

Die wissenschaftliche Nutzung der Soil Moisture & Ocean Salinity SMOS Mission in Deutschland

Konzeptpapier des SMOS-Projektbüros Deutschland
am Institut für Meereskunde der Universität Hamburg

Dr. S. Dransfeld, A. Tittebrand, Dr. S. Siebert¹, Prof. D. Stammer

November 2008



¹Institut für Physische Geographie, Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u>	3
<u>2. Die SMOS Mission</u>	3
2.1 Informationen zur SMOS Mission	3
2.2 Wissenschaftliche Hintergründe und Ziele	4
2.3 MIRAS: Das SMOS-Radiometer	5
2.4 Raum- und Bodensegment	7
2.5 SMOS innerhalb des „Living Planet“ Programms der ESA	8
2.6 Einbindung in wissenschaftliche Programme	9
2.7 Verfügbare Datenprodukte	9
<u>3. Die deutsche SMOS-Nutzergemeinschaft und ihre Aktivitäten</u>	12
3.1 Aktivitäten des SMOS-Projektbüros in Deutschland	12
3.2 Beteiligte Institute und Gruppen	13
<u>4. SMOS Fragestellungen deutscher Institute</u>	14
4.1 SMOS Anwendungsbereiche	15
4.3 Operationelle SMOS Anwendung	17
4.2 Deutsche Kalibrierungs/Validierungsprojekte	17
<u>5. Anforderungen der Nutzer an Bodenfeuchte- und Salzgehaltsdaten</u>	19
<u>6. Zeitplan</u>	20
<u>7. Förderungsmöglichkeiten innerhalb Deutschlands für SMOS Aktivitäten</u>	21

1. Einleitung

Die *Soil Moisture und Ocean Salinity* SMOS Mission der Europäischen Raumfahrtagentur ESA, die im Frühjahr 2009 gestartet werden soll, wird Messungen der Bodenfeuchte über dem Land und des Salzgehaltes der Ozeanoberfläche liefern, welche unser bisheriges Verständnis des globalen Wasserkreislaufes um ein Vielfaches erweitern soll. Das vorliegende Nutzungskonzept ist eine Bestandsaufnahme der mit der SMOS Mission zusammenhängenden aktuellen und zukünftig erforderlichen Aktivitäten in Deutschland. Es dient dazu, den an der Mission interessierten Wissenschaftlern einen Überblick über geplante Aktivitäten zu verschaffen, um ihnen den Einstieg in eigene Arbeiten im Zusammenhang mit der Mission zu erleichtern und Anknüpfungspunkte zu anderen Gruppen zu ermöglichen.

Die zentralen Fragestellungen zur SMOS Mission und ihre Eingliederung in wichtige nationale und internationale Forschungsprojekte bilden einen Hauptteil des Nutzungskonzeptes. Die Beantwortung dieser Fragen muss daher das Ziel deutscher Förderprogramme sein, die in internationale wissenschaftlich abgestimmte Forschungsprojekte eingebettet sein müssen. National geförderte Forschungsaktivitäten sind darüber hinaus schon deshalb erforderlich, um deutschen Wissenschaftlern den Zugang zu den Daten zu sichern und die Möglichkeit für eine koordinierte Auswertung der Daten zu geben.

Dieses Nutzungskonzept stellt die Eckdaten und Messziele der SMOS Mission vor, sowie die wissenschaftlichen Fragen, welche es zu beantworten gilt. Hierfür werden die Hintergründe der Mission, die zu erwartenden Daten und die mit SMOS verbundenen Fragestellungen beschrieben. Das Sensorconcept des Radiometers an Bord von SMOS und die SMOS-Datenprozessierungskette mit den geplanten Level 1 bis 4 Datenprodukten werden dargestellt. Im Anschluss finden sich ein Überblick der deutschen Forschungsgruppen mit SMOS-Interesse und eine Zusammenfassung der wissenschaftlichen Gebiete zu denen SMOS einen Beitrag leisten wird.

2. Die SMOS-Mission

2.1 Informationen zur SMOS Mission

Informationen zur SMOS-Mission so wie Hintergründe und Ziele sind auf den Internetseiten des deutschen SMOS-Projektbüros <http://www.smos.zmaw.de> erhältlich. Ausführlichere Informationen können auch in den folgenden ESA Internetseiten gefunden werden:

- ESA's water mission SMOS brochure
http://esamultimedia.esa.int/docs/br_224.pdf
- SMOS Mission Objectives and Scientific Requirements
http://esamultimedia.esa.int/docs/SMOS_MRD_V5.pdf

- Synergistic Aspects and Auxiliary Data Concepts for Sea Surface Salinity Measurements from Space
http://esamultimedia.esa.int/docs/Study_18176_FR.pdf
- Scientific Requirements and Impact of Space Observations of Ocean Salinity for Modelling and Climate Studies
http://esamultimedia.esa.int/docs/Study_14273_FR.pdf
- Informationen zu den SMOS Datenprodukten
http://smc.cnes.fr/SMOS/A_products.htm
http://www.esa.int/esaLP/ASE5HBUG0SC_LPsmos_0.html
- Measuring the moisture in the Earth's soil with ESA's SMOS Mission, ESA Bulletin 115, 41f
http://esamultimedia.esa.int/docs/ESA_Bulletin_115.pdf
- Measuring Ocean Salinity with ESA's SMOS Mission, ESA Bulletin 111, 113f
<http://esamultimedia.esa.int/docs/Cryosat/ESABulletin111-SMOSactivities.pdf>
- Das ESA SMOS Portal für SMOS AO's inklusive weiterer technischer Berichte
<http://eopi.esa.int/esa/esa?cmd=aodetail&aoname=smos>

2.2 Wissenschaftliche Hintergründe und Ziele

Der globale Wasserkreislauf und seine Bedeutung bzw. Änderung bei zukünftigen Klimaschwankungen bilden ein wesentliches Thema der momentanen Klimaforschung. Hauptziel der SMOS-Mission ist es, ein verbessertes Verständnis des Zusammenspiels von Niederschlag und Evaporation über den Kontinenten und Ozeanen zu erhalten. Diese beiden Prozesse bestimmen die Bodenfeuchte der Landflächen und den Oberflächensalzgehalt der Ozeane. Bisher sind beide Parameter nur ungenau bekannt. Die globale Fernerkundung von Bodenfeuchte und Oberflächensalzgehalt soll erstmals durch die SMOS Mission erreicht werden, die eine wichtige Erweiterung von Fernerkundungsparametern darstellt. Für beide Variablen fehlt eine global abdeckende Messmethodik, da nur wenige in-situ Messungen existieren. Dabei sind solche Messungen von absoluter Wichtigkeit für unser Verständnis des Wasserkreislaufes und seiner Einflüsse auf Klima- und Wetterereignisse. Des Weiteren sind die Oberflächensalzgehalte der Ozeane ein fundamentaler Bestandteil der Ozeandynamik und haben einen maßgeblichen Anteil an den Veränderungen der Ozeanströmungen. Die SMOS-Daten sollen daher in meteorologische und ozeanographische Modelle assimiliert werden, um so präzisere Vorhersagen zu treffen. Die 3-jährige Dauer der Mission soll zunächst eine Zeitreihe ermöglichen, von der sich die natürliche Variabilität der Bodenfeuchte und Salzgehalte ableiten lässt. Nachfolgenden Missionen sollen Trends sowie eine erhöhte Frischwasserzufuhr in die Polarmeere durch ein Abschmelzen der Kryosphäre beobachten. Ob es aber zu weiteren „operationellen“ SMOS-Missionen kommen wird hängt von dem Erfolg der ersten Mission ab. Dieser Erfolg misst sich sowohl an der Präzision der Datenprodukte, insbesondere aber an den Ergebnissen der Nutzung der Daten in Forschungsprojekten und operationellen Anwendungen. Um einen Erfolg der Mission zu gewährleisten müssen entsprechende Projekte durch gezielte Finanzierungspläne gefördert werden.

Bisherige Messungen passiver Radiometer, z.B. AMSR-E auf der EOS Aqua Plattform haben bereits Information über Bodenfeuchtedaten geliefert. Diese Beobachtungen sind aber nicht von gleicher Präzision wie die Daten, die von SMOS erwartet werden. Für die operationelle Ableitung der Bodenfeuchte wird bei AMSR-E das K-Band (26.5 - 18.5 GHz), und nicht das durch RFI kontaminierte C-Band (zentrale Frequenz 6.925 GHz), verwendet, wobei das L-Band (~ 1.4 GHz) durch die höhere Sensitivität bezüglich beider Parameter und der höheren räumlichen Auflösung weitaus geeigneter für die Messung von Bodenfeuchte und Salzgehalten ist. SMOS wird die erste Mission sein, die mit einem L-Band Radiometer ausgestattet ist. Das Prinzip des Radiometers beruht auf einer synthetischen Apertur und ein weiteres Hauptziel der Mission ist, die Funktionalität dieser Methode für Weltraummissionen zu demonstrieren.

SMOS wurde zusammen mit CryoSat 1999 in der ersten Auswahl der ‚Earth Explorer Opportunity‘ Missionen auserwählt. Beide Missionen sind für die Klimaforschung und die durch die globale Erwärmung bedingten Auswirkungen von ausschlaggebender Bedeutung und wurden daher aus einer Vielzahl verschiedener Missionsvorschläge ausgesucht. Der Verlust der CryoSat Mission beim Start im Oktober 2005 und die Verzögerung der damit verbundenen Kryosphärenforschung bis zum geplanten Start von CryoSat 2 2009, haben den Stellenwert der SMOS Mission noch weiter erhöht, da sie wichtige Daten an Hand einer erhöhten Frischwasserzufuhr in die Polarmeere, über das Abschmelzen der Eiskappen liefern kann.

2.3. MIRAS: Das SMOS-Radiometer

SMOS ist eine Mission mit einem passiven Mikrowellenradiometer, das im L-Band von 1400 und 1427 MHz operiert. Auf Grund physikalischer Prinzipien ist eine normale Mikrowellenantenne in diesem Frequenzbereich von großem Ausmaß, um die notwendige räumliche Auflösung zu gewährleisten. Für eine kostengünstige Earth Explorer Mission ist dieses nicht durchführbar und so wurde eine Lösung gesucht, eine herkömmliche Antenne durch das Zusammenspiel von mehreren kleinen Antennen zu simulieren und so eine sogenannte synthetische Apertur zu bilden. Nach 10 Jahren Forschungs- und Entwicklungsarbeit an dem SMOS Instrument MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) ist das Radiometer startfähig und die Entwickler sind in der Lage die Präzision der Messungen abzuschätzen. Die Auftragsvergabe des Instrumentes ging an den spanischen EADS-CASA Espacio Konzern.

Das Prinzip einer synthetischen Apertur beruht auf der Interferometrie. Einzelne Antennen messen die Phasendifferenz der Einfallsstrahlung an jeder Antenne durch eine Kreuz-Korrelation der einzelnen Messsignale. So lange man von der Phasendifferenz ableiten kann, dass die Wellen zur gleichen Zeit ausgestrahlt wurden, kann man ihren genauen Ursprung bestimmen. Wenn der Zeitunterschied der einzelnen Wellen, die vom Boden zu den Empfängern gelangen größer als eine Periode ist, sind die Phasenunterschiede zwei- oder mehrdeutig (Alias-Effekte), wodurch das Sichtfeld des Sensors limitiert wird.

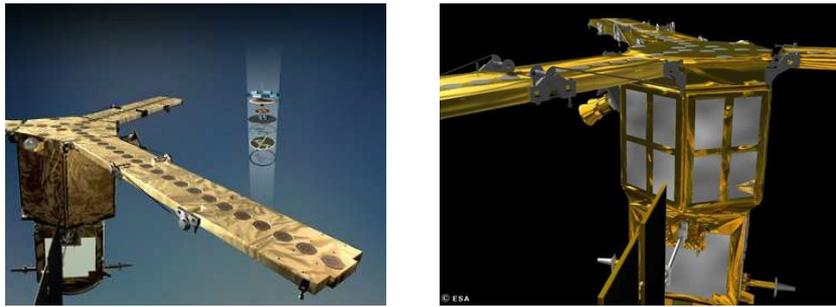


Abb. 1: SMOS mit MIRAS, links: sichtbare LICEF Antennen, die eine synthetische Apertur bilden, Quelle: SMOS BEC

Der Sensor besteht aus einer hexagonförmigen zentralen Struktur von der sich während der Startsequenz 3 Arme mit jeweils 3 Segmenten entfalten. Während des Flugs zur Umlaufbahn liegen die Arme am Zentralteil an, um dann mit Hilfe eines Federmotorantriebs ausgefahren zu werden. Mit komplett entfaltenen Armen erreicht MIRAS eine Spannweite von acht Metern. An der die Erde anvisierenden Außenfläche der zentralen Struktur, sind 15 sogenannte LICEF-Antennen (Light Cost Effective Front-end) und entlang jeden Armes jeweils weitere 18, so dass die synthetische Apertur durch insgesamt 69 Antennen gebildet wird. Jede einzelne Antenne (mit einem Durchmesser 165 mm) misst die von der Erde abgegebene L-Band Strahlung mit einer komplexen Verstärker- und Filterkette. Das L-Band ist offiziell der Radioastronomie zugewiesen und Störsignale sollten damit minimiert werden. Vereinzelt Messkampagnen haben aber gezeigt, dass L-Band Strahlung unnatürlichen Ursprungs in manchen Gebieten (in der Umgebung größerer Städte) durchaus vorkommen kann, da das L-Band verstärkt durch andere Nutzer missbraucht wird.

Die Korrelation der Messsignale einzelner Antennen miteinander erfolgt durch einen digitalen Korrelator DICOS (Digital Correlator System), wodurch eine komplette Aufnahme der Apertur entsteht. Die einzelnen Antennen werden regelmäßig geeicht und die Eichwerte werden mit den aufgenommenen Helligkeitstemperaturen per X-Band an die Bodenstationen übertragen, wo sie durch die Level 2 Algorithmen in kartierte Bodenfeuchte- und Salzgehaltswerte umgewandelt werden.

MIRAS kann in zwei verschiedenen Polarisationsmodi messen. In dem Dual-Polarisationsmodus schaltet der Sensor zwischen der Messung der horizontalen und vertikalen Komponenten der gemessenen Mikrowellen hin und her, während im polarimetrischen Modus beide Komponenten simultan gemessen werden. Letztere Methode verdoppelt jedoch die Datenmenge, die weiter zur Bodenstation geleitet wird. In welchem Modus MIRAS betrieben wird, hängt von der angestrebten Messgenauigkeit ab und ob der Dual-Polarisationsmodus diese erreichen kann. Die gewählte Umlaufbahn der Mission ist typisch für Erdbeobachtungsmissionen. Sie ist kreisläufig und sonnen-synchron mit einer durchschnittlichen Höhe von 763 Km und einer Inklination von 98.4° und ermöglicht in Abhängigkeit von der geographischen Breite, jeden Erdpunkt alle 1-3 Tage zu beobachten.

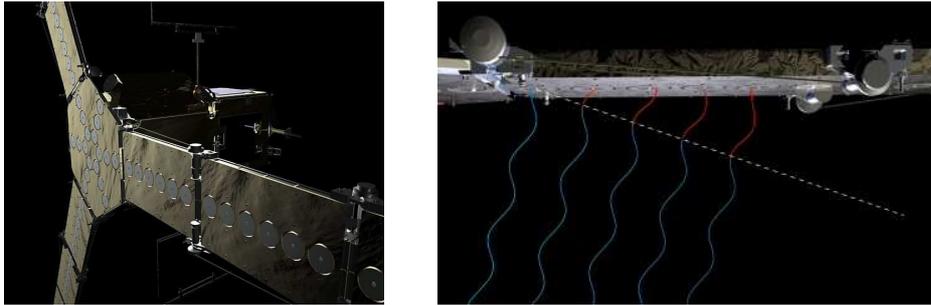


Abb. 2: links: MIRAS und Lage der Antennen; rechts: Interferometrie, Phasendifferenz des gemessenen Signals bis zu einer Wellenlänge, Quelle: ESA

2.4 Raum- und Bodensegment

Der Hauptauftragsnehmer der SMOS Nutzlast MIRAS ist die „European Aeronautic Defence and Space“-CASA Espacio in Spanien (EADS). Die Nutzlast soll mit der französischen Proteus-Trägerplattform verbunden werden, die auch schon für die Altimetriemission Jason-1 erfolgreich genutzt wurde. Proteus wurde durch eine Zusammenarbeit der französischen Weltraumagentur „Centre Nationale des Études Spatiales“ (CNES) und der französischen Firma Alcatel entwickelt. Die Schnittstellen der Plattform sind standardisiert, so dass die Nutzlast nahtlos mit ihr verbunden werden kann. Die Orbit-Kontroll-Einheit beinhaltet einen GPS Empfänger und vier starke Schubtriebwerke, die den Satelliten auf der richtigen Umlaufbahn halten sollen. Die eigentliche Positions-Kontroll-Einheit besteht aus Sternenkameras und drei 2-Achsenkreiseln, welche Positionsveränderungen messen sowie weiteren vier Drallrädern, um ein Drehmoment zu erzeugen und somit die optimale Position wiederherzustellen. Für eine etwas weniger genaue Positionseinstellung wurde auch ein System zur magnetischen Lageregelung hinzugefügt, das die Lage auf Grund der Information von Sonnensensoren und Magnetometern verändert.

Das Bodensegment der Mission besteht aus zwei Hauptkomponenten. Die zentrale Leitstelle, die für die Steuerung und Kontrolle des Satelliten zuständig ist, befindet sich in Toulouse, betrieben durch das CNES, und kommuniziert mit dem Satelliten über die ESA Bodenstation im schwedischen Kiruna. Abbildung 3 zeigt ein genaues Schema des Bodensegmentes. Die Betriebsleitstelle, die für den Transfer der gemessenen Daten verantwortlich ist, befindet sich in Villafranca bei Madrid und ist eine offizielle ESA Einrichtung, die aber unter der Leitung des spanischen CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) aufgebaut wurde. In der Betriebsleitstelle werden die Vorgaben für den Empfang und die Verarbeitung durch die offiziellen SMOS „Retrieval“-Algorithmen der Nutzlastdaten implementiert. Die SMOS-Daten werden durch das „Helpdesk“ der ESA (EOHelp@esa.int) verteilt.

2.6 Einbindung in wissenschaftliche Programme

Bodenfeuchte und Salzgehaltsmessungen entsprechen den Themen 2 (Klima) und 3 (Geosphäre-Biosphäre) des „Living Planet“ Programms. Sie bilden einen großen Beitrag zu Forschungsprojekten, die sich mit den saisonalen und zwischenjährlichen Klima-Veränderungen und Prozessen beschäftigen.

Verschiedene internationale wissenschaftliche Programme wurden ins Leben gerufen, um das Verständnis des Erdsystems mit seinen Einflüssen auf Klimaereignisse regionaler Skalen zu vertiefen, so z.B., das Projekt „Global Energy and Watercycle Experiment“ (GEWEX), welches sich mit dem Verhältnis der verschiedenen Wasserkreislaufkomponenten zueinander beschäftigt. Es ist eines der Kernprogramme des „World Climate Research Programms“ (WCRP) und integriert Forschung mit Messkampagnen, um Klimavorhersagen zu verbessern. Es steht in enger Beziehung zu den „Coordinated Enhanced Observing Period“ (CEOP)-Aktivitäten und basiert auf einer engen Zusammenarbeit mit anderen WCRP Projekten, z.B. das „Climate Variability and Predictability“ (CLIVAR-) Programm und das „Climate and Cryosphere“ (CliC-) Projekt. Für diese Projekte wurde eine hohe Priorität auf die Vermessung von Bodenfeuchte und Oberflächensalzgehalt gelegt. Weitere Programme, die maßgeblich von SMOS profitieren werden, sind die „Land Data Assimilation Systems“ (LDAS und ELDAS-) Programme der USA und Europa. Das Ziel dieser Programme ist es, durch die Assimilation von Satelliten- und Bodendaten verschiedener Erdbeobachtungssysteme in Landoberflächenmodelle, präzise Karten von verschiedenen Energieflüssen und Zuständen der Landoberfläche zu erstellen. Für viele numerische Wettervorhersagemodelle sind diese Karten essentiell, um verbesserte Reanalysen und Vorhersagen zu generieren. LDAS und ELDAS könnten sich daher als eines der größten operationellen Nutzungspotentiale der SMOS Daten herausstellen.

2.7 Verfügbare Datenprodukte

Die folgenden Definitionen der Datenprodukte basieren auf den Konventionen des „Committee on Earth Observation Satellites“ (CEOS) und wurden spezifisch an die SMOS-Mission angepasst. Abbildung 4 zeigt den Datenfluss zwischen den einzelnen Datenprodukten.

Level 0

Level 0 Daten sind unverarbeitete SMOS-Nutzlastdaten mit ihren Eichwerten, die direkt aus den Korrelatoren des MIRAS Instrumentes kommen. Einen Teil der Level 0 Daten bilden die *Housekeeping*daten des Satelliten und der Nutzlast. Level 0 Daten werden nicht an die Nutzer verteilt, sondern als Startmaterial für eine erneute Reprozessierung der SMOS Daten gelagert.

Level 1a

Level 1a Daten bestehen aus geeichten Mess- und *Housekeeping*daten. Die Messdaten (Korrelationen) sind intern durch eine Rauschzufügung geeicht und die 1a Produkte werden in

Pol-zu-Pol-Segmenten zusammengefügt. Die externe Eichung zur Korrektur der Helligkeitstemperaturen ist ein separates Produkt, das zu der Bodenstation übertragen wird. Die wissenschaftlichen Level 1a Daten werden auch „*Calibrated Visibilities*“ genannt. Sie sind als Momentaufnahmen (snapshots) zusammengefügt von denen jede einer einzelnen Integrationszeit und Polarisierung entspricht.

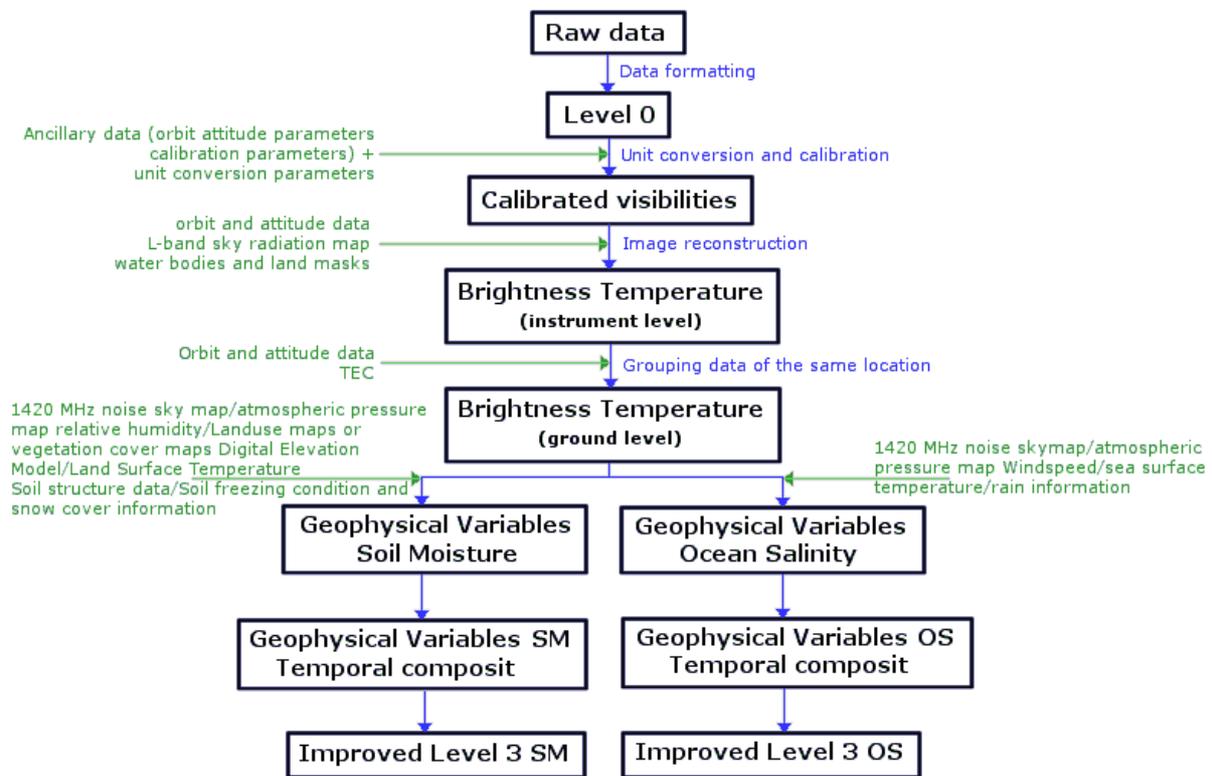


Abb. 4: Datenfluss zwischen den einzelnen SMOS Datenprodukten

Level 1b

Level 1b Daten bilden eine Ausgabe der Bildrekonstruktion der SMOS Messungen. Es handelt sich bei ihnen um *Top-of-Atmosphere* Fourier Komponenten der Helligkeitstemperaturen, so dass sie das komplette Spektrum der Helligkeitstemperaturen des Sichtfeldes repräsentieren. Korrigiert werden 1b Daten für Sonnenglitzern, die direkte Mondstrahlung und die galaktische Hintergrundstrahlung. Level 1b Daten sind für eine 10-jährige Archivierung nach der operationellen Dauer der Mission vorhergesehen.

Level 1c

Level 1c Daten beinhalten Helligkeitstemperaturen, die auf ein Gitter einer Erdreferenzellipse referenziert sind. Die Polarisationsvektoren sind weiterhin auf die Polarisation der Antenne bezogen, ohne dass eine Faraday Rotation angewendet wurde. Die Daten über Land- und Ozeanflächen unterscheiden sich, da verschiedene Apodisationsfenster benutzt werden. Durch Sonnenglitzern oder andere Einflüsse beeinflusste Pixel werden gekennzeichnet. Level 1c

Daten werden in der Datenkette getrennt und zu Level 2 Daten verarbeitet, welche dann die Bodenfeuchte und Oberflächensalzgehalte enthalten.

Für jedes Level 1c Produkt gibt es zusätzlich ein *Browse-Produkt*, welches Strahlungstemperaturen beinhaltet, die bei einem Winkel von 42.5° aufgenommen wurden.

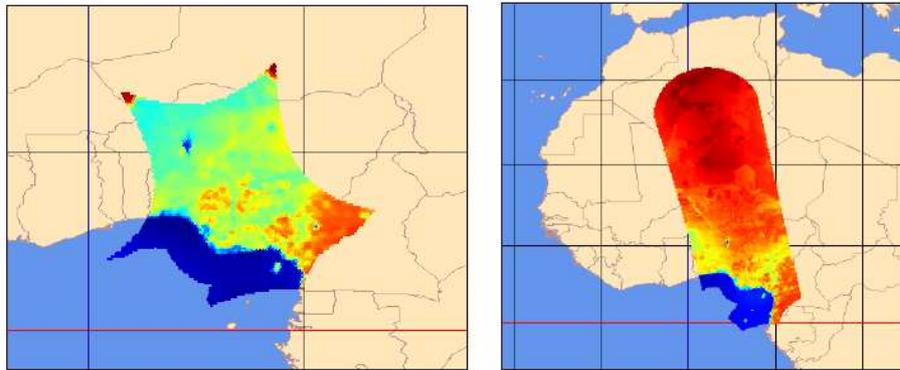


Abb. 5 Links: simulierte SMOS Momentaufnahme (links); simultane Beobachtungen Level 1C Produkt (H pol.), fester Einfallswinkel $\sim 40^\circ$ pol, Quelle: CESBIO

Level 2

Level 2 Daten enthalten die Bodenfeuchte und Salzgehalte entlang der SMOS Bodenspur. Um die 1c Daten zu Level 2 Daten zu konvertieren, werden atmosphärische Einflüsse korrigiert. Die räumliche Auflösung dieser Daten entspricht jener der Level 1c Daten und die Daten unterliegen keiner Mittelung (s. Level 3). Level 2 Daten werden zu Pol-zu-Pol-Segmenten zusammengefügt unterteilt in auf- und absteigende Halborbits. Zur Erstellung der Level 2 Daten werden zusätzliche Datensätze wie z.B. Windfelder und Temperaturdaten integriert. Die Produkte sind auf das ISEA Grid geolokalisiert.

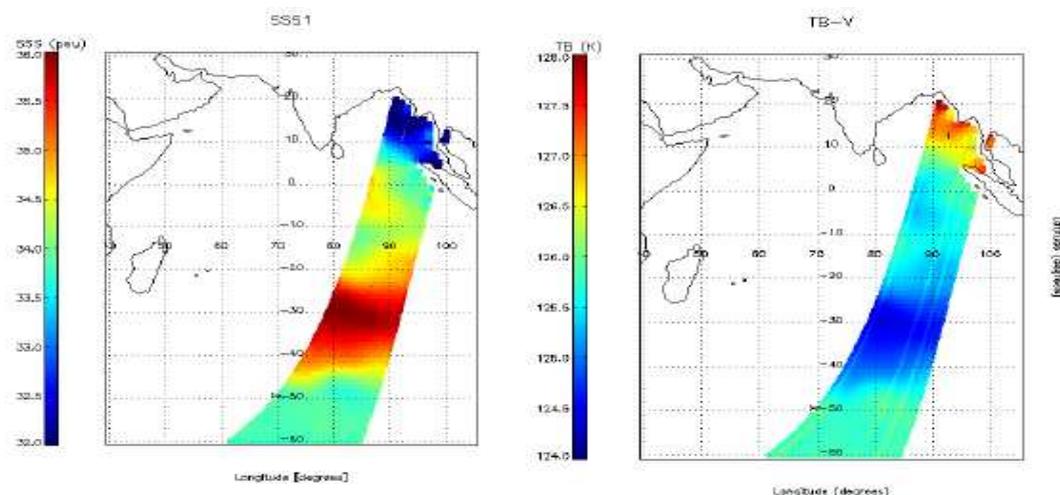


Abb. 6: Ozean-Oberflächen-Salzgehalt (modelliert) (links) und entsprechende Helligkeitstemperatur (V pol) bei 42.5° an der Oberfläche für den gleichen Überflug (rechts) Quelle ACRI

Level 3 und 4

Level 3 Daten entsprechen räumlich und zeitlich gemittelten Daten, die zu globalen Karten zusammengefügt werden. Sie werden aus Level 1b und weiteren Hilfsdaten erstellt, die auf Grund geringerer operationeller Auflagen stabiler als die Hilfsdaten für Level 2 sind. So kann z.B. für die Erstellung von Level 2 Produkten ein Leaf Area Index (LAI) der vorhergehenden Periode, für Level 3 aber der LAI der Messperiode verwendet werden. Die Level 2 Daten, die im Langzeit-Archiv (LTA) der ESA archiviert werden, werden aber noch einmal mit den konsolidierten Level 3 Hilfsdaten reprozessiert. Weitere Level 3 Produkte bieten Karten der täglichen Veränderungen der Messdaten und verschiedene Mittelungsverfahren, in denen räumliche und zeitliche Auflösungen gegeneinander aufgewogen werden. Mögliche Level 4 Produkte sind z.B. verschiedene Modellfelder mit assimilierten SMOS Daten oder zwecks Verbesserung der Auflösung, Daten, die einer Synergie mit der amerikanischen Aquarius Mission entstammen. Die Level 3 und 4-Daten werden durch französische und spanische nationale Programme entwickelt und erhältlich.

Near Real Time Produkt:

Das NRT Produkt wird innerhalb von 3 Stunden nach Datenaufnahme für die Wettervorhersage-Zentren zur Verfügung stehen. Das Produkt beinhaltet Strahlungstemperaturen am Außenrand der Atmosphäre auf einem ISEA Grid mit reduzierter räumlicher Auflösung.

3. Die deutsche SMOS Nutzergemeinschaft und ihre Aktivitäten

3.1 Aktivitäten des SMOS-Projektbüros in Deutschland

In erster Linie ist das nationale SMOS-Projektbüro eine Schnittstelle zwischen den deutschen Nutzern, der ESA und dem und dient als Informationsdienst für die nationalen Forschungsgruppen und industriellen Vertreter, um sich über die SMOS-Mission, aber auch über relevante Förderprogramme zu SMOS-Projekten zu informieren. Weiterhin soll das SMOS Büro die Koordinierung deutscher Kalibrierungs-/Validierungs-Aktivitäten (CAL/VAL) übernehmen und entsprechende Aktivitäten.

Zusätzlich ist das Projektbüro zuständig für die Öffentlichkeitsarbeit in den deutschen Medien. Dies beinhaltet die Erstellung von Informationsmaterialien wie einem Flyer, einer Broschüre oder der SMOS-Webseite (<http://www.smos.zmaw.de>) sowie Kontakte zu den Medien einzurichten und zu unterhalten.

Als eine seiner Kernaufgaben trägt das Projektbüro die Verantwortung für die Erstellung des nationalen SMOS Nutzungskonzeptes. In zwei Workshops (2006 und 2008) wurde die Mission den deutschen Wissenschaftlern vorgestellt, Projektideen für SMOS-angewandte Forschung inventarisiert und erweitert. Die sich dabei herauschälende SMOS-Nutzergemeinde ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

3.2 An SMOS-Aktivitäten interessierte Institute und Gruppen

Vorläufig, Angaben ohne Anspruch auf Vollständigkeit

Ort	Institut	Forschungsthemen zu SMOS
Hamburg	Institut für Meereskunde, Universität Hamburg	Auswertungsstudien von Oberflächensalzgehaltsdaten basierend auf in-situ-Messungen und ozeanographischen Modellen im Rahmen von SMOS Cal/Val-Aktivitäten Voraussichtliche Assimilation der Salzgehaltsdaten in das ECCO Ozeanmodell Eisfernerkundung
Hamburg	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie	In-situ-Salzgehaltsmessungen für SMOS Cal/Val-Aktivitäten
Hamburg	Max Planck Institut für Meteorologie	Mögliche Assimilation in Kohlenstoffmodellierung, ECHAM5, REMO Modell Validierung, Modellverbesserung durch beobachtete Dynamik der Bodenfeuchte
Bremen	Institut für Umweltphysik	Algorithmusentwicklung für die Bestimmung der Eisdicke jungen Eises und der Konzentration der Schmelztümpel, Entwicklung verschiedener mikrophysikalischer Emissivitätsmodelle für unterschiedliche Eisflächen
Kiel	Leibniz-Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel	Frischwasser/Oberflächensalzgehalte in den Bildungsregionen des Nordatlantischen Tiefenwassers. Tropisch/Subtropische Anomalien der SSS im Atlantik.
Oldenburg	Institut für Physik, Universität Oldenburg	Studien über den Einfluss von Rauigkeitsprofilen auf die Polarisation von Helligkeitstemperaturen
Bonn	Meteorologisches Institut, Universität Bonn	Detektion von Radiofrequenzstörungen einer L-Band SMOS Messung, Vergleich der SMOS Bodenfeuchte mit existierenden Daten (GSMDB, AMSR), Messkampagnen mit einem L-Band Radiometer um die interne Varianz eines SMOS-Pixels zu bestimmen, Bestimmung des Signalrauschpegels auf Grund von Regen und Vegetation, Assimilation in SVAT Modelle (Soil Vegetation Atmosphere –Transport)
Jena	Geoinformatik, Friedrich-Schiller-Universität (FSU) Jena	Bewertung der SMOS Daten für die hydrologische Modellierung
Mainz	Max Planck Institut für Chemie	Austausch von Spurengasen (flüchtige Schwefelverbindungen, Stickoxide) zwischen Atmosphäre und Vegetation, sowie zwischen

		Boden und Atmosphäre in Abhängigkeit von Bodentemperatur und Bodenfeuchte
Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule	Terrestrische Land-Atmosphären Kopplung, Studien der Energie- und Wasserbilanz Validation von Modellen mit SMOS-Daten, Skalierungsproblematik
Heidelberg	Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg	Hochskalieren von Wassergehalten: Ground Penetrating Radar über SAR zu SMOS Auflösung in ariden und in Permafrostgebieten
Jülich	Forschungszentrum Jülich mit anderen Helmholtzeinrichtungen	TERENO Initiative: Nationales Netzwerk zur Beobachtung von Auswirkungen von Klimawandel auf terrestrische Systeme, Messungen von Bodenfeuchte für Cal/Val-Zwecke
München	Department GeoUmwelt, Ludwig-Maximilian Universität, München	Validation und Dissaggregation von SMOS Daten, SVAT Modellierung, Auswertung von SMOS Zeitreihen in Bezug auf Bodenfeuchteänderungen
München	TU München	Geodätische Methoden
Leipzig	Abteilung Angewandte Landschaftsökologie, Umweltforschungszentrum	Validierung von SMOS Daten im Saaleeinzugsgebiet
Frankfurt	Institut für Physische Geographie, Johann Wolfgang Goethe Universität	Globale hydrologische Modellierung
Wien	TU Wien	Bestimmung der Bodenfeuchte aus Fernerkundungsdaten
Karlsruhe	KIT	Validierungsdaten für SMOS für längere Zeitraum
Hamburg	FastOpt	Modellierung von CO ₂ -Emissionen, Software für Datenassimilation

4. SMOS Fragestellungen deutscher Institute

Deutsche Wissenschaftler sind maßgeblich an Studien, die sich durch verschiedene Aspekte auf den globalen Wasserkreislauf beziehen, beteiligt. SMOS soll vor allen Dingen in der meteorologischen und klimatologischen Modellierung einen großen Beitrag leisten. Dabei stellen sich die Fragen, welchen Einfluss die Assimilation von Bodenfeuchte- und Salzgehaltsdaten auf meteorologische und ozeanographische Modelle haben wird und wie sich z.B. auch die Dichteverhältnisse der Polarmeere durch ein Abschmelzen der Polarkappen und den damit verbundenen Süßwassereintrag verändern. Um diese Fragen zu beantworten, durchläuft SMOS nach dem Start eine intensive Kalibrierungs- und Validierungsphase, die sogenannte Kommissionsphase, in der der Sensor und die Messungen durch Vergleiche mit

in-situ-Daten kalibriert und validiert werden. Deutsche Wissenschaftler bilden einen starken Anteil an dieser Phase und sind sowohl auf dem Gebiet der Salzgehalts- als auch der Bodenfeuchtevalidierung vertreten.

4.1 SMOS Anwendungsbereiche

SMOS Anwendungen in der Ozeanographie

Durch SMOS wird erstmalig der Oberflächensalzgehalts des Ozeans mit fernerkundlichen Methoden ermittelbar und ermöglicht somit eine Vielzahl von ozeanographischen Studien. Durch die Verdunstung und den Niederschlag über den Ozeanen wird der Salzgehalt verändert, was Auswirkungen auf die Wasserdichte, und somit auf Meeresströmungen hat. Salzgehalte und Wassertemperatur haben einen entscheidenden Einfluss auf die Dichte, und spielen somit eine tragende Rolle in der Regulierung unserer klimatischen Verhältnisse. Die Oberflächenwassertemperatur wird schon seit vielen Jahren routinemäßig per Satellit gemessen und die Fernerkundung der Salzgehalte ist somit ein wichtiger Zusatz für unser Wissen über die Ozeanzirkulation und wird dessen Modellierung maßgeblich verbessern.

Es gibt darüber hinaus verschiedene andere Möglichkeiten für SMOS-orientierte Klimaforschung. So wird erhofft, dass SMOS maßgeblich mit dafür verwendet werden kann, den Niederschlag über dem Ozean durch dessen Effekt auf den Oberflächensalzgehalt abzuschätzen. In Bezug auf Flussausströmungen bietet SMOS entsprechend die Möglichkeit, die Versüßung, die mit dem Ausstrom einhergeht, zu bestimmen, um daraus auf das Volumen des Ausstroms zu schließen. Die Assimilation von Salzgehalten in ozeanographische Modelle ist eine einzigartige Anwendung, da fernerkundete Salzmessungen, kombiniert mit weiteren Ozeandaten und Ozeanmodellen Rückschlüsse auf deren Einfluss auf die Ozeanzirkulation zulassen, gleichzeitig jedoch mit dazu beitragen, den Niederschlag über dem Ozean abzuschätzen. Hierzu wird das IfM der Universität Hamburg auf Grund der dort vorhandenen Assimilationsinfrastruktur eine Schlüsselrolle übernehmen.

Ein weiterer Schwerpunkt des IfMs ist die Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit des Ozeans auf die gemessenen Helligkeitstemperaturen, welche zur Bestimmung des Salzgehaltes essentielle Informationen liefert. Wichtige Einflussparameter sind vor allem Wind, Schaum und Oberflächenfilme. Eine bessere Kenntnis der Emissivität des Ozeans als Funktion dieser Parameter wird wesentlich zur Verbesserung der Retrievalalgorithmen dienen.

Anwendungen in der Kryosphäre

SMOS bietet die Möglichkeit Süßwassereinträge in die Polarmeere durch die mitgehende Veränderung des Salzgehaltes zu quantifizieren und kann daher einen Beitrag zu Studien, die sich mit Abschmelzprozessen der Polarkappen beschäftigen, leisten. Des Weiteren kann durch SMOS in der Arktis eine Verbesserung der Eiskonzentrationsalgorithmen, welche auf den Beobachtungen bereits existierender Mikrowellensensoren beruhen, durch die Bestimmung von Schmelztümpelkonzentrationen erfolgen. Dieses Forschungsgebiet wird von einer

Fernerkundungsgruppe des Instituts für Umweltphysik der Universität Bremen in Zusammenarbeit mit dem IfM Hamburg bearbeitet. Eine Arbeitsgruppe an der Universität Heidelberg führt Permafroststudien im Hochland von Qinghai-Tibet (mit Vegetation) und von Xinjiang-Tibet (ohne Vegetation) durch, wobei sie die Beziehung zwischen SMOS Bodenfeuchte-/Salinitätsdaten und GPR-Messungen untersuchen will. Mittelfristiges Ziel ist die Beziehung zwischen Oberflächeneigenschaften und Permafrostspiegel zu erforschen.

SMOS Anwendungen in der Landhydrologie

Die obere Bodenschicht bildet die Grenzschicht zwischen Boden, Atmosphäre und Vegetation. Die in dieser Schicht gemessene Bodenfeuchte beeinflusst somit Prozesse in allen drei Kompartimenten des Erdsystems. Der Wassergehalt des Bodens hat unmittelbaren Einfluss auf die Energie- und Feuchteflüsse an der Erdoberfläche. Er beeinflusst die Evapotranspiration von der Landoberfläche und stellt das für das Pflanzenwachstum verfügbare Wasserreservoir dar. Der Oberboden agiert als Speicher für Niederschlagswasser und die Aufnahmefähigkeit des Bodens hängt u.a. vom aktuellen Bodenfeuchteniveau ab. Im Fall hoher Bodenfeuchte ist die Aufnahmefähigkeit des Bodens gering und es kann bei stärkerem Niederschlag leichter zu Hochwasserereignissen kommen. Neben der Bodentemperatur ist die Bodenfeuchte ein wichtiger Indikator für mikrobielle Aktivität im Substrat und damit für die Geschwindigkeit vieler Abbau- und Umwandlungsprozesse (z.B. Mineralisation organischer Substanz, Nitrifikation und Denitrifikation). Somit regelt die Bodenfeuchte auch den Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre. Aufgrund der zeitlich und räumlich hohen Variabilität der Bodenfeuchte ist eine flächenhafte Messung dieser Größe schwierig. Hier bieten Satellitendaten, wie jene von SMOS, das Potential flächenhafte und zeitlich hochauflösende Informationen zu gewinnen.

Messungen der Bodenfeuchte sind wertvolle Stützen für operationelle Anwendungen in der Meteorologie und Hydrologie. Darüber hinaus wird es zahlreiche weitere Nutzungen von SMOS-Daten geben. Die Arbeitsgruppe am Max Planck Institut für Chemie Mainz wird SMOS-Bodenfeuchtedaten verwenden, um den Austausch von Spurengasen (NO, COS) zwischen Boden und Atmosphäre auf globaler Skala quantifizieren zu können. Die Satellitengruppe Mainz-Heidelberg wird die Beziehungen zwischen Bodenfeuchte und NO_x-Emissionen sowie zwischen Bodenfeuchte und Wasserdampfgehalt der Atmosphäre untersuchen. An der Universität München wird der Schwerpunkt auf der Analyse von SMOS Zeitreihen liegen. Am Max Planck Institut für Meteorologie Hamburg, der ETH Zürich sowie der Universität Frankfurt (Main) werden SMOS-Daten zur Validierung globaler und regionaler Modelle benutzt werden. Die Arbeitsgruppe der FSU Jena wird sich mit der Bewertung der SMOS-Daten für die hydrologische Modellierung im Einzugsgebiet des Limpopo in Südafrika beschäftigen. Während in Hamburg und Zürich die Klimamodellierung im Vordergrund steht, wird in Frankfurt der Schwerpunkt auf der Validierung eines globalen hydrologischen Modelles liegen.

4.2 Operationelle SMOS Anwendung

Eine operationelle Nutzung der SMOS Daten bezieht sich in Deutschland größtenteils auf die Bereiche des Deutschen Wetter Dienstes (DWD) und des Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie (BSH). Das globale Klimamodell des DWD wird erheblich von der Assimilation der Bodenfeuchtedaten profitieren, da diese Größe momentan noch nicht in die Erstellung der Klimaprognose einfließt. Das BSH sieht eine potentielle Anwendung der SMOS Daten innerhalb von operationellen Atlantikmodellen (z.B. FOAM, MERCATOR), was aber auch einer operationellen Verfügbarkeit der Salzgehaltsdaten bedarf. Diese Modelle könnten dann verbesserte Randwerte für die regionalen operationellen BSH-Modelle liefern. Für die direkte Verwendbarkeit der Daten in den operationellen BSH-Modellen der Nordsee und Deutschen Bucht ist eine höhere räumliche Auflösung notwendig.

4.3 Deutsche Kalibrierungs/Validierungsprojekte (CAL&VAL)

Die deutschen Kalibrierungs- und Validierungsbeiträge sind ein Teil des offiziellen ESA Cal&Val Projektes für SMOS. Unter den 40 vorliegenden Cal&Val Projekten wurden zwei deutsche Anträge eingereicht, von denen sich einer mit Ozean-, Eis-, und Landaspekten beschäftigt und der andere ausschließlich Landaspekte untersucht. Beide dieser Anträge wurden akzeptiert und bilden so die ersten SMOS-angewandten Forschungsprojekte Deutschlands.

Kalibrierung und Validierung im ozeanographischen Bereich

In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (NSH) plant das Institut für Meereskunde der Universität Hamburg (IfM) Studien und Messprogramme, um die natürliche Variabilität des Oberflächensalzgehaltes in verschiedenen Meeresregionen zu untersuchen, und um zeitgleich zu SMOS-Messungen in-situ-Messungen zu erheben, mit denen SMOS Salzgehaltsretrieval kalibriert und validiert werden können. Hierzu werden zunächst Modell- und in-situ-Daten ausgewertet, um räumliche und zeitliche Skalen der Salinität abzuschätzen. Die zentrale Fragestellung für die Gruppe am IfM ist jedoch, wie gut SMOS-Messungen als Funktion der geographischen Breite, bzw. der Wassertemperatur darstellbar sind. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist, wie die SMOS-Algorithmen verbessert werden können. Dafür muss untersucht werden, ob Oberflächenrauigkeit, Schaum, Wind und andere Effekte ausreichend in den Algorithmen berücksichtigt werden. Dazu ist eine Radiometerstudie auf einer Forschungs- oder Ölplattform in der Nordsee in Planung, um die L-Band Strahlung als Funktion des Salzgehaltes, der Wassertemperatur und der Oberflächenbeschaffenheit zu messen und zu charakterisieren. Gleichzeitig sollen diese Daten mit Flugzeugmessungen verglichen und genutzt werden, um den Einfluss der Atmosphäre auf SMOS Retrieval zu untersuchen.

Kalibrierung und Validierung im Kryosphärenbereich

In diesem Bereich ist eine vollständige Charakterisierung des L-Band-Signals aller unterschiedlichen Eisflächen geplant. Dieses wird dann benutzt, um verschiedene Emissivitätsmodelle, die mit mikrophysikalischen Parametern gespeist werden, mit gemessenen Emissivitätswerten zu vergleichen. Das langfristige Ziel dieser Arbeiten ist die Erstellung von Algorithmen zur Berechnung der Dicke jungen Eises und der sogenannten Schmelztümpelkonzentration. Schmelztümpel stellen die größte Fehlerquelle für Eiskonzentrationsalgorithmen dar und weisen somit auch eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung für den CO₂ Kreislauf auf. Weiterhin kann die Strahlung der Eisschilde zur externen Kalibrierung und zur Überprüfung der Langzeitstabilität von SMOS genutzt werden. Die Universität Bremen übernimmt in diesem Bereich zusammen mit dem IfM eine leitende Rolle.

Kalibrierung und Validierung im landhydrologischen Bereich

Für die Kalibrierungs- und Validierungsaktivitäten im landhydrologischen Bereich sollen in-situ Punktmessungen der Bodenfeuchte mit den Messergebnissen in SMOS-Pixeln in Bezug gesetzt, der Einfluss verschiedener Vegetationsarten auf die SMOS Messungen der Bodenfeuchte untersucht und SMOS-Daten mit Bodenfeuchteschätzungen aus anderen Quellen (aktive Sensoren, SVAT Modellergebnisse) verglichen werden. Des Weiteren wird am Meteorologischen Institut der Universität Bonn untersucht, in welchem Ausmaß die SMOS L-Band Messungen durch Abstrahlung über urbanen Zentren gestört werden und welchen Einfluss Starkregenereignisse auf die SMOS-Messungen haben. Durch das Team am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg wird versucht, aus den SMOS-Messungen der Bodenfeuchte im Oberboden jene in tieferen Schichten (bis zu 1 m) abzuleiten. Das Forschungszentrum Jülich führt in Kooperation mit der ETH Zürich L-Band Radiometermessungen am Boden durch. Auf der Feldskala wird das L-Band Signal für unbedeckten Boden, Gras und Wald sowie für gefrorenen und nicht gefrorenen Boden charakterisiert und Erkenntnisse gewonnen, wie die Helligkeitstemperatur am SMOS-Sensor über den gesamten Mischpixel durch heterogene Landschaft beeinflusst wird. Die Universität München wird umfangreiche Geländemessungen während der Kalibrierungsphase von SMOS durchführen und mit Hilfe von Landoberflächenprozessmodellen SMOS Datenprodukte validieren. Zudem sind Vergleiche mit komplementären Fernerkundungsdaten (aktive Mikrowelle, Thermalbilder) geplant. Das Umweltforschungszentrum Leipzig wird zudem umfangreiche geophysikalische Messungen zur Bestimmung von Bodenfeuchtemustern im Gelände vornehmen.

Eines der Untersuchungsgebiete (Obere Donau) wurde von der ESA im November 2006 als eines von zwei Testgebieten in Europa ausgewählt in dem intensive Cal/Val Aktivitäten für SMOS Landanwendungen erfolgen. Dies zeigt die hohe Bedeutung, die die ESA den deutschen SMOS Cal/Val Beiträgen beimisst. Weitere Aktivitäten einer Forschungsgruppe der Universität Heidelberg werden sich auf ähnliche Messkampagnen in chinesischen Gebieten konzentrieren.

5. Anforderungen der Nutzer an Bodenfeuchte- und Salzgehaltsdaten

Die verschiedenen Datenprodukte der SMOS-Mission sind für viele wissenschaftliche Fragestellungen bezüglich des Wasserkreislaufes relevant und die Anforderungen der einzelnen Arbeitsgruppen müssen mit den Daten abgeglichen werden, um festzustellen, für welche Aufgaben die SMOS-Spezifikationen ausreichend sind und für welche Anwendungen es noch Veränderungen für eventuelle Nachfolgemissionen geben muss. In den folgenden Abschnitten werden diese Anforderungen an passive L-Band Fernerkundungsmissionen in der Ozeanographie, Kryosphäre und Landhydrologie beschrieben.

Anforderungen, die sich auf alle Bereiche beziehen sind z. B. ein freies Datenformat der Produkte wie *HDF* und eine SMOS-Toolbox, um die Daten auch eigenständig verarbeiten und auswerten zu können.

Anforderungen der Ozeanographie und Kryosphäre an L-Band Daten

Die verschiedenen Anforderungen der Ozeanographie und Kryosphäre ergeben sich aus den jeweiligen Anwendungsgebieten. Für die Meeresforschung in den höheren Breitengraden ist eine gute räumliche Auflösung der Daten wichtiger als die zeitliche. Um den Salzgehaltsfehler zu reduzieren, müssen die Daten über einen längeren Zeitraum gemittelt werden. Damit das BSH Salzgehaltsdaten in die operationellen regionalen Modelle der Nordsee und der Deutschen Bucht assimilieren kann, müsste die räumliche Auflösung bei gleich bleibender zeitlicher Auflösung und einer Präzision von 0.1 psu (zumindest im Schelfbereich), 20 km x 20 km beziehungsweise 10 km x 10 km betragen. Diese räumliche Auflösung wird bei SMOS keineswegs vorliegen, beschreibt aber die generellen Anforderungen für den regionalen Bereich an Satellitenmessungen im L-Band und weist somit den Weg für zukünftige Missionen. Für die Assimilation der Daten in großskalige Ozeanmodelle ist wieder die räumliche Auflösung wichtig, so dass auch hier über einen größeren Zeitraum gemittelt werden kann, wobei eine Präzision von 0.1 psu nicht unbedingt notwendig ist. Weiterhin sind für eine Assimilation und andere quantitative Evaluierungen Fehlerkovarianzen der Daten der Salinität unbedingt erforderlich.

In der Kryosphärenforschung wird die benötigte räumliche Auflösung für die Bestimmung der Eisdicke jungen Eises auf 25 km geschätzt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch nicht absehbar, welchen Beitrag SMOS auf diesem Gebiet leisten kann. Für die Bestimmung von Schmelztümpelkonzentrationen ist eine radiometrische Auflösung der Helligkeitstemperaturen von ungefähren 0.3 K nötig. Die radiometrische Auflösung von SMOS liegt bei 0.8 bis 2.2 K (http://www.esa.int/esaLP/ESAL3B2VMOC_LPsmos_0.html), so dass die Realisierbarkeit dieser Forschungsarbeit von der Mittelung der Daten abhängt.

Anforderungen der Landhydrologie an L-Band Daten

Die einzelnen Anwender von SMOS-Datenprodukten haben unterschiedliche Anforderungen bezüglich räumlicher und zeitlicher Auflösung der Daten, Emissionstiefe der L-Band

Strahlung, Genauigkeit der Messung, sowie Länge der Messreihe. Obwohl alle potentiellen Nutzer eine möglichst hohe räumliche Auflösung der Datenprodukte wünschen, wurde die gegebene Auflösung (räumlich: 30-50 km, zeitlich: 1-3 Tage) der SMOS-Bodenfeuchteprodukte für globale oder kontinentale Studien als ausreichend eingestuft. Für Untersuchungen auf der regionalen Ebene ist die räumliche Auflösung zu ungenau. Hierfür werden Disaggregierungsmethoden (FSU Jena) bzw. Aggregierungsmethoden (Universität Heidelberg) entwickelt werden. Bodenfeuchtemessungen mit der angestrebten Genauigkeit von $0.04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ werden für die beabsichtigten Anwendungsbereiche als ausreichend bewertet.

Mehrere Nutzer (z.B. Uni Heidelberg, MPI Hamburg, Uni Frankfurt) haben jedoch die geplante Länge der operationellen Phase von 30 Monaten als zu kurz bezeichnet, um SMOS-Bodenfeuchtedaten direkt als Modelleingangsgröße zu verwenden. Viele Modellanwendungen (z.B. in der Forschung zum globalen Wandel, Untersuchung hydrologischer Extremereignisse) führen innerhalb einer solch kurzen Zeitspanne zu keinen ausreichenden Ergebnissen. Deshalb würden diese Forschungsvorhaben von einer Missionsverlängerung oder einer Folgemission in hohem Maße profitieren. Dies würde die Wahrscheinlichkeit einer direkten Datenassimilation in Modelle deutlich erhöhen. Weiterhin sehen viele Forschergruppen auf Grund der 3 Jährigen Missionsdauer die bevorzugte Anwendung der SMOS-Daten vorerst in der Validierung der durch die Modelle simulierten Bodenfeuchte. Von mehreren Nutzern (z.B. MPI Hamburg) wurde darauf verwiesen, dass die Bodentiefe, auf die sich die jeweiligen SMOS-Bodenfeuchtedaten beziehen, von hoher Wichtigkeit ist, da viele Bodenwassermodelle mehrere Schichten haben. Ob dieses aber als Beiprodukt mitgeliefert werden kann ist fraglich, da die Untersuchung der genauen Emissionstiefe noch Gegenstand aktiver Forschung ist. Viele Anwendungen (z.B. in der Vegetationsmodellierung) würden zudem davon profitieren, wenn ein Level 4-Produkt, basierend auf den SMOS-Bodenfeuchtemessungen im Oberboden die Bodenfeuchte im gesamten Wurzelraum oder bis ca. 1 m Tiefe bietet. Des Weiteren wünschen sich einige Anwender Zugriff auf zusätzliche Informationen wie die Bodentemperatur zum Zeitpunkt der Bodenfeuchtemessung (Uni Heidelberg, MPI Mainz), Schneebedeckung, Interzeptionswassergehalt und Oberflächenwasserausdehnung im SMOS-Pixel (MPI Hamburg) oder generell meteorologische Daten wie Temperatur, Niederschlag und Einstrahlung im Zeitraum der Bodenfeuchtemessung (Uni Frankfurt). Es ist somit sinnvoll den Datennutzern auch in der operationellen Phase Zugriff auf diesbezügliche Daten z.B. des ECMWF zu ermöglichen.

6. Zeitplan

Der SMOS-Start ist für Sommer 2009 geplant. Verschiedene Messkampagnen der ESA wurden aber schon im Rahmen von Cal/Val-Aktivitäten realisiert: z.B. im November 2000 die WISE-Kampagne (Wind and Salinity Experiment) im Mittelmeer, wo Radiometermessungen von einer Bohrplattform in verschiedenen Windkonditionen durchgeführt wurden oder im April 2006 die *CoSMOS-OS* Kampagne, in der Radiometermessungen von einem Flugzeug unternommen wurden, um zusammen mit ENVISAT/ASAR Daten über

Oberflächenrauigkeit und meteorologische Zustände den Salzgehalt zu bestimmen. 2008 fanden im Rahmen der "*Validation Rehearsal Campaign*" Flüge mit zwei L-Band-Radiometern (HUT-2D und AMIRAS) über Deutschland, Spanien und dem Mittelmeer statt. Die Kampagne erprobt die komplexen Prozeduren, die zur Validierung des Missions-Datensatzes genutzt werden sollen. Radiometermessungen und Bodenfeuchtemessstationen im *Upper-Danube-Testgebiet*, welches großskalige Messungen ermöglicht, da die Gebietsgröße ca. 300 SMOS Pixeln (ISEA Grid) entspricht, werden vom LMU München für SMOS-Validierungen genutzt. Weiterhin fanden Messungen und Modellierungen der Bodenfeuchte im *Rureinzugsgebiet* für SMOS Cal/Val durch die Arbeitsgruppe Jülich statt.

Das SMOS-Projektbüro wird durch Mittel des BMBF mit dem DLR als Projektträger finanziert und ist bis zum Ende der Kommissionsphase geplant, da während dieser Zeit ein Bedarf an aktiver Koordinierungsarbeit zwischen den Förderungseinrichtungen und den Forschungsinstitutionen besteht.

Diese sechsmonatige Kommissionsphase dient vor allem zur Kalibrierung und Validierung des Messsignals. Die einzelnen Cal/Val-Projekte sollten daher zu diesem Zeitpunkt in ihren Vorarbeiten soweit fortgeschritten sein, dass die Daten mit Start des Satelliten verarbeitet werden können. Vor dem Start wird ein von der ESA geplanter Cal/Val Workshop stattfinden, der als eine Generalprobe für die Kommissionsphase dient und sicherstellt, dass alle Cal/Val-Teilnehmer ihre Messkampagnen und die folgenden Auswertungen in realisierbarer Weise organisiert haben, aber auch, dass die Datenprozessoren der Bodensegmente operationell laufen.

Mit Ende der Kommissionsphase werden die Daten für die für die Wissenschaftliche Auswertung und eigentliche Forschungsarbeiten zur Verfügung stehen und die Erstellung von SMOS Zeitserien beginnt. Die Auswertung dieser Zeitserien, um eventuelle Trends wie z.B. die Versüßung der Polarmeere zu untersuchen, ist nach Ende der Mission unter Ausnutzung des gesamten Datensatzes möglich.

7. Förderungsmöglichkeiten innerhalb Deutschlands für SMOS-Aktivitäten

Die Forschungsprojekte deutscher universitärer Institute und Gruppen wurden bisher im Wesentlichen vom BMBF und der DFG gefördert.

Innerhalb des **BMBF** gibt es verschiedene Förderprogramme, die eine auf SMOS-bezogene Forschung stützen könnten. Das Sonderprogramm „Geotechnologien“ (<http://www.geotechnologien.de/>) wurde zur Förderung von physikalischen, geologischen, chemischen und biologischen Prozessstudien eingerichtet und dient so dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Geo-, Kryo- und Hydrosphäre sowie Atmosphäre und Biosphäre. Ziel ist ein verbessertes Verständnis natürlicher Prozesse und deren Wechselwirkungen, um so anthropogene Einflüsse auf das Erdsystem zu identifizieren. Ein weiterer Fokus ist aber auch die Entwicklung von Konzepten zur Nutzung der Erde und zum

Schutz der auf ihr lebenden Menschen. Das Programm ist in 13 Forschungsschwerpunkte gegliedert, von denen „Die Erfassung des Systems Erde aus dem Weltraum“ der SMOS-Forschung am nächsten liegt.

Weitere Programme des BMBFs (<http://www.foerderinfo.bmbf.de/de/166.php>) sind innerhalb des Programms „Nachhaltigkeit“ im Themenbereich „System Erde“ zu finden, was die Themen Meeresforschung, Polarforschung und Geowissenschaften abdeckt und sich in dem Bereich „Methoden und Verfahren“ direkt auf die satellitengestützte Erdbeobachtung bezieht. SMOS wird maßgebliche Beiträge zu generellen und meeresbezogenen Klimastudien aber auch zur Kryosphärenforschung liefern. Relevante Forschungsvorhaben werden durch den Themenbereich „System Erde“ gestützt. Die Rolle des Ozeans im Klimasystem bildet hier einen Schwerpunkt.

Das BMBF fördert zusätzlich deutsche Großforschungseinrichtungen, die in der Hermann-von-Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF) zusammengefasst sind. Die HGF förderte bestimmte Themen als HGF-Strategiefond-Projekte (siehe ENVOC: ENVISAT Oceanography oder SEAL: Sea Level). 2003 führte die HGF ein Helmholtz-Forschungsnetzwerk „Integriertes Erdbeobachtungssystem“. Zusammen mit dem HGF Impuls- und Vernetzungsfond bietet es die Möglichkeit, im Rahmen „virtueller Institute“ größere Forschungsprojekte zusammen mit Universitäten durchzuführen.

Die Förderung der Forschung im Rahmen von Kalibrierungs- und Validierungsaktivitäten für die SMOS-Mission wird zum größten Teil vom DLR getragen, wobei die ESA in bestimmten Fällen Finanzierungen für Messkampagnen bietet, die für den Erfolg der Mission unerlässlich sind. Die Auswertungen solcher Messkampagnen und die damit verbundenen Arbeitskosten passen nicht in das limitierte Budget der ESA für SMOS Cal&Val und werden daher vom DLR getragen.

Die **DFG** kann grundsätzlich jedes Forschungsprojekt über das sogenannte „Normalverfahren“ fördern. Darüber hinaus gibt es separate Forschungsprogramme zu bestimmten Themen. Die DFG Schwerpunktprogramme eignen sich besonders zur Förderung von Projekten mit der Beteiligung verschiedener deutscher Institute. Eine Möglichkeit der Zusammenarbeit von Universitäten und Forschungseinrichtungen bietet sich auch in sogenannten Forschergruppen, einem Arbeitsbündnis mehrerer herausragender Wissenschaftler, die gemeinsam eine Forschungsaufgabe bearbeiten. Das Forschungsvorhaben geht dabei nach seinem thematischen, zeitlichen (6 Jahre) und finanziellen Umfang über die Förderungsmöglichkeiten im Rahmen der Einzelförderung des Normal- oder Schwerpunktverfahrens weit hinaus. Nach der Durchführung des 2. SMOS Nutzerworkshops in Hamburg am 28. und 29. August 2008 unterstützt das SMOS-Projektbüro die Bildung zweier Forschergruppen, jeweils für die Landhydrologie und Ozeanographie. Die Konzeptpapiere werden derzeit mit den jeweiligen Teilnehmern erarbeitet.

Zusätzlich bestehen Möglichkeiten der Bildung ortsgebundener Sonderforschungsbereiche (SFB) und von einigen (in der Regel bis zu drei) Hochschulen gemeinsam getragener

SFB/Transregio (TRR), die von der DFG bis zu 12 Jahren gefördert werden. Weitere Informationen können der Seite:

http://www.dfg.de/forschungsfoerderung/koordinierte_programme/index.html entnommen werden.