
Radarsatellietinformatie voor Nederlands waterbeheer

Deel 1: de Drymon-methode

Rogier Westerhoff
Marco Kleuskens
Remko de Lange

In dit artikel wordt een methode gepresenteerd die met behulp van microgolf (radar) satellieten de schatting van bodemvochtberging in Nederland kan verbeteren. De methode heeft twee unieke aspecten. Ten eerste is er de vertaling van bodemvochtschattingen naar bodemvochtbergingsvermogen. Zodoende kunnen verkregen waarden voor bodemvocht direct gerelateerd worden aan de verwachte regenval. Ten tweede is er de incorporatie van grondwaterinformatie uit het NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium) om zodoende de bodemvochtberging in gebieden met een grondwaterstand van minder dan 1 meter beneden maaiveld beter in kaart te brengen. Verdere verbeteringen van de methode worden verwacht aan de hand van toevoeging van actuele NHI grondwatergegevens. De methode wordt gepresenteerd aan de hand van een online informatiesysteem, genaamd DRYMON.

Introductie

Niet voor niets is bodemvocht een essentiële klimaatvariabele (FAO, 2009): inzicht in grondwater- en bodemvochtcondities is belangrijk voor inzicht in het bergingsvermogen van de bodem en de opbrengst van het boerenland. In Nederland, waar 55% van het landoppervlak binnendijs en onder NAP ligt (Pieterse e.a., 2010), spelen bovendien dijkstabiliteit en bodemdaling een grote rol. Uitdroging van veendijken kan tot instabiliteit leiden, en een droge bodem leidt tot consolidatie en veenoxidatie. Een snelle rekensom leert ons dat het specifieke bergingsvermogen van de Nederlandse bodem ongeveer 200 mm is, wat neerkomt op een totaal bergingsvermogen¹ van 6,6 km³. Flinke neerslag, zoals die van eind augustus 2010 (figuur 1) toen er in delen van

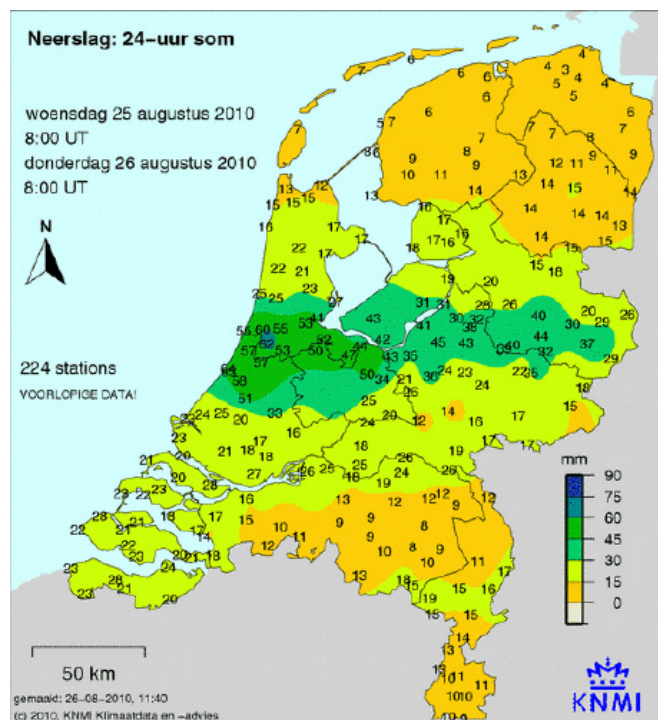
Rogier Westerhoff en **Marco Kleuskens** zijn werkzaam bij Deltares, Postbus 85467, 3508 AL Utrecht. **Remko de Lange** is werkzaam bij NEO, Postbus 2176, 3800 CD Amersfoort.

¹ Uitgaande van 80% land, een gemiddelde grondwaterstandsdiepte van 100 cm en een effectieve porositeit van 0,2 van de onverzadigde zone. Tussentijdse afvoer naar grondwater en evaporatie zijn hier niet in meegenomen.

Nederland hoeveelheden tot 60 mm in een etmaal vielen (en bij Hupsel is lokaal 142 mm geregistreerd), zou betekenen dat een substantieel deel van het bergingsvermogen van de Nederlandse bodem in beslag wordt genomen door één regenbui. Daarentegen moet in tijden van lange droogte in detail worden gekeken naar het peilbeheer in veenweidegebieden; hier mag de ontwateringsdiepte niet te groot worden, omdat er anders bodemdaling optreedt.

Als wordt gekeken naar langetermijnvisies in het kader van klimaatveranderingseffecten (onder andere Nationaal Water Plan (2009), Deltacommissie (2008)) zijn watervoorspellingen van belang voor het verhogen van de veiligheid, het voorkomen van schade en het verbeteren van de zoetwaterverdeling. Ook voor korte en middellange termijn ingrepen tegen wateroverlast en droogte zijn goede voorspellingen van vitaal belang. Goede watervoorspellingen stellen hoge eisen aan de nauwkeurigheid van hydrologische modellen. Monitoringsgegevens zijn samen met ondergrondkennis hierbij de sleutel voor validatie en kalibratie van het onderliggende fysische model. Ook zijn monitoringsgegevens van direct belang als wordt gekeken naar het watergebruik en de watervraag in Nederland; in droge tijden is het bijvoorbeeld belangrijk om meer inzicht te hebben in de berekening van gebieden.

Monitoringsgegevens zijn er in verschillende soorten en maten: in-situ gegevens geven vaak een gedetailleerd beeld met hoge tijdsresolutie op een enkel punt, terwijl een satelliet synoptische beelden weergeeft die in tijdsresolutie belemmerd worden door de omloopbaan (metingen doorgaans 1 tot 5 keer per week) en door afstand en atmosfeer, waardoor een ruimtelijke resolutie van honderden meters tot tientallen kilometers kan ontstaan. Idealiter worden zowel in-situ als satellietgegevens gecombineerd.



Figuur 1: De regenhoeveelheden op 26 augustus 2010 (Bron: KNMI). De neerslag resulteerde in een aanzienlijke reductie van het totale bergingsvermogen van laaggelegen Nederland.

In dit artikel wordt een remote-sensing-methode gepresenteerd die op nationale en provinciale schaal snel inzicht kan geven in de actuele bodemvochtberging en het bodemvochtbergingsvermogen. De beschreven methode is gebaseerd op het gebruik van satellietradardata. De werkzaamheden beschreven in dit artikel zijn uitgevoerd in het onderzoeksproject “Radar service voor bepaling van bodemvocht”, gesubsidieerd door het Netherlands Space Office.

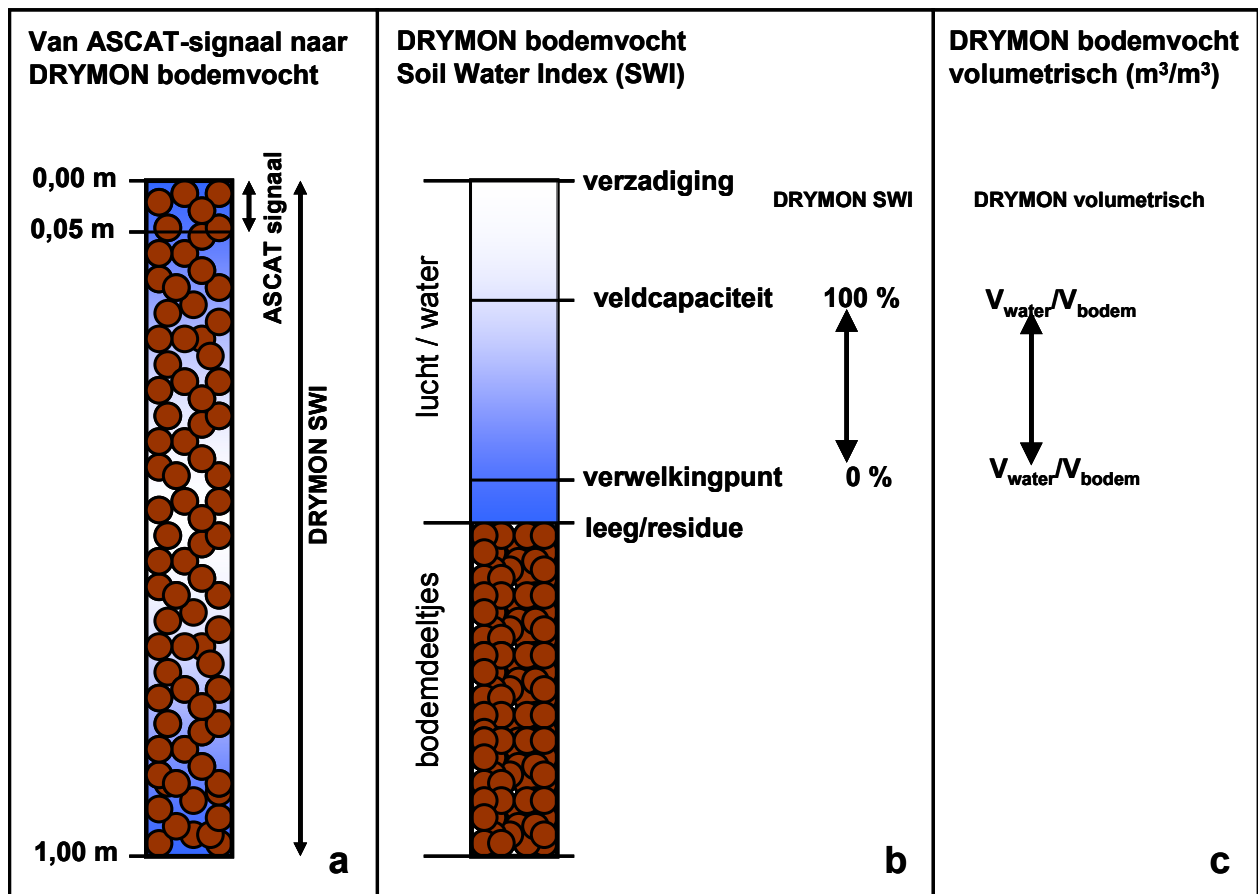
Theorie

In deel 2 van dit artikel, dat later zal verschijnen, zal dieper worden ingegaan op de algemene theorie van satellietmicrogolfmetingen. Hierbij komen verschillende satellieten, variabelen als golflengte en polarisatie aan de orde en zal dieper worden ingegaan op het effect van landtype en vegetatie op de metingen. Deze informatie kan onder meer worden gevonden in Wagner e.a. (1999b) en Quesney e.a. (2000). In dit eerste deel worden ASCAT-satellietgegevens gebruikt om tot bodemvochtberging te komen. Om die reden beperken we ons in dit deel tot de noodzakelijke achtergronden van deze sensor en de gebruikte verwerkingsmethodes.

De ASCAT-methode

De ASCAT-sensor is een radar-scatterometer op de Meteorological Operational (MetOp) satelliet. Het betreft een operationele serie van drie satellieten die sinds 2006 meten en dat voor ongeveer 15 jaar blijven doen. De satellieten worden beheerd door de European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) die tevens verantwoordelijk is voor tijdige dataverstrekking in ‘near real time’. Scatterometers zijn oorspronkelijk gemaakt om golven aan het zeeoppervlak te meten die indicatief zijn voor windrichtingen en -patronen boven de oceanen. Hiervoor zijn zeer nauwkeurige metingen benodigd uit verschillende windrichtingen. Een scatterometer onderscheidt zich dan ook door de hoge meetnauwkeurigheid van de hoeveelheid teruggekomen energie, de *backscatter*. Dit gaat wel ten koste van de ruimtelijke resolutie. Om de resolutie niet verder te reduceren wordt door drie verschillende sensoren in drie windrichtingen tegelijk gemeten. De ASCAT omvat tweemaal drie sensoren en kent een ruimtelijke resolutie van 25 km waarvan de metingen met een afstand van 12,5 km van elkaar liggen.

De eigenschappen van de scatterometer maken het ook mogelijk om bodemvocht te meten (Wagner e.a., 1999a, 1999b). Dit kan met een hoge mate van nauwkeurigheid (variërend van een middelbare fout van 2,2 vol% (Ceballos e.a., 2005) tot 5 vol% (Wagner e.a., 1999a)) doordat het signaal van goede kwaliteit is, maar ook door het gebruik van metingen uit verschillende windrichtingen. Dit laatste zorgt er namelijk voor dat elke meetlocatie meerdere keren gemeten is onder verschillende invalshoeken. Het meten onder een specifieke invalshoek zorgt ervoor dat de invloed van vegetatie op het terugkerende signaal wordt gereduceerd (Wagner e.a., 1999b).



Figuur 2: Schematisering van de afleiding van het ASCAT-radarsignaal naar DRYMON-bodemvocht-gehalte. In panel (a) is een bodemprofiel weergegeven waar bodemdeeltjes zijn weergegeven als bruine rondjes en de tussenliggende ruimte ingenomen kan worden door lucht (wit) of water (blauw). De radar meet de bovenste paar centimeter, die doorgerekend wordt naar een gemiddeld bodemvochtgehalte van de eerste meter bodem: de DRYMON Soil Water Index (SWI). In panel (b) wordt het bereik van de SWI, lopend van 0-100%, weergegeven. Een deel van het profiel wordt ingenomen door bodemdeeltjes, het onderste deel van panel (b), en de rest door poriën (bovenste deel) die al dan niet gevuld zijn met water. De SWI is een index die loopt van het verwelkingspunt tot de veldcapaciteit. In panel (c) is het SWI-bereik omgezet naar absolute volumetrische waarden. Dit is mogelijk daar waar bodemfysische gegevens voorhanden zijn.

De bodemvochtigheid van alleen de bovenste paar centimeters van de bodem wordt met de ASCAT bemonsterd (zie figuur 2a). Dit bovenste deel van de bodem is onderhevig aan snelle veranderingen in bodemvochtgehalte door uitdroging of vernatting. Informatiebehoefte betreft echter voornamelijk de vochtigheid van een diepere laag, bijvoorbeeld de bewortelingszone. Door middel van een tijdsintegratie van de metingen aan de toplaag is een vertaalslag te maken naar de gemiddelde vochtigheid van diepere lagen (Wagner e.a., 1999b), zie ook figuur 2a,b. Hierbij spelen ook bodemfactoren een rol die meegenomen kunnen worden in de berekeningen (De Lange e.a., 2008). De bodemvochtigheid van de bovenste meter wordt dagelijks voor de gehele wereld berekend op bovenstaande wijze middels DRYMON² (De Lange e.a., 2010a). Voor delen van de wereld, zoals Nederland, zijn voldoende bodemfysische

² <http://www.drymon.biz>.

gegevens voorhanden om de relatieve DRYMON-Soil Water Index (SWI) om te zetten naar volumetrische waarden ($V_{\text{water}}/V_{\text{bodem}}$), zie ook figuur 2c. De aanname daarbij is dat de SWI geschaald kan worden tussen het verwelkingspunt en de veldcapaciteit. Deze aanname is gemaakt in de veronderstelling dat de Nederlandse bodems bijna nooit droger worden dan het verwelkingspunt, en dat hangwater snel (binnen een uur) percoleert. Dit laatste verkleint de kans dat de satellietsensor nattere bodems dan veldcapaciteit heeft waargenomen en dat daarmee de natste referentiewaarde dicht bij veldcapaciteit ligt.

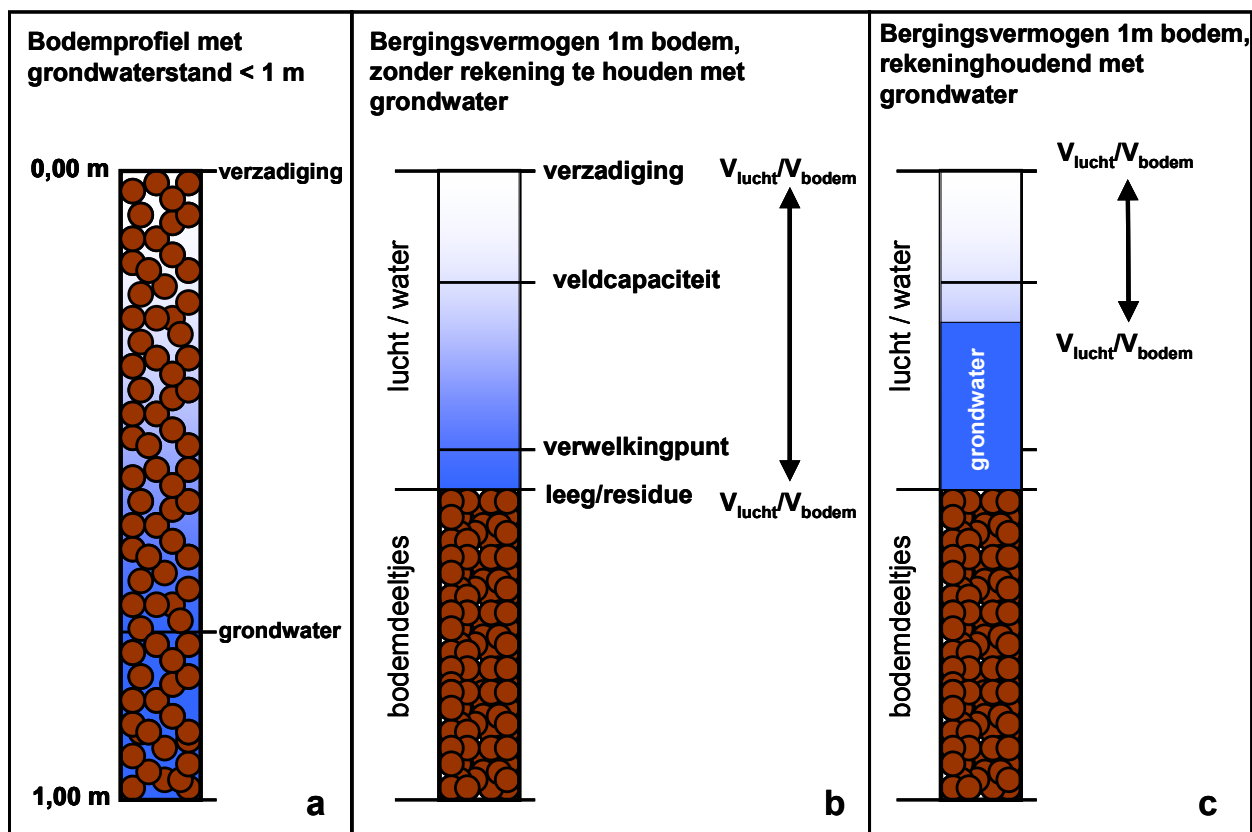
Interpretatie van ASCAT-beelden naar bodemvochtberging en bergingsvermogen

De verandering van de bodemvochtberging is een term in de waterbalans van terrestrische systemen. Ondanks dat bodemvocht een essentiële klimaatvariabele is (FAO, 2009), spreekt de term zelf niet tot de verbeelding. Interviews met Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland en de Waterdienst tijdens uitvoering van het project wezen uit dat de gebruiker meer heeft aan informatie over de actuele verdamping of de verandering in de effectieve bodemvochtcondities in de wortelzone of de dynamiek van het freatisch vlak. In deze studie is een methode ontwikkeld waarmee bodemvochtgegevens, in combinatie met andere gegevens, omgerekend kunnen worden naar het effectieve bodemvochtbergingsvermogen: de hoeveelheid water waarvoor in de eerste meter bodem nog ruimte is ($V_{\text{lucht}}/V_{\text{bodem}}$), zie figuur 3 voor een schematische weergave. De methode berust op onderstaande rekenwijze, het bergingsvermogen is

$$\begin{array}{ll} \text{voor grondwaterstand} < 1 \text{ m:} & p - (\theta * \text{GWS} + (1 - \text{GWS}) * p) \quad (\text{vergelijking 1 a}) \\ \text{voor grondwaterstand} > 1 \text{ m:} & p - \theta * 1 \quad (\text{vergelijking 1 b}) \end{array}$$

waarbij θ staat voor het bodemvocht (m^3/m^3), GWS voor de grondwaterstand (m) en p voor de porositeit (m^3/m^3). Bij dit model dient gezegd te worden dat geen rekening gehouden wordt met capillaire nalevering vanuit het grondwater.

Zoals in figuur 2c weergegeven is, kan de DRYMON-soil water index omgezet worden naar volumetrische bodemvochtwaarden indien voldoende bodemfysische eigenschappen voorhanden zijn. De Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, versie 2006 is voor het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) omgezet naar een digitaal rasterbestand, bestaande uit 250 m x 250 m pixels (De Vries, 2008). Het NHI heeft bodemeenheden geclusterd, wat heeft geleid tot 21 verschillende eenheden. Voor deze eenheden zijn bodemfysische eigenschappen bekend (Wösten e.a., 2001). Een koppeling van de fysische eigenschappen met de bodemkaart is gemaakt door middel van deze eenheden. De volgende eigenschappen zijn voor de bovenste bodemlaag van de 21 eenheden vastgesteld en toegepast op elk rasterveld van de bodemkaart: porositeit, verwelkingspunt en veldcapaciteit (zie tabel 1). Daarnaast is ook de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld uit het NHI in de metingen betrokken. Hierbij zijn de waarden per dag gemiddeld over de afgelopen 30 jaar, waardoor een representatieve, langjarige trend verkregen is. Deze langjarige trend per locatie wordt samen met voorgaande parameters gebruikt om het totale volume van bodemvocht te berekenen.



Figuur 3: Schematisering van de afleiding van het bergingsvermogen van de bovenste 1 m. In panel (a) is een bodemprofiel weergegeven met een grondwaterstanddiepte kleiner dan 1 m. In panel (b) wordt het bergingsvermogen van de bodem weergegeven, die een volume lucht behelst. In dit voorbeeld ontbreekt het grondwater, oftewel het voorbeeld schetst het bereik voor locaties waar het grondwater dieper dan 1 m is. In panel (c) wordt wel rekening gehouden met het grondwater. Het bergingsvermogen is namelijk gereduceerd met het volumetrische grondwateraandeel. Vanuit DRYMON-waarden (volumetrisch), bodemfysische gegevens en grondwaterstanden valt het effectieve bergingsvermogen af te leiden.

DRYMON produceert voor vaste locaties dagelijks relatieve bodemvochtgegevens. Deze waarden komen tot stand door interpolatie van de wisselende ASCAT-metlocaties naar een vast grid met een spatiering van 12,5 km. Ten behoeve van kwaliteitbehoud is gekozen om voor Nederland af te stappen van het 12,5 km grid en over te gaan op een grid dat beter aansluit bij de potentiële gebruiker, namelijk een 250 x 250 m grid. Dit houdt in dat de originele ASCAT-metingen behouden blijven, en gebruikt worden om tot de Soil Water Index te komen op basis van lokale bodemtextuurgegevens (De Lange e.a., 2008). Vervolgens wordt met behulp van de fysische bodemeigenschappen het volumetrische bodemvochtgehalte voor de eerste meter berekend, daarbij aangenomen dat de eigenschappen van de bovenste bodemlaag toepasbaar zijn op de eerste meter.

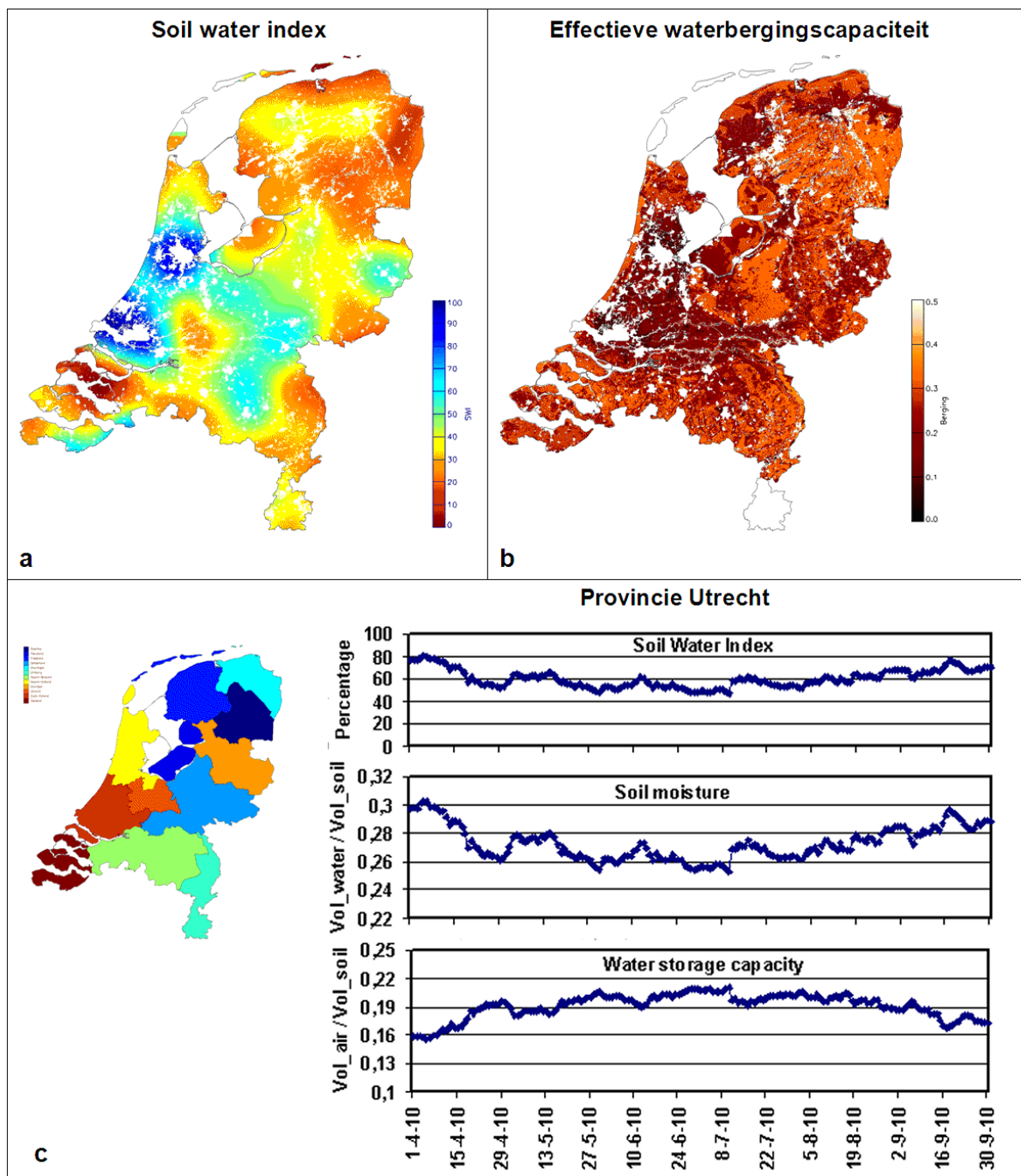
Binnen de hierboven beschreven methodiek vindt een neerschaling plaats van ASCAT-data met een meetinterval van 12,5 km naar 250 m gridcellen. Vervolgens worden de gridcellen individueel verwerkt op basis van lokale condities. Ondanks de unieke gridcelverwerking zijn metingen over enige afstand ruimtelijk gecorreleerd door de grovere resolutie van de onderliggende ASCAT-data. Om die reden valt een ruimtelijke middeling, achteraf aan te raden. In deze studie (De Lange e.a., 2010b) wordt op provincieniveau het effectieve bergingsvermogen bepaald.

Tabel 1: Bodemfysische waarden benodigd om de relatieve bodemvochtgegevens om te zetten naar volumetrische bodemvochtwaarden en om het bergingsvermogen te bepalen.

Bodem	Verwelkingspunt	Veldcapaciteit	Porositeit
Veraarde bovengrond op diep veen	0,32	0,59	0,76
Veraarde bovengrond op veen op zand	0,13	0,47	0,73
Kleidek op veen	0,31	0,49	0,60
Kleidek op een veen op zand	0,31	0,49	0,60
Zanddek op veen op zand	0,04	0,18	0,41
Veen op ongerijpte klei	0,32	0,59	0,77
Stuifzand	0,01	0,06	0,35
Leemarm zand	0,03	0,17	0,42
Zwaklemig fijn zand	0,04	0,18	0,41
Zwaklemig fijn zand op grof zand	0,04	0,18	0,41
Sterk lemig fijn zand op (kei-)leem	0,06	0,25	0,44
Enkeerdgronden (fijn zand)	0,04	0,18	0,34
Sterk lemig zand	0,06	0,25	0,44
Grof zand	0,03	0,17	0,42
Zavel met homogeen profiel	0,10	0,19	0,43
Lichte klei met homogeen profiel	0,14	0,32	0,41
Klei met zware onderlaag of ondergrond	0,32	0,44	0,55
Klei op veen	0,32	0,44	0,55
Klei op zand	0,10	0,19	0,43
Klei op grof zand	0,10	0,19	0,43
Leem	0,11	0,48	0,40

Resultaten

Er is zoveel mogelijk geprobeerd om de behaalde resultaten te verspreiden voor operationeel gebruik. De DRYMON-datasetresultaten zijn zichtbaar op de website van DRYMON (<http://www.drymon.biz/artikelen/artikel62.html>). Via de website wordt inzicht gegeven in de toestand per provincie. Het actuele effectieve bodemvochtbergingvermogen wordt gemiddeld per provincie gegeven. In figuur 4 wordt een voorbeeld gegeven van de resultaten die op de website afgebeeld worden. NEO biedt daarnaast op aanvraag de mogelijkheid aan om de onderliggende volumetrische bodemvochtwaarden de bodemvochtberging en het bodemvochtbergingvermogen per cel van 250 x 250 m te leveren per FTP-dienst.



Figuur 4: Overzicht van bodemvochtgegevens die via de DRYMON-website inzichtelijk gemaakt worden. Panel (a) geeft de soil water index (%) van Nederland van 28 april 2010 weer, en panel (b) het effectieve bodemvochtbergingsvermogen ($V_{\text{lucht}} / V_{\text{bodem}}$). Zowel de kaart met soil water index-waarden als de kaart met de bodemvochtbergingswaarden bevat no-data gaten. Deze gaten vallen samen met stedelijk gebied, water of met bodems waar niet voldoende data voorhanden is. De grondwaterstanden worden (nog) niet voor Zuid-Limburg en de Waddeneilanden gegenereerd door het NHI, zodat ook daar no-data gaten vallen. Panel (c) laat voor de provincie Utrecht tijdreeksen van de verschillende parameters zien. Op de DRYMON-website kan een provincie geselecteerd worden waar vervolgens soortgelijke, maar actuele gegevens weergegeven worden.

Met het oog op de langere termijn is het belangrijk om satellietdata over water in te zetten in de verschillende systemen van waterbeheerders. Dit betekent dat de data op een gebruikersvriendelijke en open-standaard manier verkrijgbaar zouden moeten zijn.

Met deze toekomstgedachte zijn met behulp van op maat geschreven imports-scripts alle gebruikte data in het project ook in een 'stand alone' versie van het open standaard Delft-FEWS-systeem geïmplementeerd (de scripts zijn op verzoek bij de auteurs verkrijgbaar). Hierdoor kunnen verschillende 1D en 2D-datastromen met elkaar vergeleken worden.

Discussie

In dit artikel zijn 'near real time' (NRT) resultaten op provincieschaal gepresenteerd. Men kan zich afvragen of de middeling per provincie een goede keuze is. Uit hydrologisch oogpunt is het misschien beter om te denken in hydrologische eenheden, zodat afwijkende eenheden als de Veluwe los bekeken kunnen worden. Om de cijfers voor waterbeheerders te presenteren en ze zodoende ter beschikking te stellen zodat ze ook voor besluitvorming gebruikt kunnen worden, zouden landsgrenzen, de grens van waterschappen (en de binnen deze grens gelegen beheereenheden zoals afvoergebieden en peilgebieden), gemeentes of provincies weer beter zijn. Uiteraard kunnen naast gebiedspecifieke waarden ook de onderliggende celwaarden geleverd worden. De keuze in dit artikel is op provincies gevallen, omdat deze groot genoeg waren om de ASCAT-DRYMON-data tot zijn recht te laten komen. Het omzetten naar andere eenheden is zeer wel mogelijk en eigenlijk alleen een GIS-handeling in de hele dataverwerkingsketen.

De gepresenteerde ASCAT-DRYMON-bodemvochtbergingdata in dit artikel moeten gezien worden als 'onderweg naar operationeel'. Het experimentele karakter schuilt voornamelijk in de mogelijke verbeteringen die in het project al onderschreven zijn. Belangrijke verbeteringen kunnen zijn:

- de incorporatie van dynamische grondwatergegevens in plaats van een gemiddelde trend over de afgelopen 30 jaar. Hiervoor zou een koppeling gemaakt moeten worden met 'near real time' gegevens van grondwaterstanden;
- de inbreng in de waterbalans. Het systeem meet en interpreteert de bodemvochtberging op de korte termijn (< dagen). Om deze gegevens ook voor de langere termijn te gebruiken, is incorporatie van de hydrologische parameters afvoer (Q) en evaporatie (E) in hydrologische modellen noodzakelijk. De eerste stap, namelijk door NHI-parameters (grondwaterstand) te gebruiken is al gezet;
- de verbetering van de schatting van bodemvocht van de grondwaterstand naar het maaiveld: capillaire werking is nu niet meegenomen. Voor het meenemen van de capillaire werking in de berekeningen is een accurate schatting van de bewortelingsdiepte benodigd. Aangezien het NHI de maximale bewortelingsdiepte reeds heeft afgeleid is verdere verfijning van de bodemvochtberging mogelijk. Deze informatie is overigens ook nodig om in termen van verdamping te kunnen denken.

Conclusie

In dit artikel is een analyse gedaan van het gebruik van satellietdata met de DRYMON-methode voor waterbeheerders met het oog op operationeel gebruik. DRYMON maakt gebruik van van ASCAT-data met een resolutie van 12,5 x 12,5 km. Online wordt via

een webpagina in 'near real time (NRT)' per provincie de gemiddelde bodemvochtberging en bodemvochtbergingsvermogen gegeven, waarmee rekening is gehouden met de gemiddelde grondwaterstand afkomstig uit het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. Deze monitoringsdata kunnen worden gebruikt om te vergelijken met bestaande gegevens en zodoende om meer gegevens over bodemvochtberging en bergingsvermogen in een beheersgebied te hebben. Hiernaast zijn er verbeteringen geopperd als inbreng van actuele grondwaterstanden, koppeling aan een hydrologisch model en medeneming van capillaire werking en wortelzone.

Dankwoord

Dit project was niet mogelijk geweest zonder de PEP-subsidie (Prequalification for ESA Proposals) van Netherlands Space Office. Ook de enthousiaste reacties tijdens het project van Ruud Grim (NSO) hebben geleid tot een zeer gemotiveerd projectteam.

Graag willen wij Joost Heijkers van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Han de Lange en Herman Peters Van Rijkswaterstaat Data- en Informatie Dienst en Timo Kroon van Rijkswaterstaat Waterdienst bedanken voor de zeer waardevolle input tijdens de projectinterviews.

Ook willen wij Fred Bosveld van het KNMI bedanken voor het aanleveren van in-situ bodemvocht metingen van het weerstation in Cabauw en willen we Ab Veldhuizen (Alterra) bedanken voor het ter beschikking stellen van bodemgegevens.

Het projectteam bestond uit de auteurs van dit artikel, alsmede Tamara van de Ven (TNO), Dave Smulders (Deltares), Mijntje Crone en Paul de Beurs van NEO.

Referenties

- Ceballos, A., K. Scipal, W. Wagner, en J. Martinez-Fernandez (2005)** Validation of ERS scatterometer-derived soil moisture data over the central part of the Duero Basin, Spain; in: *Hydrological Processes*, vol 19, Issue 8, May 2005, pag 1549-1566.
- Dekker, R.J., J.M. Schuurmans, W.L. Berendrecht, W. Borren, T.J.M. van de Ven en R.S. Westerhoff (2009)** Improving Hydrological Models of the Netherlands using ALOS PALSAR; in: *Proceedings of the ESA Symposium of Water Cycle Science*, 18-20 november 2009, Frascati.
- Deltacommissie (2008)** Samen werken met water, bevindingen van de Deltacommissie 2008; ISBN/EAN 978-90-9023484-7.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009)** T12-ECV: Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables: Biomass, GTOS-67.
- Lange, R. de, R. Beck, N. van de Giesen en A. de Wit (2010a)** DRYMON for METOP: Ontwikkeling van ASCAT afgeleide bodemvocht-producten en productieprocessen voor klimaat, waterbeheer en milieu; Eindrapport EZ Subsidieregeling pre-kwalificatie ESA-programma's, Netherlands Space Office project 61627 NEO.
- Lange, R. de, R. Beck, N. van de Giesen, J. Friesen, A. de Wit en W. Wagner (2008)** Scatterometer-Derived Soil Moisture Calibrated for Soil Texture With a One-Dimensional Water-Flow Model; in: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*

- Sensing*, vol 46, Issue 12, pag 4041–4049.
- Lange, R. de, R. Westerhoff, M. Kleuskens (2010b)** Een RADAR service voor bepaling van bodemvocht; Rapport EZ Subsidieregeling prekwificatie ESA-programma's, Netherlands Space Office project 61918 NEO.
- Pieterse N., J. Knoop, K. Nabielek, L. Pols en J. Tennekes (2010)** Overstromingsrisicozonering in Nederland; ISBN: 978-90-78645-30-6.
- Quesney, A., S. Le Hegarat-Masclé, O. Taconet, D. Vidal-Madjar, J.P. Wigneron, C. Loumagne en M. Normand (2000)** Estimation of watershed soil moisture index from ERS/SAR data; in: *Remote Sensing of Environment*, vol 72, pag 290–303.
- Vries, F. de (2008)** Deelrapport Bodem, Nationaal Hydrologisch Instrumentarium; NHI\FASE_1+\2008\DR11\v1.
- Wagner, W., G. Lemoine en H. Rott (1999a)** A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data; in: *Remote Sensing of Environment*, vol 70, Issue 2, pag 191–207.
- Wagner, W., G. Lemoine, M. Borgeaud en H. Rott (1999b)** A Study of Vegetation Cover Effects on ERS Scatterometer Data; in: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol 37, Issue 2 II, pag 938–948.
- Wösten J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot, en J. Stolte (2001)** Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Alterra-rapport 153/IS/01-2001, ISSN 1566-7197.

