

# Copernicus SCATSAR-SWI: satellitengemessene Bodenfeuchte – täglich und in 1 km Auflösung

Bernhard Bauer-Marschallinger<sup>1</sup>, Simon Hochstätger<sup>1</sup>, Wolfgang Wagner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Wien · bbm@geo.tuwien.ac.at

**Zusammenfassung:** Bodenfeuchte spielt eine bedeutende Rolle in vielen meteorologischen, hydrologischen, und klimatologischen Prozessen. Satellitenfernerkundung mit Radarsensoren ermöglicht die globale und einheitliche Erfassung der Bodenfeuchte und liefert wertvolle Informationen für Wettermodelle, Landwirtschaft und Hochwasserschutz. Diese Daten können jedoch nicht gleichzeitig eine hohe Detailrate in Raum und Zeit erreichen.

Das durch Datenfusion generierte SCATSAR-SWI-Bodenfeuchteprodukt kombiniert verschiedene Satellitensysteme und bietet tägliche Bodenfeuchtedaten in 1 km Auflösung. Die Studie zeigt diesen Datensatz über Österreich und vergleicht ihn mit Modell- und Bodenstationsdaten. Erste Validierungsexperimente belegen eine hohe Qualität des Produktes.

**Schlüsselwörter:** Fernerkundung, Radar, Bodenfeuchte, Datenfusion

**Abstract:** *Soil moisture is a key driver of many meteorological, hydrological and climatological processes. Satellite remote sensing using radar sensors facilitates its global monitoring and depicts valuable input to meteorological models, agricultural management and flood prediction. However, a single spaceborne sensor cannot deliver information in both, high spatial and temporal detail.*

*The SCATSAR-SWI soil moisture product combines different satellite systems and offers daily data with 1 km resolution. The study presents this dataset over Austria and evaluates it against model- and ground station-data. First validation analyses show an overall good quality of the product.*

**Keywords:** *Remote sensing, radar, soil moisture, data fusion*

## 1 Motivation und Problemstellung

Die Bodenfeuchte ist der Wassergehalt der obersten Erdbodenschicht, welche in der Regel den ersten Meter unterhalb der Oberfläche umfasst. Durch ihre Lage an der für den Energieumsatz der Erde wichtigen Grenzschicht zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche spielt die Bodenfeuchte eine bedeutsame Rolle in vielen meteorologischen, hydrologischen, und klimatologischen Prozessen. Die Bodenfeuchte nimmt über Energie- und Materietransporte Einfluss auf Verdunstung, Versickerung oder Abfluss und wirkt somit auch auf das lokale Klima und Wettergeschehen. Sie bildet die grundlegende Wasserquelle der Pflanzenwelt und ist daher eine bedeutende Ressource bei der Produktion von Lebensmitteln und nachwachsenden Energieträgern.

### 1.1 Fernerkundung der Bodenfeuchte

In jüngster Zeit wurden in der Erdbeobachtung, speziell im Bereich der Satellitenfernerkundung mit Radarsensoren, Fortschritte bezüglich der Bestimmung der Bodenfeuchte erzielt. Beobachtungen von Radarsatelliten, wie die der europäischen Missionen MetOp und Envisat, werden als Input für geophysikalische Modelle genutzt und liefern Bodenfeuchtedaten mit globaler Abdeckung. War es bisher nur möglich, punktuelle Messungen am Boden mittels

Modellrechnung in flächige, räumlich begrenzte Schätzungen umzuwandeln, stehen heute einheitliche, weltweite Messungen zu Verfügung. Solche Daten speisen unter anderem hydrologische Modelle und Wettervorhersagen oder liefern wichtige Information für den Katastrophenschutz bei Dürren und Hochwassern.

Ein Problem der Satellitenfernerkundung ist jedoch der variierende Zeitabstand der Beobachtungen am jeweiligen Ort. Je nach Sensor und Standort liegt die Messfrequenz zwischen einem Tag und mehrere Wochen. Dabei weisen die räumlich-hochauflösenden Synthetic-Aperture-Radar Sensoren (SAR, wie z. B. Envisat ASAR oder dessen Nachfolger Sentinel-1) eine wesentlich geringere Wiederholrate als die räumlich-grobauflösenden Scatterometer (wie z. B. ASCAT) auf. Ein satellitengestützter Sensor kann also bislang nur im Raum oder in der Zeit eine hohe Detailrate liefern. Dieser Umstand wird als Skalenproblem der Fernerkundung bezeichnet und stellt das zentrale Problem dieser Studie dar.

## 1.2 Hohe Detailrate durch Datenfusion

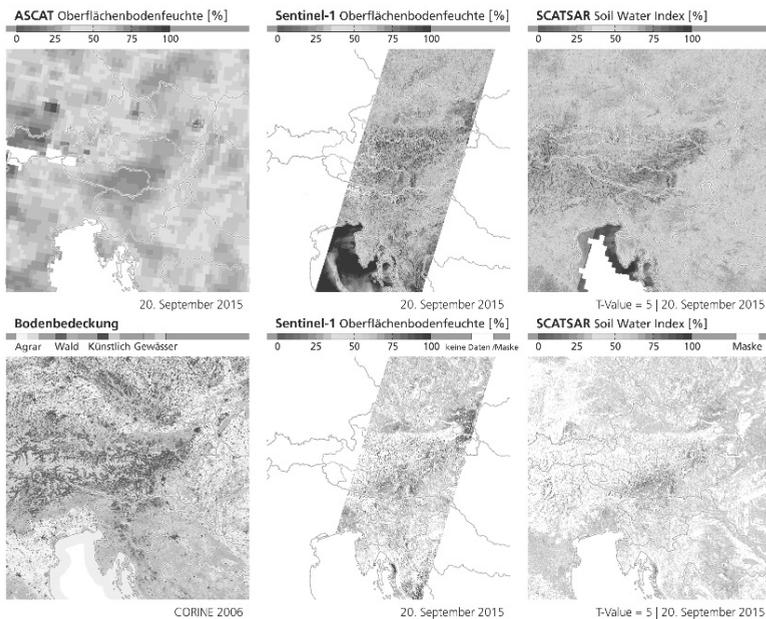
Eine Lösung des Skalenproblems, im Sinne der Erstellung eines hochauflösenden und hochfrequenten Datenprodukts, wird durch die Kombination von mehreren Systemen mit gleicher Beobachtungs- aber verschiedener Skalencharakteristik erreicht. Liegen zwei Erdbeobachtungssensoren vor, die die gleiche physikalische Variable messen, aber dies mit unterschiedlicher Abtastrate in Zeit und Raum, kann eine Verbindung beider Beobachtungen zu einem Datensatz verarbeitet werden, der eine hohe Auflösung sowohl in Zeit und Raum bietet. Solch ein Vorhaben wird als Datenfusion bezeichnet. Damit ist die Generierung eines neuen Bodenfeuchteprodukts möglich, das den Ansprüchen der modernen Meteorologie und Hydrologie gerecht wird.

## 2 Der SCATSAR-SWI

Der Copernicus SCATSAR-SWI (Scatterometer – SAR – Soil Water Index) verarbeitet Bodenfeuchte-Zeitserien (Surface Soil Moisture, SSM) von Metop ASCAT und Sentinel-1 CSAR zu einem gemeinsamen SWI-Produkt, das mit einer Auflösung von 1 km und einem täglichen Zeitstempel das Skalenproblem für viele moderne Anwendungen überwindet. Der SCATSAR-SWI beschreibt den Bodenwassergehalt als relative Bodensättigung von 0 bis 100 % im Tiefenbereich 1 bis 100 cm. Das Produkt befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase (Juli 2016), und verfügt über Daten beginnend mit Januar 2015. Nach Erreichen des operationellen Status wird es in den Copernicus Produktkatalog aufgenommen, welcher über <http://land.copernicus.eu/global/products/> frei zugänglich ist. Interessenten für den SCATSAR-SWI können sich auch an die Autoren vom Department für Geodäsie und Geoinformation der Technischen Universität Wien wenden (<http://rs.geo.tuwien.ac.at/remote-sensing/>).

Um einen ersten Eindruck von den Daten zu gewähren, zeigt Abbildung 1 die Eingangsdaten ASCAT SSM (25 km Auflösung) und Sentinel-1-SSM (1 km) sowie den SCATSAR-SWI (1 km) für den 20. September 2015 über Österreich. Trockene Gebiete erscheinen braun, feuchte blau. Im Sentinel-1-SSM-Bild (Mitte oben) sind die Bereiche im Westen und Osten ohne Abdeckung an diesem Tag in Weiß. Zur Illustration der räumlichen Struktur des Gebiets zeigt Abbildung 1 die Bodenbedeckung von CORINE Land Cover 2006, ebenfalls mit 1 km Auflösung. Es ist frei ersichtlich, dass die 1-km-SSM-Daten räumliche Feuchtigkeitsmuster

wiedergeben, die der Skala der Gliederungen der Bodenbedeckung entsprechen, während jene im ASCAT SSM Bild unkenntlich sind. Weiters sind fehlerhafte, zu feuchte Beobachtungen rund um die Ballungszentren München, Linz und Wien als blaue Punkte im ASCAT Bild zu finden. Dies ist ein bekanntes Problem bei grobskaligen Bodenfeuchtedaten von Scatterometern (wie ASCAT) und scheint im SCATSAR-SWI durch Hinzunahme der SAR Daten effektiv behoben zu sein. Die gezeigten SWI-Daten geben die Feuchtigkeit in etwa 5 cm Bodentiefe wieder (Versickerungszeit, repräsentiert durch T-Value = 5). Die Maskierung in den unteren Bildern wurde durch eine Korrelationsanalyse zwischen ASCAT und Sentinel-1 Bodenfeuchte gewonnen. Pixel, an den die individuellen SSM-Zeitserien von ASCAT und Sentinel-1 einen Spearman-Korrelationskoeffizienten niedriger als 0,4 ergeben, werden im SCATSAR-SWI ausmaskiert, da hier angenommen werden muss, dass die Datenfusion nicht zulässig ist. Dies liegt dem Anspruch zu Grunde, dass ein Wert nur an Orten als gültig erklärt werden soll, wo beide Eingangsdatensätze das gleiche physikalische Signal aufzeichnen. Eine Begutachtung der Maskierung ist in Kapitel 3.3 zu finden.



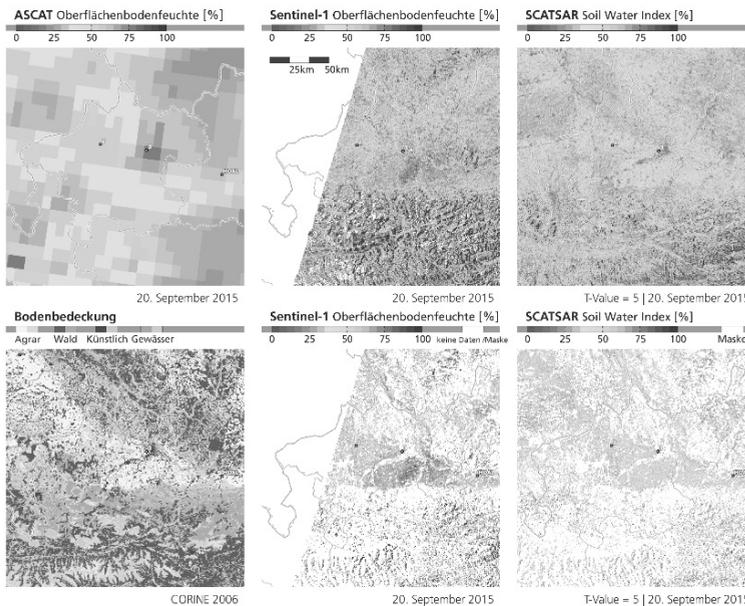
**Abb. 1:** Oben: Die Eingangsdaten (links ASCAT und in der Mitte Sentinel-1) und der resultierende SCATSAR-SWI (rechts) für den 20. September 2015 über Österreich. Unten: Bodenbedeckung von CORINE Land Cover 2006. Daneben wie oben, nur maskiert. Staats- und Landesgrenzen in Rot.

### 3 Erste Qualitätsbestimmung

Der SCATSAR-SWI kann, obwohl zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrags nur räumlich begrenzt verfügbar, bereits in seiner Qualität bezüglich seines zeitlichen und räumlichen Signals untersucht werden. Weiterhin soll die Qualität der Maskierung bestimmt werden.

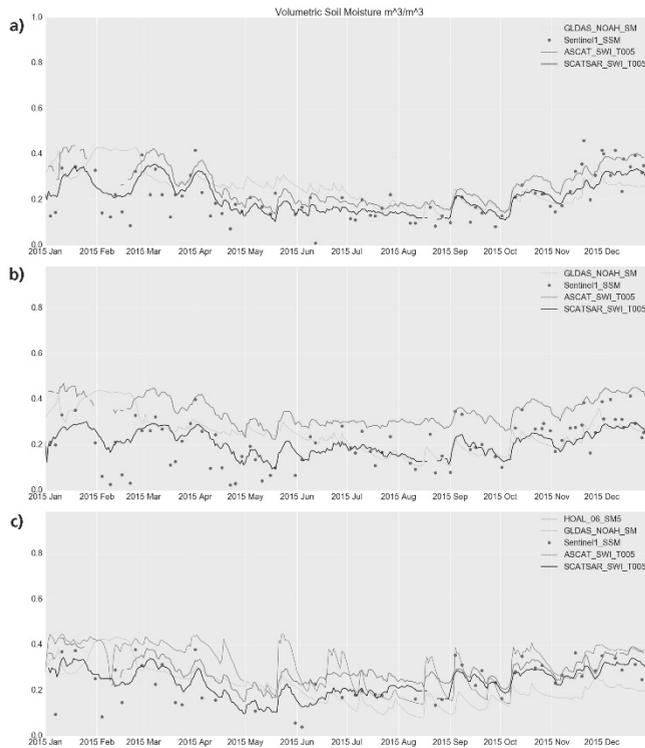
#### 3.1 Qualität des zeitlichen Signals

Der SCATSAR-SWI wird in diesem Experiment mit Bodenfeuchtedaten aus Modellen und von Bodenstationen verglichen. Hierzu werden Daten vom globalen Modell GLDAS-NOAH, sowie vom HOAL-Stationsnetzwerk in Petzenkirchen, Niederösterreich, herangezogen. Abbildung 2 zeigt einen Detailausschnitt der Abbildung 1 über Oberösterreich und die Orte der Validierung.



**Abb. 2:** Wie Abbildung 1, nur mit detailliertem Bildausschnitt über Oberösterreich und mit Orten der Validierung in Grün und Blau

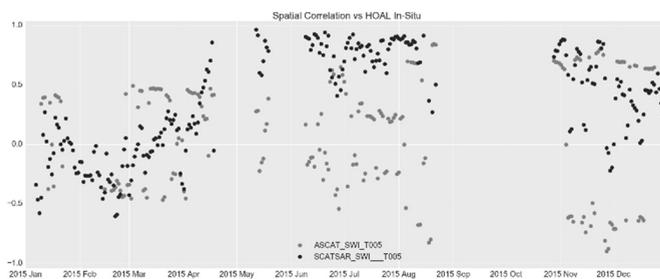
Die verschiedenen Bodenfeuchte-Zeitreihen von Sentinel-1 SSM, SCATSAR-SWI, ASCAT SWI (beide T-Value =5), GLDAS und der HOAL-Bodenstation sind in Abbildung 3 dargestellt. Der erste Vergleich (a), zeigt die Daten gemessen an einem Punkt im ländlichen Innviertel, das von Land- und Grünlandwirtschaft geprägt ist. Hier zeigen die verschiedenen Daten große Übereinstimmung, wenngleich Sentinel-1 eine viel geringe zeitliche Abtastrate aufweist. Vergleich (b) zeigt die Verhältnisse in einem landwirtschaftlichen Gebiet nahe Linz und legt den Fehler von ASCAT durch systematisch zu hohe Werte nahe Städten dar. Vergleich (c) zeigt zusätzlich Bodenstationsdaten von HOAL und lässt erkennen, dass Sentinel-1 das lokale Bodenfeuchtesignal besonders im Herbst gut wiedergibt.



**Abb. 3:** Zeitserien der verschiedenen Bodenfeuchtedatensätze im Jahr 2015, an den Standorten 2 (a), 3 (b), und HOAL (c) in Abbildung 2. In relativem Bodenvolumenanteil.

### 3.2 Qualität des räumlichen Signals

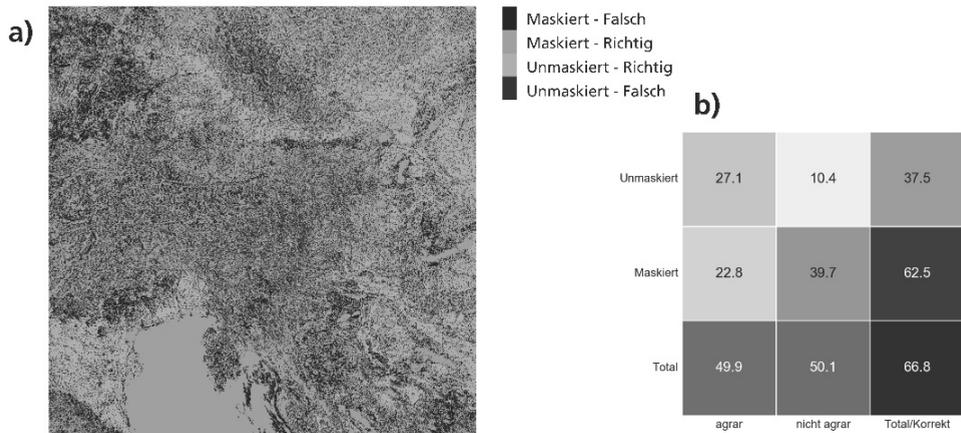
Die Güte des Signals in räumlicher Dimension wurde anhand räumlicher Pearson-Korrelationskoeffizienten geschätzt. Abb. 4 zeigt diese für SWI-Werte von ASCAT und SCAT-SAR mit HOAL-Bodenfeuchte. Vor allem während des Sommers weist hier SCAT-SAR-SWI eine bessere Wiedergabe der lokalen Gegebenheiten auf.



**Abb. 4:** Räumliche Korrelation zwischen Messungen der HOAL-Stationen und ASCAT- bzw. SCATSAR-SWI im Jahr 2015. Perioden mit Datenlücken entfallen.

### 3.3 Qualität der Maskierung

Diese (Korrelations-) Maskierung wurde in ihrer Übereinstimmung mit der Bodenbedeckung überprüft. Dazu wurde das Gebiet in zwei von CORINE abgeleiteten Klassen eingeteilt, in eine Klasse „agrar“ und eine Klasse „nicht agrar“, und dann mit der Korrelationsmaskierung verglichen (entsprechend Abb. 1 unten links). Es wird angenommen, dass die Bodenfeuchtemessungen gemeinsam durch ASCAT und Sentinel-1 in der Klasse „agrar“ zulässig sind. Das sich daraus ergebende Bild und die zugehörige Konfusionsmatrix sind in Abbildung 5 dargestellt. Darin wird ersichtlich, dass der Großteil der Pixel richtig maskiert/unmaskiert ist (67 %), bei einer Maskierung von 63 % aller Pixel. Der überwiegende Teil liegt davon in Gebirgen, Wäldern, Städten oder über Gewässern, was obige Annahme bestätigt. Gebiete, die fälschlicherweise maskiert/unmaskiert sind, findet man entlang der Übergangszonen von Flachland zu Hügel-/Gebirgsland und im bayrischen Raum. Für Letzteres ist die geringer Dichte der Sentinel-1-Daten in diesem Gebiet verantwortlich, die eine geringe Signifikanz der Korrelation hervorruft und dadurch die Maskierung bewirkt. Eine Verbesserung wird mit Fortschreiten der Sentinel-1-Mission erwartet.



**Abb. 5:** a) Vergleich der SCATSAR-Korrelationsmaskierung mit CORINE-Klassen; b) Konfusionsmatrix zwischen CORINE-Klassen und SCATSAR-Korrelationsmaskierung

## 4 Zusammenfassung

Bodenfeuchte spielt eine bedeutende Rolle in vielen Prozessen des Klimas, Wetters und der Hydrologie und stellt eine wichtige Ressource für die Landwirtschaft dar. Mithilfe von Fernerkundungssystemen kann diese Größe auf verschiedenen Skalen bestimmt werden, jedoch nicht mit beliebiger Detailrate. Der Copernicus SCATSAR-SWI bietet täglich in 1 km Auflösung Bodenfeuchte mittels Datenfusion von ASCAT und Sentinel-1 Bodenfeuchte und kombiniert dabei die Vorzüge jener Sensoren. Erste Validierungsexperimente belegen die hohe Qualität des SWI-Signals über Österreich.