



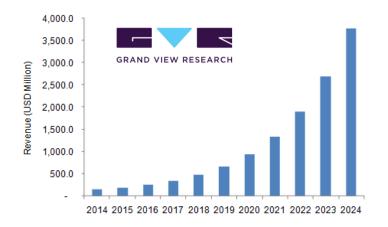




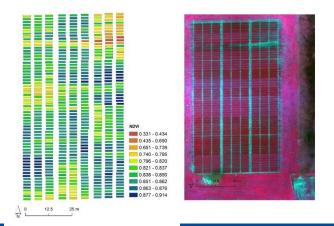


- Motivation warum MS-Sensoren für UAS ?
- Multispektrale Sensoren und Herausforderungen
  - BRDF
  - Vorteile multispektraler Sensoren gegenüber RGB-Kameras
- Beispiele
  - Landschaftsökologie
    - Elbästuar
  - Landwirtschaft
    - Feldversuchswesen
    - Precision Farming differenzierte Rapsdüngung
- Zusammenfassung und Ausblick



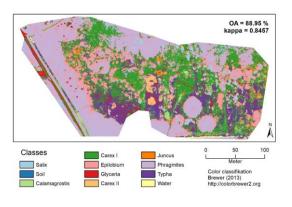


Globale Wertschöpfung von Drohnen in der Landwirtschaft, 2014 - 2024 (USD Million)



#### Großer Bedarf an spektraler Daten für:

- Precision Farming
- Feldversuchswesen
- Forstwirtschaft
- (Landschafts)Ökologie
- Ground Truth
   Satellitenfernerkundung
- ...



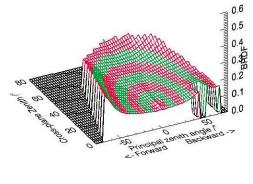
#### Universität Rostock Traditio et Innovatio Beobachter

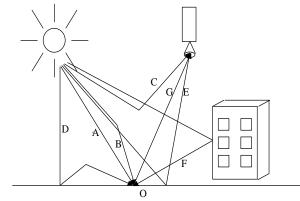
### Herausforderungen -Radiometrie

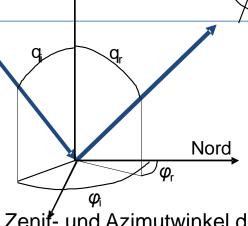
**BRDF**  $\rho(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r) = \frac{L(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r)}{E(\theta_i, \varphi_i)}$ 

 $L(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r)$  $E(\theta_i, \phi_i)$ 

Reflektierte Radianz/ Irradiance





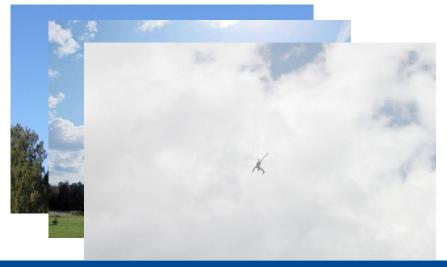


Zenit- und Azimutwinkel des  $\theta_i, \phi_i$ 

Licht-

quelle

- einkommenden Lichts
- $\theta_r, \phi_r$ Zenit- und Azimutwinkel des reflektierten Lichts





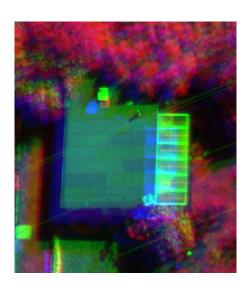
### Anforderungen an einen MS-Sensor

Anforderungen	Technische Umsetzung			
All-Wetter Tauglichkeit für Flüge	Sonnenschein (=Irradiance)Sensor			
unter den Wolken				
Reflektanzen – keine Grauwerte	Spektrale Kalibration, Referenzpanel und Sonnenschein (=Irradiance)Sensor			
Kompensation der Richtungs- und	GPS/IMU für spektrale Kalibration			
Winkelabhängigkeit der				
Rückstrahlung				
Eindeutige spektrale Bänder	mehrere Arrays mit Bandfiltern			
Stabile <b>Geometrie</b>	- CCD-Sensoren mit Global Shutter			
(Photogrammetrie)	- Mehrkamerasysteme mit			
	individuellen Optiken und bekannter			
	relativer Orientierung			
Leichtgewichtig	Gewicht von 70 – 200 g			
Effiziente <b>Datenprozessierung</b>	Photogrammetrische Software mit			
	Spezialmodul (Pix4D, Agisoft)			



## Multispektrale Sensoren – Mehrere Optiken





Überlagerung einzelner Bänder



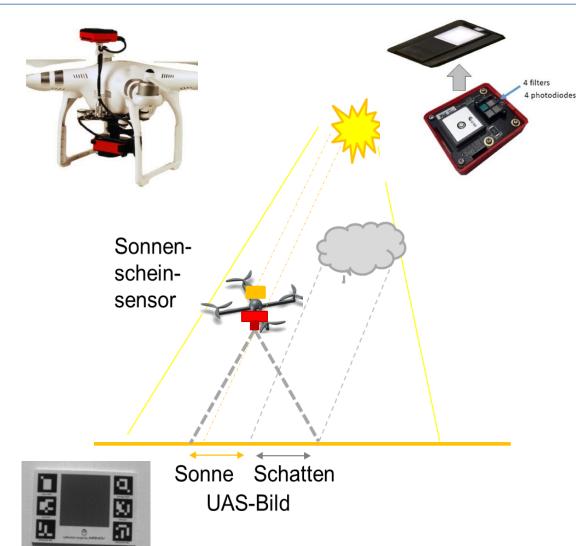




Koregistrierte Bänder



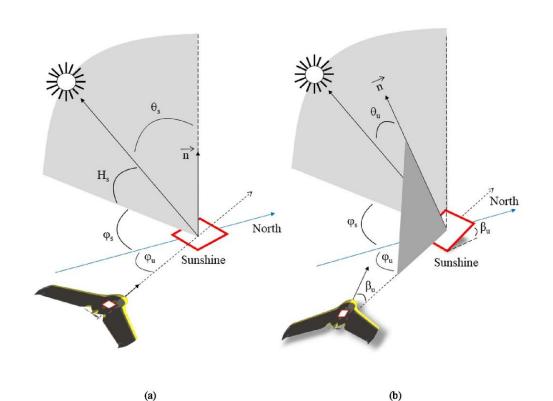
# Parallele Messung der einkommenden und reflektierten Strahlung



- Parrot Sequoia Sensor
- G, R, NIR, Red Edge mit1.2 Mpix.
- Parallele Messung des einkommenden Lichts
- Korrektur der Fluglage
- In Situ Kalibratiom mit Referenzpanel
- Korrektur Vignettierung
- Automatische Ableitung der Reflektanzen
- Löst nicht alle BRDF-Probleme



### Winkelabhängigkeit der Reflektanz in. Abh. der Fluglage - Theorie



- Die Reflektanz variiert mit dem Verhältnis  $\frac{\cos\Theta_s}{\cos\Theta_{s\,c}}$  des Zenitwinkels.
- Generell ist eine so genannte "Cosinus Korrektur" erforderlich, die die Inklination des Sonnenscheinsensors gegenüber der Erde berücksichtigt

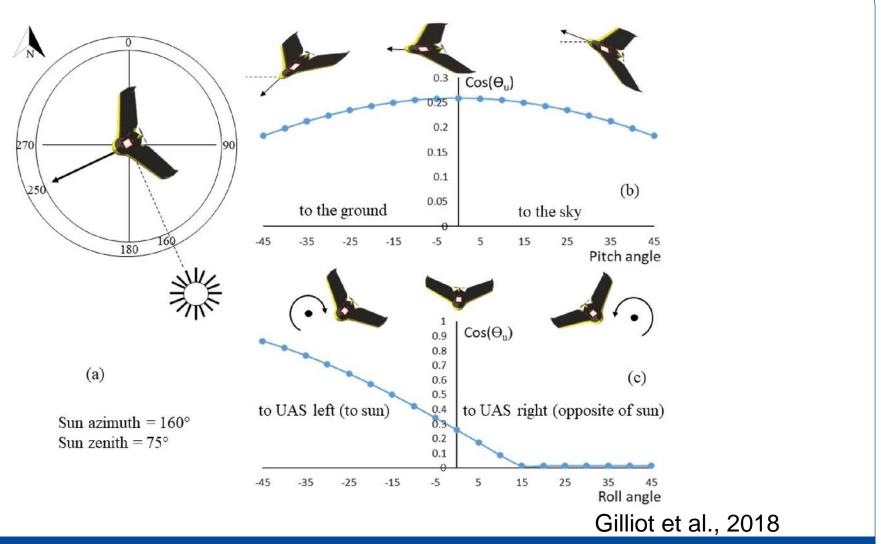
$$cos(\Theta_u) = cos(\beta_u) * cos(\Theta_s) + sin(\beta_u) * sin(\Theta_s) * cos(\varphi_s - \varphi_u)$$

(b)

$$\cos(\Theta_u) = \frac{\cos(\Theta_u Pitch) + \cos(\Theta_u Roll)}{2}$$



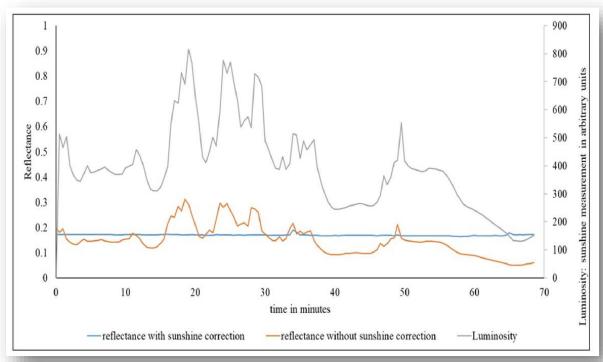
# Variation der Cosinuskorrektur in Abh. der Pitch- (b) und Rollwinkel (c) für eine Sonnenposition (a).





# Variation der Einstrahlung / KompenTraditio et Innovatio sation durch Sonnenscheinsensor





- Drohnenflug unter wechselnden Beleuchtungsbe dingungen
- Einstrahlung und unkorrigierte Reflektanz variieren stark
- Reflektanz unter Berücksichtung der Reflektanz nahezu konstant

Gilliot et al., 2018

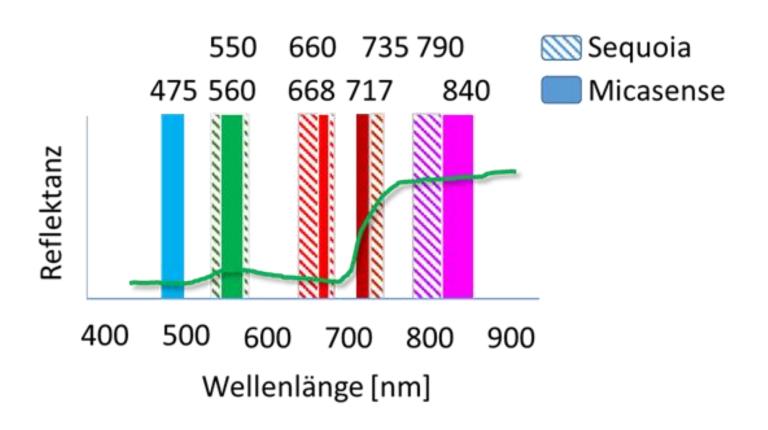


# Technische Daten marktgängiger multispektraler Kameras

Kamerasystem	Parrot Sequoia	MicaSense (Rededge-M)		
Sensoren	Grün – Rot – Red	Blau – Grün – Rot –		
	Edge – NIR	Red Edge – NIR		
Spektralbereich	530 – 810 nm	400nm – 900nm		
Sensorauflösung	1280 x 960 (4x)	1280 x 960 (5x)		
Pixelgröße	3.75 µm, RGB Sensor	3.75 µm		
	4608 x 3456 pixel			
Bildwiederholfrequenz	2 Hz / 1 Hz (RGB)	1 Hz		
Brennweite	3.98 mm / 4.9 mm (RGB)	5.4 mm		
Betriebstemperatur	-10 °C bis +45 °C	0 bis 40 °C		
Field of View (FOV)	89.6° (MS) / 73.5°	47°		
	(RGB)			
Maße	59 x 41 x 30 mm	121x 66 x 46 mm		
Gewicht	ca. 107 g	ca. 232 g		
Bild-Format	10 bit RAW	12-bit RAW		
Preis	ca. 3900 €	ca. 5.000 €		



# Spektrale Eingeschaften MicaSense vs. Sequoia

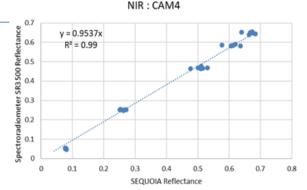


Die Spektralbänder der MicaSense sind schmaler



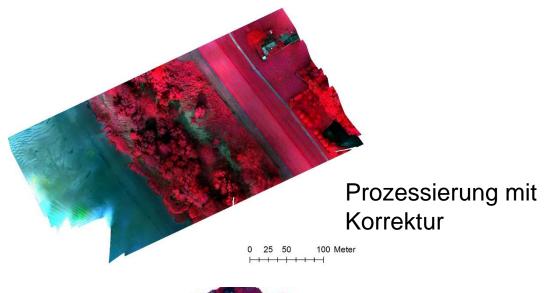
#### Genauigkeit MS-Sensoren?

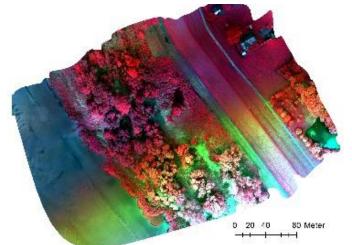
- Genauigkeit / Zuverlässigkeit / Wiederholbarkeit ?
- Messmethoden / Versuche:
  - Vergleich mit Spektrometern
  - Vergleich mit anderen Sensoren (RGB)
  - Temporaler Vergleich über spektral bekannten Flächen
  - Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren im radiometrischen Workflow
  - ...
- Ergebnisse
  - MS-Sensoren in der Regel sehr genau und zuverlässig (± 0.03 NDVI)
- Größte Fehlerquellen
  - Alterung / Veränderung Referenzpanel
  - Wechselnde Bewölkung während des Bildflugs
  - Sehr niedriger Sonnenstand (Winter)
  - Überstrahlungen von sehr hellen Objekten









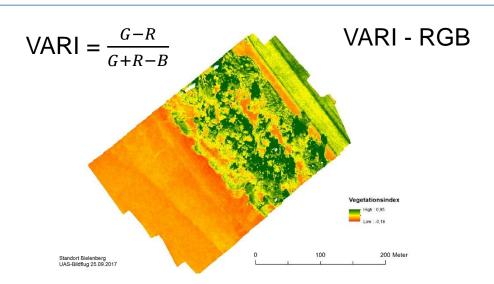


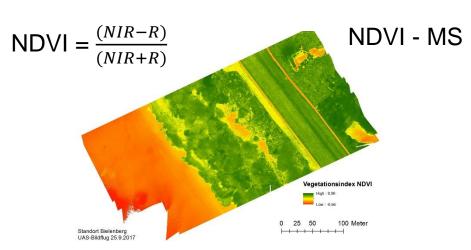
Prozessierung ohne Korrektur

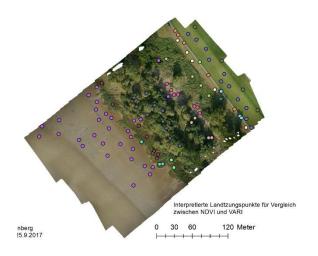
- Bildflug unter sehr stark wechselnden Einstrahlungsbedingungen
- Sonnenscheinsensor funktioniert in der Praxis sehr gut
- Probleme
  - Wechselnde Schatten
  - Bei sehr niedrigem Sonnenstand (Winter)



# Vergleich von Vegetationsindices von RGB vs. MS-Kamera



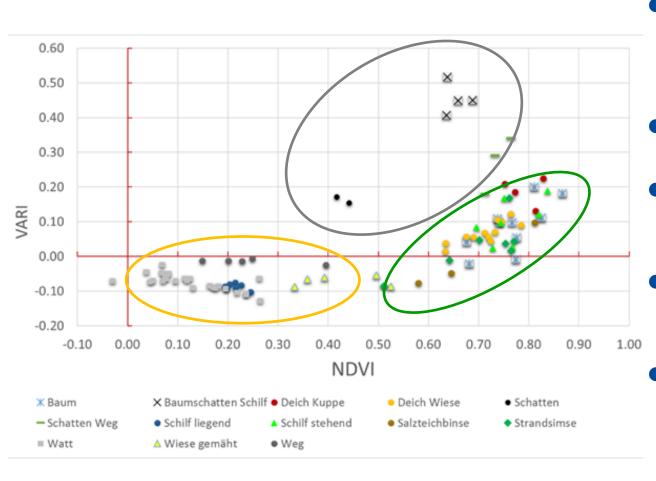




- Parallele Befliegung RGB und MS
- Berechnung VARI Index für RGB-Aufnahme
- Berechnung NDVI aus MS-Aufnahme
- Vergleich der Werte für verschiedene Landbedeckungsklassen



# Vergleich von Vegetationsindices von RGB vs. MS-Kamera



- Annahme: lineare Beziehung zwischen VARI und NDVI
- Annahme trifft nicht zu
- VARI Index zeigt im Vgl. zu NDVI geringe Spreizung
- VARI problematisch bei Schatten, Watt etc.
- Wiese, Schilf, Strandsimse und andere Vegetation korrelieren





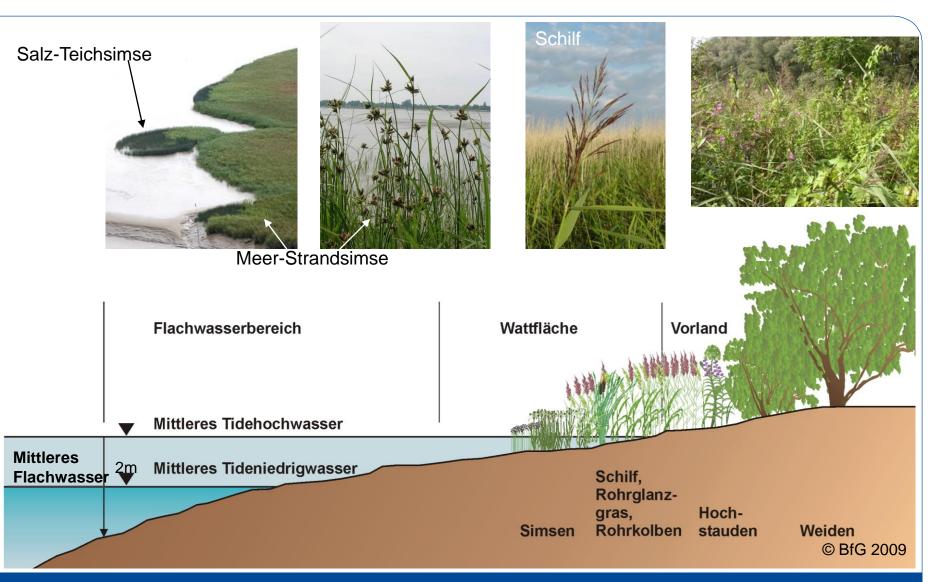
## Pflanzen und Habitate im Elbästuar – wichtiger Baustein für den Küstenschutz







### Generelle Zonierung tidebeeinflusster Ufer









# Fernerkundliche Herausforderungen

- Das Ökosystem ist schmal (100 500 m) und langgestreckt
- Datenerfassung nur bei Niedrigwasser
- Häufig bewölkt und windig
- Erwartung: Detaillierte und Quantitative Aussagen zu Pflanzengesellschaften und einzelnen Parametern (Höhe, Biomasse, Stängeldichte, Vitalität ...)
- D.h. Satellitenfernerkundung fällt aus



UAS-Fernerkundung interessante Alternative



- Ziele:
  - Aufbau eines multisensoralen Datensatzes (RGB, NIR, TIR, DOM ..)
  - Test PLSR-Verfahren zur Quantifizierung von Vegetationsparametern
  - Multitemporale Vergleiche
  - Terrestrischer Laserscanner zur 3D-Vegetationsanalyse





#### Untersuchungsstandorte



#### Multisensorale Drohne



- senseFly eBee+
- ca. 45 min Flugdauer , inkl. RTK
- Sensorik / Kameras
- senseFly S.O.D.A.
- Parrot Sequoia
- senseFly ThermoMap







https://www.sensefly.com



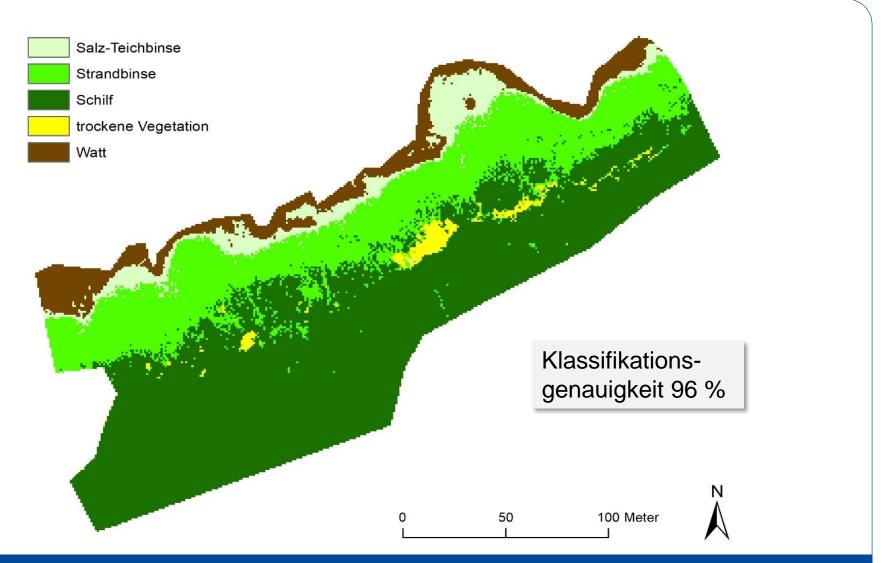
# UAV Befliegungen und Workflow der Datenanalyse

- 1. Georeferenzierung
- 2. Ableitung True-Orthophoto, DOM, 3D-Punktwolke (RGB, Multispektral und Thermal)
- 3. Pansharpening der MS-Daten
- 4. DOM & DGM → Vegetationshöhe
- 5. Korrelation zu Ground Truth Daten
- 6. PLSR zur Vorhersage Vegetationsparameter in die Fläche
- 7. MS-Klassifikation Dominanzarten
- 8. Visualisierung Vegetationsrauhigkeit
- 9. Berechnung Überschwemmungsdauer

Preprozessing FE-Datenanalyse



# Multispektralklassifikation – Random Forest







# Statistische Auswertung im Feld gemessene Parameter

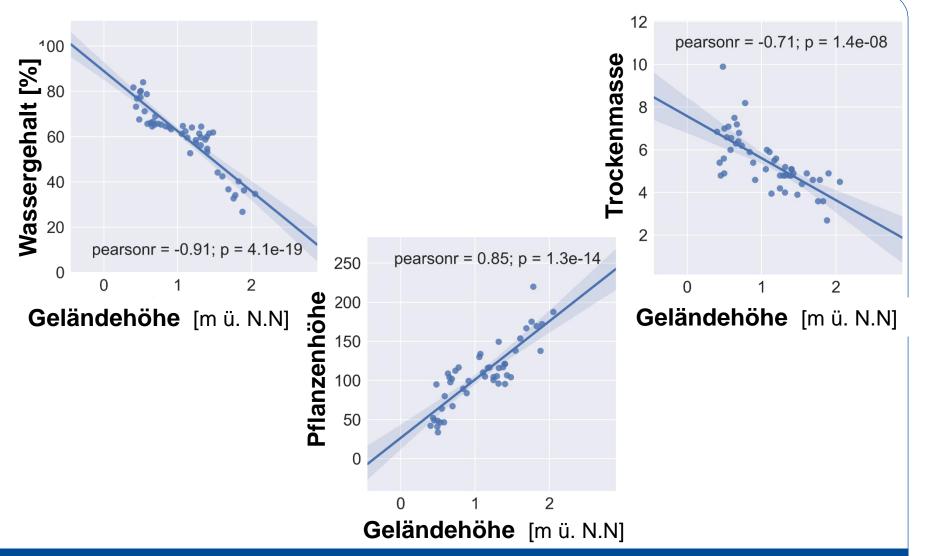
- Anzahl Pflanzen [pro 0.16m²]
- Pflanzenhöhe (Gelände & Labor)
- Stängeldurchmesser (Gelände & Labor)
- Feucht- und Trockenmasse + Wassergehalt
- PAR
- Geländehöhe (orthometrische Höhe)
- ...







# Statistische Auswertung der Geländeparameter für Balje





# Partial Least Square Regression für Balje

PLSR auf Basis von:	Multispektraler Datensatz*		Multisensoraler Datensatz**		Differenz	
Parameter	R <sup>2</sup> cal	RMSE cal	R <sup>2</sup> cal	RMSE cal	R <sup>2</sup> cal	RMSE cal
Anzahl Stängel	0.3	12.83	0.25	13.2	-0.05	+0.37
mittl. Durchmesser	0.13	1.2	0.36	1.03	0.23	-0.17
mittl. Feuchtmasse	0.34	2.64	0.38	2.57	0.04	-0.07
mittl. Pflanzenhöhe	0.66	23.9	0.88	14.31	0.22	-9.59
mittl. Trockenmasse	0.43	1.68	0.65	1.32	0.22	-0.36
Stängeldurchmesser	0.09	1.55	0.12	1.52	0.03	-0.03
Höhe Gelände	0.71	28.61	0.87	19.45	0.16	-9.16
Orthometr. Höhe	0.4	0.36	0.86	0.18	0.46	-0.18
PAR aussortiert	0.09	3.96	0.21	3.7	0.12	-0.26
PAR alle Werte	0.78	12.68	0.87	9.71	0.09	-2.97

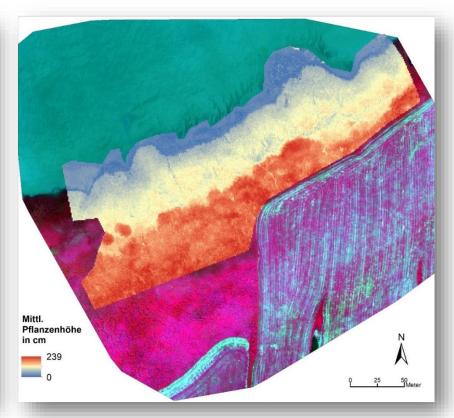


# Partial Least Square Regression für Balje

#### PAR in %

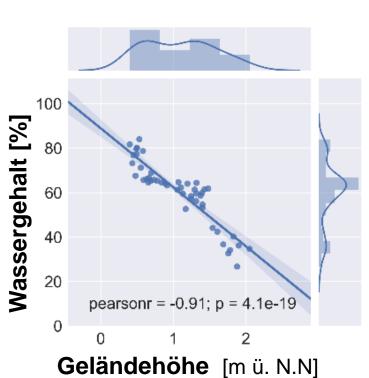
# Photosysthetisch aktive Strahlung (PAR in %)

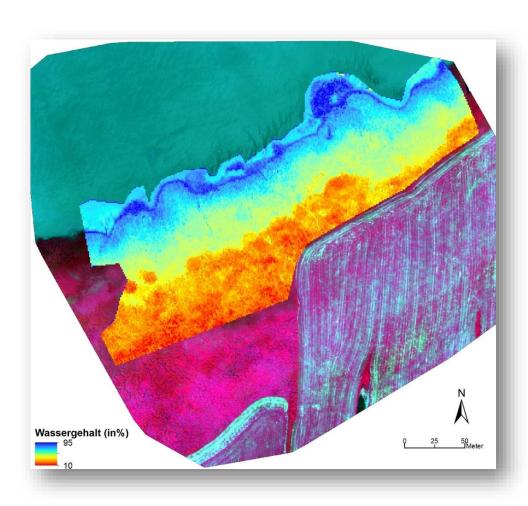
#### Mittlere Pflanzenhöhe in cm





## PLSR + Lineare Regression für Balje - Wassergehalt





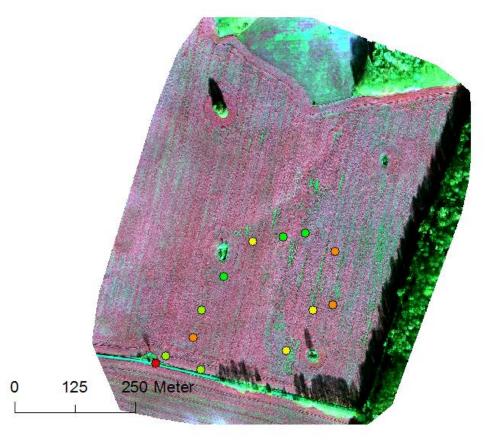


#### Fazit UAS-Datenauswertung Elbe

- Abgeleitete Karten aus Fernerkundungsdaten:
  - Direkt (PLSR):
    - Geländehöhe
    - Pflanzenhöhe
    - Trockenmasse pro Pflanze
    - PAR
  - Indirekt (PLSR + Lineare Regression):
    - Wassergehalt
    - Trockenmasse pro Pflanze
    - Stängeldicke
- Geländehöhe korreliert gut mit Parametern
  - Pflanzenhöhe, Stängeldurchmesser, Wassergehalt, Trockenmasse
- Multisensorale UAS-Fernerkundung liefert quantitative Daten
- UAS-Fernerkundung gut geeignet um phänologische Veränderungen sowohl innerhalb einer Vegetationsperiode und langfristige Trends zu beobachten

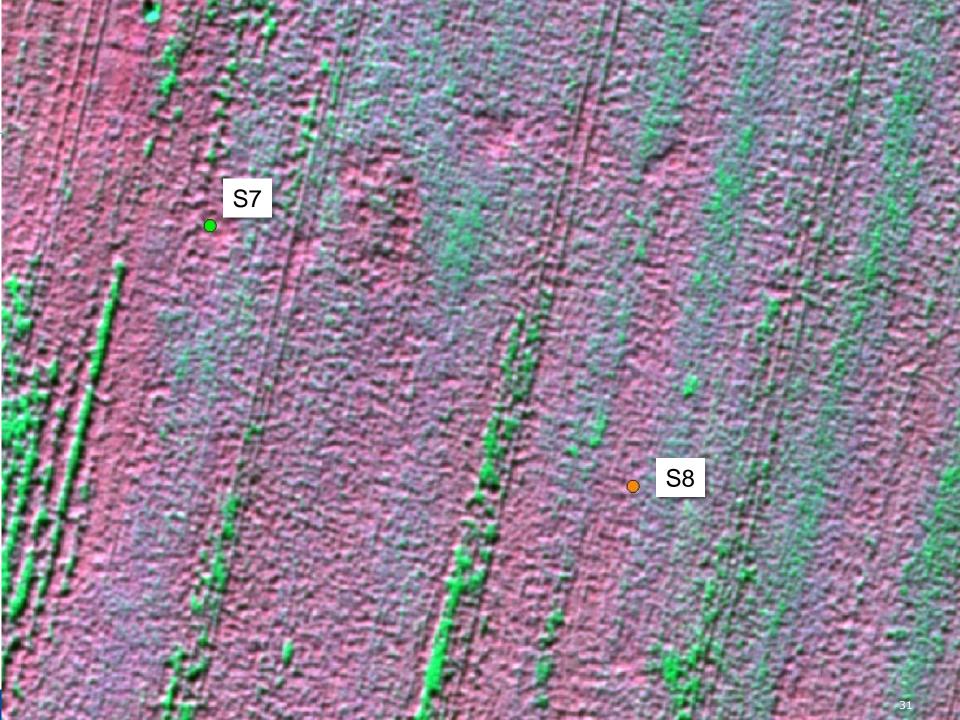


#### Differenzierte Rapsdüngung 2019



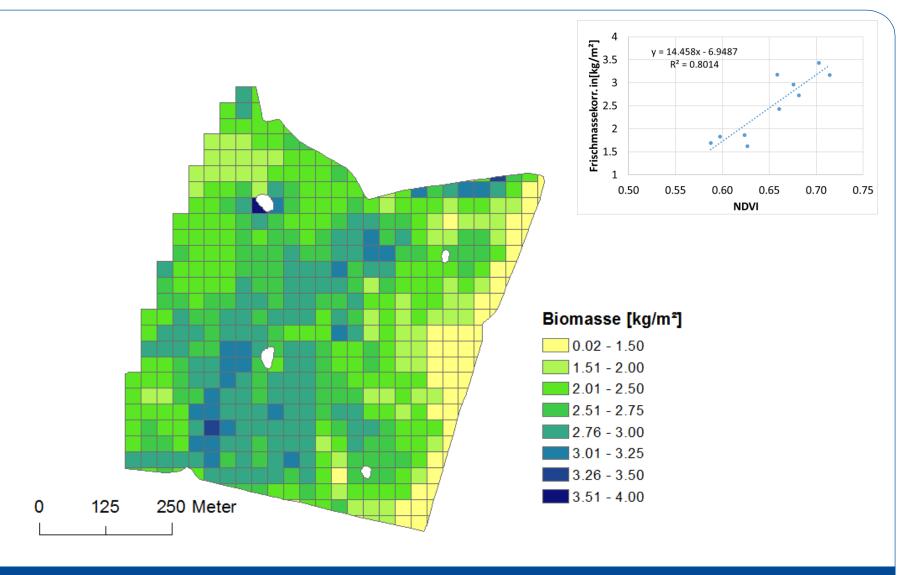
- Ein Teil der Rapsbiomasse im Herbst kann auf die Frühjahrsdüngung angerechnet werden
- Drohnenflug mit ebee+ und Multispektralkamera
- Flug 8.11.2018, ca. 25 Min / 40 ha
- 12 Referenzpunkte (0.64 m²)
   Frischmasse mit RTK-GPS eingemessen

Korrelation mit NDVI
Korrektur Wassergehalt
Ableitung Biomasse → NAufnahme Rapspflanzen
Berechnung N-Gabe
Vergleich mit Ertrag 2018

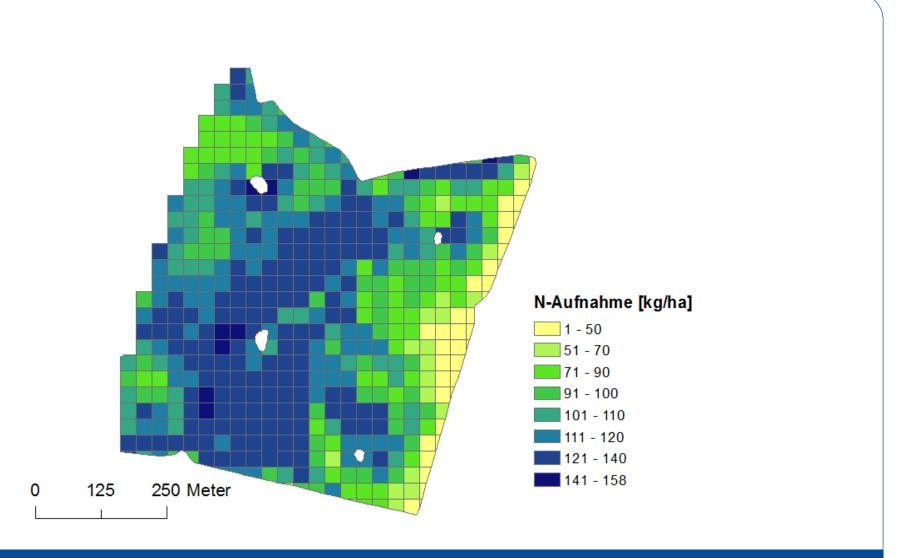




# Aus Drohnenbild (NDVI) abgeleitete Biomasse

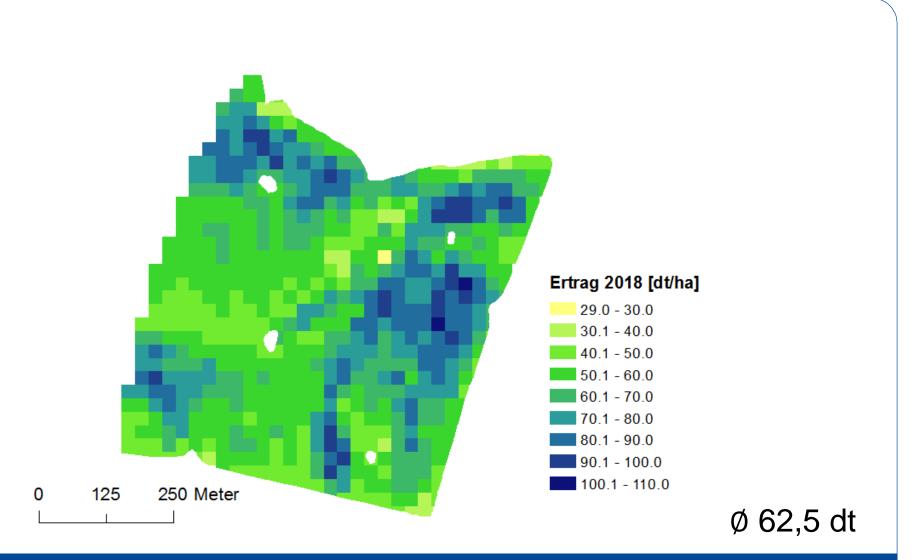


### N-Aufnahme durch den Raps



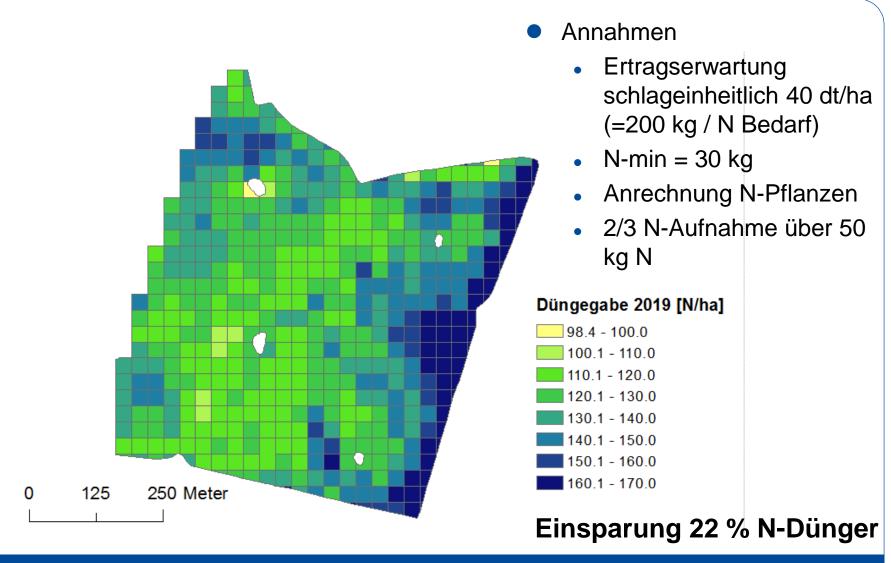








#### Applikationskarte Frühjahr 2019





#### Zusammenfassung / Fazit

- Marktverfügbare miniaturisierte MS-Sensoren für Drohnen sind technisch weit entwickelt, lassen sich photogrammetrisch prozessieren, sind genau und zuverlässig
- Anwendungen im Umweltbereich ermöglichen viele neue Möglichkeiten, insbesondere im Bereich Umweltmonitoring
- MS-Sensoren an Drohnen können für Precision Farming wirtschaftlich eingesetzt werden

