Afleidingen CT3011, College 4: Irrigatie

Penman

Penman levert de referentie verdamping, E, van een goed bewaterd kort gewas (gras) voor gegeven atmosferische omstandigheden.

1) Energiebalans

$Rn = H + \lambda E + G$ mm/d

R_n is de netto straling in W/m^2 of mm/d. Voor het omzetten van W/m^2 naar mm/d moet men weten dat de verdampingswarmte van water 2445 kJ/kg is en de dichtheid als 1000 kg/m^3 genomen kan worden. Dit leidt tot 1 mm/d=28 W/m^2.

H is de voelbare warmtestroom van het oppervlak naar de atmosfeer, λ is de verdampingswarmte van water (=1 indien alle andere termen in mm/d gegeven zijn), E is de verdamping, ook wel latente warmtestroom genoemd, en G is de warmtestroom in of uit de bodem. Over langere periodes (> 24 uur) kan de G term meestal worden verwaarloosd. Wanneer men de dagelijkse gang wil weten moet G worden meegenomen.

De netto straling kan direct worden gemeten of worden afgeleid uit de komponenten van de stralingsbalans:

$$R_n = R_S^{\downarrow} + R_S^{\uparrow} + R_L^{\downarrow} + R_L^{\uparrow} \quad \text{mm/d}$$

waarbij $R_s^{\downarrow}$ de neerwaartse kortgolvige (zonne)straling is, $R_s^{\uparrow}$ de opwaartse greflecteerde kortgolvige (zonne)straling is, $R_L^{\uparrow}$ de uitgaande langolvige warmte straling, $R_L^{\downarrow}$ de door de atmosfeer teruggestraalde langgolvige warmte straling.

Indien geen stralingsgegevens aanwezig zijn bestaan er formules voor het afleiden van de komponenten. Het is belangrijk te zien dat:

$$R_n = R_S^{\downarrow}(1-\alpha) + \varepsilon_m (R_L^{\downarrow} - \sigma T^4) \quad \text{mm/d}$$

waarin α [-] het albedo van het oppervlak is, ε_m de emissiviteit van het oppervlak [-], T de oppervlakte temperatuur (K), en σ de constante van Stephan-Boltzmann (aangepast aan het gebruik van mm/d ipv het in de thermodynamica meer gebruikelijke W/m^2).

2) Turbulent transport

Het transport door de lagere atmosfeer hangt af van de gradient (verandering per eenheid lengte) van temperatuur (voor voelbare warmte) en dampspanning (voor verdamping), en een van de wind afhankelijke transport functie f(*u*), met *u* windsnelheid [m/s]:

$H = c1 \cdot f(u) \cdot (T_0 - T_A)$

$E = c2 \cdot f'(u) \cdot (e_0^* - e_A)$

Hierin zijn c1&c2 conversie constantes, T temperatuur (K), e de dampspanning (hPa), e^* de verzadigde dampspanning. De subscript 0 verwijst naar het oppervlak, het subscript A naar een vaste hoogte in de atmosfeer (meestal de atmosfeer op 2m). De asterisk (*) geeft aan dat het om verzadigde dampsanning gaat, de maximale dampspanning voor een gegeven temperatuur. Omdat het oppervlak vochtig is, wordt uitgegaan dat de dampspanning aan het oppervlak gelijk is aan de verzadigingsdampspanning.

De windfuncties voor H en E kunnen gelijk worden gesteld, f(u)= f'(u). Hiermee wordt de Bowen ratio H/E:

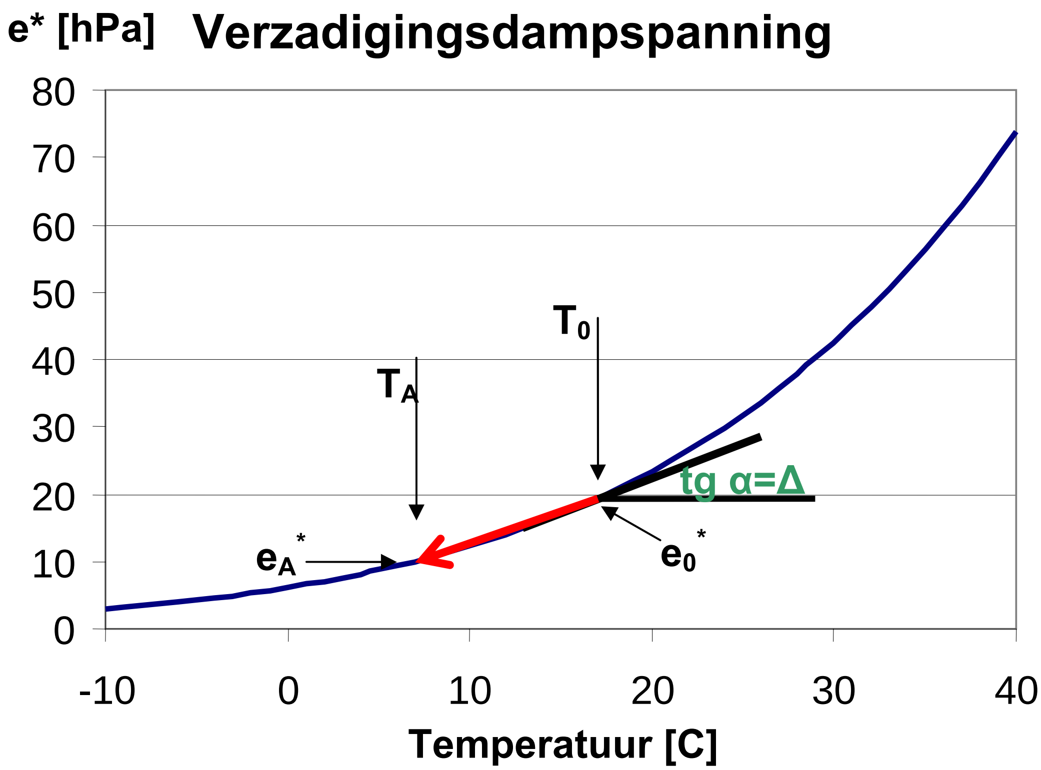
$$\frac{H}{E} = \frac{c1}{c2} \cdot \frac{T_0 - T_A}{e_0^* - e_A}$$

c1/c2 is de psychrometer constante, γ, (=0.67 hPa/K, indien e in hPa en T in K).

Normaal gesproken, of in ieder geval in 1948 toen meneer Penman zijn werk deed, weet men T_0 niet. Daar bedacht hij de volgende truuk op:

$$\Delta = \left.\frac{de^*}{dT}\right|_{T=T_A} \approx \frac{e_0^* - e_A^*}{T_0 - T_A}$$

Δ is dus de helling van de verzadigde dampspanningscurve bij T=T_A (rode pijl in figuur). Dit lijkt een grove benadering maar omdat de kromming van deze curve over het traject van belang over het algemeen zeer flauw is, introduceert dit geen grote fout.



Men heeft nu:

$$\frac{H}{E} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \frac{e_0^* - e_A^*}{e_0^* - e_A} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \left\{ 1 - \frac{E_I}{E} \right\}$$

met

$$E_I = c2 \cdot f'(u) \cdot \left(e_A^* - e_A\right)$$

E_I is de isotherme verdamping, oftewel de verdamping die op zou treden als de oppervlakte temperatuur gelijk zou zijn aan de atmosferische temperatuur. Omdat e_A een standaard meteorologische meting is (en e_A* direkt volgt uit T_A) weten we, met de energie balans nu alles op de windfunctie f'(u) na (waar we c2 voor het gemak instoppen):

$$E = \frac{\Delta R_n + \gamma E_I}{\Delta + \gamma} = \frac{\Delta R_n + \gamma \cdot f'(u) \cdot \left(e_A^* - e_A\right)}{\Delta + \gamma}$$

Voor f'(u) zijn vele vormen bekend waarvan sommige gebaseerd zijn op zorgvuldige dimensie analyse van het turbulente transport door de lagere atmosfeer, vaak een neutraal atmosferisch profiel als gemiddelde atmosfeer aannemend. De oorspronkelijke windfunctie van Penman is meer empirisch en luidt:

$f'(u)=0.35*(0.5+0.54 \cdot u)$

met u in m/s en de verdamping in mm/d.

E staat in de literatuur ook wel bekend onder E_0 of E_{ref}. Om de actuele verdamping te berekenen gebruikt men vaal empirische factoren die de volgens Penman berekende E_0 aanpassen. Voor de meeste gewassen zijn deze "*crop factors*" bekend. Zie ook de FAO software "CropWat".