

---

# Dagelijkse Referentiegewasverdamping geschat uit satellietbeelden: van Makkink naar een nieuw EUMETSAT LSA SAF product

Henk A.R. de Bruin<sup>1</sup>

---

*Sinds februari 2017 wordt voor ieder pixel (ca 3 x 3 km nadir) van de Europese weersatelliet MSG bijna real-time de etmaalgemiddelde referentiegewasverdamping ( $E_{ref}$ ) berekend door EUMETSAT LSA SAF uit MSG-beelden. De theoretische en praktische aspecten van de LAS SAF methode worden besproken. In een korte historisch schets wordt uiteengezet waarom in 1987 het KNMI  $E_{ref}$  schat met de formule van Makkink en niet met de Penman-Monteith-vergelijking (PM). Dit omdat PM gevoelig is voor de surface -aridity fout. In deze studie wordt dit bevestigd op grond van recente waarnemingen. Tevens wordt ingegaan op effecten van lokale advection.*

## Inleiding

Het belang van verdamping voor hydrologie, waterbeheer en landbouw blijkt onder andere uit het feit dat de NHV geregeld bijeenkomsten rondom dit thema organiseert, maar uit zich uiteraard met name in het feit dat het een van de grootste waterbalansposten is. Vrij recent nog vond zo'n bijeenkomst plaats op 11 juni 2015 in Driebergen (Knotters, 2015). Op deze dag werd tevens door Gé van den Eertwegh, voorzitter van de NHV-Werkgroep Verdamping, het eerste exemplaar van NHV-special nr. 8, getiteld 'Verdamping in de hydrologie' overhandigd aan de toenmalige secretaris van de Deltacommissie, Bart Parmet. Het grote belang van verdamping in de hydrologie werd hiermee duidelijk onderstreept en behoeft hier dus niet nader te worden verwoord. Op deze NHV-dag had ik de eer een bijdrage te leveren over de natuurkundige aspecten van verdamping en behandelde ik de (werkelijke) verdamping van een grasland gras zonder waterstress. Omdat dit grasland lijkt op het hypothetische referentiegewas ingevoerd door de FAO, ging het dus over referentiegewasverdamping, hier aangegeven met  $E_{ref}$ . Op grond van thermodynamische argumenten, eerder gebruikt door Schmidt (1915), aangevuld met resultaten van grenslaagtheorie (van Heerwaarden, 2015; de Bruin en Holtslag, 1987) toonde ik aan dat  $E_{ref}$  in hoofdzaak bepaald wordt door de beschikbare energie en de temperatuur. Verder liet ik zien dat de beschikbare energie geschat kan worden uit de globale straling, die op zijn beurt, geschat kan worden uit satellietbeelden. Inmiddels zijn er twee nieuwe ontwikkelingen. Ten verscheen er een peer-reviewed artikel over de besproken methodiek (de Bruin *et al.*, 2016) en ten tweede werd in samenwerking met dr. Isabel Trigo (IPMA, Portugal) de gepresenteerde methode nader uitgewerkt en getest tegen onafhankelijke waarnemingen. Dit leidde tot een formeel EUMETSAT product van de Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (LSA SAF), dat als doel heeft het praktisch nut te vergroten van is de Europese satellieten, METEOSAT Second Generation (MSG) en de European Polar Satellite (EPS). Het LSA SAF  $E_{ref}$ -product werd operationeel begin februari 2017.

---

<sup>1</sup> Gepensioneerd onderzoeker

Het doel van dit artikel is de LSA SAF methode voor het bepalen van  $E_{ref}$  te beschrijven en de lezers van Stromingen aan te moedigen het dagelijkse operationele  $E_{ref}$  LSA SAF product toe te passen en te toetsen op praktische bruikbaarheid in de hydrologie. Maar, omdat ik ook betrokken was bij de overgang in Nederland van Penman naar Makkink, geef ik eerst een korte historische schets over hoe de referentiegewasverdamping in Nederland wordt geschat.

### Het concept van referentiegewasverdamping

De referentiegewasverdamping ( $E_{ref}$ ) betreft de verdamping van hypothetische gras met voorgeschreven micrometeorologische eigenschappen (gewashoogte 12 cm, gewasweerstand 70 s/m, albedo 23%) dat groeit onder optimale omstandigheden (niet ziek, geen watertekort en voldoende nutriënten) in een zeer uitgestrekt veld. Bij de gewasfactormethode wordt door vermenigvuldiging van  $E_{ref}$  met een gewasfactor de waterbehoefte (ET<sub>crop</sub>) geschat van een landbouwgewas, ook groeiend onder optimale omstandigheden in uitgestrekte velden. Deze gewasfactoren hangen uiteraard af van gewasstype, tijd in het groeiseizoen etc. en zijn in tabelvorm beschikbaar. Voor de  $E_{ref}$  geschat met de Makkink-formule zijn deze gepubliceerd door Feddes (1987). Met de Makkink-formule wordt verondersteld dat  $E_{ref}$  een functie is van alleen de meteorologische omstandigheden en dat gewasfactoren alleen van gewaseigenschappen en groeistadia afhangen. Het probleem is dat  $E_{ref}$  een hypothetische grootheid definieert voor een niet-bestaand referentiegewas. Dit bemoeilijkt experimentele validatie. In dit artikel zullen we het concept referentiegewasverdamping –mede daarom- kritisch beschouwen.

Sinds 1956 publiceerde het KNMI de zogeheten "Openwaterverdamping volgens Penman" (Kramers, 1956). Dit getal vermenigvuldigd met 0.8 werd later gebruikt als schatting voor de referentiegewasverdamping (de Bruin, 1970). In 1987 ging het KNMI over op een aangepaste formule van Makkink (hierna aangeduid met MAK). Tijdens een bijeenkomst getiteld Evaporation and Weather werd dit toegelicht. Deze dag was georganiseerd door TNO Commissie voor Hydrologische Onderzoek (TNO-CHO), onder voorzitterschap van Henny Colenbrander. Zie verder Hooghart (1987). De invoering van MAK werd uitvoerig gedocumenteerd en beargumenteerd in een aparte TNO-CHO publicatie (Hooghart en Lablans, 1988). Ik droeg bij aan de 1987 CHO-TNO-dag met "Van Penman naar Makkink" (de Bruin, 1987), waarin werd uiteengezet dat op praktische en fysische gronden MAK te prefereren was boven de Penman-formule en de Penman-Monteith-vergelijking (hierna aangeduid met PM). Deze argumenten werden op 11 juni 2015 nog eens herhaald en ik kom hieronder nogmaals op deze argumenten terug.

Recent werd voor een periode van 6 jaar MAK getest met directe waarnemingen voor het KNMI station Cabauw (de Bruin *et al.*, 2016) en het blijkt dat voor de toepassingen waarvoor MAK bedoeld was deze nog zeer goed voldoet, zelfs beter dan Penman-Monteith. Mede op grond van deze bevindingen heeft het KNMI besloten de Makkink-formule te handhaven en niet te vervangen door de Penman-Monteith-formule, zoals besproken op de NHV-bijeenkomst van 19 september 2009. Dit zou met zich mee brengen dat correcties voor de effecten van de 'surface-aridity' (later toegelicht) zoals genoemd in het FAO-rapport (Allen *et al.*, 1998, Annex 6) zouden moeten worden uitgevoerd (zie hieronder).

### Kanttekeningen bij het concept van referentiegewasverdamping

De NHV Hydrologische Woordenlijst (NHV, 2002) hanteert als definitie van referentiegewasverdamping: De verdamping van een uitgebreid uniform, van buiten droog grasoppervlak met een hoogte van 8-15 cm dat voldoende van water is voorzien.

Er zijn twee conceptuele problemen met deze definitie:

### **De interpretatie van het bijvoeglijk naamwoord "uitgebreid"**

De vraag is of randeffecten op het verdampingsproces moeten worden meegenomen. De vraag is of effecten van warmte (dus energie) die horizontaal wordt aangevoerd vanaf een aanliggend droog terrein (lokale advection) volgens de definitie al dan niet moeten worden verwaarloosd. In mijn ogen is bij de invoering van het  $E_{ref}$ -concept lokale advection met opzet uitgesloten door het bijvoeglijk naamwoord 'uitgebreid'. Zo niet, dan hadden richtlijnen moeten worden gegeven over de grootte van het referentiegrasveld en de eigenschappen van de omliggende terreinen. In het definitierapport van LSA SAF is daarom lokale advection uitgesloten. Wel wordt lokale advection later besproken.

### **De stilzwijgende veronderstelling dat de meteorologische omstandigheden onveranderd blijven door het verdampingsproces zelf**

$E_{ref}$  is gedefinieerd voor een hypothetisch, goed van water voorzien uitgestrekt grasveld onder de 'heersende meteorologische omstandigheden'. Daarbij wordt verondersteld dat deze 'heersende' meteorologische omstandigheden onafhankelijk van de verdamping zelf zijn. Maar dat is niet zo. Indien men een droog terrein zou vervangen door goed van water voorzien referentiegras, dan heeft dit direct gevolgen voor bijvoorbeeld de oppervlaktetemperatuur en de luchttemperatuur en ( $T_a$ ) en de waterdampdruk ( $e_a$ ) op 2 m hoogte. Men noemt dit het 'surface-aridity' effect. Daardoor verandert de netto straling en het vochtdeficit  $D = e_s(T_a) - e_a$  met ( $e_s(T_a)$ ) de verzadigingsdampdruk bij  $T_a$ . Omdat netto straling en  $D$  termen in de PM-vergelijking zijn, moeten daarom de invoergegevens voor PM boven referentiegras worden gemeten. Zo niet dan moeten correcties worden aangebracht (Zie ANNEX 6 in Allen *et al.*, 1998, Temesgen *et al.*, 1999 en LSA SAF, 2017b). In de praktijk worden deze correcties voor het *surface-aridity* effect zelden gemaakt. Daardoor overschat PM vaak  $E_{ref}$ . Een duidelijk voorbeeld is te vinden in Weedon *et al.* (2015, hun figuur 5a) waarin niet gecorrigeerde schattingen van PM- $E_{ref}$  worden gegeven van 2500 tot 3000 mm/jaar voor de Sahara. Deze onrealistische hoge waarden tonen aan dat PM zeer gevoelig is voor het *surface-aridity*-effect.

Het *surface-aridity*-effect is allang bekend: de complementaire methode voor het schatten van de werkelijke verdamping is erop gebaseerd (Brutsaert en Stricker, 1979). De LSA SAF  $E_{ref}$  is ongevoelig voor het *surface-aridity* effect.

### **De EUMETSAT SATELLITE APPLICATION FACILITIES**

EUMETSAT is een in 1986 opgerichte Europese organisatie gevestigd in Darmstadt voor de ontwikkeling en het beheer van Europese weersatellieten. In eerste instantie betrof dit de eerste Europese geostationaire weersatelliet METEOSAT. In 1991 startte het METEOSAT *Second Generation* (MSG) programma dat in 2004 operationeel werd. De *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI) in een centraal onderdeel van de MSG. Deze heeft 12 spectrale kanalen waarvan elke 15 minuten beelden beschikbaar komen. Inmiddels zijn twee MSGs operationeel, beide staan op 36000 km boven de evenaar, en respectievelijk boven 0° (Europa, Afrika, deel Zuid-Amerika) en de 41.5° Oost (boven India). De effectieve pixelgrootte in Nederland is ongeveer 5 x 5 km.

Een integraal onderdeel van het MSG programma vormen acht zogeheten *Satellite Application Facilities* (SAFs), waarmee operationeel producten worden geproduceerd uit de beschikbare beelden. LSA SAF is de SAF bedoeld voor landoppervlakken. Deze is ondergebracht bij het *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*, Lissabon, Portugal, op het ogenblik onder leiding van dr. Isabel Trigo. Zie <https://landsaf.ipma.pt>. LSA SAF-producten zijn onder andere de termen van de stralingsbalans van het aardoppervlak, albedo, oppervlaktetemperatuur, vegetatie indices, de (werkelijke) verdamping en, sinds kort, nu ook de referentiegrasverdamping, het onderwerp van dit artikel. Voor sommige SAF producten wordt meteorologische informatie gebruikt aangeleverd

door het Europese centrum voor middellange termijn verwachtingen (ECMWF), via gekoppelde computersystemen. Alle LSA SAF producten worden gearhiveerd en zij worden gratis beschikbaar gesteld, ook aan commerciële bedrijven.

### Het LSA SAF algoritme voor referentiegwasverdamping

Meer dan 100 jaar geleden schatte Schmidt (1915) op grond van thermodynamica de werkelijke verdamping van de oceanen. Gebruikmakend van de thermodynamische Clausius-Clapeyron-relatie tussen de verzadigingsdampdruk van waterdamp en temperatuur laat Schmidt zien dat de verdamping van 'verzadigde' oppervlakken zonder advection niet veel zal afwijken van de evenwichtsverdamping. Schmidt's beschouwing gold voor verzadigende lucht en hij beseftte dat zelfs boven een goed van water voorzien oppervlak de relatieve vochtigheid minder is dan 100%. Inmiddels weten we dat overdag warme en droge lucht wordt ingevangen aan de top van de atmosferische grenslaag w die door turbulentie gemengd wordt tot aan het oppervlak (zie de video op 11 juni 2015 getoond door Chiel van Heerwaarden, beschikbaar via <https://vimeo.com/151287278>). Door dit effect is de relatieve vochtigheid boven een goed verdampend oppervlak altijd lager dan 100% (de Bruin, 1983; de Bruin & Holtslag, 1987; van Heerwaarden, 2015). Deze fysische argumenten leiden tot een eenvoudige schattingsformule voor de verdamping van goed van water voorzien referentiegwas ( $E_{ref}$ ), uitgedrukt in energie-eenheden, eerder gepubliceerd door de Bruin en Bert Holtslag (1983, hun formule 11):

$$\lambda E_{ref} = \frac{\Delta(T_a)}{\Delta(T_a) + \gamma} R_{nref} + 20 \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1)$$

met  $\lambda$  de verdampingswarmte en van water (ca.  $2.5 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ ),  $\gamma$  de psychrometer constante,  $\Delta(T_a)$  de helling van de verzadigde-dampdrukcurve bij luchttemperatuur  $T_a$  en  $R_{nref}$  de netto straling van goed van water voorzien gras. Volgens de Bruin (1987) kan deze laatste geschat worden uit de globale straling  $R^{\downarrow}$  - ook wel de inkomende kortgolvlige straling genoemd - met de formule van Slob-de Bruin:

$$R_{nref} = (1 - 0.23)R^{\downarrow} - 110 \frac{R^{\downarrow}}{R_{ext}} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (2)$$

waarin  $R_{ext}$  de globale straling aan de rand van de atmosfeer, die berekend kan worden uit de baaneigenschappen van de aarde rondom de zon voor een gegeven breedtegraad en datum. Combinatie van (1) en (2) geeft:

$$\lambda E_{ref} = \frac{\Delta(T_a)}{\Delta(T_a) + \gamma} \left[ (1 - 0.23)R^{\downarrow} - 110 \frac{R^{\downarrow}}{R_{ext}} \right] + 20 \quad (3)$$

Dit is de uiteindelijke formule waarop het LSA SAF ETref-product is gebaseerd (LSA SAF, 2017b). Net als bij MAK is  $E_{ref}$  alleen afhankelijk van de globale straling ( $R^{\downarrow}$ ) en de luchttemperatuur ( $T_a$ ). Dit betreft etmaalgemiddelde waarden. Voor  $R^{\downarrow}$  worden die afgeleid van een bestaand LSA SAF product, terwijl het etmaalgemiddelde  $T_a$  wordt geëxtraheerd uit drie-uurlijkse weervelden van het ECMWF.

### Test met CESAR data

Sinds begin van deze eeuw, in het kader van het CESAR-project (<http://www.cesar-observatory.nl/>), meet het KNMI met de eddy-covariantie-methode routinematig de werkelijke verdamping boven gras op een meetveld vlakbij de monitoringmast te Cabauw (<http://www.cesar-observatory.nl/>).

Etmaalwaarden zijn gecorrigeerd voor het niet sluiten van de energiebalans (Bosveld, persoonlijke mededeling). De mast is 1 km verwijderd van de Lek, waardoor de invloed van deze rivier klein is. Voor 2007-2012 werden door de Bruin *et al.* (2016) deze etmaalgemiddelde verdampingswaarden vergeleken met de schattingen gegeven door vergelijking (3). Enkele korte droge perioden werden buiten beschouwing gelaten. Door het polderbeheer en het klimaat te Cabauw kan als werkhypothese worden aangenomen dat deze dataset geldt voor een grasveld dat sterk lijkt op het referentiegras zoals gedefinieerd in het de FAO-rapport van Allen *et al.* (1998). Met nadruk moet hierbij worden opgemerkt dat het grasveld te Cabauw op een schaal van, zeg, 10- 50 km gelegen is in vergelijkbaar grasland. Dit betekent dat effecten van lokale advection voor Cabauw kunnen worden verwaarloosd. De Bruin *et al.* (2016) pasten vergelijkingen (2) en (3) toe met een globale straling geschat uit MSG-beelden met het zogeheten KNMI-SICCS-algoritme (Greuell, 2013). Vervolgens werden de met vergelijkingen (2) en (3) berekende nettostraling en verdamping vergeleken met CESAR - waarnemingen. De resultaten zijn zeer bevredigend. Deze publicatie was aanleiding voor het EUMETSAT LSA SAF managementteam te onderzoeken of de toegepaste methode geschikt kan worden gemaakt als een formeel LSA SAF product. Voor nadere informatie verwijzen we hier naar twee rapporten LSA SAF (2017a) en LSA SAF (2017b). Hier presenteren wij de resultaten voor de validatie van (3) en die voor de Makkink-formule. Dit omdat deze in Nederland wordt gebruikt.

In Figuur 1 is de met vergelijking (3) geschatte etmaalgemiddelde  $E_{ref}$  vergeleken met onafhankelijke CESAR-waarnemingen van de werkelijke verdamping in energie-eenheden voor de periode 2007-2012. Te zien is dat de systematische afwijking klein is en de gemiddelde randomfout minder dan  $8 \text{ Wm}^{-2}$ . Merk op 1 mm/dag ongeveer overeenkomt met  $29 \text{ Wm}^{-2}$ .

### Makkink versus Penman-Monteith en het 'surface-aridity-effect'

Zoals hierboven vermeld voerde het KNMI 1987 de Makkink-formule in (de Bruin, 1987) als schatting van  $E_{ref}$ . Bij de invoering werd beargumenteerd dat MAK te prefereren was boven de Penman-Monteith-vergelijking, mede omdat deze gevoelig is voor het, hierboven besproken *surface-aridity* effect. Het is buiten het doel van dit artikel hier nader op in te gaan. Figuur 2 laat de vergelijking zien tussen MAK en gemeten werkelijke verdamping voor 2007-2012, ontleend aan de Bruin *et al.* (2016).

In het validatierapport LSA SAF, 2017b) wordt de PM-vergelijking berekend volgens Allen *et al.* (1998) getest tegen grondwaarnemingen. Voor Cabauw blijkt PM ongeveer 15% te hoog is. Voor een station Twente gelegen in het meer droogtegevoelige Oosten van Nederland is de overschatting aanzienlijker groter (de Bruin, 2014).

Op grond van de bevindingen beschreven in De Bruin *et al.* (2016) en LSA SAF (2017b) kan worden geconcludeerd dat een test van deze formules met meer recente CESAR-data laat zien dat de argumenten gebruikt in 1987 nog steeds gelden. MAK moet worden geprefereerd boven PM.

Opgemerkt moet worden dat de Makkink verdamping getoond in Figuur 2 berekend is met de globale straling  $K_+$  geschat uit beelden MSG met het KNMI- SICCS algoritme van het KNMI (Greuell, 2013). Het KNMI werkt op het ogenblik aan een operationeel MSG  $E_{ref}$  product gebaseerd op SICCS speciaal voor Nederland (Meirink, persoonlijke mededeling).

### Lokale advection

Zoals hierboven uitgelegd wordt bij het  $E_{ref}$  LSA SAF product worden effecten van lokale advection uitgesloten. In Figuur 3 wordt de situatie geschetst waar lokale advection optreedt: droge en warme lucht (met een groot vochtdeficit  $D$ ) van het droge voerterrein stroomt over het geïrrigeerde grasveld. Na de droog-nat-overgang bouwt zich een interne grenslaag (IGL) op. Door verdamping

wordt de lucht vlak boven het gras koeler en vochtiger dus  $D$  wordt kleiner. Aan de bovenrand van de IGL penetreert warme en droge lucht in de IGL. Hierdoor wordt aan het verdampend gras extra voelbare warmte toegevoerd. In het blauw omcirkelde gebied vlak na de droog-nat-overgang is het oppervlak nog niet aangepast aan de nieuwe situatie. Dit is het gebied waar lokale advectie optreedt. Dan zijn de omstandigheden niet horizontaal homogeen zijn en de verticale fluxen van warmte en waterdamp niet constant in de hoogte. In de jaren 1980 hebben Wageningse wetenschappers theoretische en experimenteel onderzoek verricht aan lokale advectie (Kroon & de Bruin, 1995, en de Bruin *et al.*,1991). Onder omstandigheden van lokale advectie lijkt mij de lysimeter methode het meest geschikt voor het meten van verdamping, omdat eddy-correlatiesensoren de invloeden van het droge voorterrein 'zien'.

Voor uitgestrekte velden is men zo ver van de droog-nat-overgang verwijderd dat zich binnen de IGL een constante fluxlaag ontwikkeld. Dan is in de tot op een hoogte van, zeg, 20m de waterdampstroom constant met de hoogte. Voor kleine velden wordt dit stadium niet bereikt. In de praktijk zijn geïrrigeerde landbouwpercelen vaak niet groter zijn dan 1 ha, derhalve is lokale advectie eerder regel dan uitzondering! Nieuw onderzoek naar advectie is dus zeer urgent in mijn ogen!

In LSA SAF (2017b) wordt een voorbeeld gegeven van de invloed van lokale advectie op de werkelijke verdamping gemeten met een lysimeter in het centrum van een geïrrigeerd grasveld van 100 bij 110m (zie ook Figuur 4). Voor dit specifieke terrein wordt de werkelijke verdamping geschat met een op thermodynamica gestoelde aanpak

$$\lambda E_{LSA\_SAFadv} = \lambda E_{LSA\_SAF} + a_{adv}(T_a - 15) \quad (4)$$

waarbij  $\lambda E_{LSA\_SAF}$  de LSA SAF referentiegewasverdamping is, en  $a_{adv}$  een empirische constante en  $T_a$  de temperatuur van het naburige bovenwindse droge terrein. De laatste term beschrijft de voelbare warmte die horizontaal vanaf het bovenwindse droge terrein wordt aangevoerd en die de werkelijke verdamping van het geïrrigeerde grasveld verhoogt. Voor het geïrrigeerde grasveld nabij Cordoba gaf (4) bevredigende resultaten (Figuur 4). Omdat effecten van lokale advectie afhangen van de grootte van het geïrrigeerde perceel en de eigenschappen en droogtetoestand van de omliggende terreinen, is het niet mogelijk één algemene formule te ontwikkelen voor het berekenen van de invloed van de lokale advectie. Het hangt van geval tot geval af. Meer onderzoek is nodig om invloed van lokale advectie te kunnen schatten, gebruikmakend van bestaand GIS routines.

Merk op dat er een vergelijkbare empirische MSG-methode is ontwikkeld om de Makkink-formule te 'corrigeren' voor invloeden van lokale advectie (de Bruin et al. 2012; de Bruin, 2014). Deze methode is toegepast voor Andalusië door Cruz *et al.* (2015).

Gesteld kan worden dat als de (berekende)  $E_{ref}$  groter is dan  $R_{nref}/\lambda$  er sprake is lokale advectie. Ervaring met de lysimeter in Cordoba leert dat de gemeten verdamping zelden groter wordt dan  $1.25 R_{nref}/\lambda$  wordt. Op grond van deze bevindingen kan men reeds gepubliceerde  $E_{ref}$  schattingen berekend met PM controleren op eventuele *surface-aridity*-fouten. Dit valt buiten de strekking van dit artikel.

## Discussie en conclusies

Dit artikel beschrijft het algoritme en de achtergronden van het nieuwe LSA SAF  $E_{ref}$  product dat sinds begin 2017 operationeel is geworden. Het betreft etmaalgemiddelde waarden voor ieder MSG-pixel (3 x 3 km nadir, in Nederland ca 5 x 5 km). Omdat het om etmaalgemiddelden gaat is de ruimtelijke variatie binnen een MSG-pixel klein. Voor nadere informatie wordt de lezer verwezen

naar twee rapporten die van de LSA SAF website gedownload kunnen worden (LSA SAF, 2017a en b). Uit vergelijkingen met onafhankelijke waarnemingen blijkt dat dit nieuwe LSA SAF product zeer geschikt is voor toepassingen in de hydrologische praktijk: de systematische fout is klein en met een random fout  $< 0.4$  mm/dag. De methode is gebaseerd op thermodynamica aangevuld met grenslaagmeteorologie. Deze laatste leidt tot het invoeren van de constante  $20 \text{ Wm}^2$  in formules (1) en (3). Dit is een empirische constante die van dag op dag een variatie vertoont van ongeveer  $10 \text{ Wm}^2$  rondom een gemiddelde van  $20 \text{ Wm}^2$  (de Bruin *et al.*, 2016). Deze term kan worden geïnterpreteerd als advectie op grote schaal: elders op regionale afstand ontstaat neerslag waardoor de atmosfeer boven de grenslaag uitdroogt en opwarmt door condensatiewarmte. Daarom is lucht boven de grenslaag altijd warmer en droger dan de grenslaag zelf. Overdag groeit de grenslaag en daardoor wordt in de loop van de dag deze warme en droge lucht ingevangen. Door turbulentie in de grenslaag wordt deze tot de grond toe gemengd. Daardoor komt er meer energie beschikbaar voor verdamping dan alleen de nettostraling.

Opvallend is dat de random fout in  $E_{ref}$  onafhankelijk is van de  $E_{ref}$  zelf. Dit betekent dat de relatieve fout rondom de oorsprong groot is. Maar dit betreft de wintermaanden wanneer –denk ik– er weinig behoefte is aan informatie omtrent  $E_{ref}$ .

De hier beschreven resultaten bevestigen de argumenten die destijds gebruikt zijn bij de invoering van de Makkink-vergelijking. De Penman-Monteith-vergelijking blijkt inderdaad gevoelig voor de *surface-aridity*-fout en MAK (en de LSA SAF methode) niet.

In het LSA SAF validatierapport (LSA SAF, 2017b) wordt de Slob- De Bruin methode voor  $R_{nref}$  apart getest. Deze grootte werd ingevoerd omdat ook de werkelijke nettostraling van het gras gevoelig is voor de *surface-aridity*-effecten (de Bruin, 1987). Bij uitdroging wordt de oppervlaktetemperatuur groter dan dat van referentiegras, waardoor het oppervlak meer langgolvlige straling gaat uitzenden. Dat dit effect kan groot zijn, laten de Bruin *et al.* (2012) en LSA SAF (2017b) zien met voorbeelden in Burkina Faso en natuurlijk gras in Californië. De grootte  $R_{nref}$  berekend volgens Slob-De Bruin, kan dienen als een energie bovengrens voor verdamping zonder lokale advectie.

In veel klimaatstudies wordt als droogte-index  $E/E_{ref}$  met  $E$  de werkelijke verdamping gebruikt. Vaak wordt dan  $E_{ref}$  geschat met PM. Omdat deze behept is met de *surface-aridity* fout, beveel ik in de droogte-index  $E_{ref\_LSA\_SAF}$  toe te passen.

$E_{ref}$  is nadrukkelijk ontwikkeld voor adviezen voor benodigde berekening van landbouwgewassen ten tijde van droogte

## Dankbetuiging

Fred Bosveld (KNMI) wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van de CESAR data. Gé van den Eertwegh (KnowH2O) dank ik voor zijn uitnodiging op de NHV bijeenkomst van 15 juni 2015 te komen spreken en het corrigeren van de tekst. De opmerkingen van de twee reviewers worden zeer gewaardeerd.

## Referenties

**Allen et al.**, (1998) FAO Irrigation and Drainage report 56, pp 300

**Brutsaert, W., and H. Stricker** (1979) An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration; in *Water Resour. Res.*, 15(2), 443-450, doi:10.1029/WR015i002p00443.

**Berengena, J. en P. Gavilán** (2005) Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment; in *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE* 131, 147-163

**Cruz-Blanco, M., P. Gavilán, C. Santos en I.J. Lorite** (2015) Assessment of reference evapotranspiration using remote sensing and forecasting tools under semi-arid conditions; in *Int J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 33, 280-289. Doi: 10.1016/j.jag.2014.06.008.

**De Bruin, H.A.R.** (1987) From Penman to Makkink; in *Comm. Hydrol. Res.TNO*, Den Haag. Proc. and Inform., 39, 5-30.

**De Bruin, H.A.R.** (2014) Over referentiegewasverdamping; in *Meteorologica*, 2014-01

**De Bruin, H.A.R. en A.A.M. Holtslag** (1987) Evaporation and weather: Interaction with the planetary boundary layer.; in *Comm.Hydrol.Res.TNO*, Proc. and Inform., 39, 63-81.

**De Bruin, H.A.R., L.J.M. Kroon en N.J. Bink** (1991) Fluxes in the surface layer under advective conditions ; in *Land Surface Evaporation* (Smugge Ed.), Springer, 157-169.

**De Bruin, H.A.R., I.F. Trigo, P. Gavilan, A. Matinez-Cob, en M.P. Gonzalez-Dugo** (2012) Reference crop evapotranspiration estimated from geostationary satellite imagery; in *Proceedings Remote Sensing and Hydrology 2010 Symposium*, Jackson Hole, 27-30 September 2010. IAHS Publ. 352, 111-115.

**De Bruin, H. A. R., I. F. Trigo, F. C. Bosveld en J.F. Meirink** (2016) A thermodynamically based model for actual evapotranspiration of an extensive grass field close to FAO reference, suitable for remote sensing application; *J. Hydrometeor.*, doi: 10.1175/JHM-D-15-0006.1

**De Bruin, H.A.R.,** (1979) Neerslag, openwatervedamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland. Frequentieverdelingen in het groeiseizoen. In *KNMI Sc.Rep. W.R. 79-4*.

**Feddes, R.A.** (1987) Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration; in *Comm. Hydrol. Res.TNO*, Den Haag. Proc. and Inform., 39, 33-47.

**Greuell, W., J. F. Meirink, and P. Wang** (2013) Retrieval and validation of global, direct, and diffuse irradiance derived from SEVIRI satellite observations. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 2340-2361, doi:10.1002/jgrd.50194.

**Knotters, M.** (2015) Verdamping en hydrologie NHV: feestelijke Voorjaarsbijeenkomst in samenwerking met STOWA. Verslag; In *Stromingen*, 23 (2015), nr. 3

**Kroon, L.J.M. en H.A.R. De Bruin** (1995): The Crau field experiment: turbulent exchange in the surface layer under conditions of strong local advection in *Journal of Hydrology*, 327-351.



LSA SAF (2017a) SAF\_LAND\_IPMA\_ATBD\_ET0\_v1.1.pdf (kan worden gedownload van <https://landsaf.ipma.pt/algorithms.jsp?seltab=6&starttab=6>)

LSA SAF (2017b) SAF\_LAND\_IPMA\_VR\_ETREF\_v1.1.pdf (kan worden gedownload van <https://landsaf.ipma.pt/algorithms.jsp?seltab=6&starttab=6>)

NHV (2002) Hydrologische woordenlijst; in *NHV Special No. 5*.

NHV (2009) Verslag NHV-dag 17 september 2009 – Verbetering van de schatting van actuele verdamping voor waterbeheer. Verslaglegging door Jan van Bakel/De Bakelse Stroom.

NHV (2015) Verdamping in de hydrologie. NHV Special No. 8.

Schmidt, W (1915) Strahlung und Verdunstung an freien Wasserflächen; ein Beitrag zum Wärmehaushalt des Weltmeers und zum Wasserhaushalt der Erde (Radiation and evaporation over open water surfaces; a contribution to the heat budget of the world ocean and to the water budget of the earth). *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie* 43, 111-525 124, 169-178

Temesgen B., Allen R.G. en D.T. Jensen (1999) Adjusting temperature parameters to reflect well-water conditions; in *J. Irrig. and Drain.*, ASCE 125(1): 26-33.

Weedon, G. P., Gomes, S., Viterbo, P., Shuttleworth, W. J., Blyth, E., Osterle, H., Adam, J. C., Bellouin, N., Boucher, O., en Best, M. (2011) Creation of the WATCH forcing data and its use to assess global and regional Reference Crop Evaporation over land during the Twentieth Century; in *J. Hydrometeorol.*, 12, 823-848.

---

## Estimating daily crop reference evaporation using satellite imagery: from Makkink to a new EUMESAT LSA SAF product

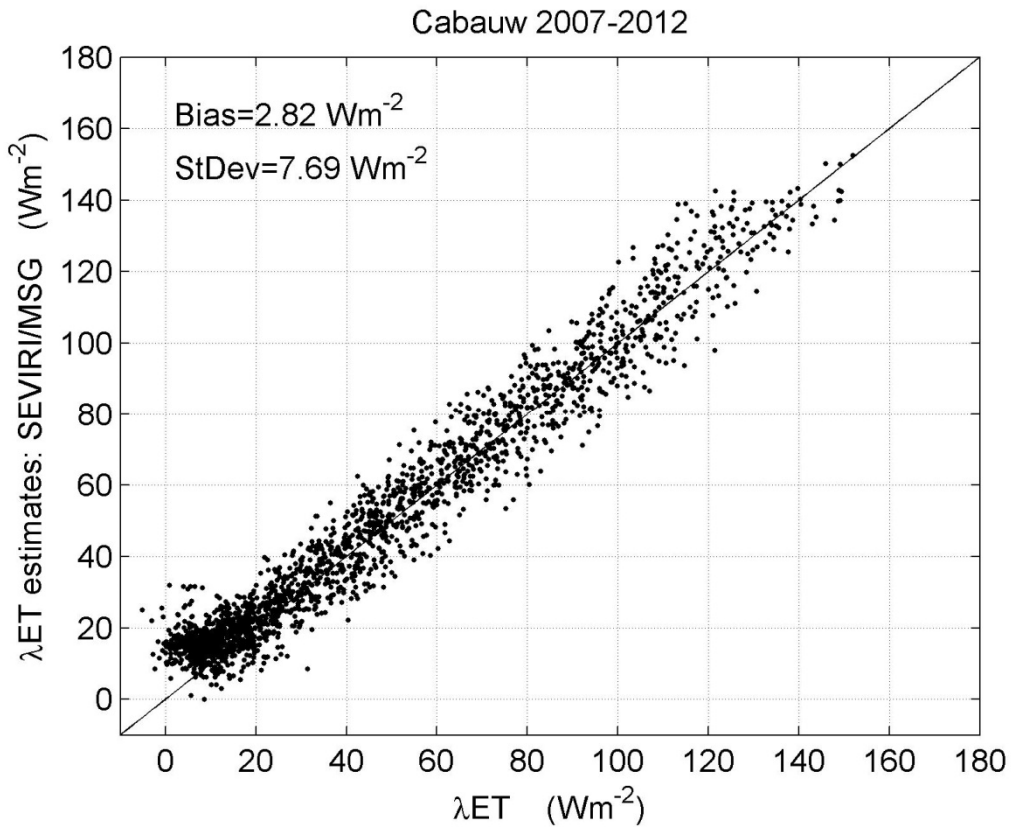
Henk A.R. de Bruin<sup>2</sup>

---

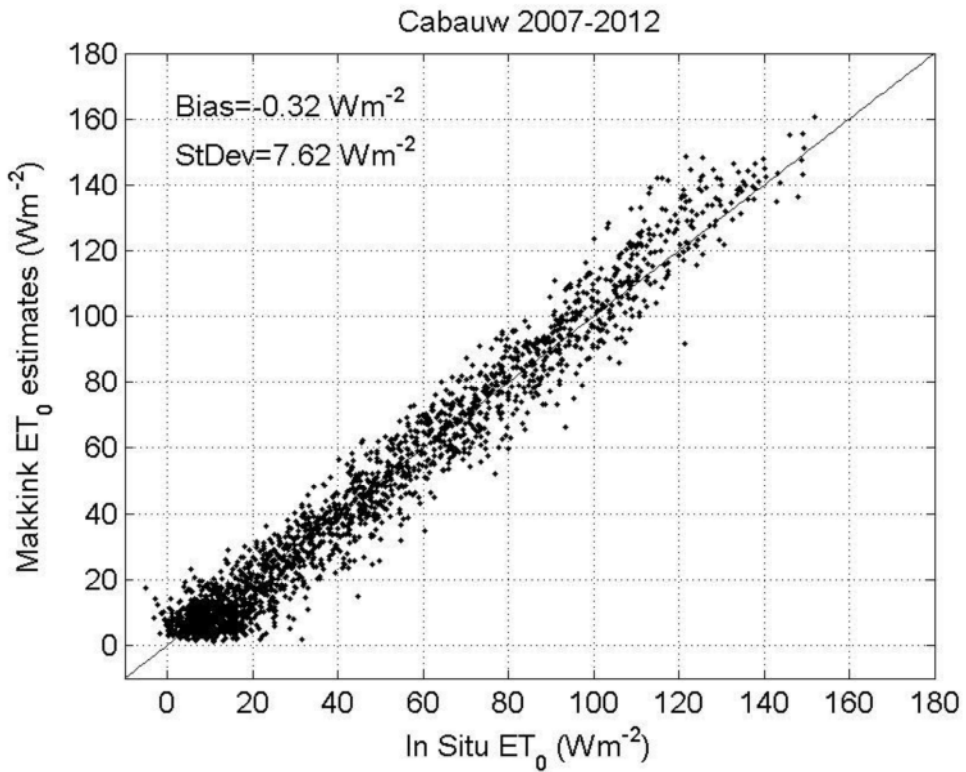
*Since February 2017 the daily reference crop evapotranspiration ( $E_{ref}$ ) is determined by the EUMETSAT LSA SAF consortium. The theoretical and practical aspects of the LSA SAF methodology are discussed in this work. The historical reasons are described why in 1987 the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) chose to estimate  $E_{ref}$  with the formula by Makkink and not with the Penman-Monteith equation (PM). This was mainly because PM is sensitive for the surface-aridity error. In addition, local advection effects are discussed.*

---

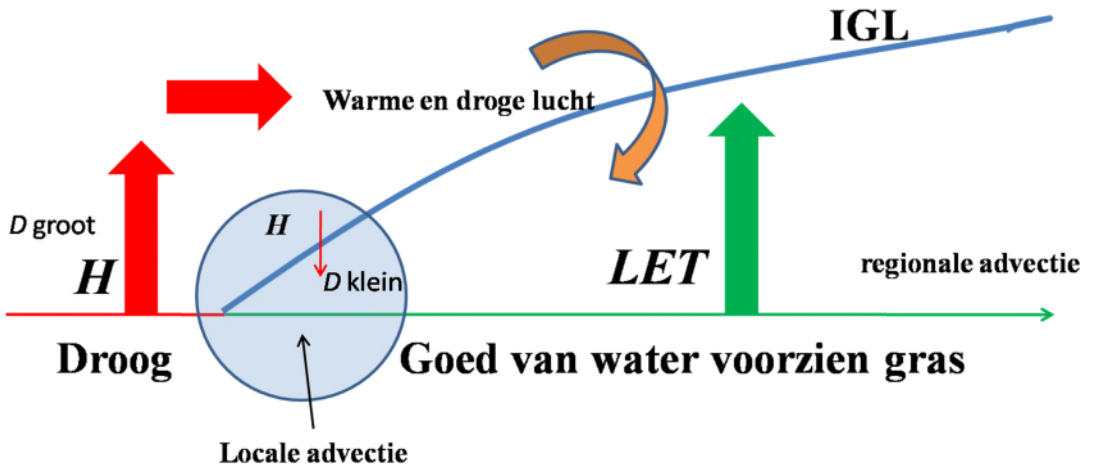
<sup>2</sup> Retired researcher



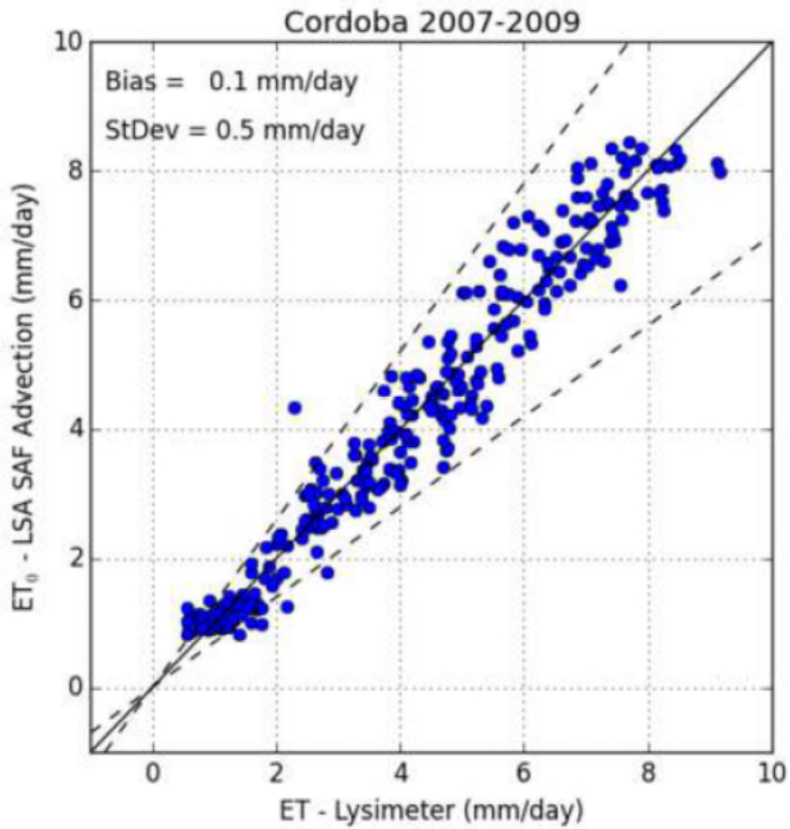
**Figuur 1** Etmaalgemiddelde *ET-ref* berekend met formule (3) vergeleken met gemeten werkelijke verdamping (ontleend uit LSA SAF, 2017b).



**Figuur 2 Test Makkink-formule voor Cabauw versus onafhankelijke metingen van de werkelijke verdamping (ontleend aan de Bruin *et al.*, 2016)**



Figuur 3 Schets voor lokale en regionale advectie



**Figuur 4** Test van de formule (4) voor effecten van advection voor een geïrrigeerd grasveld nabij Cordoba waarvoor lysimeter metingen beschikbaar zijn voor 2007-2009 (ontleend aan LSA SAF, 2017b).