# Über Höhen und Tiefen besser im Bild

**Sand und Schlick, durchzogen von Prielen und Rinnen, feine Verästelungen, die sich von der Küste landeinwärts in Salzwiesen fortsetzen. – Kaum eine Landschaft auf der Erde verändert sich so dynamisch wie das Watt. Gezeiten und raue Wetterlagen unterwerfen das Wattenmeer einem steten Wandel, von den nassen bis zu den trockenfallenden Bereichen. Nicht nur nach einer Sturmflut sind Schiffe deswegen auf aktuelle Karten des überschwemmten Gebiets angewiesen. Das Watt ist außerdem ein empfindliches Ökosystem. Veränderungen in der Pflanzen- und Tierwelt müssen regelmäßig beobachtet und dokumentiert werden. Wie lassen sich Wattflächen innerhalb kurzer Zeit dreidimensional vermessen? Am DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen werden Technologien und Verfahren zum Vermessen der Wattoberfläche entwickelt.**

## Radar-Interferometrie hilft, die Topografie trockenfallender Wattbereiche zu erfassen

**Von Rolf Scheiber und Muriel Pinheiro**

**Watt um die Insel Neuwerk im südwestlichen Teil der Elbmündung in einer optischen Luftbildaufnahme**

Bild: BfG (bafg.de), 2015

**Das DLR-Forschungsflugzeug Dornier Do-228 mit weißem Antennenhalter des F-SAR-Sensors auf dem Vorfeld in Oberpfaffenhofen. Die Positionen der X- und S-Band-Antennen für die SAR-Interferometrie sind bezeichnet.**

## Glossar

**SAR (Synthetic Aperture Radar)** Durch die Bewegung einer seitwärts blickenden Radar-Antenne wird eine lange virtuelle Antenne simuliert, die durch eine sehr schmale Antennenkeule gekennzeichnet ist. Damit wird eine sehr gute, entfernungsunabhängige räumliche Auflösung erzielt. Das seit den Fünfzigerjahren bekannte Prinzip wird heute für Radar-Systeme auf Flugzeugen und Satelliten, aber auch bei bodengebundenen Fahrzeugen genutzt.

**TerraSAR-X** Erster ziviler deutscher SAR-Satellit, gestartet 2007

**SAR-Interferometrie** Verfahren zur Messung von Weglängenunterschieden mit Genauigkeiten, die kleiner sind als die Wellenlänge. Dazu werden zwei SAR-Bilder aus leicht unterschiedlicher Geometrie miteinander verrechnet. Der Abstand der zwei Antennen wird als Basislinie bezeichnet. SAR-Interferometrie dient unter anderem der großflächigen Vermessung der Topografie.

**TanDEM-X** Ziel der Satellitenmission TanDEM-X ist ein hochgenaues dreidimensionales Abbild der Erde. In einem einzigartigen Formationsflug vermessen die DLR-Zwillingssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X (gestartet 2010) die Erdoberfläche im Einpass-Interferometriemodus.

**Einpass-Interferometrie** Die interferometrische Basislinie wird von zwei Antennen gebildet, die meistens beide auf der gleichen Plattform fliegen. Die Datenaufzeichnung erfolgt simultan und die Höhengenauigkeit ist durch den Sensor festgelegt.

**Mehrpass-Interferometrie** Die interferometrische Basislinie entsteht durch wiederholte Befliegung mit räumlichem Versatz. Damit kann die erzielbare Höhengenauigkeit der Anwendung angepasst werden.

**ALS (Airborne Laserscanning)** Methode der Geodäsie, bei der die Topografie zeilenweise quer zur Flugrichtung mit Hilfe von Entfernungsmessungen mittels Laser erfasst wird.

**SNR (Signal-to-Noise-Ratio)** Signal-Rausch-Verhältnis, Verhältnis von Radar-Rückstreu-Intensität und thermischem Rauschen in einem Radar-Bild. Es hat direkten Einfluss auf die erzielbare Höhengenauigkeit.

Bei Ebbe fällt das Watt teilweise trocken, der Untergrund tritt sichtbar hervor: der ideale Zeitpunkt, um die Bodentopografie dieser Bereiche zu erfassen. Das Zeitfenster dafür beschränkt sich auf eine Stunde. Bisher sind Messflüge per Laserscan ALS (Airborne Laser Scanning) üblich, doch die Nutzer, beispielsweise Küsten- und Naturschützer, wünschen sich eine Alternative. Mit Radar ist eine wesentlich effizientere Kartierung großer Wattbereiche möglich.

Im Rahmen eines Pilotprojekts im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) untersucht das DLR daher die Möglichkeit der Wattvermessung per Radar, speziell mittels flugzeuggestützter SAR-Interferometrie (Synthetic Aperture Radar; InSAR). Zwischen November 2012 und Juli 2013 führten Wissenschaftler vom Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme im DLR Oberpfaffenhofen dazu drei Testbefliegungen durch. Sie waren an der deutschen Nordseeküste in der Nähe von Wilhelmshaven unterwegs. Zum Einsatz kam das institutseigene flugzeuggestützte F-SAR-System. Es hat die besondere Fähigkeit, zeitgleich mehrere Frequenzen in hoher Auflösung aufzuzeichnen. Für höhere Genauigkeiten kann es außerdem die Daten von mehreren Messflügen gemeinsam verrechnen. Ziel des Pilotprojekts war es, zu ermitteln: Welche Radar-Frequenzbereiche und welche Fluggeometrie sind am besten für die Vermessung der Watt-Topografie geeignet? Und: Wie sind die Radar-Daten idealerweise zu verarbeiten?

Für den ersten Messflug wurde das DLR-Forschungsflugzeug Dornier-228 mit Radar-Sensoren im X-Band-Frequenzbereich ausgestattet. Die Messung erfolgte über dem Testgebiet in Ost-West-Richtung, quer über den gesamten Jadebusen. Nach den ersten Datenauswertungen erfolgte im April 2013 eine weitere X-Band-Befliegung mit optimierter Radar-Einstellung und Fluggeometrie. Zum Vergleich wurde von der BfG ein zusätzlicher Messflug mit der üblichen Laserscan-Methode beauftragt. In der letzten Etappe schließlich, im Juli 2013, wurde das Radar-System erstmals im Mehrfrequenz-Aufnahmemodus getestet. Dafür kam eine Kombination aus X-Band- und S-Band-Sensoren zum Einsatz. Beide Radar-Signale zeichnete das System während eines Überfluges simultan auf. Im Abstand von wenigen Minuten erfolgte dann ein zweiter, paralleler Überflug. Mit dieser Messung konnten die Höhengenauigkeit wie auch die Unterscheidung von Wasser und trockengefallenen Gebieten verbessert werden.

### Flugzeugbasierte Radar-Systeme – schneller, flexibler, exakter

Topografische Messungen per Laser, wie sie bisher vorgenommen werden, erzielen gute Höhengenauigkeiten von rund zehn Zentimetern bei einer räumlichen Auflösung von etwa einem Meter. Der Laser kann somit Flächenelemente in der Größenordnung einer Europapalette dreidimensional darstellen. Ein Nachteil ist jedoch seine geringe Flächenleistung, also die abgebildete Fläche innerhalb einer bestimmten Zeit. Und: Es ist eine Sichtverbindung notwendig, sodass Messungen nur bei wolkenfreiem Wetter stattfinden können.

Radar zeichnet im Vergleich zum Laser eine vier- bis achtmal größere Fläche pro Überflug auf. Bei der Abbildung des drei Kilometer breiten Testgebiets erreichte das F-SAR eine vergleichbare Bildauflösung von bis zu einem halben Meter, sodass sich im Radar-Bild auch kleinste Prielen erkennen lassen. Da Radar-Sensoren außerdem unempfindlich gegenüber Wettereinflüssen sind, kann das täglich einstündige Zeitfenster zur Datenerfassung maximal genutzt werden. Das bietet auch mehr Sicherheit für die Flugplanung. In Summe erwarten die Experten mit Radar eine insgesamt zehn- bis zwanzigmal schnellere Kartierung von Wattgebieten, als sie bisher per Laser möglich war. Die größte Herausforderung für einen künftig operationellen Einsatz liegt dabei in der Verarbeitung der komplexen Daten.



Das F-SAR bietet aber auch Vorteile gegenüber satellitengestützten Radar-Systemen, wie etwa TanDEM-X. Ein Flugzeug macht das Radar-System flexibel einsetzbar – ein entscheidendes Kriterium für Anwendungen im Wattbereich. Außerdem bietet es – für die Anwendung sehr wichtig – eine deutlich höhere räumliche Auflösung bei zugleich wesentlich besserem Signal-Rausch-Verhältnis.

### Ausgeklügelte Verfahren bringen mehr Informationen

Zur Kartierung schwieriger Wattflächen müssen die Hebungen und Senkungen der Geländeoberfläche mit einer Genauigkeit von rund zehn Zentimetern vermessen werden. Auch der Nachweis von Veränderungen ist wichtig. So lassen sich Wasserflächen etwa durch ihre Wellenbewegung von nassem Sand abgrenzen. Diese Unterscheidung gelingt den Radar-Experten durch die Mehrpass-Interferometrie: Das abzubildende Gebiet wird dazu wiederholt in räumlichen Abständen von zehn bis 100 Metern beflogen. Anschließend werden die Daten in einem ausgeklügelten Verfahren verrechnet. Hintergrund ist die Verlängerung der sogenannten interferometrischen Basislinie. Dadurch kann die Höhenauflösung um eine Größenordnung verbessert werden.

Während der letzten Kartierung im Juli 2013 führten die Wissenschaftler die Mehrpass-Interferometrie mit parallelen Flugpfaden im Abstand von 30 Metern auf einer Flughöhe von 2.400 Metern durch. Dank der Kombination des kurzwelligen X-Bandes und des S-Bandes, mit dreimal größerer Wellenlänge, ließen sich Fehlerfortpflanzungen der Datensätze vermeiden und Mehrdeutigkeiten auflösen, die sonst bei Daten einer einzigen Frequenz auftreten. Das Ergebnis: Sandbänke wie auch isolierte Inselbereiche konnten identifiziert und ihre Höhen korrekt errechnet werden. Die F-SAR-Aufnahmen vom Juli machten außerdem sichtbar, welche lokalen Änderungen sich im Bereich der Sandablagerungen und bei den Salzwiesen innerhalb der drei Monate seit den Messungen vom April ergeben haben.

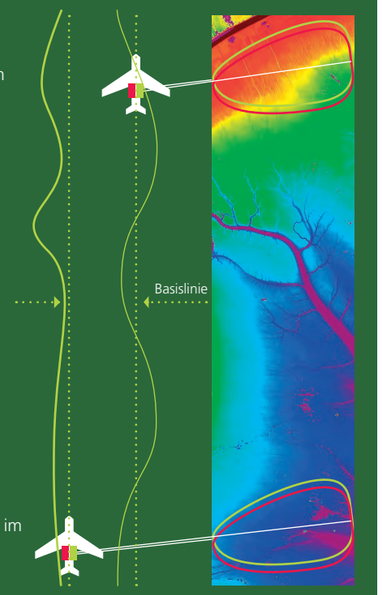
Wie die abschließenden Datenauswertungen der letzten Testbefliegung zeigen, bietet das F-SAR-System im Mehrfrequenz-Betrieb eine effektive und robuste Lösung zur Kartierung von Wattgebieten. Der Erfolg des Pilotprojekts gibt Nutzern und Entwicklern somit Recht. Die Messungen sollen nun auf ein größeres Testgebiet ausgedehnt werden. Derzeit werden die Möglichkeiten eines gemeinsamen Projektantrags mit der BfG und Einrichtungen der zuständigen Bundes- und Landesbehörden erörtert: dem Bundesamt für Wasserstraßen sowie dem niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Auch weitere praktische Einsatzmöglichkeiten der SAR-Technologie sollen in den kommenden Jahren untersucht werden, etwa Rauigkeitskartierung und Klassifikation von Vegetation im Wattgrenzbereich. So entstehen mit Hilfe von Radar künftig hochgenaue Karten und Bilder – von einer Landschaft, die niemals stillsteht. ●

**Autoren:**
Rolf Scheiber ist Fachgruppenleiter SAR-Signalverarbeitung am DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen.

Muriel Pinheiro arbeitet am gleichen Institut und beendet gerade ihre Doktorarbeit zum Thema „Hochgenaue Geländemodelle aus SAR-Interferometrie“.

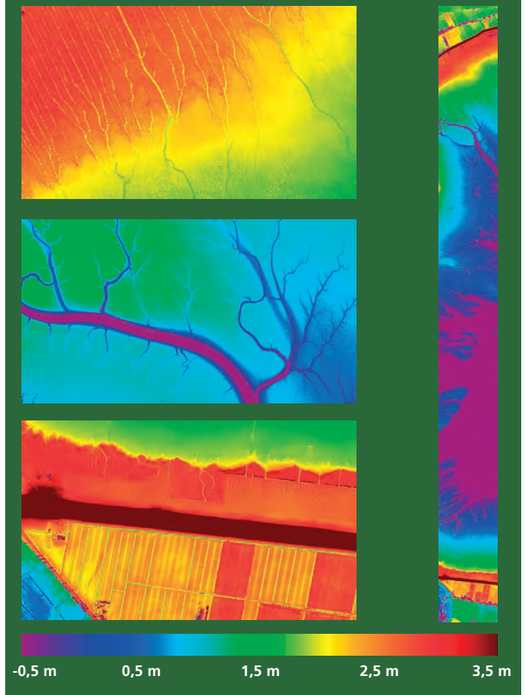
**Weitere Informationen:**
s.DLR.de/6o11

## Flugzeuggestützte SAR-Interferometrie mit F-SAR




## Geländemodell des Testgebiets am Jadebusen

(gesamter F-SAR-Flugstreifen, 18 km x 3 km, und Detailbilder)



# Gefragt sind genaue Geländemodelle vor allem bei Niedrigwasser

**Herbert Brockmann, Leiter des Referats Geodäsie der Bundesanstalt für Gewässerkunde, im Interview mit Bernadette Jung**

Herbert Brockmann

**Zu welchem Zweck lassen Sie Küstengebiete topografisch vermessen?**

Wir unterstützen die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes dabei, die Zufahrten zu den Seehäfen zu gewährleisten. Genauer gesagt sollen die Fahrrinnen so angepasst werden, dass die Mindestwassertiefen für die großen Container-Schiffe gegeben sind. Topografische Daten sind die Grundlage für die entsprechenden Planungen, Anpassungen und Unterhaltsvorhaben. Dazu erstellen wir flächendeckend digitale Geländemodelle der Wattflächen, Fahrwasserbereiche und Vorländer in einer Auflösung von einem Meter. Diese Daten werden auch für hydronumerische Modelle genutzt, die wiederum der Vorhersage von Wasserständen, Strömungen oder morphologischen Veränderungen dienen. Auch ökologische Fragestellungen bearbeiten wir auf dieser Datenbasis, beispielsweise das Monitoring von ufernahen Röhrichtbeständen.

**Welche Rolle spielt dabei die Radar-Technologie?**

Alle fünf bis sechs Jahre müssen die topografischen Daten aktualisiert werden. Bisher ist es üblich, die trockenfallenden Wattflächen zu befliegen und mit Laserscannern an Bord diese Daten zu erfassen. Das würden wir gerne mit Radar ausführen. Wir könnten dann wetterunabhängiger messen, also auch bei Regen und Bewölkung. Außerdem ist die Aufzeichnungsfläche pro Überflug beim Radar wesentlich größer als beim Laser. Das ist von Vorteil angesichts des engen Zeitfensters, da die Daten nur nahe dem Tideniedrigwasserstand erfasst werden können. Die neuesten Entwicklungen am DLR – das F-SAR-System und seine Fähigkeit zur Mehrfrequenz-Aufzeichnung – machen die Radar-Alternative besonders interessant. Deshalb stecken wir hier viel Energie in die Forschung und Entwicklung.

**Das Pilotprojekt mit dem DLR wurde erfolgreich abgeschlossen – wie geht es weiter?**

Unser Ziel ist es, mit dem DLR die Technologie so weit zu entwickeln, dass die flugzeuggestützte radarbasierte Erfassung der trockengefallenen Watt-Topografie operationell und praxistauglich erfolgen kann. Ich bin sehr zuversichtlich, dass wir das zusammen erreichen. Wir bauen auch auf weitere gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. ●

**Weitere Informationen:**
http://bit.ly/1x8yZhv

## Anwendungsfelder für F-SAR-Daten

| Anwendung | F-SAR-Modi |
|---|---|
| Waldhöhen und -struktur | Mehrpass-Interferometrie (polarimetrisch) im S-, L- und P-Band |
| Digitale Geländemodelle | Einpass-Interferometrie im X- und S-Band |
| Absenkungen beziehungsweise Hebungen als Bergbaufolgeerscheinungen | Mehrpass-Interferometrie (differenziell) im S- und L-Band |
| Bodenfeuchte | SAR-Polarimetrie im L-Band |
| Klassifikation und Bewuchshöhenbestimmung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen | SAR-Polarimetrie beziehungsweise Mehrpass-Interferometrie (polarimetrisch) im X- und C-Band |
| Gletscher- und Schneeklassifikation | SAR-Polarimetrie im X-, C-, S-, L- und P-Band |
| Gletscherfließgeschwindigkeit | Mehrpass-Interferometrie (differenziell) im S-, L- und P-Band |
| Hochauflösende Abbildung bei Katastrophen und Großereignissen | SAR-Polarimetrie im X-Band |
| Verkehrsbeobachtung | Einpass-Interferometrie im X-Band |

**Sylt, die größte der nordfriesischen Inseln, mit den „Augen" des Radar-Satelliten TerraSAR-X gesehen: Für das Bild wurden Datensätze vom 22., 24. und 27. Oktober 2007 kombiniert. Alle Gebiete, in denen zwischen den Aufnahmezeitpunkten Veränderungen stattfanden, erscheinen in Blau und Grün – insbesondere die durch die Gezeiten beeinflussten Gebiete des Wattenmeeres. Die Landflächen erscheinen aufgrund der relativ geringen Veränderungen in Grau- und Brauntönen.**