

VU Research Portal

Measurement and Modelling of L-band Forest Emission for Future Soil Moisture Retrieval from SMOS Signatures

Grant, J.P.

2009

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Grant, J. P. (2009). *Measurement and Modelling of L-band Forest Emission for Future Soil Moisture Retrieval from SMOS Signatures*. Vrije Universiteit.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Chapter 7

Samenvatting en Conclusies

7.1 Achtergrond

Dit promotie-onderzoek is uitgevoerd als deel van het achtergrondonderzoek voor de Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) satellietmissie van de European Space Agency (ESA), welke in 2009 gelanceerd wordt. Het hoofddoel van dit onderzoek was om de L-band ($f = 1.4$ GHz, $\lambda = 21$ cm) straling van bossen beter te begrijpen, in verband met (SMOS) bodemvochtmetingen van heterogene pixels met gedeeltelijke bebossing. Boven een homogene bosbedekking zijn nauwkeurige bodemvochtmetingen moeilijk te realiseren omdat de straling van de bodem slechts gedeeltelijk door de dikke vegetatielaag wordt doorgelaten. Desondanks hebben modelstudies aangetoond dat het in het geval van heterogene pixels onder bepaalde omstandigheden nog steeds mogelijk is om een nauwkeurige bodemvochtmeting te verkrijgen voor het niet-beboste deel van de pixel, mits de straling van het beboste deel correct gemodelleerd wordt. Om deze reden is meer gedetailleerde kennis nodig van de L-band straling van bossen, waaronder een beter begrip van de stralingseigenschappen van de verschillende boslagen, en calibratie van het voorwaartse model dat gebruikt zal worden in het SMOS-algoritme voor bodemvocht optimalisatie. Bestaande kennis van deze onderwerpen was bij aanvang van dit onderzoek erg beperkt en bijna geheel gebaseerd op modelstudies. Het was daarom bijzonder belangrijk om experimentele waarnemingen te gebruiken om de benodigde informatie te verkrijgen. Hiertoe zijn vanaf meettorens L-band radiometrische waarnemingen gedaan op het onderzoeksterrein Bray in het bos van Les Landes, Frankrijk in 2004, 2006 en 2007 (BRAY campagnes), en het onderzoeksterrein Jülich, Duitsland in 2004 en 2005 (FOSMEX campagnes). De analyses gebaseerd op deze experimentele data zijn gebruikt om de straling en de stralingseigenschappen van het bos beter te begrijpen. Verder zijn met behulp van vliegtuigen L-band data verkregen tijdens de NAFE '05 campagne in zuidoost Australië in 2005. Deze zijn gebruikt om bodemvochtmetingen van heterogene pixels met een gedeeltelijke bebossing te onderzoeken.

7.2 Samenvatting en Conclusies

Van Juli-December 2004 had de veldwerkcampagne 'Bray 2004' plaats in het naaldbos van Les Landes, vlakbij Bordeaux, Frankrijk; met meervoudige hoekmetingen met een L-band radiometer werd de horizontaal gepolariseerde straling boven het bos gemeten. Tegelijkertijd werden op de grond metingen gedaan van bodemvocht en vocht in de strooisellaag terwijl tevens de neerslag permanent werd gemeten. Dit experiment werd uitgevoerd om het begrip te verbeteren van het L-band signaal boven bosgebieden bij verschillende vochtomstandigheden en observatiehoeken. Er werd gevonden dat het grootste gedeelte van het horizontaal gepolariseerde L-band signaal gedomineerd werd door de thermodynamische temperatuur. Variaties in bodemvocht en/of vocht in de strooisellaag waren wel

zichtbaar in het hoeksignaal en in de microgolflstraling boven het bos, hoewel het dynamisch bereik van dit laatste effect erg klein was. De hypothese werd gesteld dat dit verschijnsel, samen met het feit dat de straling erg hoog was, het gevolg was van de aanwezigheid van een behoorlijke strooisellaag. Het ontkoppelen van de effecten van de bodem en de strooisellaag was desondanks lastig vanwege een sterke correlatie tussen bodemvocht en strooiselvocht.

In een calibratie van het “L-band Microwave Emission of the Biosphere (L-MEB) model”, het voorwaartse model in het algoritme van de “SMOS Niveau 2 Bodemvochtoptimalisatie”, met behulp van L-band waarnemingen boven een naaldbos (Den) en een loofbos (gemengd/Beuk), werden strooisellaageffecten in aanmerking genomen door het gebruik van een effectieve bodemruwheidsparameter die het resultaat was van empirische ‘best-fits’. De calibratie heeft geresulteerd in waarden van de belangrijkste parameters van de boslaag, te weten: optische diepte (τ_{NAD}), enkelvoudige verstrooiingsalbedo (ω), de structuurparameters tt^{H} en tt^{V} en de bodemruwheidsparameters H_{R} en N_{R}^{P} . Het gebruik van deze gecalibreerde waarden in het voorwaartse model resulteerde in een “root mean square error” (RMSE) in stralingstemperatuur (T_{B}) van 2.8 tot 3.8 K, afhankelijk van de dataset en de polarisatie, hetgeen duidt op een goede werking van het model voor verschillende vochtomstandigheden. De modelparameters vertoonden een vergelijkbaar gedrag voor beide typen bos, ook al werden iets verschillende waarden gevonden voor de twee locaties. Hierbij was het meest opvallende dat de optische diepte van het naaldbos (0.67) lager lag dan dat van het loofbos (0.98). Er is tevens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de bovenstaande parameters, zowel voor temperatuur, bodemvocht als voor neerslag, om de verandering in $\text{RMSE}(T_{\text{B}})$ aan te geven bij het optreden van een fout in een bepaalde variabele. De relatie tussen optische diepte en leaf area index (LAI) is ook onderzocht voor het loofbos. Er werd een bijzonder lage correlatie gevonden, hetgeen niet onverwacht was aangezien de grootste bijdrage aan L-band straling van een bos van de takken afkomstig is en niet van de bladeren/naalden (Ferrazzoli *et al.*, 2002). De resultaten van deze studie zullen worden geïntegreerd in het operationele algoritme van de “SMOS Niveau 2 Bodemvochtoptimalisatie”.

Hoewel gevonden werd dat de gemiddelde doorlaatbaarheid van de bomenlaag in gematigde naald- en loofbossen rond de 0.4-0.5 ligt (zie ook Guglielmetti *et al.* (2007, 2008)), en dus verwacht mag worden dat de bomenlaag een redelijke hoeveelheid bodemstraling doorlaat, vertoonde de totale straling gemeten boven het bos erg weinig variatie met verschillen in bodemvocht, zoals hierboven vermeld. Het is bekend dat de aanwezigheid van een vochtige strooisellaag op de bosbodem de bodemstraling vermindert en de hypothese werd daarom gemaakt dat tijdens Bray 2004 de aanwezige strooisellaag verantwoordelijk was voor de lage gevoeligheid van de straling gemeten boven het bos. Meer kennis van de L-band stralingseigenschappen van de strooisel en kruidlagen was daarom nodig om de straling van het gehele bossysteem beter te begrijpen.

Om hieraan bij te dragen werd in 2007 een extra veldexperiment uitgevoerd op het terrein van Bray. Radiometrische waarnemingen werden gedaan van de bomenlaag en van verschillende configuraties van de bosbodem, nadat de verschillende lagen van de bosbodem opeenvolgend verwijderd waren. In combinatie met de lange-termijn dataset van L-band waarnemingen boven het bos uit 2004 resulteerde dit in stralingswaarden van de kale bodem, bodem-strooisel, bodem-strooisel-gras en bodem-strooisel-gras-bomen configuraties, voor een bepaald bereik van bodem- en

strooiselvochtwaarden. Bij de analyses werd gebruik gemaakt van de Wilheit en L-MEB modellen, samen met een aangepaste versie van de methode van Schwank *et al.* (2008). Er werd gevonden dat de gevoeligheid voor bodemvocht in grote mate onderdrukt wordt door de aanwezigheid van de gras- en strooisellagen. Dit resultaat bevestigde de lage correlatie tussen bodemvocht en de L-band straling boven het bos. Een gedetailleerde gevoeligheidsanalyse toonde de effecten aan van vochtgehalte en strooisellaagdikte op de thermische dempingsdiepte en op de straling van een bodemstrooisel configuratie van de bosbodem. Verschillende resultaten van recente modelleer- en laboratoriumstudies konden door deze studie worden bevestigd, die voor zover ons bekend de eerste is waarbij, in deze context, *in situ* experimentele data zijn gebruikt.

Tot slot werden L-band vliegtuigwaarnemingen van het “Australian National Airborne Field Experiment 2005” (NAFE '05) gebruikt om de invloed te onderzoeken van de beboste fractie in heterogene (gras/bos) pixels op de resulterende bodemvochtwaarden. Deze studie is uitgevoerd met het oog op de aankomende SMOS missie, om bij te dragen aan calibratie/validatie studies en aan de analyse van heterogene landoppervlakten. Voor zover bekend is dit de eerste studie die experimentele data gebruikt voor dit onderwerp. Omdat de meervoudige hoekwaarnemingen in loodrecht op de vliegrichting staande stroken werden gedaan, werd in deze studie een strook gebruikt als basiseenheid in plaats van een pixel. Gelijktijdige optimalisatie van bodemvocht (SM) en vegetatie optische diepte werden gedaan door inversie van het L-MEB model. Dit is uitgevoerd voor twee verschillende optimalisatieconfiguraties, waarvan de eerste bestond uit strook-effectieve waarden voor SM en τ_{NAD} en de tweede bestond uit waarden van SM en τ_{NAD} voor de niet-beboste (oftewel gras) fractie van de strook, waarbij de straling van het bos bekend was van voorwaarts modelleren. Modelinvoer voor de niet-geoptimaliseerde parameters waren ofwel standaardwaarden uit de literatuur ofwel locatie- en tijdspecifieke waarden verkregen van waarnemingen van nabijgelegen homogene stroken die gedaan waren tijdens dezelfde vlucht. Het voornaamste aandachtspunt van deze studie was het optimalisatiegedrag bij verschillende bodemvochtomstandigheden en bosfracties. Oppervlakte-gemiddelde resultaten waren over het algemeen redelijk voor beide optimalisatieconfiguraties. Wanneer strook-effectieve waarden van SM en τ_{NAD} geoptimaliseerd werden, vertoonde τ_{NAD} een oplopende overschatting met toenemende bosfractie. De hoogste geoptimaliseerde waarden van SM werden gevonden bij middelmatige bosfractiewaarden. De resultaten tonen de moeilijkheid aan van het identificeren van bovenlimieten van de pixel-bosfractie bij de bepaling van bodemvocht, naast het feit dat foutieve parameterwaarden kunnen leiden tot hoge fouten in het geoptimaliseerde SM , zeker in natte condities. Dit onderdeel van de studie geeft een realistisch beeld van de fouten en onzekerheden die optreden bij bodemvocht optimalisatie van gedeeltelijk beboste stroken en draagt daarmee naar verwachting bij aan een beter begrip van SMOS calibratie/validatie kwesties.

Samenvattend heeft deze studie inzicht gegeven in de algemene toepasbaarheid, bruikbaarheid en beperkingen van het L-MEB model bij toepassing op bossen. Een modelcalibratie is uitgevoerd over twee algemene bostypen. De stralingseigenschappen van het bos zijn onderzocht en er is een beter begrip verkregen van de aparte bijdragen van elke boslaag aan de totale straling boven het bos. De hoge stralingswaarden en lage gevoeligheid voor bodemvocht die werden gevonden in de waarnemingen boven het bos zijn aangetoond en verklaard. Er is een indicatie

gegeven van de mogelijkheid om bodemvocht te meten van (gedeeltelijk) beboste oppervlakten. Om te concluderen is er een beter begrip van de L-band straling van bossen verkregen, met het oog op bodemvochtmetingen over gedeeltelijk beboste pixels. Het feit dat de straling van een bos relatief onveranderlijk is bij verschillende vochtomstandigheden gunstig voor de bepaling van bodemvocht van heterogene pixels, omdat het een correcte modellering van de straling van het beboste gedeelte van de pixel vereenvoudigt.

7.3 Aanbevelingen voor Toekomstig Onderzoek

Dit proefschrift behandelt slechts een klein gedeelte van het onderwerp 'microgolfstraling van bossen'. Veel interessante aspecten blijven nog open voor toekomstig onderzoek, terwijl de beschikbaarheid van globale SMOS waarnemingen nieuwe gelegenheden tot onderzoek zal bieden.

Het L-MEB model is voor de SMOS missie gekozen omdat het een relatief eenvoudig model is en daarom bijzonder geschikt is voor studies op globale schaal. De noodzaak aannames te doen wat betreft de modelcomponenten en parameterwaarden is begrijpelijk, aangezien de SMOS-missie is gericht op de levering van een bodemvochtproduct (oftewel een SMOS Niveau 2 eindproduct) op globale schaal. Zodra SMOS operationeel is, zouden, waar mogelijk, op satelliet-pixel schaal standaardwaarden van de L-MEB parameters vastgesteld moeten worden door modelinversie van echte SMOS data. Verder zou het, voor geïnformeerde gebruikers, in het geval van studies op locale of regionale schaal waarin veldmetingen beschikbaar zijn, de voorkeur hebben om bodemstralingswaarden uit de SMOS Niveau 1 stralingstemperaturen te optimaliseren in plaats van bodemvocht, en vervolgens de bodemstralingswaarden naar bodemvocht om te zetten met behulp van locatie-specifieke modelparameters. Door het gebruik van locatie-specifieke informatie kunnen fouten als gevolg van een niet geheel juiste keuze van het dielectrisch mengmodel van de bodem, en fouten in bodemtextuur en ruwheidseigenschappen van de bodem, worden gereduceerd. De beschikbaarheid van veldmetingen van de relevante bodemeigenschappen maakt een betere keuze van modelcomponenten en parameterwaarden mogelijk in plaats van standaardwaarden te gebruiken, wat zal resulteren in minder fouten in de uiteindelijke bodemvochtswaarde. Een vergelijking van de resultaten van beide aanpakken, oftewel directe optimalisatie van bodemvocht en optimalisatie van bodemstraling gevolgd door conversie naar bodemvocht, lijkt een zinvolle studie in de context van SMOS. Dit toont tevens de noodzaak van een vergelijking van de prestaties van de verschillende dielectrische mengmodellen voor verschillende bodemtypen en vochtomstandigheden.

Naast studies gebaseerd op het gebruik van L-MEB, blijft het op locale schaal belangrijk om ook meervoudige verstrooiingsmodellen te gebruiken voor de analyse van experimentele boswaarnemingen, om een optimaal begrip te krijgen van de L-band stralingskarakteristieken van bossen. Eerder is aangetoond (Matzler *et al.*, 2006) dat om een echt gedetailleerd fysisch begrip te verkrijgen van stralingskarakteristieken en stralingsgedrag, een meervoudig verstrooiingsmodel de meest fysisch correcte resultaten zal geven.

Wanneer SMOS data beschikbaar komen zal het bijzonder interessant zijn de relaties te onderzoeken tussen de L-MEB vegetatieparameters τ , ω en tt^P en boskarakteristieken zoals vegetatietype, -structuur en -dichtheid. Als het mogelijk is

hier patronen in te vinden zouden SMOS waarnemingen erg nuttig kunnen worden voor ecologische en/of allometrische studies. Verder zouden veranderingen in bovenstaande parameters bij verschillende gehalten van intern en extern vegetatiewater onderzocht moeten worden. Op globale en locale schalen is de relatie tussen optische diepte en het watergehalte van de vegetatie een essentieel onderwerp voor verder onderzoek, en behoeft zowel experimentele als modelstudies. Met uitzondering van een studie door Ferrazzoli *et al.* (2002), gebruiken bestaande analyses van deze relatie voornamelijk de zogenaamde ‘*b*-parameter’ en richten zich bijna exclusief op gras en gewassen, niet op houtige biomassa.

Het is te verwachten dat de koppeling van L-band boswaarnemingen en modellen van de uitwisselingsprocessen tussen bodem, vegetatie en atmosfeer (SVAT modellen) bij zal dragen aan monitoring van vegetatiewatergehalte op globale schaal en, uiteindelijk, aan betere klimaat- en droogtevoorspellingen.

Uit het werk dat in dit proefschrift is gepresenteerd moge duidelijk zijn dat het modelleren van de L-band straling van bossen een grote uitdaging blijft. Er zijn nog steeds vele leemtes in de beschikbare kennis, en voor dit onderzoeksveld zijn veldwerkexperimenten essentieel, met name tijdens de operationele fase van SMOS. Dit proefschrift vormt daarom een krachtig argument om deze lijn van onderzoek te vervolgen. Gezien het feit dat bossen op globale schaal een veel voorkomend landgebruikstype zijn, zal voortzetting van dit onderzoek ongetwijfeld bijdragen aan het belang van de SMOS missie voor het vergroten van het inzicht in de relatie tussen bosccosystemen en klimaat.