

# Untersuchung zur Nutzung der Radarfernerkundung zur Klassifizierung von Feldfrüchten

LISA-MARIE KRALISCH<sup>1</sup>, HOLGER LILIENTHAL<sup>2</sup> & MICHAEL BREUER<sup>3</sup>

*Zusammenfassung: Mit Sentinel-1A Radardatendaten wurde untersucht, ob ein reproduzierbarer Zusammenhang zwischen Feldfrüchten und Rückstreuungskoeffizienten für die Klassifikation von Feldfrüchten gefunden werden kann. Verwendet wurde das Ground Range korrigierte Datenprodukt (GRD). Mit Hilfe von Referenzdaten wurden für jede Feldfruchtart Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Die sich so ergebenden Wertebereiche wurden für eine überwachte Klassifizierung mit einem Entscheidungsbaum verwendet. Diese lieferte eine Gesamtgenauigkeit von ca. 57 %. Im Anschluss wird die Anwendbarkeit der Wertebereiche in Hinblick auf Lage und Zeit überprüft. Das Ergebnis zeigte, dass sich der Rückstreuungskoeffizient mit dem Blickwinkel stark verändert. Außerdem ist die Verwendung von Daten, die drei Tage später aufgenommen wurden, problematisch, was die Notwendigkeit einer Korrektur der Richtungsabhängigkeit unterstreicht. Die Untersuchung dient somit als erste Grundlage für die Feldfrucht-Klassifizierung mit Radardaten.*

## 1 Einleitung

Die Beobachtung und Untersuchung der Vegetation unserer Erde ist, unter anderem im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel, ein wichtiges und aktuelles Thema. Außerdem ist die Beobachtung des landwirtschaftlichen Fruchtartenspektrums für verschiedene Interessengruppen relevant. Dabei geht es neben der globalen Sicherung der Nahrungsmittelproduktion und einem besseren Verständnis der damit verbundenen Umweltprozesse auch um die Veränderung von Anbaukulturen und Strukturen, die sich aus Marktsituationen und politischen Entscheidungen ergeben.

Die Fernerkundung wurde hierfür schon lange als Schlüsselsystem erkannt und wird entsprechend genutzt. Die Radarfernerkundung kann durch den starken Zusammenhang zwischen Radarrückstreuung und Vegetationsgeometrie wichtige Informationen liefern. Aktive Radarsysteme besitzen den großen Vorteil, licht- und nahezu witterungsunabhängig Daten erfassen zu können, da ihr Radarsignal Wolken durchdringen kann.

Nach FERAZZOLLI (2002) sind Radarsysteme für die Feldfrucht-Klassifizierung geeignet, wenn sie in den L- oder C-Bändern operieren, Co- und Kreuzpolarisation anbieten und einen Blickwinkel von 30 Grad bis 40 Grad aufweisen. LILLESAND et al. (2015) geben an, dass sich X- und C-Band am besten für die Untersuchung von Feldfrüchten eignen. Die neuen Radarsatelliten Sentinel-1A und -1B des Europäischen Copernicus-Programms tragen ein C-Band SAR-System (ESA 2013)

---

<sup>1</sup> con terra GmbH, Martin-Luther-King-Weg 24, D-48155 Münster, E-Mail: kralisch.lisa@gmail.com

<sup>2</sup> Julius-Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Bundesallee 69, D-38116 Braunschweig, E-Mail: holger.lilienthal@julius-kuehn.de

<sup>3</sup> Beuth Hochschule für Technik Berlin, Labor für Photogrammetrie, Luxemburger Strasse 10, D-13353 Berlin, E-Mail: breuer@beuth-hochschule.de

und weisen die geforderten Merkmale auf. Das System ist als Konstellation aus zwei identischen Satelliten (Sentinel-1A und -1B) ausgelegt, deren Orbits um  $180^\circ$  versetzt angeordnet sind. Jeder Satellit umkreist die Erde jeweils in zwölf Tagen, so dass jeder Ort auf der Erde mindestens alle sechs Tage von einem Satelliten abgetastet wird (ESA 2013). Daraus folgt eine sehr hohe Datendichte, die bisher noch nie verfügbar war. Daraus ergeben sich völlig neue Möglichkeiten der Datenauswertung und Zeitreihenanalyse.

## 2 Problemstellung

Das Ziel der Arbeit ist es, auf Grundlage von Sentinel-1-Daten den Zusammenhang zwischen Feldfrüchten und Rückstreuungskoeffizient zu untersuchen, um eine Feldfrucht klassifizierung zur Unterscheidung von ausgewählten Feldfruchtarten durchzuführen. Für die Durchführungen von Nutzungsklassifizierungen gibt es eine Vielzahl von Methoden und Ansätzen: zwei häufig verwendete Methoden sind a) der dreidimensionale H/A/ $\alpha$  Klassifizierungsraum und b) der Complex Wishart Classifier (LEE & POTTIER 2009). Der dreidimensionale H/A/ $\alpha$  Klassifizierungsraum ist eine unüberwachte Klassifizierung und gibt lediglich Auskunft darüber, ob Vegetation existiert. Der Complex Wishart Classifier benötigt komplexe Radardaten, deren Datenvolumen bei temporal hochauflösenden Daten schwer zu handhaben ist. Entscheidungsbäume, die auf der Bildstatistik entwickelt werden, zeigten in den letzten Jahren vielversprechende Ergebnisse bei der Klassifizierung (MOGHADDAM 2009).

## 3 Versuch

Mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes wurde versucht, Regeln und statistische Größen zu finden, nach denen einzelne Feldfrüchte klassifiziert werden können. Dazu wurde ein Testgebiet in Brandenburg, südöstlich von Berlin ausgewählt (siehe Abb. 1). Die Auswahlkriterien waren die geringe Reliefenergie, sodass der Einfluss der Topographie als konstant angesehen werden kann und dass alle ausgewählten Feldfrüchte in dem Gebiet angebaut worden sind. Weiterhin wurden dadurch die Rechenzeiten stark verkürzt, weil die Prozessierung nur auf den gewählten Ausschnitten (Subsets) durchgeführt wurde.

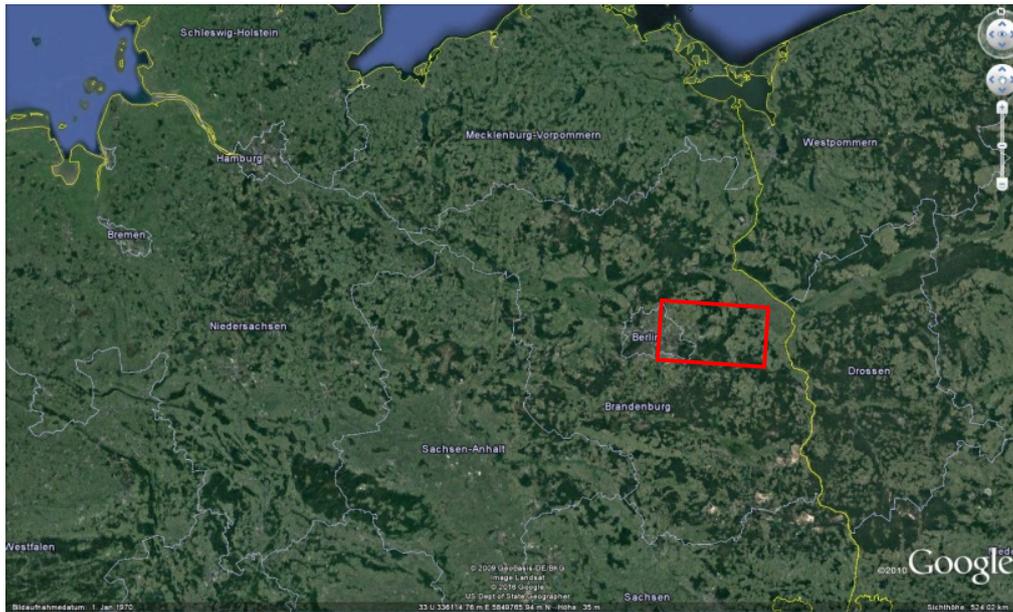


Abb. 1: Testgebiet zur Fruchtartenklassifikation in Brandenburg (rote Markierung). Kartenhintergrund: Quelle Google Earth

### 3.1 Datengrundlage

Als Bilddaten standen Sentinel-1A Ground-Range korrigierte Daten (GRD) aus dem Jahr 2015 zur Verfügung. Die Daten lagen in den Polarisierungen VV und VH vor und wurden im IW-High-Resolution-Modus aufgenommen. Nach der radiometrischen Kalibrierung und Topographiekorrektur lagen die Bilddaten als Sigma Naught Daten in einer geometrischen Auflösung von  $10\text{m} \times 10\text{m}$  vor. Für die Auswertung wurden acht Aufnahmen vom Descending Orbit 95 und neun Aufnahmen vom Ascending Orbit 146 im Zeitraum von Mai bis August genutzt. Die Informationen liegen pro Pixel als normalisierte Rückstreuungskoeffizienten vor. Dieser Koeffizient repräsentiert die Stärke des zurückgestreuten Radarsignals normalisiert über die bestrahlte Fläche (WOODHOUSE 2006:108).

Die Referenzdaten zur angebauten Feldfruchtart und den Feldgeometrien stammen aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVekos) des Landes Brandenburg. Für die Untersuchung werden acht Hauptkulturen ausgewählt. Dazu gehören Kartoffeln, Mais, Wintergerste, Wintertriticale, Winterraps, Winterroggen, Winterweizen und Zuckerrüben.

### 3.2 Ausführung

Als Erstes wurde eine unüberwachte Klassifizierung der acht Aufnahmen mit dem ISODATA-Algorithmus (BALL & HALL 1967) durchgeführt, um einen groben Überblick der Daten zu erhalten. Der Algorithmus ermöglicht es, zusammengehörige Agrarflächen allein auf Basis der Information des normierten Rückstreuungskoeffizienten verschiedenen Klassen zuzuordnen (siehe Abb. 2). Hintergrund ist die Annahme, dass jede Feldfrucht ähnliche Rückstreuungswerte aufweist, bzw. sich die Rückstreuungswerte zeitlich für jede Fruchtart spezifisch verändern. Der Koeffizient muss eindeutige Cluster im Merkmalsraum bilden.



Abb. 2: Ergebnis einer unüberwachten Klassifikation von Feldern nahe Rüdersdorf in Brandenburg aus dem Jahr 2015.

Mit einem Entscheidungsbaum sollen Regeln genutzt werden, nach denen die einzelnen Feldfrüchte klassifiziert werden können. Zunächst wurden für jedes Feld deskriptive statistische Größen wie Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite (Range) bestimmt. Diese statistischen Werte eignen sich in der Regel besonders gut, um komplexe Verhältnisse zu beschreiben und große Datenmengen zu analysieren. Es wurde angenommen, dass sich jede Feldfrucht über den Mittelwert und eine Standardabweichung (68,28% der Daten) charakterisieren lassen.

Durch die vorhandenen Referenzdaten können alle Pixel innerhalb eines Feldes mit derselben Feldfruchtart ausgewählt und deren zugehöriger Mittelwert sowie die Standardabweichung berechnet werden.

Um eine Übersicht darüber zu erhalten, inwieweit sich die Spannweiten der einzelnen Feldfrüchte überlagern, wurden für jeden Zeitpunkt zwei Diagramme (für jede Polarisation) erstellt. Abbildung 3 zeigt zwei Beispiele vom 4. Mai 2015. Die Ordinate bildet den normalisierten Rückstreuungskoeffizienten ab. Auf der Abszisse sind die einzelnen Feldfrüchte eingetragen. Die großen mittleren Punkte zeigen den Mittelwert. Die kleineren Punkte zeigen die Standardabweichung und somit die jeweiligen Spannweiten auf. Anhand dieser Graphiken ist erkennbar, ob und wie gut sich bestimmte Feldfrüchte zum jeweiligen Termin unterscheiden lassen.

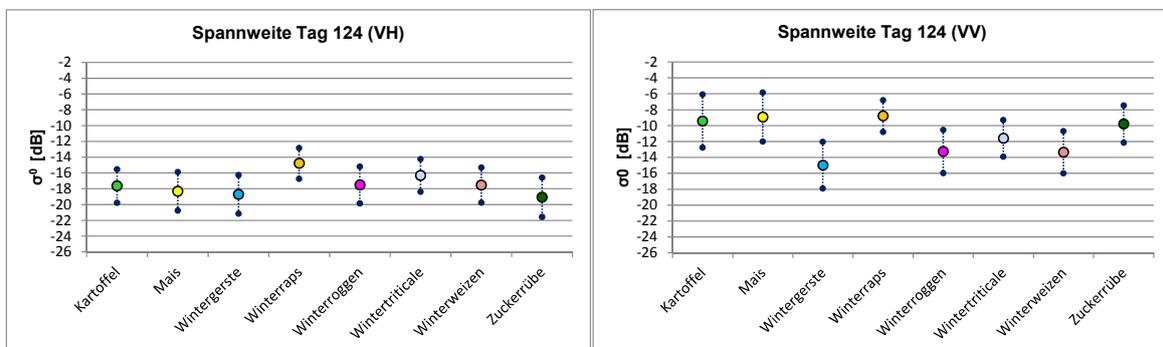


Abb. 3: Unterscheidbarkeit von Feldfrüchten am 4. Mai 2015 (Tag 124) in den Rückstreuungskoeffizienten der VH- und VV-Polarisation.

Nachdem alle Spannweiten vorliegen, wurde ein Entscheidungsbaum erstellt (siehe Abb.4). Er ist einstufig aufgebaut und jede Hypothese besitzt dieselben Äste und Variablen. Der Unterschied besteht in den Werten der Bedingungen. Ein Pixel wird dann klassifiziert, wenn dessen Wert alle Bedingungen einer Hypothese erfüllt.

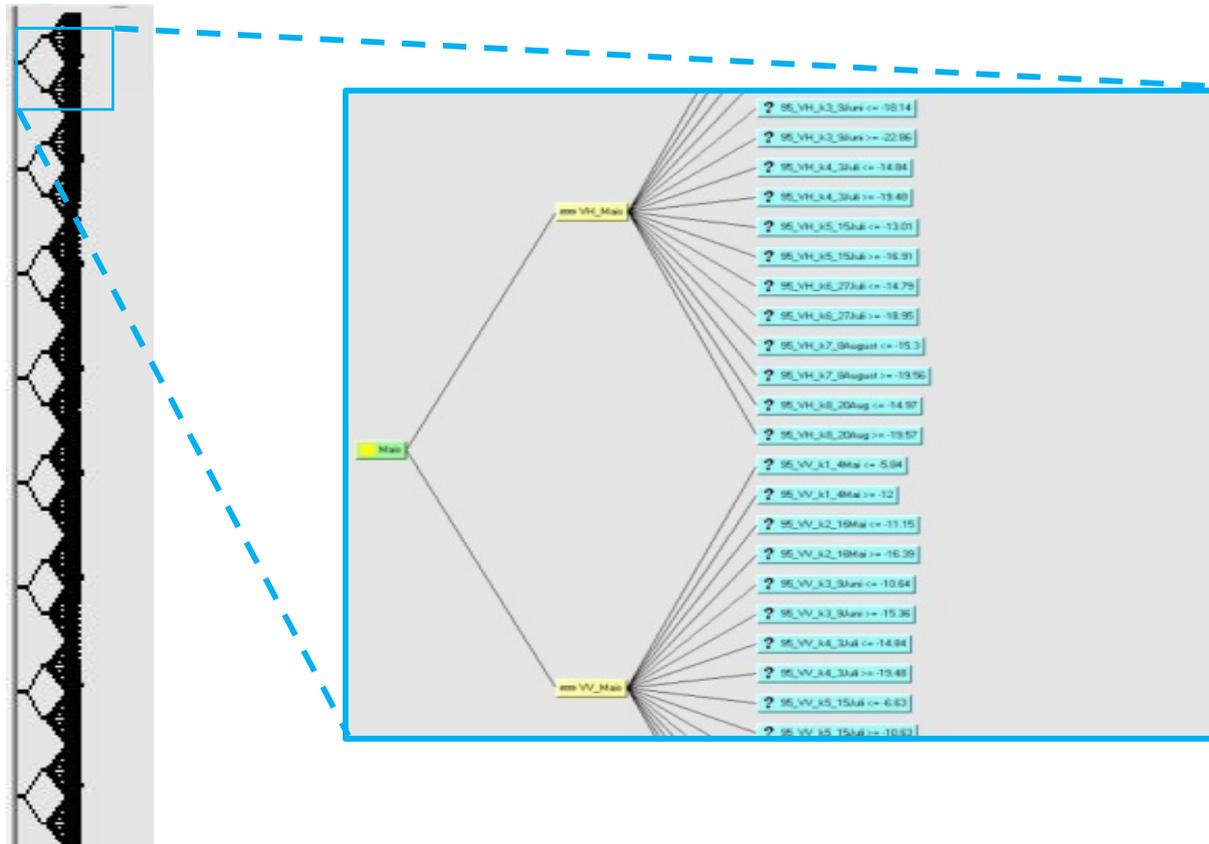


Abb. 4: Entscheidungsbaum mit allen eingetragenen Bedingungen

Radardaten weisen aufgrund von Interferenzphänomenen sogenannte Speckle Effekte auf, die wie ein Rauschen die Daten überlagern. Um diesen Effekt etwas abzumildern wurden die Bilddaten mit einem Tiefpassfilter (9×9 Pixel) bearbeitet.

### 3.3 Ergebnisdiskussion

Die Fruchtartenklassifikation mit einem Entscheidungsbaum auf der Basis von gefilterten Radardaten konnte eine Gesamtgenauigkeit von ca. 57% erreichen. Die Grenze einer akzeptablen Klassifikation liegt nach CONGALTON & GREEN (2009) bei 85%. Somit wäre das Ergebnis an diesem Maß gescheitert. Abbildung 5 zeigt die Konfusionsmatrix der Klassifikation.

Subset 1 (D95)		Referenz								
Original	Undefiniert	Mais	Wintergerste	Winterweizen	Wintertriticale	Winterraps	Winterroggen	Zuckerrübe	Kartoffeln	Summe
Undefiniert	16875508	1152430	695298	1223737	313696	1444659	1341731	93709	10022	23150790
Mais	42170	96312	1118	3837	883	221	3820	719	173	149253
Wintergerste	23682	823	55330	5114	1039	329	2941	23	15	89296
Winterweizen	88421	4219	5755	105266	13182	395	29013	101	24	246376
Wintertriticale	63507	4690	4882	36824	22350	577	53695	49	33	186607
Winterraps	30445	1392	610	614	189	109537	594	42	5	143428
Winterroggen	51944	5409	6686	19199	12605	539	79947	48	18	176395
Zuckerrübe	4547	6552	135	97	13	55	152	7355	158	19064
Kartoffeln	25730	27478	1436	1287	598	207	2450	739	590	60515
Summe	17205954	1299305	771250	1395975	364555	1556519	1514343	102785	11038	24221724

Abb. 5: Konfusionsmatrix der Klassifikation

Die Arbeit versuchte in einem ersten einfachen Ansatz, eine Fruchtartenklassifikation anhand von Entscheidungsbäumen zu automatisieren. Die fruchtartenspezifische Phänologie konnte noch nicht ausreichend berücksichtigt werden, zudem war die Datenlage 2015 noch recht fehlerbehaftet und es gab lediglich zwei Aufnahmen pro Monat. Seit 2016 arbeiten beide Satelliten operationell, so dass jetzt fünf Aufnahmen pro Monat verfügbar sind. Durch diesen Umstand sollten sich jetzt bessere Ergebnisse erzielen lassen.

Klassifizierungen auf Basis der normalisierten Rückstreuungskoeffizienten scheinen grundsätzlich möglich zu sein. Da die Rückstreuungssignale mit dem Einfallswinkel variieren, muss eine Auswertung separat pro Orbit erfolgen. Eine mögliche Lösung wäre es, die Orbits in einheitliche Einfallswinkelabschnitte einzuteilen und diese mit entsprechenden Entscheidungsbäumen zu klassifizieren. Eine andere Lösung wäre die Nutzung richtungskorrigierter Koeffizienten.

Die Nutzung von Entscheidungsbäumen stellt einen Baustein in einer ganzen Reihe von Klassifikationsmethoden dar. Die geschickte Kombination mit landwirtschaftlichem Hintergrundwissen, Plausibilitätsannahmen und weiteren Machine-Learning-Verfahren bieten eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, die separat getestet werden müssen.

## 4 Fazit und Ausblick

Die Ausgangsfrage der Untersuchung lautet, ob sich Radardaten zur Feldfrucht klassifizierung eignen. Diese Frage kann definitiv positiv beantwortet werden. Studien von LEE & PORTIER (2009) und FERRAZZOLI (2002) zeigen, dass sich Radardaten zur Klassifizierung von Vegetation grundsätzlich eignen.

Die Sentinel-1 Satelliten bieten eine hohe zeitliche Auflösung, die Zeitreihenanalysen überhaupt erst möglich machen. Leider nehmen die C-SAR-Systeme der Sentinel-1 Satelliten nicht vollpolarimetrisch auf, was die Auswertungsmöglichkeiten limitiert. Die besten Ergebnisse werden mit multifrequenten Daten erreicht. Derzeit sind kostengünstige multifrequente Satellitensysteme noch nicht verfügbar.

Radardaten können trotz des enormen Potenzials den Informationsgehalt optischer Daten momentan noch nicht ersetzen, sie können diese aber unterstützen. Die Kombination und Synergien beider Technologien werden zu besseren Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass gleiche Feldfrüchte ähnliche Rückstreuungen aufweisen, dass die normierten Rückstreuungskoeffizienten allein aber keine zuverlässige Basis für eine Klassifizierung sein können. Das Verfahren kann jedoch noch verbessert werden. Es

könnte für jede Feldfruchtart ein heuristisches Streuungsmodell erstellt werden, um das Verhalten der Welle in den verschiedenen Geometrien berechenbar zu machen (ULABY et al. 2014). Zusätzlich zu diesen Modellen könnte auf das Verhalten der einzelnen Feldfruchtarten im Zusammenhang mit verschiedenen Parametern des Aufnahmesystems der Sentinel-Satelliten eingegangen werden.

Außerdem sollte der Richtungsabhängigkeit Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Frage ist, ob die Klassifikationsgenauigkeit mit einer richtungskorrigierten Größe (z.B. Gamma) anstelle des normierten Rückstreuungskoeffizienten (Sigma Naught) noch gesteigert werden kann.

Die Nutzung von Wetterdaten (räumlichen Niederschlagsverteilungen) hilft einige Phänomene innerhalb der Radardaten zu erklären. Bestandesfeuchtigkeit, Tau und Niederschläge beeinflussen die Radarrückstreuung. Bei der Erstellung der Entscheidungsbäume und bei der Klassifikation der Radardaten sollten derartige Datensätze ausgenommen werden. Als Hintergrundwissen sind Informationen zur Aussaat, Phänologie und Ernte der einzelnen Feldfrüchte entscheidend, um sie sicher trennen zu können. Das Wachstum der Feldfrüchte ist unter anderem von Temperatur und Niederschlag abhängig. Durch einfache Modelle könnte die Phänologie der einzelnen Kulturen besser geschätzt werden, um dann die geeigneten Entscheidungsbäume auszuwählen. Die Radarfernerkundung bietet hier noch viel Forschungspotenzial. Die Kombinationsmöglichkeiten der vielen verfügbaren Parameter und der Eigenschaften der Radardaten sollten in Zukunft weiter erforscht werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- BALL, G. & HALL, D., 1967: A clustering technique for summarizing multivariate data. *Behavioral Science* 12, 153-155.
- CONGALTON, R.G. & GREEN, K., 2009: *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data*. 2. Auflage, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- ESA, 2013: Sentinel-1 User Handbook. [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook), letzter Zugriff 10.08.2016.
- FERRAZZOLI, P., 2002: SAR for agriculture: Advances, problems and prospects. *Proceedings of the Third International Symposium, 'Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications'*, 47-56.
- LEE, J.-S. & POTTIER, E., 2009: *Polarimetric Radar Imaging From Basics To Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. & CHIPMAN, J.W., 2015: *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7. Ausgabe, Wiley, Hoboken.
- MOGHADDAM, M., 2009: Polarimetric SAR Phenomenology and Inversion Techniques for Vegetated Terrain. In: *The SAGE Handbook of Remote Sensing 2009*, Warner, T. A.; Nellis, M. D. & Foody, G. M. (Hrsg.), SAGE Publications Ltd., London, 79-92.
- ULABY, F.T., LONG, D.G., BLACKWELL, W., ELACHI, C., FUNG, A., RUF, C., SARABANDI, K., ZEBKER, H. & VAN ZYL, J., 2014: *Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing*. Ann Harbor.
- WOODHOUSE, I.H., 2006: *Introduction to Microwave Remote Sensing*. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton.