

NOTA 1410

maart 1983

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

BESCHOUWING OVER DE BEREKENINGSWIJZEN DIE DOOR HET
KNMI WORDEN GEHANTEERD TER BEREKENING VAN DE
OPEN WATER VERDAMPING

M. de Graaf

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. DE BEREKENINGSWIJZEN VOOR DE OPEN WATER VERDAMPING DIE DOOR HET KNMI WORDEN GEHANTEERD	2
2.1. De open water verdamping uit het MOW(E_o^{MOW})	2
2.2. De open water verdamping ten behoeve van een snelle voorlichting (E_o^{syn})	4
3. DE RELATIE TUSSEN E_o^{MOW} en E_o^{syn}	6
3.1. Algemeen	6
3.2. Berekening van de open water verdamping voor De Bilt in de jaren 1981 en 1982	7
3.2.1. Resultaten	7
3.2.2. Berekening van de globale straling (R_s)	8
3.2.3. Berekening van de netto langgolvlige straling (R_l)	10
4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	12
LITERATUUR	13

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

Het KNMI berekent op twee verschillende wijzen de open water verdamping. Een reeks wordt gepubliceerd in het Maandelijk Overzicht Weersgesteldheid (MOW) onder de term, 'Verdamping uit een wateroppervlak (vlgs. Penman)'. De andere wordt door zowel de radio als het Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw onder de term, 'Referentie verdamping' bekend gemaakt. Het Consulentenschap ontvangt deze cijfers via de Vakgroep Natuur- en Weerkunde van de Landbouwhogeschool. In deze nota zal op de berekeningswijzen van beide reeksen worden ingegaan.

Bij dit soort berekeningen is het belangrijk te beseffen dat de berekende open water verdamping niet overeenkomt met de werkelijke verdamping van een wateroppervlak. Dit is het gevolg van enige aannamen. Men gaat namelijk uit van een volkomen vlak wateroppervlak, bovendien wordt de warmte-opslag in het water verwaarloosd.

Dit verslag kwam onder leiding van dr. R.A. Feddes tot stand, waarvoor mijn hartelijke dank.

2. DE BEREKENINGSWIJZEN VOOR DE OPEN WATER VERDAMPING DIE DOOR HET KNMI WORDEN GEHANTEERD

2.1. De open water verdamping uit het MOW (E_o^{MOW})

In het MOW (Maandelijks Overzicht Weersgesteldheid) wordt voor 15 stations de open water verdamping volgens Penman gepubliceerd. Deze stations zijn De Kooy, Leeuwarden, Eelde, Hoorn (NH), Urk, Twente, Schiphol, De Bilt, Winterswijk, Andel, Vlissingen, Oudenbosch, Eindhoven, Venlo en Beek (L).

De berekening van de E_o^{MOW} -waarden gaat als volgt:

$$LE_o = \frac{\Delta R_n + \gamma LE_o}{\Delta + \gamma} \quad (W.m^{-2}) \quad (1)$$

waarin: LE_o = open water verdamping ($W.m^{-2}$)

R_n = netto straling boven een wateroppervlak ($W.m^{-2}$)

LE_a = isotherme verdamping ($W.m^{-2}$)

Δ = helling van de verzadigde dampspanningscurve bij de temperatuur op 2 m hoogte ($mbar.K^{-1}$)

γ = psychrometerconstante ($mbar.K^{-1}$)

a. Isotherme verdamping (LE_a)

De isotherme verdamping wordt berekend volgens:

$$LE_a = f(u) \cdot [e_s(T_2) - e_2] \quad (W.m^{-2}) \quad (2)$$

waarin: LE_a = isotherme verdamping ($W.m^{-2}$)

$f(u)$ = windfunctie ($W.m^{-2}.mbar^{-1}$)

$e_s(T_2)$ = verzadigde dampspanning bij de temperatuur op 2 m hoogte (mbar)

e_2 = de werkelijke dampspanning op 2 m hoogte (mbar)

Voor de windfunctie geldt:

$$f(u) = 3,7 + 4,0 \bar{u} \quad (W.m^{-2}.mbar^{-1}) \quad (3)$$

waarin: \bar{u} = gemiddelde windsnelheid op 2 m hoogte ($m.s^{-1}$)

b. Netto straling (R_n)

De netto straling volgt uit:

$$R_n = (1 - r) R_s + R_\ell \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (4)$$

waarin: R_n = netto straling (W.m^{-2})

R_s = globale straling (W.m^{-2})

R_ℓ = netto langgolvige straling (W.m^{-2})

r = reflectiecoëfficiënt van water ($r \approx 0,06$)

De globale straling wordt geschat met de empirische formule (KRAMER, 1957):

$$R_s = R_a (0,2 + 0,48 n/N) \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (5)$$

waarin: R_s = globale straling (W.m^{-2})

R_a = inkomende zonnestraling aan de rand van de
 atmosfeer (W.m^{-2})

n/N = relatieve zonschijnduur (-)

De netto langgolvige straling wordt berekend volgens:

$$R_\ell = -\sigma T^4 (0,47 - 0,067\sqrt{e_2}) (0,2 + 0,8 n/N) \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (6)$$

waarin: R_ℓ = netto langgolvige straling (W.m^{-2})

σ = constante van Stefan-Boltzman ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)

T = temperatuur (K)

Uit bovenstaande vergelijkingen is af te leiden dat voor de berekening van de openwater verdamping, dagelijkse waarden voor windsnelheid, relatieve vochtigheid, temperatuur en zonschijnduur beschikbaar moeten zijn.

In verg. (1) staat de openwater verdamping in W.m^{-2} uitgedrukt. Door gebruik te maken van de verdampingswarmte van water, kan de openwater verdamping worden omgezet in m.s^{-1} :

$$E_o = \frac{LE_o}{\rho \cdot L} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad (7)$$

waarin: E_o = open water verdamping ($m.s^{-1}$)
 LE_o = open water verdamping ($W.m^{-2}$)
 ρ = dichtheid van water ($kg.m^{-3}$)
 L = verdampingswarmte van water ($J.kg^{-1}$)

Om de open water verdamping in de gebruikelijke eenheid van $mm.d^{-1}$ uit te drukken, moet E_o in $m.s^{-1}$ vermenigvuldigd worden met een factor $86,4 \times 10^6$.

De empirische constanten die in de Penman-formule voorkomen, zijn gebaseerd op invoer van etmaalgemiddelden van temperatuur en relatieve vochtigheid.

Oorspronkelijk werden uit praktische overwegingen overdaggemiddelden (d.i. het gemiddelde van de waarnemingen op 08.00, 14.00 en 19.00 uur Nederlandse tijd) van temperatuur en luchtvochtigheid gebruikt. Vanaf 1971 werd het door middel van continue registratie mogelijk de etmaalgemiddelden te bepalen.

Invoering van etmaalgemiddelden in plaats van overdaggemiddelden veroorzaakt een verlagend effect van ca. 10% op de berekende open water verdamping (RIJTEMA en RYHINER (1966) en VAN BOHEEMEN (1977)). Het KNMI streeft er echter naar om over homogene reeksen te beschikken. Men is daarom niet zonder meer overgeschakeld op invoering van etmaalgemiddelden. Voor elk station en elke decade is een toeslag ($E^{toeslag}$) berekend, waardoor de berekende open water verdamping bij invoering van etmaalgemiddelde (E_o^{etmaal}) overeenstemde met de verdamping waarbij overdaggemiddelden van temperatuur en luchtvochtigheid worden gebruikt ($E_o^{overdag}$). Samenvattend geldt voor de verdampingscijfers die in het MOW gepubliceerd zijn:

$$\text{Vóór 1971: } E_o^{MOW} = E_o^{overdag} \quad (8)$$

$$\text{Na 1971: } E_o^{MOW} = E_o^{etmaal} + E^{toeslag} \quad (9)$$

2.2. De open water verdamping ten behoeve van een snelle voorlichting (E_o^{syn})

Om aan de behoefte van een snelle berichtgeving omtrent verdampingscijfers te voldoen, heeft het KNMI een andere berekeningswijze

geïntroduceerd. De E_o^{MOW} -waarden zijn voor dit doel ongeschikt omdat de relatieve zonneshijnduur, die in verg. (5) en verg. (6) wordt gebruikt, te laat beschikbaar komt. Door enige aanpassingen bleek het mogelijk de open water verdamping te berekenen zonder dat de zonneshijnduur wordt gebruikt (zie DE BRUIN en LABLANS, 1980).

- a. In verg. (4) wordt direct de globale straling ingevoerd. Waarden van de dagelijkse globale straling zijn steeds beschikbaar voor de synoptische stations De Kooy, De Bilt, Eelde, Vlissingen en Beek. Dus alleen voor deze 5 stations kan E_o^{syn} (syn = synoptisch) worden berekend.
- b. In verg. (6) is de relatie zonneshijnduur (n/N) vervangen door de bewolgingsgraad (m). Men gebruikt hiervoor de volgende benadering:

$$n/n \approx 1 - m \quad (10)$$

Introductie van (10) in (6) levert dan:

$$R_g = - \sigma T^4 (0,47 - 0,067\sqrt{e_2}) (1 - 0,8 m) \quad (W.m^{-2}) \quad (11)$$

- c. Op de E_o^{syn} -waarden worden geen decadentoeslagen gegeven.

In het volgende hoofdstuk zal op de gevolgen van de aanpassingen (a), (b) en (c) worden ingegaan.

3. DE RELATIE TUSSEN E_o^{MOW} en E_o^{syn}

3.1. Algemeen

De berekeningswijzen voor E_o^{MOW} en E_o^{syn} verschillen in de bepaling van de globale straling en de netto langgolvlige straling enerzijds en in het al dan niet toekennen van decadentoeslagen anderzijds.

Bij een gebruik van de juiste coëfficiënten in de formules (5) en (6), ter bepaling van respectievelijk globale en netto langgolvlige straling, levert dit geen systematische verschillen tussen E_o^{MOW} en E_o^{syn} op. Een systematisch verschil wordt wel veroorzaakt door het toekennen van decadentoeslagen bij de vaststelling van E_o^{MOW} volgens verg. (9).

Uit bovenstaande volgt dat voor de relatie tussen E_o^{MOW} en E_o^{syn} zou moeten gelden:

$$E_o^{MOW} \approx E_o^{syn} + E^{toeslag} \quad (12)$$

Vanaf april tot en met september bedraagt de totale decadentoeslag voor De Bilt 52,9 mm ofwel over deze periode moet bij benadering gelden:

$$E_o^{MOW} \approx E_o^{syn} + 52,9 \quad (\text{mm}) \quad (13)$$

DE BRUIN en LABLANS (1980) vonden echter op basis van de jaren 1971-1977 (april t/m september):

$$E_o^{MOW} \approx 0,98 E_o^{syn} \quad (14)$$

Verg. (14) betekent dat ondanks de toeslagen die bij E_o^{MOW} volgens verg. (9) worden toegekend, beide reeksen statistisch vrijwel overeenkomen. Dit was dan ook het argument om aan de E_o^{syn} -waarden geen decadentoeslagen toe te kennen.

3.2. Berekening van de open water verdamping voor De Bilt in de jaren 1981 en 1982

3.2.1. Resultaten

In het kader van een onderzoek naar gewasfactoren bij aardappelen in 1981 en 1982, is nogmaals naar de reeksen E_o^{MOW} en E_o^{syn} van het station De Bilt gekeken. Uit het MOW en de gegevens van het Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw kon tabel 1 worden samengesteld.

Tabel 1. Vergelijking per decade van de E_o -waarden uit het maandelijks Overzicht Weersgesteldheid (E_o^{MOW}) en de E_o -waarden ontleend aan de publikatie van het Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw (E_o^{syn}) voor de periode april tot en met september in de jaren 1981 en 1982 voor het station De Bilt

Maand	Decade	1981		1982	
		E_o^{MOW} (mm)	E_o^{syn} (mm)	E_o^{MOW} (mm)	E_o^{syn} (mm)
April	I	18	13,5	22	23,8
	II	29	30,8	27	32,3
	III	22	20,7	25	27,8
Mei	I	29	28,0	29	30,7
	II	36	37,7	40	46,2
	III	36	36,2	43	46,0
Juni	I	39	43,0	48	55,2
	II	32	29,9	30	30,3
	III	28	21,9	37	41,4
Juli	I	36	38,1	41	48,8
	II	32	36,6	51	59,1
	III	34	38,1	41	48,7
Augustus	I	32	35,1	36	42,4
	II	29	36,5	32	35,2
	III	25	32,0	26	27,5
September	I	25	29,9	23	26,1
	II	17	18,1	21	20,2
	III	17 +	18,2 +	17 +	18,1 +
Totaal		516	544,3	589	659,8
Vershil		28 mm		71 mm	

Uit tabel 1 blijkt dat over het groeiseizoen april tot en met september de gecumuleerde E_o^{MOW} -waarde voor 1981 en 1982 respectievelijk 28 mm en 71 mm lager uitkomt dan de E_o^{syn} -waarde. Dit resultaat is in belangrijke mate afwijkend van verg. (13), waaruit volgt dat over de periode april tot en met september de gecumuleerde E_o^{MOW} -waarde 53 mm hoger (!) zou moeten zijn dan de E_o^{syn} -waarde. Het afwijkende resultaat kan alleen veroorzaakt worden door de bepaling van globale straling en/of netto langgolvlige straling omdat alle andere invoergegevens voor beide methoden gelijk zijn. In het navolgende hoofdstuk zal hierop worden ingegaan.

3.2.2. Berekening van de globale straling (R_s)

Voor de berekening van de E_o^{MOW} -waarden wordt de globale straling (R_s^{ber}) geschat met verg. (5). Voor de E_o^{syn} -waarde wordt de gemeten globale straling (R_s^{gem}) ingevoerd.

Tabel 2 geeft per decade een overzicht van de met verg. (5) berekende globale straling (R_s^{ber}) en de gemeten globale straling (R_s^{gem}) voor de periode april tot en met september voor de jaren 1980 en 1982 voor het station De Bilt.

Tabel 2 laat duidelijk zien dat de globale straling meestal wordt onderschat. Dit treedt vooral op bij relatief hoge stralingsfluxen zoals in de periode mei 1982 tot en met augustus 1982 regelmatig het geval was. Dit verklaart voor een belangrijk deel de grote verschillen tussen E_o^{MOW} en E_o^{syn} in deze periode.

Uit lineaire regressie tussen R_s^{ber} en R_s^{gem} op dagbasis in de periode april tot en met september voor de jaren 1981 en 1982 volgt:

$$R_s^{ber} = 0,84 \times R_s^{gem} + 31,2 \quad (\text{J.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}) \quad (15)$$

met een correlatiecoëfficiënt: $r = 0,95$.

Ook deze regressievergelijking laat zien dat de met verg. (5) berekende globale straling systematisch afwijkt van de gemeten globale straling. Door de berekende en gemeten globale straling op dagbasis aan elkaar gelijk te stellen is uit verg. (15) af te leiden dat indien de globale straling hoger is dan $195 \text{ J.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$, er een

Tabel 2. De per decade met verg. (5) berekende globale straling (R_s^{ber}) en de gemeten globale straling (R_s^{gem}) voor de periode april t/m september in de jaren 1981 en 1982 voor het station De Bilt

Maand	Decade	1981		1982	
		R_s^{ber} (verg.5) ($J.cm^{-2}$)	R_s^{gem} ($J.cm^{-2}$)	R_s^{ber} (verg.5) ($J.cm^{-2}$)	R_s^{gem} ($J.cm^{-2}$)
April	I	8 730	8 721	10 861	13 508
	II	14 173	16 506	15 732	20 543
	III	9 799	11 051	12 685	16 050
Mei	I	12 883	14 077	13 980	16 683
	II	15 869	17 954	18 022	22 612
	III	16 276	17 823	18 628	22 936
Juni	I	15 553	18 295	18 754	23 535
	II	12 607	13 742	12 085	14 466
	III	11 523	10 889	14 565	18 056
Juli	I	14 783	16 753	16 195	19 018
	II	13 577	15 395	20 061	22 357
	III	15 250	16 500	14 767	18 680
Augustus	I	14 053	15 193	14 836	17 425
	II	13 078	15 335	13 911	15 280
	III	12 199	14 628	11 328	13 615
September	I	13 882	15 344	11 129	12 802
	II	7 630	8 710	10 665	12 473
	III	8 552	9 691	8 031	9 124

systematische onderschatting plaats vindt. De grens van $195 J.cm^{-2}.d^{-1}$ wordt in de periode van april tot en met september meestal overschreden.

In de zomerperiode wordt bijvoorbeeld op heldere dagen vaak een stralingsflux van ca. $2000 J.cm^{-2}.d^{-1}$ bereikt. Uit de regressie-vergelijking (15) volgt dat bij deze stralingsflux de berekende flux $1712 J.cm^{-2}.d^{-1}$ bedraagt. Dit is een afwijking van 17%.

3.2.3. Berekening van de netto langgolvlige straling (R_g)

Voor de berekening van E_o^{MOW} wordt de netto langgolvlige straling bepaald met verg. (6). Daarentegen wordt voor E_o^{syn} verg. (11) gebruikt.

In hoeverre het vervangen van verg. (6) door verg. (11) invloed heeft op de berekening van de open water verdamping, kan worden bepaald door E_o^{syn} nogmaals te berekenen, maar dan met gebruik van verg. (6). In tabel 3 zijn de $E_o^{syn, verg. 6}$ -decadewaarden weergegeven voor de periode april tot en met september in de jaren 1981 en 1982 voor het station De Bilt. Bovendien zijn de verschillen met de E_o^{syn} -decadewaarden aangegeven die zijn berekend met verg. (11): $E_o^{syn, verg. 11}$. Deze cijfers vormen de 'gewone' E_o^{syn} -waarden die onder andere door het Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw worden gepubliceerd.

Uit tabel 3 blijkt dat in het algemeen de verschillen tussen $E_o^{syn, verg. 6}$ en $E_o^{syn, verg. 11}$ relatief klein zijn. Dit leidt tot de conclusie dat de verschillen tussen E_o^{MOW} en E_o^{syn} voor het belangrijkste deel worden veroorzaakt door het systematisch fout berekenen van de globale straling.

Tabel 3. De E_o^{syn} -waarden waarbij ter bepaling van de netto langgolvlige straling verg. (6) gebruikt wordt, (E_o^{syn} , verg. 6) en het verschil met de E_o^{syn} -waarden waarbij de netto langgolvlige straling met verg. (9) bepaald wordt (E_o^{syn} , verg. 6 - E_o^{syn} , verg. 11) (ontleend aan de publikatie van het Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden) per decade voor de periode april tot en met september in de jaren 1981 en 1982 voor station De Bilt

Maand	Decade	1981			1982		
		E_o^{syn} , verg. 6 (mm)	E_o^{syn} , verg. 6 - E_o^{syn} , verg. 11 (mm)	E_o^{syn} , verg. 11	E_o^{syn} , verg. 6 (mm)	E_o^{syn} , verg. 6 - E_o^{syn} , verg. 11 (mm)	E_o^{syn} , verg. 11
April	I	15,0	1,5		23,4	-0,4	
	II	30,6	- 0,2		32,5	0,2	
	III	20,1	- 0,6		28,5	0,7	
Mei	I	28,4	0,4		30,9	0,2	
	II	38,4	0,7		46,6	0,4	
	III	36,1	- 0,1		51,0	5,0	
Juni	I	41,7	- 1,3		55,8	0,6	
	II	30,1	0,2		31,5	1,2	
	III	23,1	1,2		41,7	0,3	
Juli	I	38,6	0,5		46,2	-2,6	
	II	33,6	- 3,0		55,1	-4,0	
	III	34,9	- 3,2		48,4	-0,3	
Augustus	I	33,8	- 1,3		42,7	0,3	
	II	32,9	- 3,6		34,8	-0,4	
	III	29,5	- 2,5		29,2	1,7	
September	I	27,9	- 2,0		25,9	-0,2	
	II	17,2	- 0,9		23,5	3,3	
	III	16,8 +	- 1,4 +		17,7 +	-0,4 +	
Totaal		528,7	-15,6		665,4	5,6	

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Het gebruik van de coëfficiënten 0,20 en 0,48 in verg. (5) veroorzaakt een systematische fout in de berekening van de globale straling. De invloed hiervan op de E_o^{MOW} -waarden is niet constant, maar is afhankelijk van de grootte van de globale stralingsflux. Dit heeft tot gevolg dat gebruik van E_o^{MOW} -waarden zoals gepubliceerd door het KNMI in de Maandelijkse Overzichten Weersgesteldheid aanleiding kan geven tot fouten.
- Het zou zinvol zijn om voor de meteorologische stations waar de globale straling wordt gemeten, slechts de berekeningswijze volgens E_o^{syn} toe te passen. Dus met invoer van gemeten globale straling en zonder het geven van decadetoeslagen.

Voor publikatie in het MOW zou na het beschikbaar komen van de zonneshijnduur, de E_o^{syn} -waarden met verg. (6) kunnen worden gecorrigeerd.

Voor de overige stations blijft men aangewezen op de berekening van de globale straling met verg. (5). Het is dan aan te bevelen om de coëfficiënten 0,20 en 0,48 van verg. (5) zodanig te berekenen, dat er geen systematische fout meer in de berekende globale straling optreedt. Na aanpassing van deze coëfficiënten dienen geen decadetoeslagen meer te worden toegekend.

LITERATUUR

- BOHEEMEN, P.J.M. VAN, 1977. Verschillen tussen drie berekeningswijzen van de open water verdamping. ICW Nota 956, Wageningen.
- BRUIN, H.A.R. DE en W.N. LABLANS, 1980. Een test van een nieuwe berekeningswijze van de open water verdamping volgens Penman ten behoeve van snelle voorlichting. KNMI Verslagen V 357, De Bilt.
- BUISHAND, T.A. en C.A. VELDS, 1980. Neerslag en Verdamping KNMI. Klimaat van Nederland 1.
- KRAMER, C., 1957. Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman. KNMI Meded. en Verhand.70, Staatsdrukkerij- en Uitgeverijbedrijf, 's-Gravenhage.
- RIJTEMA, P.E. en A.H. RYHINER, 1968. De lysimeters in Nederland. ICW Meded. 108, Wageningen.