

---

# Hoe klimaatrobuust is de gewasfactormethode van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium?

P.E.V. van Walsum, F.J.E. van der Bolt en A.A. Veldhuizen<sup>1</sup>

---

*Artikel naar aanleiding van het artikel “Metingen en proceskennis vereist voor nauwkeurige verdampingsberekening in grondwatermodellen”, van Bartholomeus e.a. in Stromingen, vol 19, #2 (2013).*

## Inleiding

In het artikel van Bartholomeus e.a. (2013a) wordt geconcludeerd dat “de” gewasfactormethode niet klimaatrobuust is. Daartoe zijn twee typen gewasfactormethoden onderzocht, met gebruik van respectievelijk de internationale definitie van gewasfactoren en tevens de “Nederlandse definitie” van gewasfactoren. Rekenresultaten met deze methoden worden vergeleken met resultaten van de Penman-Monteith methode van SWAP (Kroes e.a., 2008) met gebruikmaking van gewasgegevens in de vorm van gewasweerstand, gewashoogte, bodembedekkingsgraad en albedo. De SWAP-methode wordt in bovengenoemd artikel gebruikt als substituut voor werkelijke metingen om illustratieve berekeningen uit te voeren. Bij de vergelijking van de rekenresultaten wordt de klimaatrobuustheid van de fysica getoetst. Dat de getoetste ‘enkelvoudige’ gewasfactormethoden in dat opzicht tekort te schieten komt doordat er 1) in die methoden geen expliciet onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende verdampingstermen, en 2) de gewasfactor een versimpelde voorstelling vormt van (onder andere) de aerodynamische ruwheid; die kan de effecten van variaties in windsnelheid daarom niet volgen.

Om het eerste bezwaar te ondervangen is een nieuwe methode ontwikkeld (Van Walsum en Supit 2012) die een transparante variant vormt van de *dual crop coefficient* methode (Allen e.a. 2005). Deze ‘meervoudige’ gewasfactormethode is toegepast in combinatie met een dynamisch gewasgroeimodel en ook met een daaruit afgeleide vereenvoudigde statische benadering. Deze laatste werkwijze is opgenomen in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI, De Lange e.a., gesubmit) en is toegepast voor het Deltamodel Zoetwater (Kroon en Ruijgh, 2012). Deze methode is wat betreft de fysica veel meer klimaatrobuust dan de traditionele enkelvoudige gewasfactormethoden en kan ook biologisch meer klimaatrobuust worden gemaakt door het gewasgroeimodel dynamisch toe te voegen.

---

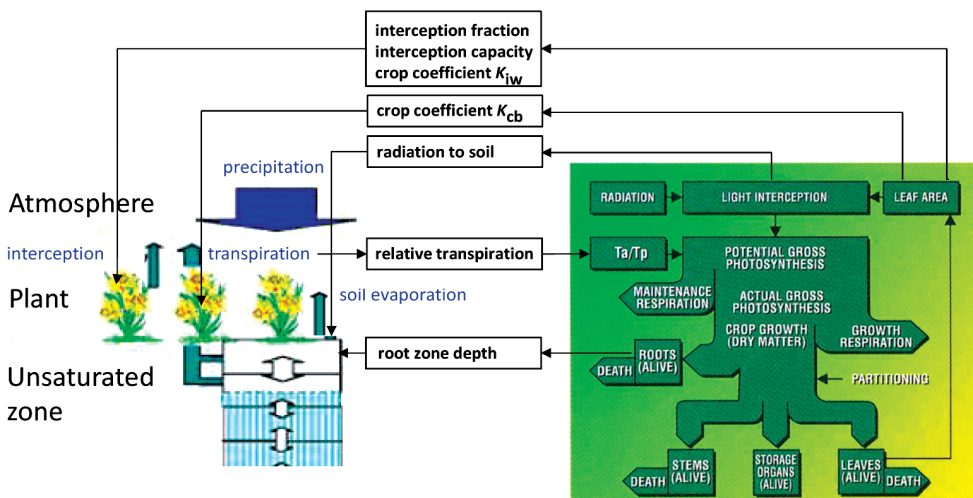
<sup>1</sup> Alterra Wageningen UR (paul.vanwalsum@wur.nl)

In dit artikel geven we een korte beschrijving van de meervoudige gewasfactormethode gevolgd door enige rekenresultaten die relevant zijn voor de discussie over klimaat-robuustheid.

## Methode

In de meervoudige gewasfactormethode van het NHI wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen interceptieverdamping, transpiratie en bodemverdamping. De Leaf Area Index (LAI) wordt gebruikt als sturende variabele om deze verschillende verdampingstermen te kwantificeren. Sleutelement is de modelkoppeling tussen SWAP (Kroes e.a. 2008)/MetaSWAP (Van Walsum en Groenendijk, 2008) en het gewasgroeimodel WOFOST (Van Ittersum e.a., 2003, Supit e.a., 1994). Een overzicht van de koppeling wordt gegeven in Afbeelding 1: in de parameterisering is een relatie gelegd tussen de mate van bladontwikkeling (LAI) en de gewasfactor  $K_{C_{MAK}}$  van de transpiratie (zie Afbeelding 2). Ook de interceptiecapaciteit van het bladerdek en de hoeveelheid straling die de bodem bereikt zijn in het model afhankelijk gesteld van de LAI. Deze wijze van modelleren heeft als bijkomende voordelen dat:

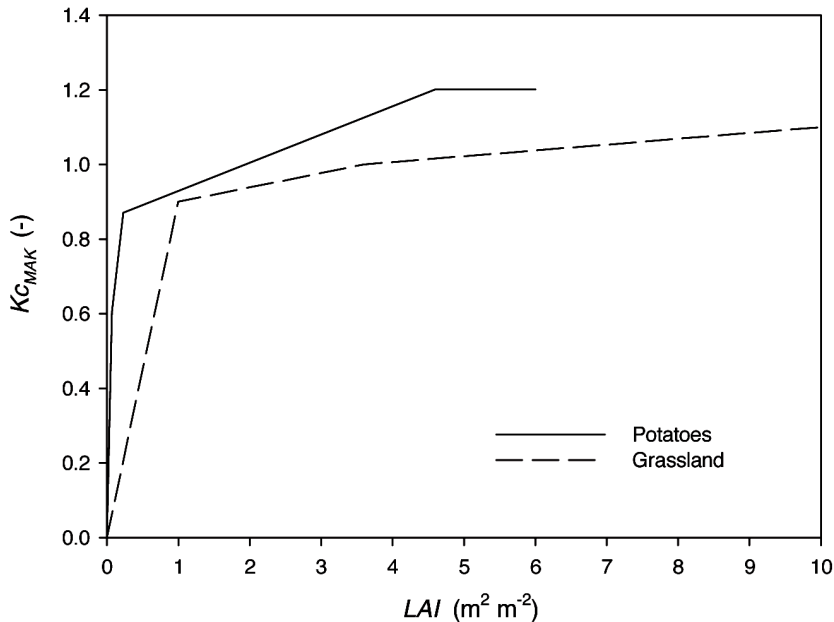
- Door de afname van het aantal vrijheidsgraden in parameters het model beter te kalibreren is.
- De correctie voor het toegenomen CO<sub>2</sub>-gehalte van de atmosfeer direct in de LAI- $K_{C_{MAK}}$  relatie kan worden verwerkt, zonder steeds een correctie te moeten toepassen voor de bodembedekkingsgraad op een bepaalde dag. De bodembedekkingsgraad zit namelijk al verwerkt in de relatie van Afbeelding 2.



**Afbeelding 1:** Overzicht van modelkoppelingen tussen MetaSWAP/SWAP en WOFOST (Van Walsum en Supit, 2012).

De relatie in Afbeelding 2 is afgeleid aan de hand van een simulatie van 30 jaar (1971-2000) voor een optimaal van water voorzien gewas; de relatie is zo bepaald dat de langjarig gemiddelden van de totale verdamping op aparte kalenderdagen zo goed mogelijk overeenstemmen met de waarden die volgen uit de gewasfactormethode van

Feddes (1987). Op deze manier wordt indirect gebruik gemaakt van de meetgegevens die ten grondslag lagen aan de toen gepubliceerde gewasfactoren. Het gebruik van oude gegevens is noodzakelijk door het ontbreken van bruikbare recente meetgegevens waar consensus over bestaat. Uiteraard is het mogelijk om de NHI-methode te ijken op nieuwe gegevens wanneer die beschikbaar komen.



**Afbeelding 2:** Afgeleide relaties tussen LAI en gewasfactor voor transpiratie (Van Walsum en Supit, 2012).

Ten behoeve van de toepassing in het NHI en in het Delta Model Zoetwater is deze meervoudige gewasfactormethode versimpeld om aan te sluiten op de bestaande werkwijze. Daartoe zijn de voor de klimaatreeks 1971-2000 berekende LAI en de daarvan afhankelijke modelvariabelen (gewasfactoren, interceptiecapaciteit, bodembedekkingsgraad) gemiddeld per kalenderdag.

## Resultaten

Op voorstel van de Internationale AdviesCommissie Deltamodel om de belangrijkste onzekerheden in beeld te brengen en naar aanleiding van de Toetsing NHI3.0 (Hoogewoud e.a., 2013) en ook de kritische analyse van Caljé e.a. (2013), heeft Rijkswaterstaat WVL Alterra opdracht gegeven om de gevoeligheid van het NHI-model voor de gebruikte verdampingsmethode te onderzoeken. Een formele gevoeligheidsanalyse van de parameters maakte geen deel uit de opdracht. In deze studie (Van Walsum en Van der Bolt, 2013) is onder andere de robuustheid van de fysica van de NHI-gewasfactormethode onderzocht door (net als Bartholomeus e.a., 2013a) te vergelijken met de resultaten van de Penman-Monteith methode zoals die in SWAP is geïmplementeerd (aangevuld met de NHI-methode voor het simuleren van de interceptie). De vergelijking is uitgevoerd voor drie jaren als representant voor het huidige klimaat: 1967 voor een gemiddeld jaar, 1989 voor een 10% droog jaar en 1976 voor een extreem droog jaar.

De vergelijking met de Penman-Monteith methode is alleen gedaan voor het huidige klimaat, omdat de KNMI06 scenario's geen informatie bevatten over de luchtvochtigheid. Gebruik van het zeer extreem droge jaar 1976 wordt in plaats daarvan gezien als de (nog altijd extreme) representant van een ander klimaat. (Voor het CO<sub>2</sub>-effect dient de gewasfactorrelatie van Afbeelding 2 dan wel apart te worden gecorrigeerd.)

Klimaat-scenario	Jaar	Methode	$P_{s,sw}$		$ET_{act}$			$ET_{opt}$
			$P_{s,cap} = 25 \text{ mm}$	$P_{s,cap} = 35 \text{ mm}$	$P_{s,cap} = 0 \text{ mm}$	$P_{s,cap} = 25 \text{ mm}$	$P_{s,cap} = 35 \text{ mm}$	$P_{s,cap} = 35 \text{ mm}$
Ref.	1967	NHI	86	96	520	543	543	544
Ref.	1967	NHI met WOFOST	86	97	519	544	544	544
Ref.	1967	Penman-Monteith	86	103	512	534	534	538
Ref.	1989	NHI	135	164	516	570	571	573
Ref.	1989	NHI met WOFOST	141	172	518	578	579	580
Ref.	1989	Penman-Monteith	152	189	519	581	585	591
Ref.	1976	NHI	192	242	463	566	574	577
Ref.	1976	NHI met WOFOST	192	240	463	566	573	576
Ref.	1976	Penman-Monteith	205	265	465	574	585	594
W+2100	1967	NHI	198	257	524	637	652	657
W+2100	1967	NHI met WOFOST	205	260	506	631	645	650
W+2100	1989	NHI	262	352	489	656	685	692
W+2100	1989	NHI met WOFOST	258	350	479	655	687	696
W+2100	1976	NHI	293	448	381	593	668	697
W+2100	1976	NHI met WOFOST	268	402	360	562	631	661

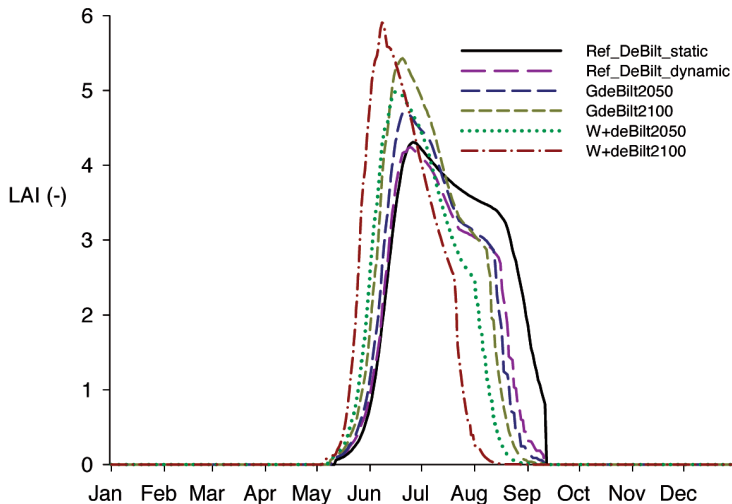
**Tabel 1:** Gesimuleerde watervraag voor berekening uit oppervlaktewater  $P_{s,sw}$  (mm.a<sup>-1</sup>), totale actuele evapotranspiratie  $ET_{act}$  (mm.a<sup>-1</sup>) en de totale optimale evapotranspiratie  $ET_{opt}$  met  $T_{act}=T_{pot}$  (mm.a<sup>-1</sup>) voor het areaal dat berekend wordt.  $P_{s,cap}$  = gift per beregeningscyclus. De methode "Penman-Monteith" is met gewas-specifieke parameters zonder tussenkomst van de referentiegewasverdamping (ontleend aan Tabel 6 uit Van Walsum en Van der Bolt, 2013).

Tabel 1 bevat de belangrijkste uitkomsten uit Van Walsum en Van der Bolt (2013). Uit deze tabel blijkt dat de gewasfactormethode van het NHI de verdampingjaartotalen van Penman-Monteith binnen een paar % volgt, ook voor een extreem droog jaar als 1976. De uitmiddelingsgedachte van de Makkink referentiegewasverdamping blijkt verrassend goed uit te komen als gemiddeld wordt in ruimte (beregende deel van het NHI-model) en tijd (jaar). Wel zijn er op het niveau van individuele locaties verschillen, zie bijvoorbeeld de Bijlage A van Van Walsum en Van der Bolt (2013). Het totale beeld is dat de rekenuitkomsten geen aanleiding geven om ernstig te twijfelen aan de klimaatrobuustheid van de NHI-gewasfactormethode voor wat betreft de fysica.

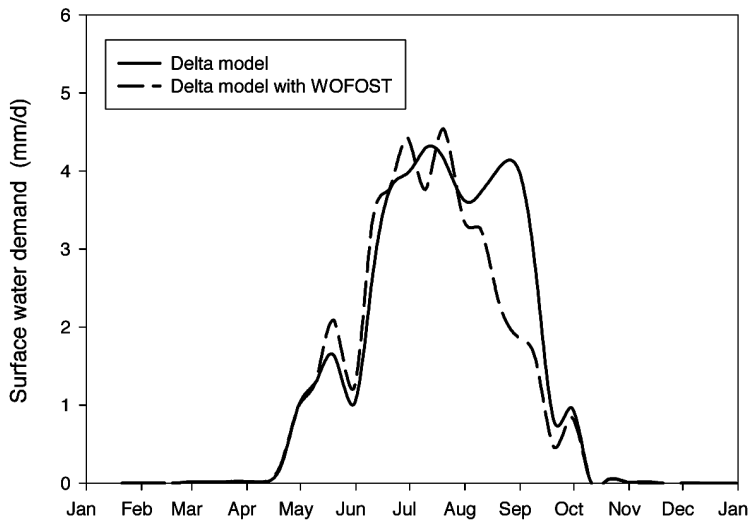
Van Walsum en Supit (2012) hebben benoemd waar het bij de meervoudige NHI-gewasfactormethode in de eerste plaats aan schort wat betreft de klimaatrobuustheid: dat is het gebruik van een vast verloop van de LAI en de daarvan afhankelijke parameters (interceptiecapaciteit, gewasfactor en bodembedekkingsgraad) in ieder jaar van de simulatie, zonder de specifieke dynamiek van de gewasontwikkeling daarin te betrekken. Dit generieke probleem (biologisch niet klimaatrobuust) van gewasfactormethoden wordt voor een deel opgelost door te rekenen met dynamische gewasgroeimodellen.

Het probleem wordt daarmee niet helemaal opgelost, want in de toekomst kunnen er andere gewassen en/of cultivars worden gebruikt. Die vorm van klimaatadaptatie blijft hier verder buiten beschouwing.

Van Walsum en Van der Bolt (2013) hebben onderzocht wat de gevolgen zijn voor de berekende watervraag als het NHI-model wordt uitgebreid met het gewasgroeimodel WOFOST en de terugkoppelingen naar de hydrologie zoals gegeven in Afbeelding 2.



**Afbeelding 3:** Gesimuleerde Leaf Area Index (LAI) van aardappelen met gewasgroeimodel WOFOST, voor het simulatiejaar 1976 voor 5 klimaatscenario's, beginnend met het referentieklimaat. Het LAI-verloop dat gebruikt wordt in het 'statische' gewasmodel van het NHI wordt aangeduid met 'Ref\_DeBilt\_static'. (Afbeelding 2 uit Van Walsum en Van der Bolt, 2013).



**Afbeelding 4:** Gesimuleerde watervraag (mm/d) voor het beregende areaal (inclusief grasland), met een beregeningscapaciteit van 35 mm/cyclus, voor het jaar 1976 in het 'W+2100' scenario, met het standaard NHI model ("Delta model") in combinatie met het gewasgroeimodel WOFOST. De totale watervraag is respectievelijk 448 mm en 402 mm (Tabel 1) (Afbeelding 3 uit Van Walsum en Van der Bolt, 2013).

Als daarmee simulaties voor een bouwlandgewas worden gedaan voor het jaar 1976 dan levert dat voor de onderzochte scenario's de in Afbeelding 3 getoonde LAI-verlopen. In een warm klimaat is het bouwlandgewas eerder volgroeid en het bladsterfteproces begint eerder. De gevolgen voor de gesimuleerde watervraag zijn ook gekwantificeerd. Hoewel de jaartotalen van de verdamping slechts 5% verschillen en de totale watervraag 10%, simuleert het NHI-model in combinatie met WOFOST een watervraag die in de nazomer flink lager zal zijn dan wordt voorspeld door het huidige NHI model (Afbeelding 4).

## Conclusies

Bartholomeus e.a. (2013a) hebben kritiek op het gebrek aan klimaatrobustheid van de traditionele 'enkelvoudige' gewasfactormethoden. De meervoudige methode van Van Walsum en Supit (2012) komt voor een belangrijk deel aan die kritiek tegemoet, door expliciet onderscheid te maken tussen de verschillende verdampingstermen (interceptieverdamping, transpiratie, bodemverdamping). De kern van deze methode wordt gevormd door de koppeling van het gewasgroeimodel WOFOST aan het model SWAP/MetaSWAP. Voor gebruik in het NHI is de gewasmodellering vervangen door langjarig-gemiddelde waarden van gewas-gerelateerde parameters op de kalenderdagen van een jaar.

Door Van Walsum en Van der Bolt (2013) zijn berekeningen uitgevoerd met de in NHI opgenomen meervoudige gewasfactormethode en tevens met de Penman-Monteith methode (zonder tussenkomst van de referentiegewasverdamping). De verschillen zijn op grotere tijd- (jaar) en ruimteschaal (beregende deel NHI model) verrassend klein (Tabel 1). Die berekeningen bevestigen dus de verbeterde klimaatrobustheid van de NHI gewasfactormethode. De presentatie van rekenresultaten zoals in Tabel 1 levert nog geen informatie over de mate van klimaatrobustheid voor een specifieke dag en voor specifieke gewassen. Geadviseerd wordt de analyse naar de overeenkomsten en verschillen binnen jaren verder te verdiepen en ruimtelijke te verfijnen. Dat kan informatie opleveren die van belang is bij de interpretatie van de berekeningen met het Delta model die nu in gang zijn gezet voor het nemen van Delta beslissingen.

De meervoudige gewasfactormethode kan op korte termijn ook biologisch meer klimaat-adaptief worden gemaakt door gebruik te maken van het dynamische gewasgroeimodel WOFOST. Een stap verder zou zijn om de keuze van gewascultivar klimaat-adaptief te maken. In STOWA kader wordt voor de berekening van landbouwschades gewerkt aan een verbeterde parameterisering van SWAP-WOFOST (Bartholomeus e.a., 2013b) waar in de toekomst ook in NHI kader gebruik van kan worden gemaakt.

De kalibratie van de huidige NHI-methode leunt op metingen van voor 1987. Om de gesimuleerde verdampingsreducties fysisch en biologisch verder te kunnen onderbouwen is het noodzakelijk om (op verschillende locaties) de actuele verdamping in combinatie met relevante fysische en biologische parameters te meten. Dat kan ertoe leiden dat de gebruikte rekenmethoden complexer worden.

## Literatuur

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D. en Wright, J.L.** (2005) FAO-56 Dual Crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions; in: *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 1(2), pag 2-13
- Bartholomeus, R.P., Voortman, B. en Witte, J.P.M.** (2013a) Metingen en proceskennis vereist voor nauwkeurige verdampingsberekening in grondwatermodellen; in: *Stromingen*, vol. 19, #2
- Bartholomeus, R.P., Kroes, J.G., Bakel, P.J.T. Van, Hack-tenBroeke, M., Walvoort, D. en Witte, J.P.M.** (2013b). Actualisatie schadefuncties landbouw, fase 1; STOWA rapport 22
- Caljé, R., Schaars, F. en Heijkers, J.** (2013) Vergelijking van enkeschattingsmethoden voor de actuele verdamping; *Artesia*, Schoonhoven
- Hoogewoud, J.C., Prinsen, G.F., Hunink, J.C., Veldhuizen, A.A., Bolt, F.J.E. van der en Lange, W.J. de** (2013) Toetsing NHI3.0; *Deltares*, Utrecht
- Ittersum, M.K. van, Leffelaar, P.A., Keulen, H. van, Kropff, M.J., Bastiaans, L. en Goudriaan, J.** (2003) On approaches and applications of the Wageningen crop models; in: *Eur. J. Agron.*, vol. 18, pag 201-234
- Kroes, J.G., Dam, J.C. van, Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. en Jacobs, C.M.J.** (2008) SWAP version 3.2; Theorydescription and user manual; Alterra-report 1649, Alterra, Wageningen
- Kroon, T. en Ruijgh, E.** (2012) Deltamodel. Functionele specificaties, kwaliteitseisen en opbouw Deltamodel; Deltaprogramma, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat. Waterdienst rapport, Versienummer 1.1
- Lange, W. de, Prinsen, G.F., Hoogewoud, J.C., Veldhuizen, A.A., Verkaik, J., Oude Essink, G.H.P., Walsum, P.E.V. van, Delsman, J.R., Hunink, J.C. en Massop, H.Th.L.** (submitted). The Netherlands Hydrological Instrument: An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis. Gesubmit voor publicatie in: *Environmental Modeling and Software*
- Supit, I., Hooijer, A.A. en Diepen, C.A. van** (1994) System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS, Vol. 1: Theory and Algorithms; Joint Research Centre, Commission of the European Communities, EUR 15956 EN, Luxembourg, 146 pp. <http://www.supit.net> and <http://www.wofost.wur.nl>
- Walsum, P.E.V. van en Groenendijk, P.** (2008) Quasi steady-state simulation of the unsaturated zone in groundwater modeling of lowland regions; in: *Vadose Zone J.*, vol. 7, pag 769-781
- Walsum, P.E.V. van en Supit, I.** (2012) Influence of ecohydrologic feedbacks from simulated crop growth on integrated regional hydrologic simulations under climate scenarios; in: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 16, pag 1577-1593
- Walsum, P.E.V. van en Bolt, F.J.E. van der** (2013) Sensitivity of the Delta model to evapotranspiration; Exploring structural uncertainties due to evapotranspiration concepts. Alterra rapport 2481, Wageningen

