
Met figuur 8.1c en d is bekeken of er een afhankelijkheid bestaat tussen  $\delta$  en de windsnelheid onafhankelijk van het dagnummer. Aan de hand van figuur 8.1c is zichtbaar dat er een afhankelijkheid is tussen de windsnelheid en  $\delta$  's nachts onafhankelijk van het dagnummer. In deze figuur zijn dezelfde waarden voor  $\delta$  waarneembaar voor de verschillende windsnelheidsklassen als in figuur 8.1b. Voor overdag is met behulp van figuur 8.1d te zien dat  $\delta$  voor de wintermaanden een lichte afhankelijkheid vertoont naar de windsnelheid, voor de overige maanden is geen afhankelijkheid zichtbaar.



Figuur 8.1: Plots voor het analyseren van de afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de windsnelheid  
 a) Relatieve energieverval naar windsnelheid voor alle data  
 b) Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor windsnelheidsklassen  
 c) Relatieve energieverval naar dagnummer 's nachts voor windsnelheidsklassen  
 d) Relatieve energieverval naar dagnummer overdag voor windsnelheidsklassen

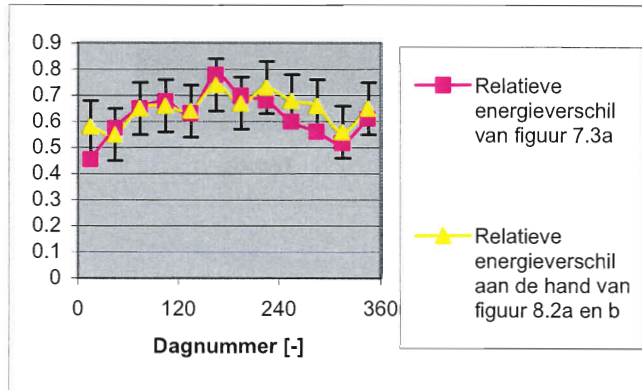
Aan de hand van deze figuren is een nieuwe afhankelijkheid voor  $\delta$  ontdekt, namelijk dat  $\delta$  's nachts afhankelijk is van de windsnelheid. In het vorige hoofdstuk is geconstateerd dat  $\delta$  's nachts naar dagnummer in de winter lager is dan in de zomer. Hieronder zal worden geanalyseerd of dit verschil mogelijk veroorzaakt wordt door een verschil in de windsnelheid.

Voor deze analyse wordt  $\delta$  van figuur 7.3a samen met  $\delta$  dat bepaald wordt met behulp van figuur 8.2a en b afgebeeld in figuur 8.3. In figuur 8.2a wordt voor de nacht  $\delta$  naar windsnelheid weergegeven en in figuur 8.2b wordt voor de nacht de windsnelheid naar dagnummer weergegeven.



Figuur 8.2: Plots voor het bepalen van het relatieve energieverval naar dagnummer voor de Nacht a) Relatieve energieverval naar windsnelheid b) windsnelheid naar dagnummer

Figuur 8.2b is bepaald met behulp van het statistische programma MOBISTAT. Voor elk dagnummerpunt van figuur B staat de waarde van de windsnelheid in een ascii file. Voor elke windsnelheid die in deze ascii-file wordt weergegeven, wordt in figuur A  $\delta$  bepaald. Bij deze bepaling van  $\delta$  naar dagnummer hoort een standaarddeviatie van ongeveer 0,1. Vervolgens zijn voor alle



dagnummerpunten het bepaalde  $\delta$  uitgezet in figuur 8.3. Tevens is in figuur 8.3 nogmaals de curve van figuur 7.3a afgebeeld.

Deze figuur laat zien dat allebei de curven ongeveer hetzelfde verloop vertonen. Aan de hand hiervan kan worden geconcludeerd dat het verschil in  $\delta$  in de nacht tussen de zomermaanden en wintermaanden veroorzaakt wordt door een verschil in de windsnelheid.

Figuur 8.3: *Relatieve energieverval naar dagnummer voor de nacht voor twee methodes*

### Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval naar windsnelheid

Er is gevonden dat  $\delta$  's nachts afhankelijk is van de windsnelheid. Voor hoge windsnelheden is een lagere waarde van  $\delta$  waarneembaar dan voor lage windsnelheden. Tevens is gevonden dat het verschil van  $\delta$  's nachts tussen de wintermaanden en de zomermaanden van hoofdstuk 7 veroorzaakt wordt door een verschil in de windsnelheid.

Voor overdag is gedurende de wintermaanden een lichte afhankelijkheid waarneembaar tussen  $\delta$  en de windsnelheid. Gedurende de overige maanden is geen afhankelijkheid zichtbaar.

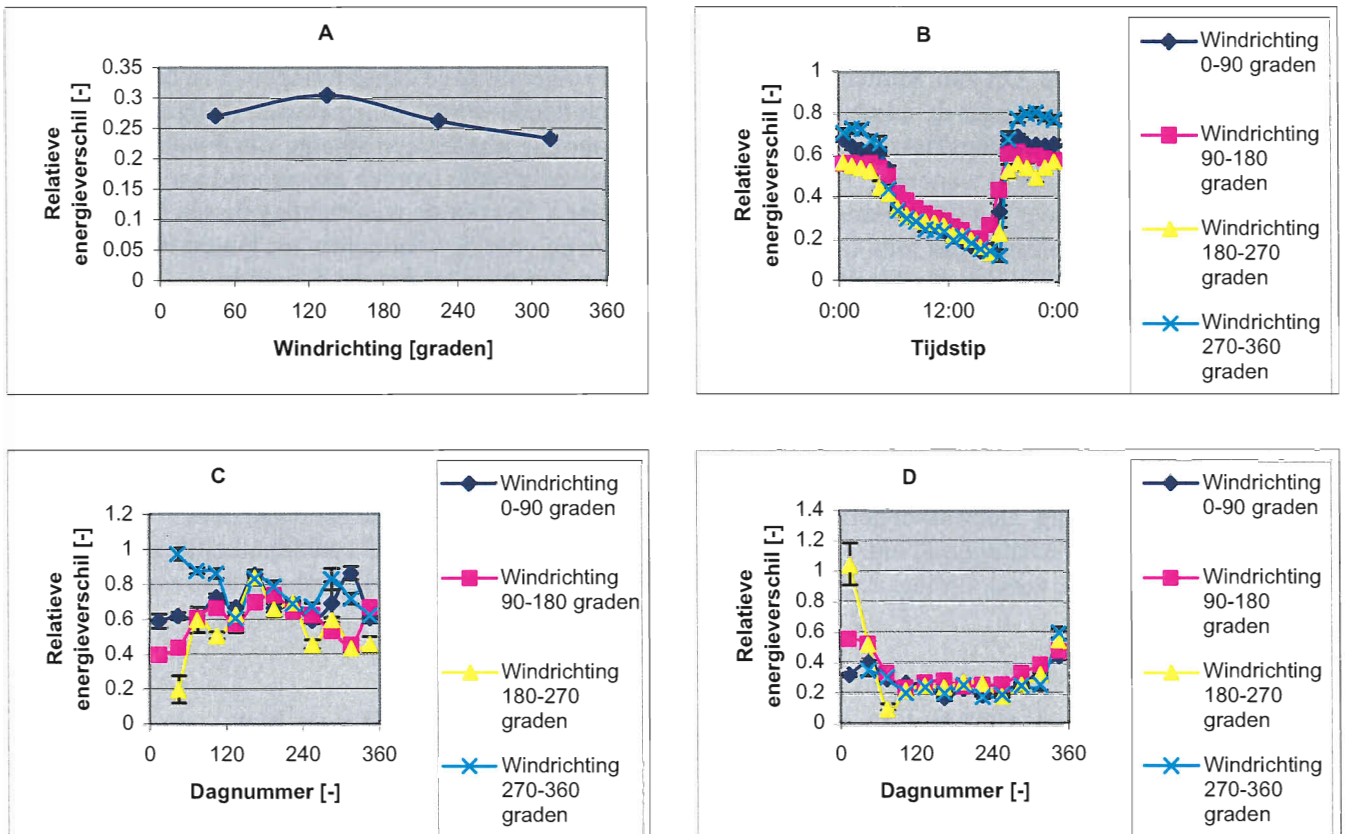
## **7.2 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de windrichting**

Het doel van deze paragraaf is het analyseren of er een afhankelijk is tussen  $\delta$  en de windrichting. Voor het analyseren van deze afhankelijkheid zullen in deze paragraaf eerst vier figuren worden uiteengezet. Deze figuren staan afgebeeld in figuur 8.4a, b, c en d.

In figuur 8.4a is een klein verschil in  $\delta$  waarneembaar naar de windrichting. Het  $\delta$  neemt eerst licht toe en neemt daarna weer af naar windrichting. De laagste waarde wordt aangenomen voor een windrichting rond 315 graden en heeft een waarde van ongeveer 0,24. En de hoogste waarde wordt aangenomen voor een windrichting rond 135 graden en heeft een waarde van ongeveer 0,3.

Met behulp van figuur 8.4b is te zien dat  $\delta$  licht afhankelijk is van de windrichting onafhankelijk van het tijdstip in de nacht. In figuur 8.4c kan worden gezien dat dit verschil in  $\delta$  voornamelijk wordt veroorzaakt door de dagnummers 0 tot 120. Voor overdag is met behulp van figuur 8.4b en d geen afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de windrichting naar tijdstip waarneembaar en is alleen een lichte afhankelijkheid waarneembaar voor de dagnummers 0 tot 90.

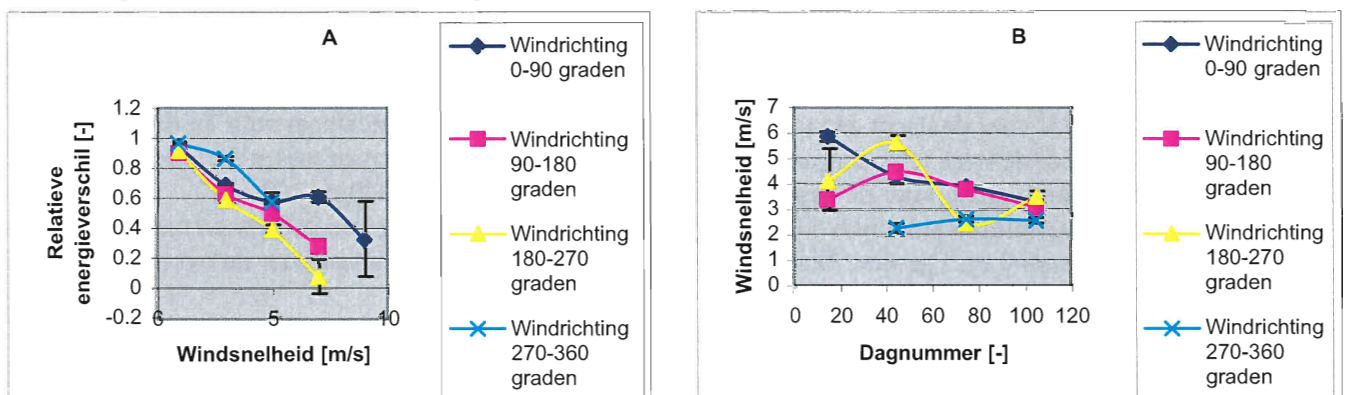




Figuur 8.4: Plots voor het analyseren van de afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de windrichting

- Relatieve energieverval naar windrichting voor alle data
- Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor windrichtingsklassen
- Relatieve energieverval naar dagnummer 's nachts voor windrichtingsklassen
- Relatieve energieverval naar dagnummer overdag voor windrichtingsklassen

Hieronder wordt geanalyseerd of de afhankelijkheid van  $\delta$  naar de windrichting voor de nacht voor de dagnummers 0 tot 120 niet is toe te schrijven aan een windsnelheidsafhankelijkheid. Voor deze analyse is voor de dagnummers 0 tot 120 in figuur 8.5a  $\delta$  naar windsnelheid voor de verschillende windrichtingsklassen uitgezet. En in figuur 8.5b is de windsnelheid naar dagnummer 0 tot 120 uitgezet voor de vier windrichtingsklassen.



Figuur 8.5: Relatieve energieverval en windsnelheid voor de nacht voor de dagnummers 0 tot 120 voor verschillende windrichtingsklassen

- Relatieve energieverval naar windsnelheid
- Windsnelheid naar dagnummer

Met behulp van figuur 8.4c en 8.5a en b kan worden geconstateerd, dat het verschil in  $\delta$  voor de verschillende windrichtingsklassen niet helemaal te verklaren is met behulp van een windsnelheidsafhankelijkheid. Dit kan worden aangetoond door de volgende twee constatering. Ten eerste doordat het verloop van  $\delta$  naar de windsnelheid voor de verschillende windrichtingsklassen in figuur 8.5a niet voor alle windrichtingsklassen hetzelfde is. Wel is voor alle klassen een afname van  $\delta$  waarneembaar als de windsnelheid toeneemt. Ten tweede kan het geconstateerde worden aangetoond aan de hand van figuur 8.5b. Voor het dagnummer rond 15 kan in figuur 8.5b voor de windrichting tussen 0 en 90 graden een windsnelheid rond 6 m/s worden afgelezen en voor de windrichtingen tussen 90 en 180 en tussen 180 en 270 een windsnelheid rond 4 m/s. In figuur 8.4c is te zien dat  $\delta$  voor de windrichtingsklasse tussen 90 en 180 het grootst is vergeleken met de andere twee windrichtingsklassen. Dit komt echter niet overeen met de windsnelheidsafhankelijkheid die in de vorige paragraaf is geconstateerd.

#### Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval naar windrichting

In deze paragraaf is geconstateerd dat voor de nacht voor de dagnummer 0 tot 120  $\delta$  afhankelijk is van de windrichting. Deze afhankelijkheid kan deels verklaard worden aan de hand van een windsnelheidsafhankelijkheid. Voor overdag is voor dagnummer 0 tot 90 een afhankelijk gevonden tussen  $\delta$  en de windrichting, deze afhankelijkheid kan door de voorgaande analyses niet worden verklaard.

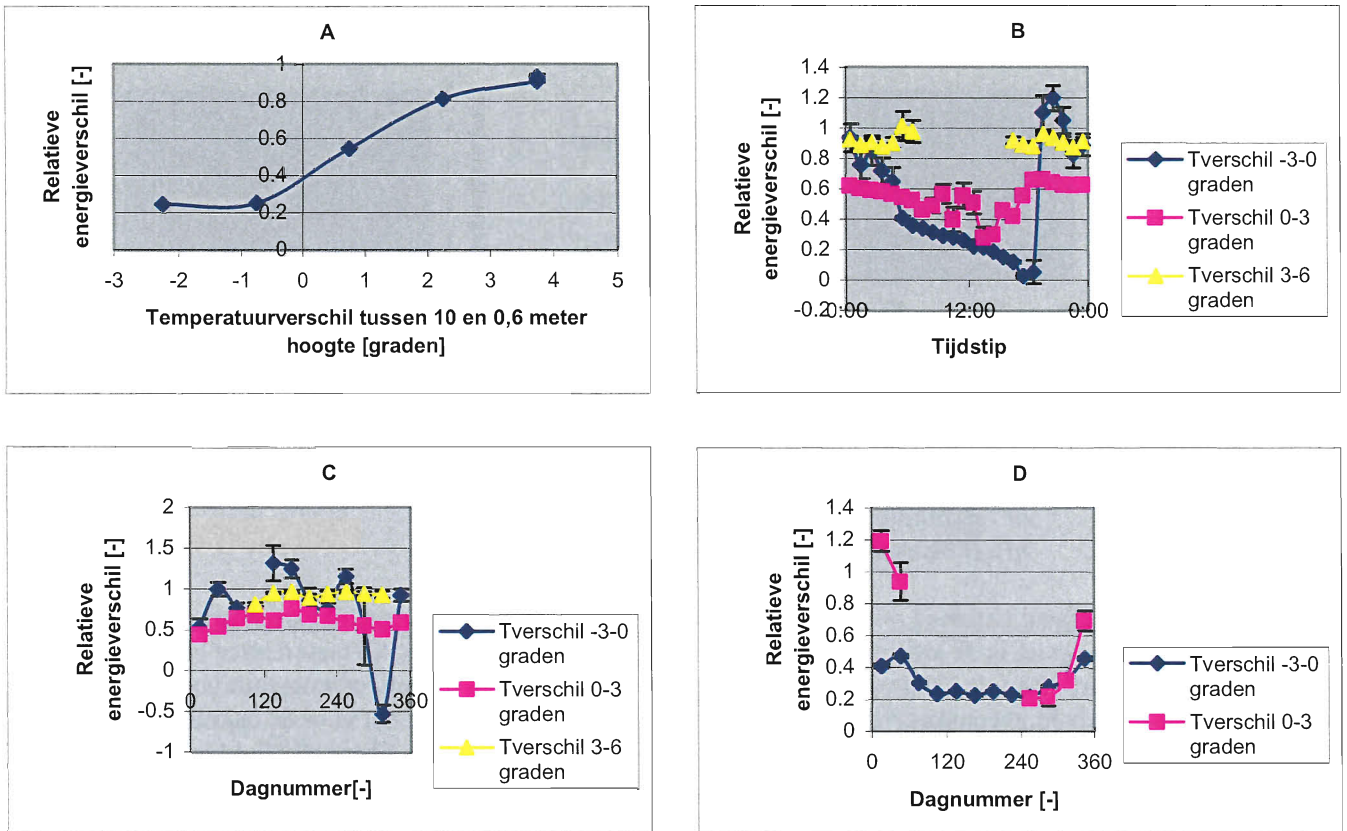
### **7.3 Afhangelijkheid van het relatieve energieverval van het temperatuurverschil**

Het doel van deze paragraaf is het analyseren of er een afhankelijkheid bestaat tussen  $\delta$  en het temperatuurverschil tussen twee luchtlagen. Het gaat hierbij om het luchttemperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter hoogte. Voor deze analyse worden eerst vier figuren uiteengezet in figuur 8.6a, b, c en d.

Met behulp van figuur 8.6a is een verschil van  $\delta$  waarneembaar voor verschillende temperatuurverschillen tussen twee luchtlagen. Voor negatieve waarden van het temperatuurverschil neemt  $\delta$  lage waarden aan en naarmate het temperatuurverschil steeds positiever wordt, wordt  $\delta$  steeds groter. De laagste waarde die voor  $\delta$  wordt aangenomen is ongeveer 0,25 voor een temperatuurverschil rond de  $-2,3$  graden. En de hoogste waarde die voor  $\delta$  dat wordt aangenomen is ongeveer 0,9 en deze wordt aangenomen voor een waarde van het temperatuurverschil rond 3,8 graden.

Dit verloop is enigszins te verklaren met behulp van de figuren 8.6b, c en d aangezien het temperatuurverschil tussen  $-3$  en 0 graden voornamelijk overdag voorkomt, het temperatuurverschil tussen 0 en 3 graden overdag en 's nachts voorkomt en het temperatuurverschil tussen 3 en 6 graden alleen 's nachts voorkomt. In paragraaf 7.1 is gevonden dat  $\delta$  's nachts hoger is dan overdag hiermee is het verschil tussen de verschillende temperatuurverschillklassen en hun bijbehorende  $\delta$  te verklaren.

Toch zijn er nog twee temperatuurverschilafhankelijkheden zichtbaar in de figuren 8.6b, c en d. Ten eerste is voor de nacht een temperatuurverschilafhankelijkheid zichtbaar voor de dagnummers 90 tot 330 voor de twee temperatuurverschillklassen tussen 0 en 3 graden en tussen 3 en 6 graden. Ten tweede is voor overdag voor de dagnummers tussen 0 en 60 en tussen 330 en 360 een temperatuurverschilafhankelijkheid zichtbaar voor de twee temperatuurverschillklassen tussen  $-3$  en 0 graden en tussen 0 en 3 graden. Deze afhankelijkheid is echter niet zichtbaar voor de overige dagnummers

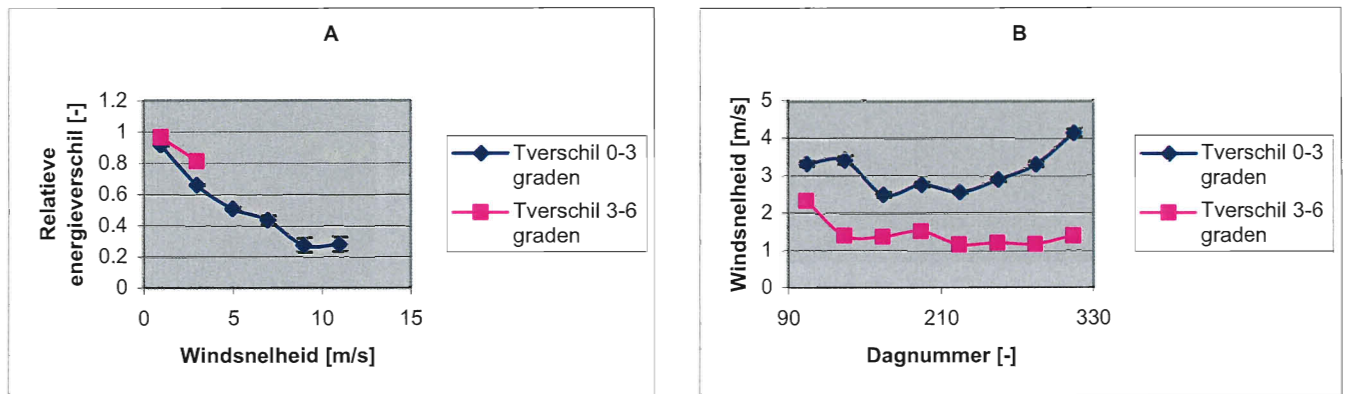


Figuur 8.6: Plots voor het analyseren van de afhankelijkheid van het relatieve energieverval van het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter hoogte

- Relatieve energieverval naar het temperatuurverschil voor alle data
- Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor temperatuurverschilclassen
- Relatieve energieverval naar dagnummer 's nachts voor temperatuurverschilclassen
- Relatieve energieverval naar dagnummer overdag voor temperatuurverschilclassen

Hieronder wordt bekeken of het verschil in  $\delta$  voor de twee temperatuurverschilclassen in de nacht is te verklaren aan de hand van de windsnelheid. Voor deze analyse is voor de nacht voor de dagnummers 90 tot 330 in figuur 8.7a  $\delta$  naar de windsnelheid weergegeven voor de twee temperatuurverschilclassen en in figuur 8.7b de windsnelheid naar het dagnummer 90 tot 330 voor de twee classen.

Aan de hand van de figuren 8.6c en 8.7a en b kan worden afgeleid, dat het verschil in  $\delta$  voor de twee temperatuurverschilclassen deels wordt veroorzaakt door een windsnelheidsafhankelijkheid. Dit kan als volgt worden afgeleid. Voor de dagnummers 90 tot 330 is de windsnelheid van de temperatuurverschilklasse tussen 0 en 3 graden hoger dan voor de temperatuurverschilklasse tussen 3 en 6 graden. En  $\delta$  van de temperatuurverschilklasse tussen 0 en 3 graden is lager dan voor de temperatuurverschilklasse tussen 3 en 6 graden. Dit is consistent met de afgeleide windsnelheidsafhankelijkheid in paragraaf 8.1. Het verschil in  $\delta$  kan echter ook nog door een stabiliteitseffect worden veroorzaakt, dit is geconstateerd aan de hand van figuur 8.7a aangezien de twee curven van de twee temperatuurverschilclassen voor lage windsnelheden niet helemaal hetzelfde zijn.



Figuur 8.7: *Relatieve energieverval en windsnelheid voor de nacht voor dagnummer 90 tot 330 voor twee temperatuurverschilclassen*  
 a) *Relatieve energieverval naar windsnelheid*  
 b) *Windsnelheid naar dagnummer*

Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval van temperatuurverschil tussen twee luchtlagen  
 In deze paragraaf is de afhankelijkheid van  $\delta$  van het temperatuurverschil tussen twee luchtlagen geanalyseerd. Aan de hand van de analyses is voor de nacht een mogelijke temperatuurverschil afhankelijkheid geconstateerd. Tevens is voor overdag waargenomen dat voor de dagnummers 0 tot 60 en 330 tot 360 een temperatuurverschilafhankelijk aanwezig is. Deze afhankelijkheid is echter niet waargenomen voor de overige dagnummers.

## 7.4 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de vochtigheid

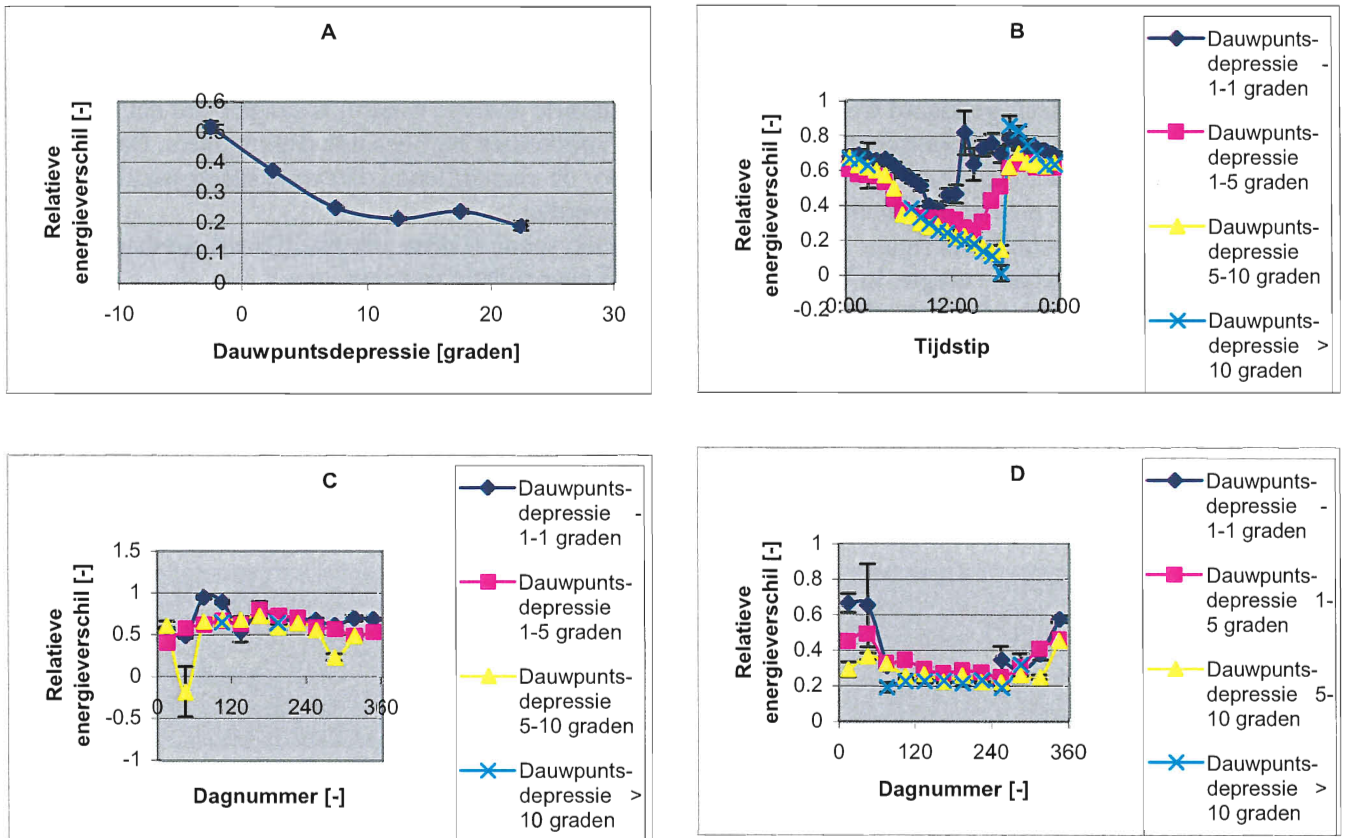
Het doel van deze paragraaf is het analyseren van  $\delta$  afhankelijkheid van de vochtigheid. Deze afhankelijkheid wordt onderzocht aan de hand van twee analyses.

### 7.4.1 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de dauwpuntsdepressie

Het doel van deze subparagraaf is het analyseren van de afhankelijkheid van  $\delta$  van de dauwpuntsdepressie. De dauwpuntsdepressie is het verschil tussen de absolute temperatuur en de dauwpuntstemperatuur. Bij deze analyse worden de temperaturen op een hoogte van 10 meter gebruikt. Voor de definitie van de dauwpuntstemperatuur wordt verwezen naar paragraaf 3.3.4. Voor deze analyse worden eerst vier verschillende figuren geplott in respectievelijk figuur 8.8a, b, c en d.

In figuur 8.8a is te zien dat  $\delta$  duidelijk verschilt voor verschillende waarden van de dauwpuntsdepressie. In deze figuur zijn ook negatieve waarden van de dauwpuntsdepressie zichtbaar, maar eigenlijk bestaan er geen negatieve waarden voor de dauwpuntsdepressie. Deze negatieve waarden zijn veroorzaakt door meetfouten. Voor deze negatieve waarden neemt  $\delta$  hoge waarden aan en als de dauwpuntsdepressie positiever wordt, wordt  $\delta$  lager. De hoogste waarde van  $\delta$ , namelijk een waarde van ongeveer 0,5, wordt aangenomen voor een dauwpuntsdepressie rond  $-2,5$  graden. En de laagste waarde van  $\delta$ , namelijk een waarde van ongeveer 0,2, wordt aangenomen voor een dauwpuntsdepressie rond  $22,5$  graden.

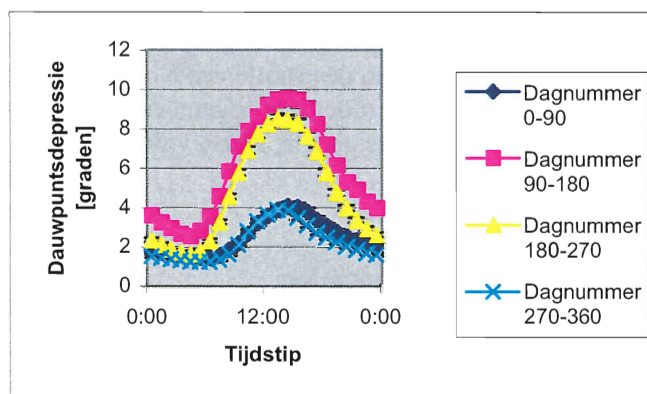
Met behulp van figuur 8.8b en c kan worden geconstateerd dat er voor de nacht geen afhankelijkheid van  $\delta$  naar de dauwpuntsdepressie is. Voor overdag is met behulp van figuur 8.8b een afhankelijkheid van  $\delta$  naar de dagelijkse gang te zien. Maar er is bijna geen afhankelijkheid van  $\delta$  naar dagnummer voor overdag te zien, alleen voor de dagnummers 0 tot 60 is een afhankelijkheid waarneembaar.



Figuur 8.8: Plots voor het analyseren van de afhankelijkheid van het relatieve energiever-  
 schil van de dauwpuntsdepressie  
 a) Relatieve energiever-  
 schil voor alle data naar dauwpuntsdepressie  
 b) Relatieve energiever-  
 schil naar dagelijkse gang voor dauwpuntsdepressie-  
 klassen  
 c) Relatieve energiever-  
 schil naar dagnummer 's nachts voor  
 dauwpuntsdepressie-  
 klassen  
 d) Relatieve energiever-  
 schil naar dagnummer overdag voor  
 dauwpuntsdepressie-  
 klassen

Er zijn twee verschillen waarneembaar in figuur 8.8b voor  $\delta$  voor de verschillende  
 dauwpuntsdepressie-  
 klassen. Ten eerste is in figuur 8.8b te zien dat voor de dauwpuntsdepressie-  
 klassen met lage waarden  $\delta$  eerder overspringt naar de nachtwaarden dan voor de  
 dauwpuntsdepressie-  
 klassen met hoge waarden.

Hieronder zal met behulp van figuur 8.9 worden onderzocht of dit is te verklaren aan de hand  
 van een afhankelijk tussen de dauwpuntsdepressie en het dagnummer onafhankelijk van de dagelijkse  
 gang. In figuur 8.9 is de

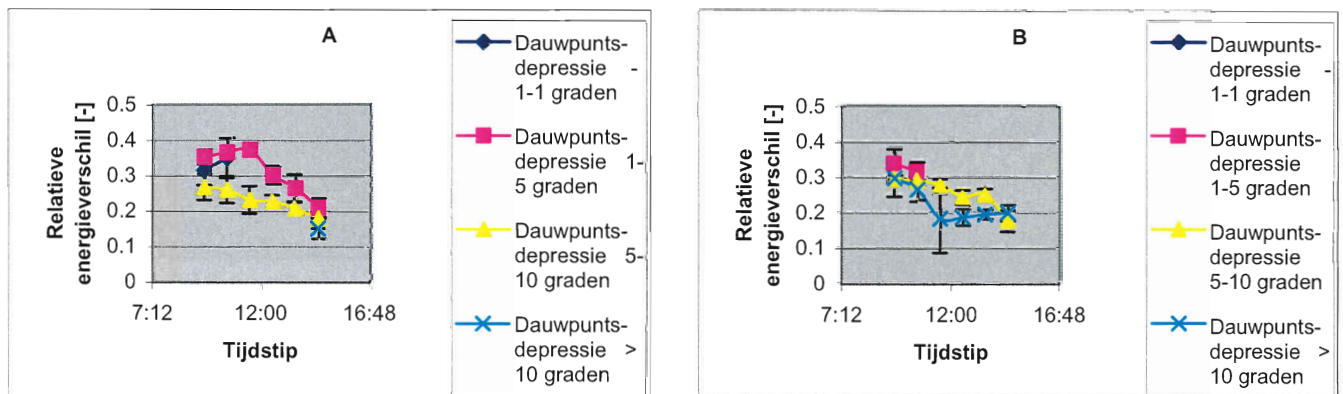


dauwpuntsdepressie naar de dagelijkse gang  
 weergegeven voor vier dagnummerklassen.  
 Aan de hand van deze figuur kan worden  
 geconstateerd dat in de wintermaanden  
 voornamelijk lage waarden van het  
 dauwpuntsdepressie voorkomen en dat in de  
 zomermaanden voornamelijk hoge waarden  
 van de dauwpuntsdepressie voorkomen  
 voor tijdstippen overdag. Hiermee is het  
 tijdstip waarop  $\delta$  van de verschillende  
 dauwpuntsdepressie-  
 klassen naar de  
 nachtwaarden springt te verklaren.

Figuur 8.9: *Dauwpuntsdepressie naar dagelijkse gang voor dagnummerklassen*

Het tweede verschil is een verschil in de grootte van  $\delta$  voor de verschillende dauwpuntsdepressieklassen onafhankelijk van het tijdstip overdag. Het  $\delta$  neemt namelijk hogere waarden aan voor lage dauwpuntsdepressies en lagere waarden voor hoge dauwpuntsdepressies. Dit verschil kan deels verklaard worden door de bovenstaande analyse waarbij is aangetoond dat bepaalde waarden van de dauwpuntsdepressies voornamelijk voorkomen bij bepaalde dagnummers. Daarnaast wordt hieronder geanalyseerd of het verschil in  $\delta$  voor de verschillende dauwpuntsdepressieklassen een mogelijke nieuwe afhankelijkheid geeft voor  $\delta$  overdag.

Met behulp van figuur 8.10a en b wordt geanalyseerd of deze afhankelijkheid onafhankelijk is van de beschikbare energie. In figuur 8.10 a en b is  $\delta$  naar tijdstip overdag voor dauwpuntsdepressieklassen afgebeeld voor respectievelijk een beschikbare energie tussen 100 en 150  $W/m^2$  en tussen 300 en 350  $W/m^2$ . Met behulp van deze figuur is te zien dat er een lichte afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de dauwpuntsdepressie bestaat onafhankelijk van het tijdstip en de beschikbare energie.



Figuur 8.10: *Relatieve energieverval naar tijdstip voor dauwpuntsdepressieklassen voor een bepaalde hoeveelheid beschikbare energie*  
a) Beschikbare energie tussen 100 en 150  $W/m^2$   
b) Beschikbare energie tussen 300 en 350  $W/m^2$

Echter met behulp van deze afhankelijkheid is niet het verloop van  $\delta$  naar de dagelijkse gang voor overdag te verklaren. Dit is geconstateerd door de volgende twee punten. Ten eerste wordt met behulp van figuur 8.9 een maximale waarde voor  $\delta$  voor de vier dauwpuntsdepressieklassen gevonden. Voor alle vier de klassen bevindt dit maxima zich op een tijdstip van ongeveer half 3. In figuur 8.8b is echter niet te zien dat de grootte van  $\delta$  na half 3 weer afneemt voor de vier dauwpuntsdepressieklassen. Ten tweede is in figuur 8.10 te zien dat voor de dauwpuntsdepressieklassen  $\delta$  afneemt naar tijdstip.

#### Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval van de dauwpuntsdepressie

Aan de hand van de in deze subparagraaf uitgevoerde analyses is voor de nacht geen afhankelijkheid gevonden tussen  $\delta$  en de dauwpuntsdepressie. Voor overdag is wel een mogelijke lichte afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de dauwpuntsdepressie ontdekt onafhankelijk van de dagelijkse gang en de beschikbare energie. Echter met deze mogelijke afhankelijkheid is alleen de grootte van  $\delta$  op de dag te verklaren en niet het verloop van  $\delta$  naar de tijdstip op de dag. Ten slotte moet nog opgemerkt worden dat er bijna geen afhankelijkheid van  $\delta$  naar dagnummer voor overdag te zien is, alleen voor de dagnummers 0 tot 60 is een afhankelijkheid waarneembaar.

### 7.4.2 Vergelijking relatieve energieverval droge en natte perioden

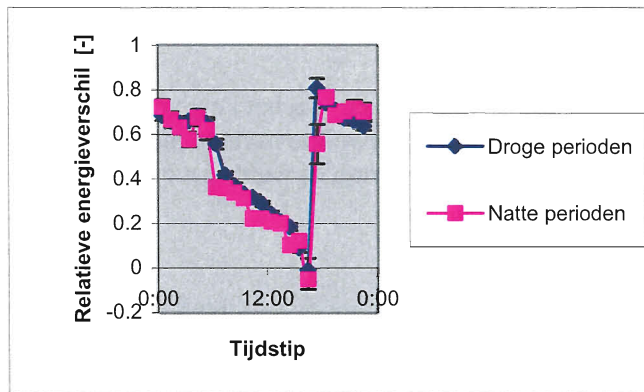
Het doel van deze subparagraaf is het uitvoeren van een analyse waarbij  $\delta$  van droge perioden en natte perioden worden vergeleken. Met het programma MOBIBASE zijn de droge perioden bepaald. Hieronder zal uiteengezet worden hoe deze perioden zijn bepaald. Eerst zijn met het programma

DAGGEM de daggemiddelde bepaald van de verhouding tussen de sensibele warmteflux en latente warmteflux voor de tijdstippen tussen 9 uur 's ochtends en 4 uur 's middags. Voor deze bepaling is in de gebruikte criteria in het veld naux1 een waarde van 2 opgegeven en in het veld naux2 een waarde van 4.

Uit de verkregen lijst van de daggemiddelden zijn de daggemiddelden eruit gehaald waarvoor dit gemiddelde groter zijn dan één. Vervolgens is er onderzocht of er meerdere dagen achterelkaar zijn waarvoor dit gemiddelde een waarde heeft van groter dan één. Hieruit volgden drie perioden namelijk de periode van 9 maart tot en met 20 maart 1996, 1 april tot en met 9 april 1996 en 12 april tot en met 22 april 1996. Aangezien alle drie deze perioden in maart en april vallen is gekozen om de droge en de natte perioden van de maanden maart en april uit te zetten.

Voordat de grafieken van de droge en natte perioden van de maanden maart en april zijn gemaakt, is eerst met de daggemiddelden van de regenhoeveelheden gecontroleerd of er inderdaad geen regen valt in de droge perioden en inderdaad wel soms regen valt in de natte perioden. Hieruit is gebleken dat de hierboven opgegeven perioden juist zijn.

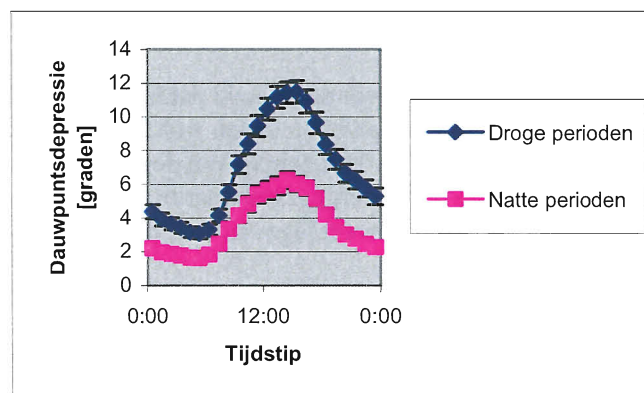
Daarna is met het statistische programma MOBIREGR  $\delta$  naar de dagelijkse gang bepaald voor de droge en de natte perioden. In figuur 8.11 zijn de grafieken van de droge en de natte perioden van de maanden maart en april 1996 uiteengezet.



In deze figuur is zichtbaar dat  $\delta$  van zowel de droge als voor de natte perioden hetzelfde verloop vertonen voor de dagelijkse gang. Het  $\delta$  neemt voor allebei de perioden 's nachts hoge waarden aan en overdag neemt  $\delta$  af. Echter is er één klein verschil tussen de twee perioden zichtbaar, namelijk dat  $\delta$  overdag voor de droge perioden iets hogere waarden aanneemt dan voor de natte perioden. Hieronder zal worden geanalyseerd of dit is te verklaren aan de hand van de dauwpuntsdepressie.

Figuur 8.11: *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor droge en natte perioden in maart en april 1996*

Aangezien de dauwpuntsdepressie afhankelijk is van de beschikbare energie zijn voor allebei de perioden eerst de gemiddelde waarden van de beschikbare energie uitgerekend. Hieruit volgde voor de droge perioden een waarde van ongeveer  $247 \pm 6 \text{ W/m}^2$  en voor de natte perioden een waarde van ongeveer  $185 \pm 7 \text{ W/m}^2$ . In figuur 8.12 wordt vervolgens de dauwpuntsdepressie naar de dagelijkse gang weergegeven voor allebei deze perioden.



Aan de hand van de berekende gemiddelden van de beschikbare energie en figuur 8.12 kan worden gezien dat het verschil in  $\delta$  voor de droge en de natte perioden niet te verklaren is aan de hand van de afgeleide mogelijke afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de dauwpuntsdepressie in paragraaf 8.4.1. De droge perioden hebben namelijk een hogere waarden voor de beschikbare energie en de dauwpuntsdepressie dan de natte perioden en toch hebben de droge perioden hogere waarden voor  $\delta$  dan de natte perioden.

Figuur 8.12: *Dauwpuntsdepressie naar de dagelijkse gang voor droge en natte perioden in maart en april 1996*

### Conclusie vergelijking droge en natte perioden

Het verloop van  $\delta$  tijdens de droge en de natte perioden is bijna hetzelfde. Alleen gedurende de dag is een klein verschil waarneembaar. Tijdens de dag is  $\delta$  van de droge perioden een klein beetje hoger dan  $\delta$  van de natte perioden. Dit verschil is niet te verklaren met behulp van de geconstateerde mogelijke afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de dauwpuntsdepressie van de vorige subparagraaf.

## **7.5 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de bewolgingsgraad**

Het doel van deze paragraaf is het analyseren of er een afhankelijkheid bestaat tussen  $\delta$  en de bewolgingsgraad. Voor deze analyse moet een onderscheid worden gemaakt tussen 's nachts en overdag.

### **7.5.1 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de bewolgingsgraad 's nachts**

Om de onbewolkte en bewolkte nachten te classificeren is gebruikgemaakt van het langgolvlige stralingsverschil. Het interval waarin dit verschil voor onbewolkte en bewolkte nachten moet liggen is bepaald met de formules 3.10 tot en met 3.13. Aan de hand van deze formules wordt gevonden dat het verschil van de langgolvlige straling geschreven kan worden met

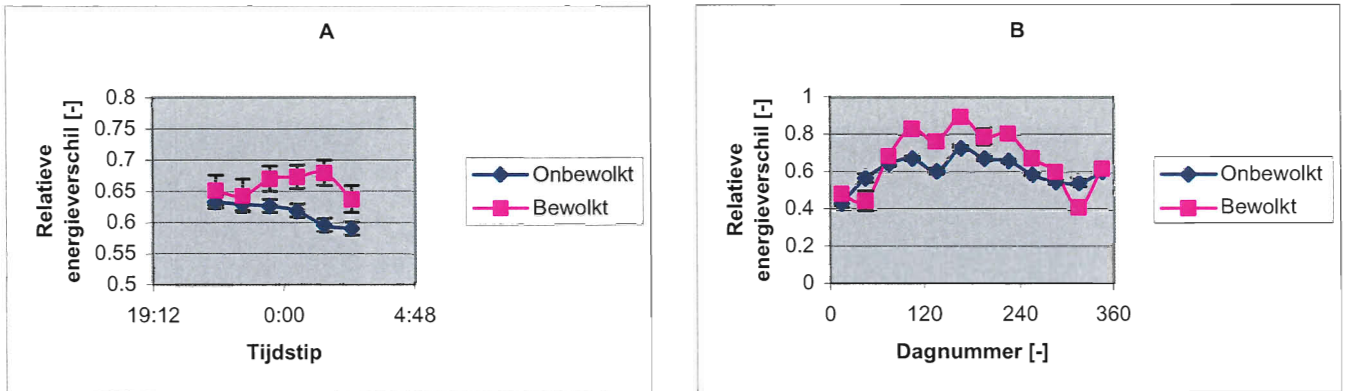
$$L^{\downarrow} - L^{\uparrow} = \sigma(\epsilon_{am} T^4 + dm - \epsilon_g T_s^4) \quad 8.1$$

Met behulp van deze formule wordt een schatting gemaakt voor het langgolvlige stralingsverschil-interval waarbij bewolking optreedt en het langgolvlige stralingsverschilinterval waarbij geen bewolking optreedt.

Met behulp van tabel 3.2 wordt voor de effectieve grijze lichaam emissiecoëfficiënt  $\epsilon_g$  een waarde van ongeveer 0,98 gevonden. Vervolgens wordt met behulp van formule 3.14 voor de effectieve atmosferische emissiecoëfficiënt  $\epsilon_{atm}$  een waarde van 0,72 gevonden. Bij deze berekening is van een waterdampdruk van 8 mbar uitgegaan. 's Nachts is de absolute temperatuur van de lucht  $T$  hoger dan de absolute oppervlakte temperatuur  $T_s$ . Aan de hand van deze gegevens kan met behulp van 8.1 worden gezien dat het absolute langgolvlige stralingsverschil groter is voor onbewolkte dagen dan voor bewolkte dagen. De absolute laagste waarden voor onbewolkte dagen worden aangenomen voor de laagste temperaturen met tevens het grootste temperatuurverschil. Met behulp van MOBIBASE is bepaald dat het grootste temperatuurverschil ongeveer 5 graden is. Ten slotte wordt het langgolvlige stralingsverschil bepaald voor een lage temperatuur namelijk een luchttemperatuur van  $-10$  graden Celcius en een oppervlakte temperatuur van  $-15$  graden Celcius. Hieruit volgt een waarde van  $-51 \text{ W/m}^2$ .

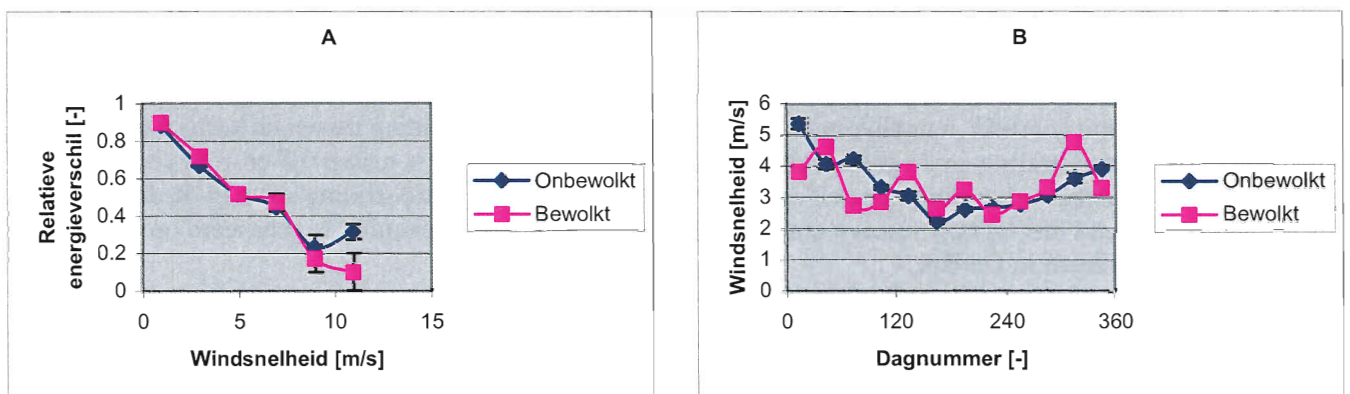
Hieruit volgen de selecties namelijk voor onbewolkte dagen wordt de selectie dat het langgolvlige stralingsverschil kleiner dan  $-50 \text{ W/m}^2$  moet zijn en voor bewolkte dagen wordt de selectie dat het stralingsverschil tussen  $-50 \text{ W/m}^2$  en  $0 \text{ W/m}^2$  moet zijn. Met behulp van deze classificaties is de figuur 8.13a en b gemaakt. In figuur 8.13a wordt  $\delta$  weergegeven naar tijdstip in de nacht voor onbewolkte en bewolkte nachten en in figuur 8.13b wordt  $\delta$  weergegeven naar dagnummer voor onbewolkte en bewolkte nachten.





Figuur 8.13: Plots voor het analyseren van het relatieve energieverschil afhankelijkheid van de bewolgingsgraad voor de nacht  
 a) Relatieve energieverschil naar tijdstip in de nacht voor bewolgingsgraadklassen  
 b) Relatieve energieverschil naar dagnummer voor bewolgingsgraadklassen

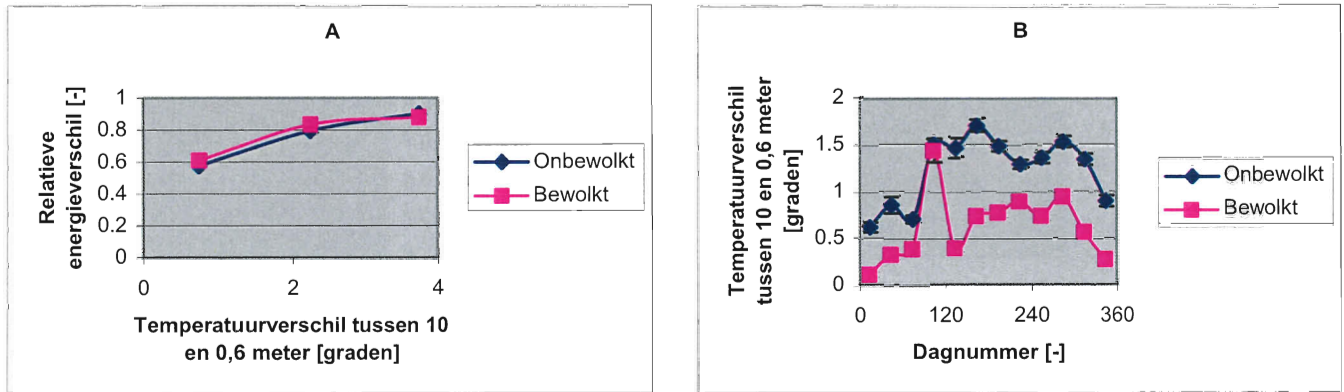
Aan de hand van figuur 8.13 kan worden afgeleid dat een klein verschil in  $\delta$  waarneembaar is tussen bewolkte en onbewolkte nachten. Hieronder zal worden gekeken met behulp van figuur 8.14a en b of dit verschil veroorzaakt wordt door een verschil in de windsnelheid. In figuur 8.14a is  $\delta$  naar de windsnelheid uitgezet voor onbewolkte en bewolkte nachten en in figuur 8.14 b de windsnelheid naar dagnummer voor bewolkte en onbewolkte nachten. Met behulp van figuur 8.13 en 8.14 is af te leiden dat het verschil in  $\delta$  voor onbewolkte en bewolkte nachten niet is te verklaren aan de hand van alleen een windsnelheidsafhankelijkheid.



Figuur 8.14: Relatieve energieverschil en windsnelheid voor onbewolkte en bewolkte nachten  
 a) Relatieve energieverschil naar windsnelheid  
 b) Windsnelheid naar dagnummer

Hieronder zal worden onderzocht of het verschil in  $\delta$  tussen onbewolkte en bewolkte nachten mogelijk wordt veroorzaakt door een temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter. Voor deze analyse is in figuur 8.15a  $\delta$  uitgezet tegen het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter voor onbewolkte en bewolkte nachten en in figuur 8.15b het temperatuurverschil naar dagnummer voor de twee soorten nachten.

In figuur 8.15b kan worden gezien dat onbewolkte nachten gemiddeld een groter temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter hebben dan bewolkte nachten. Hieruit kan worden afgeleid dat onbewolkte nachten gemiddeld genomen stabiel zijn dan bewolkte nachten. In figuur 8.15a is te zien dat de curven voor onbewolkte en bewolkte nachten voor  $\delta$  naar het temperatuurverschil bijna hetzelfde zijn. Tevens is in deze figuur te zien dat  $\delta$  hoger is als het temperatuurverschil hoger is. Dit is ook in paragraaf 8.3 geconstateerd. Met behulp van deze analyses kan het verschil in  $\delta$  tussen onbewolkte en bewolkte nachten niet worden verklaard. Aangezien in figuur 8.13b voor onbewolkt nachten  $\delta$  juist lagere waarden aanneemt dan voor bewolkte nachten.



Figuur 8.15: *Relatieve energieverval en temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter voor onbewolkte en bewolkte nachten*  
 a) *Relatieve energieverval naar temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter*  
 b) *Temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter naar dagnummer*

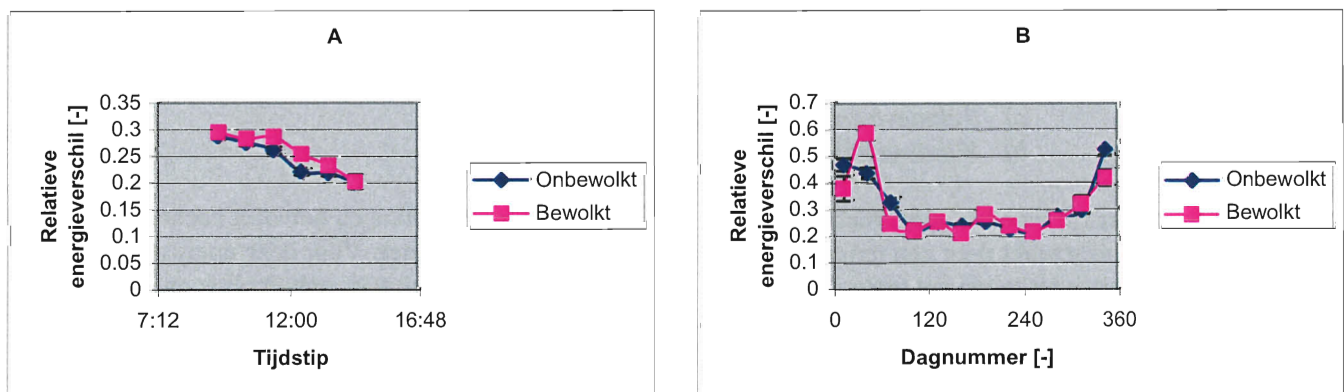
Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval van bewolgingsgraad 's nachts

Aan de hand van de uitgevoerde analyses in deze subparagraaf is een verschil in  $\delta$  tussen onbewolkte en bewolkte nachten gevonden. Dit verschil kan nog niet goed worden verklaard met behulp van een windsnelheidsafhankelijkheid of een temperatuurverschilafhankelijkheid.

**7.5.2 Afhangelijkheid van het relatieve energieverval van de bewolgingsgraad overdag**

Bij de analyse van de afhankelijkheid van  $\delta$  naar de bewolgingsgraad voor overdag is de volgende classificatie gebruikt, namelijk voor onbewolkte dagen is de verhouding tussen de kortgolfige neerwaartse straling en de globale straling als er een heldere hemel is tussen 0,5 en 1 en voor bewolkte dagen is deze verhouding tussen 0 en 0,5. De waarden van de globale straling staan in de database en zijn bepaald met behulp van een modelberekening. Deze modelberekening is gebaseerd op waarnemingen in De Bilt.

In figuur 8.16a en b is  $\delta$  naar de dagelijkse gang en naar dagnummer weergegeven voor onbewolkte en bewolkte dagen.



Figuur 8.16: *Plots voor analyse relatieve energieverval afhankelijkheid naar bewolgingsgraad voor overdag*  
 a) *Relatieve energieverval naar tijdstip en naar bewolgingsgraad*  
 b) *Relatieve energieverval naar dagnummer en naar bewolgingsgraad*

In deze grafieken is te zien dat  $\delta$  voor onbewolkte en bewolkte dagen ongeveer gelijk is. Er is alleen een verschil zichtbaar rond een tijdstip van 12 uur en voor de dagnummers van 0 tot 90 en van 330 tot 360.

#### Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval van de bewolgingsgraad overdag

Met behulp van de uitgevoerde analyses in deze subparagraaf is geen duidelijke afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de bewolgingsgraad voor overdag ontdekt. Wel is een klein verschil tussen  $\delta$  voor onbewolkte en bewolkte dagen zichtbaar rond het tijdstip 12 uur en voor de dagnummers tussen 0 en 90 en tussen 330 en 360.

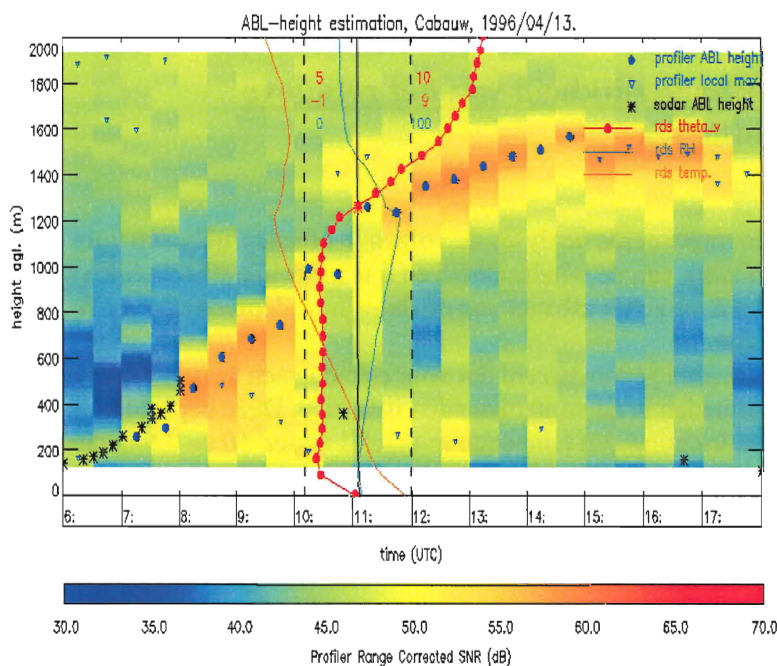
## 7.6 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van de grenslaaghoogte voor overdag

In deze paragraaf wordt de afhankelijkheid van  $\delta$  van de grenslaaghoogte geanalyseerd voor tijdstippen overdag. Met behulp van deze analyse wordt onderzocht of het verloop van  $\delta$  naar de tijdstippen overdag is te verklaren aan de hand van de grenslaaghoogte. Bij deze analyse is gebruikgemaakt van heldere dagen in de periode van 21 maart tot en met 21 september waarvoor  $\delta$  op elk tijdstip overdag aanwezig is.

Deze dagen zijn als volgt bepaald. Eerst zijn de heldere dagen in deze periode bepaald met behulp van het plotten met PLOTMND van de kortgolvlige neerwaartse straling en de globale straling bij een heldere hemel. Als de curven van allebei deze grootheden op elkaar liggen is er sprake van een heldere dag. Vervolgens zijn voor alle heldere dagen  $\delta$  geplot met behulp van PLOTDAG, hiermee is bepaald voor welke heldere dagen  $\delta$  profiel aanwezig is. Daarna zijn voor deze dagen de grenslaaghoogten bepaald door Drs. H. Klein Baltink.

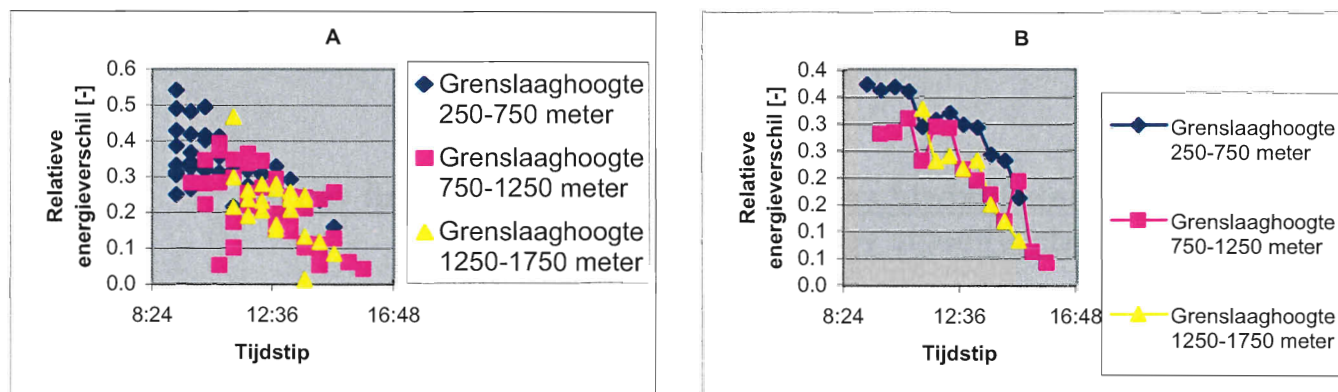
Uiteindelijk zijn er in het totaal elf heldere dagen waarvoor  $\delta$  en de grenslaaghoogten voor overdag aanwezig zijn. Hieronder zal voor één dag, namelijk 13 april 1996, de grafiek van de grenslaaghoogten naar de dagelijkse gang worden weergegeven. Deze figuur is weergegeven in figuur 8.17.

De blauwe stippen in deze figuur geven de grenslaaghoogten weer die bepaald zijn met behulp van de profiler en de zwarte sterretjes geven de grenslaaghoogten weer die bepaald zijn met behulp van de sodar. De gestippelde rode lijn geeft het virtuele potentiële temperatuurprofiel weer. Aan de hand van dit profiel worden de grenslaaghoogten gecontroleerd. Voor meer uitleg hierover wordt verwezen naar paragraaf 3.2 en naar Stull (1988). De doorgetrokken lijn geeft de temperatuur aan en de blauwe lijn de relatieve vochtigheid. Bij de verticale gestippelde lijnen worden de marges van de virtuele potentiële temperatuur, de absolute temperatuur en de relatieve vochtigheid aangegeven.



Figuur 8.17: Grenslaaghoogte naar dagelijkse gang voor 13 april 1996

Met behulp van de data van  $\delta$  en de grenslaaghoogten van de elf heldere dagen tussen 9 uur 's ochtends en 3 uur 's middags is figuur 8.18a en b gemaakt. In figuur 8.18a staat het spreidingsdiagram van  $\delta$  naar tijdstip overdag voor verschillende klassen van de grenslaaghoogte en in figuur 8.18b staan de gemiddelden van  $\delta$  per tijdstip per klasse van de grenslaaghoogte weergegeven. In deze figuren worden geen standaarddeviaties gegeven.



Figuur 8.18: *Relatieve energieverval naar tijdstip overdag voor verschillende klassen van de grenslaaghoogte*  
a) *Spreidingsdiagram van het relatieve energieverval*  
b) *Gemiddelde waarden van het relatieve energieverval*

Aan de hand van figuur 8.18 is niet af te leiden of er een afhankelijkheid is tussen de grenslaaghoogte en  $\delta$  onafhankelijk van het tijdstip overdag. Wel is te zien dat voor alle drie de klassen van de grenslaaghoogte  $\delta$  afneemt naar het tijdstip overdag, dit kan veroorzaakt worden doordat voor latere tijdstippen vooral de hoger grenslaaghoogten van een klasse voorkomen. Om de afhankelijkheid van  $\delta$  en de grenslaaghoogte beter te onderzoeken, zijn er meer datapunten nodig.

#### Conclusie afhankelijkheid relatieve energieverval van de grenslaaghoogte overdag

Aan de hand van de in deze subparagraaf uitgevoerde analyses kunnen er geen conclusies worden getrokken over een verband tussen  $\delta$  en de grenslaaghoogte voor overdag.

## **7.7 Samenvatting analyses afhankelijkheid van het relatieve energieverval van grootheden**

In dit hoofdstuk zijn aan de hand van de uitgevoerde analyses de volgende afhankelijkheden voor  $\delta$  geconstateerd. Voor de nacht is  $\delta$  afhankelijk van de windsnelheid en  $\delta$  is mogelijk afhankelijk van de stabiliteit. Voor overdag is gevonden dat  $\delta$  mogelijk afhangt van de dauwpuntsdepressie en dat  $\delta$  misschien afhangt van de grenslaaghoogte.

Tevens is naast deze afhankelijkheden geconstateerd dat voor overdag een verschil in  $\delta$  voor verschillende klassen van bepaalde grootheden in de wintermaanden is te zien. Deze bepaalde grootheden zijn de windsnelheid, de windrichting, het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter en de bewolgingsgraad. Deze verschillen zijn in dit hoofdstuk niet nader onderzocht en daardoor ook niet verklaard.

## 8 Analyses relatieve energieverval voor enkele bijzondere dagen

In dit hoofdstuk wordt  $\delta$  van enkele bijzondere dagen geanalyseerd. In paragraaf 9.1 worden dagen geanalyseerd waarop de bodem warmteflux ongeveer gelijk is aan  $0 \text{ W/m}^2$  en in paragraaf 9.2 drie nachten met dezelfde waarden voor de beschikbare energie, voor de windsnelheid en voor de windrichting waarbij een groot verschil in  $\delta$  optreedt.

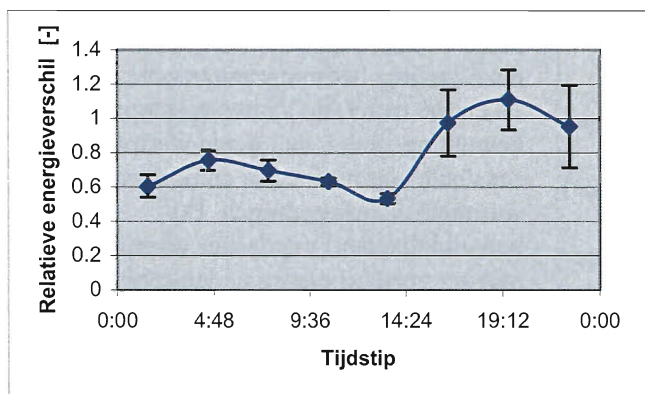
### 8.1 Dagen waarop de bodem warmteflux ongeveer nul is

Het doel van deze paragraaf is het analyseren of  $\delta$  niet alleen wordt veroorzaakt door een fout in de bodemwarmtemeter. Deze analyse wordt uitgevoerd met behulp van het waarnemen van het verloop van  $\delta$  naar de dagelijkse gang voor dagen waarop de bodem warmteflux ongeveer gelijk aan  $0 \text{ W/m}^2$  is. Als hetzelfde verloop wordt geanalyseerd als het verloop van  $\delta$  voor alle dagen naar de dagelijkse gang, zie hiervoor de figuren in hoofdstuk 7, dan kan  $\delta$  niet veroorzaakt worden door alleen een fout van de bodemwarmtemeter.

#### Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor dagen aan het begin of einde van een vriesperiode

Voor het uitvoeren van deze analyse zijn eerst de dagen bepaald waarop de bodem warmteflux ongeveer gelijk is aan  $0 \text{ W/m}^2$ . Met behulp van formule 3.14 kan worden afgeleid dat de bodem warmteflux gelijk is aan  $0 \text{ W/m}^2$  als de temperatuurgradiënt gelijk is aan 0. Daarom zijn met behulp van het programma PLOTMND de dagen bepaald waarop de temperatuur op 0 en 2 cm diepte gelijk zijn aan 0 graden. Daarna is gekeken of de bodem warmteflux op deze dagen inderdaad kleine waarden aanneemt. Tevens is gecontroleerd of deze dagen aan het einde of aan het begin van een vriesperiode zitten. Uiteindelijk zijn de volgende dagen gevonden, namelijk 6 januari, 14, 15, 23 en 24 februari 1996.

In figuur 9.1 zijn voor deze dagen  $\delta$  naar de dagelijkse gang weergegeven. Het  $\delta$  is



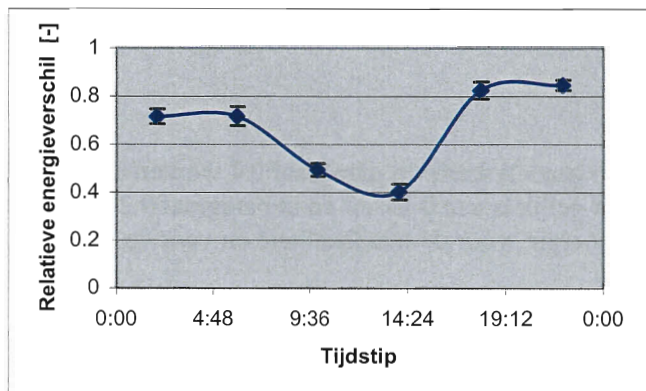
weergegeven met behulp van een gemiddelde over een tijdsduur van drie uur. Deze middelingsduur is noodzakelijk aangezien er te weinig datapunten beschikbaar zijn voor gemiddelden over een uur. In deze figuur is ongeveer hetzelfde verloop zichtbaar voor  $\delta$  naar de dagelijkse gang als in hoofdstuk 7. Ook bij deze dagen is  $\delta$  's avonds en 's nachts hoger dan overdag en neemt  $\delta$  af gedurende de dag. Echter bij deze dagen is in de nacht een groter verschil zichtbaar in  $\delta$ .

Figuur 9.1: *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor dagen aan het begin of einde van een vriesperiode*

#### Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor dagen waarop het sneeuwt

Er zijn vier dagen in de database van 1995 en 1996 waarop het heeft gesneeuwd namelijk op de dagen 7 januari 1995 en 19,20 en 21 februari 1996. Op dagen dat het sneeuwt wordt de bodem warmteflux in de bodem gebruikt om de sneeuw te laten smelten. De sneeuw heeft een isolerende werking en hierdoor is de bodem warmteflux aan het aardoppervlak boven de sneeuwlaag ongeveer gelijk aan  $0 \text{ W/m}^2$ .

In figuur 9.2 is  $\delta$  naar de dagelijkse gang uitgezet voor deze vier dagen. Bij deze uiteenzetting is het



aantal klassen in de classificatie sectie verminderd door de tijdstuur van elke klasse te vergroten van één uur naar vier uur. Dit is noodzakelijk aangezien bij een tijdsduur van één uur te weinig datapunten aanwezig zijn per klasse om statistisch  $\delta$  te bepalen.

In deze figuur is hetzelfde verloop voor  $\delta$  naar tijdstip te zien zoals in hoofdstuk 7. Ook bij de sneeuwdagen is  $\delta$  op avond - en nachttijdstippen hoog en neemt  $\delta$  af naar tijdstip op de dag.

Figuur 9.2: *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor sneeuwdagen*

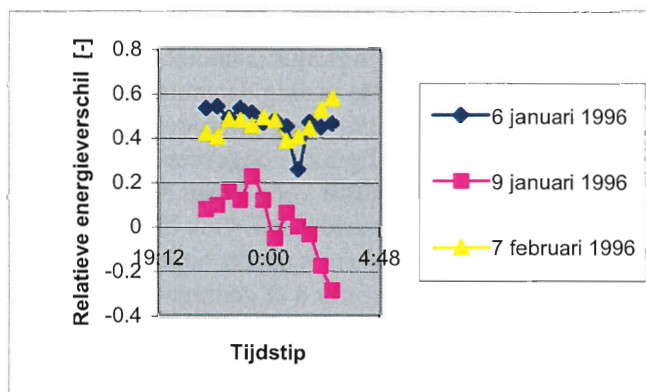
### Samenvatting van de analyses

Aan de hand van de twee uitgevoerde analyses in deze paragraaf is gebleken dat de dagelijkse gang van  $\delta$  voor dagen waarop de bodem warmteflux klein is hetzelfde verloop vertoont als dagen waarop de bodem warmteflux niet alleen klein is. Hiermee kan worden geconcludeerd dat  $\delta$  in ieder geval niet alleen wordt veroorzaakt door een fout in de bodem warmtefluxmetingen.

## **8.2 Drie nachten met dezelfde waarden voor de beschikbare energie en de windcomponenten**

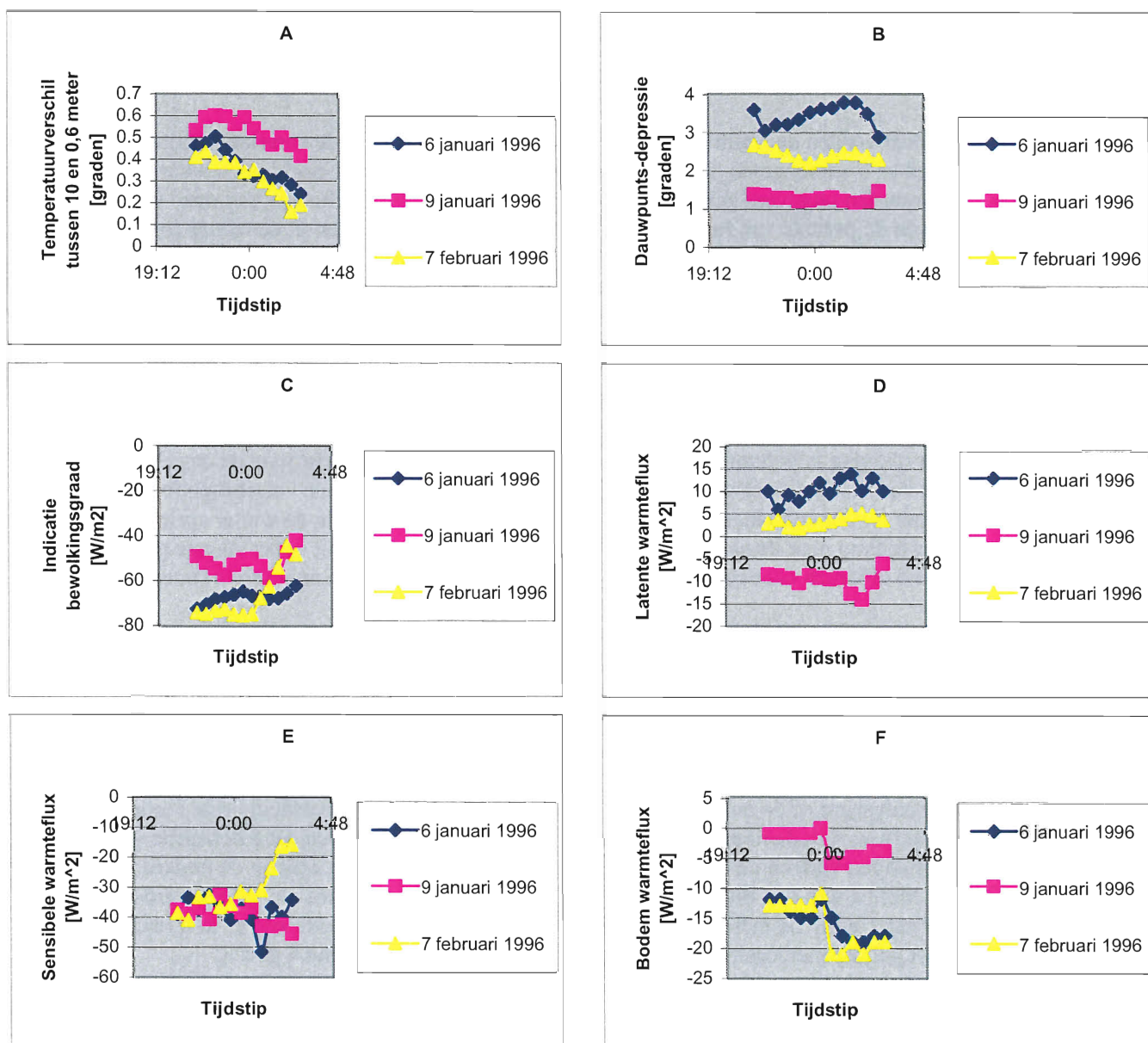
Drie nachten (6, 9 januari en 7 februari 1996) zijn geselecteerd met een gelijke beschikbare energie van ongeveer  $-50 \text{ W/m}^2$ , een gelijke windsnelheid van ongeveer  $5,5 \text{ m/s}$  en een ongeveer gelijke windrichting tussen  $90$  en  $125$  graden. In figuur 9.3 zijn voor deze drie nachten  $\delta$  naar tijdstip in de nacht weergegeven. De curven in deze figuur zijn bepaald met behulp van SELECT.

Aan de hand van deze figuur is te zien dat er een groot verschil is tussen  $\delta$  van de nachten 6



januari, 7 februari 1996 en de nacht van 9 januari 1996. Figuur 9.4 laat zien hoe voor deze nachten het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter, de dauwpuntsdepressie, de bewolgingsgraad, de latente warmteflux, de sensibele warmteflux en de bodem warmteflux zich gedragen. De bewolgingsgraad wordt hier weergegeven met het verschil tussen de langgolvlige stralingscomponenten.

Figuur 9.3: *Relatieve energieverval voor drie nachten met ongeveer dezelfde waarden voor de beschikbare energie, de windsnelheid en de windrichting*



Figuur 9.4: Grootheden naar tijdstip voor drie nachten waarop de beschikbare energie, de windsnelheid en de windrichting ongeveer hetzelfde zijn  
 a) Temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter naar tijdstip  
 b) Dauwpuntsdepressie naar tijdstip  
 c) Bewolgingsgraad naar tijdstip  
 d) Latente warmteflux naar tijdstip  
 e) Sensibele warmteflux naar tijdstip  
 f) Bodem warmteflux naar tijdstip

Met behulp van figuur 9.4 is te zien dat de nachten van 6 januari en 7 februari voor vier grootheden zich anders gedragen dan voor de nacht 9 januari. De bewolgingsgraad en de sensibele warmteflux zijn voor alle drie de nachten ongeveer gelijk. Het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter is een klein beetje lager gedurende de nachten van 6 januari en 7 februari dan gedurende de nacht van 9 januari. De dauwpuntsdepressie is voor de nachten 6 januari en 7 februari hoger dan voor de nacht 9 januari. De latente warmteflux is in de nacht van 6 januari en 7 februari positief en in de nacht van 9 januari negatief. En de bodem warmteflux is tijdens de nachten van 6 januari en 7 februari groter dan tijdens de nacht van 9 januari. Tijdens de nacht van 9 januari is de bodem warmteflux bijna gelijk aan nul  $W/m^2$ . Aan de hand van deze analyses kan het verschil in  $\delta$  tussen de nachten van 6 januari en 7 februari en de nacht van 9 januari niet goed worden verklaard.

## 9 Samenvatting analyses met de eddycorrelatiemethode

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de analyses met behulp van de correlatiemethode van hoofdstuk 7, 8 en 9 samengevat. In hoofdstuk 7 is gevonden dat  $\delta$  in de nacht hoge waarden aanneemt en dat deze waarden ongeveer gelijk blijft naar tijdstip in de nacht. De hoogte van deze waarden zijn afhankelijk van de periode van het jaar. Voor de zomer ligt  $\delta$  rond 0,7 en in de winter rond 0,5. In hoofdstuk 8 is één zekere afhankelijkheid en één mogelijke afhankelijkheid voor  $\delta$  voor de nacht geanalyseerd. Er is gevonden dat  $\delta$  zeker afhankelijk is van de windsnelheid. Voor lage windsnelheden is  $\delta$  hoger dan voor hoge windsnelheden. Het gemiddelde  $\delta$  voor een windsnelheid tussen 0 en 2 m/s ligt rond de 0,9, voor een windsnelheid tussen 2 en 4 m/s rond de 0,7 en voor windsnelheden hoger dan 4 m/s rond de 0,5. Deze windsnelheidsafhankelijkheid verklaart voor een belangrijk deel de jaarlijkse gang van  $\delta$  in de nacht. Daarnaast is een mogelijke afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de mate van de stabiliteit gevonden. Des te stabielere de situatie des te hoger  $\delta$ .

Voor overdag is in hoofdstuk 7 gevonden dat  $\delta$  afneemt naar tijdstip op de dag. Voor alle perioden van het jaar is dit verloop zichtbaar. Het enige verschil tussen de verschillende perioden is dat in de zomer  $\delta$  voor een langere tijdsduur afneemt dan in de winter. In de winter springt  $\delta$  namelijk op een eerder tijdstip naar de nachtwaarden. Dit veroorzaakt een verschil in het laagste punt van  $\delta$ . In de zomer kan  $\delta$  afnemen naar een waarde van 0 en in de winter neemt  $\delta$  ongeveer af naar een waarde van 0,2.

In hoofdstuk 8 zijn twee mogelijke afhankelijkheden van  $\delta$  voor overdag geanalyseerd. Ten eerste is gevonden dat  $\delta$  mogelijk afhankelijk is van de dauwpuntsdepressie. Voor lage waarden van de dauwpuntsdepressie zijn hogere waarden voor  $\delta$  gevonden dan voor hoge waarden van de dauwpuntsdepressie. Ten tweede is waargenomen dat  $\delta$  mogelijk afhankelijk is van de grenslaaghoogte. Des te lager de waarde van de grenslaaghoogte des te hoger  $\delta$ .

Verder is geanalyseerd of de onbalans in de energiebalans veroorzaakt wordt door de metingen van de bodem warmteflux. Aan de hand van analyses in hoofdstuk 9 is gevonden dat  $\delta$  hetzelfde verloop vertoont voor dagen waarop de bodem warmteflux klein is als op dagen waarop de bodem warmte flux niet klein is. Met behulp van dit resultaat is geconstateerd dat de onbalans niet alleen veroorzaakt kan worden door een fout in de metingen van de bodem warmteflux. Ten slotte zijn er drie nachten gevonden met gelijke meteorologische condities die toch een verschillend  $\delta$  geven.



## 10 Analyses relatieve energieverval met de profielmethode

Het doel van dit hoofdstuk is om de analyses die tot belangrijke resultaten hebben geleid met de correlatiemethode nog een keer uit te voeren met de profielmethode. In hoofdstuk 3, 4, 5 en 6 zijn de eigenschappen van de profielmethode besproken.

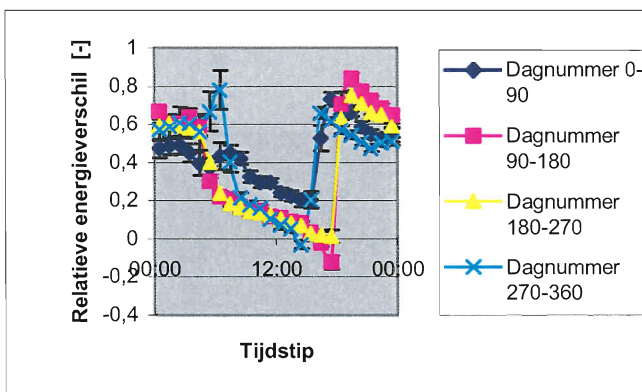
In paragraaf 11.1 worden de belangrijkste resultaten naar de dagelijkse gang en dagnummer van hoofdstuk 7 geanalyseerd. Daarna worden in paragraaf 11.2 de gevonden afhankelijkheden tussen grootheden en  $\delta$  van hoofdstuk 8 geanalyseerd. En in paragraaf 11.3 worden de belangrijkste resultaten over bepaalde meetapparatuur van hoofdstuk 9 geanalyseerd. Ten slotte worden in paragraaf 11.4 de resultaten van de correlatiemethode en profielmethode vergeleken.

### 10.1 Analyse relatieve energieverval naar dagelijkse gang en seizoenen

De belangrijkste resultaten van de analyses van  $\delta$  naar de dagelijkse gang en dagnummer met behulp van de correlatiemethoden zijn allemaal te zien in figuur 7.2. Hieronder zal in figuur 11.1 dezelfde grafieken worden weergegeven, maar dan gemaakt met behulp van de profielmethode.

Aan de hand van deze figuur is te zien dat  $\delta$ 's nachts hogere waarden aanneemt dan overdag. Tijdens de nacht blijven de waarden van  $\delta$  ongeveer constant en ze zijn op de meeste tijdstippen lager in de wintermaanden dan in de zomermaanden.

Overdag neemt  $\delta$  voor alle dagnummerklassen af naar de dagelijkse gang. Echter het tijdstip

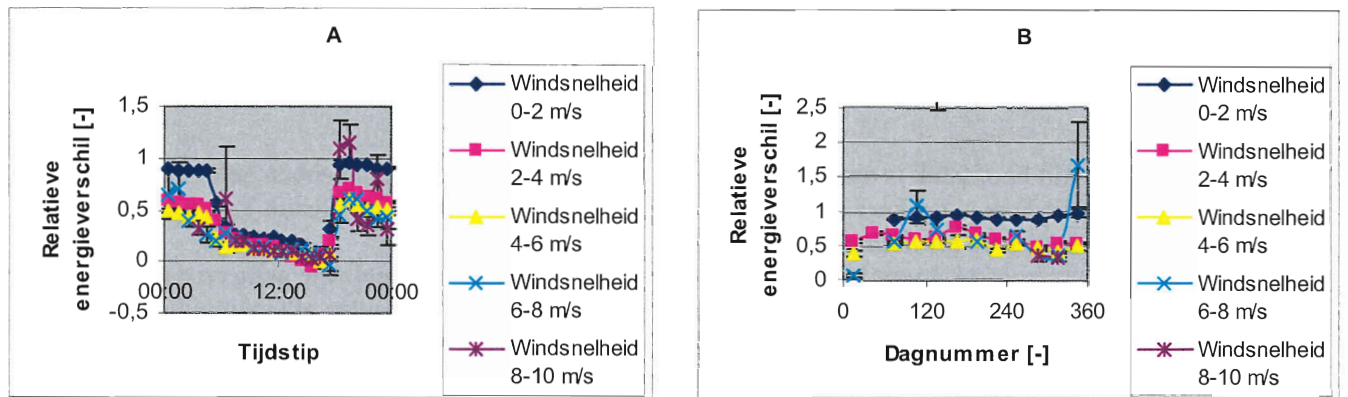


waarop  $\delta$  naar de nachtwaarden overgaat, is in de wintermaanden eerder dan in de zomermaanden. Kortom  $\delta$  neemt in de wintermaanden minder lang af dan in de zomermaanden. Hierdoor is de minimale waarde van  $\delta$  in de wintermaanden ook hoger dan in de zomermaanden. Ten slotte is voor overdag te zien dat  $\delta$  voor de dagnummers 0 tot 90 hoger is dan voor de overige drie dagnummerklassen.

Figuur 11.1: *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor dagnummerklassen*

### 10.2 Afhankelijkheid van het relatieve energieverval van grootheden

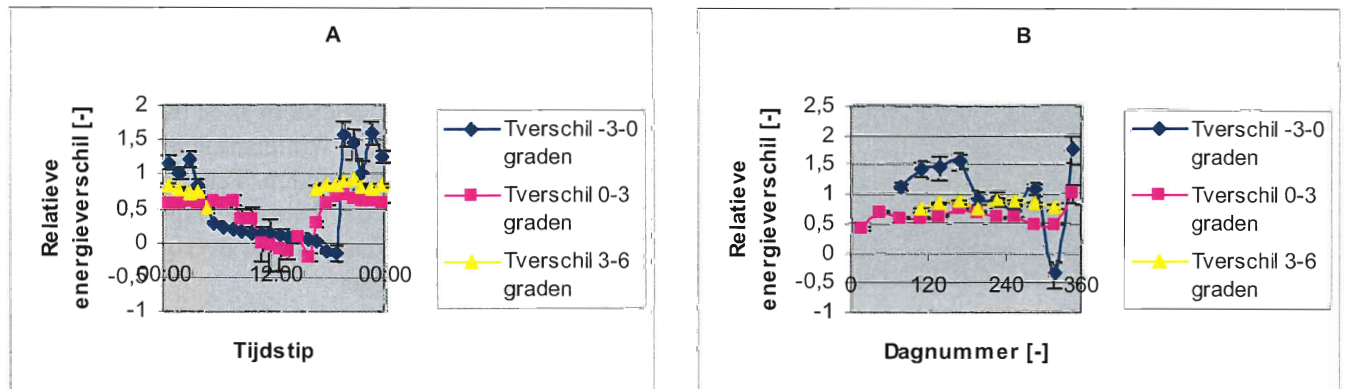
Voor de nacht zijn in hoofdstuk 8 twee afhankelijkheden voor  $\delta$  gevonden. De eerste afhankelijkheid is de windsnelheid. Deze afhankelijkheid is in hoofdstuk 8 geanalyseerd met behulp van figuur 8.1b en c. Hieronder wordt in figuur 11.2a en b dezelfde grafieken weergegeven, maar dan met behulp van de profielmethode.



Figuur 11.2: *Relatieve energieverval voor windsnelheidsklassen voor de nacht*  
 a) *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor windsnelheidsklassen*  
 b) *Relatieve energieverval naar dagnummer voor windsnelheidsklassen*

Aan de hand van figuur 11.2a en b is te zien dat  $\delta$  het hoogst is voor een windsnelheid tussen 0 en 2 m/s en dat  $\delta$  afneemt als de windsnelheid hoger wordt. Echter voor een windsnelheid hoger dan 6 m/s is geen duidelijk verband zichtbaar voor  $\delta$  naar de dagelijkse gang en naar dagnummer. Voor deze klassen is de standaarddeviatie heel groot en golven de curven.

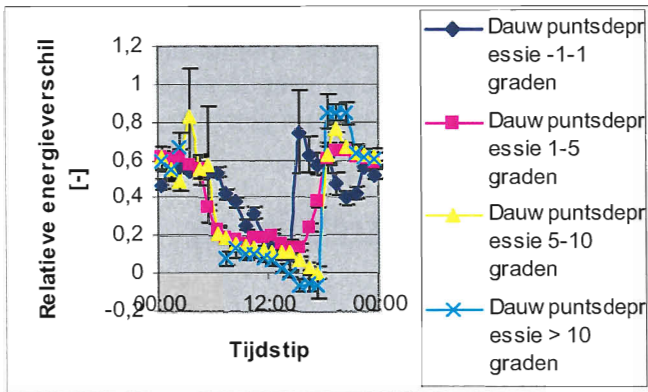
Ten tweede is in hoofdstuk 8 gevonden dat  $\delta$ 's nachts mogelijk afhankelijk is van de stabiliteit. Deze mogelijke afhankelijkheid is waargenomen met behulp van figuur 8.6b en c. In figuur 11.3a en b worden dezelfde grafieken weergegeven namelijk het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter naar de dagelijkse gang en dagnummer voor de nacht, maar dan met behulp van de profielmethode.



Figuur 11.3: *Relatieve energieverval voor temperatuurverschilklassen tussen 10 en 0,6 meter voor de nacht*  
 a) *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor temperatuurverschilklassen*  
 b) *Relatieve energieverval naar dagnummer voor temperatuurverschilklassen*

In deze figuur is te zien dat  $\delta$  hoger is voor een temperatuurverschil tussen 3 en 6 graden dan voor een temperatuurverschil tussen 0 en 3 graden onafhankelijk van het tijdstip in de nacht en het dagnummer. Voor een temperatuurverschil tussen -3 en 0 graden is geen duidelijk patroon zichtbaar onafhankelijk van de dagelijkse gang en het dagnummer. In deze klasse worden er meer extreme waarden aangenomen.

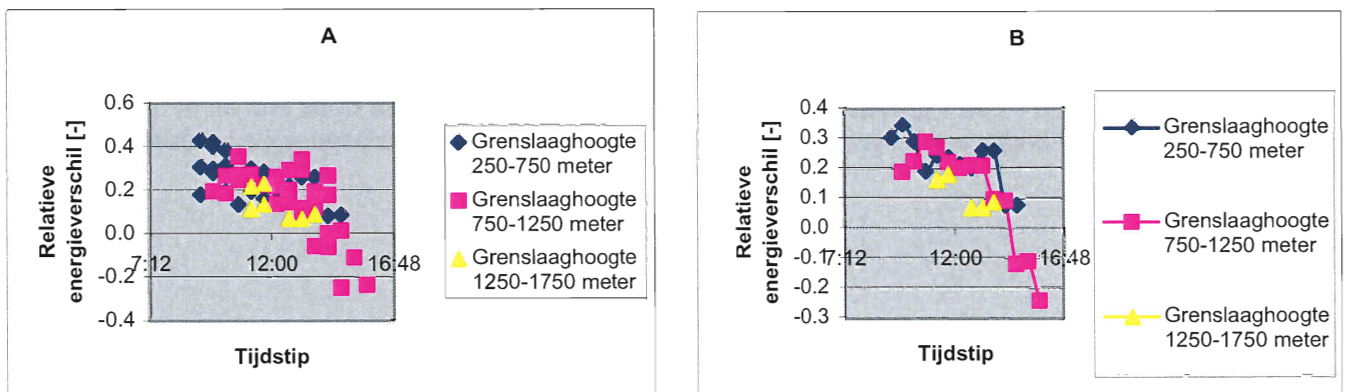
Voor overdag zijn er in hoofdstuk 8 twee mogelijke afhankelijkheden voor  $\delta$  geanalyseerd. In figuur 8.8 b is een mogelijke afhankelijkheid van  $\delta$  naar de dauwpuntsdepressie onafhankelijk van de dagelijkse gang geanalyseerd. Dezelfde figuur wordt hieronder weergegeven in figuur 11.4 met behulp van de profielmethode. In deze figuur is te zien dat  $\delta$  eerder overgaat naar de nachtwaarden voor lage



dauwpuntsdepressies dan voor hoge dauwpuntsdepressies. Tevens is te zien dat  $\delta$  hoger is voor de dauwpuntsdepressieklasse met waarden tussen 1 en 5 graden, dan voor de dauwpuntsdepressieklasse met waarden tussen 5 en 10 graden. En de dauwpuntsdepressieklasse met waarden groter dan 10 graden neemt de laagste waarden van  $\delta$  aan. De dauwpuntsdepressieklasse met waarden tussen -1 en 1 graden vertoont een wisselend verloop.

Figuur 11.4: *Relatieve energieverval naar dagelijkse gang voor dauwpuntsdepressieclassen*

Ten tweede is in hoofdstuk 8 een mogelijke afhankelijkheid van  $\delta$  naar de grenslaaghoogte waargenomen voor overdag. Deze afhankelijkheid is waargenomen met behulp van figuur 8.18a en b. In figuur 11.5a en b worden dezelfde soort grafieken weergegeven, maar dan met behulp van de profielmethode.



Figuur 11.5: *Relatieve energieverval naar tijdstip overdag voor verschillende klassen van de grenslaaghoogte*

- a) *Spreadingsdiagram van het relatieve energieverval*
- b) *Gemiddelde waarden van het relatieve energieverval*

Aan de hand van deze figuur is te zien dat  $\delta$  hoger is voor lagere grenslaaghoogten dan voor hogere grenslaaghoogten onafhankelijk van het tijdstip. Tevens is in deze figuur een licht verloop van  $\delta$  naar tijdstip per grenslaaghoogte zichtbaar.

### **10.3 Analyse dagen waarop de bodem warmteflux ongeveer nul is**

In hoofdstuk 9 is met behulp van de correlatiemethode ontdekt dat hetzelfde verloop zichtbaar is voor  $\delta$  naar de dagelijkse gang voor dagen waarop de bodem warmteflux gelijk kleine waarden aanneemt als op dagen waarop de bodem warmteflux grote waarden aanneemt. Deze analyse kan niet met behulp van de profielmethode worden uitgevoerd, aangezien er geen data aanwezig is voor de turbulente fluxen voor de dagen aan het einde of aan het begin van een vriesperiode en voor de dagen waarop het sneeuwt. Dit komt waarschijnlijk doordat op deze dagen de nattebol bevroren is geweest.

### **10.4 Conclusie vergelijking resultaten van de eddycorrelatie - en profielmethode**

Als de belangrijkste resultaten van de analyses met behulp van de correlatiemethode worden vergeleken met de analyses met behulp van de profielmethode is het volgende waar te nemen.

Bij de analyses van  $\delta$  naar de dagelijkse gang en naar dagnummer zijn dezelfde resultaten gevonden voor allebei de methoden. Bij de analyses naar  $\delta$  afhankelijkheid van de windsnelheid voor de nacht, zijn dezelfde resultaten gevonden voor een windsnelheid tussen 0 en 6 m/s. Voor de windsnelheden hoger dan 6 m/s zijn voor allebei de methoden een wisselend verloop zichtbaar, deze verlopen zijn niet voor allebei de methoden gelijk. Bij de analyses naar  $\delta$  afhankelijkheid van het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter voor de nacht zijn dezelfde resultaten gevonden voor de temperatuurverschilclassen tussen 0 en 3 en tussen 3 en 6 graden. Voor de temperatuurverschilklasse tussen -3 en 0 graden zijn de resultaten niet precies hetzelfde.

Voor overdag is met behulp van de analyses gevonden dat voor allebei de methoden  $\delta$  mogelijk afhankelijk is van de dauwpuntsdepressie. Alleen voor de dauwpuntsdepressieklasse met waarden tussen -1 en 1 graden is geen eenduidig verloop zichtbaar. Ten slotte zijn bij de analyses van allebei de methoden een mogelijke afhankelijkheid tussen  $\delta$  en de grenslaaghoogte geconstateerd.

## 11 Discussie en conclusie

In dit hoofdstuk worden de discussie en conclusie gegeven van de analyses van de afhankelijkheden van de onbalans in de oppervlakte energiebalans. Tevens worden in dit hoofdstuk aanbevelingen gedaan voor verdere onderzoeken naar dit sluitingsprobleem.

### Discussie en conclusie

Geanalyseerd is wat de afhankelijkheden van de onbalans in de oppervlakte energiebalans kunnen zijn. Deze analyses zijn uitgevoerd met behulp van meetwaarden die gemeten zijn te Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996). De analyses zijn grotendeels uitgevoerd met behulp van de grootheid het relatieve energieverval, dat in hoofdstuk 3 is gedefinieerd als

$$\delta = \frac{(Q - G) - (H + L_v E)}{Q - G}$$

In deze formule staat  $\delta$  voor het relatieve energieverval (in -),  $Q - G$  voor de beschikbare energie (in  $W/m^2$ ) en  $H + L_v E$  voor de turbulente fluxen (in  $W/m^2$ ). Hieronder zal het relatieve energieverval worden afgekort met zijn symbool  $\delta$ . Bij de uitgevoerde analyses zijn de afhankelijkheden van  $\delta$  van verschillende grootheden onderzocht. Door de onderlinge afhankelijkheid van verschillende grootheden bleek het niet eenvoudig te zijn eenduidig een afhankelijkheid te bepalen.

Deze studie doet geen uitspraak over de oorzaak van de onbalans. De oorzaak kan liggen in onnauwkeurigheden in de bepaling van de componenten van het energiebudget: de stralingsmetingen, de turbulentie metingen of de bodem warmtefluxmetingen. Wel is er geconstateerd dat de onbalans niet alleen veroorzaakt kan worden door een fout in de bodem warmtefluxmetingen.

Aan de hand van de analyses is wel een aantal afhankelijkheden geconstateerd, namelijk dat in de nacht  $\delta$  hogere waarden aanneemt dan overdag. Daarnaast is geconstateerd dat  $\delta$  afneemt gedurende de dag. De waarden in de nacht voor  $\delta$  zijn ongeveer 0,6 en de waarden aan het einde van de dag voor  $\delta$  zijn ongeveer 0,2.

Voor de nacht is tevens gezien dat het  $\delta$  afhankelijk is van de windsnelheid. Voor lage windsnelheden zijn hogere waarden van  $\delta$  waarneembaar dan voor hoge waarden van de windsnelheid. Ook is in de nacht  $\delta$  mogelijk afhankelijk van de stabiliteit onafhankelijk van de windsnelheid. Des te stabielere de situatie 's nachts des te groter  $\delta$ . Voor overdag is waargenomen dat  $\delta$  mogelijk afhankelijk is van de dauwpuntsdepressie. Bij lage dauwpuntsdepressies is een wat hogere  $\delta$  gevonden dan voor hoge dauwpuntsdepressies. Ten slotte is een mogelijk afhankelijk van  $\delta$  van de grenslaaghoogte ontdekt. Bij deze afhankelijkheid is gevonden dat  $\delta$  lager is als de grenslaag hoger is.

### Aanbevelingen

Om de mogelijke oorzaken van het niet sluitend zijn van de oppervlakte energiebalans te Cabauw gedurende TEBEX (1995-1996) beter te kunnen vaststellen, is het aan te bevelen om de volgende analyses uit te voeren. Ten eerste een analyse voor de nacht naar de afhankelijkheid van het  $\delta$  naar de stabiliteit. Een indruk van de stabiliteit kan worden verkregen met behulp van het richardson-getal. Daarnaast is het aan te bevelen om de wintermaanden voor overdag verder te analyseren. Dit is noodzakelijk om te kunnen verklaren waarom een verschil in het  $\delta$  voor verschillende groothedsklassen optreedt, namelijk voor de windsnelheid, de windrichting, het temperatuurverschil tussen 10 en 0,6 meter en de bewolgingsgraad. Ten slotte is het belangrijk om de afhankelijkheid van het  $\delta$  naar de grenslaaghoogte voor overdag nader te analyseren. Hiervoor is een groter aantal dagen nodig waarop de grenslaaghoogten aanwezig zijn.

## Literatuur

- Boeker, E. en R. van Grondelle (1999) *Environmental physics*. Chichester: John Wiley & Sons
- Bosveld, F.C. en W. Bouten (2001) *Evaluation of transpiration models with observations over a Douglas-fir forest*. Agriculture and Forest Meteorology, Vol. 108 pp. 247-264
- Bosveld, F.C., J.G. van der Vliet en W.A.A. Monna (1998) *The KNMI garderen experiment, micro-meteorological observations 1988-1989 Instruments and data set*. De Bilt: KNMI
- Bosveld, F.C (1999) *The KNMI gardren experimen: micro-meteorological observations 1988-1989 Corrections*. De Bilt: KNMI
- Bruin, de H.A.R. (1985) *Meteorology for hydrologists*.
- Feyt, A en A. van Lammeren (1996) *Ground based and satellite observations of cloud fields in the Netherlands*. Monthly Weather Review, Vol. 124, 9 pp. 1914-1923
- Foken, T. (1999) *The influence of the variation of the surface temperature on the closure of the surface energy balance*. Vol. of the 13<sup>th</sup> Conference on BLT pp. 308-309
- Garratt, J.R. (1992) *The atmospheric boundary layer*. Cambridge: University Press
- Halldin, S. en A. Lindroth (1992) *Errors in net radiometry: Comparision and evaluation of six radiometer designs*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 9 No.6
- Kaimal, J.C. en J.J. Finnigan (1994) *Atmospheric boundary layer flows*. Oxford: University Press
- Kipp en Zonen, [www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com)
- KNMI (2002) *De kroniek het jaarverslag van het KNMI 2002*.  
KNMI, [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)
- Liou, K.N. (2002) *An introduction to atmospheric radiation*. Academic Press: California
- Mayocchi, C.L. en K.L. Bristow (1995) *Soil surface heat flux: some general questions and comments on measurements*. Agriculture and Forest Meteorology, Vol. 75 pp.43-50
- Molen, Van der M.K. en W. Kohsiek (1995) *Nauwkeuriger nettostraling meten*. De Bilt: KNMI
- Moncrieff, J.B. et al.(1997) *A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide*. Journal of Hydrology, Vol. 188-189 pp. 589-611
- Nieuwstadt, F.T.M. (1998) *Turbulentie*. Utrecht: Epsilon Uitgaven
- Stull, R.B (1988) *An introduction to boundary layer meteorology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Vliet, Van der J.G. (1998) *Elfjaar Cabauw-metingen*. De Bilt: KNMI
- Wilson, K. et al. (2002) *Energy balance closure at FLUXNET sites*. Agriculture and Forest Meteorology, Vol. 113 pp. 223-243

## Bijlage: De criteria files gebruikt bij de analyses

In deze bijlage wordt voor de verkregen figuren van de analyses uiteengezet met welke selecties in de criteria file deze zijn bepaald. In tabel 1 staan alle figuren opgesomd met daarin voor elke figuur aangegeven uit welke verschillende selecties van de tijdindicatie, selectie, classificatie en output sectie de criteria files zijn opgebouwd. De verschillende selecties van de secties staan onder de tabel weergegeven. Als in de tabel een nummer en nog een nummer wordt gegeven, dan is de criteria file één keer uitgevoerd met behulp van het eerste nummer en daarna nog een keer met het tweede nummer. Ten slotte als in de tabel een nummer + een nummer wordt aangegeven, dan stonden allebei deze nummers tegelijk in een bepaalde sectie.

Tabel 1: *Figuurnummers met de gebruikte selecties in de criteria file*

<b>Figuurnummer</b>	<b>Tijdsindicatie sectie</b>	<b>Selectie sectie</b>	<b>Classificatie sectie</b>	<b>Output sectie</b>
7.1a	1	1	1	1
7.1b	1	1	1	1
7.1c	1	1	1	2
7.1d	1	1	1	3
7.2	1	1	1 + 2	1
7.3a	1	2	3	1
7.3b	1	2	3	1
7.3c	1	2	3	2
7.3d	1	2	3	3
7.4a	1	3	3	1
7.4b	1	3	3	1
7.4c	1	3	3	2
7.4d	1	3	3	3
8.1a	1	1	4	1
8.1b	1	1	1 + 4	1
8.1c	1	2	3 + 4	1
8.1d	1	3	3 + 4	1
8.2a	1	2	4	1
8.2b	1	2	3	4
8.4a	1	1	5	1
8.4b	1	1	1 + 5	1
8.4c	1	2	3 + 5	1
8.4d	1	3	3 + 5	1
8.5a	1	4	4 + 5	1
8.5b	1	4	6 + 5	1
8.6a	1	1	7	1
8.6b	1	1	1 + 8	1
8.6c	1	2	3 + 8	1
8.6d	1	3	3 + 8	1
8.7a	1	5	4 + 8	1
8.7b	1	5	9 + 8	4
8.8a	1	1	10	1
8.8b	1	1	1 + 11	1
8.8c	1	2	3 + 11	1
8.8d	1	3	3 + 11	1
8.9	1	1	1 + 2	5
8.10a	1	6	12 + 11	1
8.10b	1	7	12 + 11	1
8.11	2 en 3	1	1	1
8.12	2 en 3	1	1	5
8.13a	1	1	13 + 14	1

8.13b	1	1	3 + 14	1
8.14a	1	2	4 + 14	1
8.14b	1	2	3 + 14	4
8.15a	1	2	15 + 14	1
8.15b	1	2	3 + 14	6
8.16a	1	3	12 + 16	1
8.16b	1	3	3 + 16	1
8.18a	4	8	17	7
8.18b	4	8	17	7
9.1	5	1	18	1
9.2	6	1	19	1
9.3	7	2	17	7
9.4	7	2	17	8
11.1	1	1	1 + 2	9
11.2a	1	1	1 + 4	9
11.2b	1	2	3 + 4	9
11.3a	1	2	1 + 8	9
11.3b	1	2	3 + 8	9
11.4	1	1	1 + 11	9
11.5	4	8	17	9
11.5	4	8	17	9

**Tijdsindicatie sectie**

Nummer 1:

```

-----
|Time identification          | naux1 | naux2 |
-----
| |19950701|0000|19961231|2330| | 2 | 1 |
-----

```

Nummer 2:

```

-----
|Time identification          | naux1 | naux2 |
-----
| |19960309|0000|19960320|2330| | 2 | 1 |
| |19960401|0000|19960409|2330| |   |   |
| |19960412|0000|19960422|2330| |   |   |
-----

```

Nummer 3:

```

-----
|Time identification          | naux1 | naux2 |
-----
| |19960301|0000|19960308|2330| | 2 | 1 |
| |19960321|0000|19960331|2330| |   |   |
| |19960410|0000|19960411|2330| |   |   |
| |19960423|0000|19960430|2330| |   |   |
-----

```



Nummer 4:

Time identification	naux1	naux2
19950730 0000 19950730 2330	2	1
19950802 0000 19950802 2330		
19960404 0000 19960404 2330		
19960413 0000 19960413 2330		
19960606 0000 19960606 2330		
19960617 0000 19960617 2330		
19960803 0000 19960803 2330		
19960903 0000 19960903 2330		
19960905 0000 19960905 2330		
19960917 0000 19960917 2330		
19961003 0000 19961003 2330		

Nummer 5:

Time identification	naux1	naux2
19960106 0000 19960106 2330	2	1
19960214 0000 19960215 2330		
19960223 0000 19960224 2330		

Nummer 6:

Time identification	naux1	naux2
19950107 0000 19950107 2330	2	1
19960219 0000 19960221 2330		

Nummer 7:

Time identification	naux1	naux2
19960106 0000 19960106 2330	2	1
19960109 0000 19960109 2330		
19960207 0000 19960207 2330		

**Selectie sectie**

Nummer 1:

Selection	Min	Max

Nummer 2:

Selection	Min	Max
BTIJD	2030.	0300.

Nummer 3:

Selection	Min	Max
BTIJD	0900.	1430.

Nummer 4:

Selection	Min	Max
BTIJD	2030.	0300.
DAGNR	0.	120.

Nummer 5:

Selection	Min	Max
BTIJD	2030.	0300.
DAGNR	90.	330.

Nummer 6:

Selection	Min	Max
QNTBAL-GS00	100.	150.

Nummer 7:

Selection	Min	Max
QNTBAL-GS00	300.	350.

Nummer 8:

Selection	Min	Max
BTIJD	0800.	1600.

**Classificatie sectie**

Nummer 1:

Classification	Min	Max
BTIJD	0000.	0100.
	0100.	0200.
	0200.	0300.
	0300.	0400.
	0400.	0500.
	0500.	0600.
	0600.	0700.
	0700.	0800.
	0800.	0900.
	0900.	1000.
	1000.	1100.
	1100.	1200.
	1200.	1300.
	1300.	1400.
	1400.	1500.
	1500.	1600.
	1600.	1700.
	1700.	1800.
	1800.	1900.
	1900.	2000.
	2000.	2100.
	2100.	2200.
	2200.	2300.
	2300.	2359.

Nummer 2:

Classification	Min	Max
DAGNR	0.	90.
	90.	180.
	180.	270.
	270.	360.

Nummer 3:

Classification	Min	Max
DAGNR	0.	30.
	30.	60.
	60.	90.
	90.	120.
	120.	150.
	150.	180.
	180.	210.
	210.	240.
	240.	270.
	270.	300.
	300.	330.
	330.	360.

Nummer 4:

Classification	Min	Max
F10	0.	2.
	2.	4.
	4.	6.
	6.	8.
	8.	10.
	10.	12.

Nummer 5:

Classification	Min	Max
D10	0.	90.
	90.	180.
	180.	270.
	270.	360.

Nummer 6:

Classification	Min	Max
DAGNR	0.	30.
	30.	60.
	60.	90.
	90.	120.

Nummer 7:

Classification	Min	Max
TD10 -T001	-3.	-1.5
	-1.5	0.
	0.	1.5
	1.5	3.
	3.	4.5

Nummer 8:

Classification	Min	Max
TD10 -T001	-3.	0.
	0.	3.
	3.	6.

Nummer 9:

Classification	Min	Max
DAGNR	90.	120.
	120.	150.
	150.	180.
	180.	210.
	210.	240.
	240.	270.
	270.	300.
	300.	330.

Nummer 10:

Classification	Min	Max
TD10 -TDEW10	-5.	0.
	0.	5.
	5.	10.
	10.	15.
	15.	20.
	20.	25.

Nummer 11:

Classification	Min	Max
TD10 -TDEW10	-1.	1.
	1.	5.
	5.	10.
	10.	100.

Nummer 12:

Classification	Min	Max
BTIJD	0900.	1000.
	1000.	1100.
	1100.	1200.
	1200.	1300.
	1300.	1400.
	1400.	1500.

Nummer 13:

Classification	Min	Max
BTIJD	2100.	2200.
	2200.	2300.
	2300.	0000.
	0000.	0100.
	0100.	0200.
	0200.	0300.

Nummer 14:

Classification	Min	Max
LWD -LWU	-100.	-50.
	-50.	0.

Nummer 15:

Classification	Min	Max
TD10 -T001	0.	1.5
	1.5	3.
	3.	4.5

Nummer 16:

Classification	Min	Max
SWD /GLOBCL	0.5	1.
	0.	0.5

Nummer 17:

Classification	Min	Max

Nummer 18:

Classification	Min	Max
BTIJD	0000.	0300.
	0300.	0600.
	0600.	0900.
	0900.	1200.
	1200.	1500.
	1500.	1800.
	1800.	2100.
	2100.	2359.

Nummer 19:

Classification	Min	Max
BTIJD	0000.	0400.
	0400.	0800.
	0800.	1200.
	1200.	1600.
	1600.	2000.
	2000.	2359.

**Output sectie**

Nummer 1:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
QNTBAL-GS00						
HLEED						

Nummer 2:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
SWD						
SWU						
LWD						
LWU						
GS00						

Nummer 3:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
HED						
LEED						
GS00						

Nummer 4:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
F10						

Nummer 5:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
TD10 -TDEW10						

Nummer 6:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
TD10 -T001						

Nummer 7:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
D QNTBAL-GS00				VERS		
D VERS -HLEED				VER		
VER /VERS				REL		

Nummer 8:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
TD10 -T001						
TD10 -TDEW10						
LWD -LWU						
LEED						
HED						
GS00						



Nummer 9:

Output columns	Min	Max	T	Naam	Unit	S
QNTBAL-GS00						
HLEPR						





