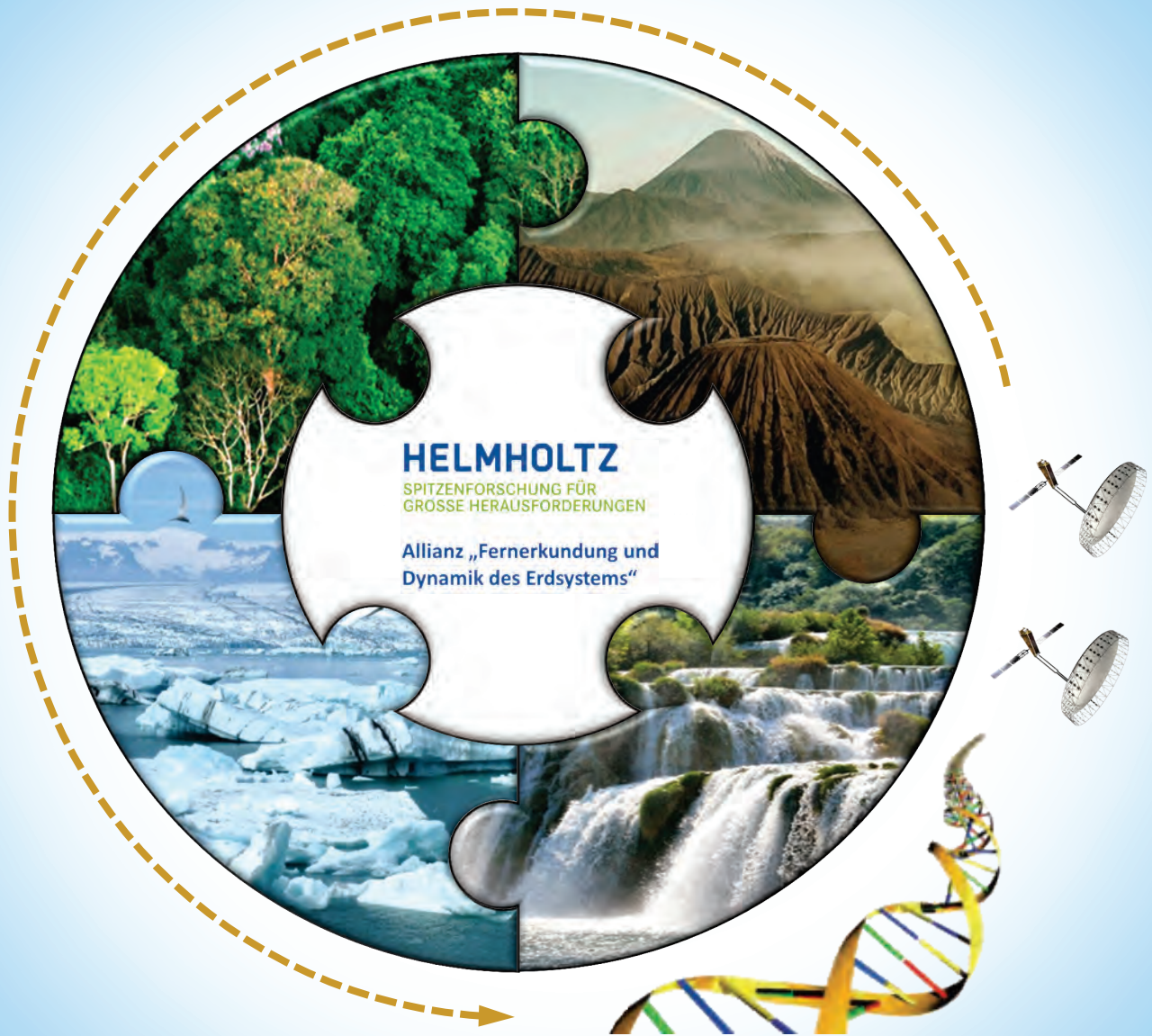




**HELMHOLTZ-ALLIANZ
FERNERKUNDUNG UND DYNAMIK DES
ERDSYSTEMS**
HELMHOLTZ ALLIANCE
REMOTE SENSING AND EARTH SYSTEM
DYNAMICS

Published by

Helmholtz Alliance 'Remote Sensing and Earth System Dynamics'

Address

Microwaves and Radar Institute
Oberpfaffenhofen
D-82234 Weßling
Germany

Editors

Dipl. Ing. Sandra Reigber
Phone: +49 8153 28 3165

Prof. Dr. Irena Hajsek
Phone: +49 8153 28 2363

Prof. Dr. Alberto Moreira
Phone: +49 8153 28 2306

Authors

Alberto Moreira (DLR), Irena Hajsek (DLR/ETHZ), Sandra Reigber (DLR),
Andreas Huth (UFZ), Kostas Papathanassiou (DLR), Rico Fischer (UFZ),
Thomas Walter (GFZ), Michael Eineder (DLR), Carsten Montzka (FZJ),
Ute Wollschläger (UFZ), Angelika Humbert (AWI), Matthias Braun (FAU)

Layout

Sandra Reigber (DLR)

Printing

Digital- & Offsetdruck Wolfertstetter KG, Gilching

Publication

Oberpfaffenhofen, November 2017

Reprinting or other use (including excerpts) only permitted after prior
agreement with the Helmholtz Alliance.

More information about the Helmholtz Alliance on web under
www.hgf-eda.de

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

Vorwort Foreword	4
Wissenslücken Missing Links	6
Die Helmholtz-Allianz „Fernerkundung und Dynamik des Erdsystems“ The Helmholtz Alliance „Remote Sensing and Earth System Dynamics“	7
Die Neuvermessung der Welt aus dem Weltall: Wälder und ihre Struktur A new view of the world: measuring forests and their structure from space	10
Wie kann man Naturgefahren besser verstehen und Risiken minimieren? How can we gain a better understanding of natural hazards and minimize the risks?	14
Wie beeinflusst die Bodenfeuchte den Wasser- und Energieaustausch zwischen Boden und Atmosphäre? How does the soil moisture affect the water and energy exchange between soil and atmosphere?	18
Mit Satellitenfernerkundung den rasanten Wandel der Kryosphäre quantifizieren Quantifying the rapid change of the cryosphere with satellite remote sensing	22
Wissenslücken schließen Closing the gaps	26
Helmholtz-Allianz in Fakten Helmholtz Alliance in facts	28
Partner und Kontakte Partners and Contacts	29



Liebe Leserinnen und Leser,

das 21. Jahrhundert stellt unsere Gesellschaft vor Herausforderungen globaler Dimension. Neben dem Klimawandel gehören Ressourcenknappheit, weltweites Bevölkerungswachstum, Umweltzerstörung und abnehmende Biodiversität zu den zentralen Problemen. Satellitensysteme können einen einmaligen Beitrag zur Lösung dieser Herausforderungen leisten, da sie eine globale Sicht unseres Planeten ermöglichen und mit ausgeklügelten Sensoren Informationen über das gesamte Erdsystem liefern. Somit können dynamische Prozesse und die damit verbundenen hoch komplexen Wechselwirkungen auf der Erdoberfläche, im Erdinneren und in der Atmosphäre besser verstanden werden. Ziel ist es, akkurate Prognosen über zukünftige Entwicklungen und den globalen Wandel aufzustellen und damit einen Beitrag für zielgerichtetes politisches und gesellschaftliches Handeln auf lokaler, regionaler und globaler Ebene zu leisten.

Um diesem Ziel näher zu kommen, wurde 2012 die Helmholtz-Allianz „Fernerkundung und Dynamik des Erdsystems“ gegründet. Sie feiert dieses Jahr ihren fünften Geburtstag. Insgesamt sind wir 140 WissenschaftlerInnen aus acht Helmholtz-Zentren, Max-Planck- und Leibniz-Instituten sowie anderen nationalen und internationalen Universitäten und Forschungseinrichtungen. Die Helmholtz-Allianz ist mit ihrer Zusammensetzung und umfassendem Forschungsspektrum über vier Erdsphären einmalig – dies hat 2015 die Helmholtz-Begutachtung mit einer hochkarätigen Besetzung bestätigt. Der Forschungsschwerpunkt in den letzten fünf Jahren lag in der Entwicklung von Algorithmen zur Bestimmung von geo-/biophysikalischen Parametern, die Informationen zur Beantwortung hochaktueller wissenschaftlicher Fragestellungen in der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre liefern. Neben dem Networking mit einer breiten internationalen Wissenschaftsgemeinde ist es uns in den letzten Jahren gelungen, 40 Doktoranden und 20 Postdocs für die Datenauswertung der nächsten Generation von Satellitensystemen zu machen. Mit diesem großartigen Team wurden viele Forschungs-Highlights erreicht, wie Sie aus dieser Broschüre entnehmen können. Ferner wurden über 150 referierte Veröffentlichungen in renommierten Zeitschriften publiziert, bereits über 30 Doktorarbeiten abgeschlossen und für unsere Forschung diverse Auszeichnungen und Preise verliehen.

Dear Readers,

As we progress into the 21st century our society is facing challenges of a global dimension. In addition to climate change, natural resource shortages, global population growth, environmental degradation and declining biodiversity are among the key issues for which solutions are urgently needed. Satellite systems offer a unique contribution to address these challenges by enabling a global view of our planet and delivering sophisticated information about the entire Earth's system through advanced sensor systems. Thus, dynamic processes and the associated highly complex processes on the Earth's surface, in the Earth's interior and in the atmosphere can be better understood. The goal is to establish accurate forecasts for future development and global change understanding, thereby contributing to targeted political and social actions at the local, regional and global levels.

In order to move closer to this goal, the Helmholtz Alliance "Remote Sensing and Earth System Dynamics" was founded in 2012. We are celebrating its fifth anniversary this year. In total, we are 140 scientists from eight Helmholtz centers, Max Planck and Leibniz Institutes as well as other national and international universities and research institutes. The Helmholtz Alliance is unique with its composition of a comprehensive research spectrum in four Earth spheres – the Helmholtz review confirmed this in 2015 through a highly renowned evaluation committee. The main areas of research in the last five years have been the development of algorithms for the estimation of geophysical and biophysical parameters, which provide valuable information to answer the most current scientific questions in the fields of biosphere, geosphere, cryosphere and hydrosphere. In addition to networking with a broad international scientific community, in recent years we have succeeded in preparing 40 doctoral students and 20 postdocs for the data evaluation of the next generation of satellite systems. With this great team many research highlights have been achieved, as you can see from this brochure. In addition, more than 150 peer-reviewed publications have been published in top-ranked international journals, 30 doctoral theses have been completed and we have received various awards and prizes for our research.

Im Fokus unserer Allianz steht Tandem-L, ein Vorschlag für eine hochinnovative Satellitenmission zur globalen Beobachtung von dynamischen Prozessen auf der Erdoberfläche in bisher nicht erreichter Qualität und Auflösung. Aufgrund seiner neuartigen Abbildungstechniken und enormen Aufnahmekapazität wird Tandem-L entscheidend zu einem besseren Verständnis des Systems Erde und seiner Dynamik beitragen. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geführten Begutachtungsprozesses für die Erstellung einer Roadmap für Forschungsinfrastrukturen wurde Mitte 2017 das Votum des Wissenschaftsrats veröffentlicht: „Von der Bildungstechnologie in der Tandem-L-Mission wird erwartet, dass sie zu innovativen Geoinformationsprodukten und -dienstleistungen führt, die das Fundament für künftige nationale und internationale Beobachtungen sowie die kontinuierliche Überwachung des Erdsystems und dessen Veränderungen legen werden.“ Mit dieser Vision arbeiten wir seit Beginn unserer Allianz und wollen in den nächsten Jahren mit großer Begeisterung und viel Innovationskraft einen entscheidenden Beitrag zu ihrer Verwirklichung leisten.

One significant focus of our Alliance has been Tandem-L, a proposal for a highly innovative satellite mission for the global observation of dynamic processes on the Earth's surface with a hitherto unachieved quality and resolution. Due to its novel imaging techniques and enormous imaging capacity, Tandem-L will contribute significantly to a better understanding of the Earth's system and its dynamics. As part of a review process led by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the establishment of a roadmap for research infrastructures, the German Science Council evaluation report was published in mid-2017 with the positive statement: "The imaging technology in Tandem-L is expected to yield innovative geo-information products and services, which can lay the foundation for future national and international observation and continuous monitoring of the Earth System and its changes." We have been working with this vision since the beginning of our Alliance and aim to deliver fundamental contributions to its realization in the next few years with great enthusiasm and a great deal of innovation.



Prof. Dr. Alberto Moreira
Direktor, DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Principle Investigator der Helmholtz-Allianz

Prof. Dr. Alberto Moreira
Director, Microwaves and Radar Institute – DLR
Principle Investigator, Helmholtz Alliance



Wissenslücken

Die Erde ist ein durch Energieflüsse und Stoffkreisläufe verbundenes dynamisches komplexes Ökosystem, dessen vielfältige Austauschprozesse auch heute noch nicht gänzlich verstanden sind. In Zeiten des beschleunigten globalen Wandels sind jedoch das Verständnis und die Quantifizierung dieser Prozesse von zentraler gesellschaftlicher Bedeutung. Globale bio- und geophysikalische Satellitenprodukte sowie ihre Integration in Erdsystem-Modelle können hierbei einen entscheidenden Beitrag liefern.

Trotz des Umdenkens in der Erdbeobachtung gibt es heute nur wenige Satellitenmissionen, die direkt umwelt- und klimarelevante Informationen mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung bereitstellen. Die Mehrzahl der Satellitenmissionen liefern Daten in Abhängigkeit von den elektromagnetischen Spektrum und keine Informationsprodukte.

Missing Links

The Earth is a huge ecosystem connected through energy flows and material cycles, whose complex exchange processes are still not fully understood today. However, in times of accelerated global change, the understanding and quantification of these processes are of central importance for human society. Global bio- and geophysical satellite products, as well as their integration into Earth system models can make a decisive contribution here.

Despite the rethinking in the Earth observation, there are only a few satellite missions today that directly provide environmentally relevant information. The majority of satellite observation missions deliver data as a function of the electromagnetic spectrum and no information products at all.



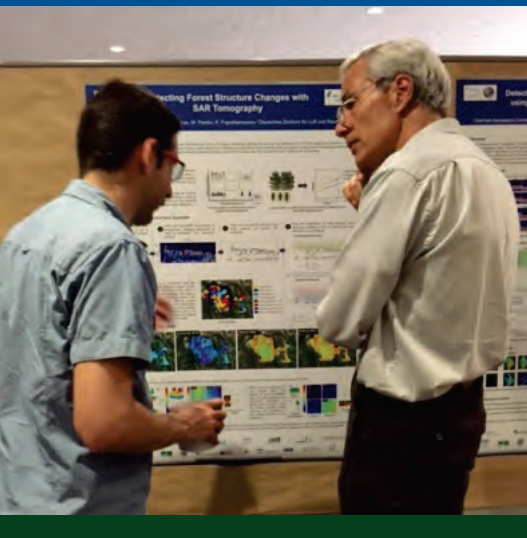
Die Helmholtz-Allianz war in jeder Hinsicht außerordentlich erfolgreich. Selten wurde eine so gut qualifizierte und engagierte Gruppe von Wissenschaftlern zusammengebracht, um einige der dringlichsten Umweltfragen unserer Gesellschaft innovativ und interdisziplinär anzugehen. Die Bemühungen der Allianz haben zu vielen neuen wissenschaftlichen Entdeckungen geführt, aber auch zu neuen Fortschritten bei der Anwendung von Fernerkundungsmethoden. Am wichtigsten ist vielleicht, dass die Allianz den immensen Wert, der durch die Implementierung der weltraumgestützten L-Band-SAR-Interferometrie in Form der Tandem-L-Mission erreicht werden kann, eindeutig demonstriert hat. Nach fünf Jahren im „External Advisory Board“ der Allianz bin ich davon überzeugt, dass eine solche Mission für die Erdbeobachtung höchste Priorität haben sollte.

The Helmholtz Alliance has been exceptionally successful by any measure. Rarely has such a well-qualified and committed group of scientists been brought together to innovatively attack some of our society's most pressing environmental questions, both within and across disciplines. The efforts of the Alliance have generated much new scientific discovery, as well as novel advances in the application of remote sensing methods. Perhaps most importantly, the Alliance has unambiguously demonstrated the immense value that will be achieved through the implementation of spaceborne L-band SAR interferometry, in the form of the Tandem-L mission. After five years of serving on the Alliance External Advisory Board, I am convinced that such a mission should be of the highest priority for Earth observation.

Prof. Dr. Ralph Dubayah, University of Maryland; Principle Investigator for the Global Ecosystems Dynamics Investigation Lidar (GEDI) Mission, External Advisory Board member of the Helmholtz Alliance

Die Helmholtz-Allianz hat sich das Ziel gesetzt, eine Verbindung zwischen den dynamischen Prozessen der Erdsysteme und der Erdbeobachtung herzustellen. Der Fokus liegt dabei auf der Erstellung von Satellitenprodukten, die als Eingangsparameter für umweltwissenschaftliche Modelle dienen. Die Satellitenprodukte müssen hierzu genauestens spezifiziert werden, um den Anforderungen der Modelle in Bezug auf räumliche Auflösung, Produktgenauigkeit, -verfügbarkeit und -abdeckung gerecht zu werden. Die Integration dieser Satellitenprodukte auf einer hochaufgelösten globalen und zeitlichen Skala revolutioniert das heutige Verständnis der dynamischen Erdsysteme.

The Helmholtz Alliance aims to establish a link between the dynamic processes of Earth systems and Earth observation. The focus is on the development of satellite products, which serve as input parameters for environmental science models. The satellite products must be specified precisely to meet the requirements of the models in terms of spatial resolution, product accuracy, availability and coverage. The integration of these satellite products on a high-resolution global and temporal scale revolutionizes today's understanding of dynamic Earth systems.



Die Helmholtz-Allianz „Fernerkundung und Dynamik des Erdsystems“

Die Helmholtz-Allianz „Fernerkundung und Dynamik des Erdsystems“, kurz EDA, ist eine Forschungsallianz mit über 140 interdisziplinären Wissenschaftlern aus acht Helmholtz-Zentren, acht Universitäten, drei außeruniversitären Forschungsinstituten, einer Bundesforschungsanstalt sowie zwei internationalen Organisationen. Das Ziel der Helmholtz-Allianz ist es, innovative globale bio- und geophysikalische Informationsprodukte zu entwickeln, wie sie durch zukünftige Generationen von Fernerkundungssystemen geliefert werden können, und diese in umweltwissenschaftliche Modelle zu integrieren.

Die Koordination der Helmholtz-Allianz wird vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen mit Prof. Dr. Alberto Moreira als Principle Investigator und Prof. Dr. Irena Hajnsek als wissenschaftliche Koordinatorin durchgeführt. Das Forschungsprogramm umfasst zum aktuellen Zeitpunkt eine Dauer von fünf Jahren. Im Januar 2013 wurde mit der Arbeit begonnen.

Aufgrund der führenden Kompetenz Deutschlands in der Radarfernerkundung sowie im Hinblick auf die beim Bundesministerium für Bildung und Forschung beantragte Erdbeobachtungsmission Tandem-L wurde der Fokus in der Allianz auf Radarsatelliten gelegt. Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich dabei auf folgende Themen im Bereich der Biosphäre, Geosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre.

- Biosphäre: Erfassung der globalen Waldstruktur und der Biomassedynamik für die Wald- und Biodiversitätsüberwachung sowie als Eingangsvariable für die Quantifizierung des globalen Kohlenstoffkreislaufs;
- Geosphäre: Millimetergenaue Messung topographischer Veränderungen zur Verbesserung des Verständnisses von Erdbeben-, Vulkan- und Hangrutschungsaktivitäten;
- Hydrosphäre: Messung der Oberflächenbodenfeuchte und deren Variationen bei hoher räumlicher Auflösung in Bezug auf hydrologische Modelle bzw. den globalen Wasserkreislauf;
- Kryosphäre: Schätzung der Schmelz- und Veränderungsprozesse in Schnee, Eis, Meereis und Permafrost im Hinblick auf den globalen Klimawandel.

In Bezug auf diese zentralen Themen konnten in den letzten fünf Jahren viele herausragende wissenschaftliche Ergebnisse innerhalb der Helmholtz-Allianz erzielt werden. Diese spiegeln sich in über 150 referierten und zum Teil prämierten Publikationen wieder.

The Helmholtz Alliance “Remote Sensing and Earth System Dynamics”

The Helmholtz Alliance “Remote Sensing and Earth System Dynamics”, abbreviated to EDA, is a research alliance with more than 140 interdisciplinary scientists from eight Helmholtz Centres, eight universities, three non-university research institutes, a Federal Research Institute and two international organisations. The aim of the Helmholtz Alliance is the development of innovative global bio- and geophysical information products that can only be delivered by a new generation of remote sensing satellites, and their integration into environmental science models.

The Helmholtz Alliance is coordinated by the German Aerospace Center (DLR) in Oberpfaffenhofen with Prof. Dr. Alberto Moreira as principle investigator and Prof. Dr. Irena Hajnsek as scientific coordinator. The research programme currently covers a period of five years. The collaborative work began in January 2013.

Due to Germany's leading competence in radar remote sensing and the Earth observation mission Tandem-L applied for at the Federal Ministry of Education and Research, the focus within the project is set on radar satellites. The research activities focus on the following topics in the field of biosphere, geosphere, hydrosphere and cryosphere:

- Biosphere: Global forest structure and biomass dynamics are evaluated for forest and biodiversity monitoring and the quantification of the global carbon cycle;
- Geosphere: The ability to measure topographic variations with millimetre accuracy is explored for improving the understanding of earthquake, volcano and landslide activities;
- Hydrosphere: The quantification of soil moisture and its variations at high spatial resolution is assessed with respect to hydrological models and the global water cycle;
- Cryosphere: The estimation of melting and change processes in snow, ice, sea ice and permafrost is assessed in terms of the global climate change.

With regard to these key topics, many outstanding scientific results have been achieved over the past few years by the Helmholtz Alliance. These results are reflected in 150 reviewed and partly awarded publications so far.

Darüber hinaus ergaben sich im Laufe der letzten fünf Jahre durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Wissenschaftler vielfältige Querverbindungsaktivitäten, deren Ergebnisse von themenübergreifender Relevanz sind.

Die Förderung des wissenschaftlichen Austauschs zwischen den beteiligten Partnerorganisationen stellt eine der wichtigsten Networking-Aktivitäten der Allianz dar. Erreicht wird dies sowohl durch die Organisation von regelmäßigen Workshops, Seminaren und Sommerschulen als auch durch die Planung und Durchführung gemeinsamer Feldkampagnen. Es hat sich zum Beispiel gezeigt, dass die Festlegung auf bereits etablierte Testgebiete zu wertvollen Synergieeffekten zwischen den einzelnen Wissenschaftlern führt.

In addition, the interdisciplinary collaboration between the scientists of the Helmholtz Alliance has resulted in a variety of cross-linking activities and the attained results are of cross-relevance for all Alliance topics.

The promotion of scientific exchange between the participating partner institutes is one of the most important management activities of the Helmholtz Alliance. This is achieved by organising annual workshops, seminars and summer schools as well as by planning and conducting joint field campaigns. For example, it has been shown that the establishment of common test sites leads to valuable synergy effects between the scientists of different work packages and research facilities.



Wir befinden uns derzeit in einem Wandel in der Erdbeobachtung. So werden Satellitenprodukte nicht mehr nur noch als wissenschaftliches Spielzeug sondern als verlässliche Datengrundlage anerkannt und auch genutzt. Hieraus entstand die Idee der Helmholtz-Allianz, eine Gemeinschaft zu bilden, die sich zum Ziel gesetzt hat, aus Satellitendaten Informationsprodukte zu entwickeln. Dabei haben wir uns nicht nur auf einen speziellen Bereich konzentriert, sondern wollten gleich Verbindungen zwischen den verschiedenen Erdsystemen bilden. Insgesamt haben wir diese Herausforderung gut gemeistert. Wir konnten während unserer Allianz nicht nur Satellitenprodukte definieren und entwickeln, sondern auch eine gemeinsame Sprache finden und lernten die Anforderungen der anderen zu verstehen.

We are currently undergoing a change in Earth observation. Satellite information products are no longer only recognised and used as scientific toy but also as a reliable data basis. The Helmholtz Alliance was born from this idea to form a community with the aim to develop information products from satellite data. Here, we did not only concentrate on a specific area, but also wanted to establish connections between the different Earth systems. Overall, we have mastered all the challenges very well. Within the framework of our alliance, we have not only defined and developed satellite products, but also found a common language and learned to understand the needs of others.

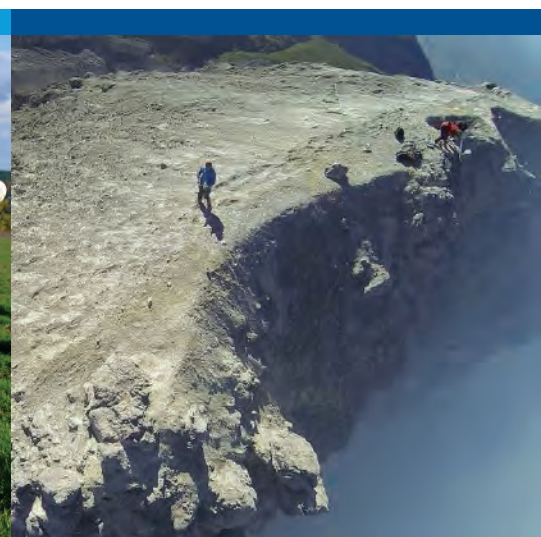
*Prof. Dr. Irena Hajsek, ETH Zurich and German Aerospace Center;
Scientific Coordinator of the Helmholtz-Alliance*

Darüber hinaus bildet die Allianzwoche, welche jährlich in Garmisch-Partenkirchen durchgeführt wird, ein wichtiges Forum zum Ideenaustausch und zur Planung künftiger Projektvorhaben. Innerhalb von vier Tagen erhalten alle Teilnehmer einen tiefen Einblick in den laufenden wissenschaftlichen Fortschritt der verschiedenen Arbeitspakete. Ein Schwerpunkt des Treffens liegt auf der Vernetzung und Diskussion der Wissenschaftler untereinander. Dadurch wird zum einen das Verständnis zwischen den verschiedenen Forschungsaktivitäten unterschiedlicher Sphären gefördert und zum anderen werden Kooperationen intensiviert und konkrete Empfehlungen zur Verbesserung der Projektergebnisse formuliert.

Bisher nahmen jährlich bis zu 100 Wissenschaftler aus allen Partnerinstituten, sowie dem „External Advisory Board“ und dem „User Advisory Board“ an dieser Veranstaltung teil. Beide Gremien, be-

In addition, the Alliance Week, which is held annually in Garmisch-Partenkirchen, is an important forum for exchanging ideas and planning future projects. Within four days, all participants could get a deep insight into the ongoing scientific progress of the various work packages. An emphasis of the meeting is set on networking and discussion among scientists. On the one hand, this significantly improves the understanding between the different work packages of different spheres and on the other hand, cooperations are intensified and concrete recommendations for the improvement of the project results are formulated.

So far, up to 100 scientists from all partner institutes, as well as the "External Advisory Board" and the "User Advisory Board" have participated in this event every year. Both committees, consisting of ten internationally renowned experts, were assem-



stehend aus zehn international renommierten Experten, wurden exklusiv für die Helmholtz-Allianz zusammengestellt, um den wissenschaftlichen Fortschritt, den Stellenwert der Forschung im internationalen Vergleich sowie die Relevanz der Ergebnisse für potentielle Nutzer zu bewerten. Am Ende der Tagung geben die Experten jeweils ihr Feedback dazu ab. Bis jetzt konnte die Helmholtz-Allianz die Gutachter jährlich in allen drei Bereichen positiv überzeugen.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Allianz ist die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, welcher über die individuellen Maßnahmen der einzelnen Forschungspartner hinausgehen soll. Schon zu Beginn der Allianz wurden dazu der „Young Scientist Day“, das „Expert Programm“ sowie das „Doktorandenaustauschprogramm“ etabliert. Der „Young Scientist Day“, welcher jährlich im Vorfeld der Allianzwoche stattfindet, bildete ein wesentliches Forum zum wissenschaftlichen Austausch der Jungwissenschaftler untereinander.

Im Rahmen des „Expert Programms“ werden international anerkannte Wissenschaftler als Keynote-Sprecher zur Allianzwoche eingeladen. Die Jungwissenschaftler profitierten hierbei von dem umfangreichen Fachwissen der Experten und haben gleichzeitig die Möglichkeit zum wissenschaftlichen Austausch. Im Rahmen des Doktorandenaustauschprogramms wird jeder Nachwuchswissenschaftler angehalten, mindestens einmal während seiner Promotionslaufzeit ein Partnerinstitut für mindestens eine Woche zu besuchen. Im Laufe der letzten fünf Jahre nahmen insgesamt 31 Doktoranden und Postdocs an diesem Weiterbildungsprogramm teil.

Die Aktivitäten in der Allianz sind auch in anderen großen Forschungsprogrammen der Helmholtz-Gemeinschaft integriert, wie zum Beispiel TERENO, ACROSS und MOSES. Darüber hinaus sind Mitglieder der Allianz in einer Reihe von internationalen technischen und wissenschaftlichen Gremien (z.B. BIOMASS Mission Advisory Group, Sentinel-1 Mission Advisory Group, CEOS SAR Calibration Subgroup, IEEE GRSS Instrumentation and Future Technologies, etc.) involviert. Mit dieser Beteiligung konnte die Allianz wertvolle Inputs für das Forschungsprogramm gewinnen sowie gleichzeitig die Forschungsaktivitäten auf internationaler Ebene vertreten.

Resümierend kann festgestellt werden: Durch die Helmholtz-Allianz wird auf international einzigartige Weise die Expertise von Radar-Fernerkundungsspezialisten mit der von Naturwissenschaftlern und Modellierern verknüpft. Für die beteiligten Forschungseinrichtungen bietet sich damit die einmalige Gelegenheit, interdisziplinäres Know-how zu verbinden und eine neue Generation junger Wissenschaftler auszubilden. Darüber hinaus wird die Kooperation zwischen den Forschungseinrichtungen der Helmholtz-Programme „Erde und Umwelt“ sowie „Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr“ wesentlich intensiviert, sodass die Helmholtz-Allianz heute eine wichtige Schnittstelle zwischen den beiden Programmen darstellt.

bled exclusively for the Helmholtz Alliance in order to evaluate scientific progress, the significance of research in an international comparison and the relevance of the results for potential users. Concerning this matter, the experts give their feedback at the end of the meeting. Up to now, the Helmholtz Alliance has always been able to convince the experts in all three areas.

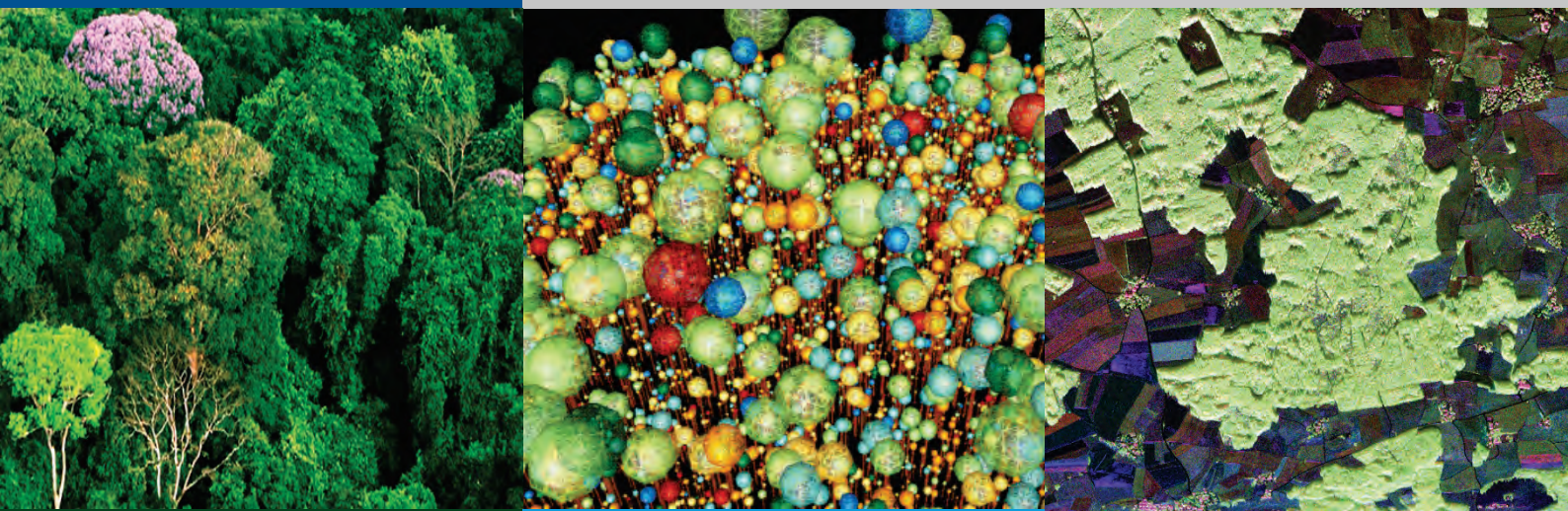
Another important task of the Alliance management is the promotion of young academics, which should go beyond the individual graduate, training and education programs of the Alliance partners. Already at the beginning of the Alliance project the "Young Scientist Day", the "Expert Program" and the "Doctoral Exchange Program" have been established. The "Young Scientist Day", which takes place annually in the run-up to the Alliance Week, is an essential forum for the scientific exchange of young scientists.

Within the framework of the "Expert Programme", internationally renowned scientists are invited as keynote speakers to the Alliance Week. The young scientists benefited from the leading expertise and at the same time had the opportunity to engage in scientific exchange. As part of the doctoral exchange programme, every graduate or post-graduate student have been encouraged to visit a partner institute for at least one week during the course of the Alliance project. Over the last five years, a total of 31 doctoral students and postdocs have participated in this continuing education programme.

The activities in the Alliance are also integrated in other major research programs of the Helmholtz Association, such as TERENO, ACROSS and MOSES. In addition, members of the Alliance are involved in a number of international technical and scientific committees (e.g. BIOMASS Mission Advisory Group, Sentinel-1 Mission Advisory Group, CEOS SAR Calibration Subgroup, IEEE GRSS Instrumentation and Future Technologies, etc.). With this participation, the Alliance has been able to gain valuable inputs for the research program, as well as to internationally promote its research activities.

In all: the Helmholtz Alliance combines the expertise of radar remote sensing specialists with that of natural scientists and modellers in an internationally unique way. For the participating research institutes, this offered the opportunity to combine interdisciplinary know-how and to train a new generation of young scientists. In addition, the cooperation between the research institutions of the Helmholtz programmes "Earth and Environment" and "Aeronautics, Space and Transport" has been considerably intensified, so that the Helmholtz Alliance is now an important interface between these two programmes.





Die Neuvermessung der Welt aus dem Weltall: Wälder und ihre Struktur

Wälder binden große Mengen an Kohlenstoff und bilden daher eine wichtige Komponente im globalen Kohlenstoffkreislauf. Die Wälder der Erde können sehr unterschiedliche Strukturen aufweisen. Folglich sind Biomasse und Kohlenstoffflüsse oft räumlich variabel und schwierig zu erfassen. Um Waldeigenschaften großflächig erfassen zu können, werden daher neue globale Beobachtungstechniken benötigt. Die Radarfernerkundung ist derzeit die einzige Fernerkundungstechnik, welche hochauflösende Messungen der Waldstruktur ermöglicht, da Radarwellen die besondere Eigenschaft haben auch mehrere Vegetationsschichten durchdringen zu können.

In der Helmholtz-Allianz wurden umfangreiche Forschungsarbeiten zu 3D-Radarmessungen durchgeführt. Die Forschungsaktivitäten lassen sich in drei Bereiche einteilen: (1) beginnend bei der Schätzung von Waldparametern aus Radardaten, (2) die Verwendung dieser Waldparameter, um ökologische Indikatoren abzuleiten, bis zu (3) der Kopplung dieser Messungen mit Waldsimulationsmodellen.

In unseren Studien konnten wir zeigen, dass Waldstruktur ein wesentliches Element zur Charakterisierung des Zustands von Wäldern ist. Eine genaue Vermessung der Waldstruktur ermöglicht die Bestimmung von Waldbiomasse durch Fernerkundung in bisher nicht dagewesener Qualität. Es wurden neue Verfahren entwickelt, mit denen die vertikale und horizontale Struktur von Wäldern quantifiziert werden kann (siehe Abbildung rechts). Die entwickelten Methoden haben auch das Potenzial, moderne Aspekte der Waldökologie – weit über Biomasse und Produktivität hinaus – mit Fernerkundung zu verbinden.

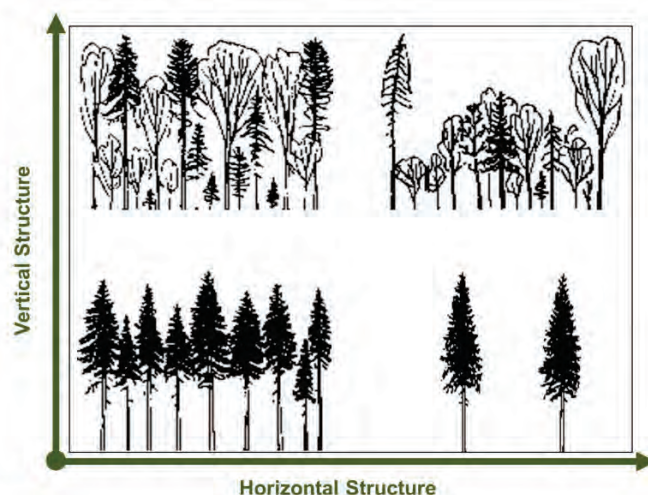
Schätzung der Waldstruktur durch Fernerkundung

Waldbestände können durch Radar-Fernerkundung in verschiedene Strukturtypen klassifiziert werden. Hierzu wurden neue Methoden für die Analyse von 3D-Radarsignaturen entwickelt. Der Ansatz wurde erfolgreich für Wälder mit unterschiedlichen Strukturen getestet sowohl in Europa als auch in den Tropen. Das gleiche Konzept wurde auch verwendet, um anthropogene oder natürliche Veränderungen in der Waldstruktur zu erkennen. Die obere rechte Abbildung zeigt ein polarimetrisches Radarbild eines Waldes in Traunstein, dessen vertikale strukturelle Veränderung zwischen 2008 und 2012 anhand der Abbildung auf Seite 11 (oben) ersichtlich wird. Die entsprechenden Waldtypen wurden dabei aus 3D-Radarmessungen abgeleitet und dem entsprechenden Klassifikationsschema (Abbildung rechts) zugeordnet. Die detektierten Strukturveränderungen beruhen auf der Ausdünnung älterer Waldbestände.

A new view of the world: measuring forests and their structure from space

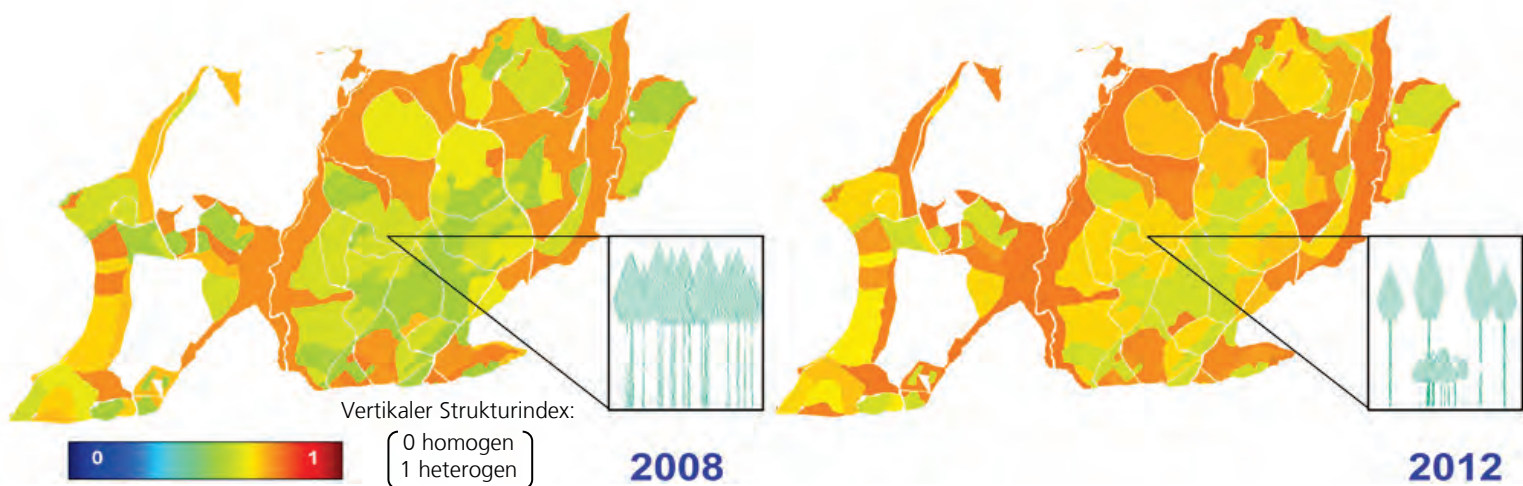
Forests are an important component in the global carbon cycle. Global forests are characterized by complex patterns and structures. Consequently, biomass stocks and carbon fluxes are variable in space which is a challenge for current measurements. To reduce this uncertainty, we need new monitoring techniques at global scale. Radar remote sensing is currently the only remote sensing technique that is able to provide global high-resolution measurements and is sensitive to the structure of forests. This is due to the penetration capability of radar into and through vegetation layers.

In this context, the Helmholtz Alliance explored unique opportunities arising from 3D radar measurements and their integration in the context of actual research activities. This has been attempted at different levels (1) starting at the estimation of forest parameters from radar data, (2) then using these forest parameters to derive significant ecological indicators, up to (3) the extrapolation of forest dynamics in space and time.



Entwickeltes Konzept zur Klassifikation von Waldstrukturen mittels Fernerkundung. Der vertikale Strukturindex unterscheidet zwischen homogenen und heterogenen (mehrschichtig) Wäldern, der horizontale Index beschreibt unterschiedliche Baumdichten (von dicht bis dünn besiedelt).

Established classification scheme for the classification of forest structures by remote sensing. Vertical structure types are classified from homogeneous to heterogeneous and horizontal structure types from dense to sparse.



Neu etablierter Megaplot Traunstein

Große Monitoringflächen im Wald, auf denen alle Bäume mit ihren räumlichen Positionen erfasst werden, sind selten, aber unverzichtbar als Teststandorte für die Fernerkundung. Terrestrische Waldinventuren, die große Flächen abdecken, wie z.B. die deutsche Bundeswaldinventur, stützen sich auf relativ kleine Stichprobenpunkte, die entlang eines Rasters mit relativ großen Abständen angeordnet sind. Dies erschwert die Bewertung von Waldfern-erkundungsprodukten. Als eine Aktivität der Helmholtz-Allianz wurde ein einzigartiges Testgebiet in Froschham bei Traunstein, Bayern etabliert (siehe Abbildung S. 12). Auf der 25 Hektar großen Monitoringfläche wurden mehr als 30.000 Bäume vermessen und Befliegungen mit Radar- und Lidarinstrumenten durchgeführt (alle erhobenen Daten sind frei verfügbar). Dieser Wald wird auch in Zukunft als wichtiges Referenzgebiet zur Verfügung stehen. Der Megaplot Traunstein wurde in das renommierte ForestGeo-Netzwerk des Smithsonian Institute, Washington, aufgenommen. Erkenntnisse aus dieser und weiteren Kampagnen, beispielsweise in Deutschland (TERENO Gebiet Hohes Holz, Roda Einzugsgebiet) und auch in Afrika (AfriSAR-Kampagne in Gabun in Zusammenarbeit mit NASA und ESA), führen zu einem erheblich verbesserten Verständnis der Zusammenhänge zwischen Waldstruktur, Waldbiomasse und Kohlenstoffflüssen.

Forest structure has been recognized as an important element to describe the state of forests. It allows for improving forest biomass estimates and has the potential to connect modern aspects of forest ecology – far beyond biomass and production – to remote sensing. A new concept has been established that is able to describe the variety of forest structural types using horizontal and vertical descriptors (e.g. tree height heterogeneity) to interpret the 3D radar signature in terms of forest structure and to establish a common framework for field inventory and remote sensing data.

Estimating Forest Structure from Remote Sensing

The concept of classifying forest stands into different structure types has been linked to the reconstructed 3D radar signature by developing novel processing methodologies. The framework has been successfully validated with a number of temperate and tropical sites of very different forest structure types. The same concept has been used to demonstrate the ability of horizontal and vertical structure indices, derived from 3D radar reflectivity, to detect anthropogenic or natural changes in forest structure. The upper right image of page 10 shows a polarimetric radar image of a forest in Traunstein. Its structural change between 2008 and 2012 is shown in the upper figure of this page. The correspon-

Interferometrische Verfahren haben schon oft die Wissenschaft revolutioniert. Jetzt können sie uns helfen, die globalen Wälder und deren Dynamik besser zu verstehen. Tandem-L wird die globale Wald- und Klimaforschung nachhaltig verändern, indem es Radartomogramme der globalen Wälder erstellen wird. Das ist wirklich außergewöhnlich. Es wird uns helfen zu verstehen, welche Wälder wie stark gestört sind und welche Rolle sie im globalen Kohlenstoffkreislauf spielen. Die Allianz hat die Rahmenbedingungen für diese großartigen Möglichkeiten geschaffen.

Interferometric techniques revolutionized science several times in history. Now they can help us to strongly increase our knowledge on global forests and its change in time. Tandem-L will sustainably change global forest and climate research by providing time series of radar tomograms of the world's forests. That's really extraordinary. It will allow us to assess where and how much forest is disturbed and to decide about the role they play in the global carbon cycle. The Alliance has highly contributed for exploring these new techniques.

Prof. Dr. Andreas Huth, Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ);
Research Topic Speaker Biosphere, Deputy Scientific Coordinator of the Helmholtz Alliance



Verknüpfung von Fernerkundung und Waldmodellierung

Die Verknüpfung von Waldmodellen mit Daten aus der Fernerkundung ist noch immer eine Herausforderung. Es gibt zwei wesentliche Möglichkeiten dies durchzuführen: man kann einerseits Produkte aus der Fernerkundung zum Initialisieren von Wald-

ding classes were derived from 3D radar measurements and assigned to the established classification scheme. The detected structural changes are due to thinning activities of older forest stands.

modellen nutzen (z.B. für Prognosen) oder alternativ mit Waldmodellen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Waldeigenschaften untersuchen (z. B. für Biomasse und Produktivität). Beide Ansätze wurden in der Helmholtz-Allianz verfolgt.

Fernerkundung ermöglicht die großflächige Anwendung von Vegetationsmodellen. Mit hochauflösenden Waldmodellen können vielfältige Waldeigenschaften abgeschätzt werden (z. B. Produktivität, Kohlenstoffbindung, Wasserflüsse). In einer aufwendigen Studie konnte gezeigt werden, dass sich durch die Kombination eines Waldmodells (FORMIND) mit Fernerkundung detaillierte Karten zu den Kohlenstoffvorräten und -flüssen im Amazonas ableiten lassen (siehe Abbildung S. 13). Durch diesen neuen Ansatz ist es möglich, jeden einzelnen Baum im Amazonas zu simulieren, insgesamt 410 Milliarden Bäume.

Es zeigte sich, dass die Wälder im Amazonasgebiet derzeit jährlich 20 Gt Kohlenstoff durch Photosynthese binden (Bruttoprimärproduktion) und große Mengen an oberirdischer Biomasse (77 Gt) speichern. Unter den gegenwärtigen Bedingungen bildet der Amazonas daher eine wichtige Kohlenstoffsenke. Das entwickelte Konzept zur Verbindung von Fernerkundung und Waldmodellen ist

New Megaplot Traunstein

Large monitoring areas in the forest, on which all trees including their spatial positions are recorded, are rare but highly important as test sites for remote sensing. The lack of such a large plot in Germany was a strong impediment for evaluating forest remote sensing products with terrestrial forest survey data. Therefore, as an activity of the Helmholtz Alliance project, a large permanent research plot was established as a new super test site (25 ha, 30,000 measured trees in a highly diverse structured forest; see Figure below) – including even- and uneven-aged forest stands. This megaplot is highly valuable as a permanent reference for remote sensing as well as for the understanding of large scale forest structure. In 2016, a full inventory was realized including every tree's position. In addition, radar and lidar (airborne and UAV) campaigns have been conducted (all collected data are freely available). Since 2017, this research plot is part of the global Smithsonian Tropical Forest Institute Network (ForestGEO). Insights gained from these and other campaigns, for example in Germany (e.g., TERENO site Hohes Holz, Roda catchment) and in Africa (AfriSAR campaign in Gabon together with ESA and NASA), lead to a considerably improved understanding of the links between forest structure, forest biomass and carbon fluxes.

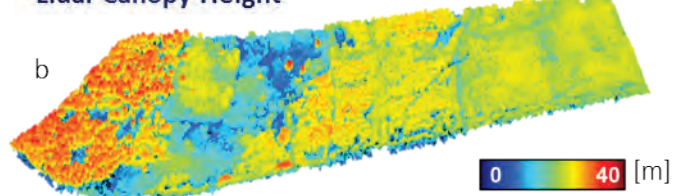
Optical Image

a



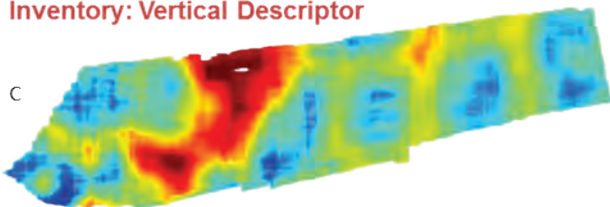
Lidar Canopy Height

b



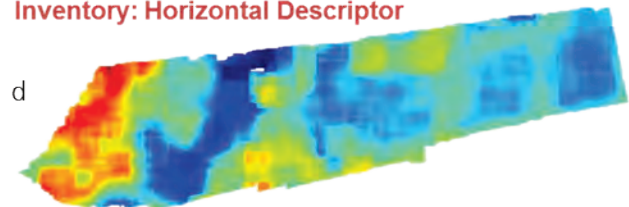
Inventory: Vertical Descriptor

c



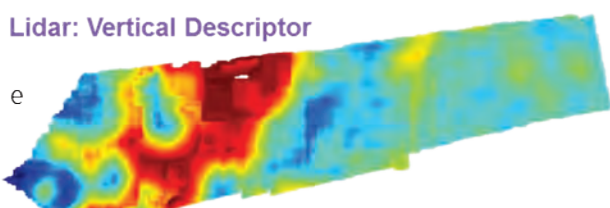
Inventory: Horizontal Descriptor

d



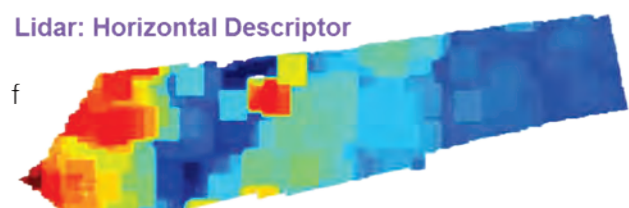
Lidar: Vertical Descriptor

e



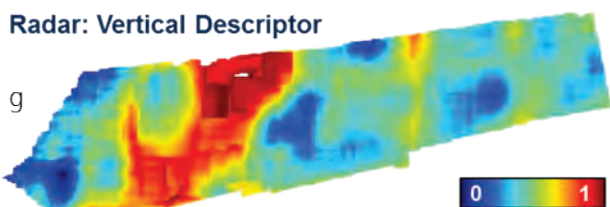
Lidar: Horizontal Descriptor

f



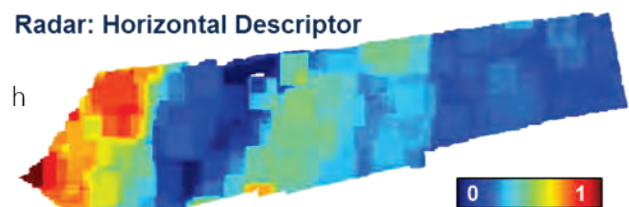
Radar: Vertical Descriptor

g



Radar: Horizontal Descriptor

h



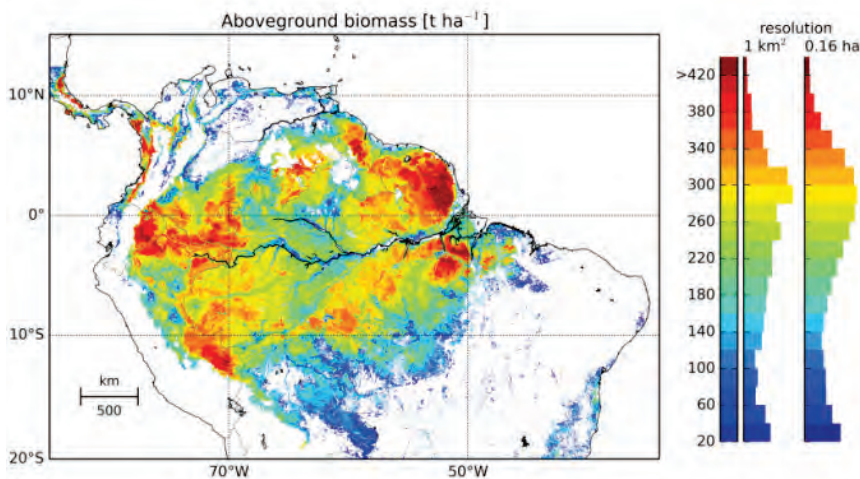
Traunstein Megaplot: Luftbild vom Waldgebiet (a); aus Lidar-Daten abgeleitete Waldhöhen (b); vertikale und horizontale Strukturkarten, aus Bestandsdaten (c,d); Lidar- (e,f) und Radarmessungen (g,h) abgeleitet. Der verwendete Index zur Charakterisierung der Waldstruktur kann Werte zwischen 0 (Vertikaler Index: heterogen; Horizontaler Index: dicht) und 1 (Vertikaler Index: homogen; Horizontaler Index: dünn) annehmen.

Traunstein megaplot: Optical Image of the Traunstein forest (a); lidar derived canopy height map (b); vertical and horizontal structure maps derived from the inventory data (c,d), lidar measurements (e,f) and radar measurements (g,h). The index used to characterize the forest structure varies between 0 (vertical index: heterogeneous; horizontal index: dense) and 1 (vertical index: homogeneous; horizontal index: thin).

generisch und übertragbar auf andere Regionen. Es kann leicht erweitert werden, um unter anderem hochaufgelöste Informationen über die Struktur von Wäldern zu integrieren.

Mit Methoden der Fernerkundung können bisher nur wenige Waldeigenschaften direkt gemessen werden. Deshalb wurden in der Helmholtz-Allianz Waldmodelle verwendet, um Beziehungen zwischen verschiedenen Waldeigenschaften zu untersuchen (z. B. Waldhöhe, Biomasse). Durch die Simulation von 400.000 verschiedenen Waldbeständen (Forest Factory – Ansatz) wurde ein breites Spektrum von Waldeigenschaften untersucht und ermittelt, wie diese mit der horizontalen und vertikalen Waldstruktur zusammenhängen. Aber auch der Einfluss von Störungen und Management spielt eine große Rolle für diese Beziehungen. Die Verwendung von diesen Relationen wird die Bestimmung von Waldbiomasse und Produktivität durch Fernerkundung erheblich verbessern.

Insgesamt haben die Forschungsaktivitäten der Helmholtz-Allianz wesentlich dazu beigetragen, die globale Vermessung von Wäldern durch innovative Radartechniken zu ermöglichen und hierbei verschiedene Disziplinen einzubinden. Moderne Radartechniken werden unser Wissen über die Wälder der Erde und den globalen Kohlenstoffkreislauf wesentlich verbessern.



Hochauflösende Biomassekarte vom Amazonas-Regenwald und Häufigkeitsverteilungen (rechts) für 1 km Auflösung bzw. 40 m Auflösung durch Verknüpfung von Fernerkundung und Vegetationsmodellierung (Rödig et al. 2017, Global Ecology and Biogeography).

High resolution biomass map for the Amazon rainforest and frequency distributions of biomass (right) at 1 km resolution and at 40 m resolution derived from linking remote sensing with vegetation modelling (Rödig et al. 2017, Global Ecology and Biogeography).

Linking Remote Sensing and Forest Modelling

Linking forest models with remote sensing is still a challenge and can be confronted in two ways: by either using remote sensing products to initialize existing forest models (e.g., for predictions) or alternatively, by using forest models to explore relationships between forest attributes (e.g., for forest height and biomass). Both approaches were explored within the Helmholtz Alliance.

First, we used remote sensing data to establish large-scale applications of local forest models. The advantage of using a local forest model at the large scale is that it brings along information on many different forest attributes (e.g. productivity, carbon sequestration, water fluxes). In combination with remote sensing (here forest height), this enables the derivation of high-resolution maps of carbon stocks and fluxes – which was conducted for the whole Amazon. By linking remote sensing and forest modelling, it is possible to simulate each tree in the Amazon region. Finally, the growth of more than 410 billion trees could be analysed. According to this approach, forests in the Amazon store high amounts of above-ground biomass (77 Gt of carbon) and have an annual productivity of 20 Gt (gross primary production). The study shows that the Amazon represents an important carbon sink under current conditions. The developed framework is generic and could easily be expanded to integrate high resolution information on structure of forests.

Secondly, forest models have been used for exploring relationships between forest attributes which can be measured by remote sensing and other forest attributes (e.g. forest height vs. above-ground biomass). By simulating 400,000 different forest stands (so called ‘Forest Factory’ approach), a wide range of remote sensing metrics were correlated with horizontal and vertical forest structure indices and were also analyzed for forest biomass estimations.

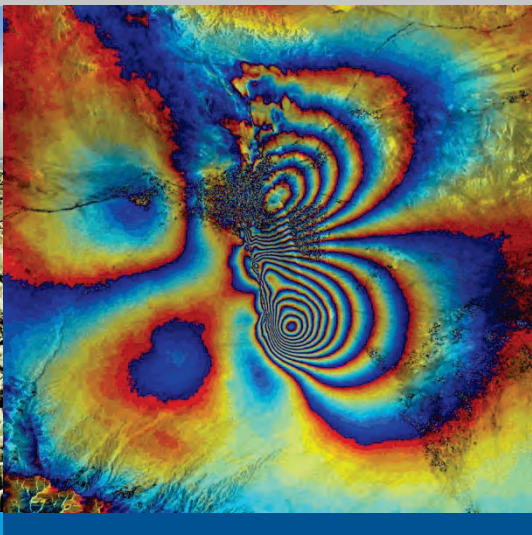
In a nutshell, the Helmholtz Alliance contributed to improving remote sensing methods for multi-criterial global forest surveys and thus to a better understanding of forest dynamics worldwide. The outcomes of the alliance’s endeavors will have significant implications for future climate change research.

Durch die Kombination von Satellitenprodukten und Waldmodellen ist es uns gelungen hochaufgelöste Karten von Kohlenstoffvorräten und -flüssen im Amazonas-Regenwald zu erstellen. Unsere Methodik dient als Grundlage zur Verbesserung von Kohlenstoffschätzung auf regionaler bis globaler Skala. Zusammen mit innovativen Konzepten, die von meinen Kollegen der Helmholtz-Allianz auf lokaler Skala erforscht wurden, und Satellitenmissionen wie Tandem-L werden wir Kohlenstoffvorräte und -flüsse zukünftig sogar noch besser abschätzen können. Somit könnten Unsicherheiten im globalen Kohlenstoffkreislauf hinsichtlich Vegetation erheblich reduziert werden.

By combining satellite products and forest models, we have succeeded in producing high-resolution maps of carbon stocks and fluxes for the Amazon rainforest. Our methodology serves as a basis for improving carbon estimates on a regional to global scale. Together with innovative ideas, that have been explored at a local scale by my colleagues from the Helmholtz Alliance, and satellite missions such as Tandem-L, we will be able to derive even better estimates of carbon stocks and fluxes in the future. Thus, uncertainties in the global carbon cycle regarding vegetation could be strongly reduced.

Dr. Edna Rödig, Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ); graduated young scientist of the Helmholtz Alliance





Wie kann man Naturgefahren besser verstehen und Risiken minimieren?

Der geologischen Aktivität der Erde, mit gebirgsbildenden, vulkanischen und massebewegenden Prozessen, ist letztlich auch die Atmosphäre und das Leben auf dem Planeten zu verdanken. Naturgewalten haben schon frühe Humanoiden dazu gezwungen, Standorte zu wechseln und zu anderem Terrain zu migrieren, wie jüngste Ergebnisse an vulkanischen und tektonischen Beispielen in Kenia zeigten. Wie ist allerdings die moderne Gesellschaft auf Naturgefahren eingestellt, und wie können die geologischen Prozesse global überwacht und untersucht werden?

Zirka eine halbe Million Erdbeben werden jedes Jahr auf der Erde registriert, von denen ungefähr 100 auch zu Schäden führen. Von über 1500 bekannten aktiven Vulkanen brechen jedes Jahr etwa 60 aus. Vulkanische Aktivität trägt jährlich ungefähr 100-200 Millionen Tonnen CO₂ in die Atmosphäre. Allerdings sind die Emissionen nicht konstant und die Effekte nur zum Teil katastrophal. Sowohl bei Erdbeben als auch bei Vulkanausbrüchen gilt: je größer die Magnitude, desto seltener und schwerer abschätzbar sind diese Ereignisse.

Die geographische Verbreitung der geologischen Naturgefahren zeigt, dass vor allem die Deformationszonen an den Rändern tektonischer Platten durch Erdbeben, Vulkanismus und Hangrutschungen heimgesucht werden. Aufgrund dieser globalen Verteilung entlang von insgesamt über 250.000 Kilometern Länge stellen fernerkundliche Methoden von Satelliten die verlässlichste Datenquelle dar. Durch Satellitendaten lässt sich nicht nur Ort und Lage, sondern auch die Magnitude der Ereignisse exakt bemessen. Die Schäden sind dabei nicht nur durch die Magnitude bedingt, wie jüngste Beispiele von Haiti (2010) und Chile (2014) zeigten. Während das Haiti-Erdbeben zu über einer viertel Million Opfer führte, war das Erdbeben in Chile deutlich weniger destruktiv und dies, obwohl die Magnitude in Chile sogar noch größer war als in Haiti. Um derartige Unterschiede zu verstehen, sind mit Radar-Satelliten ermittelbare, exakte und flächendeckende Messdaten der Bodenbewegungen erforderlich.

Der Vorteil von Radarsatellitendaten wurde in der Helmholtz-Allianz ausgiebig demonstriert und liegt auf der Hand: Während optische Systeme auf Sonnenlicht und wolkenfreien Himmel angewiesen sind, funktionieren die Synthetische-Apertur-Radar (SAR)-Satelliten bei allen Sichtbedingungen, sogar bei Dunkelheit, Smog und durch vulkanische Aschewolken hindurch, und sind deshalb ideal zur Beobachtung von Naturgefahren geeignet. Die Verschiebung von Landmassen bei Erdbeben werden mit SAR-Systemen auf den Millimeter genau messbar: Vulkanausbrüche kündigen sich

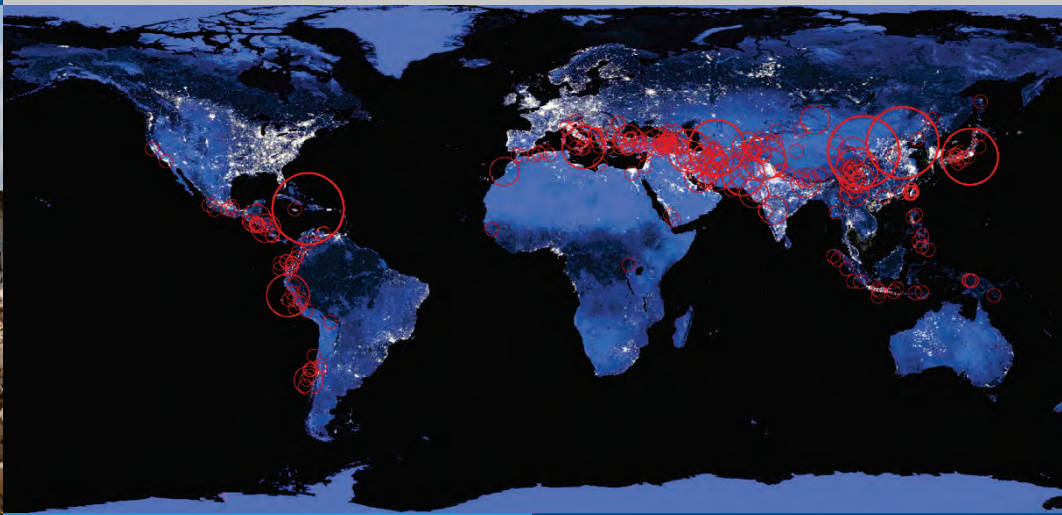
How can we gain a better understanding of natural hazards and minimize the risks?

Ultimately, the geological activity of the Earth, with its mountain-forming, volcanic and mass-moving processes, is also the origin of the atmosphere and life on the planet. The forces of nature are the reason why already early humanoids had to migrate to different terrain, as recent results from volcanic and tectonic examples in Kenya have shown. But how is modern society prepared for natural hazards, and how can geological processes be monitored and investigated on a global scale?

Every year, approximately half a million earthquakes are registered on Earth, of which about 100 cause damage. About 60 of over 1500 known volcanoes erupt per year. Approximately 100-200 million tons of CO₂ are emitted into the atmosphere by volcanic activities yearly. However, those emissions are not constant and the consequences only partly catastrophic. In general, for both earthquakes and volcanic eruptions applies: the stronger the magnitude of the events the less frequent and the more difficult they are to assess.

The geographical spread of geological natural hazards shows that particularly the deformation zones at the edges of tectonic plates are affected by earthquakes, volcanism and landslides. Due to this global distribution with a total length of more than 250,000 kilometres, remote sensing methods from satellites represent the most reliable data source. The use of satellite data enables an exact measurement of both the location and the magnitude of events. The magnitude is not the only factor for the damage as shown by recent examples from Haiti (2010) and Chile (2014). While the Haiti earthquake caused more than a quarter of a million casualties, the earthquake in Chile was significantly less destructive – even though the magnitude of the earthquake in Chile was even stronger than in Haiti. In order to understand such differences, precise and nearly global measures of, for instance, the ground movements are required. Such measurements can be realized by radar satellites.

In the Helmholtz Alliance, the advantage of radar satellite data has been extensively demonstrated and is apparent: while optical systems require sunlight and cloud free skies, Synthetic Aperture Radar (SAR) satellites are able to operate in all visibility conditions, even without daylight, in the event of smog and through volcanic ash clouds, making them ideal for monitoring natural hazards. SAR systems can measure the displacement of land masses during earthquakes with millimetre precision. Further, bulging surfaces indicating volcanic eruptions, unstable slopes before a catastrophic landslide and subsidence in cities due to their load



durch Aufwölbungen an, instabile Hänge werden noch vor einer katastrophalen Rutschung erkennbar, und Städte sinken durch ihre Auflast ein. Auf all diesen Gebieten konnten innerhalb der Helmholtz-Allianz bahnbrechende Fallstudien dazu beitragen, die zugrundeliegenden Prozesse besser zu verstehen, und die Methoden weiter zu entwickeln.

Die Methoden zur Auswertung von SAR-Daten haben sich in den vergangenen Jahren deutlich verbessert. Dabei werden grundsätzlich zwei unterschiedliche Herangehensweisen verwendet. Erstens, das an der Erdoberfläche reflektierte Signal ermöglicht es, Änderungen (z.B. bei Hangrutschungen) zu identifizieren und eine hochauflösende Kartierung der geänderten Oberflächenbeschaffenheit zu erstellen, oder die Bewegung von Erd- und Gletschermassen nachzuverfolgen. Die zweite Methodik ist deutlich komplexer, aber auch aussagekräftiger: mit der interferometrischen Phasendifferenz zwischen zwei oder mehreren Aufnahmen können kleinste geometrische Änderungen mit Millimeter-Genauigkeit erfasst werden. Diese Methodik ist insbesondere in der Helmholtz-Allianz weiter entwickelt und getestet worden.

Die SAR-Interferometrie ist seit den frühen 1990er Jahren in den Geowissenschaften im Einsatz, jedoch sind bis heute keine hierauf spezialisierten Satellitenmissionen realisiert. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz konnten wir verschiedene Satellitenprodukte und Messverfahren vergleichen. Dabei zeigte sich, dass insbesondere für die Beobachtung von Naturgefahren die Genauigkeit und Verlässlichkeit von SAR-Systemen durch niedrigere L-Band-Frequenzen gesteigert werden kann. Im Vergleich zu gängigen Satelliten im X- oder auch C-Band zeigen die L-Band-Satelliten ihre Stärken insbesondere auf vegetationsreichen Gebieten und über lange Zeitskalen. L-Band ist somit die ideale Frequenz für ein globales Monitoring von Naturgefahren.

Auf dem Weg der SAR-Signale zwischen Satellit und Boden treten kleine Verzögerungseffekte der Atmosphäre (infolge von Wasserdampf) und der Ionosphäre (infolge des freien Elektronenanteils) auf und stellen in erster Linie bei niedrigen Frequenzen eine mögliche Fehlerquelle dar. Um dieses Problem zu beheben und die Vorzüge von L-Band SAR-Systemen zu nutzen, haben wir in der Helmholtz-Allianz neue Algorithmen entwickelt, um einerseits diese Effekte zu quantifizieren und andererseits die Daten entsprechend zu filtern. Insbesondere die ionosphärischen Effekte konnten durch die neue Dual-Band-Methode fast vollständig entfernt werden. Andere Einträge wie beispielsweise durch den Luftdruck, Temperatur und Wasserdampf der Atmosphäre werden durch simulierte Wetterdaten reduziert, und erlauben nun hochauflösende und von Störeinflüssen korrigierte Messungen der Geosphäre. Das Know-how der Simulation von Wetterdaten erlaubt zudem erstmals Ände-

become visible. Groundbreaking case studies in the frame of the Helmholtz Alliance have contributed in all these fields of research to a better understanding of the underlying processes and to a further development of methods.

In recent years, the methods for interpreting SAR data have improved significantly. In principle, two different approaches are used. Firstly, the reflected signal from the Earth's surface allows identifying changes (e.g. in case of landslides) and thus to monitor the dynamics of surface conditions with a high-resolution mapping or the movement of soil and glacier masses. The second method is more complex but enables the retrieval of more information: with the interferometric phase difference between two or more images, even the smallest geometric changes can be recorded with millimetre accuracy. Particularly within the Helmholtz Alliance, this methodology has been further developed and tested.

SAR Interferometry has been used in geosciences since the early 1990s, but up to date no specialised satellite missions have been realized. In the frame of the Helmholtz Alliance, we had the possibility to compare various satellite derived products and measurement methodologies. It was shown that, especially for the observation of natural hazards, the accuracy and reliability of SAR systems can be increased by using lower frequencies such as L-band. Compared to current satellite systems at X- or C-band, the application of L-band is particularly beneficial in areas covered with vegetation and over long time periods. Therefore, L-band is the ideal frequency for global monitoring of natural hazards.

Owing to the fact that SAR signals travel the distance between satellite and Earth twice, the effects caused by the atmosphere (due to the water vapour) and the ionosphere (due to the free electron content), are of particular importance and represent a possible source of error, especially at lower frequencies. In order to solve this problem and to exploit the advantages of L-band SAR systems, we have developed new algorithms within the Helmholtz Alliance to quantify these effects on the one hand and to filter the data accordingly on the other. For instance by employing the Dual-Band approach to compensate for ionospheric distortions. Other effects such as atmospheric pressure, temperature and water vapour of the atmosphere are filtered by simulated weather data and allow measurements of the geosphere with high resolution and corrected for disturbances. Further, the know-how of simulating weather data allows for the first time to quantify changes in gas emissions – for instance for volcanoes such as the Lascar in Chile.

rungen der Gasemissionen zu quantifizieren – beispielsweise an Vulkanen wie dem Lascar in Chile. Durch SAR-Messungen konnten wir nicht nur die großen Wassermengen, sondern auch die Emission von Schwefeldioxid an Vulkanen quantifizieren, was in Zukunft globale Anwendungen finden könnte.

Die enge Zusammenarbeit von Geowissenschaftlern mit SAR-Ingenieuren in der Helmholtz-Allianz war einmalig, und ermöglichte es anwendungsbezogene technische Lösungen zu entwickeln und neue geologische Fragestellungen anzugehen. Die Synergien aus unterschiedlichen Wissenszweigen zu nutzen ist essentiell, um auch zukünftige Satellitenmissionen zu planen. Diese Herangehensweisen und Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz gehen daher in ein zukünftiges L-Band-SAR-System zur Überwachung von Naturgefahren ein.

Using SAR measurements, we have been able to quantify not only the large quantities of water but also sulphur dioxide emissions at volcanoes which has potential for a global application in future.

The close collaboration between geoscientists and SAR engineers in the Helmholtz Alliance has been unique. It enabled the development of application-oriented technical solutions and to address new geological issues. For the development of future satellite missions, the use of synergies from different branches of knowledge is essential. Therefore, the approaches and findings gained within the Helmholtz Alliance are being incorporated into a future L-band SAR system for monitoring natural hazards.

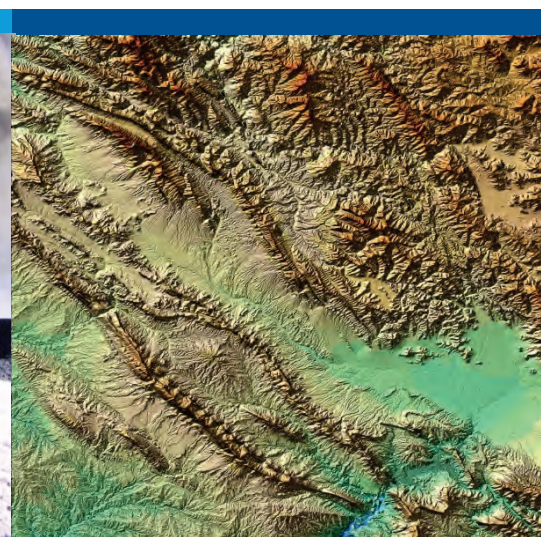
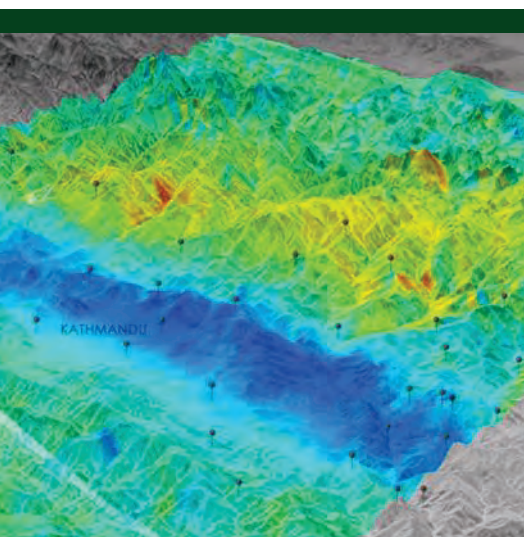


Die vergangenen Jahre zeigten eine scheinbare Häufung von verheerenden Erdbeben, Vulkanausbrüchen und anderen Naturgefahren. Während die anthropogenen Ereignisse, wie Erdbeben bei Staudämmen und Reservoiren, deutlich zunehmen, bleiben die Ereignisse der geologischen Aktivität konstant. Deutlich erhöht hat sich auch die Anfälligkeit der Gesellschaft gegenüber Naturgefahren. So wird der Luftverkehr bereits durch relativ kleine Vulkanausbrüche behindert, und Erdbeben bewirken ein Zusammenstürzen von nicht standsicher gebauter Infrastruktur. In der Helmholtz-Allianz wurden innovative Methoden entwickelt, um Vulkane, Erdbeben, Hangrutschungen und die zerstörerischen Konsequenzen zu vermessen. Ein besonderes Highlight ist, dass die komplexen und bislang kaum verstandenen Wechselwirkungen mit den hochauflösenden Augen neuester Satellitengenerationen erkennbar werden. Dies sind sehr vielversprechende Aussichten auf eine spannende Forschung und angewandte Erdbeobachtung in den kommenden Jahren.

It appears that in the last couple of years devastating earthquakes, volcanic eruptions and other natural hazards occurred more frequently. In this context, it is important to distinguish between anthropogenic and natural (i.e. geological) events. While anthropogenic events, such as earthquakes at dams and reservoirs, are increasing significantly, the amount of geologically caused events remains constant. However, the vulnerability of society to nature has also grown crucially. For instance, air traffic is already hampered by comparably small volcanic eruptions, and earthquakes cause the collapsing of infrastructure which has not been built stable enough. Within the Helmholtz Alliance, innovative methodologies have been developed in order to measure and monitor volcanoes, earthquakes, landslides and their destructive consequences. A particular highlight is the capability of latest, high-resolution satellite generations to recognize the complex and so far barely understood interdependencies. This is the basis for the next few years of exciting research and applied Earth observation.

Seltene und destruktive geologische Ereignisse werden in Zukunft besser prognostiziert. Bis heute ist dies nur im Einzelfall möglich, da einerseits statistische Verfahren aufgrund der dünnen Datenlage nicht haltbar sind, und andererseits viele dieser Ereignisse auf nicht überwachtem Terrain stattfinden. Satellitentechnologien vermögen hier einen entscheidenden Beitrag zu liefern. So zeigten Nachwuchswissenschaftler in der Helmholtz-Allianz, dass mit hochauflösenden

In the future, the prediction of infrequent and destructive geological events will be improved. Up to date, this is only possible for individual cases since on the one hand statistical analyses are not significant due to the reduced availability of data, and on the other hand many events occur in unmonitored terrain. Here, satellite technologies can contribute decisively. In this context, young scientists of the Helmholtz Alliance showed that



Radarsatellitendaten der Weg und die Zerstörungsgewalt von Gefah- renen überwacht werden kann, wie beispielsweise die Erfassung von einzelnen Gebäuden, Schulen und Marktplätzen durch Lavaströ- me. Der Vergleich der Radarsatellitendaten mit Computermodellen deutet auf die Vorhersagbarkeit der Gefahren hin, sodass nun hoch- auflösende Gefährdungskarten verfügbar sind, und zukünftige Infrastrukturmaßnahmen in Hinblick auf die Naturgefahren besser planbar sind.

high-resolution radar satellite data can be used to trace geo- hazards and to monitor their destructive force, such as the coverage of individual buildings, schools and marketplaces by lava flows. The comparison of radar satellite data with models indicates the predictability of hazards, facilitating the availability of high-resolution hazard maps and an improved planning of future infrastructures in view of natural hazards.

Im Rahmen der Helmholtz-Allianz standen mir hochauflösende SAR-Satellitendaten zur Verfügung, die ich in Kombination mit modernen terrestrischen Verfahren zur Untersuchung geomorphologischer Dynamiken an aktiven Vulkanen eingesetzt habe. Dank der hochauflösenden Fernerkundungsdaten und modernster Bearbeitungstechnologien, konnte ich auf unterschiedlichen räumlichen und zeit- lichen Skalen arbeiten. So war es mir möglich sowohl rapide, dramatische topographische Verände- rungen und damit verbundene Vulkangefahren zu quantifizieren bzw. detektieren, als auch sehr lokale und langsame Bodenbewegungen zu untersuchen und darauf basierend komplexe Prozesse der Vulkankratergenese zu identifizieren. Meine Ergebnisse zeigen, dass hochauflösende, multi-temporale Topographiedaten an aktiven Vulkanen zur umfassenden Lavastromgefahrenanalyse notwendig sind und dass hochauflösende Satellitenmodi und -missionen helfen, um vulkanische Prozesse gezielt auf lokalen Skalen erforschen zu können.

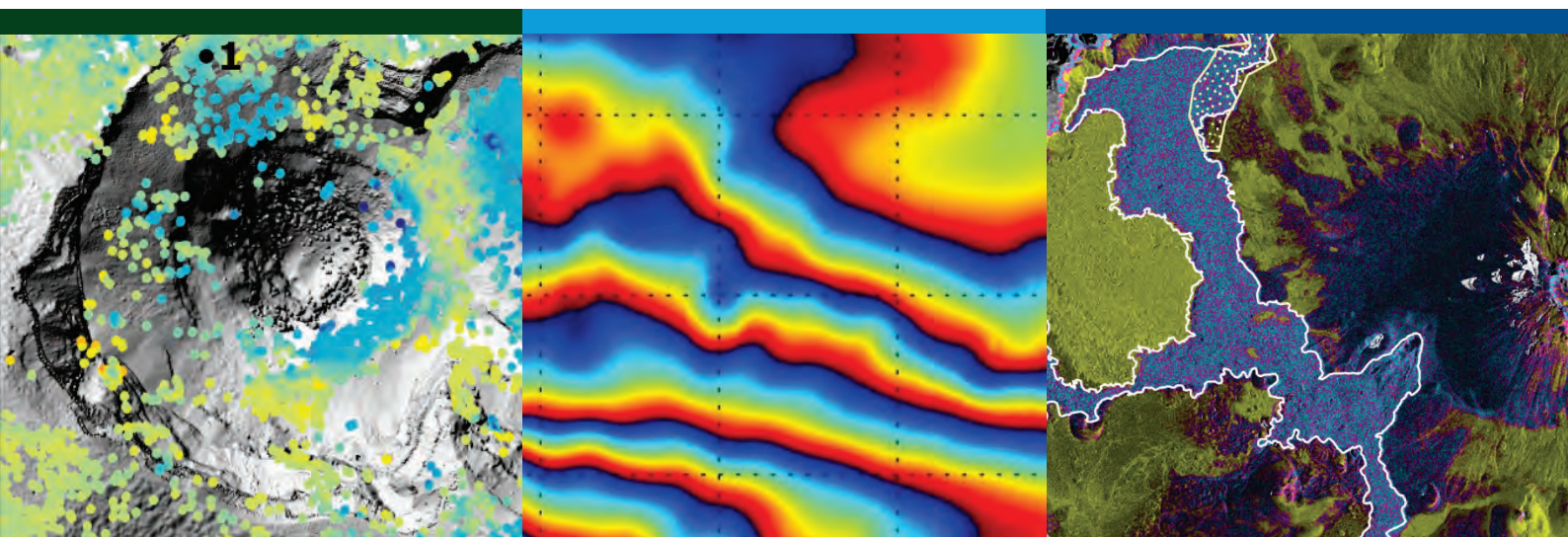
The Helmholtz Alliance provided me with high-resolution SAR satellite data, which I used in combination with modern terrestrial methods to investigate geomorphological dynamics of active volcanoes. Thanks to the high-resolution remote sensing data and state-of-the-art processing technologies, I was able to work on different spatial and temporal scales. Thus I was able to detect and quantify rapid, dramatic topographic changes and the associated volcanic hazards, as well as to investigate very local and slow ground movements and to identify complex processes of volcanic crater genesis based on them. My results show that high-resolution, multi-temporal topographic data on active volcanoes are necessary for a comprehensive lava flow hazard analysis and that high-resolution satellite modes and missions help to explore volcanic processes on local scales.

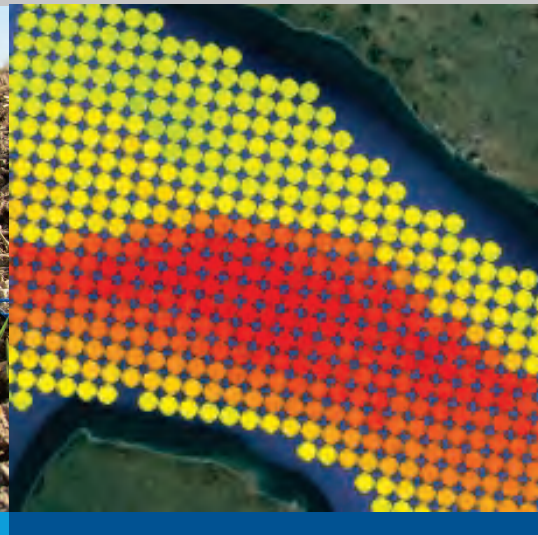


Dr. Nicole Richter, GFZ German Research Centre for Geosciences; graduated young scientist of the Helmholtz Alliance

Bisher konzentrieren sich allerdings derartige Analysen der Defor- mation zumeist auf trockene und urbane Gebiete, da hier die Re- flexion des SAR-Signals mit am höchsten ist. Mit der geplanten Tandem-L-Mission werden diese Methoden auch in vegetations- reicheren Gebieten, wie in Mittelamerika, Afrika und Ostasien, an- wendbar, und somit erstmals tatsächlich globale Vermessungen realisiert. Daher zeigten verschiedene Studien innerhalb der Helm- holtz-Allianz, dass sich mit der Verwendung von L-Band-Radar auch jene Gebiete erfassen ließen, die bislang weitgehend unerforscht sind.

However, such deformation analyses mainly concentrated on dry and urban areas so far, since there the reflection of the SAR signal is comparably high. With the mission proposal Tandem-L, these methods will also be applied in densely vegetated areas such as Central America, Africa and East Asia allowing for the first time the realization of actual global measurements. With this, several studies within the Helmholtz Alliance showed that the use of L-band would enable the coverage of areas that have been up to now largely unexplored.





Wie beeinflusst die Bodenfeuchte den Wasser- und Energieaustausch zwischen Boden und Atmosphäre?

Die Hydrosphäre umfasst den aquatischen und terrestrischen Teil des Erdsystems, in dem Wasser eine Schlüsselrolle spielt. Als Folge des Klimawandels und menschlicher Einflüsse verändern sich auf regionaler und globaler Ebene die hydrologischen Bedingungen und damit auch die Verfügbarkeit und Qualität des Wassers. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz haben wir uns auf die Überwachung und Modellierung von zwei wichtigen Variablen der Hydrosphäre konzentriert:

- i) Bodenfeuchte und
- ii) Meeresoberflächenströmungen.

Im terrestrischen Umfeld ist die regionale und globale Überwachung der Wasserressourcen, des Wassertransportes und der Wasserqualität von entscheidender Bedeutung für praktische Anwendungen wie landwirtschaftliche Produktion, Wasserressourcenmanagement sowie Hochwasser-, Dürre- und Klimaprognosen. Die Quantifizierung und Vorhersage von Wasserflüssen erfolgt mit Hilfe von hydrologischen Modellen, welche je nach Maßstab und Auflösung eine adäquate Prozessbeschreibung und Parametrisierung erfordern. Die Bodenfeuchte ist in all diesen Modellen eine wichtige Eingangsgröße.

Schon seit geraumer Zeit wird die Bodenfeuchte aus Fernerkundungsdaten (z.B. SMAP, SMOS), die in der Regel mit bodengestützten Messungen kalibriert werden, abgeschätzt. Die räumliche Auflösung dieser Daten ist jedoch im Moment mit 10 - 40 km Pixelgröße sehr gering und für lokale hydrologische Modelle unzureichend. Durch die geplante Erdbeobachtungsmission Tandem-L ist es möglich, oberflächennahe Bodenfeuchtekarten im lokalen Maßstab bis 50 m zu erstellen. Durch die dichtere Bodenfeuchteinformation ist einerseits eine hochaufgelöste Modellierung und Vorhersage hydrologischer Prozesse möglich, andererseits stellt die Validierung dieser Daten eine zusätzliche Herausforderung dar.

Im aquatischen Teil des Erdsystems wird der Transport großer Wassermengen hauptsächlich durch Meeresströmungen verursacht. Für die Ozeanographie ist deren Charakteristik von großem Interesse, da sie empfindlich auf Veränderungen des Salzgehaltes und der Temperatur reagieren und somit ein Indikator und Katalysator für den Klimawandel sind. Durch die satellitengestützte „Along-Track Synthetic Aperture Radar Interferometry“ (ATI-SAR) ist es möglich, großflächige Meeresbeobachtungen durchzuführen und Geschwindigkeitsdaten der Meeresoberflächen abzuleiten. Existierende bzw. zukünftig geplante interferometrische Satellitenkonfigurationen, wie TanDEM-X und Tandem-L, führen hierbei die Messungen mehrkanalig mit hoher räumlicher- und großer Geschwindigkeitsauflösung

How does the soil moisture affect the water and energy exchange between soil and atmosphere?

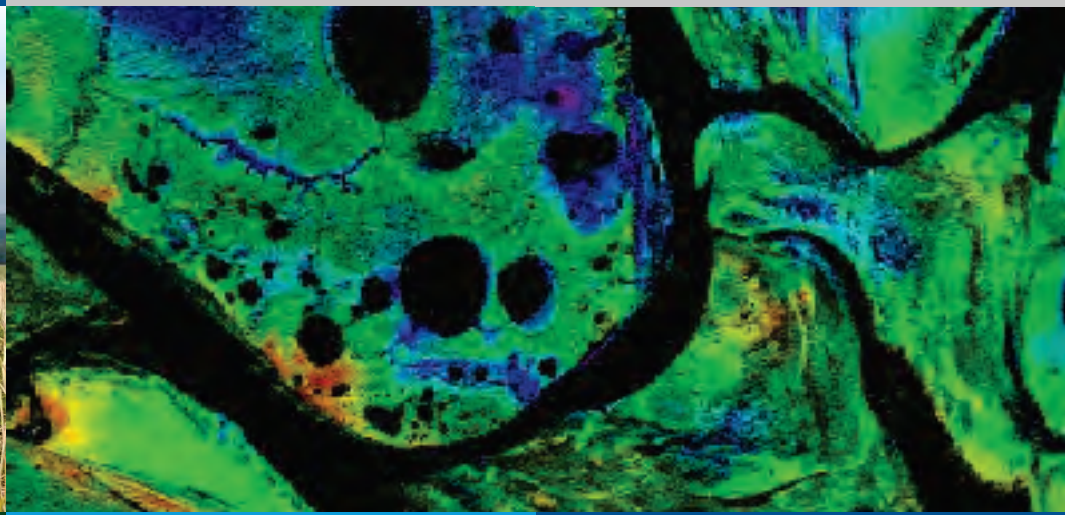
The hydrosphere comprises the aquatic and terrestrial compartment of the Earth system where water plays a key role in a multitude of processes. As a result of climate change and human influences, the hydrological conditions and thus also the availability and quality of water are changing on a regional and global level. The Helmholtz Alliance focuses on the monitoring and modeling of two essential variables from the hydrosphere:

- i) Soil moisture and
- ii) Ocean surface.

In the terrestrial environment, the regional and global monitoring of storage, movement and quality of water is of crucial importance for practical applications such as agricultural production, water resources management, and flood, drought and climate change predictions. Quantification and prediction of water fluxes are conducted with the aid of hydrological models which require adequate process descriptions and parameterizations corresponding to the modeled scale and resolution. Soil moisture is a key input variable in all of these models.

For some time already, soil moisture has been estimated from remote sensing data (e. g. SMAP, SMOS), which are usually calibrated using ground-based measurements. However, the spatial resolution of this data is at the moment quite coarse with 10 - 40 km pixel size and insufficient for local hydrological models. The planned Tandem-L sensor is a high-resolution device able to provide near-surface soil moisture maps at the local scale (down to 50 m). This high-resolution soil moisture information is expected to contribute to hyperresolution modeling and prediction of hydrological processes. However, the increased resolution retrievals pose additional challenges for the validation of such data.

In the marine environment, the transport of large water volumes is mainly caused by ocean currents. They are of great interest for oceanography, because they react sensitively to changes in salinity and temperature, and are therefore in turn an indicator and accelerator for climate change. Remote sensing by "Along-Track Synthetic Aperture Radar Interferometry" (ATI-SAR) enables to carry out large area observations of the ocean and to derive surface velocity data. With existing or near-future advanced satellite configurations like TanDEM-X and Tandem-L, it is possible to obtain measurements with both high spatial and velocity resolution. The quality of the retrieved data is thus significantly higher than



durch. Die Qualität der abgeleiteten Daten ist damit deutlich höher als die von Einzelsatellitensystemen, da die interferometrische Instrumentenkonfiguration Oberflächenbewegungen besonders sensitiv aufnimmt.

Im Rahmen der Helmholtz-Allianz wurden die polarimetrischen und interferometrischen Eigenschaften der Bodenfeuchte und der Meeresoberflächenströmungen in Radardaten eingehend untersucht. Um den optimalen Methodenaufbau zu ermitteln, wurde dabei die Prozesskette zur Ableitung der Bodenfeuchte ganzheitlich analysiert: von aktiven und passiven Mikrowellensormessungen, über neuartige In-situ-Referenzmethoden zur Validierung, Sensor-Fusionsansätze, Vorhersage von Bodenfeuchte und Sensorbeobachtungen bis hin zur Nutzung der abgeleiteten Bodenfeuchte in Datenassimilationskonzepten. Ein ähnlicher Ansatz wurde für Meeresströmungen verfolgt. Hier konnten neuartige interferometrische Methoden in ein physikalisch basiertes Modell integriert werden.

Entwicklung und Verbesserung von Informationsprodukten aus der Fernerkundung

In den Ozeanen ist die Bewegung der Wasseroberfläche das Ergebnis thermohaliner und windgetriebener Zirkulationen, Gezeitenströmungen und Wellen. Ein genaues Beobachten der Meeresoberflächenströmungen im globalen Umfang liefert daher wichtige Informationen für die Klimaforschung, die Energiegewinnung und für weitere Umweltprozesse. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz wurde eine Methode entwickelt, um die Meeresoberflächengeschwindigkeit mit bistatischen ATI-SAR-Interferogrammen abzuschätzen. Hierbei werden zusätzlich Wind- und Seegangdaten gewonnen, welche nicht nur eine Qualitätsverbesserung der gemessenen Oberflächenströmungen ermöglichen, sondern sie stellen auch eigenständige ozeanographische Datenprodukte dar, die zusammen mit den Strömungsdaten dynamische Prozesse der Ozeanoberfläche quantifizieren. Solcherart hochaufgelöste, großflächig und zeitgleich gewonnene multiparametrische, meteomarine Daten sind z.B für die Evaluierung von gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modellen von hohem Wert. Darüber hinaus konnten mit der gleichen Methode und wenigen zusätzlichen Auswerteschritten großflächige Algentepiche sowie deren Verdriftung erfasst werden.

Im terrestrischen Umfeld wird die Schätzung der Bodenfeuchte mit SAR hauptsächlich durch polarimetrische Analysen erreicht. Hier geht es vor allem um die Trennung des Vegetations- vom Bodensignals. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz wurde ein generisches Zerlegungsverfahren entwickelt, um die Bodenfeuchte unter einer Vegetationsdecke abzuleiten. Basierend auf polarimetrischen Messungen wurden dazu die einzelnen Streukomponenten (Oberfläche, Volumen und Doppelreflexion) simuliert. Danach wird die Bodenfeuchte nur aus der Oberflächenkomponente bestimmt. Die Resultate von Flugzeugkampagnen zeigen stabile Ergebnisse für ein breites Spektrum an Vegetations- und Geländetypen.

that of single-satellite systems, because the interferometric instrument configuration is particularly sensitive to surface movements. In the Helmholtz Alliance, the polarimetric and interferometric characteristics of the radar data of both soil moisture and ocean currents were investigated in detail. To identify the optimal method setup, the processing chain for soil moisture is being analysed in its entirety: from active and passive microwave sensor measurements over novel in-situ soil moisture reference methods for validation, sensor fusion approaches, soil moisture as well as sensor observation prediction, to the utilization of remotely sensed soil moisture in data assimilation frameworks. A similar approach is followed for ocean currents where novel interferometric methods are integrated in a physically-based model.

Development and improvement of information products from remote sensing

In the oceans, the motion of the water surface is a result of thermohaline and wind-driven circulations, tidal currents, and waves. Therefore, an accurate monitoring of surface currents with global coverage provides important information for climate research, energy harvesting, and environmental processes. In the frame of the Helmholtz Alliance, a method was developed to estimate sea surface velocities with bistatic ATI-SAR observations. Among other things, wind and sea state data are obtained, which not only improve the quality of the measured surface currents, but also represent independent oceanographic data products, which together with the ocean current data quantify dynamic processes of the ocean surface. Such high-resolution, multi-parametric, meteomarine data obtained over a large area and at the same time are of high value, e. g. for the evaluation of coupled oceanic-atmosphere-models. In addition, the same method with a few additional evaluation steps could be used to record large-area carpets of algae and their drifting, since the affected regions can be detected by a lower signal or by a strong noise level in the interferogram.

In the terrestrial environment the estimation of soil moisture from SAR is mainly achieved through polarimetric analyses. Here, the main issue is the separation of the vegetation from the soil signal. In the frame of the Helmholtz Alliance, a generalized decomposition method to retrieve soil moisture under a vegetation cover was developed. Based on the polarimetric observations, the individual scattering components (surface, volume and dihedral) were simulated. Only the soil component is then inverted for soil moisture. Results from airborne campaigns indicate a stable performance over a wide range of vegetation and terrain types.

In addition, differential SAR interferometry (DInSAR) is used for soil moisture estimation. The technique typically used for detection of displacements at the Earth's surface is also affected by soil moisture change. Moreover, passive microwave sensors are

Zusätzlich wird die differentielle SAR-Interferometrie (DInSAR) zur Bodenfeuchteschätzung verwendet. Die Technik, die typischerweise zur Erkennung von Verschiebungen auf der Erdoberfläche verwendet wird, reagiert auch auf die Veränderung der Bodenfeuchte. Des Weiteren sind passive Mikrowellensensoren ebenso in der Lage, Bodenfeuchte zu erfassen, in der Regel aber mit grober Auflösung. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz und der NASA-SMAP-Mission wurden daher mehrere Methoden entwickelt, um die räumliche Auflösung von Radiometermessungen durch Radardaten zu verbessern. Hierbei wurden verschiedene Aktiv-Passiv-Fusionstechniken auf regionaler Skala untersucht, bei denen Vor- und Nachteile im Vergleich zu globalen Analysen viel besser charakterisiert werden können.

Validierung von Informationsprodukten mit In-situ-Daten

Im Sinne des EU-Copernicus-Programms liefern sowohl satelliten-gestützte Erdbeobachtungsdaten als auch die In-situ-Infrastruktur operative Informationsdienste zur Unterstützung einer Vielzahl von Anwendungen. Daher sollte die Entwicklung verbesserter Methoden zur Messung von repräsentativen Variablen am Boden mit der Fernerkundung abgestimmt werden. Um die räumliche und zeitliche Variabilität der Bodenfeuchte aufzuzeichnen, wurden neue nicht-invasive Methoden in die operationelle Anwendung gebracht.

also able to retrieve soil moisture, but typically at coarse resolutions. Therefore, in the frame the Helmholtz Alliance and the NASA SMAP mission, several methods have been developed to increase the spatial resolution of the radiometer measurements by using radar data. Several active-passive fusion techniques were investigated at regional scale, where advantages and drawbacks can be much better characterized as compared to global scale analyses.

Validation of information products using in-situ data

In line with the EC Copernicus program, both satellite-derived Earth observation data and in-situ infrastructure provide operational information services to support a vast array of applications and industries. Therefore, the development of improved methods for the measurement of representative variables on the ground should be aligned with remote sensing. To record spatial and temporal variability of soil moisture, new noninvasive methods have been brought towards operational application.



Auf der Erdoberfläche spielen sich signifikante Austauschprozesse von Wasser und Energie ab, die maßgeblich die Prozesse sowohl der unteren Atmosphäre als auch innerhalb des Bodens steuern. In Rahmen der Helmholtz-Allianz haben wir solche Prozesse direkt und indirekt über die Veränderung der Bodenfeuchtigkeit beobachten können, und zwar auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen. Die Zusammenarbeit mit den Mitgliedern der Hydrosphärensektion hat es darüber hinaus ermöglicht, das Gesamtsystem integriert und skalenübergreifend abzubilden, geeignete Validierungsmethoden zu entwickeln und Energie- und Wasserflüsse zu quantifizieren. Zukünftig können z.B. Wetterprognosen oder ein Wasserressourcenmanagement davon profitieren.

Significant exchange processes of water and energy take place on the Earth's surface, which significantly influence the processes of both the lower atmosphere and within the soil. In the framework of the Helmholtz Alliance, we have been able to observe such processes directly and indirectly through changes in soil moisture and on various spatial and temporal scales. Furthermore, cooperation of members in the hydrosphere section made it also possible to map the entire system in an integrated and scale-independent manner, to develop suitable validation methods and to quantify energy and water flows. In the future, applications like weather forecasts or water resources management can benefit from this.

Dr. Carsten Montzka, Forschungszentrum Jülich (FZJ); Research Topic Speaker Hydrosphere

Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS), die ursprünglich der Verortung und Navigation dienen, können auch zur Erfassung von Bodenfeuchte mit einzelnen lokalen GNSS-Empfängern verwendet werden. Das direkte Signal vom L-Band-GNSS-Satelliten und das an der Landoberfläche reflektierte Signal werden gleichzeitig an der Antenne empfangen. Der simultane Empfang beider Signale verursacht aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten vom Satelliten zur lokalen Antenne ein Interferenzmuster in der Signalstärke. Die Leitfähigkeit des Bodens, die von der Bodenfeuchte abhängt, beeinflusst die Amplitude und die Phase des Interferenzmusters. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz konnte über eine Zeitdauer von vier Jahren die Bodenfeuchte aus den GNSS-Daten einer Station in Südafrika mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. GNSS-Netze, die weltweit für geodätische und tektonische Forschungszwecke eingesetzt werden, können somit als Bodenfeuchtereferenz und für die Satellitenvalidierung verwendet werden.

Eine andere Methode nutzt kosmische Neutronen zur Messung der Bodenfeuchte. Kosmische Neutronenstrahlsonden (CRNPs) messen die Intensität von natürlich auftretenden niederenergetischen tertiären Neutronen über der Landoberfläche. Ihre Intensität ist

Originally used for positioning and navigation, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) can be used for soil moisture retrieval from single local GNSS receivers. The direct signal from the L-band GNSS satellite and the signal reflected at the land surface are simultaneously received at the antenna. This simultaneous reception of both pathways causes an interference pattern in the signal power due to the different travel distances from the satellite to the local antenna. The soil permittivity, which is related to soil moisture, affects the amplitude and phase of the interference pattern. In the frame of the Helmholtz Alliance, soil moisture was estimated with high precision from a GNSS-station in South Africa over the course of four years. GNSS networks, installed for geodetic and tectonic research purposes worldwide, can hence be used as soil moisture reference and for satellite validation.

Another method utilizes cosmic neutrons to measure soil moisture. Cosmic ray neutron probes (CRNPs) measure the intensity of ambient low-energy tertiary neutrons above the land surface. Their intensity is inversely correlated with hydrogen content of the soil, because they are moderated mainly by hydrogen atoms and diffused back to the lower atmosphere. The advantage of CRNPs

umgekehrt proportional zum Wasserstoffgehalt des Bodens, da sie hauptsächlich von Wasserstoffatomen abgebremst und in die untere Atmosphäre zurückdiffundiert werden. Der Vorteil von CRNPs ist, dass sie innerhalb einer Grundfläche mit ~250 m Radius messen und somit die Skalenlücke zwischen punktuellen In-situ-Messungen und Satellitenbeobachtungen füllen können. So konnten zwischen CRNP-Stationen weltweit und verschiedenen satellitengestützten Bodenfeuchteprodukten hohe Korrelationen gefunden werden.

Zusätzlich bleibt die Herausforderung, die hohe räumliche Variabilität der Bodenfeuchte abzuschätzen. Bei Messungen mit elektromagnetischer Induktion (EMI) werden über eine große Fläche (mehrere Hektar) alle Bodeneigenschaften und -zustände beobachtet, welche die elektrische Leitfähigkeit des Bodens beeinflussen, einschließlich der Bodenfeuchte. Durch Verknüpfung dieser Daten mit entsprechenden Geländeeigenschaften, welche aus einem digitalen Höhenmodell abgeleitet werden, sowie einiger weniger punktueller Bodenfeuchtemessungen, können adäquate Informationen zur Bestimmung der räumlichen Variabilität der Bodenfeuchtigkeit bereitgestellt werden.

Integration von Informationsprodukten in physikalisch basierte Modelle

Bodenfeuchtekarten aus Satellitenbeobachtungen sind in der Regel nicht das Endprodukt, sondern liefern wichtige Informationen für die Kalibrierung und Simulation weiterer Umweltvariablen. Datenassimilation ist hier ein leistungsfähiges Werkzeug für die operative Kombination von Beobachtungen und Simulationen zur Erhöhung des Prozessverständnisses sowie zur Verbesserung der Prognose für das zu untersuchende (hydrologische) System.

Wir haben gezeigt, dass die Assimilation von SMOS-Bodenfeuchte-Zeitreihen in ein Landoberflächenmodell verwendet werden kann, um die Abbildung der Bodenfeuchte zu verbessern. Ein neuer Ansatz zur Parameterschätzung wurde entwickelt, um den Rechenaufwand im Vergleich zu Ensemblemethoden zu reduzieren, was für zukünftige globale Anwendungen wichtig ist. Ebenso konnten wir durch Einbeziehen von Gesamtwasserspeicherdaten aus gravimetrischen Daten (GRACE) die Schätzungen der Verdunstung verbessern, indem wir die Parameter eines hydrologischen Modells optimierten. Dies wird durch die Technik "two-step multiscale parameter regionalization" erreicht, die es dem Modell ermöglicht effizient und übergangslos in mehreren Auflösungen mit denselben globalen Parametern zu arbeiten. Das gleiche Modell wurde verwendet, um für ein Flusseinzugsgebiet ein Ensemble von Evapotranspiration, Grundwasserneubildung, Bodenfeuchte und Abfluss mit hohen räumlichen und zeitlichen Auflösungen für den Zeitraum 1951-2010 zu berechnen. Die Vorhersage zeigt dabei gegenüber dem beobachteten Strömungsverlauf eine hohe Genauigkeit.

In terrestrischen Systemen ist die Assimilation eines einzelnen Datensatzes in Modelle bereits weit entwickelt, der Trend geht aber in Richtung der Nutzung mehrerer Datensätze ähnlich wie in der Atmosphärenforschung. In der Helmholtz-Allianz haben wir ein Datenassimilationsframework rund um ein integriertes Modellsystem entwickelt, das Wasser- und Energieströme vom Grundwasser bis in die obere Atmosphäre simuliert. Die Datenassimilation kann in diesem Zusammenhang mit verschiedenen Datentypen durchgeführt werden, z. B. mit Grundwasserständen zur Aktualisierung von Prozessen im Untergrund, Bodenfeuchtemessungen zur Aktualisierung von Oberflächenprozessen und Wasserdampfbeobachtungen zur Aktualisierung atmosphärischer Prozesse.

Der im Rahmen der Helmholtz-Allianz entwickelte deutsche Dürremonitor ist ein gutes Beispiel für die Integration von Fernerkundungsdaten in hydrologische Modelle, um weitere Informationen über das hydrologische System und die Endnutzung für gesellschaftliche Anwendungen abzuleiten.

is that they measure within a footprint of ~250 m radius and can therefore fill the scale gap between point scale in-situ measurements and satellite observations. High correlations between CRNPs stations worldwide and various satellite-based soil moisture products were found.

In addition, the challenge remains to estimate the high spatial variability of soil moisture. By using measurements with electromagnetic induction (EMI), all soil properties and conditions that influence the electrical conductivity of the soil, including soil moisture, are observed over a large area (several hectares). By linking these data with corresponding terrain properties derived from a digital elevation model and a few selective soil moisture measurements, adequate information for determining the spatial variability of soil moisture can be provided.

Integration of information products into physically-based models

Soil moisture maps from satellite observations are usually not the final products of interest, but provide important information to calibrate and correct simulations of further environmental variables. Here, data assimilation is a powerful tool for operational combination of observations and simulations to increase process knowledge as well as to improve forecasts for the (hydrological) system under study.

We showed that the assimilation of SMOS soil moisture time series into a land surface model can be used to improve soil moisture representation. A new parameter estimation approach was developed in order to reduce computational cost compared to ensemble methods, which is important for future global applications. Similarly, by incorporating total water storage information from GRACE gravimetric measurements, we were able to improve evapotranspiration estimates by optimizing parameters of a hydrological model. This is achieved by the "two-step multiscale parameter regionalization" technique which allows the model to run efficiently in a seamless manner at multiple resolutions using the same set of global parameters. The same model has been employed to derive an ensemble of evapotranspiration, groundwater recharge, soil moisture, and runoff at high spatial and temporal resolutions for the period 1951-2010 for a river catchment. A cross-evaluation against the observed streamflow shows high accuracy.

In terrestrial systems the assimilation of a single data set into models has already been widely developed, but the trend goes towards utilization of multiple data sets similar to that in atmospheric research. In the Helmholtz Alliance, we developed a data assimilation framework around an integrated model system, which simulates water and energy fluxes from groundwater up to the upper atmosphere. Data assimilation in this context can be performed with various types of data, e.g. with groundwater levels updating subsurface processes, soil moisture observations updating surface processes and water vapor observations updating atmospheric processes.

The German drought monitor developed within the Helmholtz Alliance is a good example of integrating remote sensing data in hydrological models to derive further information of the hydrological system and final utilization for societal applications.



Mit Satellitenfernerkundung den rasanten Wandel der Kryosphäre quantifizieren

Im Forschungsbereich der Kryosphäre decken die Studien, die im Rahmen der Helmholtz-Allianz durchgeführt wurden, ein breites Spektrum ab: von Methodenentwicklung und deren Validierung über Studien zum Prozessverständnis bis hin zu Anwendungen mit gesellschaftlicher Relevanz. Dies wird hier exemplarisch für glaziologische Themen gezeigt, beginnend mit Polarimetrie auf Eisoberflächen, weiter mit Studien die Radarfernerkundung, Feldmessungen und Modellierung miteinander verknüpfen und schließlich Untersuchungen zur Quantifizierung der Veränderungen von Gletschern im Himalaya.

Polarimetrie nutzt die Veränderung des Radarsignals verschieden polarisierter Radarwellen. Trifft z.B. eine horizontal polarisierte Radarwelle auf die obersten Schichten eines Gletschers, verändern dessen Schichtungsunterschiede die Polarisation und die Phase des gesendeten Radarsignals. Hat man ein Verständnis dafür entwickelt, wie Schmelzlagen, Schichtungen, Spalten oder Wassereinschlüsse beide Parameter beeinflussen, kann mit Hilfe dieser Methode eine Klassifizierung der oberen Lagen der Gletscher großflächig durchgeführt werden. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz wurden hierfür polarimetrisch aufgenommene L-Band-SAR-Daten über Spitzbergen mit modellierten Radarsignalen von verschiedenen zusammengesetzten Firnschichten verglichen. In die Modellierung ging dabei die leichte Anisotropie der einzelnen Eiskörner im Firn ein, die Dichte des Firns, dessen Dicke und eingeschlossene Eislinsen, wie sie beim Wiedergefrieren von Schmelzwasser entstehen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Änderungen in der polarimetrischen Phase mit Änderungen der In-situ gemessenen Firndicke korrelieren und dass dies zudem mit der modellierten Firndicke übereinstimmt. Das Potenzial, mit dieser Methode großflächig Firndicke zu messen, konnte damit nachgewiesen werden.

Mit vergleichbaren Ansätzen kann auch die Schneedicke auf Landoberflächen ermittelt werden, was z.B. auch für hydrologische Anwendungen relevant ist. Daraus wird ersichtlich, dass die Bandbreite der Anwendungen der Polarimetrie sich in Zukunft als Folge der Helmholtz-Allianz noch erweitert. So ist geplant, die Studien auch auf Bereiche in Grönland und der Antarktis auszuweiten, um für diese Gegenden typische Strukturen zu untersuchen. Ein Beispiel hierfür findet sich auf den Schelfeisen der Antarktis, die von den Eisströmen und Auslassgletschern gespeist werden und deren Stabilität für die Entwicklung des Meeresspiegels wichtig ist.

Betrachtet man TerraSAR-X-Szenen einiger Schelfeise der Antarktis, so stellt man an vielen Stellen streifenförmige Strukturen fest, die sich über mehrere Dutzende Kilometer verteilen. Diese Strukturen

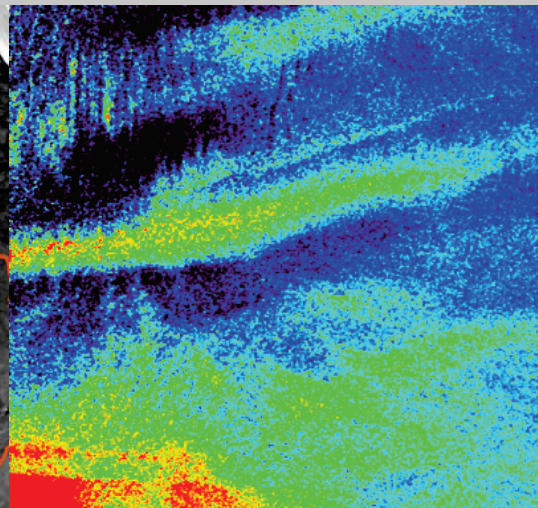
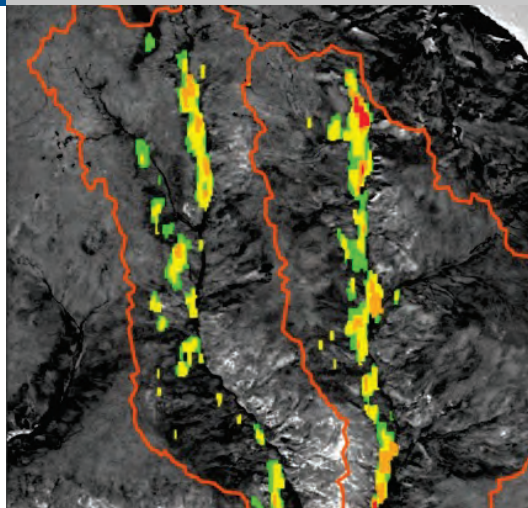
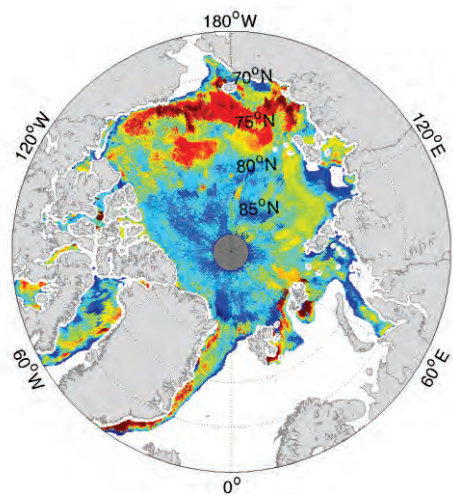
Quantifying the rapid change of the cryosphere with satellite remote sensing

In the cryosphere, the studies conducted by the Alliance cover a broad spectrum – from method development and validation, through studies on process understanding to applications with societal relevance. This is shown here by some examples of glaciological topics, beginning with polarimetry on ice surfaces, going on to studies with combinations of radar remote sensing, field measurements and modelling, and to the quantification of changes in glaciers in the Himalayas.

Polarimetry uses the variation of the radar signal of differently polarized radar waves. When a horizontally polarized radar wave hits the topmost layers of a glacier, the differences in stratification change the polarization and phase of the transmitted radar signal. As soon as one understands how these two parameters are influenced by melting layers, stratifications, crevasses or water inclusions, this method can be used to classify the upper layers of the glaciers over a large area. Within the framework of the Helmholtz Alliance, polarimetric L-band SAR data on glaciers in Spitsbergen were compared with modelled radar signals from differently composed firn layers. The modelling included the slight anisotropy of the individual ice grains in the firn, the density of the firn, its thickness and enclosed ice lenses as they develop during the refreezing of melt water. The results have shown that changes in the polarimetric phase correlate with changes in the in-situ measured thickness of the firn and that also correlates with the modelled thickness of the firn. The potential of this method to measure the thickness of the firn over a large area could thus be demonstrated.

Similar approaches can be used to measure snow thickness on land surfaces, which is also relevant for hydrological applications. This shows that the range of polarimetry applications will increase in the future as a result of the Helmholtz Alliance. It is planned to extend these studies to areas in Greenland and the Antarctic in order to investigate typical structures of these regions. An example of this can be found on Antarctic shelves: They are fed by ice streams and glaciers and their stability is important for the development of the sea level.

Looking at TerraSAR-X scenes from some of the Antarctic ice shelves, one finds stripe-like structures spread over several dozens of kilometres in many places. These structures are visible in radar scenes, but their origin had been unclear so far. Using a combination of different aircraft radar, laser scanner and polarimetric TerraSAR-X data from the Jelbart Ice Shelf, Antarctica, it was



sind in Radarszenen leicht erkennbar, ihr Ursprung war jedoch bisher unklar. Mittels einer Kombination aus verschiedenen Flugzeugradar-, Laserscanner- und polarimetrischen TerraSAR-X-Daten vom Jelbart-Schelfeis, Antarktis, konnte klar identifiziert werden, dass sie von basalen Spalten im Eis herrühren und mit einer Absenkung der Oberfläche einhergehen. Diese Absenkung ist eine Folge des viskoelastischen Materialverhaltens von Eis. Während sich die Oberfläche des Eises bei der Entstehung basaler Spalten relativ schnell absenkt, verhält sich das Eis bei allmählicher Kräfteeinwirkung wie eine zähe Flüssigkeit. In den TerraSAR-X-Daten sind deshalb die streifenförmigen Strukturen verstärkt stromabwärts im Schelfeis zu finden. Mittels einer numerischen Modellierung der Deformation von Eis konnte aus zwei verschiedenen viskoelastischen Materialverhalten die Gültigkeit des Maxwell-Materialmodells nachgewiesen werden.

possible to clearly identify that they originate from basal crevasses in the ice and are associated with a lowering of the surface. This effect is a consequence of the viscoelastic material behavior of ice. While the ice surface falls relatively quickly when basal cracks are formed, with gradual action of force the ice behaves like a viscous liquid. In the TerraSAR-X data, therefore, the stripe-shaped structures can be found increasingly downstream in the ice shelf. Using numerical modelling of the deformation of ice, the validity of the Maxwell material model could be demonstrated from two different viscoelastic material behaviors.

Die Helmholtz-Allianz hat unsere Methoden in der Radarfernerkundung der Kryosphäre deutlich weitergebracht. Das Verständnis für die unterschiedlichen Algorithmen verschiedener Forschungsgruppen und ihre Ansätze hat das Potenzial der einzelnen Verfahren aufgezeigt. So werden die Konzepte, die von Radarspezialisten entwickelt wurden, nun in die breite Anwendung der Kryosphäre getragen. Das wird sich gerade für zukünftige Anwendungen von L-Band-Missionen oder beim Schritt hin zu vollpolarimetrischen Missionen auszahlen, weil hier zur rechten Zeit die neuen Radarmethoden in die einzelnen Anwendungsgebiete transferiert wurden. Mein ganz persönliches Highlight ist meine Lernkurve im Bereich Polarimetrie. Während ich am Anfang sehr skeptisch war, ob wir mit Polarimetrie wirklich etwas über die Strukturen aussagen können, bin ich inzwischen von den Möglichkeiten begeistert und beginne diese Methode nach ersten Anwendungen am AWI zu etablieren. Gerade die Aussicht auf SAR-Tomographie von dem kompletten Eisschild in Grönland oder der Antarktis ist für mich in Verbindung mit unseren Feldmessungen und Modellierungen enorm spannend – das bringt unser Verständnis der internen Struktur und Dynamik ganz sicher weit voran.

The Helmholtz-Alliance has significantly advanced our methods in radar remote sensing of the cryosphere. The understanding of the different algorithms and approaches used by various research groups has shown the potential of the individual methods. Thus, the concepts developed by radar experts are now being widely used in the cryosphere. This will pay off for future applications of L-band or full-polarimetric missions, because the new radar methods were brought into the individual applications at the right time. My personal highlight is my learning curve in the field of polarimetry. While I was quite sceptical at the beginning whether polarimetry can reveal anything about the structures, I'm now excited about its potential and I'm starting to establish this method following after initial applications at the AWI. Especially the prospect of SAR tomography with a complete coverage of the ice sheets in Greenland and Antarctica in connection with our field measurements and modeling is truly exciting – this will certainly boost our understanding of the internal structure and dynamic.



Prof. Dr. Angelika Humbert,
Alfred-Wegener-Institute (AWI);
Research Topic Speaker Cryosphere

Die Helmholtz-Allianz hat damit einen wichtigen Beitrag für die Materialtheorie von polarem Eis geliefert – ungeplant, aber mit umso größerer Wirkung für neue Modellierungsansätze. Weitere Studien dieser Art, in denen Radarfernerkundung mit anderen Beobachtungsmethoden und Modellierung kombiniert werden, sind auch

The Helmholtz Alliance has thus made an important contribution to the material theory of polar ice – unintentional, but with even greater impact for new modelling approaches. Further studies of this kind, in which radar remote sensing is combined with other observation methods and modelling, are also the current subject

aktuell Gegenstand der Arbeit des Teams. So zum Beispiel bei der Untersuchung der Evolution von supraglazialen Schmelzseen auf dem Grönländischen 79-Nord-Gletscher, wo Interferometrie, TanDEM-X-Höhenmodelle, Flugzeugradar und die Modellierung subglazialer Drainagekanäle ineinandergreifen.

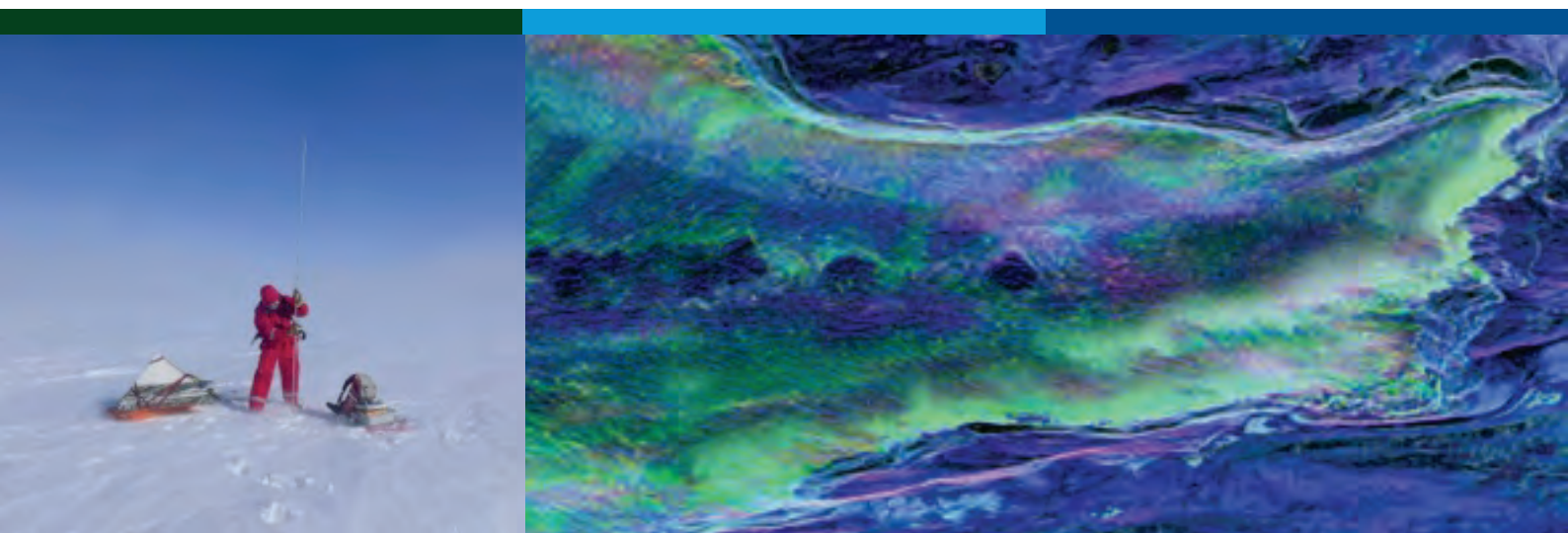
Bei der Überwachung von Gletschern ist die Oberflächentopographie eine sehr wichtige Beobachtungsgröße. Sie spiegelt die Veränderung der Gletscher aufgrund ihrer natürlichen Variabilität sowie durch die Erwärmung der Atmosphäre wider. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz fanden hierzu interferometrische Untersuchungen der Gletscher im Himalaya anhand von TanDEM-X-Daten statt. Eine besondere Herausforderung stellten dabei Gletscherzonen dar, die mit Geröll und feinen Steinpartikeln bedeckt sind und in den Radardaten ein grundlegend anderes Rückstreuverhalten als Eisoberflächen zeigen. Eine präzise Bestimmung der Volumenänderungen bedarf jedoch einer genauen Bestimmung der Eindringtiefe des Radarsignals, da es sonst zu einem Fehler bis zu 20% im ermittelten Massenverlust kommen kann. Neben diesem Effekt beeinflussen stein- und staubbedeckte Oberflächen aber auch die Wärmeübertragung der Atmosphäre auf die Eisoberfläche. So wurde gezeigt, dass vor allem die höher gelegenen Gletscherflächen mit einer dicken, isolierenden Schicht von Geröll, an Masse verlieren. Andererseits sind aber auch Gletscherzungen besonders betroffen, die durch dünne Geröllschichten gekennzeichnet sind, welche das Schmelzen begünstigen. Diese Studien sind in Regionen, in denen – wie im Himalaya – Feldmessungen enorm schwierig sind, von besonderer Bedeutung. Von der Veränderung der Gletscher und ihres Beitrags zum hydrologischen Kreislauf sind in dicht besiedelten Gebieten Millionen von Menschen betroffen. Auch unter dem Aspekt der Gültigkeit von Gletscherprognosen sowie den damit einhergehenden Planungen stellen diese Forschungen einen wichtigen Beitrag dar.

Vergleichbar relevante Ergebnisse konnten im Rahmen der Helmholtz-Allianz auch in den Forschungsbereichen Meereis und Permafrost erzielt werden. Auf dem Gebiet der Meereisforschung wurden z.B. neue Algorithmen und Verfahren zur Bestimmung der Deformationsfelder von Meereis und zur Beobachtung von Schmelztümpeln auf antarktischem Meereis entwickelt. Darüber hinaus konnte die Methode zur Detektion besonders dünnen Meereises deutlich verbessert werden. Dies sind alles Grundlagenarbeiten, die in den nächsten Jahren für die Beobachtung der Entwicklung von Meereis in der Arktis und der Antarktis durch die Helmholtz-Allianz zur Verfügung stehen. Im Permafrost-Forschungsbereich wurden Algorithmen zur Ableitung von Gefrier/Tauzyklen und zur Bestimmung des Rückzuges von Permafrost-Kliffen entwickelt. Darüber hinaus konnte durch die Helmholtz-Allianz zwischen den Permafrost-Wissenschaftlern und Experten, die Deformationen über Landoberfläche berechnen, wertvolle Verbindungen geknüpft werden, welche über die Zeitdauer dieser Allianz hinaus wirken.

within the activities of the team, for example in the study of the evolution of supraglacial melting lakes on the 79 North Greenland glacier, where interferometry, TanDEM-X elevation models, aircraft radar and the modelling of subglacial drainage channels intertwine.

When monitoring glaciers, surface topography is a very important observation parameter. It reflects the changes in glaciers due to their natural variability and the warming of the atmosphere. As part of the Helmholtz Alliance, interferometric investigations of the Himalayan glaciers were carried out using TanDEM-X data. A particular challenge was posed by glacier zones with debris and fine rock particles, which in radar data show a fundamentally different backscattering behavior than ice surfaces. However, precise assessment of the volume changes requires an exact estimation of the penetration depth of the radar signal, as otherwise an error of up to 20% of the determined mass loss can occur. In addition to this effect, stone- and dust-covered surfaces also influence the heat transfer of the atmosphere to the ice surface. It has been shown that especially higher glacier surfaces with a thick, insulating layer of debris lose mass. On the other hand, however, glacier tongues are also particularly affected, where thin layers of debris make melting easy. These studies are of particular importance in regions where field measurements are extremely difficult as in the Himalayas. In densely populated areas, millions of people are affected by changes in glaciers and their contribution to the hydrological cycle. Therefore, this research also makes an important contribution to the validity of glacier forecasts and the associated planning.

Comparably relevant results could also be achieved in the Helmholtz Alliance's research areas of sea ice and permafrost. In the field of sea ice research, for example, new algorithms and methods have been developed for determining the deformation fields of sea ice and for observing melting pools on Antarctic sea ice. Also the method of detecting particularly thin sea ice has been significantly improved. Due to the Helmholtz Alliance all these basic studies will be available in the next few years for observing the development of sea ice in the Arctic and Antarctic. In the permafrost research area, algorithms for deriving freeze/thaw cycles and for detection of the retreat of permafrost cliffs have been developed. In addition, collaborations have been established between permafrost scientists and experts who calculate the deformation of land surfaces, which will continue having an effect beyond the duration of this alliance.



Vorausblickend zeigen all diese Studien eins sehr deutlich: Wissenschaftler aus dem Forschungsbereich der Kryosphäre benötigen räumlich hochauflösende Radardaten unterschiedlicher Wellenlänge, mit einer Abdeckung bis in die hohen Breiten von 88° Nord und einer Wiederholzeit von maximal 11 Tagen. Nur so lassen sich essentielle Klimavariablen in einer ausreichenden Genauigkeit bestimmen und nur so können der Gesellschaft die benötigten Produkte zur Verfügung gestellt werden.

Looking ahead, all these studies show one thing very clearly: Scientists from the research area of the cryosphere require spatial high-resolution radar data of different wavelengths, with coverage up to the high latitudes of 88° North and a maximum repetition time of 11 days. This is the only way to determine essential climate variables with sufficient accuracy and only in this way can the necessary products be made available to society.



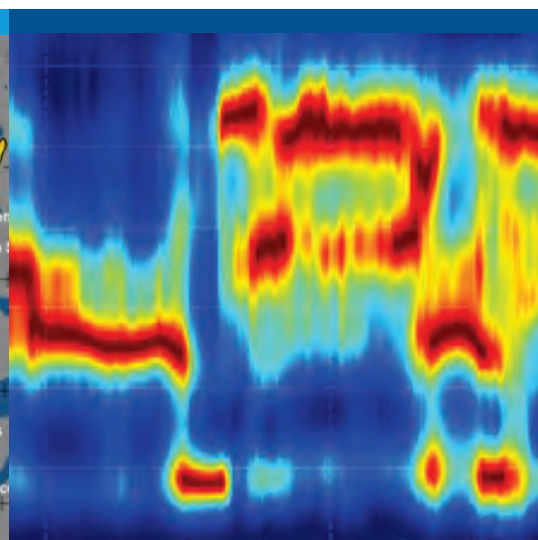
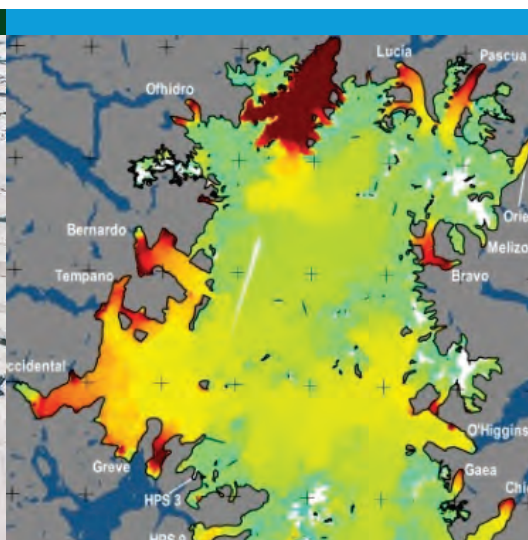
In meiner Doktorarbeit am DLR forsche ich an dem Potential von polarimetrischen und interferometrischen SAR-Daten zur Bestimmung der Eisstruktur von Gletschern und Eisschilden. Einer meiner persönlichen Meilensteine war die Planung und Durchführung eines flugzeuggestützten SAR-Experiments in Grönland. Durch die Zusammenarbeit mit den Glaziologen vom AWI konnten die Bodenmessungen, die parallel zu den SAR-Befliegungen stattfanden, optimiert werden. Heute steht mir ein einzigartiger Datensatz bestehend aus Bodenerhebungsdaten sowie polarimetrischen und interferometrischen SAR-Daten in fünf verschiedenen Frequenzen von sechs Untersuchungsgebieten in Grönland für meine Forschungen zur Verfügung. Sogar zwei Jahre nach der Kampagne und den ersten wissenschaftlichen Ergebnissen habe ich immer noch das Gefühl, dass wir nur an der Oberfläche dessen kratzen, was mit diesem Datensatz in der Zukunft noch möglich sein wird.

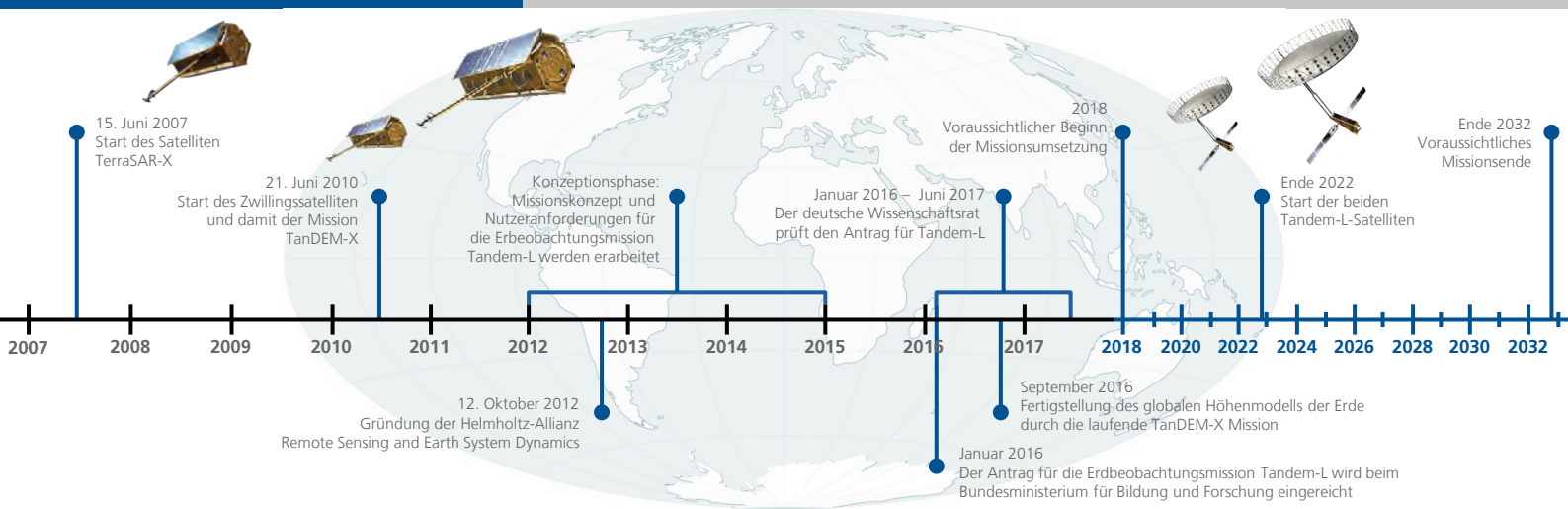
In my PhD thesis at DLR, I am working on the potential of polarimetric and interferometric SAR data to determine the ice structure of glaciers and ice sheets. One of my personal milestones was the planning and conduction of an airborne SAR experiment in Greenland. In cooperation with the AWI glaciologists, the ground measurements, which took place parallel to the SAR airborne flights, were optimized. Today, I have a unique data set available for my research, consisting of ground truth data as well as polarimetric and interferometric SAR data in five different frequencies from six research areas in Greenland. Even two years after the campaign and the first scientific results, I still feel that we just scratched the surface of what might be possible with this data set in the future.

Georg Fischer, German Aerospace Center (DLR); PhD Student of the Helmholtz Alliance

Die rasanten Änderungen in allen Bereichen der Kryosphäre stellen uns Wissenschaftler vor enorme Herausforderungen. Das System, dessen Prozesse wir noch nicht vollständig verstanden haben, ändert sich mit einer Geschwindigkeit, wie es zu Beginn des Jahrtausends noch nicht zu erwarten war. Die Änderungen betreffen riesige Gebiete, die aufgrund ihrer Lage in den nördlichen Breiten nur mit Hilfe von Radarsatelliten kontinuierlich beobachtet werden können. Die Gesellschaft braucht verlässliche Prognosen zukünftiger Veränderungen, die auf einem sehr guten Prozessverständnis und auf leistungsfähigen numerischen Modellen basieren. Sowohl beim Prozessverständnis, als auch bei der Quantifizierung der aktuellen Veränderung hat diese nationale Initiative wichtige Beiträge geliefert und ist das Sprungbrett, um die Beobachtungskapazitäten zukünftiger Missionen auszuschöpfen.

The rapid changes in all areas of the cryosphere present us scientists with enormous challenges. The system, whose processes we have not fully understood yet, is changing at a rate that was not expected at the beginning of the millennium. The changes affect huge areas which, due to their location in the northern latitudes, can only be observed continuously with radar satellites. The society needs reliable forecasts of future changes that are based on a very good understanding of processes and efficient numerical models. This national initiative has made important contributions both in understanding the process and in quantifying the current change, and is a springboard for exploiting the observation capacities of future earth observation missions.





Wissenslücken schließen

Die Helmholtz-Allianz hat einen signifikanten Beitrag hin zur Schließung von Informationslücken geleistet. Als erstes kann erwähnt werden, dass in den unterschiedlichen Erdsphären verschiedene Informationsprodukte aus Satellitendaten definiert und entwickelt worden sind. Zusätzlich zu der wissenschaftlichen Leistung hat die Helmholtz-Allianz ein einmaliges Netzwerk über zahlreiche Forschungsbereiche hinweg in einem gemeinsamen interdisziplinären Projekt erschaffen. So konnten unterschiedliche Expertisen der Helmholtz-Forschungszentren, Max-Planck-Institute, Universitäten und weiteren Forschungseinrichtungen synergetisch mit Ihren spezifischen Modellierungserfahrungen zu hoch aggregierten Datenprodukten veredelt und anschließend ausgewertet und genutzt werden.

Closing Gaps

The Helmholtz Alliance has made a significant contribution to closing information gaps. First of all, it can be mentioned that different information products have been defined and developed from satellite data in the different Earthspheres. In addition to its scientific achievements, the Helmholtz Alliance has created a unique network across numerous research areas in a joint interdisciplinary project. Thus, different expertises of the Helmholtz Research Centres, Max-Planck-Institutes, universities and other research institutions with their specific modeling experiences could be synergistically used and refined into highly aggregated data products. Afterwards these data products were evaluated and used.



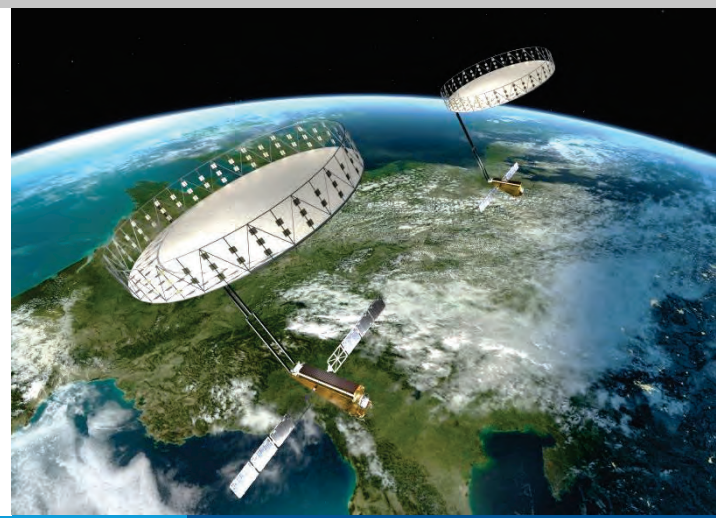
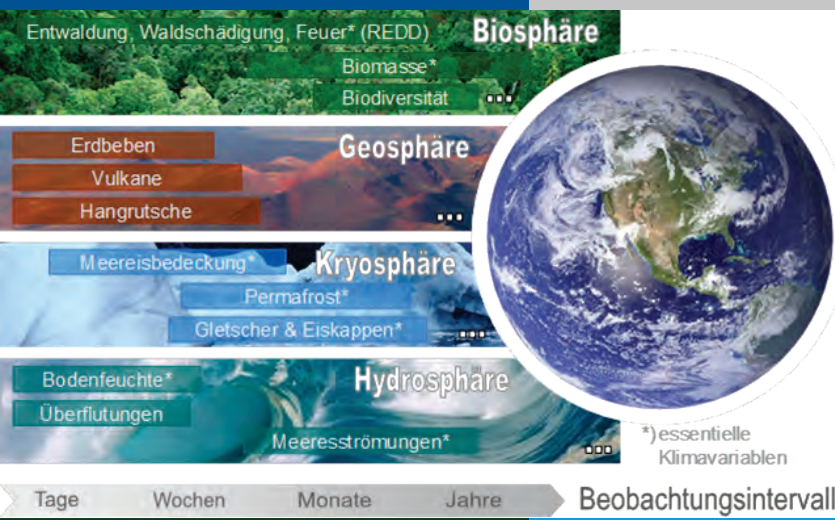
Dr. Paul Rosen, NASA-JPL;
Project Scientist for NASA-ISRO
synthetic aperture radar mission, NISAR

Die Helmholtz-Allianz hat einen innovativen, energetischen und einzigartigen Forschungsansatz auf nationaler Ebene geschaffen. Sie war sehr effektiv, Partner in ganz Deutschland zusammenzubringen, um Probleme anzugehen, die mit den neuesten internationalen Forschungstrends und Prioritäten übereinstimmen. Während meiner Teilnahme an dem Gutachtergremium zur Allianz-Zwischenbegutachtung und als Beobachter bei den folgenden Workshops war klar, dass das Engagement und die Begeisterung der nächsten Generation von Forschern, die durch diesen Rahmen ausgebildet wurden, greifbar war und zu qualitativ hochwertiger Forschung führte. Das Tandem-L-Missionskonzept diente der Allianz als Organisationsprinzip für die Forschung und führte zu wichtigen Ideen und Ergebnissen, die andernfalls vielleicht nicht erforscht worden wären.

The Helmholtz Alliance created an innovative, energetic, and unique approach to research at the national scale. It has been highly effective in bringing together partners throughout Germany to address problems aligned with the latest international research trends and priorities. It was clear during my participation in Alliance reviews and as an observer at the following workshops that the engagement with and excitement of the next generation of researchers being trained through this framework was palpable, and resulted in high quality research. The Tandem-L mission concept served the Alliance well as an organizing principle for the research, leading to important ideas and results that may not have been explored otherwise.

Um Informationslücken im System Erde zu schließen erfordert es ein Beobachtungssystem, das Prozesse aus mehreren Erdsphären auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen miteinander verbindet und geeignete Beobachtungsdaten zur Analyse dieser vielfältigen Wechselwirkungen systematisch erhebt. Die meisten analysierten Prozesse in der Helmholtz-Allianz sind direkt oder indirekt mit dem Klima verknüpft und erfordern eine kontinuierliche, langfristig angelegte und systematisch geplante Aufnahmestrategie, um Veränderungen auf unterschiedlichsten Raum und Zeitskalen

To close information gaps in the Earth system, an observation system is required that links processes from several Earth spheres at different spatial and temporal scales and systematically collects suitable observation data for the analysis of these manifold interactions. Most of the processes analysed in the Helmholtz Alliance are directly or indirectly linked to the climate and require a continuous, long-term and systematically planned recording strategy in order to observe and relate changes to each other in the most diverse space and time scales.



zu betrachten und miteinander in Beziehung zu setzen. Mit Einführung der satellitengestützten Erdbeobachtung hat das Verständnis von Veränderungen im System Erde zwar deutlich zugenommen, jedoch reichen Abbildungsleistung, Abdeckung und Messgenauigkeit bestehender Systeme oft nicht aus, um verlässliche Aussagen über die Dynamik großräumiger Prozesse abzuleiten.

Mit dem Missionsvorschlag Tandem-L können konventionelle Erdbeobachtungsgrenzen durch den Einsatz neuester Digitaler-Beamforming-Technologien in Kombination mit der speziellen Technik des Radars mit synthetischer Apertur überwunden werden. Hierdurch können gleichzeitig sieben essentielle Klimavariablen im Rahmen einer Satellitenmission gemessen, sowie große Gebiete unabhängig vom Wetter und Tageslicht mit hoher Auflösung und in kurzen Wiederholzyklen abgebildet werden. Die Kombination von mehreren Radaraufnahmen bietet darüber hinaus die Möglichkeit, kleinste Deformationen auf der Erdoberfläche millimetergenau zu erfassen und damit grundlegende Informationen für die Untersuchung zahlreicher Prozesse in der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre zu liefern. Eine weitere wesentliche Innovation ist die gleichzeitige Bildaufnahme mit zwei Radarsatelliten im L-Band. Dies ermöglicht nicht nur die hochgenaue Erstellung digitaler Gelände- und Oberflächenmodelle, sondern auch die tomographische Vermessung der vertikalen Struktur von Volumenstreuern wie z.B. Vegetation, Eis, Sand und trockenen Boden. Diese 3D-Strukturinformationen sind essentiell für die Analyse einer Vielzahl von Prozessen in allen Erdsphären. Mit seinen innovativen Abbildungstechniken und seiner systematischen Datenaufnahme wird Tandem-L somit eine weltweit einzigartige und in sich konsistente Datenbasis liefern, mit der nicht nur die einzelnen Prozesse getrennt voneinander, sondern auch deren Wechselwirkungen untereinander mit einer bisher nicht vorstellbaren Präzision und Auflösung erfasst werden können.

Die Helmholtz-Allianz hat mit der derzeitigen Datengrundlage Informationsprodukte entwickelt und deren Integration in umweltrelevante Modelle demonstriert. Jedoch wird erst mit Tandem-L eine operationelle und systematische Nutzung der Informationsprodukte möglich.

Mit der Veredlung der Tandem-L-Daten hin zu Informationsprodukten ist damit zu rechnen, dass mehrere Tausend Wissenschaftler, kommerzielle und hoheitliche Nutzer regelmäßig auf die Daten zugreifen werden. Tandem-L ist somit prädestiniert, einen historischen Meilenstein in der internationalen Erdsystemforschung zu setzen und einen wichtigen Beitrag für das bessere Verständnis und den Erhalt von Erde und Umwelt zu leisten.

With the introduction of satellite-based Earth observation, the understanding of changes in the Earth system has increased significantly, but imaging performance, coverage and measurement accuracy of existing systems are often not sufficient to provide reliable information on the dynamics of large-scale processes.

The mission proposal Tandem-L enables conventional Earth observation limits to be overcome by using the latest digital beamforming technologies in combination with the special technique of synthetic aperture radar. This means that seven essential climate variables can be measured simultaneously in the context of a satellite mission, as well as large areas can be mapped with high resolution and in short repetition cycles, independent of weather and daylight. The combination of several radar images also offers the possibility to record smallest deformations on the Earth's surface with millimetre accuracy and thus provide fundamental information for the investigation of numerous processes in the bio-, geo-, cryo- and hydrosphere. Another important innovation is the advanced image acquisition with two radar satellites in the L-band. This enables not only the high-precision creation of digital terrain and surface models, but also the tomographic measurement of the vertical structure of volumetric scatterers such as vegetation, ice, sand and dry soil. This 3D structural information is essential for the analysis of a variety of processes in all Earth spheres. With its innovative imaging techniques and systematic data acquisition, Tandem-L will thus provide a consistent database that is unique world wide. It will not only be able to record the individual processes separately from each other, but also their interactions with each other with unprecedented precision and resolution.

The Helmholtz Alliance has used the current data basis to develop information products and demonstrate their integration into environmentally relevant models. However, it is only with Tandem-L that an operational and systematic use of the information products becomes possible.

The refinement of Tandem-L data into information products is expected to lead to several thousand scientists, commercial and sovereign users regularly accessing the data. Tandem-L is thus predestined to set a historic milestone in international Earth system research and to make an important contribution to a better understanding and preservation of the Earth and the environment.



Helmholtz-Allianz in Fakten / Helmholtz Alliance in facts

Die Helmholtz-Allianz „Fernerkundung und Dynamik des Erdsystems“, ein Instrument des Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft, wurde im Zeitraum zwischen Januar 2013 und Dezember 2017 mit einem Fördervolumen von 20 Mio. Euro finanziert.

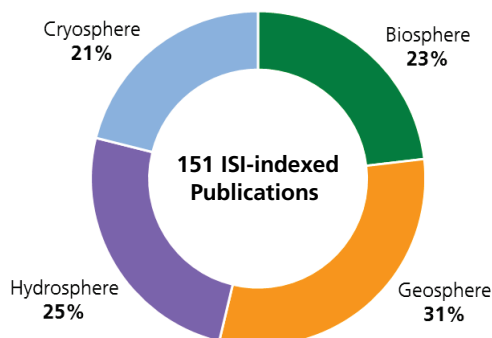
The Helmholtz Alliance 'Remote Sensing and Earth System' Dynamics was funded between January, 2013 and December, 2017 by the Initiative and Networking Fund of the Helmholtz Association with a funding of 20 million euros.

Mitarbeiter gesamt / Total staff

- 43 Doktoranden / PhD students
- 24 Postdocs / postdocs
- 70 Wissenschaftler / research scientists

Beratende Komitees / Advisory Boards

- External Advisory Board:
 - Prof. R. Dubayah (University Maryland, USA)
 - Prof. S. Stramondo (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, IT)
 - Prof. H. Dolmann (VU Universität Amsterdam, NL)
 - Prof. J.O. Hagen (Universität Oslo, NO)
 - Prof. H. Graßl (Max-Planck-Institut für Meteorologie, DE)
- User Advisory Board
 - Dr. M. Karmann (Forest Stewardship Council, DE)
 - R. Seitz (Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, DE)
 - Prof. J. Zschau (GFZ Potsdam, DE)
 - Dr. D. Rechid (Climate Service Center, DE)
 - Dr. H. Corr (British Antarctic Survey, UK)



Prozentuale Verteilungen der Publikationen pro Forschungsthema
Distribution of publications per research topic in percent

Ergebnisse und Outreach (Stand Oktober 2017)

Training und Weiterbildung

- 35 international anerkannte Experten wurden zur Allianzwoche eingeladen,
- 24 Tutorials und Workshops wurden durchgeführt,
- 31 Jungwissenschaftler nahmen am Austauschprogramm teil.

Publikationen

- 151 Publikationen in ISI-indexed Journals,
- 63% der Journals haben einen Impactfaktor größer 3,
- Bei 59% der Publikationen sind die Erstautor Doktoranden, bei 19% Postdocs und 22% Senior-Wissenschaftler.

Dissertationen und Berufungen

- 25 abgeschlossene Dissertationen,
- 2 Berufungen zur Professur.

Auszeichnungen

- 14 Preise auf internationalen Konferenzen,
- ERC Consolidator Grant,
- Emmy-Noether-Programm.

Zusätzliche Ergebnisse

- 17 Geländekampagnen wurden organisiert,
- Onlinebefragung zu Tandem-L Produkten wurde durchgeführt.

Results and Outreach (Status October 2017)

Training and Education

- 35 internationally recognized experts were invited to the Alliance Week,
- 24 tutorials and workshops were conducted,
- 31 young scientists took part in the exchange programme.

Publications

- 151 publications in ISI-indexed journals,
- 63% of the journals have an impact factor higher than 3,
- In 59% of the publications, the first authors are PhD students, in 19% postdocs, 22% senior scientists.

Dissertations and Appointments

- 25 completed Dissertations,
- 2 appointments to a professorship.

Awards

- 14 awards at international conferences,
- ERC Consolidator Grant,
- Emmy Noether Programme.

Additional Achievements

- 17 field campaigns had been organised,
- Online survey on Tandem-L products had been conducted.



Partner und Kontakte / Partners and Contacts

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme

Alberto Moreira

Irena Hajsek

Alberto.Moreira@dlr.de

Irena.Hajsek@dlr.de

Institut für Methodik der Fernerkundung

Michael Eineder

Michael.Eineder@dlr.de

Institut für Kommunikation und Navigation

David Minkwitz

David.Minkwitz@dlr.de

AWI Alfred Wegener Institut

Glaziologie

Angelika Humbert

Angelika.Humbert@awi.de

Meteorologie der Polargebiete

Wolfgang Dierking

Wolfgang.Dierking@awi.de

Meereisphysik

Stefanie Arndt

Stefanie.Arndt@awi.de

Periglazialforschung

Birgit Heim

Birgit.Heim@awi.de

FZJ Forschungszentrum Jülich

Agrosphäre

Carsten Montzka

C.Montzka@fz-juelich.de

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Ozeanzirkulation und Klimadynamik

Andreas Lehmann

ALehmann@geomar.de

Dynamik des Ozeanbodens

Thor Hansteen

THansteen@geomar.de

HMGU Helmholtz Zentrum München

Institute of Biochemical Plant Pathology

Eckart Priesack

Priesack@helmholtz-muenchen.de

GFZ GeoForschungsZentrum Potsdam

Erdbeben- und Vulkanphysik

Thomas R. Walter

Thomas.Walter@gfz-potsdam.de

Fernerkundung

Daniel Spengler

Daniel.Spengler@gfz-potsdam.de

Geodätische Weltraumverfahren

Jens Wickert

Jens.Wickert@gfz-potsdam.de

Hydrologie

Andreas Güntner

Andreas.Guentner@gfz-potsdam.de

KIT Karlsruhe Institut für Technologie

Atmosphärische Umweltforschung

Harald Kunstmann

Harald.Kunstmann@kit.edu

UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Department Ökologische Systemanalyse

Andreas Huth

Andreas.Huth@ufz.de

Department Landschaftsökologie

Daniel Doktor

Daniel.Doktor@ufz.de

Department Hydrosystemmodellierung

Luis Samaniego

Luis.Samaniego@ufz.de

Department Monitoring- und Erkundungstechnologien

Ute Wollschläger

Ute.Wollschlaeger@ufz.de

PIK Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

Erdsystemanalyse

Anja Rammig

Anja.Rammig@tum.de

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Fernerkundung

Michaela Frei

Michaela.Frei@bgr.de

ETHZ Eidgenössische Hochschule Zürich

Umweltingenieurwissenschaften

Irena Hajsek

Hajsek@ifu.baug.ethz.ch

FAU Friedrich-Alexander Universität Erlangen Nürnberg

Institut für Geographie

Matthias Braun

Matthias.h.braun@fau.de

FSU Friedrich-Schiller Universität Jena

Institut für Geographie

Christiane Schmullius

C.Schmullius@uni-jena.de

LMU Ludwig-Maximilians-Universität München

Geologie

Anke Friedrich

Friedrich@lmu.de

PUM Philipps Universität Marburg

Fachbereich Geographie

Jörg Bendix / Boris Thies

Bendix@staff.uni-marburg.de

Boris.Thies@geo.uni-marburg.de

Technische Universität München

Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement

Peter Biber

Peter.Biber@lrz.tum.de

Land Surface-Atmosphere Interactions

Anja Rammig

Anja.Rammig@tum.de

UP Universität Potsdam

Institut für Erd- und Umweltwissenschaften

Henriette Sudhaus

HSudhaus@gfz-potsdam.de

UH Universität Hamburg

Institut für Meereskunde

Lars Kaleschke

Lars.Kaleschke@uni-hamburg.de

FSC Forest Stewardship Council

Policy and Standards Unit

Hans-Joachim Droste

HJ.Droste@fsc.org

Bildlegenden

Seite 4

Alberto Moreira, Direktor, DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme

Seite 6 und 7

(von links) Folgen der Klimaveränderung; Postersession – Allianzwoche 2016; Teilnehmer der 4. Allianzwoche in Garmisch-Partenkirchen 2016

Seite 8 und 9

(von links) 5. Polarsternexpedition PS89: Feldarbeiten auf Meereis; Bodenprobenahme in Schäfertal; Drohnenaufnahme vom Kraterand am Merapi-Vulkan, Indonesien; CROPEX Kampagne – Bodenfeuchtemessung; Traunstein Megaplot – Bauminventur; Salzsee in der Atacama-Wüste

Seite 10 und 11

(von links) Tropischer Regenwald; Waldmodell FORMIND; Polarimetrisches Radarbild eines Waldes in Traunstein; Veränderung der Waldstruktur zwischen 2008 und 2012

Seite 14 und 15

Vulkanlandschaft – Island; 3D-Darstellung eines TanDEM-X-DEM's vom Finke Gorge National Park, Australien; Envisat Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) Interferogramm des Bam-Erdbebens 2003; Zerstörtes Haus, Italien, Erdbeben 2016; Erdbebenopfer zwischen 1900 und heute basierend auf dem NOAA-Katalog

Seite 16 und 17

(von links) Deformationskarte vom Nepal Erdbeben 2015; Open Path Fourier Transform Infrarot Spektroskopie; TanDEM-X-DEM, Mittlerer Osten; Geschwindigkeit der Bodenverschiebung; Korrektur ionosphärischer Effekte für InSAR-Anwendungen, Splitspektrum; zeitliche Verlagerung des Lavaflusses aus TerraSAR-X-Kohärenz

Seite 18 und 19

(von links) Krka-Wasserfälle – Kroatien; TDR-Messungen in Schäfertal; Schätzung der Meeresoberflächengeschwindigkeit mit dem neu entwickelten Prozessor; Untersuchung der Bodenfeuchte: Ein UFZ Wissenschaftler nimmt Bodenproben in Schäfertal / Deutschland: TerraSAR-X-DInSAR-Bild vom Lena Delta

Seite 22 und 23

(von links) Eisberge vor Island; Arctic15-Feldkampagne in Grönland – Messflugzeug Do-228; Saisonaler Zyklus und langfristiger Trend der solaren Energieströme durch das arktische Meereis; Nassschneedetektion mit TerraSAR-X-Daten im Frühjahr 2015; Abschätzung der Firnschichtdicke

Seite 24 und 25

(von links) Detektion von Firnschichten mittels einer Akkumulationsonde während der Arctic15-Kampagne; Polarimetrische L-Band-SAR-Aufnahme des Russelgletscher in Grönland; AWI-Forschungsschiff Polarstern; Karte der Höhenänderungsrate in m / Jahr des südlichen patagonischen Eisfeldes, abgeleitet aus SRTM und TanDEM-X-Daten; Interne Eisstruktur abgebildet mittels SAR-Tomographie

Seite 26 und 27

(von links) Zeitplan von deutschen Radar-Erdbeobachtungsmissionen; Beispiele dynamischer Prozesse aus unterschiedlichen Erdsphären und die für deren systematische Erfassung erforderlichen Beobachtungsintervalle; Geplante innovative Erdbeobachtungsmission Tandem-L

Seite 28 und 29

(von links) Teilnehmer bei der Evaluierung der Helmholtz-Allianz am 11. September 2015; Logos der einzelnen Partner der Helmholtz-Allianz

Image Captions

Page 4

Alberto Moreira, Director, DLR Microwaves and Radar Institute

Page 6 and 7

(from left) Consequences of climate change; Postersession – Alliance Week 2016; Participant of the 4th Alliance Week in Garmisch-Partenkirchen 2016;

Page 8 and 9

(from left) 5th Polarstern expedition PS89: Fieldwork on sea ice; Soil sampling in Schäfertal; Crater rim at Merapi Volcano, Indonesia, recorded by a Drone; CROPEX Campaign – soil moisture measurement; Traunstein Megaplot – tree inventory; Salt lake in the Atacama desert

Page 10 and 11

(from left) Tropical rainforest; Forest model FORMIND; Polarimetric radar image of a forest in Traunstein; Change in forest structure between 2008 and 2012

Page 14 and 15

Volcanic landscape – Iceland; 3D View of a TanDEM-X DEM of the Finke Gorge National park, Australia; Envisat Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) Interferogram of the Bam earthquake in 2003; Destroyed building, Italy, Earthquake 2016; Earthquake fatalities between 1900 and today based on NOAA catalogue (without tsunami)

Page 16 and 17

(from left) Deformation Map of the Nepal Earthquake 2015; Open Path Fourier Transform Infrared Spectroscopy; TanDEM-X DEM Middle East; Ground Displacement Velocities; Correction of Ionospheric Effects for InSAR Applications; Split Spectrum; Temporal Displacement of the Lavaflow from TerraSAR-X Coherence

Page 18 and 19

(from left) Krka Waterfalls – Croatia; TDR measurements in Schäfertal, Surface velocity estimated by a new developed processor; Investigation of soil moisture: An UFZ scientist takes soil samples in Schäfertal / Germany; TerraSAR-X DInSAR image of Lena Delta

Page 22 and 23

(from left) Icebergs in front of Iceland; Arctic15 field campaign in Greenland – measurement aircraft Do-228; Seasonal cycle and long-term trend of solar energy fluxes through Arctic sea ice; Wet snow detection with TerraSAR-X data in spring 2015; firn layer thickness estimate

Page 24 and 25

(from left) Detection of firn layers using an accumulation probe during the Arctic15 campaign; Polarimetric L-band SAR image of the Russel glacier in Greenland; AWI research vessel – Polarstern; Map of the change in elevation rate in m/year of the southern Patagonian ice field, derived from SRTM and TanDEM-X data; Internal ice structure represented by SAR tomography

Page 26 and 27

(from left) Timetable of German Earth observation missions; Examples of dynamic processes from different terrestrial spheres and the observation intervals required for their systematic recording; planned innovative earth observation mission Tandem-L

Page 28 and 29

(from left to right) Participants in the evaluation of the Helmholtz Alliance on 11 September 2015; Logos of the individual partners of the Helmholtz Alliance

Bildnachweis

Umschlag: Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 4: (Photo) Alberto Moreira / DLR

Seite 6: (oben) DLR; (Photo) GEDI (@GEDI_Knights) | Twitter

Seite 7: (oben, von links) Helmholtz-Allianz / DLR, Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 8: (Photo) I. Hajsek / DLR; (unten, von links) M. Nikolaus / AWI, Helmholtz-Allianz / UFZ, T.R. Walter / GFZ

Seite 9: (unten; von links) H. Jörg / DLR, Helmholtz-Allianz / TUM, T.R. Walter / GFZ

Seite 10: (oben, von links) CCO Public Domain, UFZ; Helmholtz-Allianz / DLR; (Graphik) Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 11: (oben) Helmholtz-Allianz / DLR; (Photo) A. Huth (UFZ)

Seite 12: (Graphik) Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 13: (Karte) Rödig E, Cuntz M, Heinke J, Rammig A, and Huth A. (2017), Spatial heterogeneity of biomass and forest structure of the Amazon rain forest: Linking remote sensing, forest modelling and field inventory. *Global Ecol Biogeogr*, 26:1292–1302.; (Photo) E.Rödig (UFZ)

Seite 14: (oben, von links) CCO Public Domain, DLR, DLR

Seite 15: (oben, von links) CCO Public Domain, Landgraf A., Kübler S., Hintersberger E., Stein S. (2016) Active tectonics, earthquakes and palaeoseismicity in slowly deforming continents. *Geological Society, London, Special Publications*, doi:10.1144/SP432.13

Seite 16: (Photo) T.R. Walter / GFZ; (unten, von links) Helmholtz-Allianz / DLR, Helmholtz-Allianz / GEOMAR, DLR

Seite 17: (Photo) mymuesli/Radu Gota; (unten, von links) Helmholtz-Allianz / GFZ, Helmholtz-Allianz / DLR, Helmholtz-Allianz / GFZ

Seite 18: (oben, von links) CCO Public Domain, Helmholtz-Allianz / UFZ, Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 19: (oben, von links) Helmholtz-Allianz / UFZ, Helmholtz-Allianz / ETHZ

Seite 20: (Photo) C. Montzka / FZJ

Seite 22: (oben, von links) CCO Public Domain, DLR

Seite 23: (oben, von links) Arndt, S., and M. Nicolaus (2014), Seasonal cycle and long-term trend of solar energy fluxes through Arctic sea ice, *The Cryosphere*, 8(6), 2219–2233, doi:10.5194/tc-8-2219-2014., Helmholtz-Allianz / AWI, Helmholtz-Allianz / DLR; (Photo) A. Humbert / AWI

Seite 24: (unten, von links) Helmholtz-Allianz / ETHZ, Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 25: (unten, von links) Mario Hoppmann / AWI, Helmholtz-Allianz / DLR, Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 26: (oben) DLR; (Photo) P. Rosen (NASA-JPL)

Seite 27: (oben, von links) Helmholtz-Allianz / DLR, DLR

Seite 28: (oben) Helmholtz-Allianz / DLR; (Diagramm) Helmholtz-Allianz / DLR

Seite 29: (oben) Helmholtz-Allianz / DLR

Image Credits

Front cover: Helmholtz Alliance / DLR

Page 4: (photo) Alberto Moreira / DLR

Page 6: (top) DLR; (photo) GEDI (@GEDI_Knights) | Twitter

Page 7: (top, from left) Helmholtz Alliance / DLR, Helmholtz Alliance / DLR

Page 8: (photo) I. Hajsek / DLR; (bottom, from left) M. Nikolaus / AWI, Helmholtz Alliance / UFZ, T.R. Walter / GFZ

Page 9: (bottom; from left) H. Jörg / DLR, Helmholtz Alliance / TUM, T.R. Walter / GFZ

Page 10: (top, from left) CCO Public Domain, UFZ; Helmholtz Alliance / DLR; (graphical representation) Helmholtz Alliance / DLR

Page 11: (top) Helmholtz Alliance / DLR; (photo) A. Huth (UFZ)

Page 12: (graphical representation) Helmholtz Alliance / DLR

Page 13: (Biomass map) Rödig E, Cuntz M, Heinke J, Rammig A, and Huth A. (2017), Spatial heterogeneity of biomass and forest structure of the Amazon rain forest: Linking remote sensing, forest modelling and field inventory. *Global Ecol Biogeogr*, 26:1292–1302.; (photo) E.Rödig (UFZ)

Page 14: (top, from left) CCO Public Domain, DLR, DLR

Page 15: (top, from left) CCO Public Domain, Landgraf A., Kübler S., Hintersberger E., Stein S. (2016) Active tectonics, earthquakes and palaeoseismicity in slowly deforming continents. *Geological Society, London, Special Publications*, doi:10.1144/SP432.13

Page 16: (photo) T.R. Walter / GFZ; (bottom, from left) Helmholtz Alliance / DLR, Helmholtz Alliance / GEOMAR, DLR

Page 17: (photo) mymuesli/Radu Gota; (bottom, from left) Helmholtz Alliance / GFZ, Helmholtz Alliance / DLR, Helmholtz Alliance / GFZ

Page 18: (top, from left) CCO Public Domain, Helmholtz Alliance / UFZ, Helmholtz Alliance / DLR

Page 19: (top, from left) Helmholtz Alliance / UFZ, Helmholtz Alliance / ETHZ

Page 20: (photo) C. Montzka / FZJ

Page 22: (top, from left) CCO Public Domain, DLR

Page 23: (top, from left) Arndt S., Nicolaus M. (2014), Seasonal cycle and long-term trend of solar energy fluxes through Arctic sea ice, *The Cryosphere*, 8(6), 2219–2233, doi:10.5194/tc-8-2219-2014., Helmholtz Alliance / AWI, Helmholtz Alliance / DLR; (photo) A. Humbert / AWI

Page 24: (bottom, from left) Helmholtz Alliance / ETHZ, Helmholtz Alliance / DLR

Page 25: (bottom, from left) Mario Hoppmann / AWI, Helmholtz Alliance / DLR, Helmholtz Alliance / DLR

Page 26: (top) DLR; (photo) P. Rosen (NASA-JPL)

Page 27: (top, from left) Helmholtz Alliance / DLR, DLR

Page 28: (top) Helmholtz Alliance / DLR; (diagram) Helmholtz Alliance / DLR

Page 29: (top) Helmholtz Alliance / DLR

