

# Bericht UAS-Bildflüge Makrophytenmonitoring II Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde

STZ Geoinformatik Rostock

Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer und Dipl.Ing. (FH) Matthias Naumann



# 1 Planung, Durchführung und photogrammetrische Auswertung und Entzerrung eines Bildflugs der drei Standorte (Bielenberg, Hollerwettern und Schwarztonnensand)

Laut Planfeststellungsbeschluss der WSD Nord vom 23. April 2012 müssen gemäß Anlage 1 Ziffer 4.2 jeweils 3 Messstellen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein im Bereich der Trübnungszone in Ergänzung der WRRL-Monitoringsaktivitäten Makrophyten jährlich bis 12 Jahre nach Ausbau untersucht werden. Aus diesem Grund wurden am 15. und 16. August 2018 wurden die drei Makrophytenstandorte mit Hilfe eines UAS befliegen.



Abbildung 1: Lage der Standorte

## 1.1 Informationen zu den Bildflügen

Der Standort Hollerwettern, wurde am 15.08.16 im Zeitraum von 10:20 – 11:15 Uhr befliegen (Station Brokdorf, Niedrigwasser 13:15 CEST, 0.5 Meter). Der Standort Bielenberg wurde ebenfalls am 15.08.16 im Zeitraum von 12:30 – 13:50 Uhr (Niedrigwasser 13:41 CEST, 0.61 Meter) befliegen. Die Witterungsbedingungen für die langfristig geplanten Befliegungen waren eigentlich ganz gut, d.h. relativ wenig Wind und nur geringe bis mäßige Bewölkung. Der UAS Bildflug des Standorts Schwarztonnensand erfolgte am darauf folgenden Tag, den 16.8.2018 im Zeitraum vom 11:30 – 12:30 Uhr bei vorwiegend sonnigem Wetter. Um zur Elbinsel Schwarztonnensand zu gelangen wurde vom WSA ein Schiff zur Verfügung gestellt. Niedrigwasser war an diesem Tag 14:32 CEST, 0.6 Meter.

Als UAS wurde für die RGB-Aufnahmen auch in diesem Jahr der Falcon 8 Trinity mit einer Sony Alpha 7R Kamera und 36 MPix verwendet. So dass die Befliegungen 2018 mit Bodenauflösung von 1.2 cm / Pixel realisiert wurden.

Für die Multispektralaufnahmen wurde die Ebee+ Drohne der Firma Sensefly mit dem Multispektralsensor Sequoia verwendet. Die räumliche Auflösung des Multispektralsensors betrug ca. 8 cm.

Begleitend zu den Senkrechtaufnahmen wurden bei den UAS-Bildflügen Schrägaufnahmen und Videos der Standorte mit einer Phantom 4Pro Drohne erstellt. Bei dem Standort Hollerwettern konnten leider nur kleinere Videos und keine Fotos erstellt werden.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht verschiedener Parameter der realisierten Befliegungen und Abbildung 2 – 7 geben eine graphische Übersicht der Verteilung der Passpunkte und der abgeleiteten Oberflächenmodelle.

*Tabelle 1: Ausgewählte Parameter UAS Bildflüge August 2018*

	Schwarztonnensand	Hollerwettern	Bielenberg
Datum / Uhrzeit	16.8.16 /10:45 – 12:00	15.8.16 /10:00 – 11:15	15.8.16 /12:30 – 13:45
Wetter	Vorwiegend sonnig	Bedeckt / wechselnd bewölkt	Bedeckt / wechselnd bewölkt
Wind	Mäßig, 3 Bft (ca. 4 m/s)	Schwach - Mittel (ca. 4 m/s)	Schwach – Mittel ca. 4 m/s
Anzahl Passpunkte	9	16	12
Abgedeckte Fläche	6.2 ha	7.8 ha	7.6 ha
<b>RGB-Bildflug</b>			
Anzahl Bilder	138 (von 161)	215 (von 235)	170 (von 192)
Flughöhe	90 m	93 m	93 m
Bodenauflösung	1.12 cm	1.17 cm	1.17 cm
Lage-/Höhengenauigkeit Passpunkte	3,27 / 2,55 cm	1,5 / 1,6 cm	2,3 cm / 0,9 cm
Punktwolke	28,156,496 Punkte	35,550,833 Punkte	41,841,385 Punkte
Punktdichte	503 Punkte / m <sup>2</sup>	455 Punkte / m <sup>2</sup>	477 Punkte / m <sup>2</sup>
Größe Orthomosaik	29,747 x 26,589 Pixel	37,525 x 28,483 Pixel	32,866 x 30,130 Pixel
<b>MS-Bildflug</b>			
Anzahl Bilder	101 (von 118)	178 (von 200)	129 (von 168)
Flughöhe	80 m	72 m	82 m
Bodenauflösung	8.04 cm	6.89 cm	7.93 cm

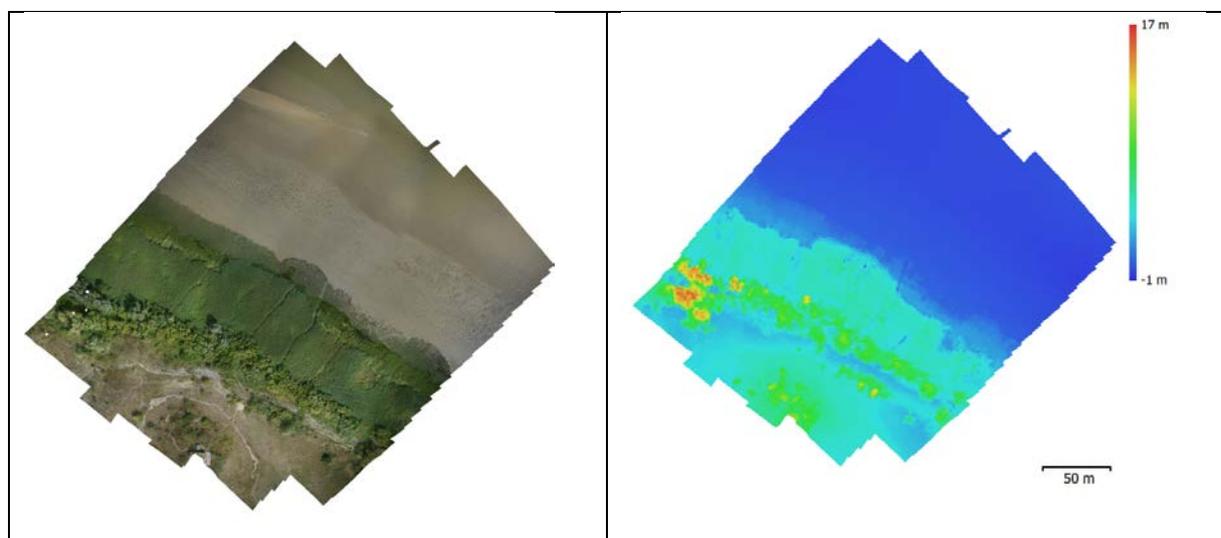


Abbildung 2: Orthomosaik Schwarztonnensand, GCP

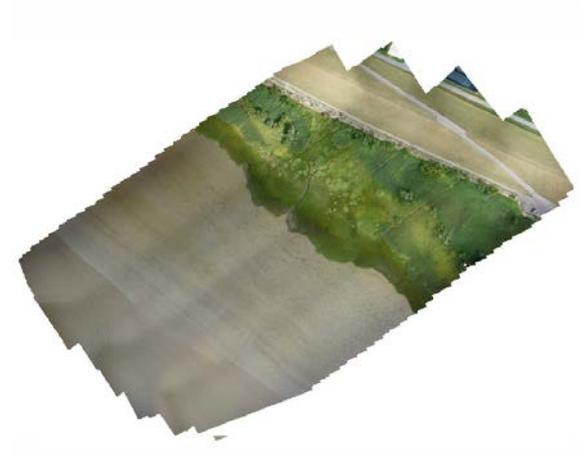


Abbildung 3: DOM Schwarztonnensand

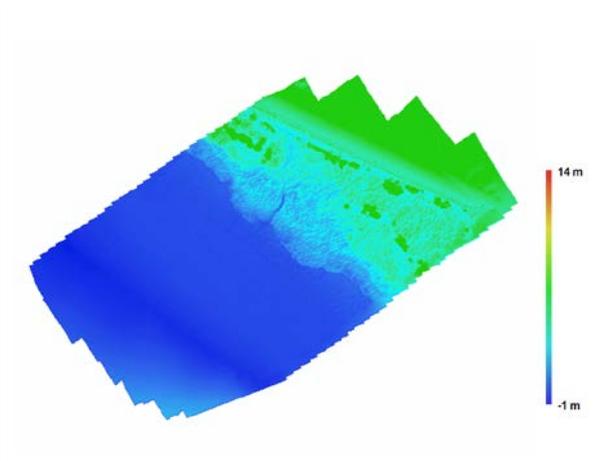


Abbildung 4: Orthomosaik Hollerwettern, GCP



Abbildung 5: DOM Hollerwettern

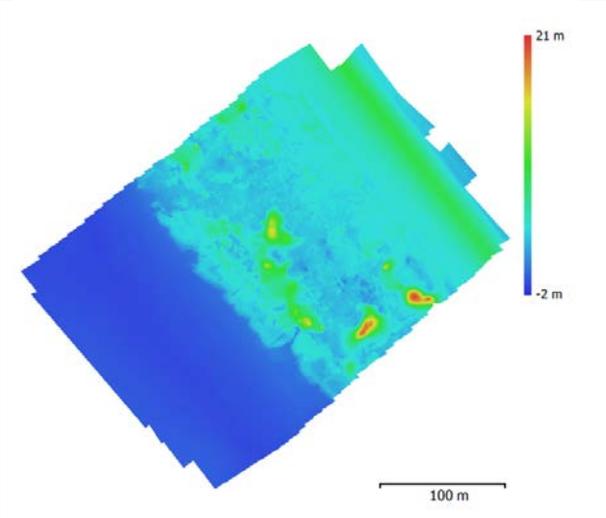


Abbildung 6: Orthomosaik Bielenberg, GCP

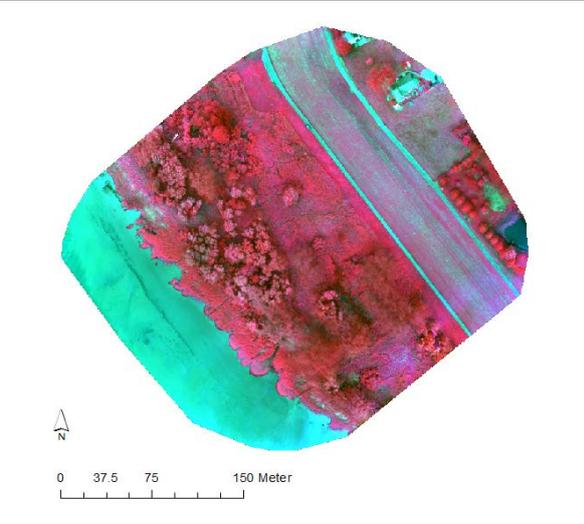


Abbildung 7: DOM Bielenberg

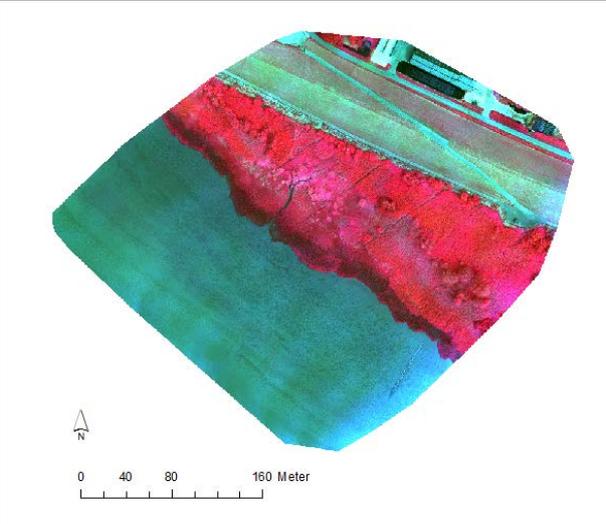
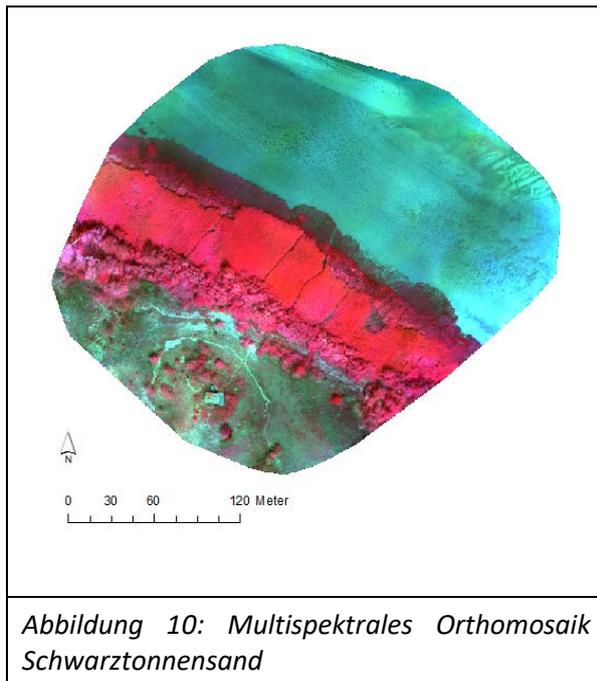


Abbildung 8: Multispektrales Orthomosaik Bielenberg

Abbildung 9: Multispektrales Orthomosaik Hollerwettern



## **1.2 Photogrammetrische Auswertung und Genauigkeit**

Die drei Bildverbände der Farbluftbilder wurden mit der Software Photoscan Professional Vers. 1.4.3, der Firma Agisoft ausgewertet. Die multispektralen Daten wurden mit der Software Pix4Dmapper, Vers. 1.3.2. analysiert. Der Lagebezug der Daten bezieht sich auf das amtliche System ETRS 89 / UTM, Streifen 32. Gemäß der Qualitätskriterien für UAS Befliegungen und Digitale Orthophotos entsprechen die erzielten Genauigkeiten an den Passpunkten den vorgegebenen Normen, da die Passpunktgenauigkeit von ca. 1-2 cm kleiner bzw. gleich sind als die erlaubte doppelte Bodenauflösung (2.3 cm).

## **1.3 Ergebnisse Digitale Oberflächenmodelle und Orthophotomosaik**

Die aus den Befliegungsdaten gewonnenen digitale Oberflächenmodelle waren Grundlage für die anschließende Orthobilderzeugung. Die Bodenauflösung der RGB-Mosaik betragen etwa 1.2 cm pro Pixel. Die Bodenauflösung der multispektralen Orthomosaik beträgt etwa 8 cm. Zur Mosaikierung der einzelnen Bilder wurden vollautomatisiert so genannte „Cut lines“ definiert, welche die Schnittlinie zweier sich überlappender Bilder definiert. Aufgrund der wechselnden Witterungsbedingungen während der Bildflüge ergeben sich immer gewisse Farbunterschiede zwischen den Bildern, die aber kaum sichtbar sind, sobald man näher herein zoomt. Als Ausgabeformate der Daten wurden \*.tif-Dateien erzeugt.

Die Luftbilder stimmen mit den bisherigen Befliegungen der Jahre 2014 bis 2017 geometrisch gut überein und können somit in den Datenpool des WSA Hamburg überführt werden.

## 2 DGM Vergleich

Ein zentraler Grund für die UAS Befliegung ist die Untersuchung bzw. das langfristige Monitoring von (Höhen)Veränderungen der vorgelagerten Wattflächen und die Entwicklung der Vegetation. Die Kartierung, Vegetationsentwicklung und Veränderung ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

Im Endbericht vom BfG geförderten Forschungsprojekt „UAS-Makro“ ist auf die Methodik kurz eingegangen worden. Im Kern geht es darum die Differenz zwischen den Höhenmodellen zweier Bildflüge zu bilden und diese anschließend zu bewerten bzw. in einer Zeitreihe zu sehen. Nachfolgend werden die Ergebnisse der einzelnen Standorte vorgestellt und auch auf die jeweiligen Besonderheiten des DOM-Vergleichs der verschiedenen Standorte eingegangen.

### 2.1 Hollerwettern

- Im Vergleich zu den bisherigen Befliegungen, einschließlich der vom August 2017 ist im Verlauf des letzten Jahr auf den auswertbaren Wattflächen bis -0.9 m eine massive Zunahme des Watts von bis zu 70 cm zu beobachten, vgl. Abbildung 12 und Abbildung 13. Dadurch hat sich auch der Böschungsverlauf, bzw. das Gefälle der Wattzone stark verändert.
- Veränderungen in der beobachteten Größenordnung sind an diesem Standort erstmalig beobachtet worden, vgl. Tabelle 2.
- An der Gewässerkante sind, wie in den Vorjahren an einigen Stellen neue Schilfflächen in einer Breite von 3 - 5 m dazu gekommen. Dies ist auch sehr gut im DOM-Differenzbild zu erkennen, Abbildung 11.
- Die Strandsimsen, das Rohrglanzgras und das Schilf sind in diesem Jahr durch voran gegangene Hochwässer oftmals liegend und demzufolge niedriger als in 2017.

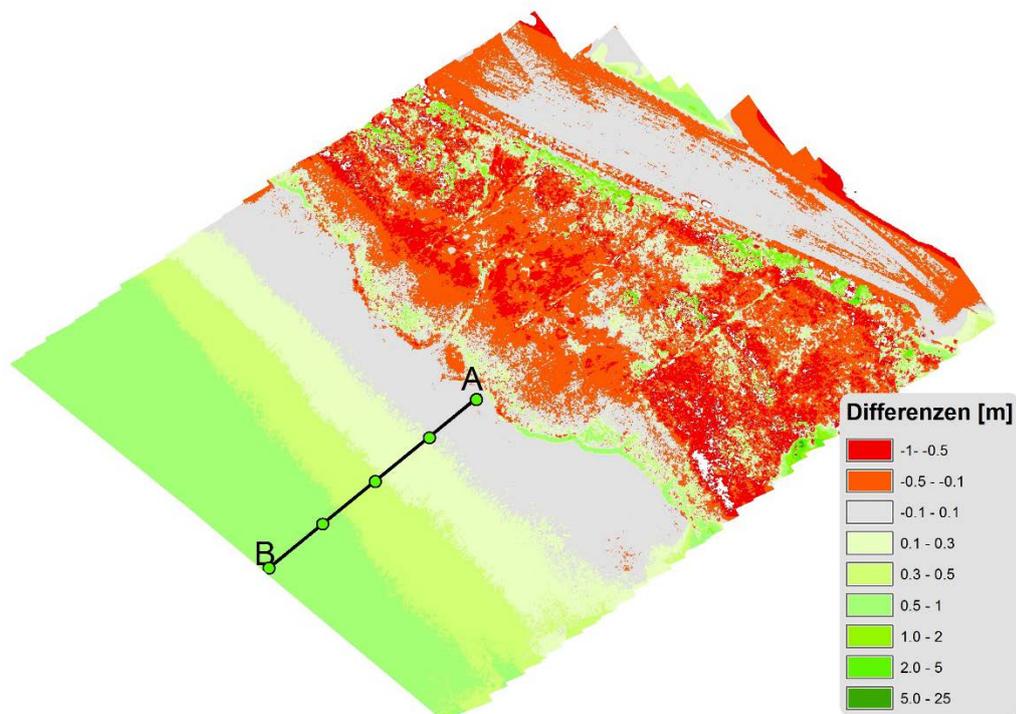


Abbildung 11: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 10.8.2017 und der aktuellen Befliegung vom 15.8.2018

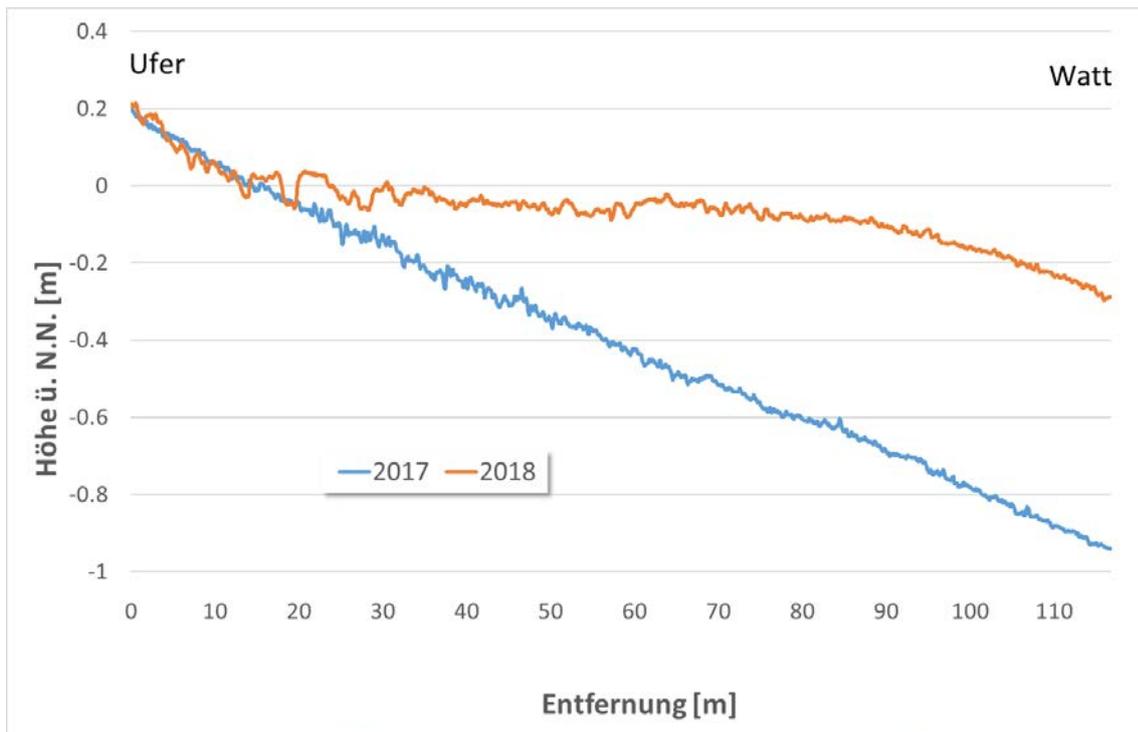


Abbildung 12: Profil des Gefälles des Watts vor Hollerwettern in den Jahren 2017 und 2018

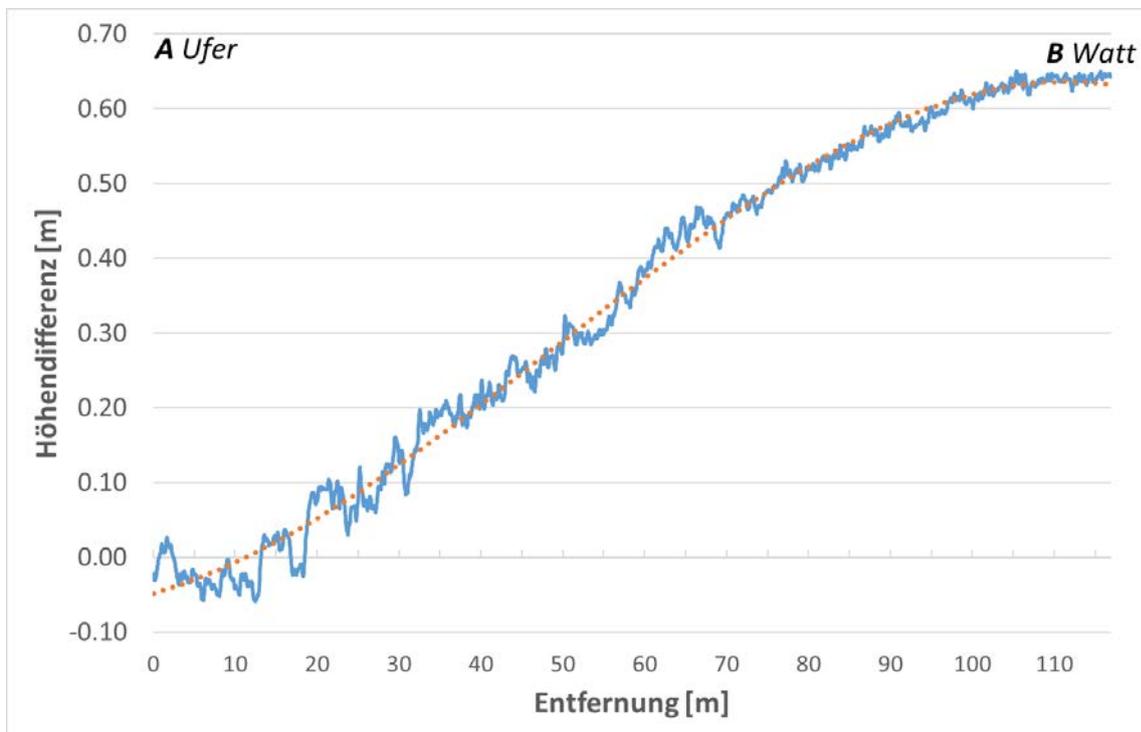


Abbildung 13: Veränderung des Profils der Wattflächen im Vergleich zur Befliegung vom 9.6.2015 am Standort Hollerwettern (etwa 120 m Breite) vom Ufer (links) bis zur maximal auswertbaren Tiefe von -0.4 m (rechts)

Tabelle 2: Vergleich der Watttiefen aller UAS Befliegungen entlang des Profils in Hollerwtttern

	A				B
30.10.2014	0.24	-0.00	-0.19	-0.30	-0.42
09.03.2015	0.18	-0.01	-0.24	-0.44	-0.64
09.06.2015	0.21	-0.05	-0.26	-0.49	-0.68
04.08.2016	0.27	-0.01	-0.20	-0.37	-0.59
10.08.2017	0.22	-0.06	-0.29	-0.54	-0.80
15.08.2018	0.20	0.03	-0.05	-0.06	-0.17

## 2.2 Bielenberg

- An der Gewässerkante breitet sich das Schilf, wie in den Vorjahren weiter aus und verdrängt die bisherige (flache) Vegetation.
- Anhand der Zeitreihe, ist zu beobachten, dass in Bielenberg das Ufer ganz geringfügig steiler (ca. 5 - 10 cm) wird, bzw. das Watt zur Fahrrinne über die Jahre hin immer tiefer wird.
- Die Uferlinie ist stabil, bzw. unverändert.
- Unterschiede in der Vegetationshöhe sind im Wesentlichen darauf zurück zu führen, dass in 2017 das Schilf gelegen hat und zusätzlich die Bäume durch den starken Wind in 2017 „flacher“ waren.

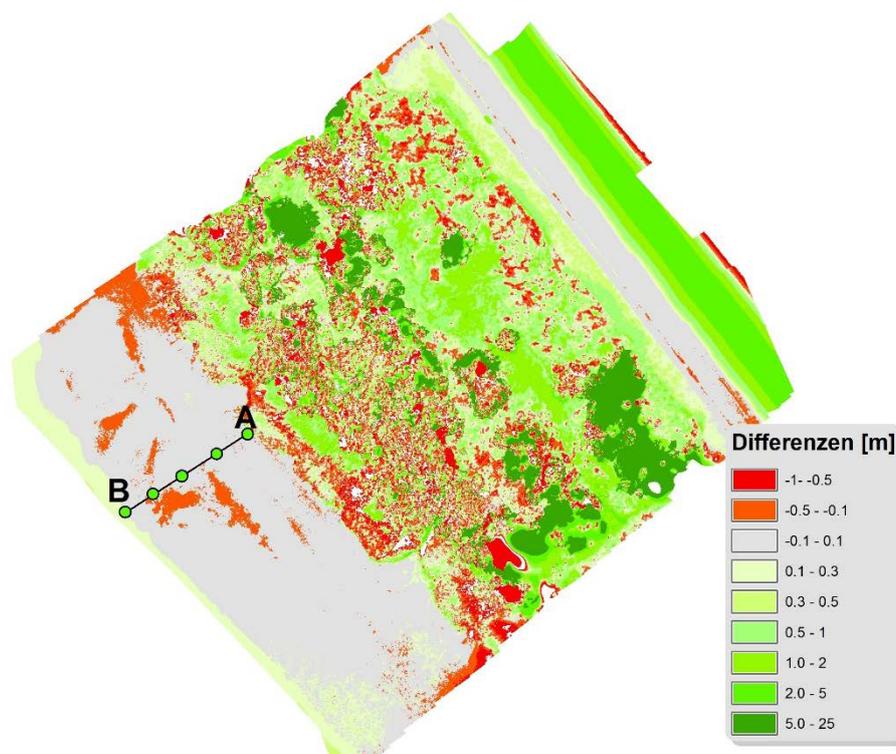


Abbildung 14: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 25.9.2017 und der aktuellen Befliegung vom 4.8.2018

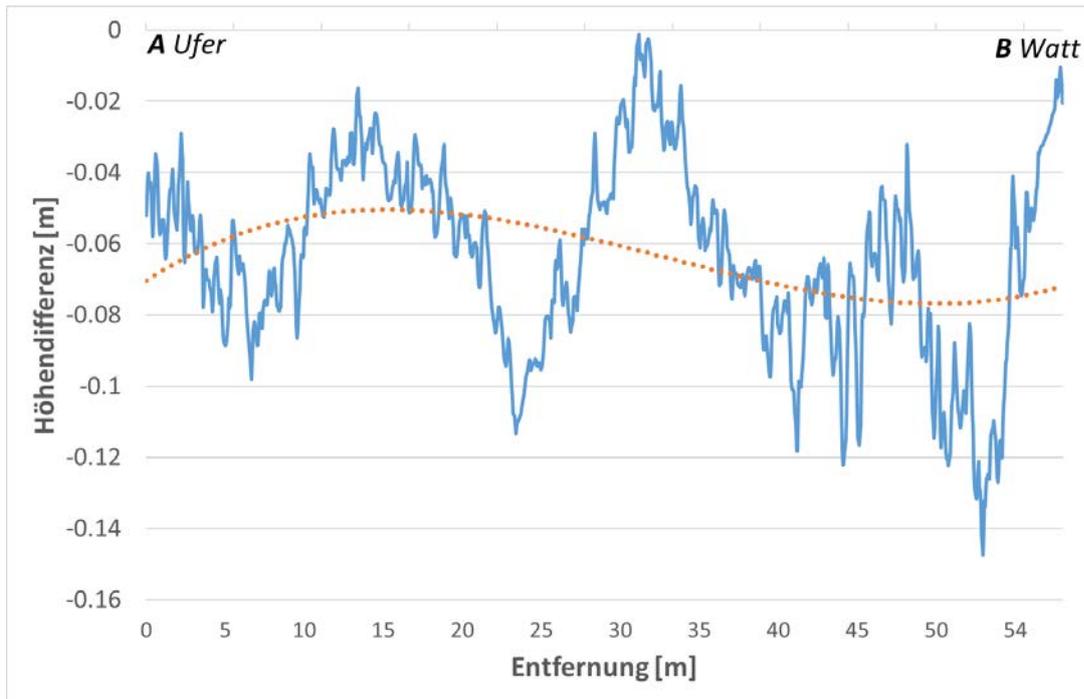


Abbildung 15: Veränderung des Profils der Wattflächen vom 15.8.2018 im Vergleich zur Befliegung vom 25.9.2017 am Standort Bielenberg (etwa 55 m Breite) vom Ufer (links) bis zur maximal auswertbaren Tiefe von -1,2 m (rechts)

Tabelle 3: Vergleich der Watttiefen aller UAS Befliegungen entlang des Profils in Bielenberg

	A				B
30.10.2014	-0.03	-0.37	-0.65		
09.03.2015	0.14	-0.38	-0.66	-0.87	-1.00
09.06.2015	-0.08	-0.33	-0.66	-0.84	-0.98
04.08.2016	-0.05	-0.44	-0.73	-0.96	-1.09
25.09.2017	-0.03	-0.45	-0.71	-0.96	-1.13
15.08.2018	-0.05	-0.48	-0.82	-1.03	-1.26

### 2.3 Schwarztonnensand

- Im Vergleich zur Befliegung vom Juni 2015 ist auf den auswertbaren Wattflächen bis - 0.6 m an vielen Stellen eine geringe Zunahme von 10 - 15 cm zu beobachten, vgl. Abbildung 16, Abbildung 17 und Tabelle 4. Da dieser Standort in diesem Jahr leider nicht zum Niedrigwasserstand und insgesamt erst dreimal befliegen wurde, ist keine Aussage über einen etwaigen Trend zu machen.
- Die Strandsimse breitet sich teilweise in der Teichsimsenzzone weiter aus.
- Die Blütenstände des Schilfs sind sehr unterschiedlich ausgeprägt-
- Aufgrund des trockenen Sommers ist die Vegetation auf der Insel deutlich niedriger als im Jahr davor.

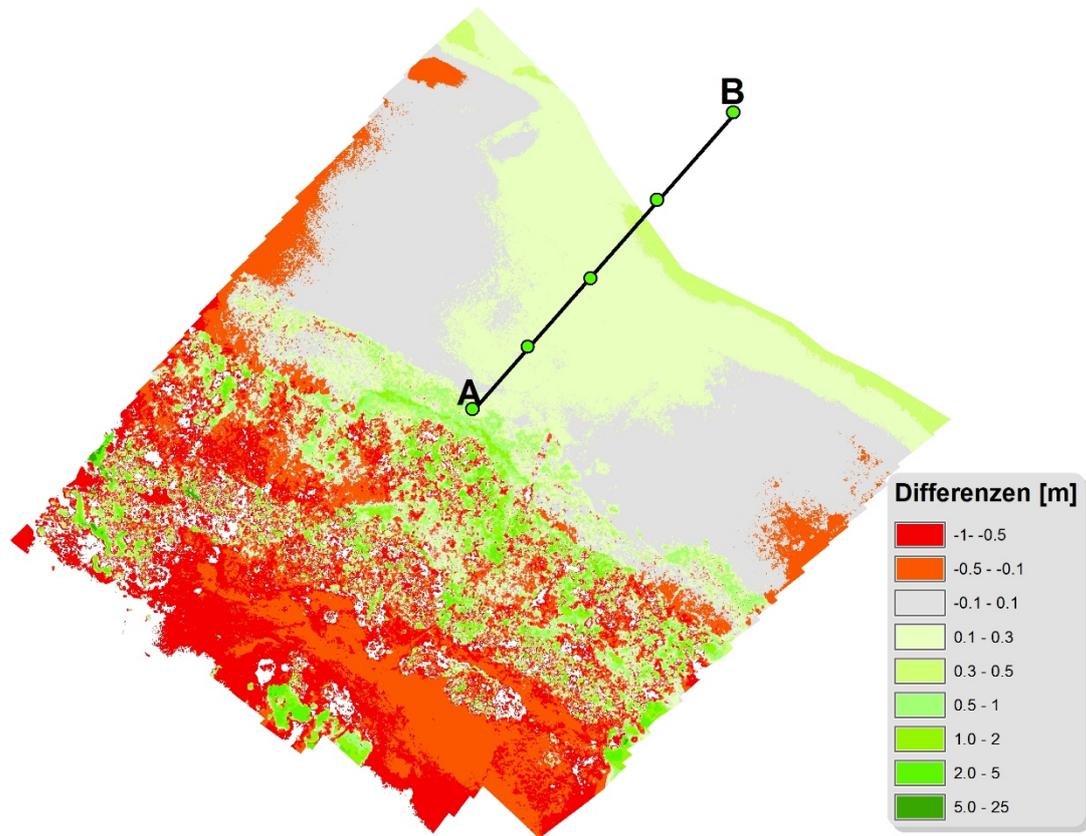


Abbildung 16: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 11.8.2017 und der aktuellen Befliegung vom 16.8.2018

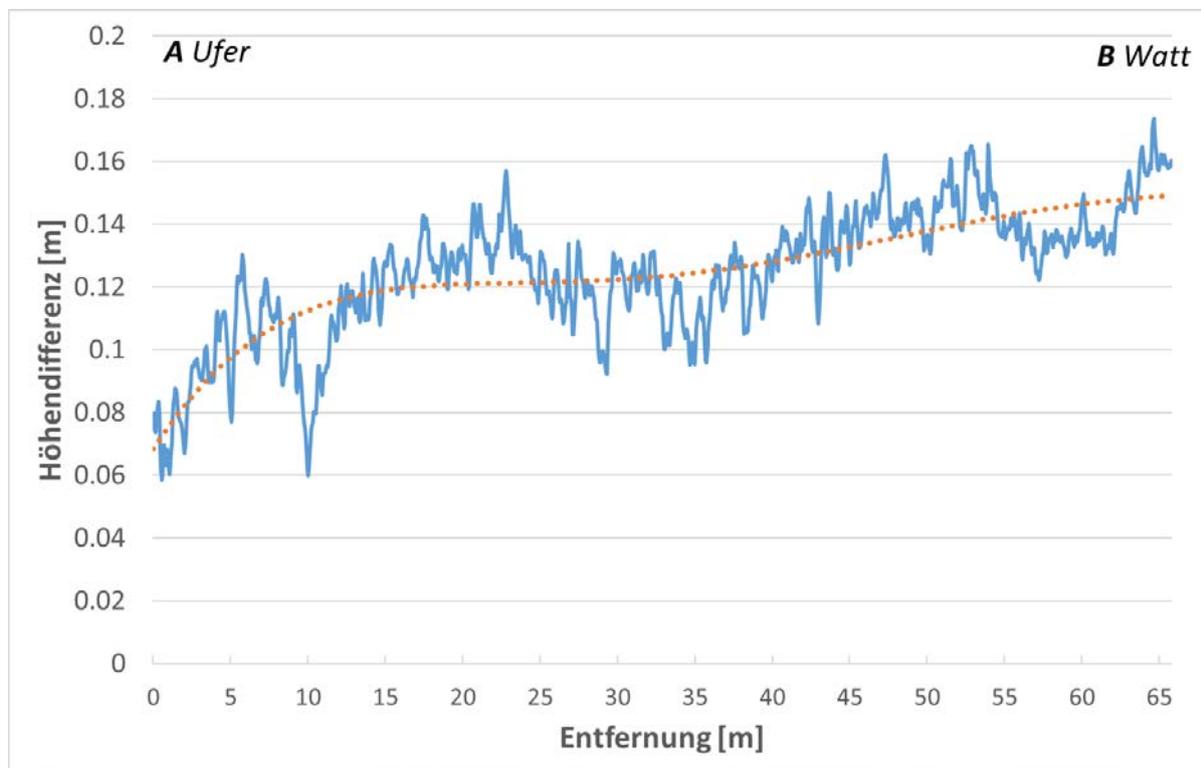


Abbildung 17: Veränderung des Profils der Wattflächen vom 16.8.2018 im Vergleich zur Befliegung vom 9.8.2017 am Standort Schwarztonnensand (etwa 65 m Breite) vom Ufer (links) bis zur maximal auswertbaren Tiefe von -0.33 m (rechts)

Tabelle 4: Vergleich der Watttiefen der vier bisherigen UAS Befliegungen entlang des Profils in Schwarztonnensand

	A				B
02.07.2015	0.13	-0.30	-0.53	-0.82	-0.99
03.08.2016	0.16	-0.21	-0.46	-0.70	-0.89
09.08.2017	0.22	-0.22	-0.47	-0.61	-0.95
16.08.2018	0.22	-0.12	-0.33	-	-

## 2.4 Multispektrale Klassifikation der Dominanzarten

Aus der Fülle möglicher Klassifikatoren und Verfahren wurde für eine Landnutzungsklassifikation ein Random-Forest Ansatz ausgewählt, der sich schon im Tibass Projekt sehr gut bewährt hat. Zur Vorbereitung wurde ein multisensoraler achtkanaliger „Image stack“ gebildet, d.h. eine Datei, in der die Farbluftbilder, das Multispektralbild und das Oberflächenmodell als einzelne Bänder enthalten sind. Die Bodenauflösung orientiert sich an den größten Daten der multispektralen Daten und beträgt demzufolge 8 cm.

Grundsätzlich ist die Verteilung der Landnutzung und der dominanten Arten auf allen drei Standorten ähnlich ausgeprägt. In der Regel können drei bis vier Zonen (Teichsimse, Strandsimse, Rohrglanzgras und Schilf) identifiziert werden. Zusätzlich kommen auf den Untersuchungsstandorten noch weitere Landnutzungen wie z.B. Bäume, Grünland, Watt etc. vor, die ebenfalls klassifiziert werden müssen, um die Landnutzung der Orthomosaik vollständig zu beschreiben.

Abbildung 20 zeigt diese Zonierung für den Standort Schwarztonnensand. Diese Karte wurde auf Basis des Multispektral-Datensatzes mithilfe eines Random-Forest-Klassifikators (500 Bäume, Klassifikationsgenauigkeit: 96.3 %) berechnet. Ausgehend von der Wattfläche ohne Vegetation in Richtung Deich kommt zunächst ein meist schmaler Saum an Teichsimsen. Die zweite Zone wird dominiert von Strandsimse. Der Übergang von den Teichsimsen zu den Strandsimsen ist fließend. In dieser Zone kommen jedoch auch Rohr-Glanzgras-Patches vor, vor allem in Hollerwettern, siehe Abbildung 18. Die Grenze zur (dritten) Schilfzone bildet sich jedoch sehr scharf aus. Bielenberg unterscheidet sich aufgrund der hohen Bäume und des nur sehr schmalen Simsengürtels von den anderen beiden Standorten, Abbildung 19.

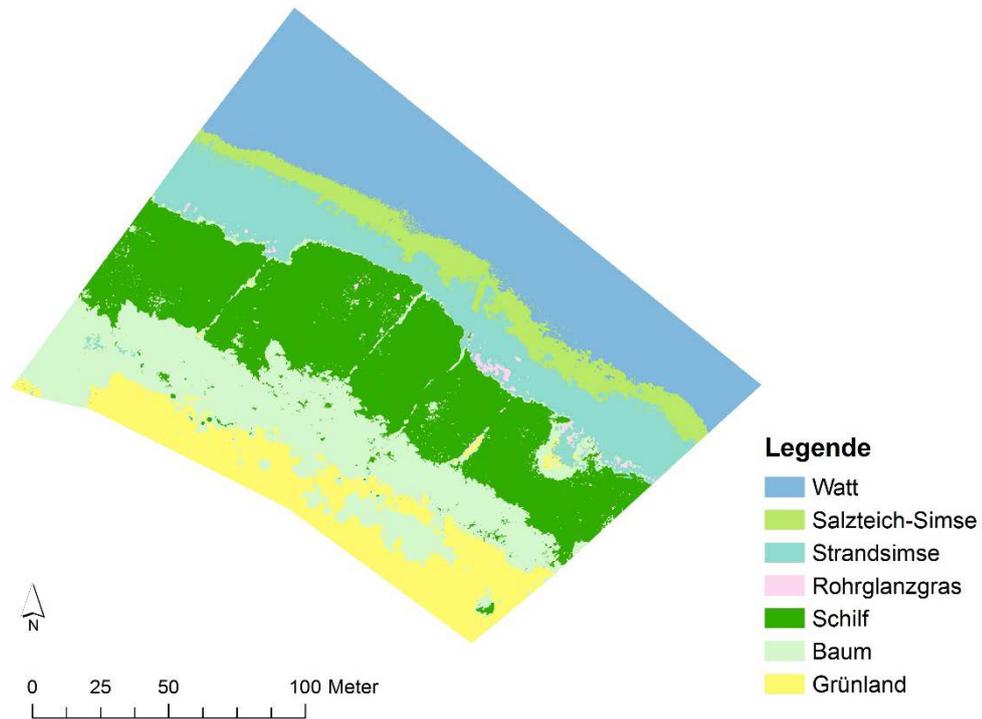


Abbildung 18: Multisensorale Klassifikation der Landnutzung / Dominanzarten am Standort Schwarztonnensand, auf der Grundlage von RGB-, Multispektral und Höhendaten, Erfassungsdatum 16.8.2018

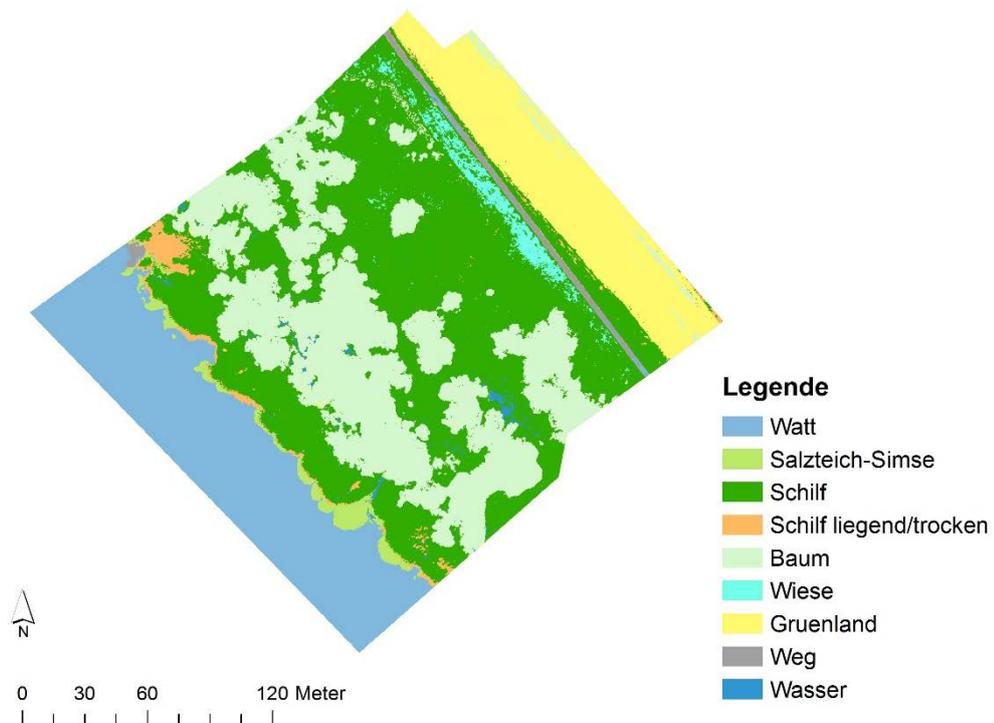
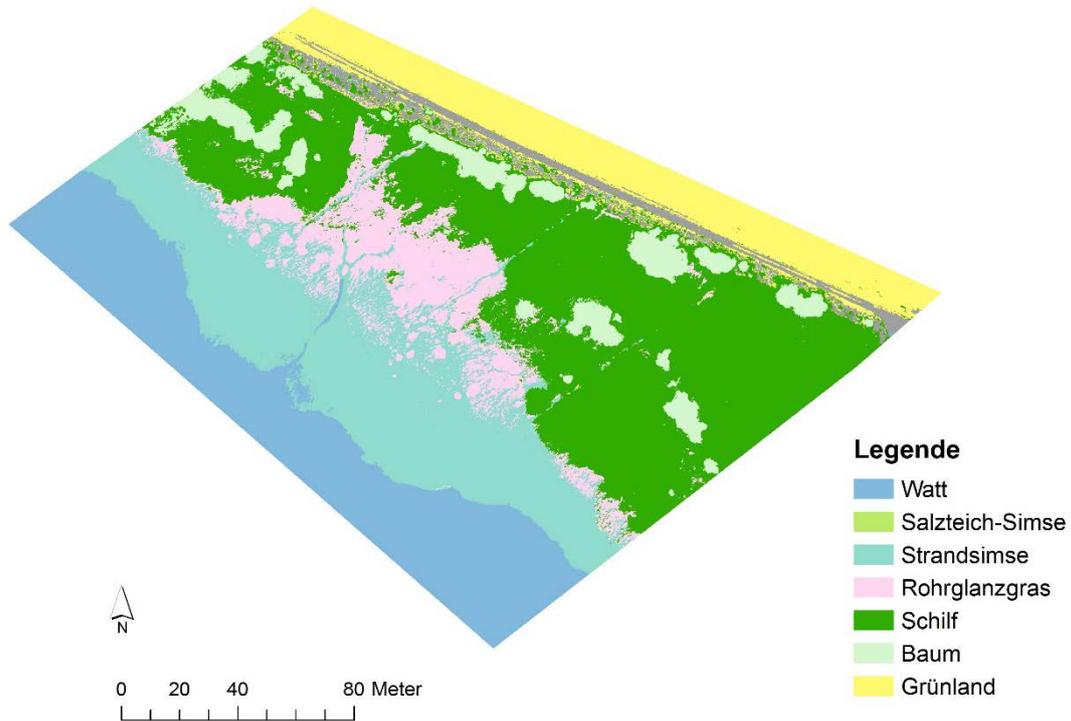


Abbildung 19: Multisensorale Klassifikation der Landnutzung / Dominanzarten am Standort Bielenberg, auf der Grundlage von RGB-, Multispektral und Höhendaten, Erfassungsdatum 15.8.2018



*Abbildung 20: Multisensorale Klassifikation der Landnutzung / Dominanzarten am Standort Hollerwettern, auf der Grundlage von RGB-, Multispektral und Höhendaten, Erfassungsdatum 15.8.2018*

Bei der Auswertung der so genannten Band Importance, d.h. der relativen Bedeutung der einzelnen Spektralkanäle für die Klassifikation zeigt sich, dass das digitale Oberflächenmodell bzw. die damit verbundene Höhe über dem Meeresspiegel den größten Einfluss auf das Klassifikationsergebnis hat.

### **3 Fazit der UAS-Befliegungen 2018 zum Makrophytenmonitoring**

Im Rückblick der letzten Jahre seit 2014 haben sich die Vegetationsgrenzen zum Wasser hin und die Vorkommen der Dominanzarten an den Standorten recht unterschiedlich entwickelt. Während in Hollerwettern sich die Vegetation mit 1 - 3 m pro Jahr nahezu kontinuierlich in Richtung Elbe weiterentwickelt und den Vegetationssaum entlang des Flusses ständig verbreitet, bleibt die Vegetationsgrenze in Bielenberg absolut stabil. Hier verändert sich nur die Artenzusammensetzung. Das Schilf verdrängt die Strandsimse und wird bis fast an die Wasserkante hin die dominierende Art. In Schwarztonnensand sind seit 2015 kleinere Veränderungen von einigen Metern an der Vegetationsgrenze zu beobachten. Salzbinsen breiten weiter in Richtung Elbe aus. Die Grenze zu den Strandsimsen ist durchlässig und es bilden sich an manchen Orten Mischbestände. Die Grenzen zwischen Strandsimsen und Schilf hingegen ändert sich. Es ist, wie an den anderen Standorten auch eine Zunahme des Schilfs zu beobachten.

Während das Gefälle und die Höhenverläufe der vorgelagerten Wattflächen über einige Jahre recht konstant geblieben sind, ist im letzten Jahr in Hollerwettern das Watt auf natürlichem Wege großflächig aufgespült worden. Ob und in wie weit sich das in den kommenden Jahren verstärkt oder auch wieder in die andere Richtung verändert, werden die Beobachtungen der kommenden Jahre zeigen.

Die zeitliche und räumliche Dynamik der untersuchten Standorte ist weiterhin recht unterschiedlich, d.h. jeder Standort weist eine eigene Dynamik auf, was durch ein weiteres mindestens jährliches Monitoring begleitet werden sollte.

Rostock, den 28. November 2018

Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer