

# Räumlicher Zusammenhang zwischen Sentinel-1 Polarisationsdaten und Vegetationshöhe in einem landwirtschaftlichen Gebiet in Niederösterreich

ISABELLA PFEIL<sup>1,2</sup>, MARIETTE VREUGDENHIL<sup>2</sup>, PETER DORNINGER<sup>3</sup> & WOLFGANG WAGNER<sup>1,2</sup>

*Zusammenfassung: Satellitenbeobachtungen, digitale Höhenmodelle und Orthophotos aus Drohnen- und Paragleitflügen sowie in situ Messungen von Vegetationsparametern werden in dieser Studie verglichen, um einen möglichen räumlichen Zusammenhang zwischen dem aus Sentinel-1-Beobachtungen abgeleiteten Cross Ratio Index und Pflanzhöhen zu finden oder auszuschließen. Die Studie wurde im Hydrological Open Air Laboratory (HOAL) durchgeführt, einem seit 2009 bestehenden landwirtschaftlichen Untersuchungsgebiet in Petzenkirchen (Niederösterreich). Die Ergebnisse zeigen, dass das Cross Ratio zwar einem ähnlichen saisonalen Verlauf wie die Pflanzhöhen folgt, kleinräumige Unterschiede innerhalb von Feldern aber nicht von den Pflanzhöhen beeinflusst werden.*

## 1 Einleitung

Weltweit werden die Auswirkungen des Klimawandels immer spürbarer, sei es in Form von Überschwemmungen, Meeresspiegelanstieg, Stürmen, Wasserknappheit oder Dürre. Auch in Österreich folgen Temperatur-Rekordjahre aufeinander, die durch Hitze und Trockenheit zu Ertragsverlusten in der Landwirtschaft führen (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS 2018). Es ist daher erstrebenswert, Entwicklungen im Wachstum des angebauten Getreides großflächig und mit hoher räumlicher Auflösung zu beobachten. Die 2014 und 2016 gestarteten Copernicus-Satelliten Sentinel-1A und -1B messen den Rückstreukoeffizienten (Backscatter) der Erdoberfläche mit einer noch nie dagewesenen räumlichen und zeitlichen Auflösung. Da die Backscattermessungen unter anderem von der Vegetation beeinflusst werden, wird es möglich, Variationen der Vegetation auf Feldebene zu analysieren. Noch ist aber nicht zur Gänze geklärt, zu welchem Teil das Backscatter von der Vegetationsstruktur und dem Vegetationswassergehalt beeinflusst wird. In dieser Studie wird untersucht, ob auch die Vegetationshöhe Einfluss auf die räumliche Verteilung des Backscatters nimmt. Dies soll dabei helfen, das von den Sentinel-1-Satelliten beobachtete Signal besser zu verstehen und interpretieren zu können, um schließlich genauere Rückschlüsse auf Änderungen im Pflanzenwachstum zu ermöglichen.

---

<sup>1</sup> TU Wien, Centre for Water Resource Systems, Karlsplatz 13, A-1040 Wien, E-Mail: isabella.pfeil@geo.tuwien.ac.at

<sup>2</sup> TU Wien, Forschungsgruppe Fernerkundung, Department für Geodäsie und Geoinformation, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien, E-Mail: mariette.vreugdenhil@geo.tuwien.ac.at, wolfgang.wagner@geo.tuwien.ac.at

<sup>3</sup> 4D-IT GmbH, Emil Kögler-Gasse 13, A-2511 Pfaffstätten, E-Mail: p.dorninger@4d-it.com

## 2 Das Hydrological Open Air Laboratory (HOAL)

Seit 2009 besteht in einem landwirtschaftlichen Einzugsgebiet in Petzenkirchen, Niederösterreich, das Hydrological Open Air Laboratory (HOAL) (BLÖSCHL et al. 2016). Auf 66 ha werden hydrologische Experimente durchgeführt, mit dem Ziel, neue Erkenntnisse über räumliche und zeitliche Änderung von Parametern wie Evapotranspiration, Erosion, Sedimenttransport, Bodenfeuchte und Vegetationsdynamik und deren treibende Kräfte zu gewinnen. Die im HOAL ansässigen Landwirte bewirtschaften dabei ihre Felder gänzlich unabhängig von den durchgeführten Experimenten und dokumentieren akkurat die Art der Bepflanzung, Zeitpunkte der Aussaat und Ernte sowie Düngerausbringung und Bodenbearbeitung. Da 2017 und 2018 Winterweizen und Mais das HOAL dominierten, liegt der Fokus dieser Studie auf diesen zwei Getreidearten. Detaillierte Informationen über das HOAL sind in Tabelle 1 aufgelistet. Abb. 1 zeigt die Lage des HOAL in Niederösterreich und die Topographie im Einzugsgebiet.

Tab. 1: Eigenschaften des HOAL

Koordinaten	48°9' N 15°9' O
Fläche	66 ha
Elevation	268-323 m
Mittlere Hangneigung	8%
Ackerland	87%
Häufigste Getreidearten	Wintergetreide (Weizen, Gerste), Mais, Raps
Andere Vegetation	Grasflächen, Laubwald, Nadelwald

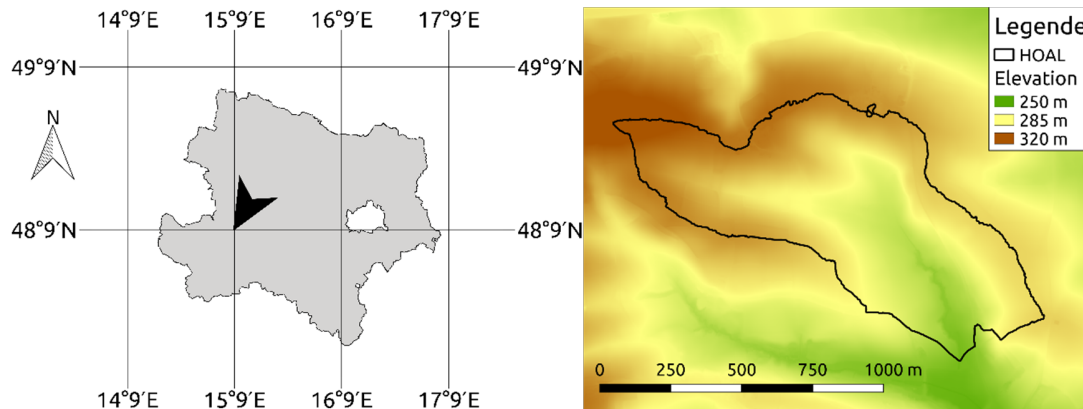


Abb. 1: Lage des HOAL in Niederösterreich (links) und Topographie im Einzugsgebiet (rechts)

## 3 Datensätze

### 3.1 Sentinel-1

Die 2014 und 2016 gestarteten Copernicus-Satelliten Sentinel-1A und -1B bieten die Möglichkeit, Entwicklungen im Wachstum des angebauten Getreides großflächig zu beobachten (VREUGDENHIL et al. 2018). Horizontal und vertikal polarisierte Backscatter-Daten sind über Europa mit einer zeitlichen Auflösung von 1.5-4 Tagen und einer räumlichen Auflösung von 20 m verfügbar

(BAUER-MARSCHALLINGER et al. 2018). Tabelle 2 zeigt ausgewählte Zeitpunkte, für die Sentinel-1 Backscatterdaten über dem HOAL verfügbar sind.

Tab. 2: Verfügbarkeit von Sentinel-1 Backscatter (nicht vollständig), DOM (Drohnenbefliegungen – 4D-IT) sowie DOM und Orthophotos (Paragleitflüge – AELuftbilder). Gelb hinterlegte Daten sind in weiter unten folgenden Abbildungen dargestellt.

Datum	Sentinel-1 Backscatter	DOM (4D-IT)	DOM & Orthophoto (AELuftb.)
2017-03-12			X
2017-03-13	X		
2017-04-06	X		
2017-04-09			X
2017-04-30	X		X
2017-05-22		X	
2017-05-23			X
2017-05-24	X		
2017-06-04			X
2017-06-05	X		
2017-06-15			X
2017-06-17	X		
2017-06-20		X	
2017-07-11	X		
2017-07-12			X
2017-07-31		X	
2017-08-04	X		X
2017-08-28	X		
2017-08-29		X	
2017-09-09	X		X
2017-09-28		X	
2018-10-03	X		
2017-10-14			X
2017-10-15	X		
2018-05-07	X	X	
2018-07-18	X		
2018-07-20		X	
2018-07-30	X		
2018-08-03		X	
2018-09-13		X	
2018-09-16	X		

### 3.2 4D-IT – DOM

Während der Wachstumssaisonen 2017 und 2018 wurden von der 4D-IT GmbH mittels RGB-Luftbildauswertung von Drohnenbefliegungen mit dem 4DU-CamCopter fünf (2017) bzw. vier (2018) digitale Oberflächenmodelle (DOM) des HOAL erstellt. Die Flugtage sind in Tabelle 2 aufgelistet.

### **3.3 AELuftbilder – DOM und Orthophotos**

Zusätzlich zu den Drohnenüberflügen wurden 2017 im HOAL Paragleitflüge durchgeführt, mit dem Ziel, hochaufgelöste Oberflächenmodelle und Orthophotos des Untersuchungsgebiets zu erhalten. Beides liegt mit einer räumlichen Auflösung von 10 cm vor. Tabelle 2 zeigt die Zeitpunkte der Überflüge.

### **3.4 In situ Daten**

Am Ende jeden Jahres werden von den im HOAL tätigen Landwirten Daten bezüglich Pflanzenart, Aussaat, Ernte, Düngerausbringung und sonstiger Bodenbearbeitung für jedes Feld erhoben. Außerdem werden seit 2016, jeweils an Tagen mit Sentinel-1-Überflug, Pflanzenhöhen und -wassergehalt an bis zu neun verschiedenen Punkten im Untersuchungsgebiet gemessen. Diese wurden in der vorliegenden Studie als Referenz für die aus den Satelliten- und Luftbildern gewonnenen Daten herangezogen.

### **3.5 Sentinel-1 Cross Ratio (CR)**

Der Cross Ratio (CR) Index berechnet sich aus dem Verhältnis von horizontal und vertikal polarisiertem Backscatter, und kann nachweislich für die Beobachtung des Getreidewachstums und dessen räumliche Variation innerhalb eines Feldes verwendet werden (KIM et al. 2012; PALOSCIA et al. 1999; VREUGDENHIL et al. 2018). Hohe CR-Werte erhält man bei einem hohen Anteil an horizontal polarisiertem Backscatter, was charakteristisch für hohe Volumsstreuung, verursacht durch die Vegetation, ist. Allerdings beeinflussen auch Bodenrauigkeit sowie Pflanzenhöhe und Pflanzenwassergehalt den Index. Um Speckle-Effekte (Rauschen) zu vermeiden, wurden die Backscatterdaten für diese Studie mittels eines Lee-Filters geglättet.

### **3.6 Absolute Höhen aus DOM**

Absolute Vegetationshöhen wurden aus den DOM mittels Differenzenbildung zwischen verschiedenen Zeitpunkten abgeleitet. Zusätzlich zur Verfügbarkeit der DOM ist dabei der Wachstumsverlauf der verschiedenen Getreidearten entscheidend. Allgemein werden Wintergetreide (Winterweizen und -gerste, Raps) im Herbst des vorhergehenden Jahres angebaut und im Juli geerntet. Mais wird generell im April ausgesät und je nach Wetter und Sorte von August bis Oktober geerntet. Um absolute Pflanzenhöhen zu erhalten, wurde deshalb zuerst für jedes Feld der Zeitpunkt ermittelt, an dem das Feld brach lag (entspricht Vegetationshöhe 0), und von diesem DOM anschließend die Differenz zu den während der Wachstumsphase erstellten DOM berechnet.

### **3.7 Vergleich der Datensätze**

Der Vergleich der Datensätze erfolgte auf zwei Arten: 1) eine visuelle Analyse der räumlichen Sentinel-1 CR Daten, absoluten DOM-Höhen und Orthophotos (qualitativer Vergleich); 2) eine Analyse von Mittelwert und Standardabweichung der Sentinel-1 Daten und absoluten DOM-Höhen pro Feld (quantitativer Vergleich).

## 4 Ergebnisse

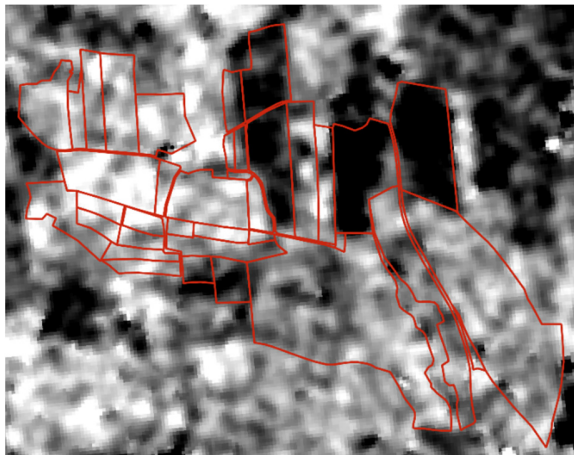
### 4.1 Qualitativer Vergleich

Anhand von Sentinel-1 CR, absoluten Höhen und Orthophotos wurde ein visueller Vergleich von räumlichen Mustern in verschiedenen Feldern des HOAL durchgeführt. Abb. 2 zeigt diese drei Datensätze für Mai 2017. In allen drei Datensätzen sind klar die einzelnen Getreidearten unterscheidbar: die im Mai noch sehr niedrigen Maispflanzen führen zu einem niedrigen CR, von dem sich die höheren CR-Werte über den Weizenfeldern deutlich abheben. Auch der Raps ist eindeutig erkennbar, der 2017 im Westen des HOAL angepflanzt wurde. Im Mai 2017, aber auch zu allen anderen Zeitpunkten sind in den Orthophotos und Höhenmodellen jene Stellen erkennbar, die von häufigem Oberflächenabfluss und damit einhergehendem spärlichen Bewuchs gekennzeichnet sind (markiert durch orange Kästchen in Abb. 2c). Auch im CR sind an diesen Stellen leichte Änderungen zu erkennen. Höhenunterschiede innerhalb eines Feldes, wie zum Beispiel im Falle des großen Feldes im Süden, auf dem 2017 zwei verschiedene Sorten Winterweizen angebaut wurden, scheinen jedoch die räumliche CR-Verteilung nicht zu beeinflussen. Abb. 3 zeigt CR, absolute Höhen und ein Orthophoto von Ende Juli bzw. Anfang August 2017. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Weizen bereits geerntet, der Mais ist nun an die zwei Meter hoch. Das zeichnet sich durch hohe CR-Werte in den Maisfeldern aus. Obwohl der Weizen bereits geerntet wurde, sind räumliche Muster auf den Weizenfeldern erkennbar. Diese können durch verbleibende Pflanzenreste auf den Feldern erklärt werden, oder durch die Bodenfeuchte der Felder, die nun möglicherweise den CR-Index dominiert.

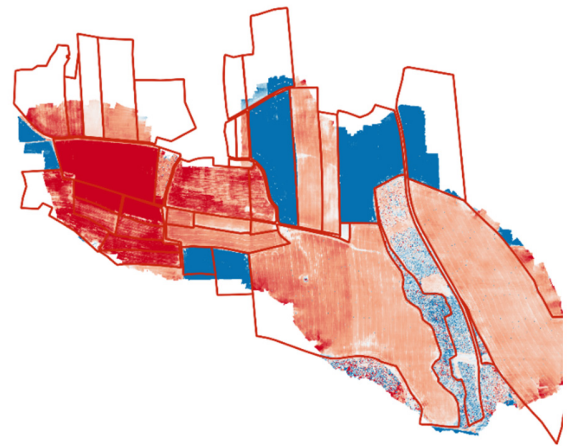
### 4.2 Quantitativer Vergleich

Um eine quantitative Analyse der räumlichen Variabilität von CR und Pflanzenhöhen durchführen zu können, wurden pro Feld zu verschiedenen Zeitpunkten Mittelwert und Standardabweichung von CR und absoluten Pflanzenhöhen berechnet. Abb. 4 zeigt den zeitlichen Verlauf dieser Metriken für ein Weizenfeld und Abb. 5 für ein Maisfeld. Zusätzlich zu den Mittelwert- und Standardabweichungszeitserien sind auch die Zeitpunkte der Düngerausbringung und Ernte (nur Weizen) angegeben. In beiden Abbildungen lässt sich ein Zusammenhang zwischen den Mittelwerten erkennen. Phasen mit hohem CR stimmen zeitlich überein mit hohen Pflanzenhöhen und umgekehrt. Im Maisfeld steigt allerdings zuerst der Mittelwert des CR an, bevor mit einer zeitlichen Verzögerung von 1-2 Wochen auch die Pflanzenhöhe steigt.

Im Fall der Standardabweichung ist ein solcher Zusammenhang nicht erkennbar. Im Weizenfeld zeigt die Standardabweichung der Pflanzenhöhen einen ähnlichen Verlauf wie der Höhen-Mittelwert, während im Maisfeld die Standardabweichung über mehrere Monate stark variiert. Ähnliche Verläufe von Mittelwert und Standardabweichung wurden auch für andere Mais- und Weizenfelder beobachtet. Diese Ergebnisse stützen die Annahme, dass die räumliche Verteilung des CR stärker von der Vegetationsstruktur beeinflusst wird als von der Pflanzenhöhe.



a) Sentinel-1 CR (2017-05-24). Einheit: [dB \* 100]



b) Absolute Höhen (2017-05-22). Einheit: [m]



c) Orthophoto (2017-05-23). Orange Kästchen zeigen Stellen mit häufigem Oberflächenabfluss

Abb. 2: Sentinel-1 CR (a), absolute Höhen (Differenz zwischen DOM-20170522 und DOM-20170731) (b) und Orthophoto (c). Im Orthophoto sind jene Stellen orange markiert, die von häufigem Oberflächenabfluss betroffen sind und deswegen weniger Bewuchs aufweisen

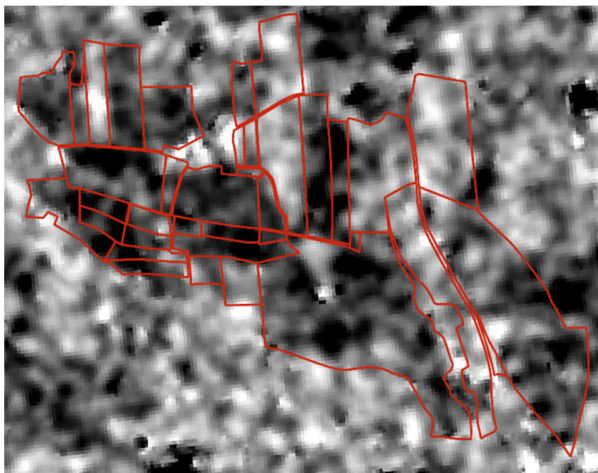
## 5 Diskussion

In den obigen Abschnitten wurde gezeigt, dass ein Zusammenhang zwischen mittlerem CR und mittlerer Pflanzenhöhe pro Feld besteht. Ein Zusammenhang zwischen den jeweiligen Standardabweichungen, welche als Maß für die räumlichen Variationen der jeweiligen Parameter verwendet wurden, konnte nicht gefunden werden. Es lässt sich also sagen, dass räumliche Änderungen im CR eher von der Vegetationsstruktur beziehungsweise dem Vegetationswassergehalt als von der Vegetationshöhe ausgelöst werden. Ebenso bedeutet ein Zusammenhang zwischen mittlerer Pflanzenhöhe und mittlerem CR nicht unbedingt, dass es wirklich die Höhe ist, die das CR beeinflusst. Vielmehr ist zu den Zeiten mit großen Höhen normalerweise auch der Wassergehalt höher beziehungsweise tritt mehr Volumsstreuung auf, was zu einem höheren CR Index führt. Abb. 6 und 7 zeigen den in ausgewählten Feldern gemessenen in situ-Vegetationswassergehalt (VWC). Sowohl

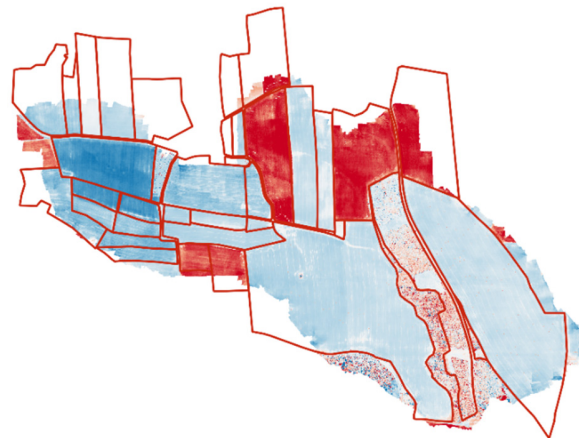


im Weizen- als auch im Maisfeld verhält sich der VWC proportional zum von den Satelliten beobachteten CR.

Für diese Analyse waren zwei verschiedene Höhenmodell-Datensätze verfügbar: der eine wurde mittels Drohnenbefliegungen, der andere mittels Paragleitflügen erstellt. Während sich der Drohnen-Datensatz durch hohe Genauigkeit im gesamten Untersuchungsgebiet auszeichnet, gibt es im Paragleit-Datensatz besonders an den Rändern des HOAL Ungenauigkeiten von bis zu mehreren Metern. Betrachtet man jedoch nur einzelne Felder, sind beide Datensätze gleich gut nutzbar. Ein Vorteil des in dieser Studie verwendeten Paragleit-Datensatz liegt in der besseren zeitlichen Verfügbarkeit gegenüber den Drohnenbefliegungen. Beide Methoden können nur bei gutem Wetter und möglichst wenig Wind durchgeführt werden; besonders bei den Paragleitflügen kann im Falle von starken Windböen und ungünstiger Thermik nicht nur die Technik, sondern auch der ausführende Pilot zu Schaden kommen.



a) Sentinel-1 CR (2017-08-04). Einheit: [dB \* 100]



b) Absolute Höhen (2017-07-31). Einheit: [m]



c) Orthophoto (2017-08-04)

Abb. 3: Sentinel-1 CR (a), absolute Höhen (Differenz zwischen DOM-20170731 und DOM-20170522) (b) und Orthophoto (c)

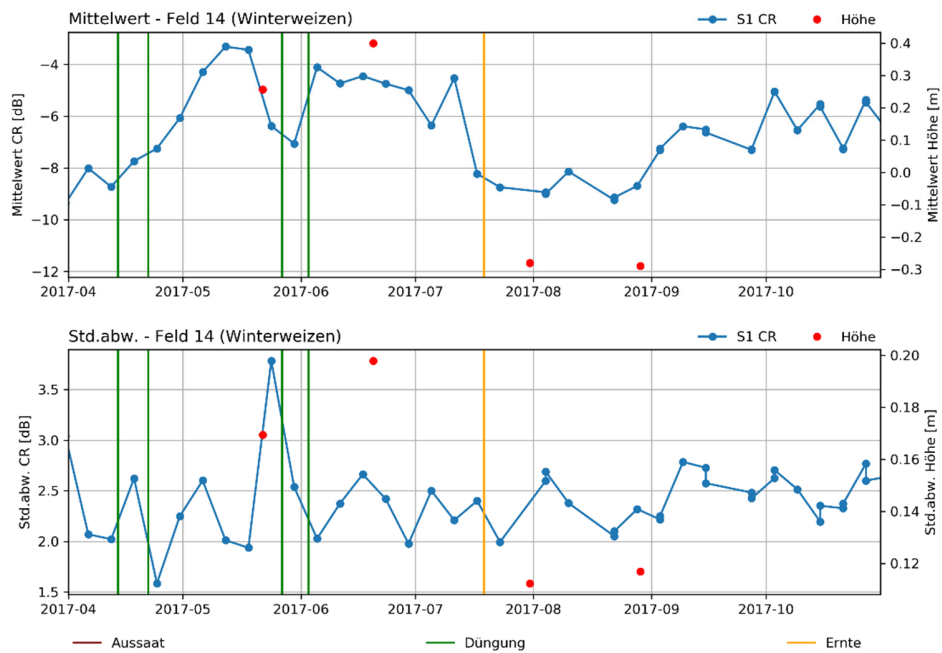


Abb. 4: Mittelwert und Standardabweichung von CR und absoluter Pflanzenhöhe (Weizenfeld; Höhe abgeleitet von 4D-IT DOM). Die vertikalen Linien zeigen die Zeitpunkte der Düngerausbringung (grün) und Ernte (orange) auf diesem Feld

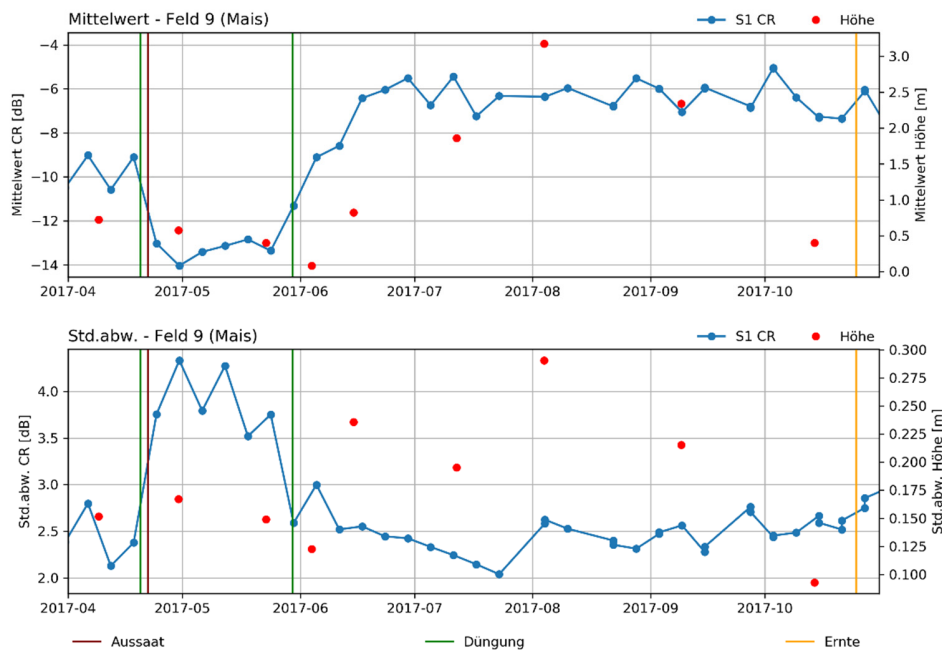


Abb. 5: Mittelwert und Standardabweichung von CR und absoluter Pflanzenhöhe (Maisfeld; Höhe abgeleitet von AELuftbilder DOM). Die vertikalen Linien zeigen die Zeitpunkte der Aussaat (braun), Düngerausbringung (grün) und Ernte (orange) auf diesem Feld



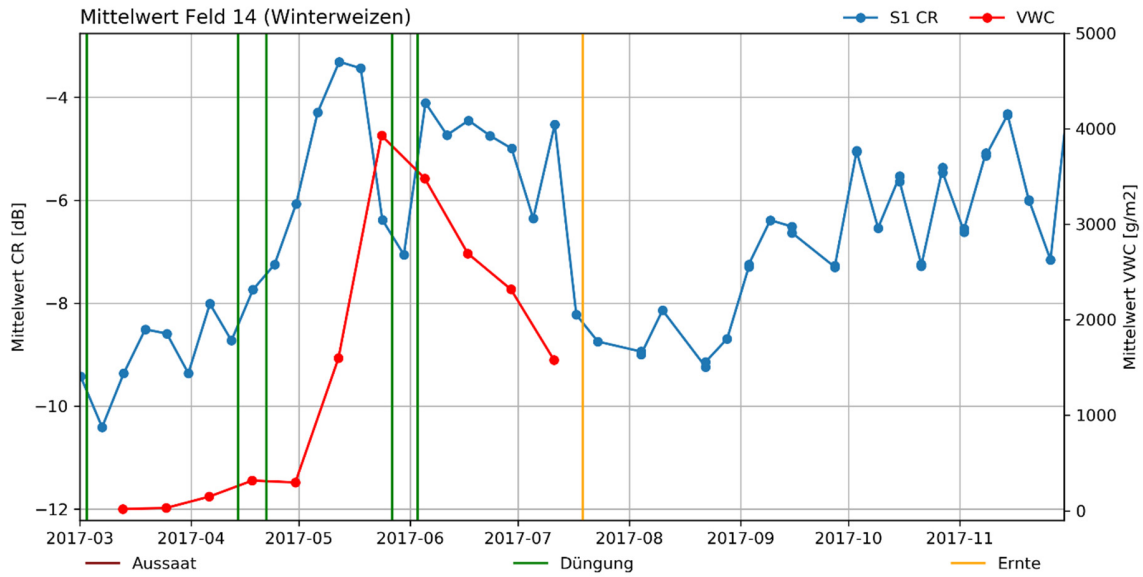


Abb. 6: Verlauf von Sentinel-1 CR und in situ-VWC in einem Weizenfeld (Wachstumsperiode 2017)

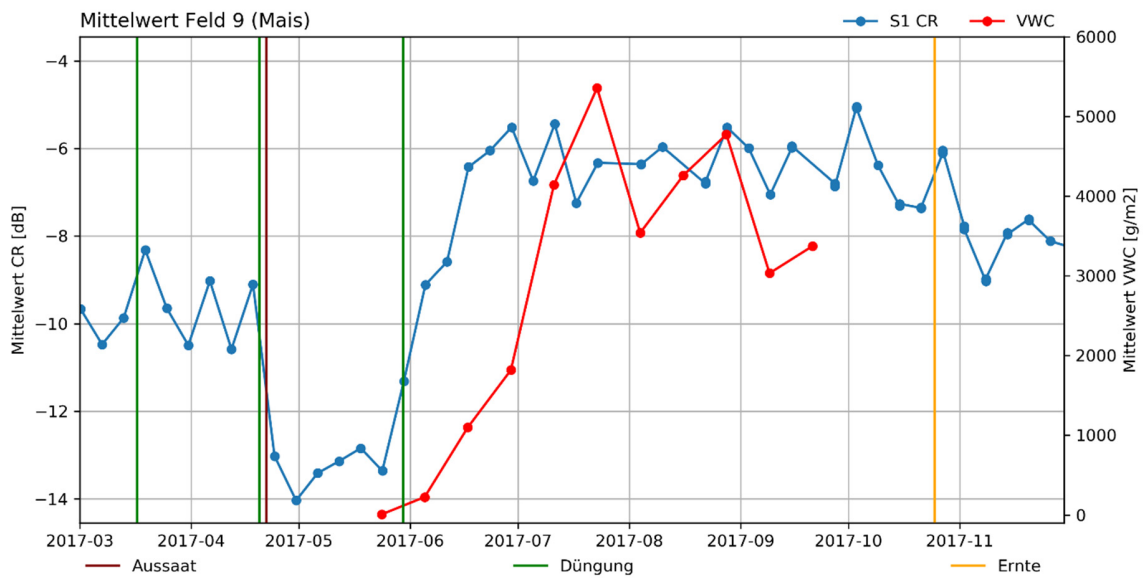


Abb. 7: Verlauf von Sentinel-1 CR und in situ-VWC in einem Maisfeld (Wachstumsperiode 2017)

## 6 Fazit

Über zwei Jahre (2017 und 2018) wurden in einem landwirtschaftlichen Versuchsgebiet in Petzenkirchen (Niederösterreich) Drohnenbefliegungen und in situ-Messungen der Vegetation durchgeführt. Anhand dieser Luftbild- und in situ-Datensätze wurde in dieser Studie untersucht, inwieweit das von den Sentinel-1-Satelliten gemessene Backscatter, insbesondere der daraus abgeleitete Cross Ratio Index, von der Pflanzenhöhe beeinflusst wird. Dazu wurde ein qualitativer Vergleich von Orthophotos mit den räumlichen Mustern des CR und der aus digitalen Oberflächenmodellen abgeleiteten absoluten Pflanzenhöhen angestellt. Zusätzlich wurden Zeitserien der Mittelwerte und Standardabweichungen aller pro Feld gemessenen CR- und Höhenwerte erstellt und verglichen. Während zwischen den Zeitserien der Mittelwerte durchaus ein Zusammenhang besteht, scheinen die räumlichen Muster von CR und absoluten Pflanzenhöhen voneinander unabhängig. Das bekräftigt die Vermutung, dass der CR Index empfindlicher auf die Pflanzenstruktur und den Pflanzenwassergehalt als auf Pflanzenhöhen ist.

## 7 Literaturverzeichnis

- BAUER-MARSCHALLINGER, B., FREEMAN, V., CAO, S., PAULIK, C., SCHAUFLE, S., STACHL, T., MODANESI, S., MASSARI, C., CIABATTA, L., BROCCA, L. & WAGNER, W., 2018: Toward Global Soil Moisture Monitoring with Sentinel-1: Harnessing Assets and Overcoming Obstacles. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, (99), 1-20.
- BLÖSCHL, G., BLASCHKE, A., BROER, M., BUCHER, C., CARR, G., CHEN, X., EDER, A., EXNER-KITTRIDGE, M., FARNLEITNER, A., FLORES-OROZCO, A., HAAS, P., HOGAN, P., KAZEMI AMIRI, A., OISMÜLLER, M., PARAJKA, J., SILASARI, R., STADLER, P., VREUGDENHIL, M., WAGNER, W. & ZESSNER, M., 2016: The Hydrological Open Air Laboratory (HOAL) in Petzenkirchen: a hypothesis-driven observatory. *Hydrology and Earth System Sciences*, **20**(1), 227-255.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2018: Grüner Bericht 2018 – Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft.
- KIM, Y., JACKSON, T., BINDLISH, R., LEE, H. & HONG, S., 2012: Radar vegetation index for estimating the vegetation water content of rice and soybean. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **9**(4), 564-568.
- PALOSCIA, S., MACELLONI, G., PAMPALONI, P., & SIGISMONDI, S., 1999: The potential of C- and L-band SAR in estimating vegetation biomass: the ERS-1 and JERS-1 experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **37**(4), 2107-2110.
- VREUGDENHIL, M., WAGNER, W., BAUER-MARSCHALLINGER, B., PFEIL, I., TEUBNER, I., RÜDIGER, C. & STRAUSS, P., 2018: Sensitivity of Sentinel-1 Backscatter to Vegetation Dynamics: An Austrian Case Study. *Remote Sensing*, **10**(9), 1396.