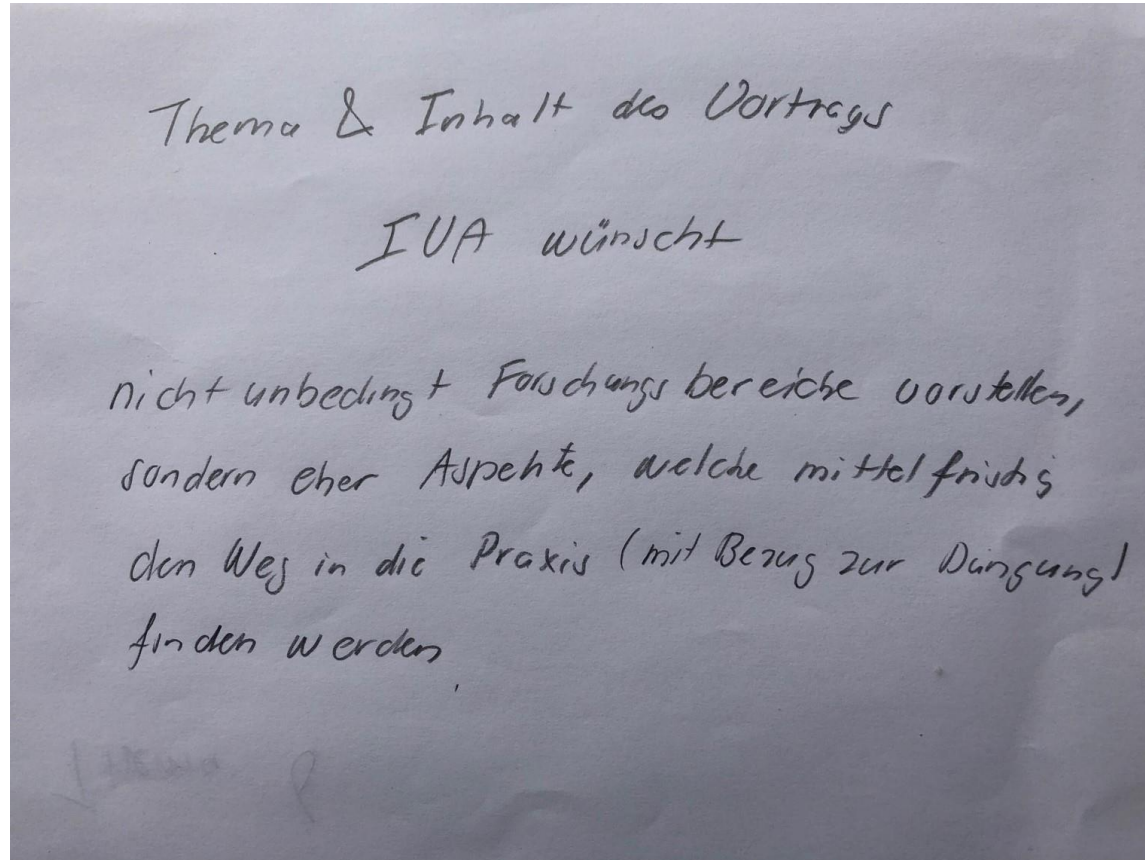


Digitales Nährstoffmanagement

Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TUM School of Life Sciences, Technische Universität München



Projekt GreenWindows_4.0

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

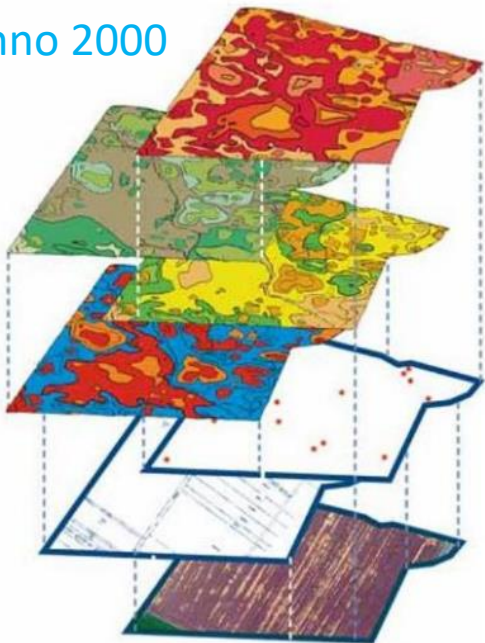
Precision Farming – Smart Farming anno 1770



Visionen von gestern

„Da wir bald eine neue Charte von hiesigem Hochstifte erhalten werden: So wäre zu wünschen, daß auch eine dergleichen, worauf nach gehöriger Vergrößerung überall die Beschaffenheit des Bodens angezeigt wäre, verfertigt würde; es könnte solches bloß durch Farben geschehen und zugleich in den Farben wiederum der Unterschied angebracht werden, daß z. E. der beste Weidegrund durch Dunkelgrün, der mittlere durch etwas helleres und der schlechteste durch noch helleres angezeigt würde. In der Erfassung; wodurch ... , würde durch eine Schattierung von Rot, Gelb, Blau oder Schwarz angezeigt, ob Mergel-, Sand- oder Moorgrund anzutreffen wäre; ... Man könnte auch auf jeden Fleck durch Nummern die Tiefe einer Lage oder deren Abstand von einer gewissen angenommenen Linie, wie auf Seekarten, bemerken. ... Außer dieser Charte müßten wir noch eine andere haben, worauf die ganze Fläche, so wie sie sich in 6, 7 oder 8 Schuh tief unter der Erde befände verzeichnet würde, so daß, wenn man erstere Charte auf die andere legte, man sogleich sehen könnte, wie es in vorgedachter Tiefe beschaffen wäre. Man würde solches durch Erdbohrer bald untersuchen und geometrisch auftragen können“ (MÖSER, 1770).

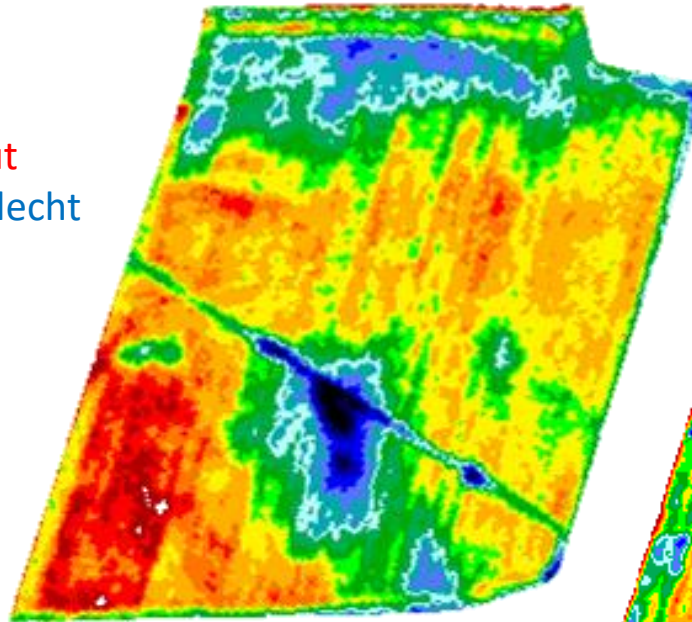
anno 2000



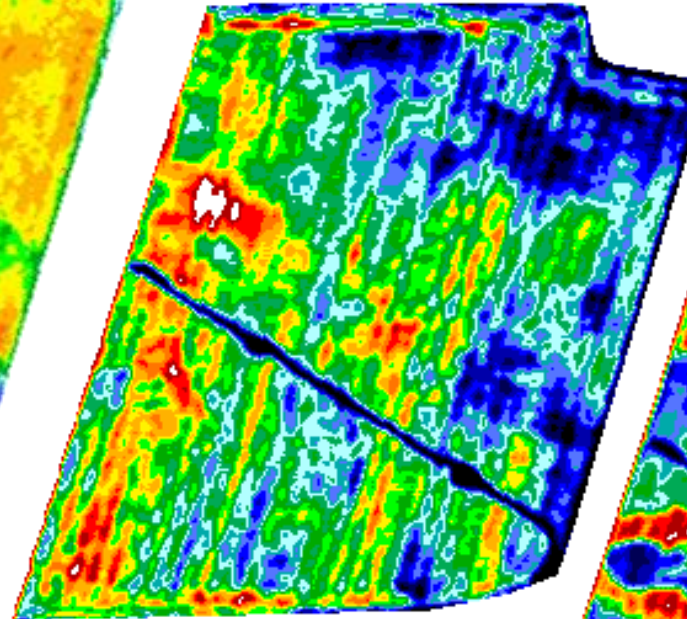
Pflanzenentwicklung kann unterschiedlich sein

Nahes Infrarot (NIR)

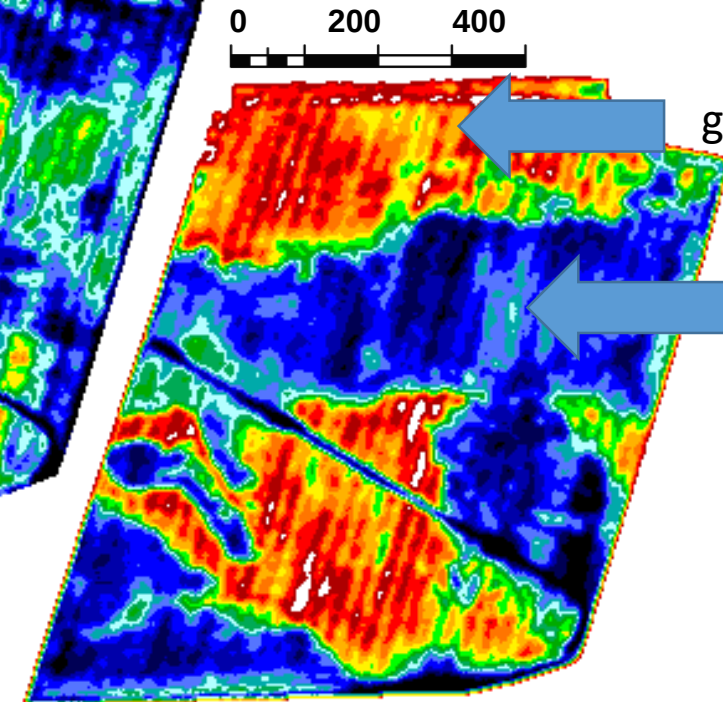
Rot = gut/sehr gut
Blau = mittel/schlecht



6. April 2000
Bestockung
EC 26



15. Mai 2000
Fahnenblatt
EC 39



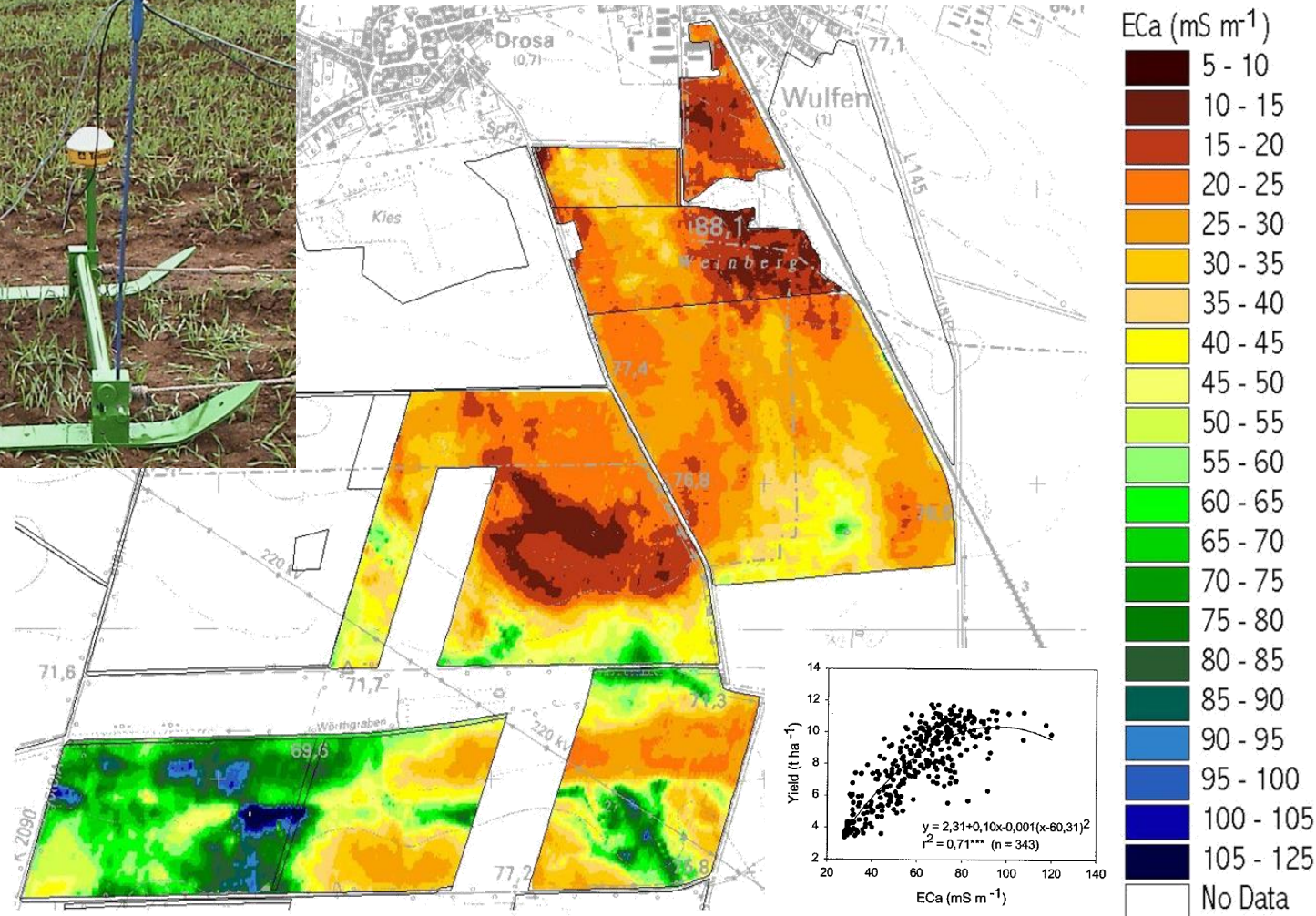
18. Juni 2000
Milchreife
EC 79

Einheitliche Düngung auf einem sehr heterogenen Schlag - Konsequenzen

		Sand	Sandiger Lehm	Lehmiger Schluff
Verfügbares Wasser in der Wurzelzone	mm	40	140	220
Kornertrag	t/ha	1.1	4.9	8.3
Korn N-Aufnahme	kg/ha	35	125	192
N-Düngung	kg/ha	170	170	170
N-Bilanz	kg/ha	+135	+45	-22
N-Effizienz	%	21	74	113

Bodenunterschiede erkennen

Geophysikalische Erfassung von Standorteigenschaften



Bodenunterschiede spektral erkennen

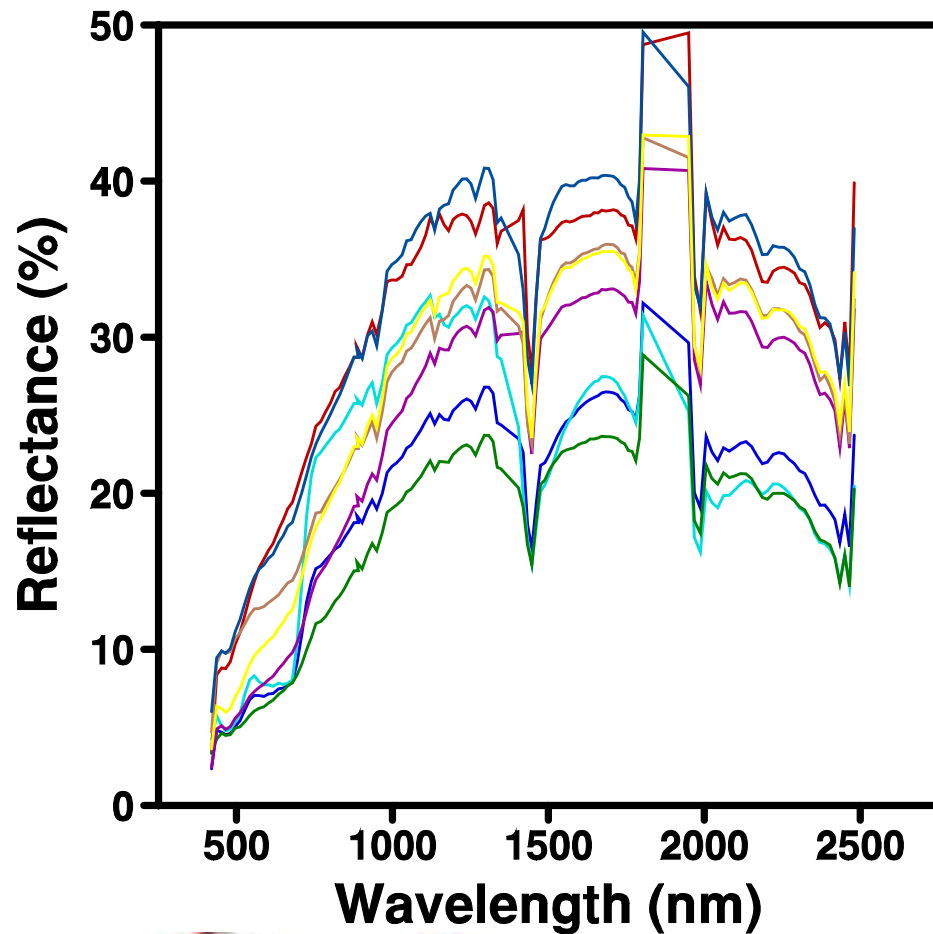
Spektralsignatur von Böden



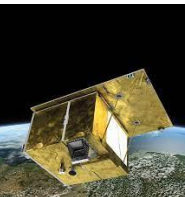
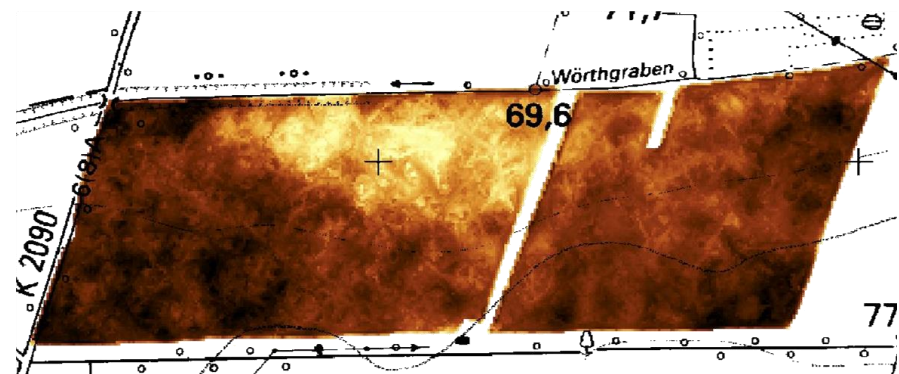
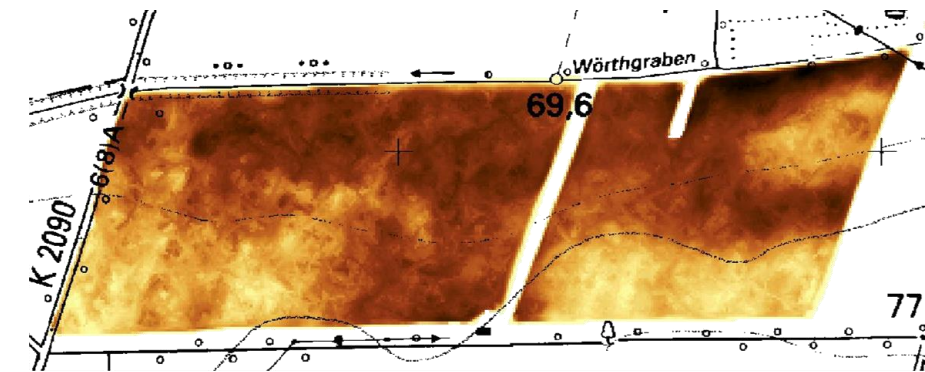
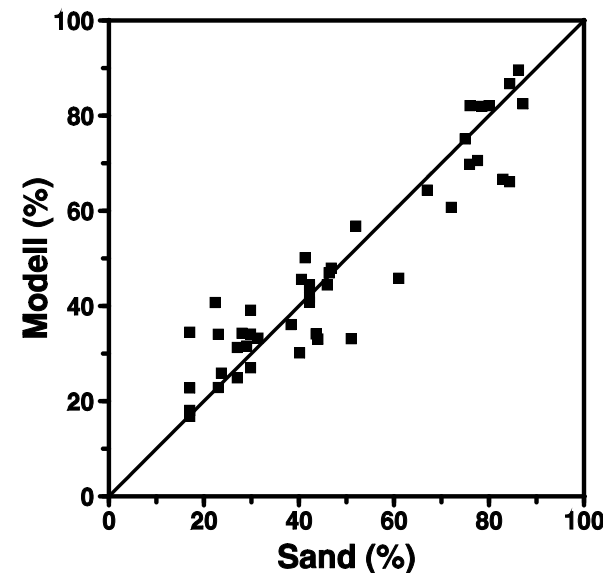
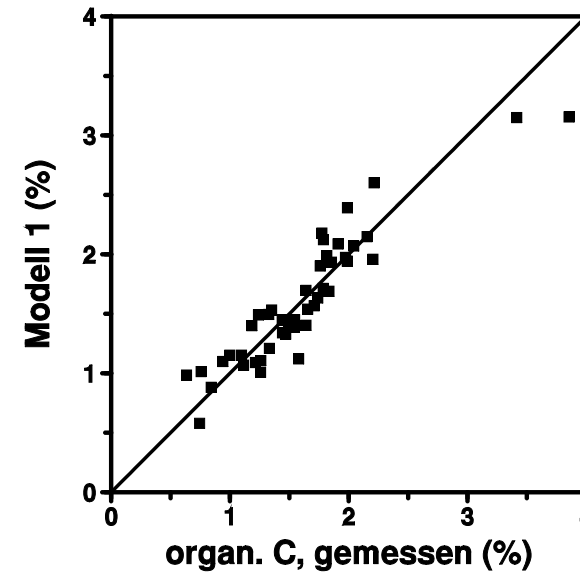
Modellvorhersage (C_{org} , Sand)



Bodenkarten (C_{org} , Sand)



HyMap, 128 Kanäle, 5 m



seit 2022 EnMAP, 242 Kanäle, 30 m

Indirekte Ableitung von Standorteigenschaften mittels Fernerkundung

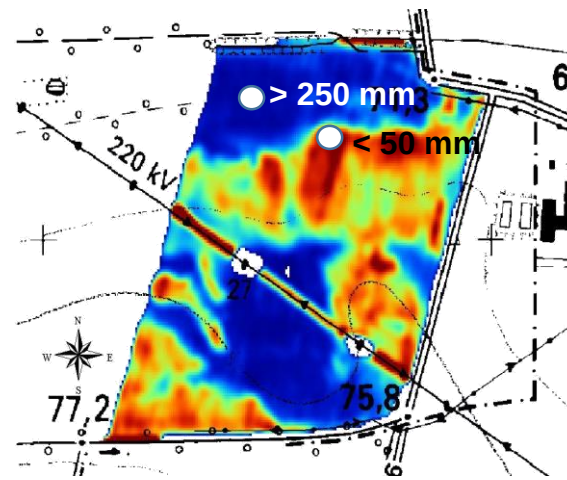
Pflanze-Bodenindikator Konzept (2000) - Standortpotenzial

Der Pflanzenzustand widerspiegelt Bodeneigenschaften und somit Limitierungen des Pflanzenwachstums. Diese können durch multispektrale Fernerkundung erfasst werden.

Hypothese: Das Wachstum ist häufig primär durch das Angebot an pflanzenverfügbarem Wasser begrenzt.



Multispektraler Flugzeugscanner Daedalus (DLR):
5 m Auflösung, 11 Wellenbänder: VIS, NIR, SWIR, TIR



Precision Farming – Smart Farming 4.0



Willkommen > Märkte > Kommerzielle Anbieter > Landwirtschaft > FARMSTAR

FARMSTAR, eine Vielzahl von Empfehlungen, um den landwirtschaftlichen Anbau zu steuern und die Erträge zu optimieren.

Ein mit den Instituten Arvalis und TerresInovia entwickeltes Programm.

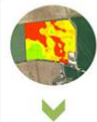
Unser Angebot

FARMSTAR hilft bei Entscheidungen, die im landwirtschaftlichen Anbau zu treffen sind. Seit über 15 Jahren begleitet es Landwirte, die ihre Erträge und die Qualität ihrer Produkte optimieren wollen und hilft ihnen, den Anbau vernünftig und umweltverträglich zu gestalten. FARMSTAR kombiniert Satellitenaufnahmen unserer Konstellation mit landwirtschaftlichem Fachwissen, liefert so eine ganze Bandbreite von Empfehlungen für den Anbau von Winterweizen, Gerste, Raps und Triticale innerhalb der Felder und ermöglicht eine variable Zugabe von Produktionsmitteln.

So funktioniert Es

Empfehlungen

FARMSTAR errechnet die richtige Dosis der Produktionsmittel für Sie. Mit jeder Empfehlung werden zuverlässige Informationen geliefert, die Sie direkt verwenden können, um schnell die passenden Entscheidungen zu treffen. Es werden Empfehlungen zu drei Themenbereichen gegeben: Pflanzenschutz, Zustand der Kulturen und Einsatz von Produktionsmitteln, damit der Anbau präzise gesteuert werden kann.



Solorrow

Stärke Vorsprung Standort Analyse Dosierung Erfolg [DOWNLOAD](#)



Solorrow

Höhere Effizienz beim
Düngen, Säen und
Spritzmitteleinsatz

Erleichtern Sie Ihren Einstieg in die Präzisionslandwirtschaft mit der **kostenlosen App**

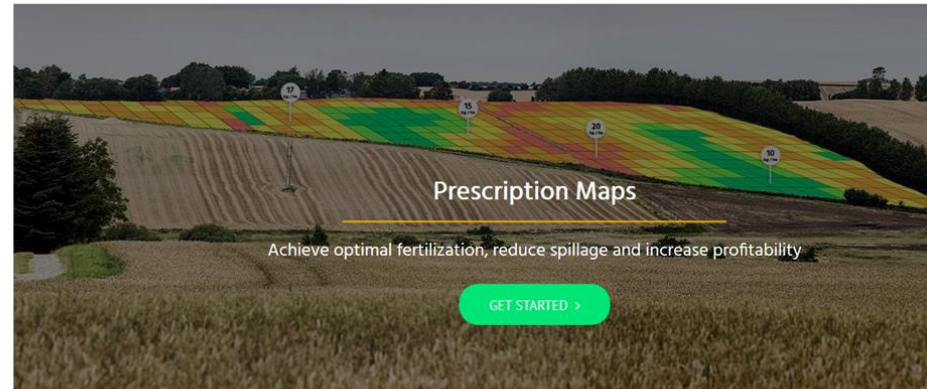


NEXT Farming: Effiziente Bewirtschaftung per Knopfdruck



FIELDSENSE

HOME [PRODUCT](#) [COMPANY](#) [HELP](#) [LOGIN](#) [English](#)



Prescription Maps

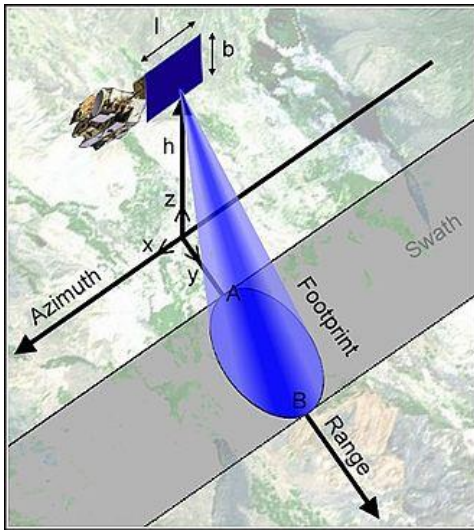
Achieve optimal fertilization, reduce spillage and increase profitability

[GET STARTED >](#)

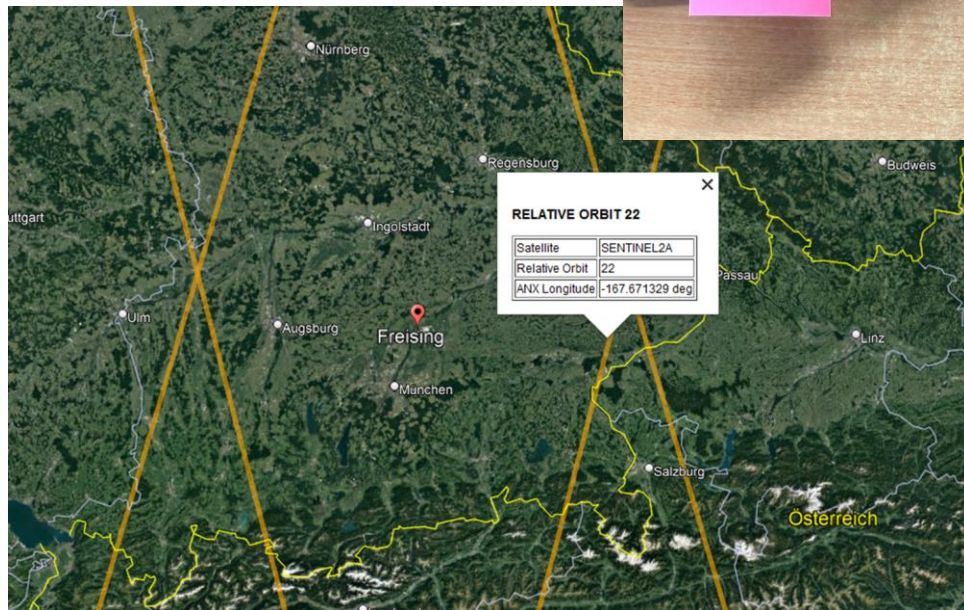


atfarm

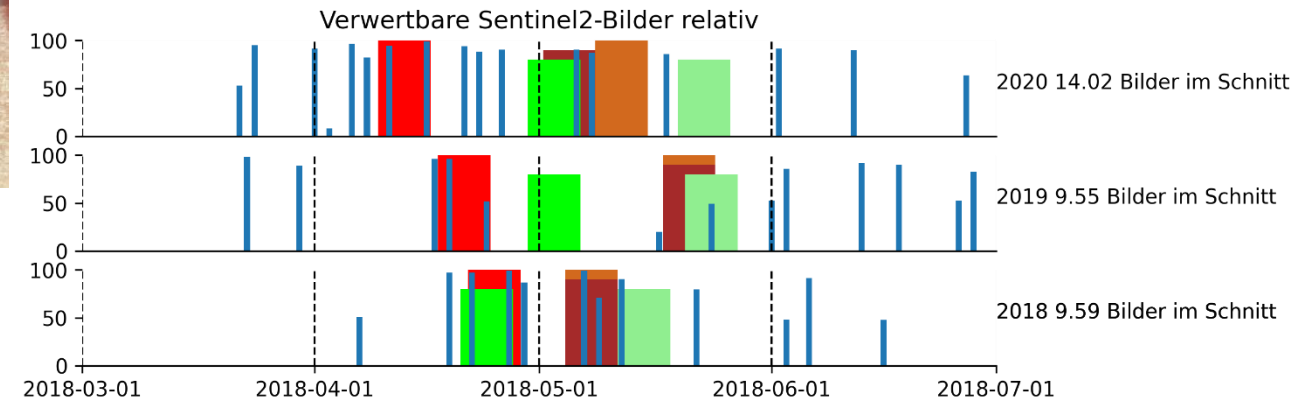
Satelliteninformation: Sentinel-2 A, B (seit 2015/2017)



Höhe: 800 km
 Schwadbreite: 290 km, räumliche Auflösung: 10-20 m
 Häufigkeit: 2-5 Tage (theoretisch) um 10-11 Uhr
 Umlaufzeit: 100 min



Verfügbarkeit von Satellitenbilder für Bearbeitungsmaßnahmen



- 2. Gabe N
- 3. Gabe N
- Herbizid
- Fungizid + Wachstumsregler (2019 + 2020)
- Wachstumsregler (2018)
- Fungizid + Insektizid

Lösch (2022)

Wie leitet man Standortpotenziale/Managementzonen ab?



Abb. 4.1: Einflussgrößen der Bodenfruchtbarkeit (Honecker, 2015, eigene Darstellung)

Pflanzen widerspiegeln die Standortcharakteristik (manchmal besonders gut)



Mäßiger Bestand (**niedrige nFK₉₀**) am 14.05.2014



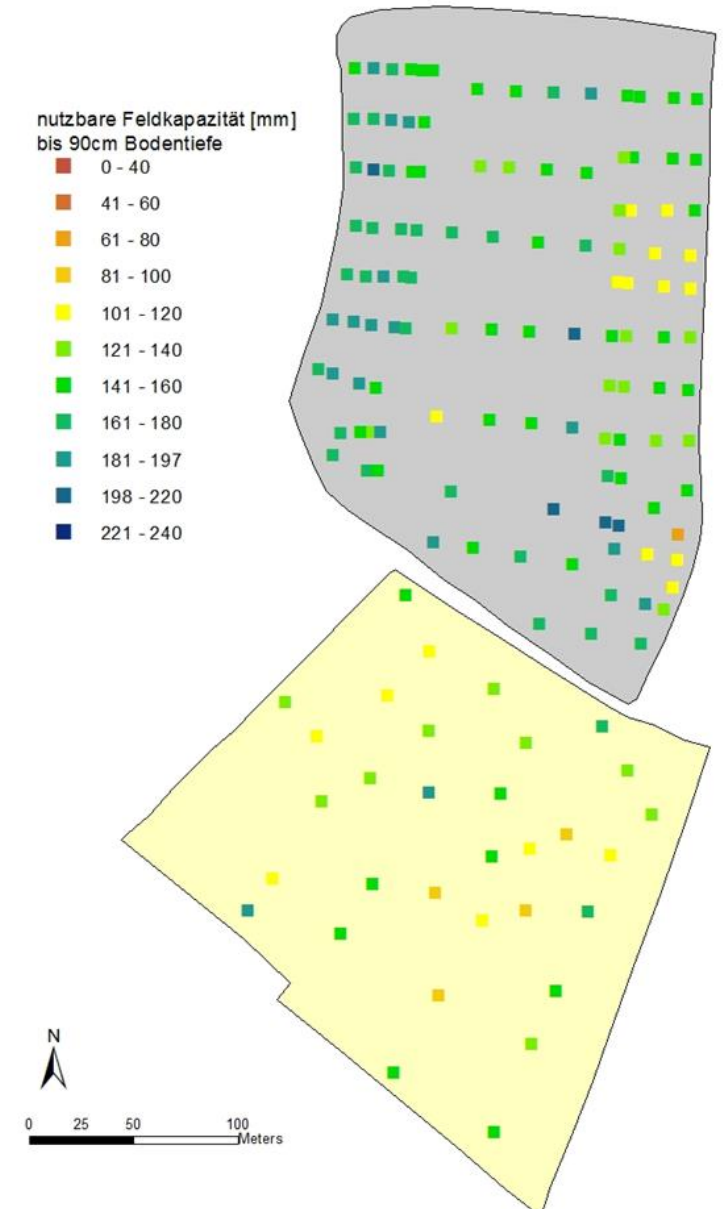
Guter Bestand (**hohe nFK₉₀**) am 14.05.2014



Mäßiger Bestand (**niedrige nFK₉₀**) am 7.07.2014



Guter Bestand (**hohe nFK₉₀**) am 7.07.2014



Wie variabel sind Böden bzw. das Pflanzenwachstum?

Räumlich variable Böden bzw. Pflanzenwachstum
(Raum Würzburg)



Häufigkeit (Bayern, D): 10-(40) % variabel (?)

Räumlich wenig variable Böden bzw. Pflanzenwachstum
(Gäuböden bspw. Plattling)



90-(60) % (?) wenig variabel

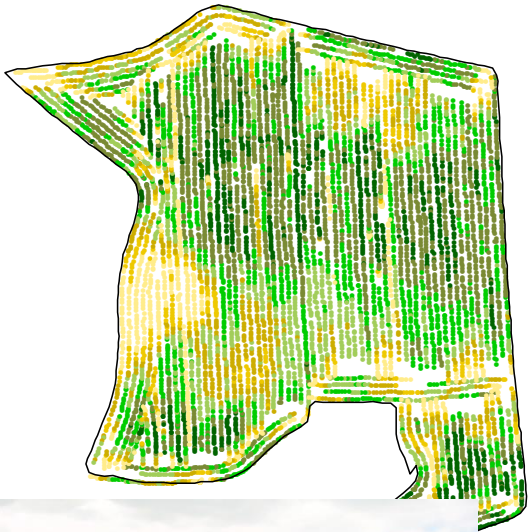
Variabilität f (Jahres, Vegetationszeit, Kultur)

Nutzung der Variabilität f (Technik und der Maßnahme (Bodenbearbeitung, Saat, Düngung, Pflanzenschutz))

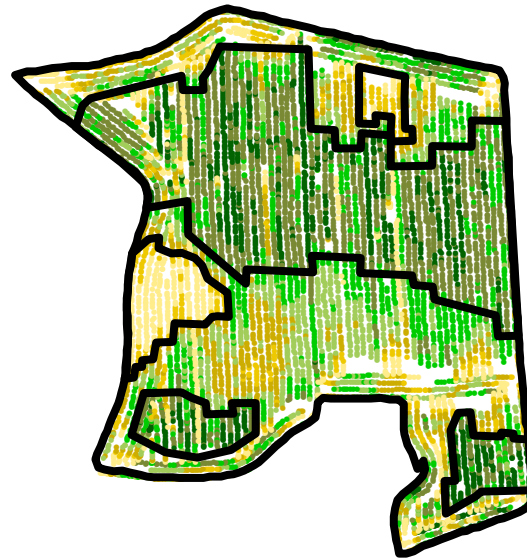
Erkennen der Variabilität $\neq$ erfolgreiches Umsetzen in eine Bewirtschaftungsmaßnahme

Evaluierung der teilflächenspezifischen N-Düngung in mehrjährigen Düngungsversuchen 2003-2007

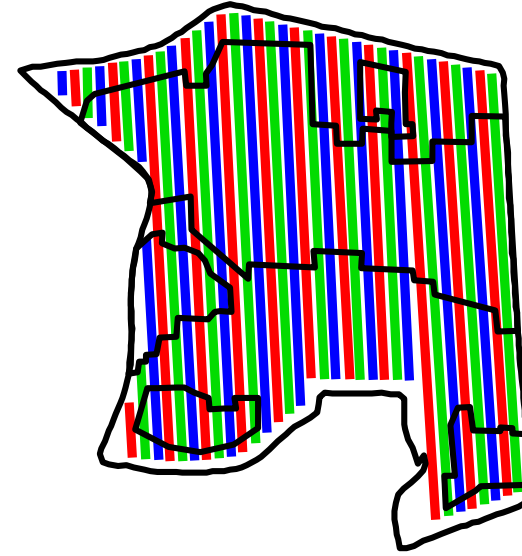
Etragskarte



Abgrenzung Ertragszonen



Streifenversuch



Versuchsglieder

-  1: einheitliche Düngung („betriebsüblich“)
-  2: variable Düngung, Teilflächenabgrenzung nach Mapping
-  3: variable Düngung mit Hydro N-Sensor



Teilflächenspezifische N-Düngung 2002

Düngung zu Triticale
(Entwicklungsstadium: BBCH 25 / 32 / 59)

Versuchsglied 1
(einheitliche Düngung)

69 / 40 / 44 = 153 kg N ha⁻¹

Versuchsglied 2
(variable Düngung, Mapping)

Ertrag niedrig:
110 kg N ha⁻¹

Ertrag mittel:
153 kg N ha⁻¹

Ertrag hoch:
195 kg N/ha⁻¹

Versuchsglied 3
(variable Düngung, Sensor)

Ertrag niedrig:

155 kg N ha⁻¹

170 kg N ha⁻¹

Ertrag mittel:

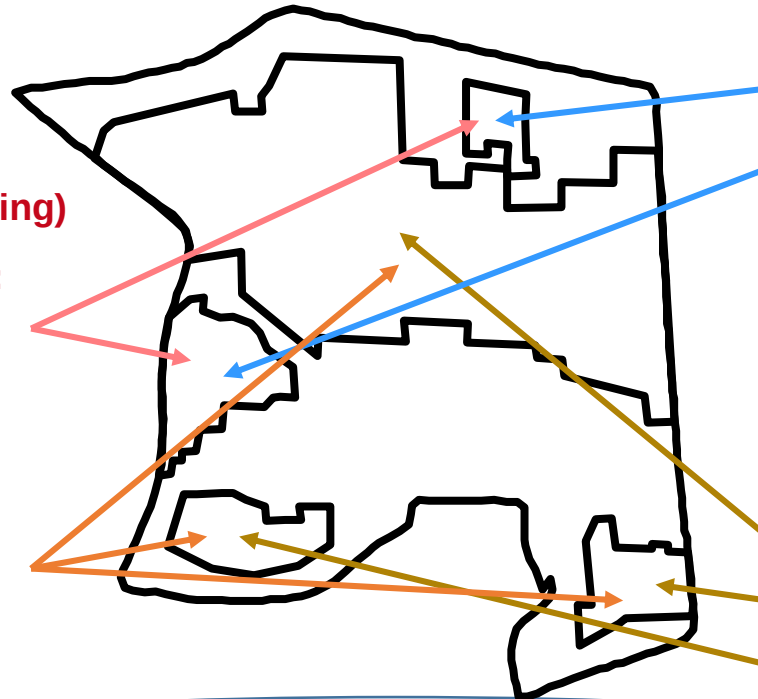
155 kg N ha⁻¹

Ertrag hoch:

155 kg N/ha⁻¹

135 kg N/ha⁻¹

150 kg N/ha⁻¹



Entscheidungsalgorithmus: „Robin Hood“ versus „Gutsherren“ Prinzip

Strategien zur teilflächenspezifischen N-Düngung – Fazit 2006

- N-Effizienz kann durch teilflächenspezifische N-Düngung erhöht werden:
Auf Teilflächen mit erhöhter Verlustgefährdung (leichte, flachgründige Böden) war eine **Mapping-Strategie** (Düngung nach Ertragspotenzial) zur Verbesserung der N-Verwertung geeignet: Einsparung von 34 kg N, weniger Emissionen. Eine Erhöhung in Hohertragsflächen ist nicht notwendig
- **Sensor-Düngung** bietet die Möglichkeit, eine erhöhte N-Nachlieferung aus dem Boden zu erkennen: Einsparung von 8 kg N (Hohertragsflächen, Kolluvien); auf Kolluvien war die Mapping-Strategie auch erfolgreich
- **Sensor-Düngung** führte bei einem nicht-reduzierenden Ansatz zu homogeneren Beständen, auf Teilflächen mit niedrigem Ertragspotenzial jedoch zu einer verminderten N-Effizienz, jedoch leicht höheren Erträgen
- Eine Kombination von Mapping und Sensor-Düngung (Online-Sensor mit Mapping-Overlay) kann die Vorteile beider Strategien erhöhen
- N-Effizienz wurde bei verhaltener einheitlicher N-Düngung durch die teilflächenspezifische N-Düngung von **89% auf 100%** erhöht



Fazit 2022

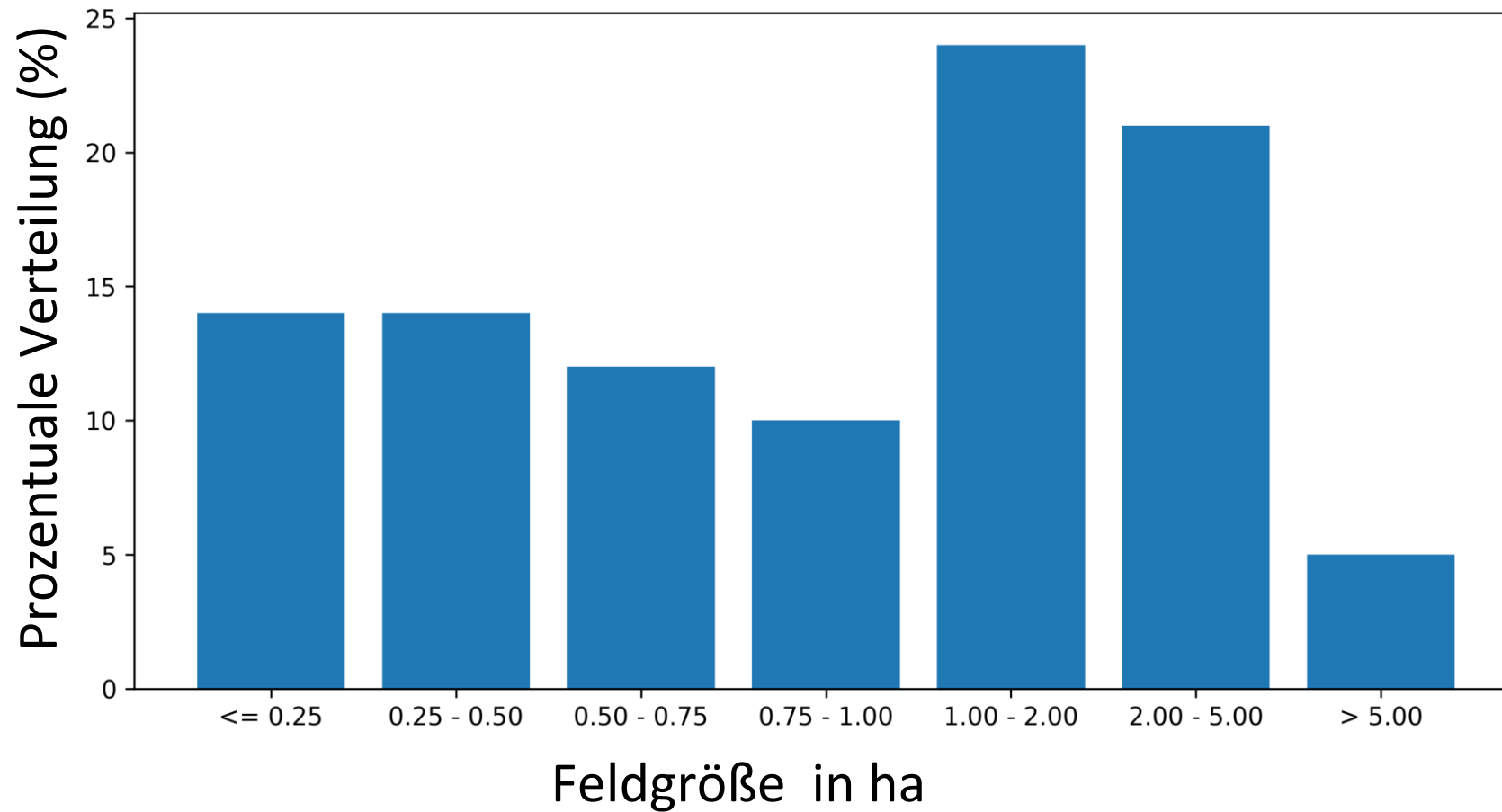
Robin Hood Prinzip ~~X~~

Gutsherren ~~X~~ Prinzip

Dynamische Reduktion ✓

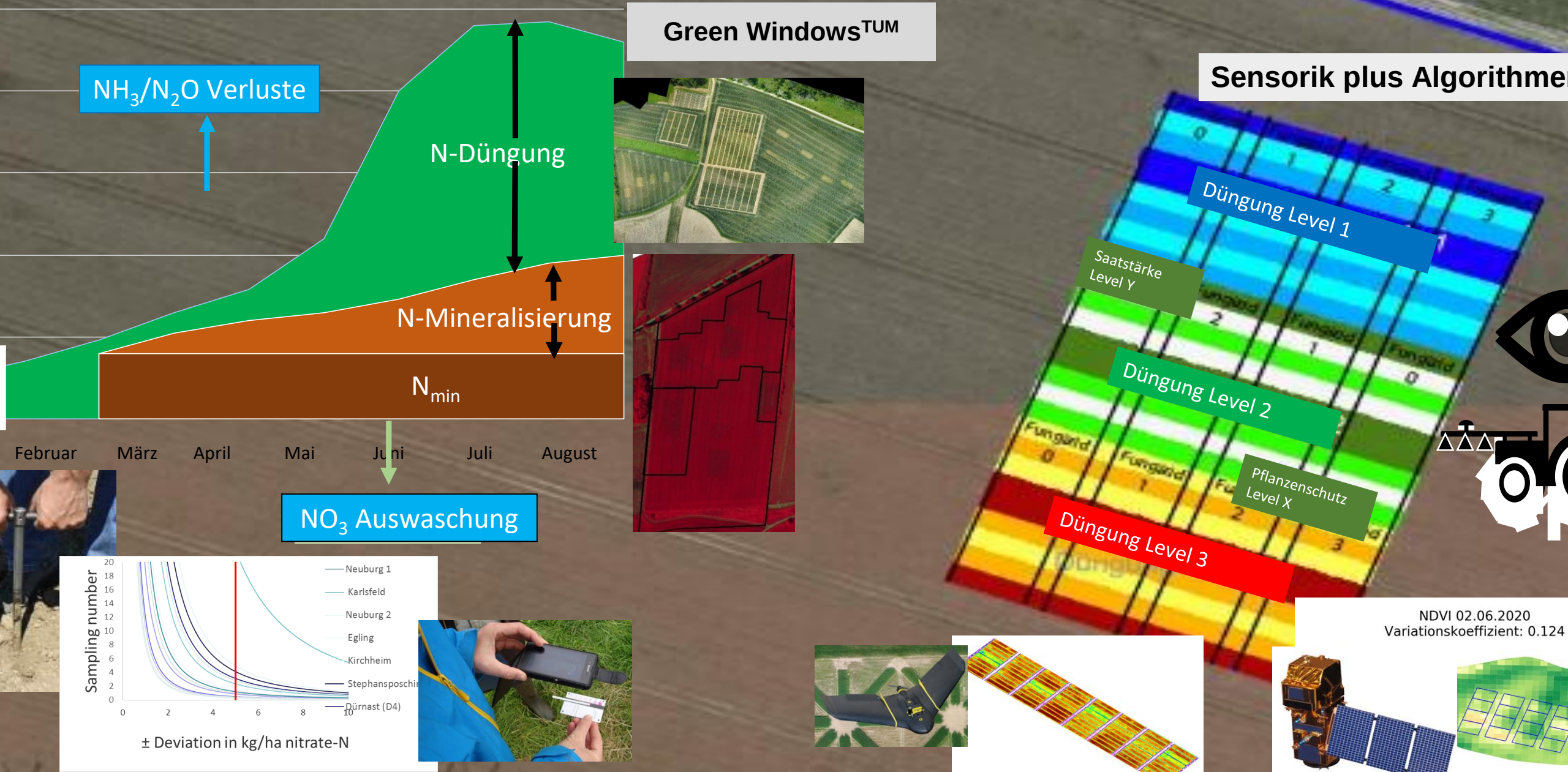
Mapping > On-line

Verteilung der Schlaggrößen in Bayern (2019)



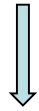
Lösch (2020)

GreenWindows_4.0 Konzept: Der Landwirt optimiert und wird digital unterstützt

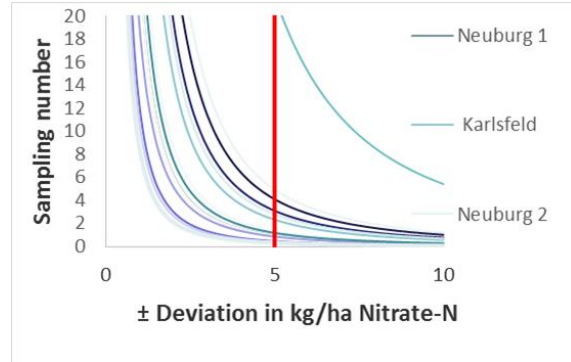


GreenWindows_4.0: N_{min}-Untersuchung vereinfachen

Neu!



Nitrat App



N_{min}-Untersuchung: 2-3 Mischproben

Heinemann & Schmidhalter (2021)



Reflektometer



Farbkarte



Nitratschnelltest Boden

Lehrstuhl für Pflanzenernährung

Startseite
Durchführung
Referenzen
Links
Kontakt
Impressum

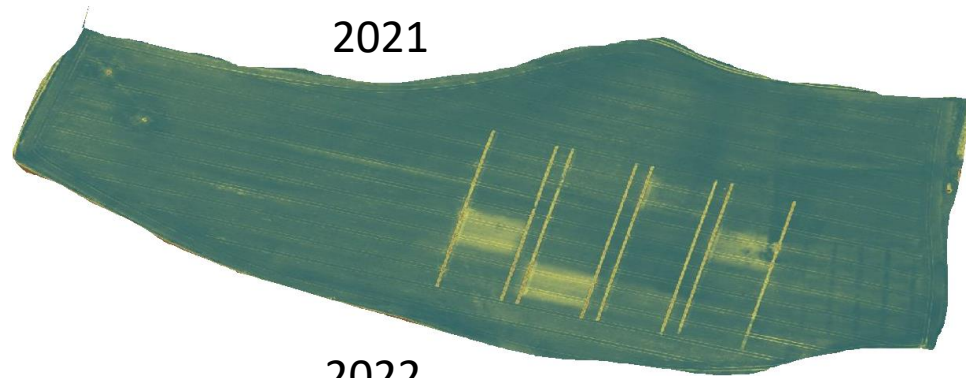
Boden selbst untersuchen

günstig
schnell
genau
vor Ort

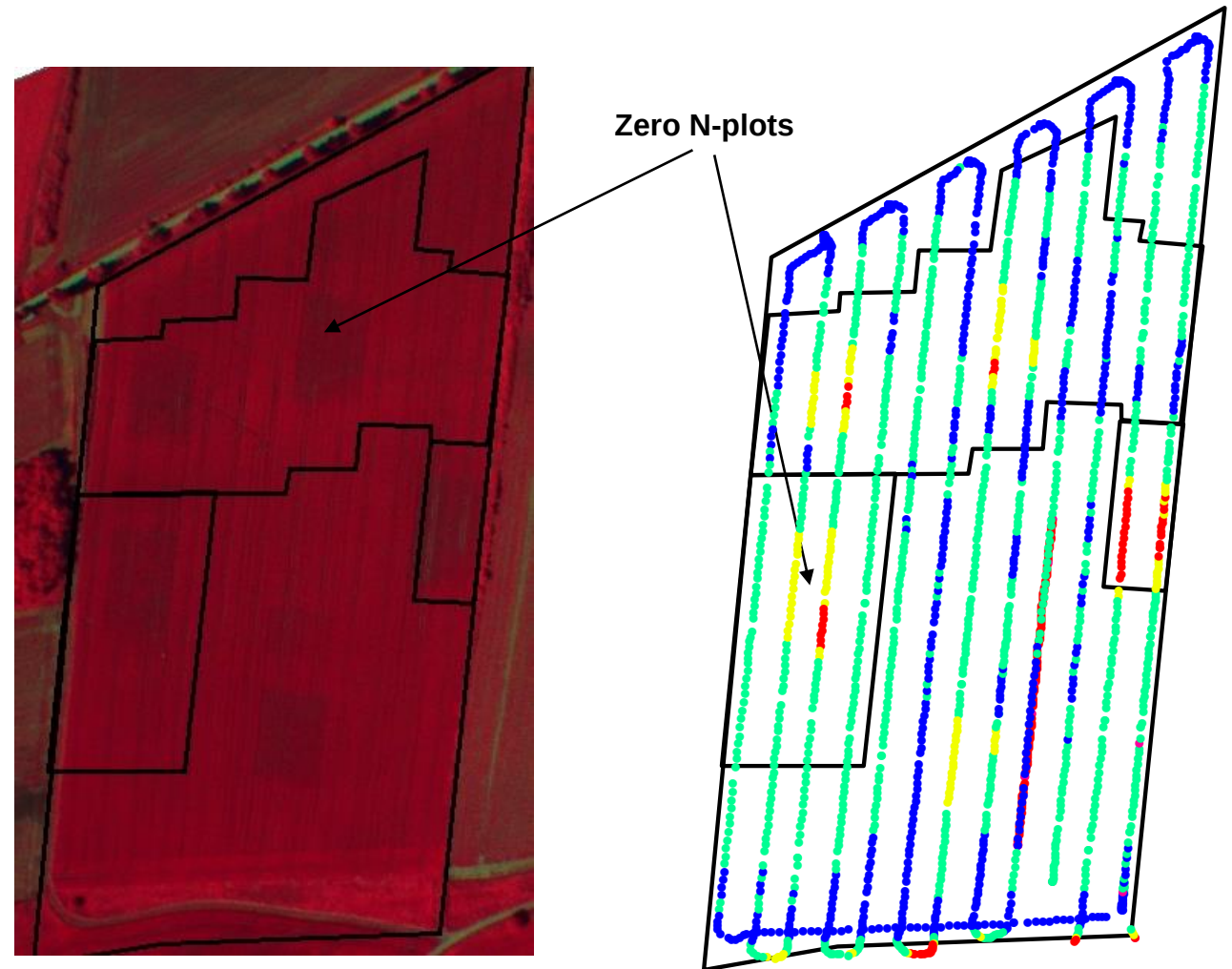
Mit dem Nitratschnelltest Boden kann man:

- den Stickstoffstatus des Bodens vor Ort ermitteln
- Ausgaben für Laboranalysen einsparen
- die optimale Düngemenge bestimmen
- Düngeverluste minimieren
- umweltorientiert düngen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung



Schmidhalter (2022)



Nulldüngungsfenster

Schmidhalter und Jungert (2006)



Sensorik- und Messprinzipien



Portable in-field device



Carrier



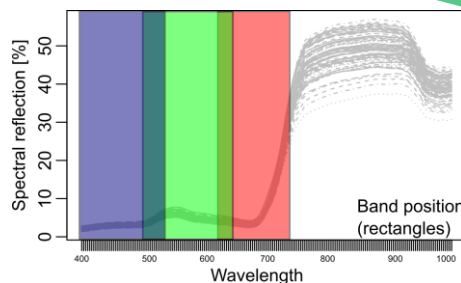
Drone (UAV)



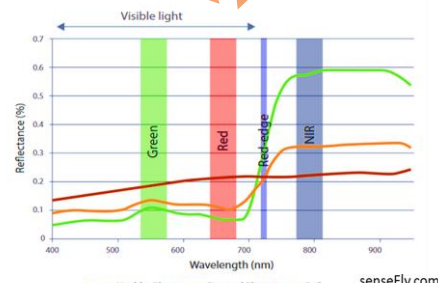
Airplane



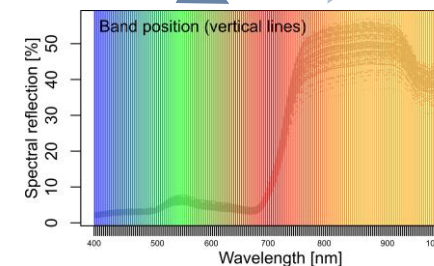
Satellite



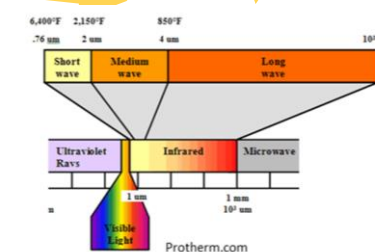
RGB (red, green, blue)



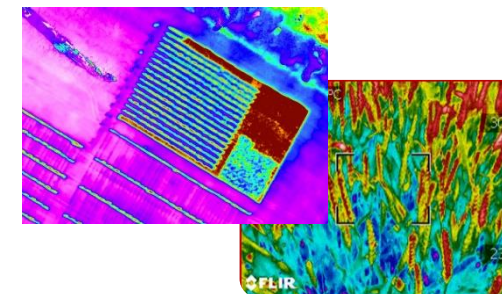
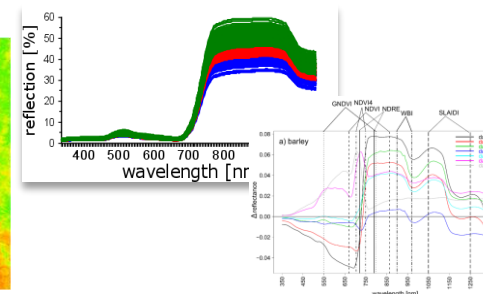
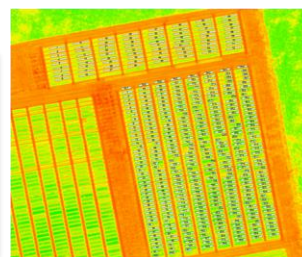
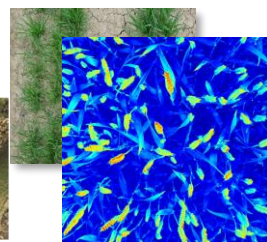
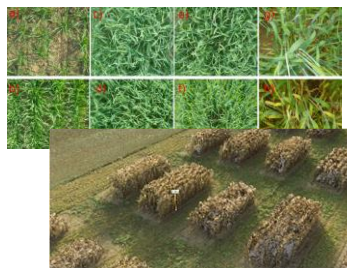
Multispectral



Hyperspectral

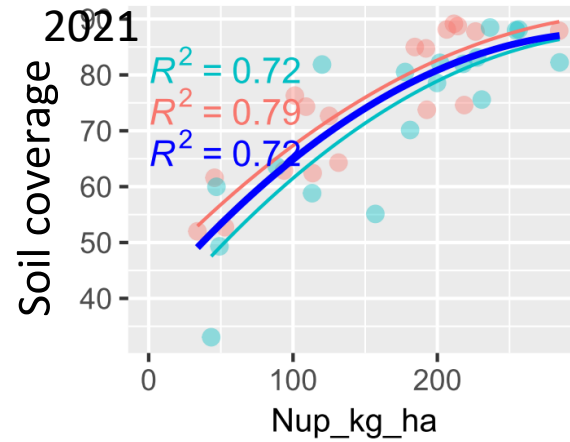


Thermal

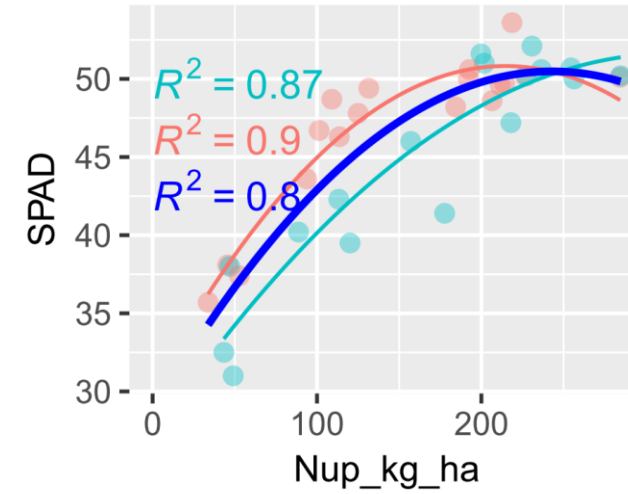


Wie gut können Sensoren die N-Aufnahme erfassen?

Kamera

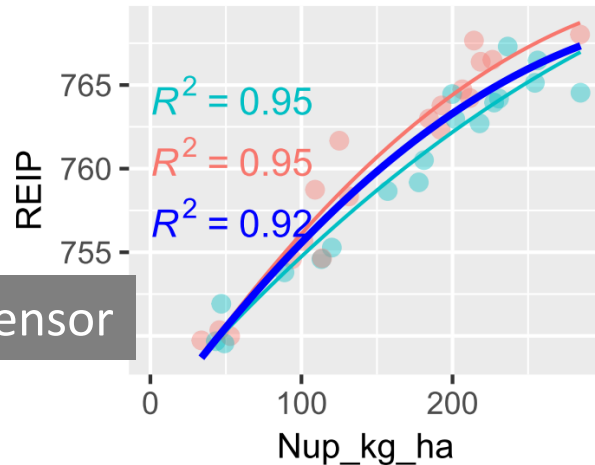


SPAD

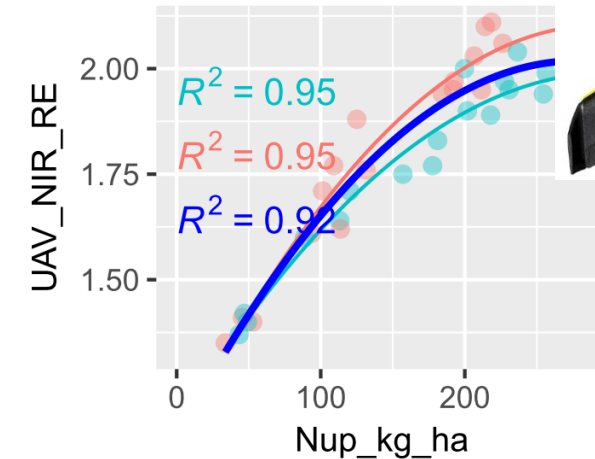
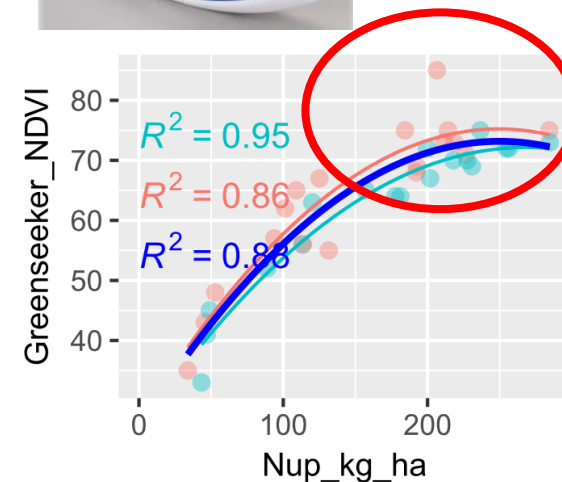


Sorte

- Diskus
- Rumor



GreenSeeker

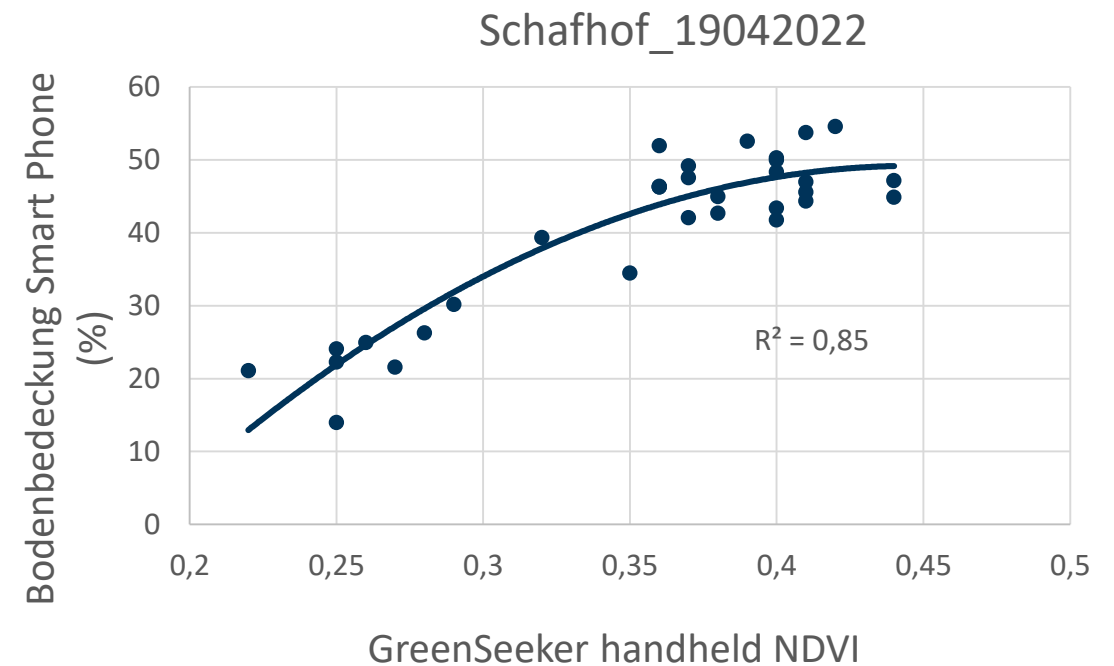


UAV

Hyperspektral Sensor

GreenWindows_4.0: Vereinfachte Erfassung des N-Status (Satellitenversuch)

Schafhof_19 April 2022



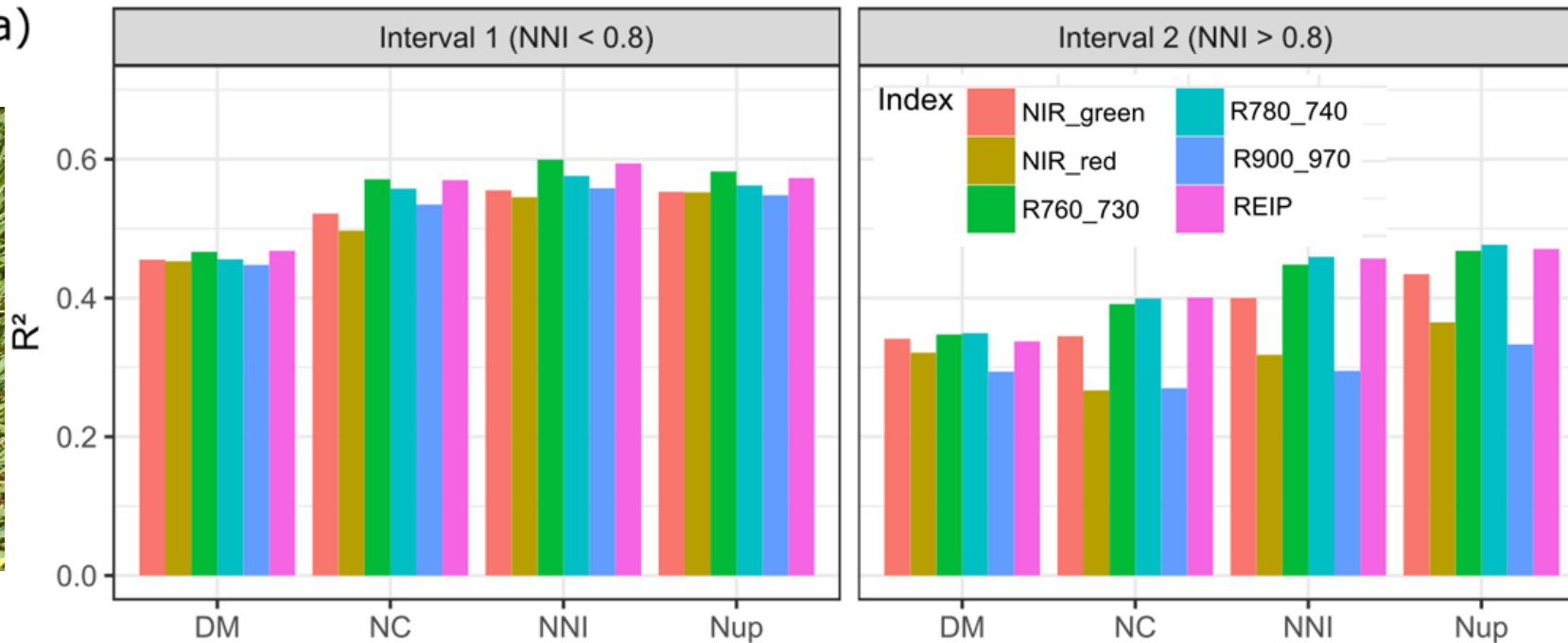
Schmidhalter (2022)

Mehrjährige spektrale Untersuchungen des N-Ernährungsindex*

moderater N-Status

Sehr gut versorgter N-Status

a)



RE-Indizes > NIR/Green > NIR/red > WBI

Erfassung schwieriger bei sehr guter Versorgung

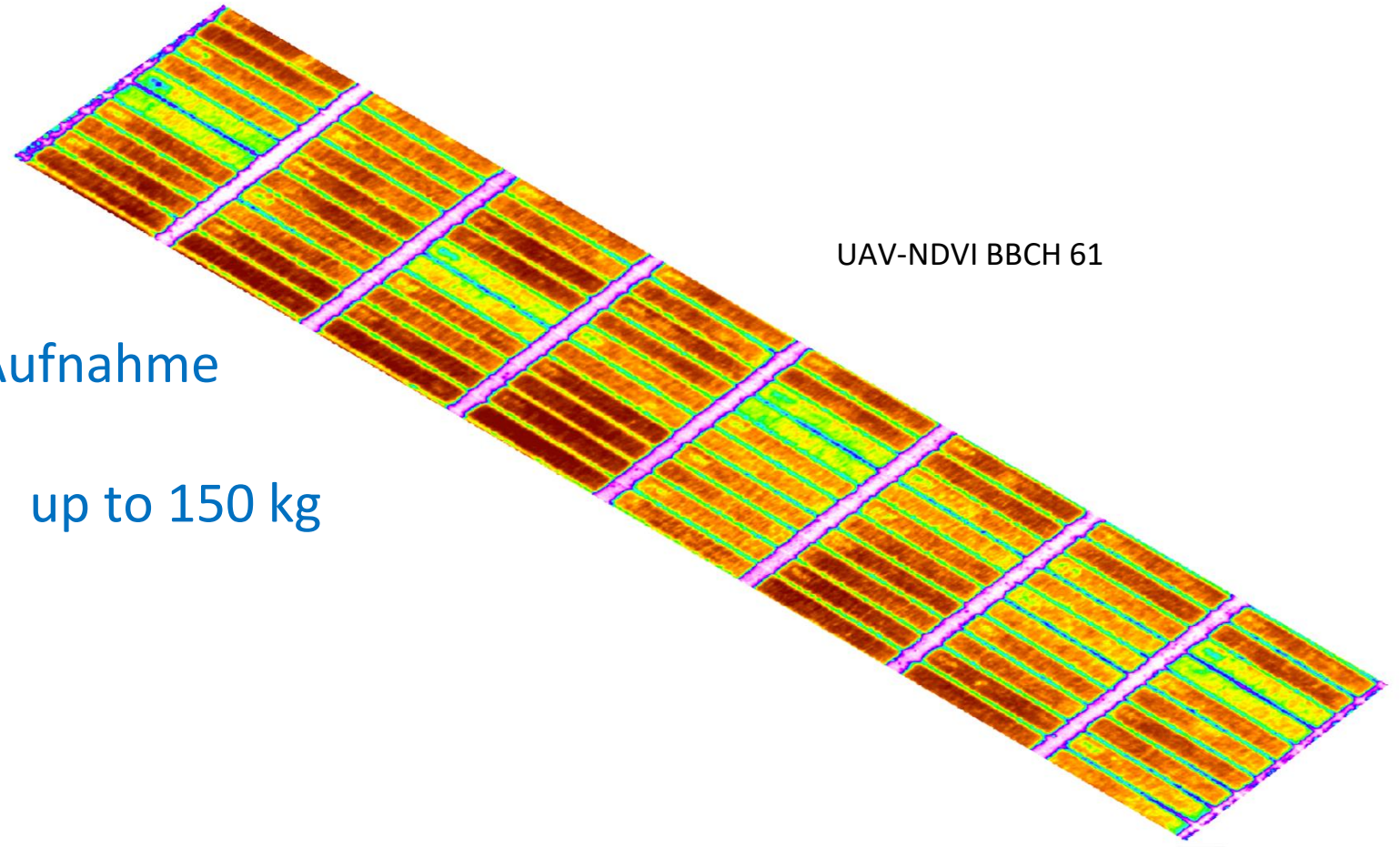
*Mistele, B., et al. (2008); Prey, L., Schmidhalter, U. (2019)

Wie gut kann man die N-Aufnahme erfassen?

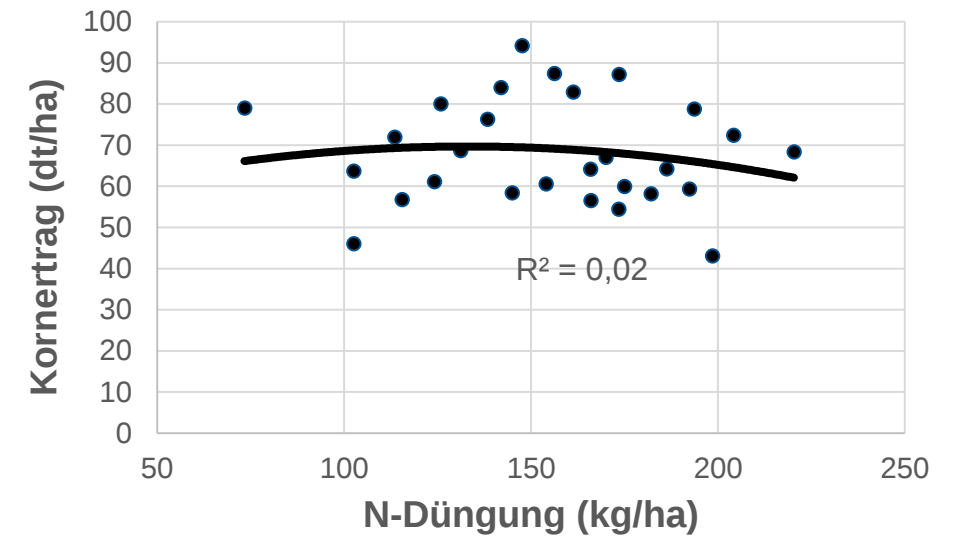
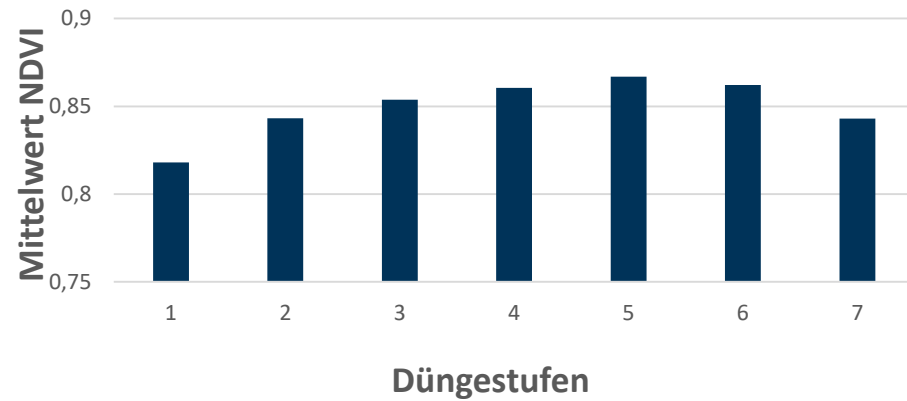
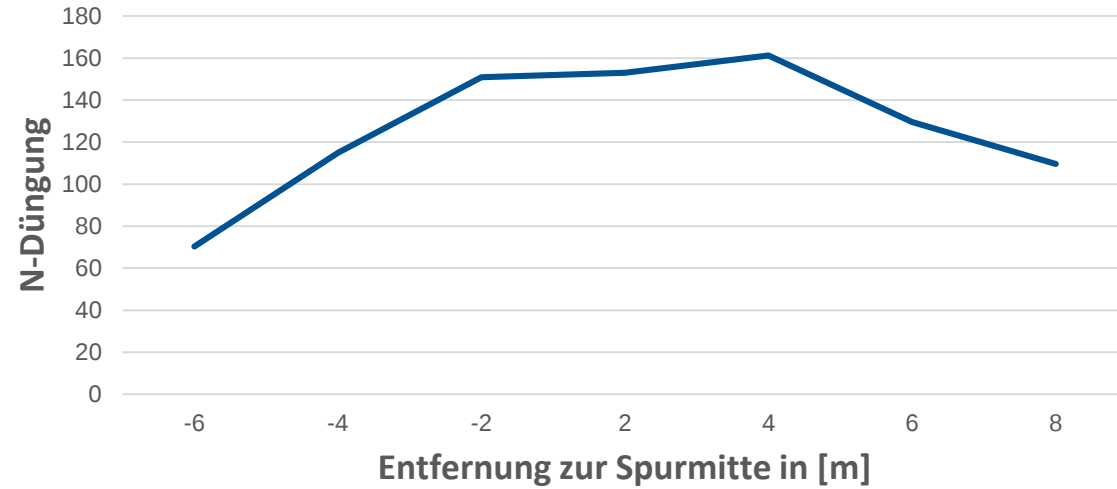
Winterweizen

=> Differenzierung der N-Aufnahme

- BBCH 37: 10 kg N/ha
- BBCH 61: 30 kg N/ha up to 150 kg N/ha



GreenWindows_4.0: N-Gradient^{TUM}

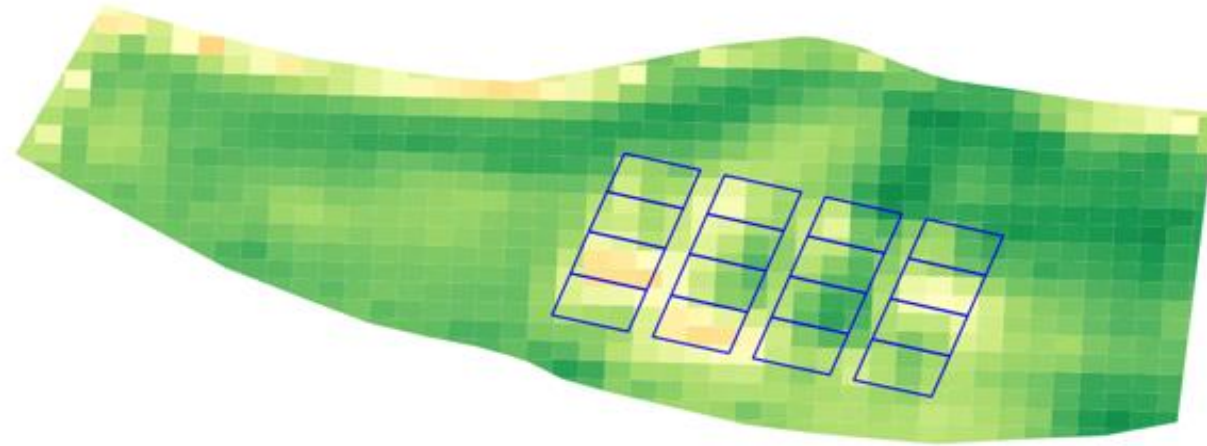


Wie gut können Drohnen oder Satelliten die N-Aufnahme (/Ertrag) erfassen?

Satellit



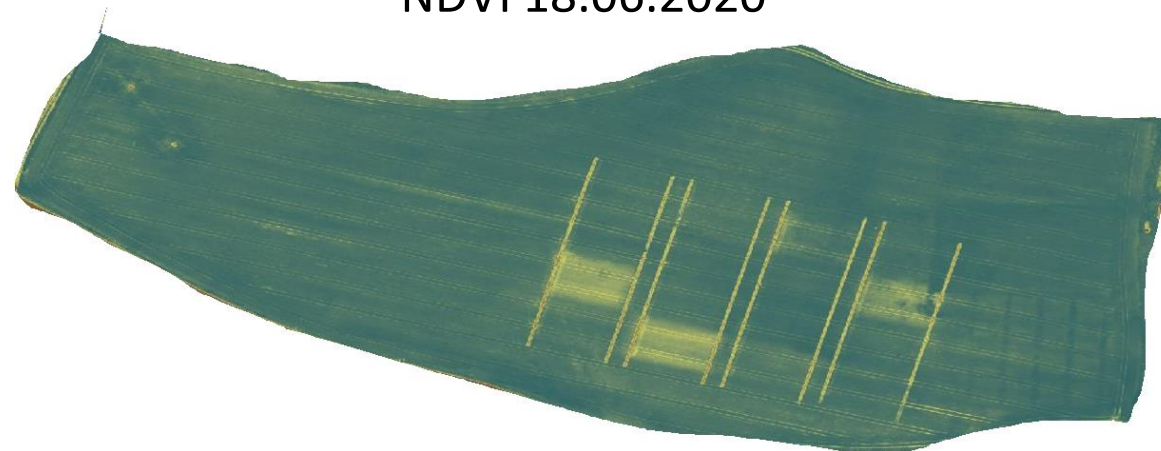
NDVI 02.06.2020



Drohne/UAV

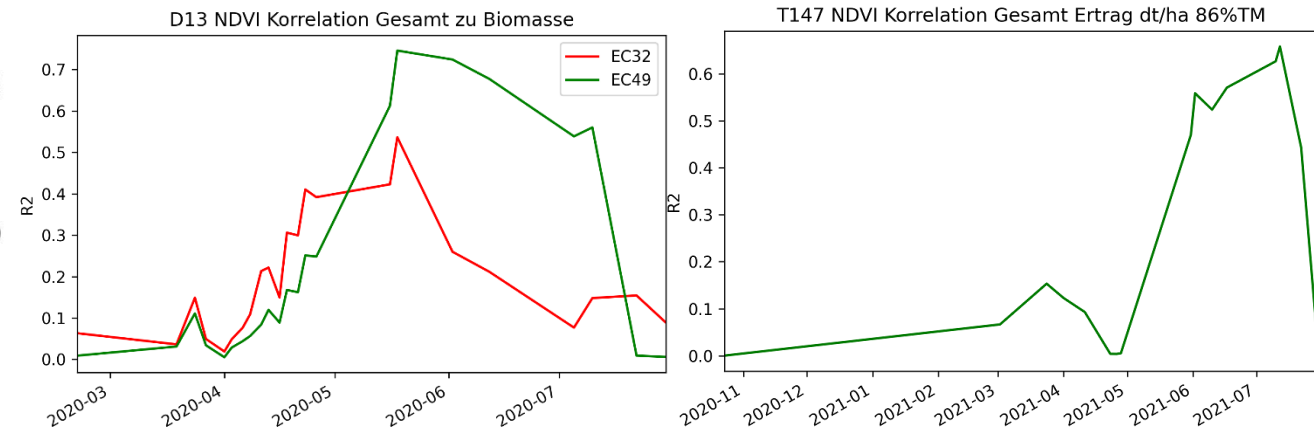
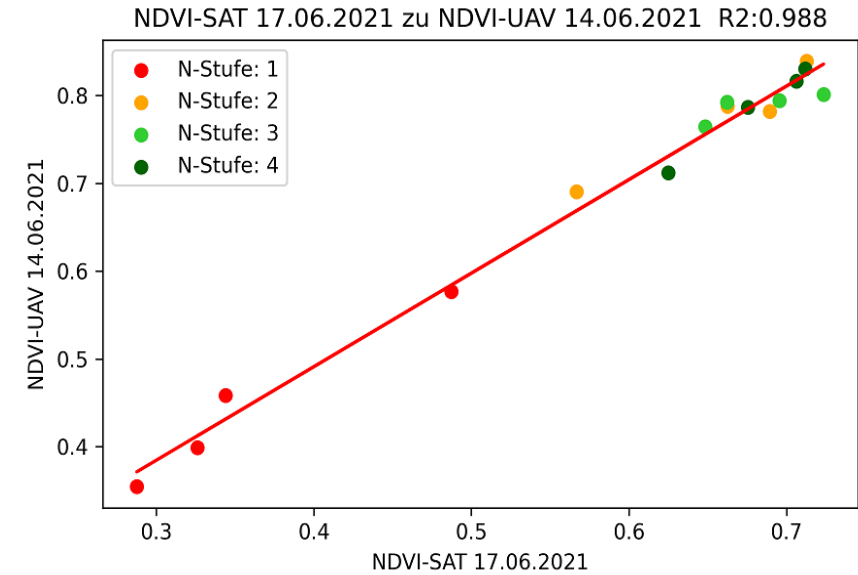
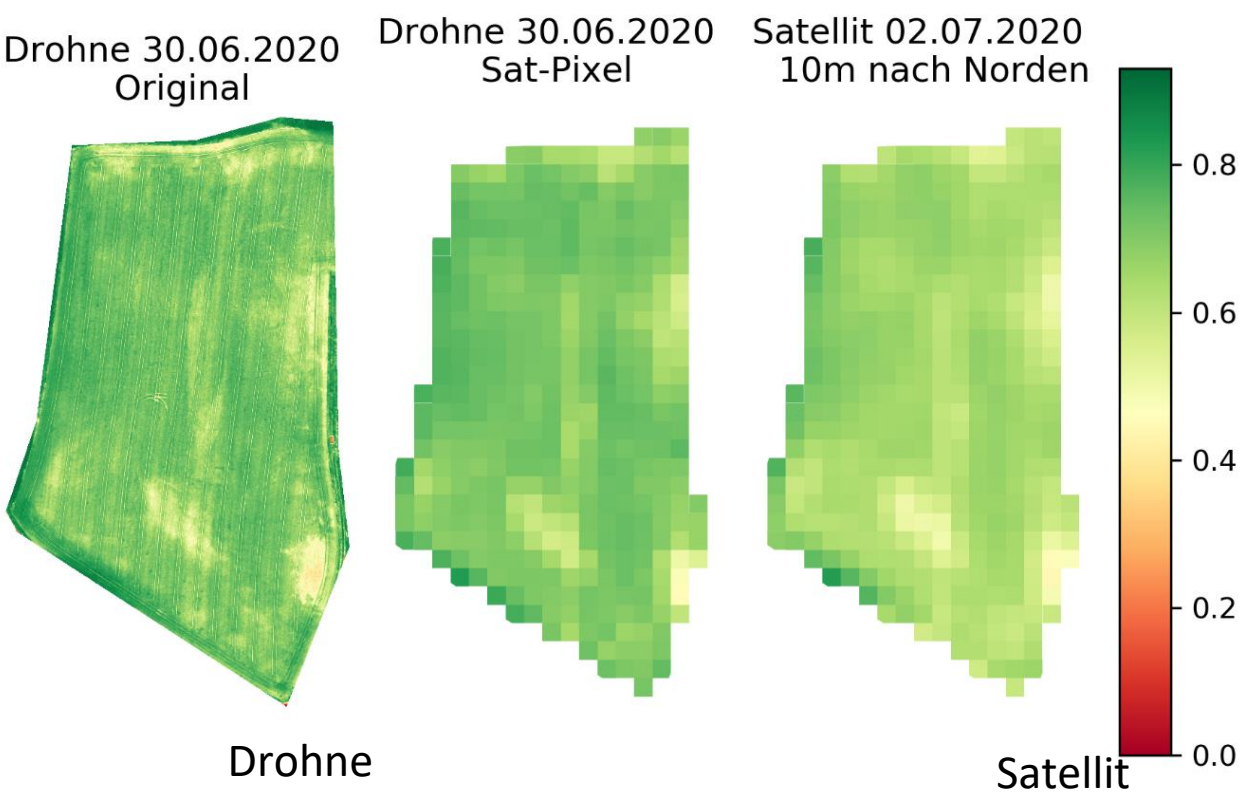


NDVI 18.06.2020

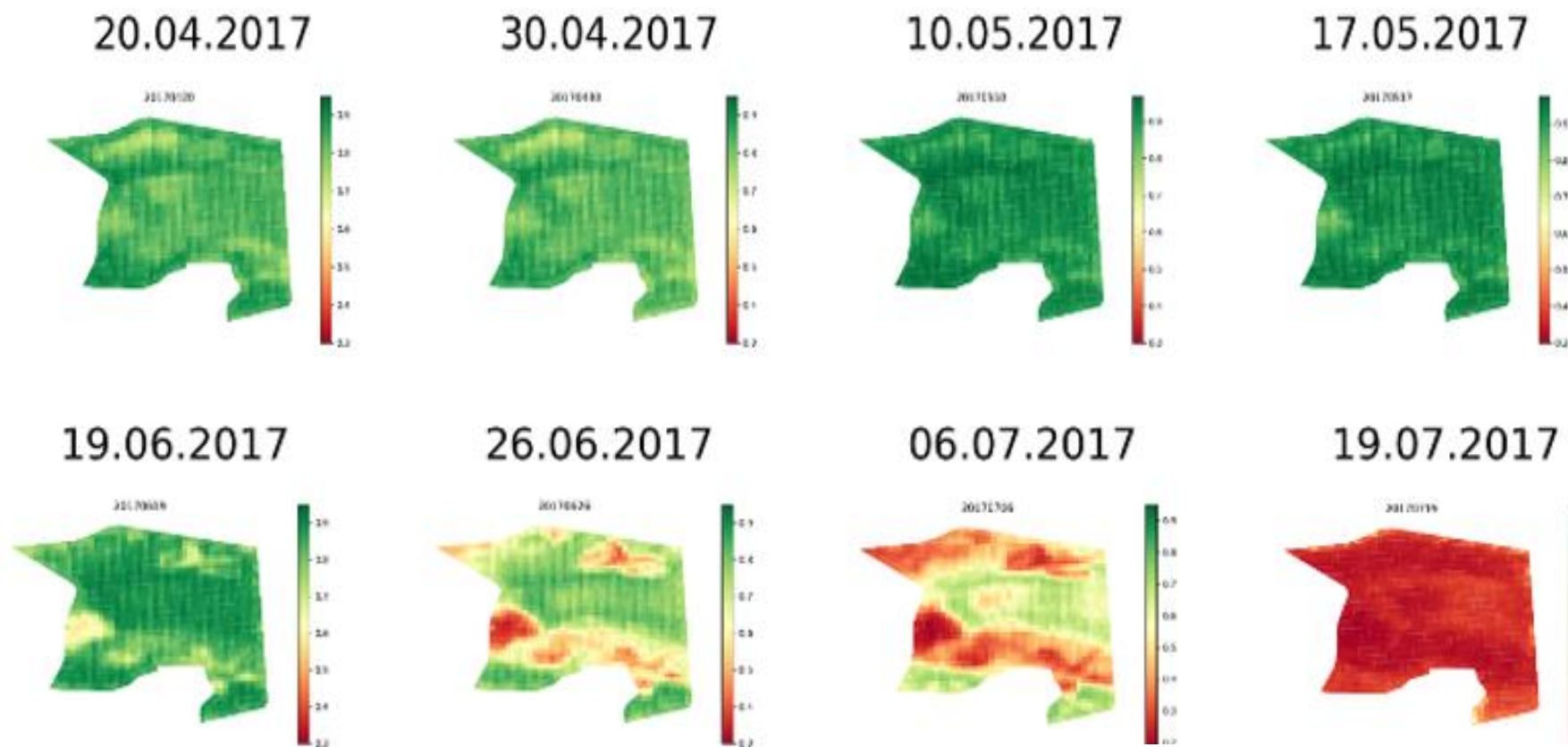


Korrelation Satellit zu Drohne bzw. Biomasse/Ertrag

Korrelation Satellit-Drohne: 0.78 R2

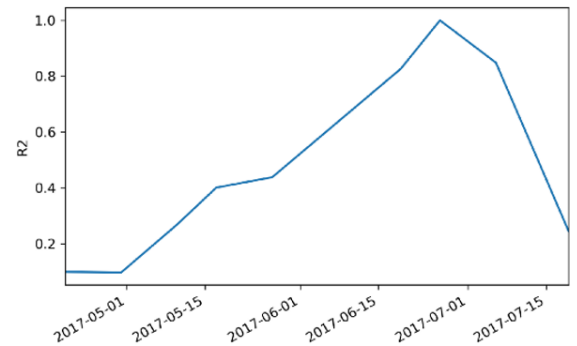


Satelliteninformation: Beziehung zum Ertrag/Managementzonenkarte



Lösch, M. (2022)

Korrelation NDVI am 26.06.2017 zu anderen Terminen



Ertragskarten



Abgrenzung Ertragszonen

