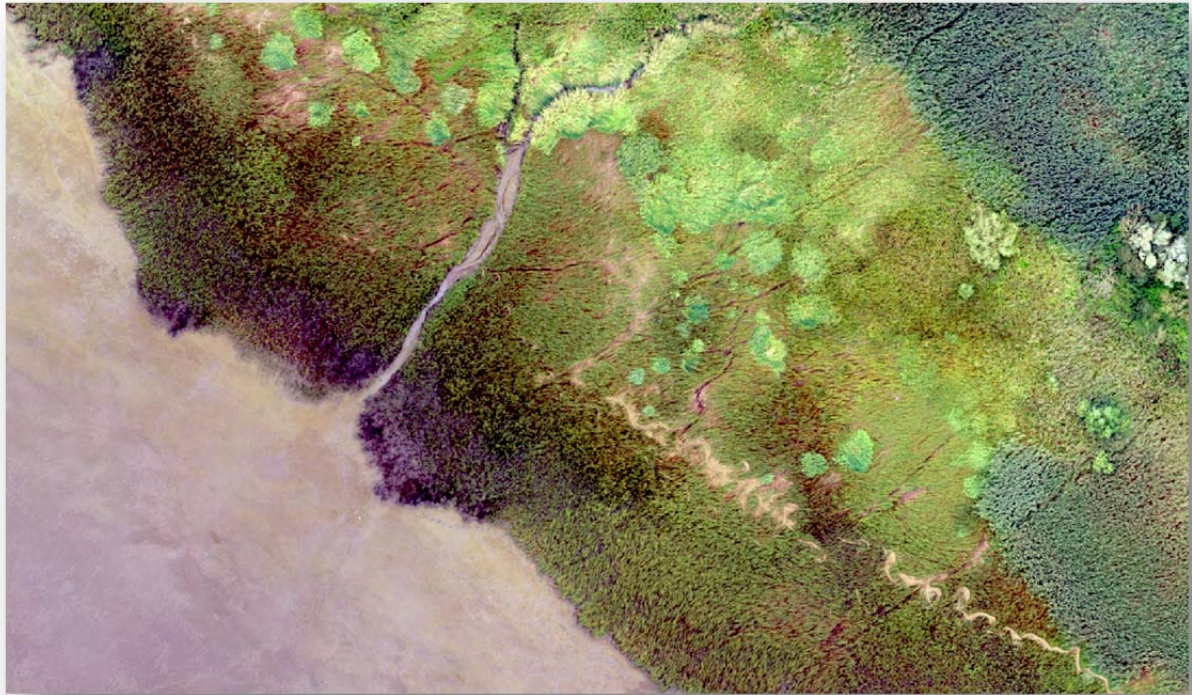


Bericht UAS-Bildflüge Makrophytenmonitoring 2019

im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde

STZ Geoinformatik Rostock

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



1 Planung, Durchführung, 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-Monitoringaktivitäten Makrophyten jährlich bis 12 Jahre nach Ausbau untersucht werden. Aus diesem Grund wurden am 14. und 21. August 2019 die drei Makrophytenstandorte mit Hilfe eines UAS befliegen.



Abbildung 1: Lage der Standorte

1.1 Informationen zu den Bildflügen

Die UAS Bildflüge des Standorts Schwarztonnensand erfolgten am 14.8.2019 im Zeitraum vom 9:30-10:10 Uhr bei sonnigem Wetter. Um zur Elbinsel Schwarztonnensand zu gelangen, wurde vom WSA ein Schiff zur Verfügung gestellt. Niedrigwasser war an diesem Tag 10:19, 0,9 m höher als das mittlere Niedrigwasser. Der Standort Hollerwettern, wurde am 21.08.19 im Zeitraum von 10:20- 11:15 Uhr befliegen (Station Brokdorf, Niedrigwasser 13:15 CEST, 0,5 Meter höher als das mittlere Niedrigwasser). Der Standort Bielenberg wurde ebenfalls am 21.08.19 im Zeitraum von 12:30- 13:50 Uhr (Niedrigwasser 13:39, 1 Meter höher als das mittlere Niedrigwasser) befliegen. Die Witterungsbedingungen für die langfristig geplanten Befliegungen waren aufgrund relativ wenig Wind und nur geringe bis mäßige Bewölkung als gut einzustufen.

Als UAS kam für die RGB-Aufnahmen in diesem Jahr eine Phantom 4 Pro RTK zum Einsatz. Da diese Drohne während des Fluges hochgenau ihre Position aufzeichnet, ist bei der nachfolgenden photogrammetrischen Auswertung mit einer höheren Genauigkeit zu rechnen. Die Kamera verfügt über einen 20 Mpix. Sensor. Bei einer Flughöhe von 70 m ergibt dies eine Bodenauflösung von 2 cm / Pixel.

Für die Multispektralaufnahmen wurde eine Phantom 4 Pro modifiziert und um eine Parrot Sequoia Kamera als zusätzliche Nutzlast ergänzt. Aufgrund der gewählten Flughöhe von 70 m ergibt sich eine räumliche Auflösung des Multispektralsensors von ca. 6.5 cm.

Begleitend zu den Senkrechtaufnahmen wurden bei den UAS-Bildflügen Schrägaufnahmen der Standorte mit einer Phantom 4Pro Drohne erstellt.

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 2019

	Schwarztonnensand	Hollerwettern	Bielenberg
Datum / Uhrzeit	14.8.19 /10:45 – 12:00	21.8.16 /11:00 – 11:40	21.8.16 /13:30 – 14:00
	Vorwiegend sonnig	Bedeckt / wechselnd bewölkt	Bedeckt / wechselnd bewölkt
Wind	Mäßig, 3 Bft (ca. 5 m/s)	Schwach - Mittel (ca. 4 m/s)	Schwach – Mittel ca. 4 m/s
Anzahl Passpunkte	10	12	16
Abgedeckte Fläche	11,7 ha	7,8 ha	13,1 ha
RGB-Bildflug			
Anzahl Bilder	183 (von 219)	146 (von 146)	218 (von 218)
Flughöhe	70 m	78 m	81.5 m
Bodenauflösung	1.98 cm	1.94 cm	1,94 cm
Lage- /Höhenauflösung Passpunkte	0,99 / 1,18 cm	1,66 / 1,84 cm	1,61 cm / 1,55 cm
Punktwolke	16.025.254 Punkte	13.739.591 Punkte	21.998.696 Punkte
Punktdichte	160 Punkte / m ²	167 Punkte / m ²	167 Punkte / m ²
Größe Orthomosaik	23.446 x 23.974 Pixel	21,180 x 21,845 Pixel	23,305 x 22,073 Pixel
MS-Bildflug			
Anzahl Bilder	101 (von 118)	406 (von 407)	197 (von 292)
Flughöhe	65 m	67 m	65 m
Bodenauflösung	6,60 cm	668 cm	6,51 cm

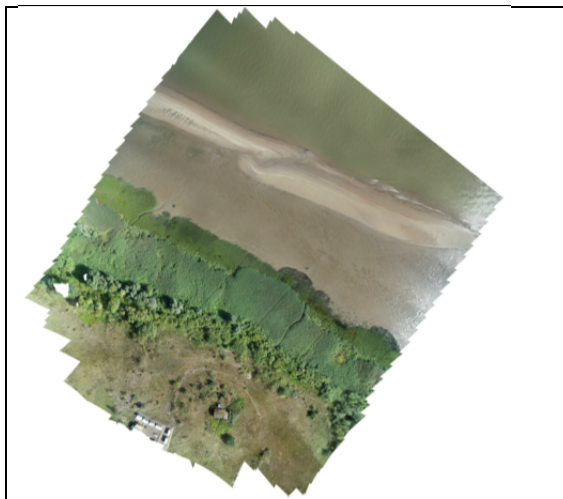


Abbildung 2: Orthomosaik Schwarztonnensand, GCP

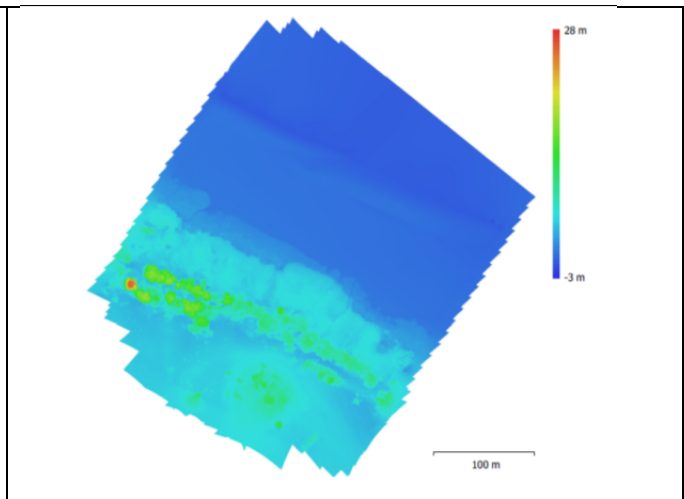


Abbildung 3: DOM Schwarztonnensand

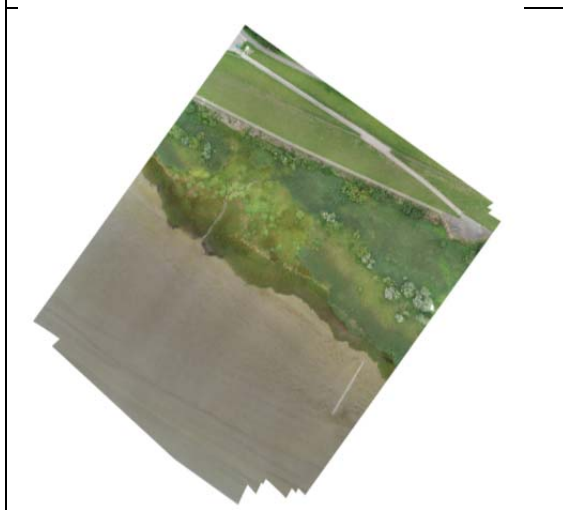


Abbildung 4: Orthomosaik Hollerwettern, GCP

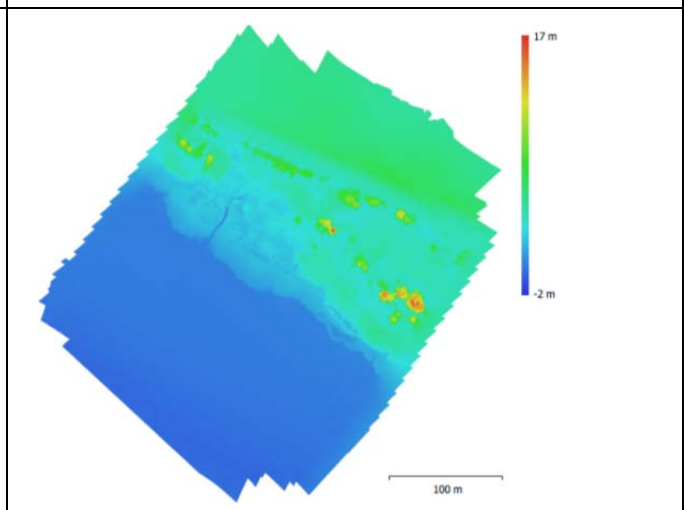


Abbildung 5: DOM Hollerwettern

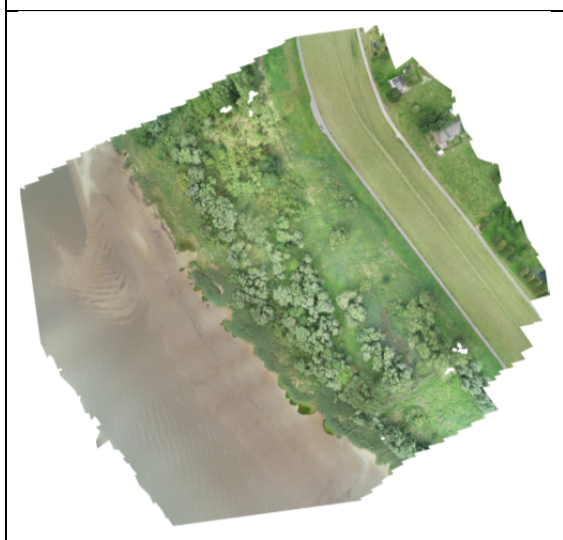


Abbildung 6: Orthomosaik Bielenberg, GCP

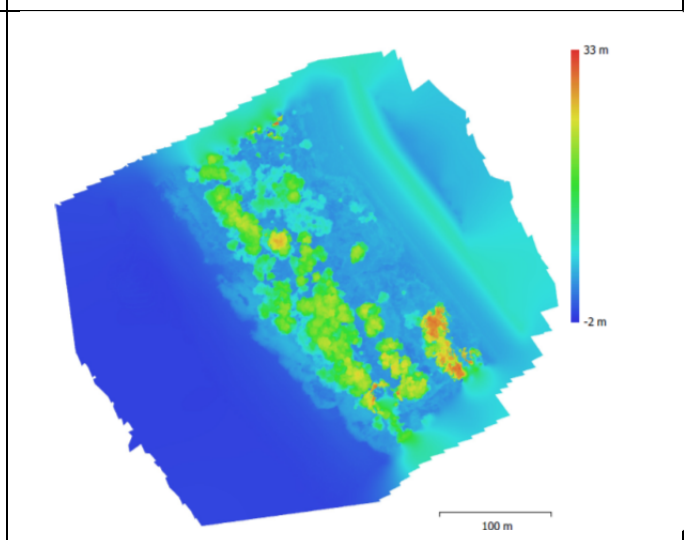


Abbildung 7: DOM Bielenberg

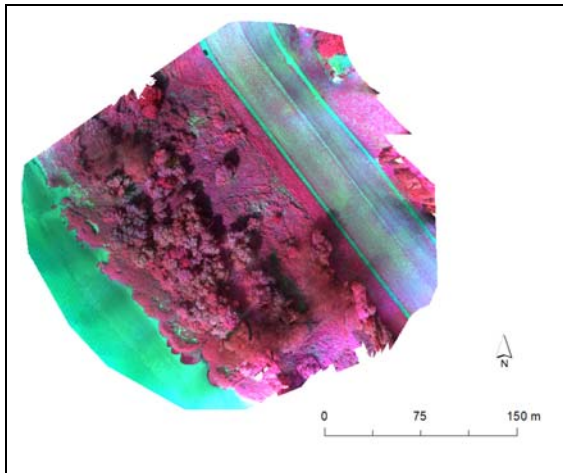


Abbildung 8: Multispektrales Orthomosaik Bielenberg

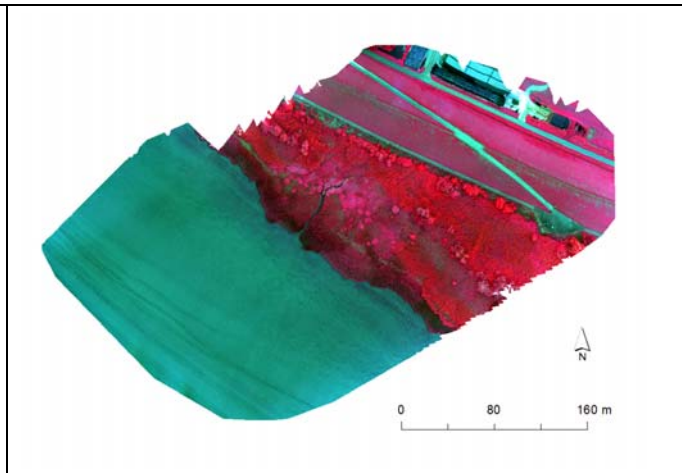


Abbildung 9: Multispektrales Orthomosaik Hollerwettern

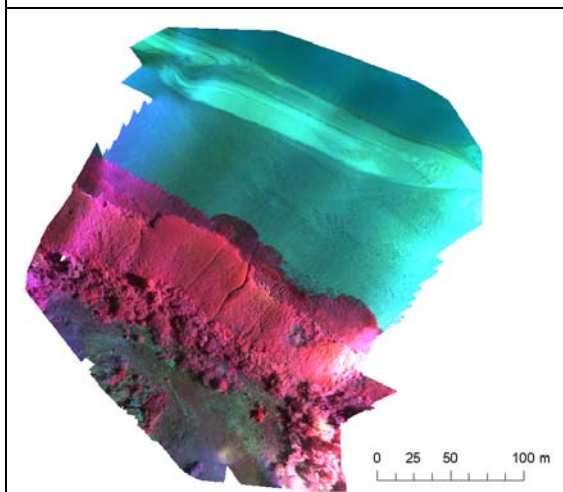


Abbildung 10: Multispektrales Orthomosaik Schwarztonnensand

1.2 Photogrammetrische Auswertung und Genauigkeit

Die drei Bildverbände der Farbluftbilder wurden mit der Software Metashape Vers. 1.5.3, der Firma Agisoft ausgewertet. Die multispektralen Daten wurden mit der Software Pix4Dmapper, Vers. 4.3.3. 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 (3.8 cm).

1.3 Ergebnisse digitale Oberflächenmodelle und Orthophotomosaik

Die aus den Befliegungsdaten gewonnenen digitalen Oberflächenmodelle waren Grundlage für die anschließende Orthobilderzeugung. Die Bodenauflösung der RGB-Mosaik betragen etwa 2 cm pro Pixel. Die Bodenauflösung der multispektralen Orthomosaik beträgt etwa 6 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 hereinzoomt. Als Ausgabeformate der Daten wurden *.tif-Dateien erzeugt.

Die Luftbilder stimmen mit den bisherigen Befliegungen der Jahre 2014 bis 2018 geometrisch hervorragend 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.

Im Endbericht vom BfG finanzierten 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 beiden letzten Datenerhebungen im August 2018 und März 2019 hat sich das Wattprofil nicht wesentlich verändert. Im Winter ist elbseitig geringfügig Sediment abgetragen worden, was dann wieder im Sommer dazu gekommen ist, so dass sich im Vergleich der beiden Sommeraufnahmen 2018 und 2019 kein wesentlicher Unterschied in der Wattoptographie zeigt, vgl. Abbildung 11 und Abbildung 12. Dadurch hat der Böschungsverlauf bzw. das Gefälle der Wattzone ein neues temporäres Gleichgewicht gefunden, was die Vegetationszonierung und die Breite der Vegetationszone beeinflussen könnte.
- An der Gewässerkante hat sich die Teichsimen-Strandsimen Zone innerhalb des letzten Jahres im Schnitt um 1 – 2 m zurückgezogen.
- Das Schilf ist in diesem Jahr in der Regel etwas höher, vielleicht bedingt durch bessere Wuchsbedingungen. Die Strandsimen sind in ihrer phänologischen Entwicklung weiter als im Vorjahr, d.h. brauner und somit in der Regel auch im Aufwuchs etwas weniger hoch.

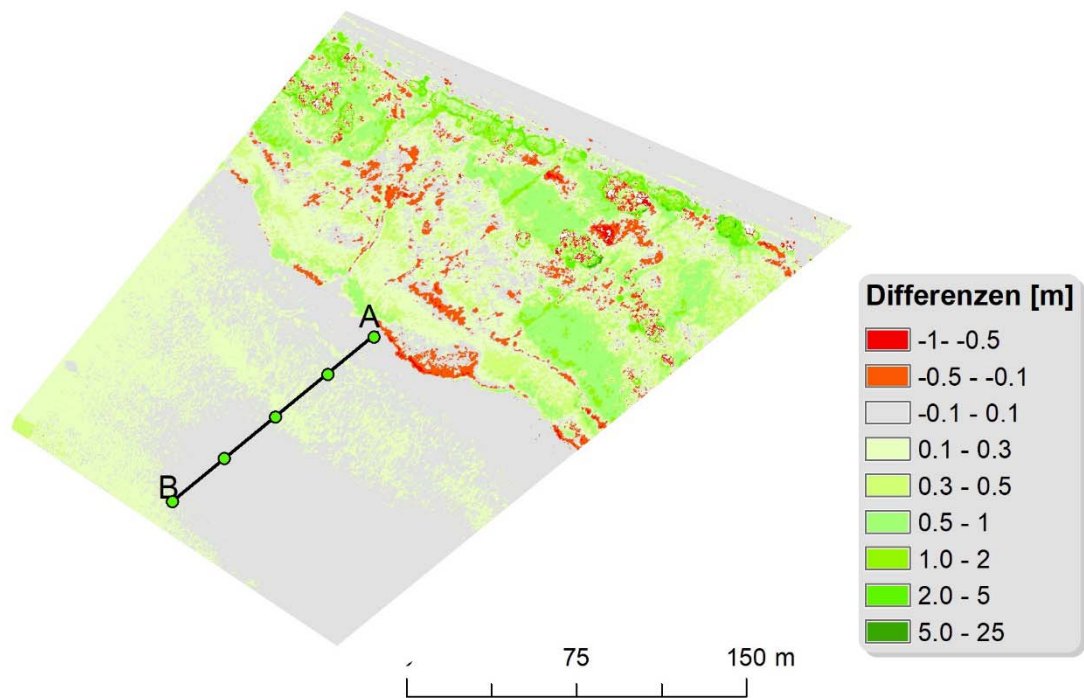


Abbildung 11: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 15.8.2018 und der aktuellen Befliegung vom 21.8.2019

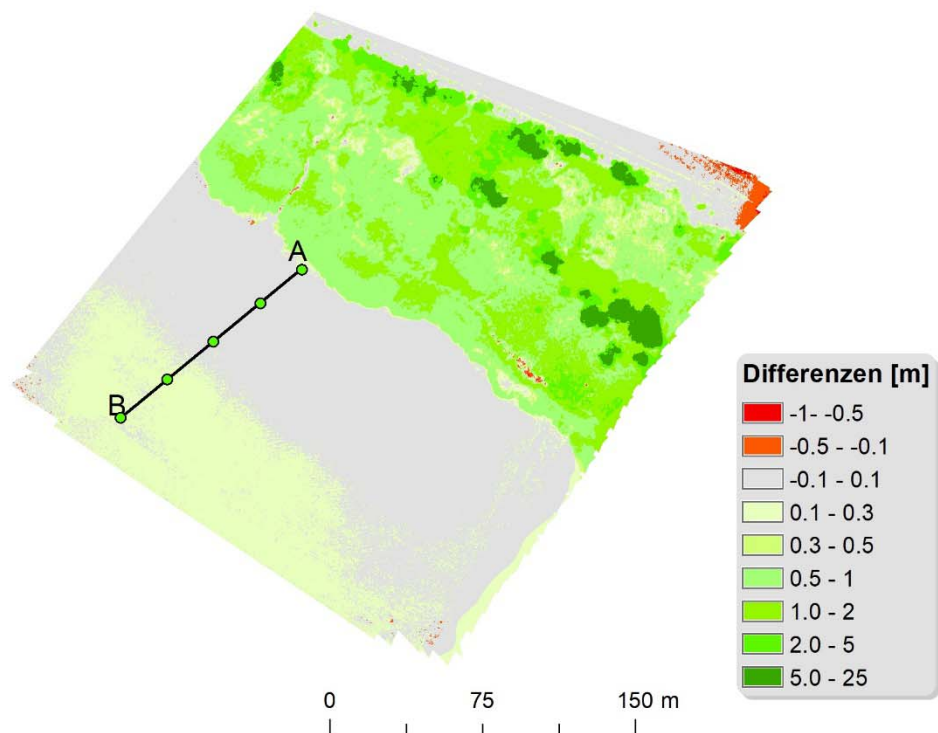


Abbildung 12: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 29.3.2019 und der aktuellen Befliegung vom 21.8.2019

Tabelle 2: Vergleich der Watttiefen [m ü. N.N] aller UAS Befliegungen (2014-2019) entlang des Profils in Hollerwettern

	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
29.03.2019	0.06	0.05	-0.02	-0.17	-0.32
21.08.2019	0.15	0.05	0.04	-0.04	-0.19

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 (Tabelle 3), ist zu beobachten, dass in Bielenberg das Ufer nach der Vegetationskante ganz geringfügig, d.h. ca. 5 - 10 cm tiefer liegt und das Watt zur Fahrrinne über die Jahre hin immer tiefer wird.
- An der Uferlinie sind geringe Rückgänge an den Sumpfsimsen zu erkennen, die in den vergangenen Jahren sehr stabil waren, vgl. Abbildung 16.
- Unterschiede in der Vegetationshöhe sind im Wesentlichen lokale Effekte, wie z.B. niedergedrücktes Schilf oder auch Unterschiede in den Bäumen zurückzuführen.



Abbildung 13a: Schilf / Sumpfsimsen / Ufer- Grenze 15.8.2018



Abbildung 14b: Schilf / Sumpfsimsen / Ufer- Grenze 21.8.2019

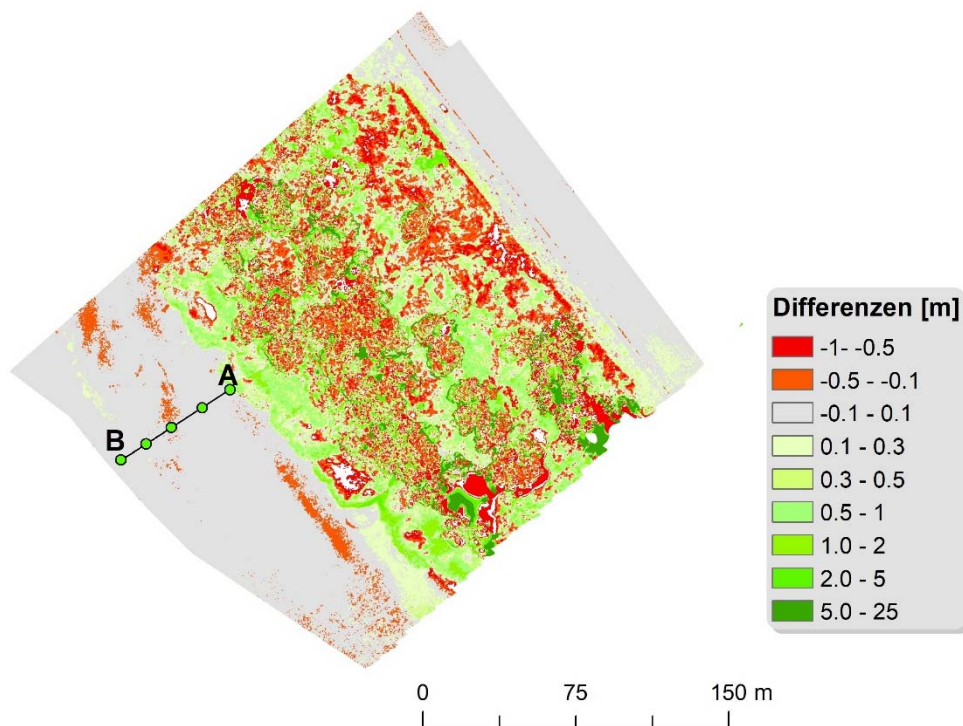


Abbildung 15: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 4.8.2018 und der aktuellen Befliegung vom 21.8.2019

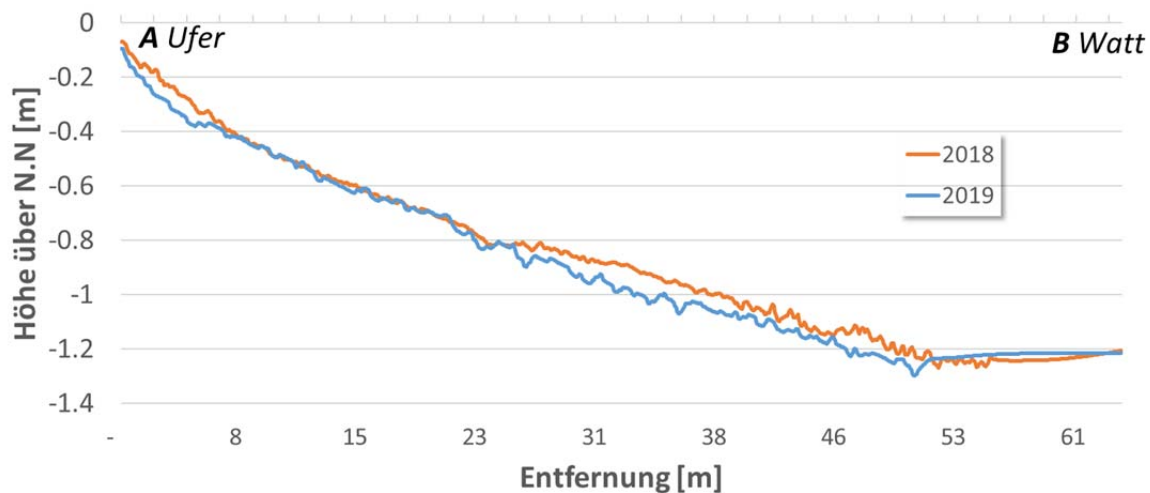


Abbildung 16: Vergleich der Profilverläufe der Wattflächen vom 21.8.2019 und 15.8.2018 am Standort Bielenberg (etwa 60 m Breite) vom Ufer (links) bis zur maximal auswertbaren Tiefe von -1,2 m (rechts)

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
21.08.2019	-0.11	-0.47	-0.83	-1.06	-1.26

2.3 Schwarztonnensand

- Im Vergleich zur Befliegung vom Juni 2018 ist auf den auswertbaren Wattflächen bis -0.3 m geringe Veränderungen von 10-15 cm zu beobachten, vgl. Abbildung 17, Abbildung 18 und Tabelle 4. Da in 2018 nicht bei Niedrigwasser geflogen wurde, bildet der direkte Vergleich zu 2019 nur einen kleinen Teil der Veränderungen ab.
- Wenn man die Daten zu 2017 bzw. den davorliegenden Jahren vergleicht, wird das Ausmaß der insgesamt großen Veränderungen der Wathöhe deutlich, vgl. Abbildung 19. Ursache ist eine sich nach Süden hin rasch voranschreitende Sandbank mit einer Breite von ca. 20 m.
- Die Strandsimse breitet sich teilweise in der Teichsimsenzzone weiter aus.
- Der Schilfgürtel verbreitet sich um wenige Meter.
- Die Vegetationshöhe des Schilfs ist aufgrund der mehr oder weniger normalen Witterung 2019 und fehlenden Hochwasserereignisse höher als im Extremjahr 2018, d.h. im Jahr davor, so dass im Vergleich zum digitalen Oberflächenmodell des Jahres 2018 grüne Farben dominieren, Abbildung 17.

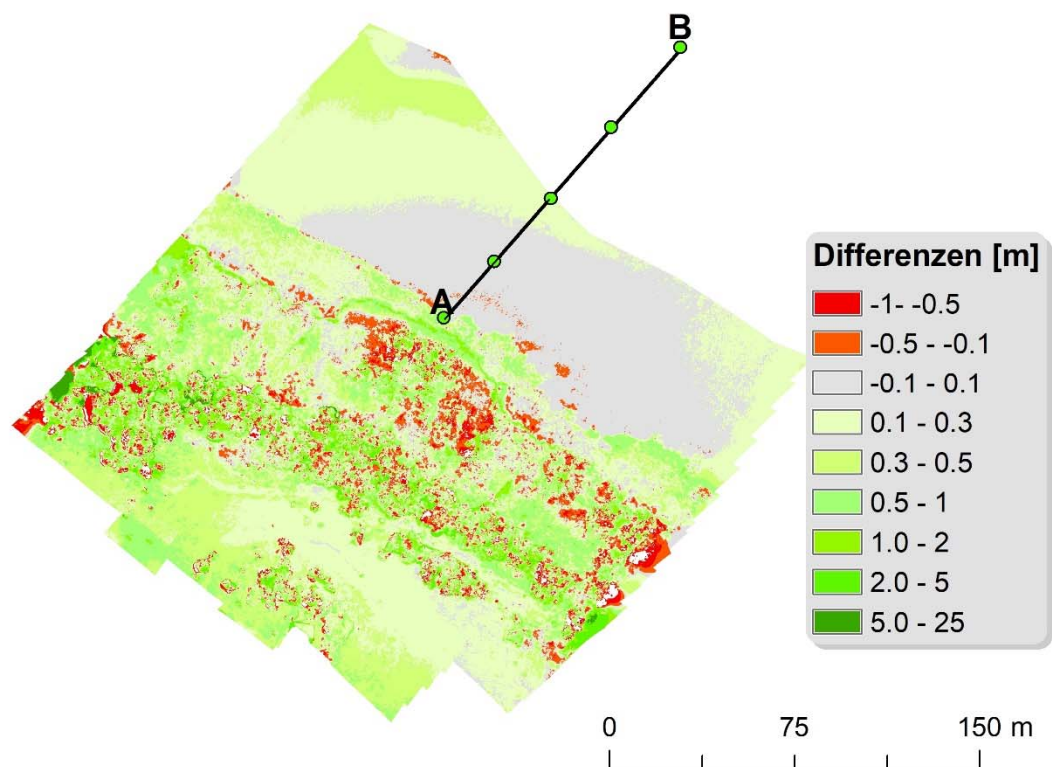


Abbildung 17: Höhendifferenz der digitalen Oberflächenmodelle zwischen UAS Flug vom 16.8.2018 und der aktuellen Befliegung vom 14.8.2019

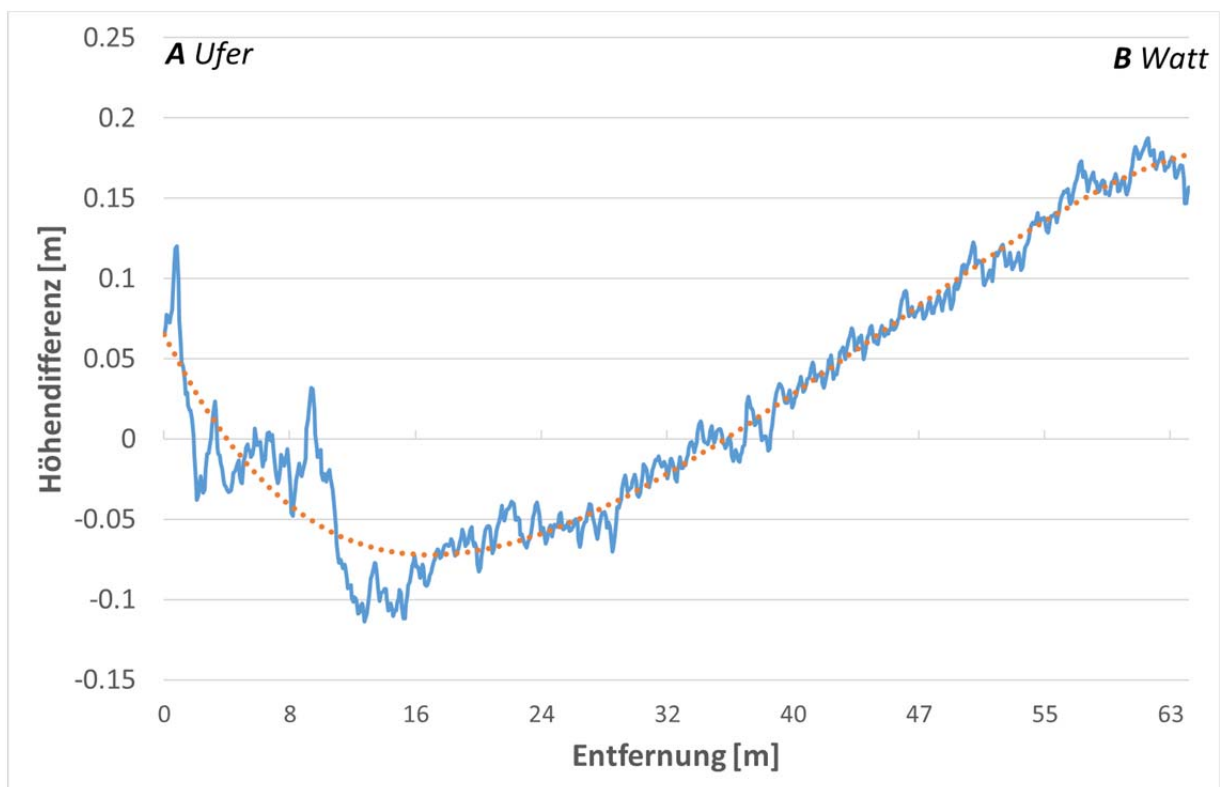


Abbildung 18: Veränderung des Profils der Wattflächen vom 14.8.2019 im Vergleich zur Befliegung vom 16.8.2018 am Standort Schwarztonnensand (etwa 65 m Breite) vom Ufer (links) bis zur maximal auswertbaren Tiefe von -0.33 m (rechts), (blau = Messwerte, orange = geglättete Funktion)

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

	A				B
02.07.2015	0.09	-0.29	-0.55	-0.82	-1.02
03.08.2016	0.17	-0.20	-0.48	-0.70	-0.98
09.08.2017	0.21	-0.20	-0.48	-0.61	-0.96
16.08.2018	0.30	-0.08	-0.32	-	-
14.08.2019	0.54	-0.09	-0.16	-0.69	-

Um die Veränderungen der Watttopographie durch die sich weiter nach Süden voranschiebende Sandbank zu verdeutlichen, sind in der nachfolgenden Darstellung in einem Querprofil die Jahre 2017 und 2019 gegenübergestellt, Abbildung 19 und Abbildung 20. Wie anhand der Schrägaufnahme zu sehen ist, schlickt der Bereich zwischen der Sandbank und dem Ufer von Norden her auf. Dieser Prozess wird sich in den kommenden Jahren – einen entsprechenden Sandnachschub vorausgesetzt – wahrscheinlich fortsetzen.

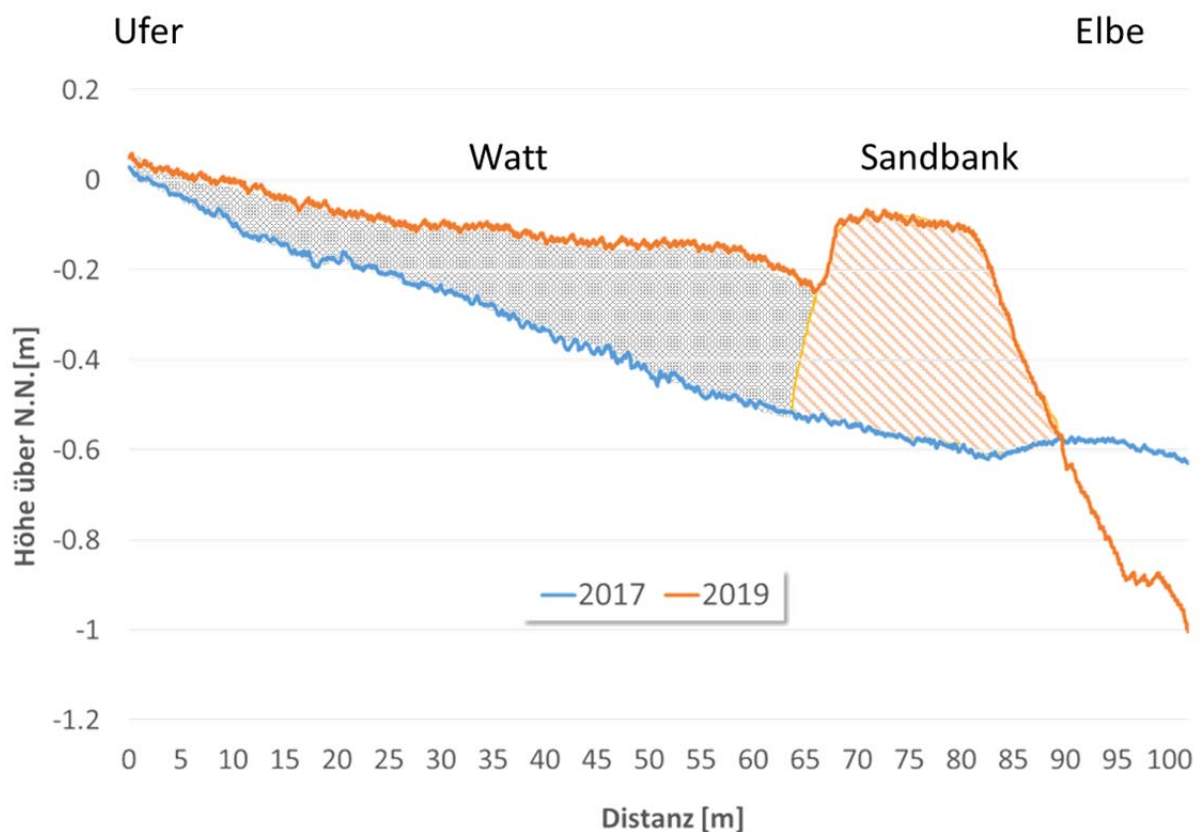


Abbildung 19: Veränderungen der Watttopographie am Standort Schwarztonnensand im Zeitraum 2017- 2019 am Beispiel eines Querschnitts in Höhe der Profillinie aus Abb. 16.



Abbildung 20: Vorgelagerte Sandbank in Schwarztonnensand, Aufnahme 14.8.2019

Wie bereits erwähnt, haben sich die Vegetationsgrenzen der Dominanzarten in den letzten 5 Jahren verändert, vgl. Abbildung 21. Wie zu erkennen ist, breitet sich die Schilfzone über die gesamte Breite mit 1 – 2 m pro Jahr in Richtung Ufer aus. Gleiches gilt für die Ufergrenze, auch diese verschiebt sich in der Regel ein wenig in Richtung Elbe.

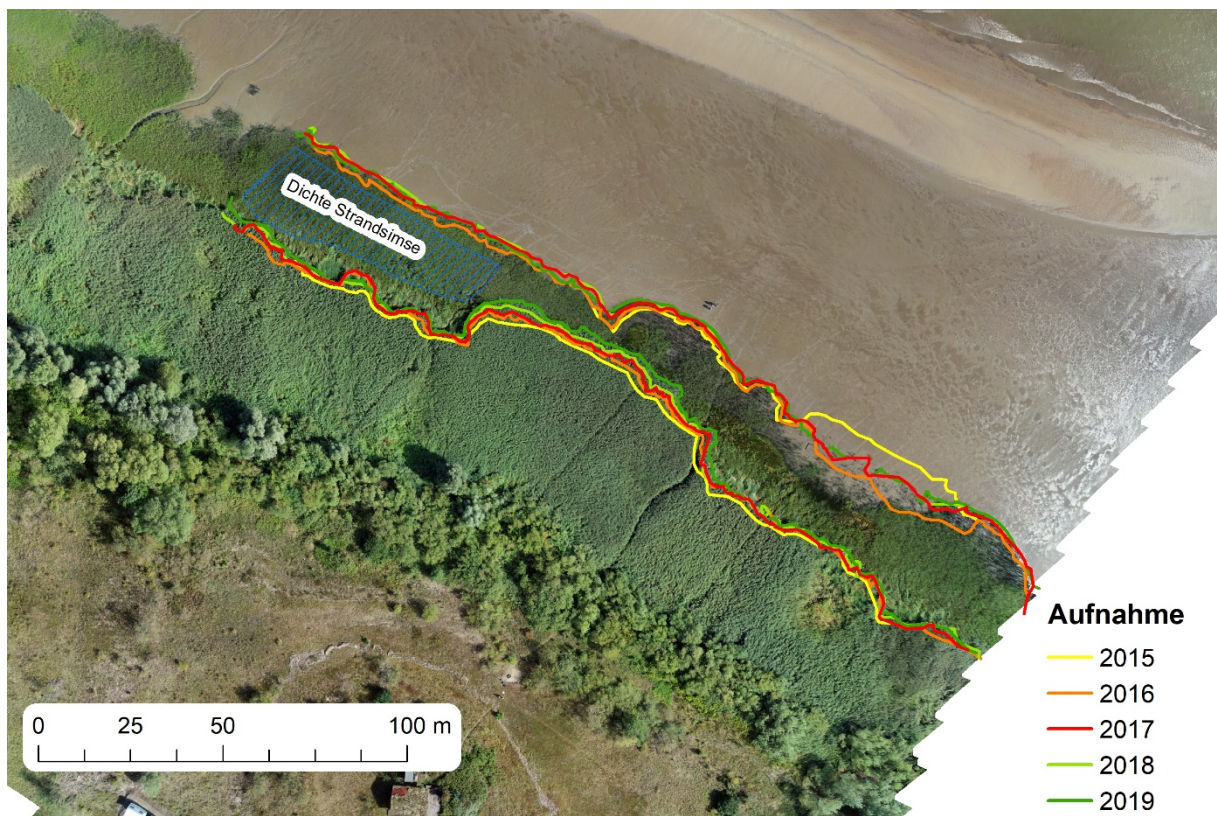


Abbildung 21: Veränderungen der Vegetationsgrenze (Simsen) zum Watt sowie Veränderung der Grenze Simsen-Schilf am Standort Schwarztonnensand im Zeitraum 2015 – 2019

Ebenfalls interessant ist die Tatsache, dass die in Abbildung 21 markierte dichte Strandsimsezone in 2015 und 2016 bei weitem noch nicht so dicht bestanden war und den Lebens-

raum mit den Teichsimsen geteilt hat, wie der nachfolgende Vergleich zeigt, Abbildung 22. In wie weit sich dies auf die fortschreitende Sandbank und die damit verbundenen hydrodynamischen Veränderungen zurückzuführen ist, werden die kommenden Jahre zeigen.



Abbildung 22a: Strandsimsenzone 2015 (Aufnahme 3.7.2015)

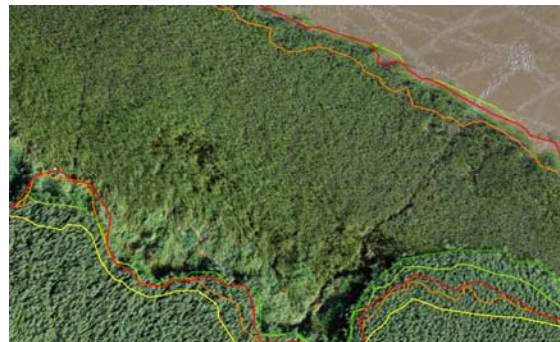


Abbildung 23b: Strandsimsenzone 2019 (Aufnahme 14.8.2019)

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, Rohr-Glanzgras 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 Orthomosaike vollständig zu beschreiben.

Abbildung 24 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 25. 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 26.

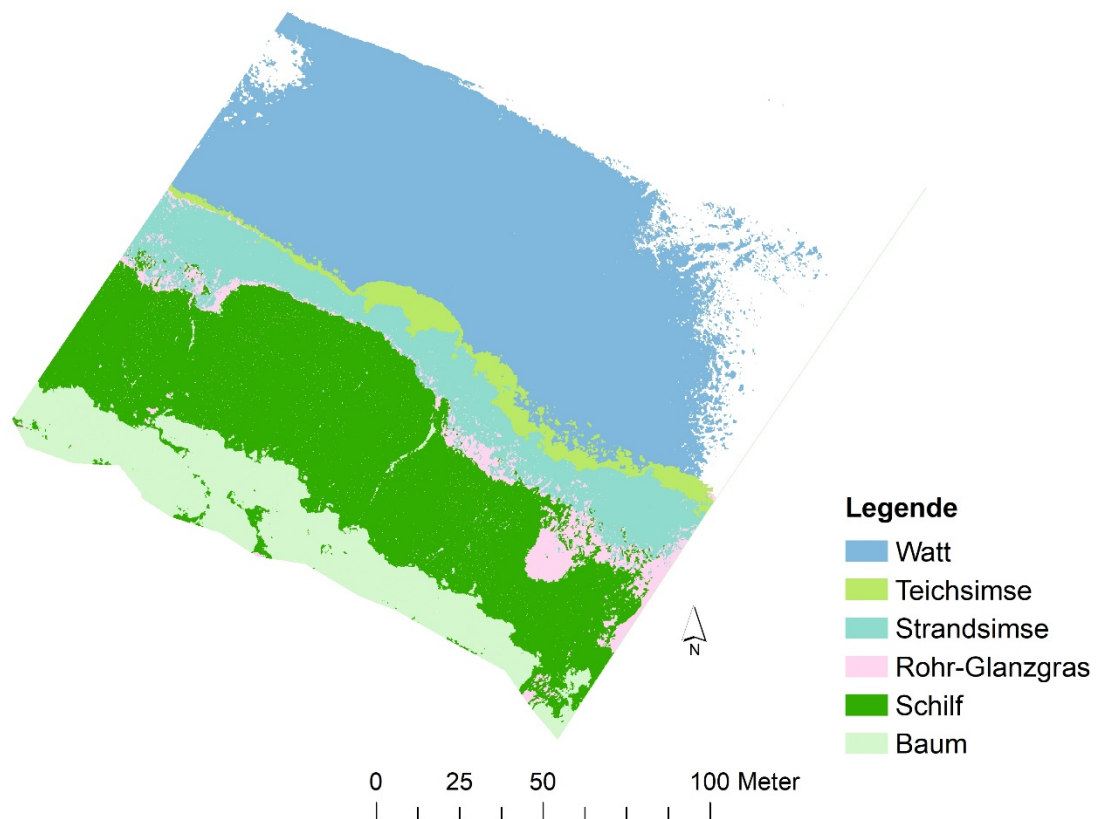


Abbildung 24: Multisensorale Klassifikation der Landnutzung / Dominanzarten am Standort Schwarztunnensand, auf der Grundlage von RGB-, Multispektral und Höhendaten, Erfassungsdatum 21.8.2019

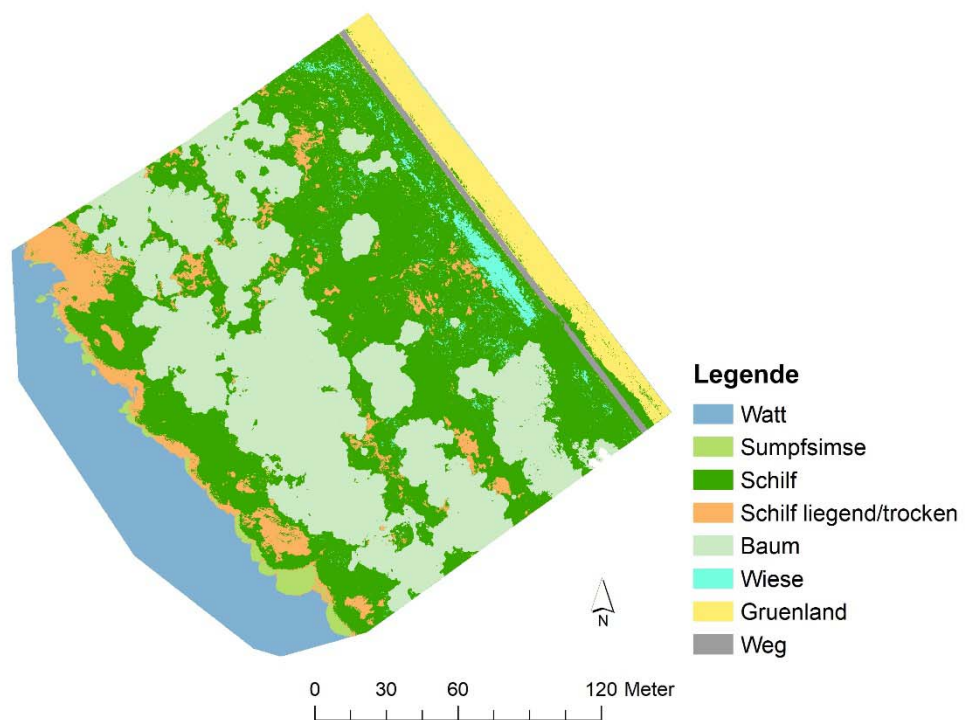


Abbildung 25: Multisensorale Klassifikation der Landnutzung / Dominanzarten am Standort Bielenberg, auf der Grundlage von RGB-, Multispektral und Höhendaten, Erfassungsdatum 14.8.2019

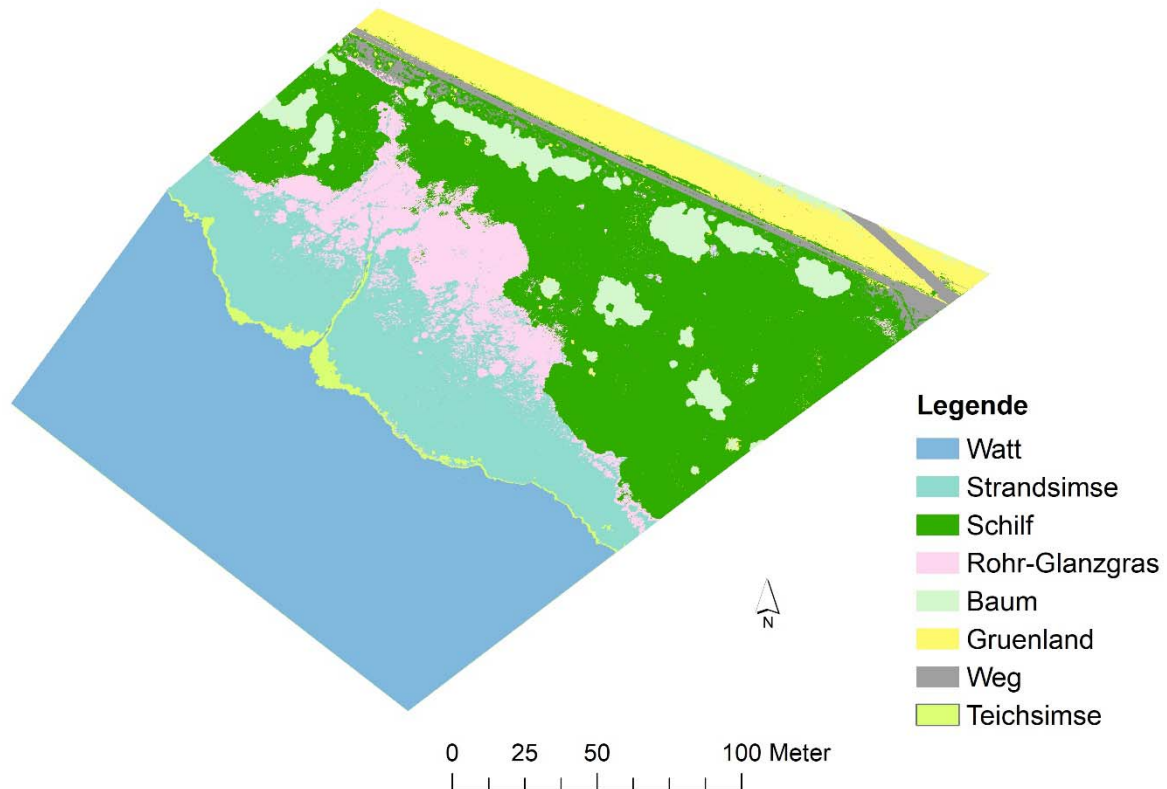


Abbildung 26: Multisensorale Klassifikation der Landnutzung / Dominanzarten am Standort Hollerwettern, auf der Grundlage von RGB-, Multispektral und Höhendaten, Erfassungsdatum 21.8.2019

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

3 Fazit der UAS-Befliegungen 2019 zum Makrophytenmonitoring

Im letzten Jahr haben sich die Vegetationsgrenzen zum Wasser hin und die Vorkommen der Dominanzarten an den drei untersuchten Standorten recht unterschiedlich entwickelt. In Hollerwettern ist die Vegetation zum ersten Mal um 1-2 m wieder in Richtung Ufer zurückgegangen. Ähnliches ist in Bielenberg zu beobachten. Dort sind die Sumpfsimsen um 1-2 m nach mehreren stabilen Jahren zurückgegangen. Das Schilf breitet sich zum Teil Richtung Watt aus. In Schwarztonnensand sind seit 2015 kleinere Veränderungen von einigen Metern an der Vegetationsgrenze zu beobachten. Teichsimsen breiten weiter in Richtung Elbe aus. Die Grenze zu den Strandsimsen ist durchlässig und an manchen Orten bilden sich Mischbestände. Die Grenzen zwischen Strandsimsen und Schilf wandert Richtung Watt. Der Anteil des Schilfs nimmt zu.

Während das Gefälle und die Höhenverläufe der vorgelagerten Wattflächen über einige Jahre recht konstant geblieben sind, hat sich im Verlauf des letzten Jahres in dem Untersuchungsgebiet eine ca. 20 m breite Sandbank in einer Entfernung von 50 - 80 m vor die Vegetationsgrenze geschoben. Ob und in wieweit 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 schwer vorhersehbare oft jährliche Dynamik auf.

Rostock, den 27. September 2019

Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer