



## Neue Satellitenmissionen zur globalen Beobachtung der Bodenfeuchtigkeit

Wolfgang Wagner, Wien

### Kurzfassung

Die Bodenfeuchtigkeit – das gespeicherte Wasser in der Wurzelzone – ist ein entscheidender Parameter für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten. Die Ableitung der Bodenfeuchtigkeit aus Mikrowellendaten ist seit den 1970er Jahren ein wichtiger Forschungsbereich innerhalb der Fernerkundung, aber erst in den letzten Jahren hat es bedeutende Fortschritte hin zu operationellen Anwendungen gegeben. Dies wurde ermöglicht durch Entwicklungen im Bereich der Auswertungsalgorithmen und der Sensortechnologie. In diesem Vortrag werden die technischen Eigenschaften der ersten beiden Satelliten, die speziell für den Zweck der Messung der Bodenfeuchtigkeit entwickelt wurden, vorgestellt und mit denen operationeller Mikrowellensensoren verglichen. Beide Satelliten arbeiten bei einer etwas längeren Wellenlänge (21 cm) als bei vergleichbaren operationellen Mikrowellensensoren verwendet wird. Die ersten umfangreichen Validierungsstudien zeigen, dass der erste der beiden neuen Satelliten gute Ergebnisse liefert, aber noch nicht den erwarteten Qualitätssprung im Vergleich zu den bestehenden Sensoren gebracht hat. Erst durch weitere Forschungsarbeiten, und vor allem durch den Start des zweiten neuartigen Satelliten, wird die Frage zu beantworten sein, ob die Genauigkeit der Bodenfeuchtigkeitsmessungen durch den Einsatz langwelliger, und somit auch kostspieliger, Mikrowellensensoren signifikant verbessert werden kann.

**Schlüsselwörter:** Mikrowellenfernerkundung, Bodenfeuchtigkeit, Satelliten

### Abstract

Soil moisture – the water content of the soil with the reach of the plant roots – is an important parameter in a number of application areas. The retrieval of soil moisture from microwave remote sensing measurements has hence been an important topic in the field of remote sensing since the 1970s. But only within in the last decade significant progress towards the establishment of operational services has been made. This progress became possible thanks to the development of innovative sensor technologies, and because of improvements in the retrieval algorithms. In this paper the two first satellites, which were designed solely for the purpose of soil moisture retrieval over land, are presented. Both satellites use a longer wavelength (21 cm) compared to comparable operational microwave sensors. The first few comprehensive validation studies show that the first of the two dedicated soil moisture satellites delivers good results. However, it has not yet surpassed the quality of soil moisture data retrieved from operational sensors. Further research is therefore necessary to determine of how much better the new satellites perform compared to the operational systems.

**Keywords:** Microwave remote sensing, Soil moisture, Satellites

### Einleitung

Der Wassergehalt des Bodens hat einen starken Einfluss auf die physikalischen und biologischen Prozesse an der Landoberfläche [1]. Die Bodenfeuchtigkeit ist somit ein entscheidender Parameter für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten: In Echtzeit verfügbare Informationen zur Bodenfeuchtigkeit sind unter anderem von Bedeutung für die Wettervorhersage [2], die Abflussvorhersage [3], der Erfassung von Dürreereignissen [4] oder in Fragen des Zivilschutzes [5]. Historische Bodenfeuchtigkeitszeitreihen sind wichtig für ein verbessertes Verständnis des Klimas [6–7] und Änderungen des Kohlenstoffkreislaufes [8]. Durch die Auswirkungen der Bodenfeuchtigkeit auf die Pflanzen- und Tierwelt sind auch viele Anwendungen in der Ökologie und der epidemiologischen Modellierung vorherzusehen. Trotz der Wichtigkeit der Bodenfeuchtig-

keit in dieser Vielzahl von Anwendungen gab es bis vor kurzem kaum die Möglichkeit, Messdaten für größere Regionen und längere Zeiträume zu erhalten. In einigen Regionen wurden zwar in-situ Messungen regelmäßig durchgeführt, aber erst durch das Internet und verbesserten Datenübertragungsmöglichkeiten hat sich der Zugriff auf diese Daten verbessert. Die aktuell umfangreichste Sammlung globaler in-situ Messungen ist das *International Soil Moisture Network* (ISMN) das von Studenten der Technischen Universität Wien (TU Wien) entwickelt wurde [9]. Parallel zu dem Ausbau der in-situ Messnetze wurde die Wichtigkeit der Bodenfeuchtigkeit auch von Raumfahrtsbehörden, allen voran der *Europäischen Raumfahrtsbehörde* (ESA) und der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), erkannt. ESA und NASA haben daher Wissenschaftler- und Technikerteams beauftragt,

Satelliten für den primären Zweck der Messung der Bodenfeuchtigkeit über Land zu entwerfen. In beiden Fällen war der Vorschlag der Expertenteams, die Bodenfeuchtigkeit aus langwelligen ( $\lambda=21$  cm) Mikrowellenmessungen aufgenommen mittels passiver Mikrowellenradiometer zu gewinnen. In diesem Beitrag werden die technischen Eigenschaften der beiden Bodenfeuchtigkeitssatelliten der ESA und NASA vorgestellt und mit denen operationeller Mikrowellensensoren, die etwas kürzere Wellenlängen ( $\lambda=3-6$  cm) verwenden, verglichen. Die Frage ist, inwieweit die Genauigkeit der Bodenfeuchtigkeitsmessungen durch den Einsatz langwelliger, und somit auch kostspieliger, Mikrowellensensoren verbessert werden kann?

### Messprinzip

Wasser hat aufgrund des permanenten elektrischen Dipolmoments der Wassermoleküle bei niedrigen Frequenzen eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante ( $\sim 80$  bei 50 Hz). Auch im langwelligen Ende des Mikrowellenbereichs ( $\lambda > 3$  cm) ist die Dielektrizitätskonstante noch sehr hoch (typischerweise größer als 70 in Abhängigkeit von der Temperatur). Erst bei kürzeren Wellenlängen bzw. höheren Frequenzen sind die Wasserdipole nicht mehr in der Lage, den Schwingungen des elektromagnetischen Feldes zu folgen, womit die Dielektrizitätskonstante rasch abnimmt [10]. Wenn daher Wasser der Bodenmatrix zugefügt wird, d.h. die Bodenfeuchtigkeit ansteigt, nimmt speziell im langwelligen Mikrowellenbereich bei Wellenlängen  $< 3$  cm die Dielektrizitätskonstante rasch zu. Daher ist es möglich, entweder anhand der von Boden selbst ausgestrahlten Mikrowellenstrahlung (passives Messverfahren), oder durch die mittels eines Radars gemessene Rückstreuung (aktives Messverfahren), den Bodenfeuchtigkeitsgehalt auf eine relativ direkte Art und Weise zu ermitteln. Allerdings werden sowohl die passiven als auch die aktiven Mikrowellenmessungen zusätzlich noch von der Rauigkeit der Bodenoberfläche und der Vegetation beeinflusst. Es ist daher notwendig, diese Einflüsse im Auswerteverfahren zu berücksichtigen, bzw. Sensoren zu verwenden, die diese störenden Einflüsse so gut als möglich minimieren [11].

### Neue Satellitenmissionen

Nachdem das Durchdringungsvermögen von elektromagnetischen Wellen durch die Vegetation im Regelfall mit zunehmender Wellenlänge zunimmt, wurde für die ersten beiden Satelliten, die speziell für die Messung der Bodenfeuchtig-

keit entwickelt wurden, eine möglichst lange Wellenlänge im so-genannten L-Band ( $\lambda=21$  cm) gewählt [12]. Allerdings ist es bei längeren Wellenlängen deutlich schwieriger, eine gute räumliche Auflösung zu erzielen, da die räumliche Auflösung direkt proportional mit der Wellenlänge ansteigt. Dem kann durch die Verwendung sehr großer Antennen entgegengewirkt werden, wobei der Größe der Antennen auf Satelliten aber enge physikalische Grenzen gesetzt sind. Daher waren für die *Soil Moisture and Ocean Salinity Mission* (SMOS) der ESA, die im November 2009 gestartet wurde, und der für 2014 geplanten *Soil Moisture Active Passive* (SMAP) Mission der NASA innovative technische Ansätze nötig, die zu beachtlichen Kosten dieser Missionen geführt haben. SMOS löst dieses Problem dadurch, dass es ein aus der Radioastronomie bekanntes Messprinzip erstmals im Weltraum verwendet: Der interferometrischen Zusammenschaltung vieler kleiner Antennen, um eine größere virtuelle Antenne entstehen zu lassen [13]. Mittels dieses physikalischen Tricks erzielt SMOS bei einer Flughöhe des Satelliten von 760 km eine räumliche Auflösung von ca. 40 km. Ähnlich wie das Very Large Array – einer Anordnung von 27 Radioteleskopen in der Ebene von San Agustin in New Mexico – verwendet SMOS 69 Antennen von jeweils 165 mm Durchmesser entlang dreier Y-förmig angeordneter Ausleger (Abb. 1 links oben). Bei SMAP wird das Problem der großen Antenne durch die Verwendung eines ultraleichten 6 m großen Gitterspiegels (mesh reflector) gelöst, der mit 14.6 Umdrehungen pro Minute über dem eigentlichen Satellitenkörper rotieren wird (Abb. 1 rechts oben). Die größte technische Herausforderung von SMAP wird es sein, die durch die Rotation des Reflektors verursachten Schwingungen und anderwärtigen Störungen so gering als möglich zu halten [14]. Ein weiterer innovativer Aspekt von SMAP ist die Verbindung von den passiven Radiometermessungen mit einer räumlichen Auflösung von 40 km mit (aktiven) Radarmessungen mit einer Auflösung von 3 km [15].

Trotz dieser beeindruckenden technischen Innovationen erscheint die von SMOS und SMAP erzielte Auflösung auf den ersten Blick noch immer zu grob zu sein, um nutzbringend verwendet werden zu können. Allerdings können bei dieser Auflösung die durch atmosphärische Prozesse (Verdunstung, Niederschlag) erzeugten Bodenfeuchtigkeitsmuster bereits sehr gut erfasst werden [16], was schlussendlich sogar



Abb. 1: Visualisierungen der Satelliten/Sensoren SMOS (links oben), SMAP (rechts oben), ASCAT (links unten) und AMSR-E (rechts unten). Die Originalgraphiken stammen von den Webseiten der europäischen, amerikanischen und japanischen Raumfahrtbehörden ESA, NASA und JAXA.

Rückschlüsse auf das lokale zeitliche Verhalten der Bodenfeuchtigkeit erlaubt [17].

### Operationelle Satellitensysteme

Wenn man nun Mikrowellensensoren verwendet, die bei kürzen Wellenlängen (C-Band oder X-Band) arbeiten, so kann bei gleichbleibender räumlicher Auflösung die Antenne im selben Verhältnis wie die Wellenlänge verkleinert werden. Solche Sensoren sind bereits operationell im Einsatz und wurden in den letzten Jahren vermehrt für die Messung der Bodenfeuchtigkeit eingesetzt. Das in der Wissenschaft am meisten verwendete Instrument war das *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR-E), das von der Japanischen Raumfahrtbehörde JAXA [18] gebaut, und auf dem amerikanischen Satelliten Aqua über einen Zeitraum von über neun Jahren (2002 bis 2011) betrieben wurde. AMSR-E war ein passives Mikrowellenradiometer, das Strahlungstemperaturmessungen in 6 Frequenzkanälen erhoben hat (Abb. 1 rechts unten). Der Kanal mit der längsten Wellenlänge lag bei

4.3 cm, was bei einer Antennengröße von 1.6 m eine räumliche Auflösung von  $43 \times 74 \text{ km}^2$  ergab. Basierend auf AMSR-E wurden bereits mehrere globale Bodenfeuchtigkeitsdatensätze abgeleitet [19–20], aber keines dieser Produkte hat einen operationalen Status erreicht. Dies ist erstmalig mit dem *Advanced Scatterometer* (ASCAT) gelungen, für das seit Ende 2008 operationelle Bodenfeuchtigkeitsdaten in quasi Echtzeit von der *Europäischen Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten* (EUMETSAT) generiert wurde. Von der Datenaufnahme, über die Verteilung der Daten über ein Satellitenkommunikationsnetz bis zum Empfang der Daten durch die Nutzer vergehen weniger als 130 Minuten. ASCAT ist ein aktives Mikrowelleninstrument das über sechs bis zu 3 m lange Stabantennen verfügt (Abb. 1 links unten). Es arbeitet bei einer Wellenlänge von 5.7 cm und erzielt damit eine räumliche Auflösung von 25 km. Der von EUMETSAT verwendete Algorithmus zur Ableitung der Bodenfeuchtigkeit wurde von der TU Wien entwickelt [21–22]

## Vergleich der Satellitenmessungen

Für die Ableitung der Bodenfeuchtigkeit aus den Satellitenmessungen benötigt man physikalische Modelle, die alle wichtigen Einflussgrößen berücksichtigen. Obwohl die Sensoren wie oben besprochen sehr unterschiedliche Messkonzepte und unterschiedlichen Wellenlängen verwenden, und sich auch vielfach die Algorithmen zur Ableitung der Bodenfeuchtigkeit stark unterscheiden, zeigen die neuesten wissenschaftlichen Ergebnisse, dass die Daten oftmals überraschend gut übereinstimmen. So zeigt Abb. 2 globale Bodenfeuchtheitsmessungen von ASCAT, AMSR-E und SMOS für den 15. August 2010. Abgesehen von den unterschiedlichen Aufnahmestreifen sieht man vor allem eine große Ähnlichkeit zwischen den ASCAT Daten (abgeleitet mit dem Algorithmus entwickelt von

der TU Wien) und den AMSR-E Daten (abgeleitet mit einem von der NASA und der Freien Universität Amsterdam entwickelten Algorithmus [23]). Die SMOS Bodenfeuchtheitsdaten zeigen teilweise unterschiedliche Muster, was aber in erster Linie an der Verwendung einer unterschiedlichen globalen Bodenkarte zurückzuführen ist, d.h. es ist nicht ein Problem der Satellitenmessungen per se. Ebenso fallen noch die vereinzelt Datenlücken im SMOS Datensatz auf, was wahrscheinlich eine Folge von strikten Qualitätskriterien bei der Datenprozessierung ist.

Die ersten ausführlichen Validierungsstudien, die ASCAT, AMSR-E und SMOS mit unabhängigen in-situ und Modelldaten verglichen haben, sind gerade erst in den letzten Monaten erschienen. Die erste Studie, in der ASCAT und AMSR-E Bodenfeuchtheitsdaten mit in-situ Messun-

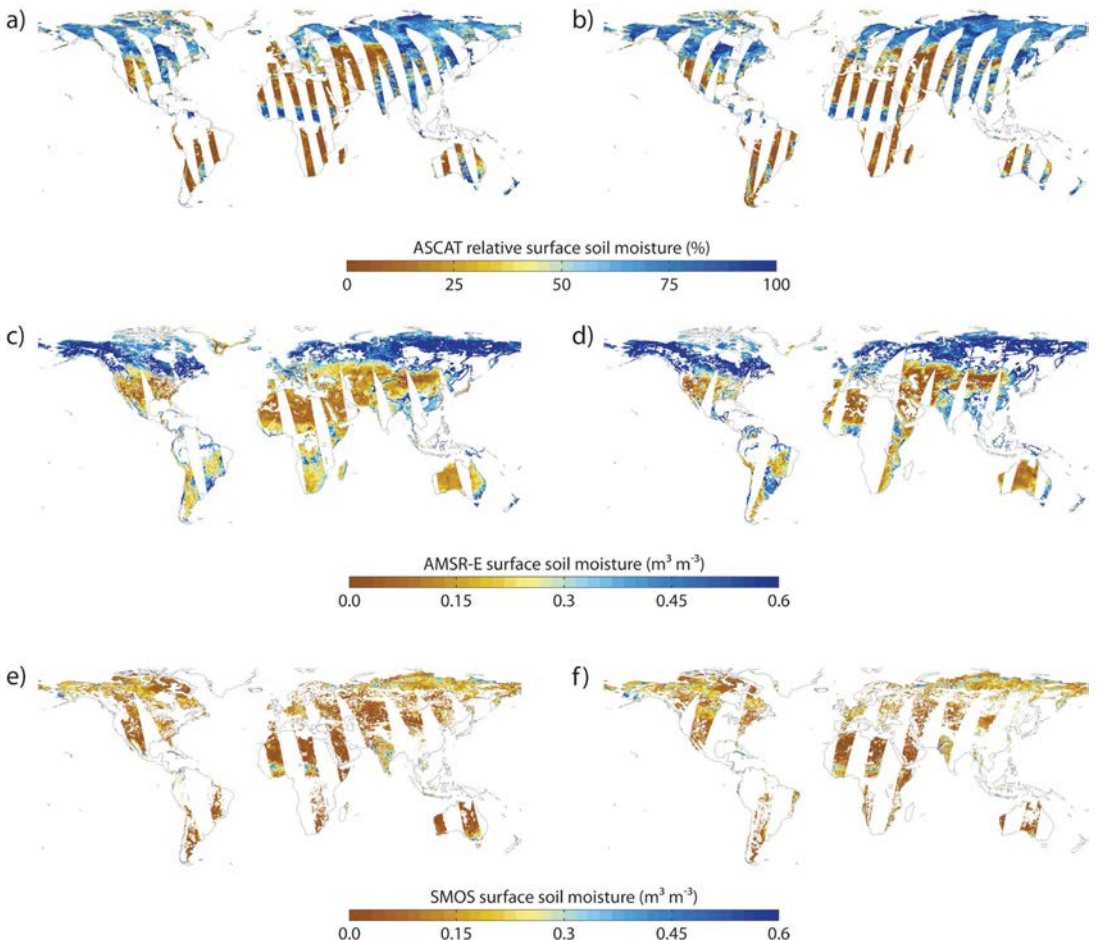


Abb. 2: Tägliche Bodenfeuchtheitskarte (vom 15. August 2010) abgeleitet aus ASCAT, AMSR-E, und SMOS Satellitenmessungen für aufsteigende (links) und absteigende (rechts) Satellitenorbits.

gen von 17 Messnetze aus vier Ländern (Italien, Spanien, Frankreich und Luxemburg) von einem internationalen Forscherteam verglichen wurden, kam zum Schluss, dass die Qualität der AMSR-E Bodenfeuchtigkeitsdaten stark vom einzusetzen Algorithmus abhängt, dass aber die besten AMSR-E Ergebnisse mit denen von ASCAT gut übereinstimmen [24]. Eine weitere, sehr detaillierte Vergleichsstudie von ASCAT und SMOS wurde von einem Wissenschaftlerteam des Französischen Wetterdienstes durchgeführt. Dieses Team kam zum Schluss, dass sowohl SMOS als auch ASCAT die Bodenfeuchtigkeitsmuster über Frankreich gut erfassen können, obwohl speziell im Hinblick auf die Beobachtung kurzfristiger Schwankungen, welche nach Niederschlagsereignissen auftreten, ASCAT sogar bessere Ergebnisse liefert [25]. Und zuletzt soll eine Studie des *Europäisches Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage* (EZMW) erwähnt werden, die SMOS und ASCAT Daten mit in-situ Messungen von 200 Stationen aus Afrika, Europa, Amerika und Australien verglichen hat. Auch diese Studie kam zum Schluss, dass mit SMOS und ASCAT vergleichbar gute Ergebnisse erzielt werden können [26].

### Ausblick

SMOS verwendet eine neuartige Technologie (passive Interferometrie), die in dieser Art und Weise erstmalig im Weltraum eingesetzt wird. Nachdem SMOS erst Ende 2009 gestartet wurde, sind die bisherigen Ergebnisse noch mit viel Vorsicht zu interpretieren; signifikante Verbesserungen der mit SMOS abgeleiteten Bodenfeuchtigkeitsdaten sind noch zu erwarten. Trotzdem ist es eine Überraschung, dass die ersten Validierungsstudien nicht den erwarteten Qualitätssprung von SMOS gegenüber etablierten Sensoren wie ASCAT und AMSR-E beweisen konnten. Denn auch für ASCAT und AMSR-E werden die Algorithmen laufend verbessert, womit es im Moment noch nicht absehbar ist, welcher der Sensoren am Ende die besten Daten liefern wird. Somit steht die Frage im Raum, ob die Wahl einer Wellenlänge im L-Band unbedingt notwendig ist, oder ob nicht auch kürzere Wellenlängen (C-Band und X-Band) bei entsprechender Optimierung des Signal-zu-Rauschverhaltens nicht genauso gute Ergebnisse erzielen können (bei geringen Entwicklungskosten und eventuell sogar einer besseren räumlichen Auflösung)? Die weiteren Forschungsarbeiten mit SMOS, ASCAT und AMSR-E werden Antworten über diese nicht nur aus technischer Sicht sehr

interessante Frage geben. Der Start von SMAP, vorgesehen für 2014, sollte diese Frage dann abschließend beantworten.

### Danksagung

Ich bedanke mich bei Dipl.-Ing. Sebastian Hahn für die Erstellung der Abb. 2. Die Forschungsarbeiten der TU Wien mit dem ASCAT Sensors wurden dankenswerterweise vom Österreichischen Weltraumprogramme ASAP (Projekt GSM) und der Europäischen Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten EUMETSAT (Projekt H-SAF) unterstützt.

### Literaturverzeichnis

- [1] Legates, D. R.; Mahmood, R.; Levita, D. F.; DeLiberato, T. L.; Quiring, S. M.; Houser, C.; Nelson, F. E.: Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography, *Progress in Physical Geography*. 2011, 35(1), 65–86.
- [2] Dharssi, I.; Bovis, K. J.; Macpherson, B.; Jones, C. P.: Operational assimilation of ASCAT surface soil wetness at the Met Office, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011, 15(8), 2729–2746.
- [3] Brocca, L.; Melone, F.; Moramarco, T.; Wagner, W.; Naeimi, V.; Bartalis, Z.; Hasenauer, S.: Improving runoff prediction through the assimilation of the ASCAT soil moisture product, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010, 14(10), 1881–1893.
- [4] Smith, A.; Scipal, K.; Wagner, W.; Cracknell, A.: Active Microwave Systems for Monitoring Drought Stress, in *Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study*, Boken, V.; Cracknell, A.; Heathcote, R. Eds. New York: Oxford University Press, 2005.
- [5] Ponziani, F.; Pandolfo, C.; Stelluti, M.; Berni, N.; Brocca, L.; Moramarco, T.: Assessment of rainfall thresholds and soil moisture modeling for operational hydrogeological risk prevention in the Umbria region (central Italy), *Landslides*. 2011, 1–9.
- [6] Künzer, C.; Zhao, D.; Scipal, K.; Sabel, D.; Naeimi, V.; Bartalis, Z.; Hasenauer, S.; Mehl, H.; Dech, S.; Wagner, W.: El Niño southern oscillation influences represented in ERS scatterometer-derived soil moisture data, *Applied Geography*. 2009, 29, 463–477.
- [7] Seneviratne, S. I.; Corti, T.; Davin, E. L.; Hirschi, M.; Jaeger, E. B.; Lehner, I.; Orlowsky, B.; Teuling, A. J.: Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate – a review, *Earth-Science Reviews*. 2010, 99(3–4), 125–161.
- [8] Verstraeten, W. W.; Veroustraete, F.; Wagner, W.; van Roey, T.; Heyns, W.; Verbeiren, S.; Feyen, J.: Remotely sensed soil moisture integration in an ecosystem carbon flux model. The spatial implication, *Climatic Change*. 2010, 103(1–2), 117–136.
- [9] Dorigo, W. A.; Wagner, W.; Hohensinn, R.; Hahn, S.; Paulik, C.; Xaver, A.; Gruber, A.; Drusch, M.; Mecklenburg, S.; van Oevelen, P.; Robock, A.; Jackson, T.: The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011, 15(6), 1675–1698.

- [10] Schanda, E.: Physical fundamentals of remote sensing, Springer Verlag: Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1986, pp. 187.
- [11] Wagner, W.; Naeimi, V.; Scipal, K.; de Jeu, R.; Martinez-Fernandez, J.: Soil moisture from operational meteorological satellites, Hydrogeology Journal. 2007, 15(1), 121–131.
- [12] Wagner, W.; Blöschl, G.; Pampaloni, P.; Calvet, J.-C.; Bizzarri, B.; Wigneron, J.-P.; Kerr, Y.: Operational readiness of microwave remote sensing of soil moisture for hydrologic applications, Nordic Hydrology. 2007, 38(1), 1–20.
- [13] Kerr, Y. H.: Soil moisture from space: Where are we?, Hydrogeology Journal. 2007, 15(1), 117–120.
- [14] Spencer, M.; Chan, S.; Veilleux, L.; Wheeler, K.: The Soil Moisture Active/Passive (SMAP) mission radar: A novel conically scanning SAR, Proceedings of 2009 IEEE Radar Conference, Pasadena, USA, 2009, 1–2, 656–659.
- [15] Entekhabi, D.; Njoku, E. G.; O'Neill, P. E.; Kellog, K. H.; Crow, W. T.; Edelstein, W. N.; Entin, J. K.; Goodman, S. D.; Jackson, T. J.; Johnson, J.; Kimball, J.; Piepmeier, J. R.; Koster, R.; Martin, N.; McDonald, K. C.; Moghaddam, M.; Moran, S.; Reichle, R.; Shi, J. C.; Spencer, M. W.; Thurman, S. W.; Tsang, L.; Van Zyl, J.: The Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission, Proceedings of the IEEE. 2010, 98(5), 704–716.
- [16] Vinnikov, K. Y.; Robock, A.; Speranskaya, N. A.; Schlosser, A.: Scales of temporal and spatial variability of midlatitude soil moisture, Journal of Geophysical Research-Atmospheres. 1996, 101(D3), 7163–7174.
- [17] Martinez-Fernandez, J.; Ceballos, A.: Temporal Stability of Soil Moisture in a Large-Field Experiment in Spain., Soil Sci. Soc. Am. J. 2003, 67, 1647–1656.
- [18] Koster, R. D.; Mahanama, S. P. P.; Yamada, T. J.; Balsamo, G.; Berg, A. A.; Boissarie, M.; Dirmeyer, P. A.; Doblas-Reyes, F. J.; Drewitt, G.; Gordon, C. T.; Guo, Z.; Jeong, J. H.; Lawrence, D. M.; Lee, W. S.; Li, Z.; Luo, L.; Malyshev, S.; Merryfield, W. J.; Seneviratne, S. I.; Stanelle, T.; van den Hurk, B.; Vitart, F.; Wood, E. F.: Contribution of land surface initialization to sub-seasonal forecast skill: First results from a multi-model experiment, Geophysical Research Letters. 2010, 37.
- [19] Njoku, E. G.; Jackson, T. J.; Lakshmi, V.; Chan, T. K.; Nghiem, S. V.: Soil moisture retrieval from AMSR-E, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2003, 41(2), 215–229.
- [20] de Jeu, R.; Wagner, W.; Holmes, T.; Dolman, H.; van de Giesen, N. C.; Friesen, J.: Global soil moisture patterns observed by space borne microwave radiometers and scatterometers, Surveys in Geophysics. 2008, 29, 399–420.
- [21] Wagner, W.; Scipal, K.; Pathe, C.; Gerten, D.; Lucht, W.; Rudolf, B.: Evaluation of the agreement between the first global remotely sensed soil moisture data with model and precipitation data, Journal of Geophysical Research D: Atmospheres. 2003, 108(D19), Art. No. 4611.
- [22] Bartalis, Z.; Wagner, W.; Naeimi, V.; Hasenauer, S.; Scipal, K.; Bonekamp, H.; Figa, J.; Anderson, C.: Initial soil moisture retrievals from the METOP-A Advanced Scatterometer (ASCAT), Geophys. Res. Lett. 2007, 34, L20401.
- [23] Owe, M.; de Jeu, R.; Holmes, T.: Multisensor historical climatology of satellite-derived global land surface moisture, Journal of Geophysical Research-Earth Surface. 2008, 113(F1), F01002.
- [24] Brocca, L.; Hasenauer, S.; Lacava, T.; Melone, F.; Moramarco, T.; Wagner, W.; Dorigo, W.; Matgen, P.; Martinez-Fernandez, J.; Llorens, P.; Latron, J.; Martin, C.; Bittelli, M.: Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe, Remote Sensing of Environment. 2011, 115, 3390–3408.
- [25] Parrens, M.; Zakharova, E.; Lafont, S.; Calvet, J.-C.; Kerr, W.; Wagner, W.; Wigneron, J.-P.: Comparing soil moisture retrievals from SMOS and ASCAT over France, Hydrology and Earth System Sciences. 2012, 16, 423–440.
- [26] Albergel, C.; de Rosnay, P.; Gruhier, C.; Muñoz-Sabater, J.; Hasenauer, S.; Isaksen, L.; Kerr, Y.; W., W.: Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based in situ observations, Remote Sensing of Environment. 2012, 118, 215–226.

#### Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27–29, 1040 Wien.  
E-mail: ww@ipf.tuwien.ac.at.

#### Vortragender

**Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Wolfgang Wagner**

geb. 1969 Wels

1995 Dipl.Ing. in Physik, TU Wien

1999 Dr.techn. TU Wien, Fernerkundung

1993–2001 Forschungsaufenthalte in Bern, NASA Goddard Space Flight Center, ESA, Joint Research Center der EC, DLR

2001 Professor für Fernerkundung an der TU Wien