

SatGrass - Pilotstudie

Nutzung von Fernerkundungs- und Klimadaten zur
Beschreibung von Ertrags- und Qualitätsdynamiken im Grünland



Abschlussbericht SatGrass

Projekt Nr.: 101313

**Nutzung von Fernerkundungs- und Klimadaten zur
Beschreibung von Ertrags- und Qualitätsdynamiken im Grünland**

**Use of remote sensing and climate data to
specify yield and quality dynamics in grassland**

Projektleitung:

Mag. Dr. Andreas Schaumberger, MSc, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Ing. Andreas Klingler, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Univ.Doz. Dr. Erich M. Pötsch, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Medardus Schweiger, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Manuel Adelwöhrer, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Dr. Francesco Vuolo, Institut für Geomatik, Universität für Bodenkultur

Projektlaufzeit:

2018 – 2020

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
raumberg-gumpenstein.at

Autorinnen und Autoren: Andreas Schaumberger und Andreas Klingler
Gesamtumsetzung: Andreas Schaumberger

Copyright und Haftung: Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundeskanzleramtes und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtssprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus finanziert.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an andreas.schaumberger@raumberg-gumpenstein.at.

Inhalt

1 Einleitung	4
2 Material und Methoden.....	5
2.1 Beobachtungsfläche und Versuchsanlage	5
2.2 Datenerhebungen.....	8
2.2.1 Pflanzenbestandsbeobachtungen.....	8
2.2.2 Feldspektroskopie	8
2.2.3 Sentinel-2-Erdbeobachtungen.....	9
2.2.4 Blattflächenindex	10
2.2.5 Chlorophyll-Messungen mit Minolta SPAD-502	13
2.2.6 Destruktive Erhebungen und Probenanalyse	14
2.3 Statistische Analysen	15
3 Ergebnisse	16
3.1 Blattflächenindex als Basisparameter.....	16
3.2 Modellierung von Ertrag und Qualität im Grünland	19
4 Zusammenfassung und Ausblick.....	21
5 Projektfortführung	22
6 Projektpublikationen	23
7 Projektpräsentationen.....	24
8 Literatur	26

1 Einleitung

Die rasante technologische Entwicklung der letzten Jahrzehnte schaffte Möglichkeiten, die gesamte Erdoberfläche in hoher räumlicher Auflösung von einigen Metern und in Wiederholungsraten von nur wenigen Tagen vollständig aufzunehmen. Mit dem Programm Copernicus der Europäischen Kommission steht eines der leistungsfähigsten Systeme zur Beobachtung von Atmosphäre, Landoberfläche und Wasser für alle kostenlos und frei zur Verfügung.

Für die Landwirtschaft ist diese neue Generation der Erdbeobachtung von ganz besonders hohem Interesse, da mit Copernicus und dessen Satelliten Sentinel-1 (Radarsensoren) und Sentinel-2 (Multispektralsensoren) erstmals die Möglichkeit besteht, auf Feldebene verschiedenste Aspekte der Bewirtschaftung in kurz aufeinanderfolgenden Zeitabständen zu betrachten. Sowohl Umweltbedingungen, wie beispielsweise die Bodenfeuchte, als auch das Pflanzenwachstum selbst können so kontinuierlich beobachtet und zur Optimierung und Anpassung der Landbewirtschaftung herangezogen werden.

Bevor jedoch die von den Satelliten abgetastete Erdoberfläche in Form von Radar- und Multispektraldaten für die praktische Landwirtschaft nutzbar wird, braucht es eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung in zwei Schritten. Zunächst müssen die Rohdaten so verarbeitet werden, dass sie für konkrete Anwendungen brauchbar sind; dazu gehören Atmosphärenkorrektur, geometrische und radiometrische Korrektur, Maskierung und Bewertung der Wolkenbedeckung, Berechnung von Vegetationsindizes, usw. In einem zweiten Schritt werden Zusammenhänge zwischen pflanzenbaulichen Beobachtungen und Satellitendaten systematisch erforscht.

Im Projekt SatGrass wurde der Zusammenhang zwischen multispektralen Copernicus-Satellitendaten und der qualitativen und quantitativen Entwicklung von Grünlandbeständen untersucht. Anhand von kontinuierlichen und in wöchentlichen Abständen wiederholten destruktiven und nicht-destruktiven Messungen auf einem eigens dafür angelegten Grünlandfeldversuch, eingebettet in eine Praxisfläche, wurde in Kombination mit klimatischen Einflussgrößen überprüft, ob und wie gut sich Fernerkundungsdaten zur qualitativen und quantitativen Beschreibung der Wachstumsdynamik von Grünlandbeständen eignen.

Das zweijährige Projekt wurde als Pilotstudie angelegt, um Arbeitsumfang, Datenerhebungsmöglichkeiten und das Potenzial der Ergebnisse besser einschätzen zu können. Ziel war es, mit den gesammelten Erfahrungen ein deutlich umfangreicheres Forschungsprojekt zu starten.

2 Material und Methoden

2.1 Beobachtungsfläche und Versuchsanlage

Die Versuchsfläche befindet sich im steirischen Ennstal, einem für Österreich typischen Grünlandgebiet auf einer Seehöhe von 643 m. Die langjährige Durchschnittstemperatur (1981-2010) liegt bei 8,2 °C und der durchschnittliche Jahresniederschlag bei 1056 mm. Die Versuchsfläche auf einem Augley-Boden ist eine 4,6 ha große Praxisfläche, die von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bewirtschaftet wird. Mit einer Nutzungshäufigkeit von vier Schnitten pro Jahr gehört sie zu den intensiv genutzten Dauergrünlandflächen in diesem Gebiet. Bei der Auswahl spielte die Größe der gesamten Versuchsfläche eine wichtige Rolle, da sich mehrere Bereiche für die Satellitenbeobachtungen mit jeweils mindestens 50 x 50 m homogener Vegetationsoberfläche und zusätzlich eine Fläche für die Einrichtung eines Exaktversuches zur kontinuierlichen Datenerhebung darauf befinden sollten.

Um valide Beziehungen zwischen den Exaktversuchspartellen und den Satellitenbeobachtungsflächen herstellen zu können, wurde auf die botanische Homogenität der Flächen geachtet. Dabei wurden unter anderem Satellitenaufnahmen analysiert, um vergleichbare Bereiche innerhalb des Versuchsfeldes zu detektieren. In *Abbildung 1* sind die Messbereiche 1 bis 3 für nicht-destruktive Erhebungen sowie die Exaktversuchsfläche als grünes Rechteck dargestellt.

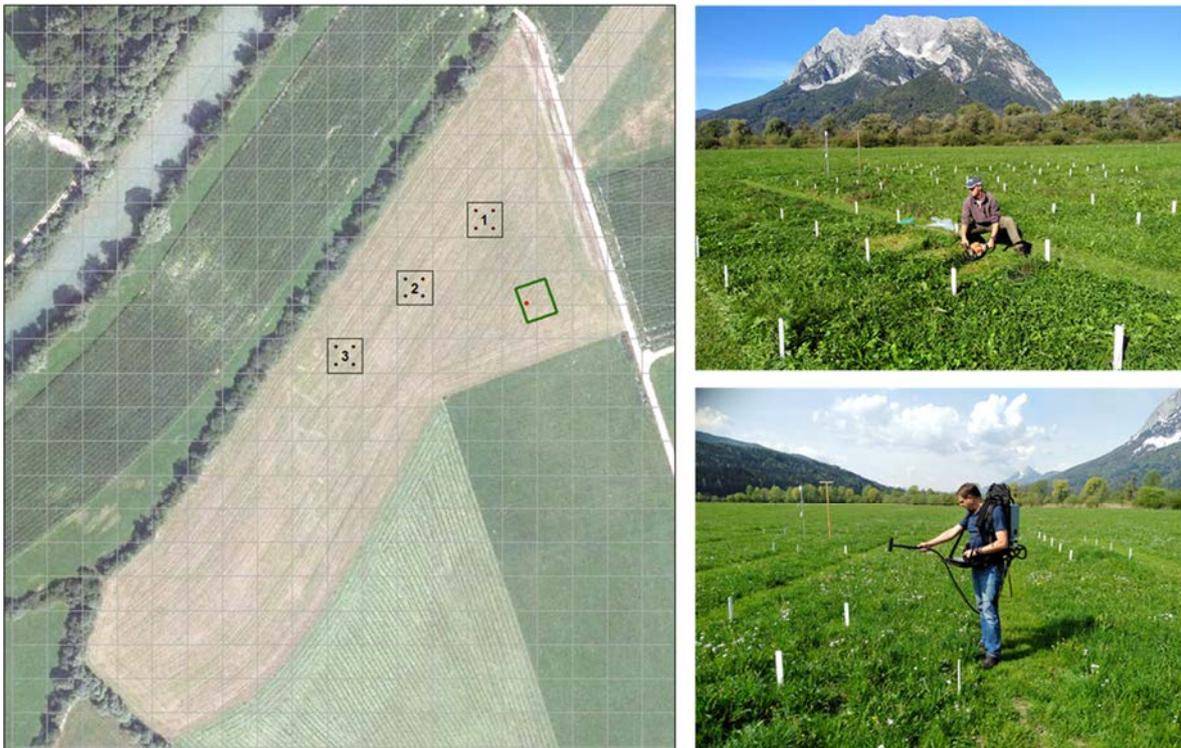


Abbildung 1: Dauergrünlandfläche mit Bereichen für die Satellitenbeobachtung und einem Exaktversuch

Mithilfe eines GPS-Gerätes (Trimble Geo 7X) mit DGPS-Genauigkeit (APOS des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen) wurden die in *Abbildung 1* dargestellten Messbereiche 1 bis 3 zu Beginn eines jeden Aufwuchses mit Markern gekennzeichnet. In Abstimmung mit dem 10- bzw. 20-Meter-Tiling-Grid von Sentinel-2 fanden in den einzelnen Messbereichen an jeweils vier Positionen Erhebungen mit einem Feldspektrometer sowie nicht-destruktive Messungen des Blattflächenindex (LAI – Leaf Area Index) in wöchentlichem Abstand statt.

Um eine enge Beziehung zwischen nicht-destruktiven Messungen in den Bereichen 1 bis 3, den dort verfügbaren Multispektralaufnahmen der Sentinel-2-Satelliten sowie den destruktiven Erhebungen von Ertrag und Qualität zum jeweils gleichen Zeitpunkt herstellen zu können, wurde auf dem Grünlandfeldstück ein Exaktversuch angelegt, der im Frühjahr 2018 eingemessen und mittels Bodenmarkern gekennzeichnet wurde (*Abbildung 2*). Innerhalb der Vegetationsperiode wurden hier auf der in Kleinparzellen unterteilten Versuchsfläche jede Woche nicht-destruktive Messungen (LAI, Spektren) durchgeführt, jeweils ein Quadratmeter geerntet und das Futter im Labor analysiert.



Abbildung 2: Vermessung und Anlage der Exaktversuchsfläche

Bei dieser Versuchsanlage handelt es sich um eine randomisierte Anordnung von Kleinparzellen im Split-Plot-Design für vier Aufwüchse mit dreifacher Wiederholung (vgl. *Abbildung 3*). Ein Block mit acht Parzellen enthält sechs Parzellen, welche für wöchentliche Ernten vorgesehen sind, sowie zwei Reserveparzellen. Die Reserveflächen wurden dann verwendet, wenn die Repräsentativität einer Kleinparzelle durch Bestandeslücken, Schädlingsbefall, Pflanzenbestandsveränderungen, usw. nicht mehr gegeben war.

Zum Erntezeitpunkt des gesamten Grünlandfeldstück wurde auch innerhalb des Exaktversuches der jeweils aktuelle Aufwuchs mit einer letzten Ernte abgeschlossen und alle Parzellen ebenfalls geschnitten. Ausgenommen davon waren Parzellen in einem mittleren Streifen der Versuchsanlage. Hier wurden zwei Parzellen in dreifacher Wiederholung stehen gelassen, um für weitere zwei Wochen die Entwicklung von Ertrag und Qualität mit nicht-destruktiven und destruktiven Messungen beobachten zu können (Parzellen mit den Kürzeln 1S1a bis 4S2b). Auf

diese Weise blieb gewährleistet, dass der Verlauf von Ertrag und maßgeblichen Futterwerten auch über den Erntezeitpunkt hinaus beschrieben werden kann.

Neben Vegetationskennwerten aus Satellitenbeobachtungen spielt die Witterung für die Modellierung von Ertrag und Qualität eine zentrale Rolle, da sie die phänologische Entwicklung des Grünlandbestandes maßgeblich beeinflusst. Um möglichst genaue Daten zur Modellierung heranziehen zu können, wurde im Bereich des Exaktversuches eine All-in-one Wetterstation (ATMOS 41 von Meter Group) zur Messung der wichtigsten meteorologischen Kenngrößen installiert. Neben atmosphärischen Daten werden zusätzlich laufend Bodenfeuchte und Bodentemperaturen in drei verschiedenen Bodentiefen (10, 20 und 50 cm) gemessen. Für die Modellierung finden in erster Linie Temperatur, Globalstrahlung, Wind, Luftfeuchte und Niederschlag Verwendung.

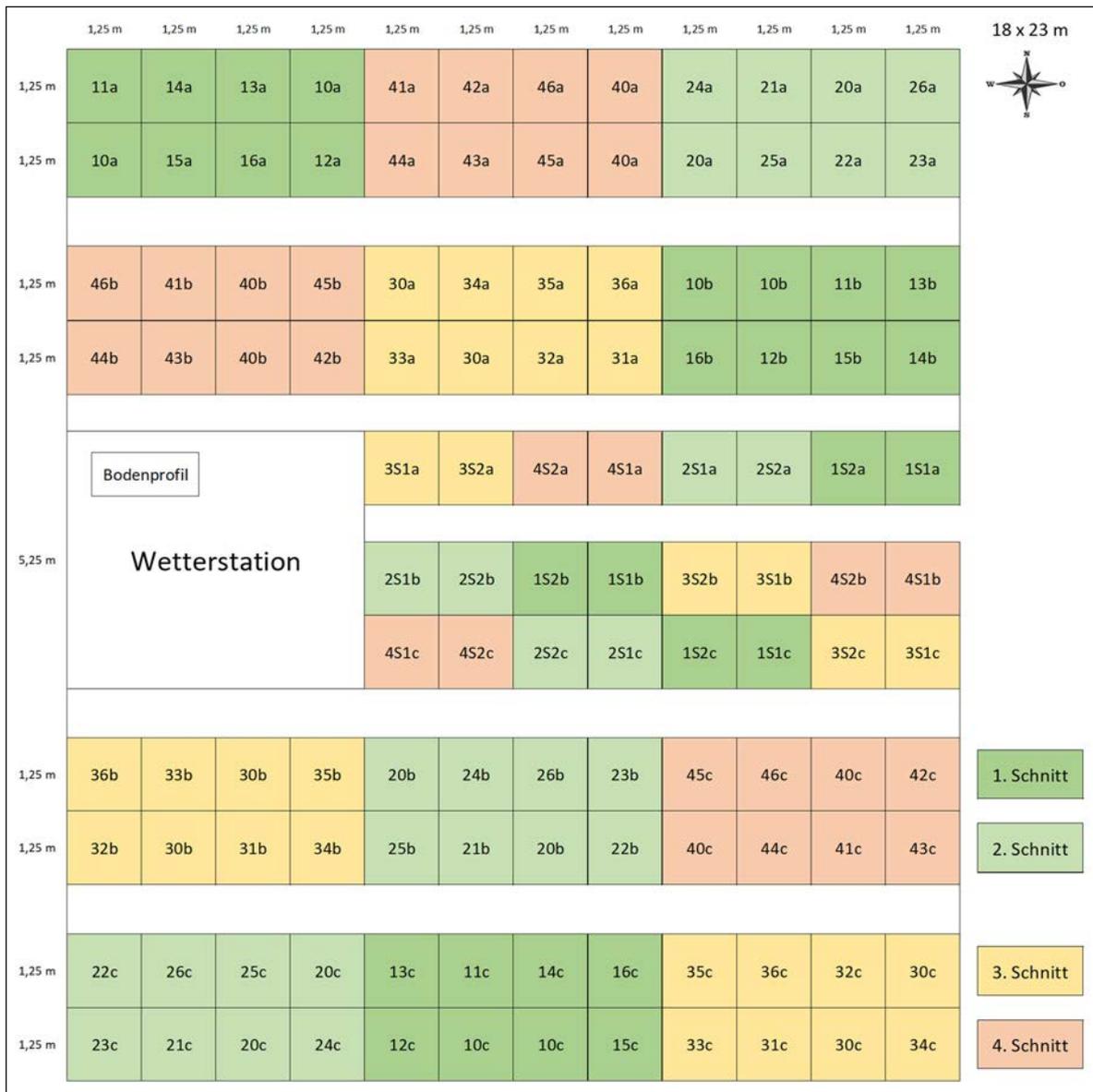


Abbildung 3: Versuchsplan im Split-Plot-Design mit vier Nutzungen und dreifacher Wiederholung

2.2 Datenerhebungen

2.2.1 Pflanzenbestandsbeobachtungen

Bevor ein Pflanzenbestand mit verschiedenen Sensoren vermessen sowie einer anschließenden destruktiven Probennahme unterzogen wurde, erfolgte eine visuelle Charakterisierung. Dabei wird die botanische Zusammensetzung nach Klapp (1930), aufgegliedert nach Artengruppen (Gräser, Kräuter und Leguminosen) sowie der Deckungsgrad nach Braun-Blanquet (1951) innerhalb des mit einem Rahmen abgegrenzten Quadratmeters bestimmt. Die Information über die Pflanzenbestandszusammensetzung dient in erster Linie der Interpretation von Messdaten und bietet eine Unterstützung für die Bewertung der Modellergebnisse. Die Datenerfassung folgte den in Peratoner und Pötsch (2015) bzw. Peratoner und Pötsch (2019) beschriebenen Methoden.

Neben der visuellen Beobachtung des Pflanzenbestandes wurde die Wuchshöhe mit Hilfe eines Zollstocks in dreifacher Messwiederholung erfasst. Weiters wurde mit dem Rising Plate Meter (RPM) eine Maßzahl für die Quantität des Grünlandbestandes bestimmt; ebenfalls in dreifacher Wiederholung. Sowohl Wuchshöhe als auch RPM-Werte dienen der näheren Spezifikation des Bestandes und wurden auf ihre Eignung als Prädiktoren in Ertrags- und Qualitätsmodellen getestet. Vor der destruktiven Probennahme wurde vom Pflanzenbestand der jeweiligen Versuchsparzelle noch ein Foto mittels GoPro-Kamera aufgenommen.

2.2.2 Feldspektroskopie

Mit Hilfe der Spektroskopie können auf vergleichsweise einfache und berührungslose Weise biologische Systeme hinsichtlich ihrer Komponenten, Strukturen und molekularer Wirkungsweisen analysiert werden. Dazu erfassen geeignete Sensoren die Interaktion der elektromagnetischen Strahlung mit Materie, welche je nach Wellenlänge auf unterschiedlichem Energieniveau erfolgt. Das Spektrum reicht von hoch energetischen, kurzwelligen Gammastrahlen über die Wellenlängen des sichtbaren Lichts bis hin zu den langwelligen und energiearmen Radiowellen (Hammes, 2005). Das Ergebnis einer spektroskopischen Messung ist eine spektrale Signatur, die den Anteil der absorbierten, transmittierten und reflektierten elektromagnetischen Strahlung über einen bestimmten Wellenbereich ausweist.

Feldspektrometer, ausgestattet mit Hyperspektralsensoren, bieten die Möglichkeit, kontinuierliche Signalkurven über zusammenhängende Bereiche des Spektrums zu generieren. Für konkrete Anwendungen ist es sinnvoll, den Messbereich auf dafür relevante Wellenbereiche abzustimmen. So ist es beispielsweise bei einer Beobachtung der Vegetation erforderlich, sowohl den Bereich des sichtbaren Lichtes (400 bis 700 nm) als auch die Signatur im nahen (700

bis 1400 nm) und fallweise im kurzwelligen (1400 bis 3000 nm) Infrarotbereich (NIR bzw. IR-A und SWIR bzw. IR-B) zu untersuchen. Im Projekt SatGrass wurde das Feldspektrometer HandySpec Field VIS/NIR 1.7 (tec5) eingesetzt. Der erste der beiden verbauten Sensoren (360 bis 1100 nm) weist eine spektrale Auflösung von 10 nm und der zweite Sensor (1000 bis 1690 nm) 5 nm auf. Die Ausgabe der Spektralsignatur erfolgt nach einem Resampling einheitlich in Ein-Nanometer-Schritten, d. h. geringere Auflösungen werden interpoliert und ergeben damit eine mehr oder weniger starke Glättung der Signatur.

Die Kalibrierung mittels Graureferenzadapter wird bei diesem Gerät in der Regel zu Beginn einer Messkampagne vorgenommen. Das HandySpec erfasst zunächst die Reflexion des Pflanzenbestandes und unmittelbar darauf mit dem nach oben gerichteten Cosinus-Korrektor die Umgebungsstrahlung. Solange die Strahlungsbedingungen während des kurzen Zeitabstandes zwischen den beiden zusammengehörenden Messungen stabil sind, können korrekte Messungen erwartet werden, auch wenn sich die Atmosphäre während der Messkampagne insgesamt verändert. Die besten Ergebnisse sind zu erzielen, wenn konstant hohe Strahlungsintensitäten, also wolkenlose Bedingungen über den gesamten Messzeitraum bestehen. Aufgrund der Tatsache, dass die direkte Strahlung in Abhängigkeit des Sonnenstandes einen erheblichen Einfluss auf die Schattenbildung innerhalb des Bestandes und damit die Reflektanz hat, wurde bei den Messungen darauf geachtet, dass die Azimutwinkel von einfallender und reflektierter Strahlung möglichst gering sind (Milton, 1987). Messungen am Feld wurden deshalb vorzugsweise um die Tagesmitte vorgenommen.

Neben einer vierfach wiederholten Messung in den Versuchspartzellen wurde auch Spektren auf dem Grünlandfeldstück in Abstimmung mit dem 10 Meter Tiling-Grid von Sentinel-2 in den drei Messbereichen an den vermarkten vier Positionen (siehe *Abbildung 1*) in vierfacher Wiederholung (48 Einzelmessungen) erhoben und anschließend zu drei Mittelwertspektren zusammengefasst. Um über die zeitliche Entwicklung des Pflanzenbestandes die Dynamik von Ertrag und Qualität erfassen zu können, wurden die Erhebungen wöchentlich durchgeführt. Detaillierte Informationen zur methodischen Umsetzung der Spektralmessungen können Schaumberger *et al.* (2015) entnommen werden.

2.2.3 Sentinel-2-Erdbeobachtungen

Die Sentinel-2-Satelliten zählen zur neuesten Generation von Erdbeobachtungssatelliten im Rahmen des Weltraumprogramms Copernicus der Europäischen Union. Durch die hohe Wiederholrate von fünf Tagen am Äquator und die hohe räumliche Auflösung, eröffnen sich vor allem für den landwirtschaftlichen Sektor vielfältige Anwendungsmöglichkeiten (Drusch *et al.*, 2012). Mithilfe der Sentinel-2-Satelliten können im Bereich der Erdbeobachtung Landnut-

zungskarten, Landnutzungsänderungen, geo- und biophysikalische Variablen und viele weitere Parameter erstellt werden (ESA, 2018a). Um die Sentinel-2-Daten mit den Bodenmessungen vergleichen zu können, wurden die Werte aus dem Zentrum des nächstliegenden Pixels der Satellitenaufnahme mit einem Puffer von 10 m herangezogen und den Bodenmessungen gegenübergestellt. Die Aufbereitung der Sentinel-2-Daten erfolgte durch das Institut für Geomatik der Universität für Bodenkultur Wien. Sämtliche verwendete Sentinel-2-Daten wurden über das Datenportal Sentinel-2 Value Adder bezogen. Eine genaue Beschreibung der Datenaufbereitung sowie der erhältlichen Produkte findet sich in Vuolo *et al.* (2016).

2.2.4 Blattflächenindex

AccuPAR/LAI Ceptometer LP-80

Die Messung des Blattflächenindex (LAI) erfolgte mit dem AccuPAR/LAI Ceptometer Model LP-80 mit dem die fotosynthetisch aktive Strahlung (Photosynthetically Active Radiation – PAR) im Wellenlängenbereich von 400-700 nm erfasst wird. Die PAR stellt eine Kombination aus transmittierter und durch Blätter gestreute Strahlung dar. Durch Inversion eines PAR-Modells für Vegetation wird in weiterer Folge der LAI berechnet. Die genauen Gleichungen können im Operators Manual (Meter, 2018) eingesehen werden. Die Messungen des LAI erfolgten in denselben Bereichen wie die feldspektroskopischen Erhebungen.

Der LAI wurde sowohl in den Versuchspartellen als auch im Feldstück in den Messbereichen 1 bis 3 erhoben. Um zu verhindern, dass der Bestand durch das wöchentliche Messprozedere zu stark beeinträchtigt wird, wurde an den vier Positionen innerhalb eines jeden der drei Messbereiche jede Woche abwechseln gemessen. Dabei setzte sich ein LAI-Wert pro Messpunkt aus 24 Einzelmessungen zusammen, die in einem Radius von ca. 2 m um den Referenzsensor, jeweils um 15° versetzt erhoben wurden (vgl. Abbildung 4).

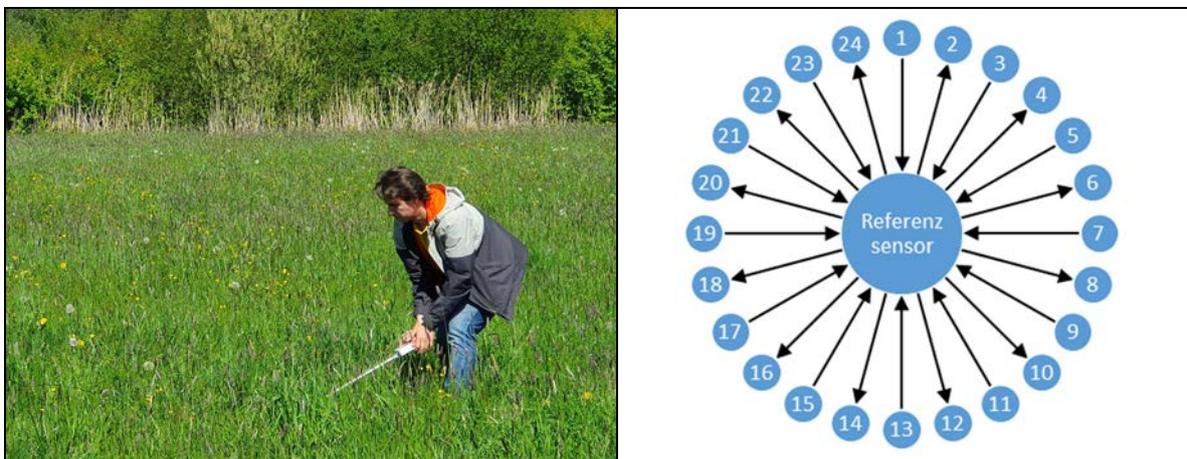


Abbildung 4: Messung des LAI mittels AccuPAR LP-80

Die Pfeile in der Darstellung entsprechen der Messrichtung und die Nummern der Reihenfolge der Messung. Mit der Vermarkung der vier Positionen bleibt gewährleistet, dass alle im Bestand gemessenen Spektren und LAI-Werte den entsprechenden Bildpixeln in den Sentinel-2-Aufnahmen gegenübergestellt werden können. Für die LAI-Messung wurden folgende Rahmenbedingungen zur Anwendung gebracht:

- Alle acht Segmente des Sensors müssen aktiviert sein.
- Für die Kalibrierung des Ceptometers muss die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) über $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ liegen.
- Für die Kalibrierung müssen die Ceptometersensoren auf das gleiche Niveau wie der externe Sensor für die Messung der Umgebungsstrahlung gebracht werden.

Der Leaf-Distribution-Parameter wird mit 2,12 festgelegt. 1 würde einer sphärischen Verteilung entsprechen. Vertikale Kulturen (Zwiebeln) haben einen Wert von < 1 , horizontale Pflanzen (Erdbeeren) würden beispielsweise einen Wert von 3 verlangen. Der Wert 2,12 repräsentiert eine für Grünland typische Mischung von vertikalen bzw. horizontalen Bestandbildnern.

LI-COR LAI-2200C Plant Canopy Analyser

Das Instrument LAI-2200C zur Schätzung des LAI dient ebenso wie das AccuPAR der zerstörungsfreien Bestimmung des LAI, basierend auf Strahlungsmessungen mit einem optischen 360°-Fischaugen-Sensor. Dazu wird hintereinander oberhalb und unterhalb des Bestandes gemessen und beide Werte in einem Strahlungstransfermodell verrechnet, um den Grad der Abschattung durch die Pflanzen für mehrere Winkel zu bestimmen (vgl. LI-COR, 2018). Um mögliche Fehler bei den Messungen zu minimieren, wurden folgende Maßnahmen eingehalten:

- Das Instrument wird in der Regel bis zu zwei Stunden nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang unter diffusen Strahlungsbedingungen betrieben, um Mehrfachstreuungen bei den Messungen zu reduzieren.
- Das Sichtfeld des Sensors wird mit einer 180°-View-Cap begrenzt, um Störungen und Abschattungen durch den Bediener selbst zu verhindern,
- Die Messungen werden grundsätzlich azimuthal entgegengesetzt zum Azimutwinkel der Sonne ausgerichtet.

Die Messungen mit dem LAI-2200C-Instrument wurden in SatGrass parallel zu jenen mit dem AccuPAR auf den Versuchspartzellen sowie in den Feldstücksbereichen 1 bis 3 durchgeführt. Die Referenzmessungen oberhalb des Bestandes erfolgten je nach Witterungsverhältnissen vor bzw. nach sechs Bestandesmessungen bei optimalen Verhältnissen und verringerten sich auf ein bis zwei Bestandesmessungen zwischen den Referenzmessungen bei ungünstigen Witterungsverhältnissen (z.B. ungleichmäßige Bewölkung).

HandySpec Field VIS/NIR 1.7 (tec5)

Die mit dem Feldspektrometer erfassten Hyperspektralsignaturen können ebenfalls zur Berechnung eines Blattflächenindex herangezogen werden. Um aus diesen Daten den entsprechenden LAI-Wert zu generieren, der jenem entspricht, der aus den Sentinel-2-Multispektralkanälen errechnet wird, werden die Hyperspektraldaten mit Hilfe von Spectral Response Functions (SRF-S2) in Sentinel-2-konforme Multispektraldaten umgeformt (ESA, 2018b). Das fehlende Sentinel-2-Band 12, welches außerhalb des spektralen Aufnahmebereichs des verwendeten Feldspektrometers liegt, wurde anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$B12 = -1.774155 + B2 * (-0.367618) + B4 * 0.706318 + B6 * (-0.036889) + B11 * 0.557938$$

Aufgrund der leichten Überschätzung des Feldspektrometers im hohen Reflexionsbereich (vgl. Abbildung 7), wurden sämtliche Reflexionswerte des Feldspektrometers mit nachfolgender Gleichung an die Sentinel-2-Reflexionen angepasst:

$$RFspec_{adj} = 1,06301245 + RFspec * 0,95792555$$

$RFspec_{adj}$ entspricht den angepassten, $RFspec$ den ursprünglichen spektralen Reflexionswerten des Feldspektrometers. Mithilfe eines Neuronalen Netzes nach Baret *et al.* (2010) wurde der Blattflächenindex aus den umgeformten Multispektraldaten des Feldspektrometers und aus den Sentinel-2-Daten auf gleiche Weise berechnet. Dabei wurde das Neuronale Netz speziell an die Daten von Sentinel-2 angepasst und mit Werten aus den physikalischen Strahlungstransfermodellen PROSPECT und SAIL (Jacquemoud *et al.*, 2009, Verhoef, 1984) trainiert.

Destruktive Bestimmung des Blattflächenindex mittels planimetrischer Erhebung

Während die strahlungsbasierte Bestimmung des Blattflächenindex mit optischen Sensoren eine schnelle, jedoch nur indirekte Methode darstellt, ist eine exakte Messung der Blattfläche selbst zwar sehr genau, aber mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden. Im Rahmen von SatGrass wurden während des ersten Aufwuchses 2019 zusätzlich zu den wöchentlichen Sensormessungen am Feld auch destruktive LAI-Erhebungen vorgenommen. In den drei Feldstück-Messbereichen (vgl. *Abbildung 1*), in denen Daten aus Sentinel-2, AccuPAR, LAI-2200C und Feldspektrometer zur Verfügung stehen, wurden 10 x 10 cm kleine Quadrate in dreifacher Wiederholung geerntet (vgl. *Abbildung 5*) und eine Teilprobe von 30 % des so gewonnenen Pflanzenmaterials für die planimetrische Messung aufbereitet.

Dazu wurden die Blätter an der Ligula vom Stängel getrennt und in photosynthetisch aktive und senescente Blätter unterschieden. Stängel und Blätter wurden getrennt in Klarsichthüllen gegeben und zusammen mit einer Rotreferenz mittels Flachbettscanner (EPSON Perfection V700 Photo) eingescannt (vgl. *Abbildung 5*). Die gescannten Bilder mit Stängel, photosynthetisch aktiven und seneszenten Blättern wurden anschließend mit der Software Easy Leaf Area

V2 (Easlon und Bloom, 2014) verarbeitet (<https://github.com/heaslon/Easy-Leaf-Area>). Zusätzlich wurden die Klarsichthüllen mit den Pflanzenteilen mit dem LI-COR LI-3100C erfasst.



Abbildung 5: Erntefläche für direkte LAI-Messung und planimetrische Aufbereitung der Blätter

Damit steht ein Datensatz zur Verfügung, der den Vergleich verschiedener indirekter Methoden untereinander sowie eine Gegenüberstellung mit der direkt gemessenen Blattfläche zulässt.

2.2.5 Chlorophyll-Messungen mit Minolta SPAD-502

Das Minolta SPAD-502 Blatt-Chlorophyll-Messgerät erfasst die Lichtdurchlässigkeit eines Blattes mit Hilfe zweier Leuchtdioden und gibt einen Indexwert aus. Das Messergebnis selbst kann in weiterer Folge aufgrund eines starken exponentiellen Zusammenhangs relativ einfach in einen Blattchlorophyllgehalt umgerechnet werden. Bei der Erstkalibrierung wandelt der SPAD-502-Prozessor einen von den roten (650 nm) und infraroten (940 nm) Lichtstrahlen erzeugten Strom in eine Spannung um und speichert diese digital ab. Wenn ein Blatt in das SPAD-502 geklemmt wird, misst es nacheinander die Transmission des roten und infraroten Lichts und zeigt im Ergebnis einen Wert an, der auf dem Verhältnis der gemessenen Spannung zum gespeicherten Kalibrationswert steht. Mit dem Gerät können in einem Messdurchgang bis zu 30 Werte erfasst und als Mittelwert ausgegeben werden (Markwell und Dale, 1999).

In SatGrass wurden SPAD-Messungen an den Blättern dreier Gräser, jeweils unterteilt in Fahnenblatt und andere Blätter, durchgeführt. Die Auswahl beschränkte sich auf die Hauptbestandbildner, von denen das Material auf den Versuchspartellen im Mantel rund um den geernteten Quadratmeter entnommen wurde. Vom Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*) wurden 15 Pflanzen gesammelt, vom Knaulgras (*Dactylis glomerata*) 10 Pflanzen und vom Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*) 5 Pflanzen. Die Messungen am Fahnenblatt wurde beim Wiesenfuchsschwanz an drei, beim Knaulgras an zwei und am Wiesenschwingel an einem Blatt vorgenommen. Die restlichen Messungen verteilten sich zufällig auf verschiedene Blätter der entnommenen Individuen. Bei jedem Blatt erfolgten drei Messungen in ausreichendem Abstand vom Blattgrund bis zur Blattspitze, die anschließend gemittelt wurden. Bei den wöchentlichen Ernten in den Jahren 2018 und 2019 wurden dabei insgesamt 5.670 Messungen durchgeführt.

2.2.6 Destruktive Erhebungen und Probenanalyse

Nach Abschluss aller nicht-destruktiven Messungen und Beobachtungen am Pflanzenbestand der Versuchspartellen wurde ein Quadratmeter geerntet. Dazu wurde ein Rahmen in einen möglichst repräsentativen Ausschnitt der Parzelle gelegt und der darin enthaltene Pflanzenbestand mit einer Heckenschere unter Einhaltung einer Schnitthöhe von 5-7 cm geschnitten. Aus dem gesammelten Material wurde pro Versuchspartelle eine Probe von 600 g mittels Probenstecher gezogen, die Trockenmasse mittels NIRS bestimmt und anschließend als Vorbereitung für die Laboranalyse getrocknet und vermahlen.

Das Erntegut aus den drei Wiederholungen (Einzelproben) wurde in weiterer Folge im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein umfassend analysiert und einer vollständigen Futtermittelanalyse gemäß VDLUFA (Methodenbuch III) unterzogen. Dazu gehört neben einer gravimetrischen Trockenmassebestimmung eine Weender Nährstoffanalyse, die Bestimmung des für die Modellierung der Qualität maßgeblichen Parameters Rohprotein nach Dumas, eine Analyse der Gerüstsubstanzen, der Mengen- und Spurenelemente sowie die Ermittlung der Verdaulichkeit nach Tilley und Terry (1963).

Wie bereits bei der SPAD-Messung beschrieben, wurden nach der Ernte des Quadratmeters aus dem verbliebenen Bestand der jeweiligen Versuchspartelle 15 Einzelpflanzen Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), 10 Knaulgras- (*Dactylis glomerata*) und 5 Wiesen-schwingelpflanzen (*Festuca pratensis*) gesammelt. Für alle beprobten Pflanzen wurde das Makro- und Mikrostradium nach BBCH (Meier *et al.*, 2009) bestimmt, die Länge gemessen und gewogen. Anschließend erfolgte eine Trennung in Stängel und Blätter, deren Gewicht getrennt bestimmt wurde. Das mittlere Entwicklungsstadium MSC und MSW (mean stage by count und mean stage by weight) wurde nach der BBCH-Skala wie folgt berechnet:

$$MSC = \sum_{i=1} \frac{S_i * N_i}{C}$$

MSC beschreibt das mittlere Stadium, S_i stellt den Wachstumsstadienindex, N_i die Anzahl der Pflanzen im Stadium S_i und C die Gesamtzahl der Pflanzen in der Stichprobe dar (Moore *et al.*, 1991).

$$MSW = \sum_{i=1} \frac{S_i * D_i}{W}$$

MSW stellt das mittlere Stadiumgewicht, S_i wieder den Wachstumsstadienindex, D_i das Gewicht der Pflanzen im Stadium S_i und W das Gesamtgewicht der Pflanzen in der Futterprobe dar (Fick und Mueller, 1989).

2.3 Statistische Analysen

Die Dynamik von Ertrag und Qualität im Grünland hängt von vielen Faktoren und ihren Wechselbeziehungen ab. Ziel der Modellierung ist es, diese Komplexität an Einflüssen soweit zu reduzieren, dass nur jene Parameter berücksichtigt werden, die einen möglichst hohen Beitrag zur Erklärung der Zielgrößen liefern. Wie in Abbildung 6 dargestellt, gehören dazu Vegetationskennwerte, abgeleitet aus Erdbeobachtungsdaten, welche bis zu einem gewissen Grad Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren subsumieren, sowie die Witterung mit den Schlüsselparametern für Wachstum und phänologische Entwicklung. Zur Modellkalibrierung und -validierung sind Versuchsdaten unerlässlich und bilden die dritte, äußerst wichtige Säule des Sat-Grass-Konzeptes als Grundlage für die Interpretation sämtlicher Sensordaten.

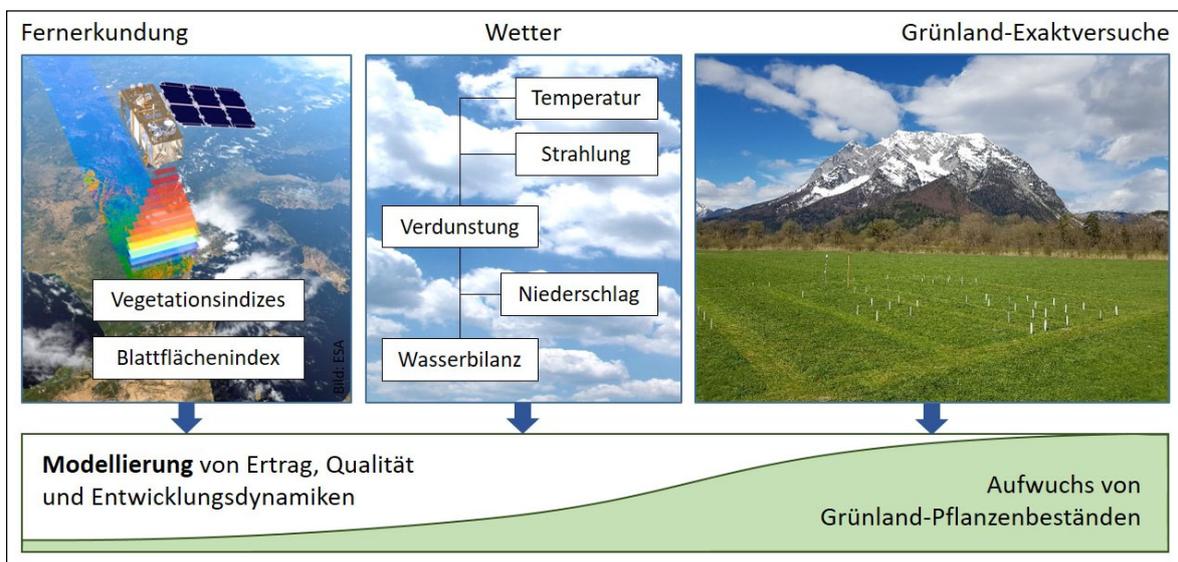


Abbildung 6: Konzept und Modellparameter für die Schätzung von Ertrag und Qualität im Grünland

Für die Biomasse- und Proteinmodellierung wurde ein künstliches neuronales Netz mithilfe der Funktion `avNNet` im R-Paket `caret` (Kuhn, 2015) trainiert. Als Prädiktoren für die Modelle wurden die Parameter Summe der Tagesmitteltemperatur, Summe der Globalstrahlung (Aufwuchs), Klimatische Wasserbilanz (Aufwuchs), LAI-Summe, Aufwuchstage, und Schnitthäufigkeit verwendet. Die Referenz-Evapotranspiration zur Ermittlung der Klimatischen Wasserbilanz wurde nach Penman-Monteih (Allen *et al.*, 1998) berechnet.

Um die LAI-Summe auf Basis täglicher LAI-Werte berechnen zu können, erfolgte eine lineare Interpolation zwischen den einzelnen LAI Messungen. Die Aufwuchstage entsprechen der Anzahl an Aufwuchstagen innerhalb der einzelnen Aufwüchse. Für Training und Validierung der Biomasse- und Proteinmodelle wurde der Datensatz in einen Trainingsdatensatz (75 % der Daten) und in einen Testdatensatz (25 % der Daten) geteilt. Die Unterteilung in Trainings- und Testdatensatz erfolgte nach einem zufälligen Prinzip.

3 Ergebnisse

3.1 Blattflächenindex als Basisparameter

Die aus Hyper- und Multispektraldaten abgeleiteten Vegetationskennwerte bilden eine wichtige Grundlage vieler Ertragsmodelle für unterschiedliche Kulturarten (Atzberger *et al.*, 2015, Bareth und Schellberg, 2018, Borra-Serrano *et al.*, 2019, Fricke *et al.*, 2011, Grüner *et al.*, 2019, Hakl *et al.*, 2012, Hutchings *et al.*, 1990, Lussem *et al.*, 2019, Trott *et al.*, 2002). Der Blattflächenindex oder LAI (Leaf Area Index) stellt unter diesen Kennwerten eine besonders wichtige Größe dar, da er in Verbindung mit zahlreichen biophysikalischen Prozessen, wie z.B. der Photosynthese, gebracht werden kann. Neben seiner Rolle als Indikator für die Biomasse, ist der LAI maßgeblich für Evapotranspiration und Interzeption verantwortlich und somit über den Einfluss auf den Wasserhaushalt der Pflanzen auch ein geeigneter Indikator für Wachstum und Entwicklung.

Bevor der Frage nach einer geeigneten Modellierung von Dynamiken für Ertrag und Qualität im Grünland nachgegangen werden kann, musste in SatGrass untersucht werden, inwieweit der aus Sentinel-2 abgeleitete LAI einen Zusammenhang mit Erhebungen auf kleinen Versuchspartellen aufweist. Nachdem die Erdbeobachtung mit einem Satellitensensor nur ab einer räumlichen Auflösung von 10 x 10 Meter, also deutlich über der Größe üblicher Versuchspartellen, sinnvoll ausgewertet werden kann, wurde der Zusammenhang zwischen Spektraldaten aus Feldspektrometern und Satellit untersucht. Zum Vergleich dienten Datenerhebungen auf den Messbereichen 1 bis 3 des Grünland-Feldstücks (vgl. *Abbildung 1*). Die mittels SRF-S2 umgeformten Hyperspektraldaten zeigen dabei den in *Abbildung 7* (links) dargestellten starken Zusammenhang von $R^2 = 0,98$ mit Sentinel-2-Spektralbändern.

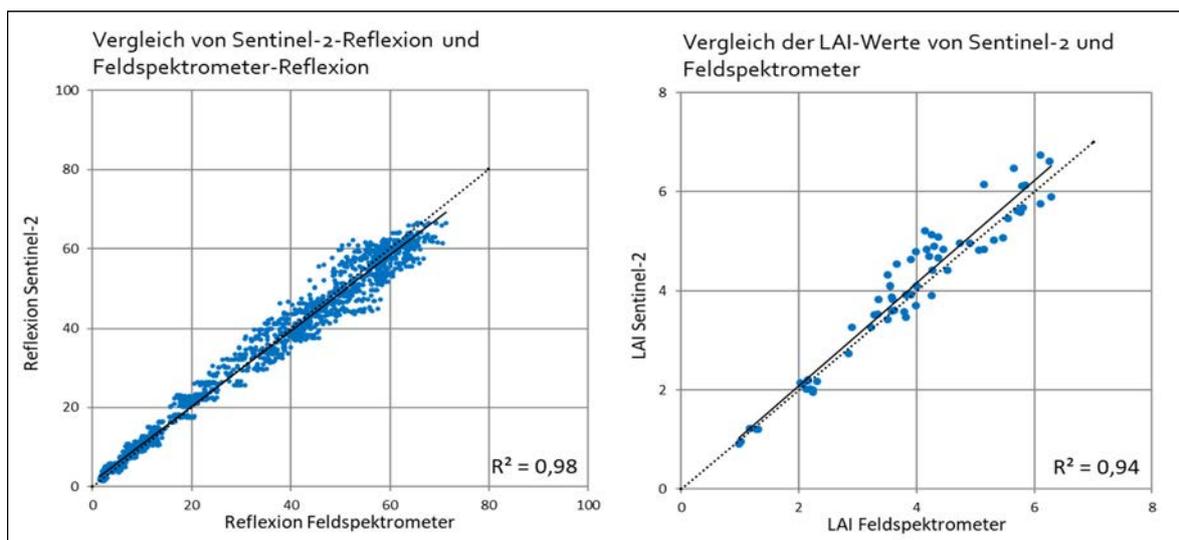


Abbildung 7: Vergleich von SRF-S2 transformierten Hyperspektraldaten mit Sentinel-2-Bändern (links) sowie in Vergleich von aus beiden Datenquellen errechneten LAI-Werten (rechts)

Die auf Kleinparzellen durchgeführten Erhebungen mittels Feldspektrometer und deren anschließende Umformung durch SRF-S2 sind gemäß der Auswertung in Abbildung 7 mit multispektralen Erdbeobachtungsdaten sehr gut vergleichbar. Auf Versuchsdaten aufbauende lokale Modelle können damit unter Verwendung von Satellitendaten auf räumliche Anwendungen übertragen werden. Diese Möglichkeit ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung eines operationellen und flächendeckenden Service zur Schätzung von Ertrags- und Qualitätsverläufen auf Grünlandflächen.

Der Blattflächenindex stellt einen für die Bestimmung von Entwicklungsdynamiken im Grünland maßgebliche Modellprädiktor dar. Abbildung 7 (rechts) zeigt den starken Zusammenhang zwischen den aus Sentinel-2 und aus Hyperspektraldaten abgeleiteten Indexwerten. Damit kann nachgewiesen werden, dass LAI-Erhebungen auf den Versuchspartellen zur Kalibration und Validierung von Modellen verwendet werden können, die in weiterer Folge mit LAI-Daten aus Sentinel-2 anwendbar sind. Abbildung 8 demonstriert sehr anschaulich, wie sich der LAI auf dem Grünland-Feldstück mit den SatGrass-Erhebungen in Abhängigkeit des Wachstums bzw. der Bewirtschaftung (Ernte) verändert. Abbildung 9 erweitert den Blick auf den Verlauf aller vier Aufwüchse im Jahr 2018, wobei die LAI-Werte aus drei verschiedenen Sensoren direkt miteinander verglichen werden.

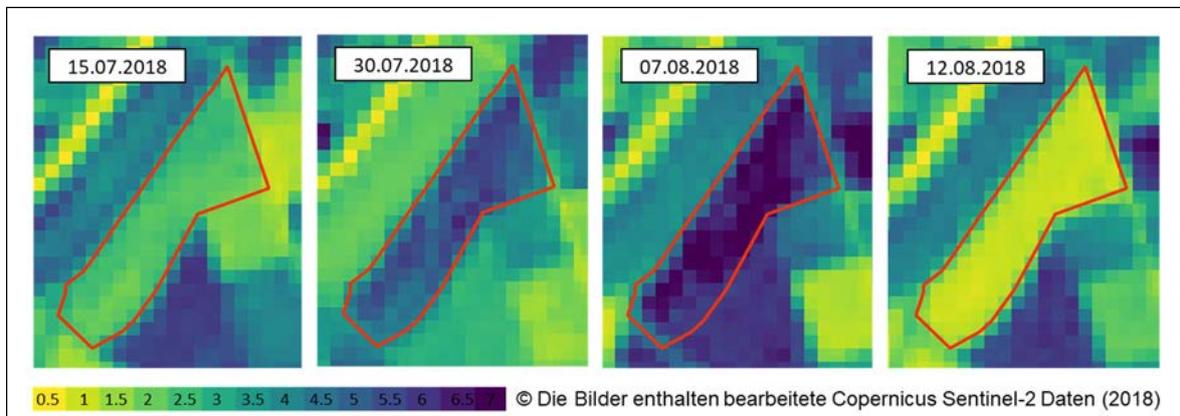


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf des LAI am Beispiel des SatGrass-Grünlandfeldstücks (Ernte am 07.08.2018, kurz nach der Aufnahme durch den Sentinel-2-Sensor)

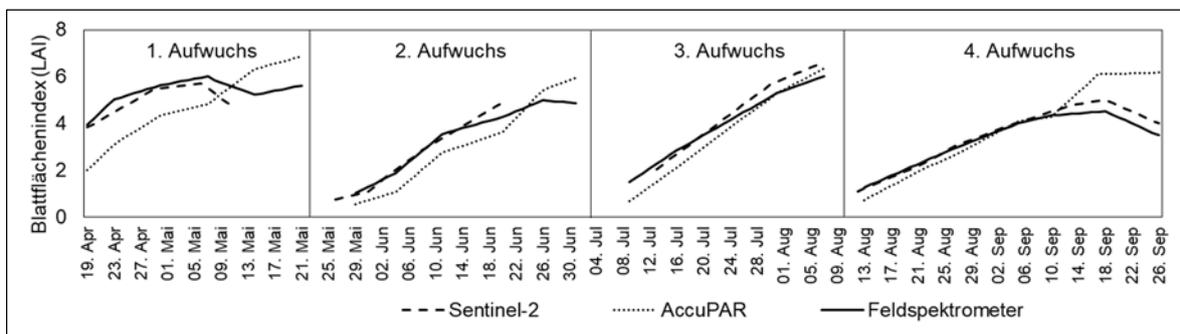


Abbildung 9: LAI-Zeitreihen der unterschiedlichen Sensoren für die einzelnen Aufwüchse des Jahres 2018

Zu Beginn des ersten Aufwuchses wird der LAI durch AccuPAR deutlich unterschätzt. Eine derartige Unterschätzung des AccuPAR im Vergleich zu einer destruktiven Erhebungsmethode konnte auch von He *et al.* (2007) festgestellt werden. Die unterschiedlich schnelle morphologische und phänologische Entwicklung der im Grünlandbestand vorkommenden Arten sowie die generelle Artenzusammensetzung beeinflussten die LAI-Erfassung erheblich. Im SatGrass-Versuch wurde beim zweiten Aufwuchs ein um mehr als 50 Gewichtsprozent höherer Anteil an Blättern am Gesamtpflanzengewicht im Vergleich zum ersten Aufwuchs gemessen. Daraus kann ein Teil der Abweichungen der Messmethoden zwischen den einzelnen Aufwüchsen erklärt werden. In den bereits weiter entwickelten Pflanzenbeständen des ersten, zweiten und vierten Aufwuchses kam es vor der Ernte zu einem sprunghaften Anstieg des AccuPAR-LAI. Aufgrund der fortgeschrittenen Vegetationsentwicklung trat zu diesen Zeitpunkten eine Lagerung der Grünlandbestände auf. Diese hat sehr geringe PAR-Werte unterhalb des Bestandes zur Folge, woraus sich der sehr hohe LAI erklären lässt. Aufgrund dieses Phänomens kommt es schließlich zu einer Sättigung der LAI Werte, da der PAR-Wert unterhalb des Bestandes nicht mehr weiter absinken kann.

Vor allem zu Beginn der Folgeaufwüchse wurde eine gute Übereinstimmung der AccuPAR-Methode mit den anderen optischen Sensoren festgestellt. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich die homogenere Struktur des Grünlandes in den Folgeaufwüchsen einheitlicher erfassen lässt, wohingegen die deutlich heterogene Struktur des primären Grünlandaufwuchses zu erheblichen Differenzen zwischen den Erhebungsmethoden führt.

Für eine umfassende methodische Beschreibung und wissenschaftliche Auswertung der Ergebnisse aus den vergleichenden LAI-Erhebungen in SatGrass wird auf die Publikation

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F.; Kalmár, L.B. und Pötsch, E.M. (2020): Comparison of Direct and Indirect Determination of Leaf Area Index in Permanent Grassland. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* **88** (5), 369-378.

verwiesen, die Teil des Abschlussberichtes ist. Die hier vorliegende Beschreibung dient lediglich der Zusammenfassung einer detaillierten Darstellung in oben genannter Publikation.

Die in diesem Projekt ebenfalls durchgeführten Messungen des Chlorophyllgehaltes mit dem SPAD-502 wurden zwar ausgewertet, zeigten im Gegensatz zum Blattflächenindex allerdings keine Ergebnisse, die einen sinnvollen Beitrag zur Ertrags- und Qualitätsschätzung im Grünland liefern konnten. Der Verlauf des SPAD-Indexwertes über die einzelnen Aufwüchse lieferte für die ausgewählten Gräser keine Trend-Information. SPAD-Daten können daher in künftigen Modellierungsansätzen zur Beschreibung des Wachstums und der Entwicklung von Grünlandbeständen nicht verwendet werden.

3.2 Modellierung von Ertrag und Qualität im Grünland

Ertrag und Qualität bilden in der Bewertung des Grünlandes eine untrennbare Einheit. Die Ernte in einer frühen Phase der Entwicklung liefert zwar wenig Trockenmasse, dafür aber hohe Qualität. Mit der weiteren phänologischen Entwicklung des Pflanzenbestandes nimmt die Biomasse zu, während die Qualität der Gräser, Leguminosen und Kräuter sinkt. Über die Auswahl des Schnittzeitpunktes kann der Landwirt das Verhältnis zwischen Ertrag und Futterqualität direkt steuern. Eine objektive Einschätzung des Verhältnisses dieser beiden Parameter entscheidet daher maßgeblich über den wirtschaftlichen Erfolg und die Produktivität eines Grünlandbetriebes.

Abbildung 10 zeigt die in SatGrass wöchentlich erhobenen Daten zu Ertrag und Qualität in Ihrem Verlauf für den ersten Aufwuchs 2018. Aus der gegenläufigen Entwicklung dieser beiden Parameter ergibt sich die Notwendigkeit, mittels Nutzungszeitpunkt zu entscheiden, wann zwischen Ertrag und Qualität ein für die jeweilige Betriebsausrichtung optimales Verhältnis besteht. Eine zentrale Zielsetzung des Projektes SatGrass ist es, mit Schätzmodellen für Ertrag und Qualität dem Landwirt ein Werkzeug anzubieten, das bei der Entscheidung für einen optimalen Schnittzeitpunkt unterstützt.

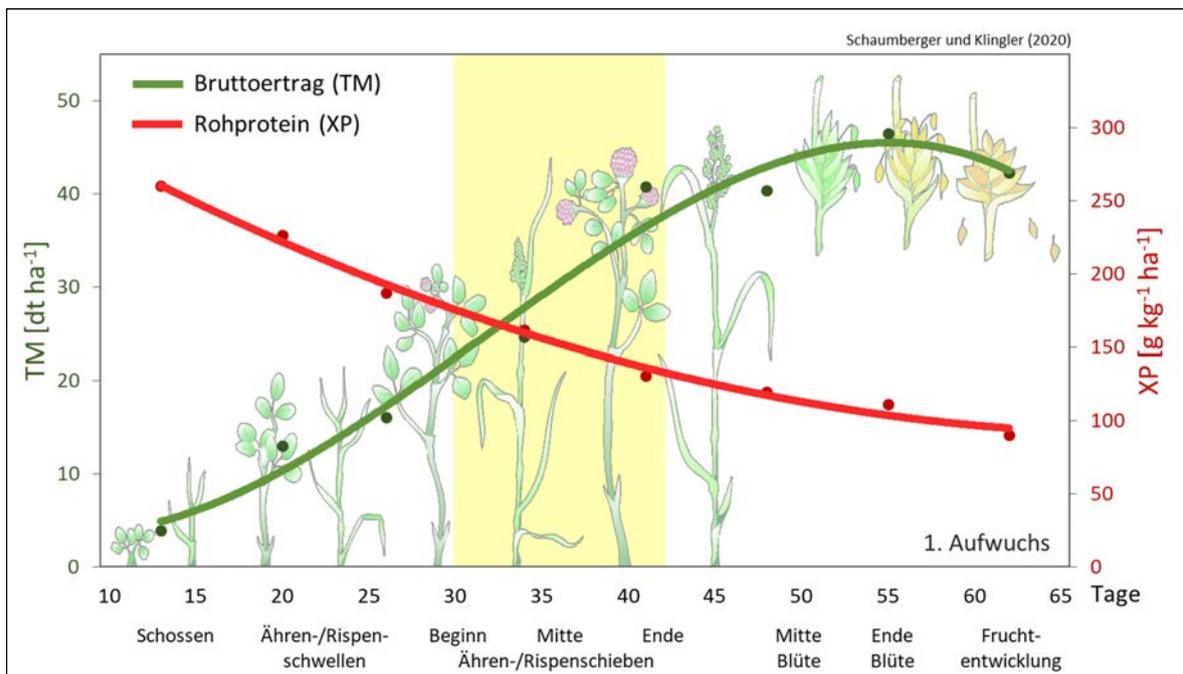


Abbildung 10: Verlauf von Ertrag und Qualität (Rohproteingehalt) im 1. Aufwuchs

Agrarmeteorologische Parameter wie aufwuchsbezogene Temperatur- und Strahlungssummen sowie die klimatische Wasserbilanz bilden zusammen mit dem Blattflächenindex die wichtigsten Parameter für die Schätzmodelle. Die Ergebnisse, wie in Abbildung 11 dargestellt, bestätigen das große Potential von Satellitendaten für das Monitoring von Grünlandflächen.

Eine zehnfach wiederholte Kreuzvalidierung des gesamten Datensatzes zeigt für den Ertrag (Trockenmasse ha^{-1}) ein R^2 von 0,9 und einen RMSE von $294 \text{ kg TM ha}^{-1}$ und Aufwuchs. Es zeigt sich ein starker Zusammenhang über den gesamten Wertebereich der Erträge. Die Trockenmasseschätzung in Abbildung 11 (links) stellt dabei das Ergebnis einer Auswertung mittels neuronalem Netz dar. Das mittels Testdatensatz optimierte Modell wurde auf den gesamten Datensatz getestet und zeigte einen mittleren Schätzfehler (RMSE) von $233 \text{ kg TM ha}^{-1}$.

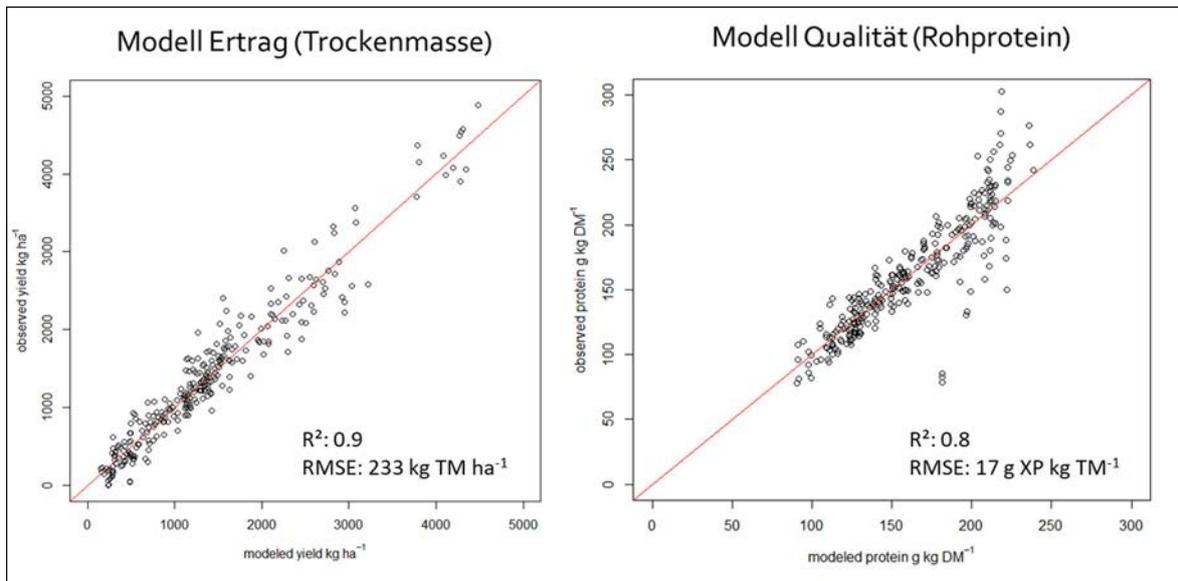


Abbildung 11: Ergebnisse der Modellierung von Ertrag und Qualität (Rohprotein)

Die Performance des Rohproteinmodells liegt leicht unter dem des TM-Modells. Mit einer zehnfach wiederholten Kreuzvalidierung wird ein Vorhersagefehler (RMSE) von $20 \text{ g XP kg TM}^{-1}$ und ein R^2 von 0,8 erreicht. Der Test des trainierten Rohproteinmodells auf dem vollständigen Datensatz ergibt einen RMSE von $17 \text{ g XP kg TM}^{-1}$ (vgl. Abbildung 11 rechts). Im Gegensatz zum TM-Ertragsmodell ist hier der Vorhersagefehler nicht für den gesamten XP-Bereich gleich stabil. Wir beobachteten eine sehr gute Korrelation im niedrigen und mittleren Wertebereich, bei hohen Werten ist allerdings eine deutliche Abnahme der Vorhersagegenauigkeit zu beobachten. Der Grund dafür könnte darin liegen, dass beispielsweise Ernte- oder Düngerrückstände des letzten Aufwuchses die Daten bei den ersten Erhebungen eines Folgeaufwuchses verfälschen, nämlich dort, wo zu Beginn eines Aufwuchses hohe XP-Werte zu erwarten sind und das Modell aufgrund der genannten externen Effekte nicht entsprechend reagieren kann.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Grünland ist mit 1,34 Millionen Hektar die flächenmäßig wichtigste Kulturart in Österreich. Österreichs Grünland bietet neben wichtigen ökologischen Funktionen die Futtergrundlage für rund 53.000 Viehwirtschaftsbetriebe. Die Vielfalt an standortabhängigen Bewirtschaftungsintensitäten, die kleinflächigen Strukturen und die mehrfache Ernte im Verlauf einer Vegetationsperiode machen eine flächendeckende, systematische und genaue Schätzung von Ertrag und Qualität bislang sehr schwierig. Solche Schätzungen erfolgen momentan über die Hochrechnung von Stichproben. Die zumeist witterungsabhängigen zeitlichen und regionalen Ertragschwankungen können damit jedoch nur unzureichend erfasst werden. Dies betrifft vor allem die Quantifizierung von Ertragsminderungen und -ausfällen durch Trockenheit und andere lokale Extremereignisse, welche zukünftig im Zuge der Klimaveränderung häufiger auftreten werden.

Die Satelliten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus haben das Potential, Grünlandbestände und deren Nutzung auf Feldstücksebene kontinuierlich und in hoher räumlicher Auflösung zu beobachten. Um daraus relevante Vegetationsdynamiken ableiten zu können, vereint SatGrass Fernerkundungs- und Wetterdaten in einem Schätzmodell, welches mit Ertragsmessungen und Qualitätsuntersuchungen kalibriert und validiert wird. Die Fortführung dieses Projektes auf überregionaler Ebene, wie sie im nachfolgenden Kapitel beschrieben ist, dient der Umsetzung folgender Ziele:

- Die Identifikation von Nutzungszeitpunkten aus Zeitreihen von Sentinel-1 (S1) und Sentinel-2 (S2) Daten als Grundlage für eine aufwuchsbezogene Ertragsbestimmung.
- Die fernerkundliche und wettergestützte Schätzung von Ertrag und Futterqualität sowie deren Dynamik über den gesamten Verlauf der Vegetationsperiode unter Einbeziehung der Nutzungszeitpunkte, der Witterung und Wasserbilanz.

Mit einer Fortführung der hier dargestellten Pilotstudie wird SatGrass auf lokaler Ebene den Landwirten eine belastbare Informationsgrundlage zur Bestimmung des optimalen Schnittzeitpunktes anbieten, um Ertrag und Qualität feldspezifisch und betriebsindividuell optimieren zu können. Auf regionaler Ebene wird SatGrass zur Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR) Österreichs beitragen. SatGrass leistet darüber hinaus einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der Klimawandelfolgen. Die Klimaveränderung in den Grünlandgebieten stellt eine der größten Herausforderungen für die Aufrechterhaltung der Grünland- und Viehwirtschaft dar. Eine genaue Quantifizierung von Ertragsminderungen in von Trockenheit betroffenen Regionen - bzw. Überschüssen in Gunstlagen - im Rahmen einer Grundfutterbilanz, ist die Voraussetzung für die Planung von Klimaanpassungskonzepten und für die Umsetzung gezielter Maßnahmen zur flächendeckenden Futtersversorgung des Viehbestandes.

5 Projektfortführung

Im Dezember 2019 wurde bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Austrian Space Application Programme (ASAP) ein Projekt unter dem Titel „**Satellite-based modelling of grassland yield and quality dynamics**“ (Projekt 878947) zur Fortführung und Erweiterung der vorliegenden Pilotstudie erfolgreich eingereicht. Zusammen mit einem Projektkonsortium, bestehend aus:

- Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft
- HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft
- Universität für Bodenkultur, Institut für Geomatik,
- Technische Universität Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation und
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,

wird in einem dreijährigen Projekt (2021 bis 2023) am Einsatz von satellitenbasierten Fernerkundungsdaten in der österreichischen Grünlandwirtschaft geforscht. Eine wichtige Grundlage für die erfolgreiche Einreichung waren die Erfahrungen und Ergebnisse aus der Pilotstudie, die in dem ASAP-Projektantrag entsprechend dargestellt wurden. Im Gegensatz zum hier abgeschlossenen Projekt mit Untersuchungen auf einer einzigen Beprobungsfläche, wird in dem FFG finanzierten Projekt eine kontinuierliche messtechnische Beobachtung von Grünlandflächen auf viele Standorte mit unterschiedlichem Klima und mit unterschiedlichen Nutzungsdichten ausgedehnt.

Damit soll die Grundlage für ein Modell mit allgemein gültigen Aussagen über den Zusammenhang von Ertrag, Qualität, Fernerkundung und Witterung entstehen. Ziel ist die Schaffung eines operativen Systems zur permanenten Schätzung von Grünlanderträgen und deren Qualität. Grünlandwirte sollen damit Schnitzeitpunkte besser einschätzen, Berater einen besseren Überblick über die regionale Ertragssituation erhalten und Agrarstatistiken mit aktuellen Daten befüllt werden, die als Grundlage für agrarpolitische Entscheidungen dienen.

6 Projektpublikationen

Schaumberger, A. (2018): Nutzung von Satellitendaten in der landwirtschaftlichen Forschung. Absolventen Rundschau – Mitteilungsblatt des Absolventenverbandes der Höheren Bundeslehranstalt für alpenländische Landwirtschaft Raumberg-Seeefeld, Ausgabe Dezember 2018, 6-7.

Schaumberger, A. und Klingler, A. (2018): Nutzung von Satelliten- und Klimadaten zur Beschreibung von Ertrags- und Qualitätsdynamiken im Grünland. ÖAG-Informationsschrift November 2018, Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft, 8-10.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Comparison of different sensing technologies to estimate LAI of managed grassland. Joint 20th Symposium of the European Grassland Federation and the 33rd Meeting of the EUCARPIA Section 'Fodder Crops and Amenity Grasses', Zürich, Switzerland, Grassland Science in Europe, 24, June 24-27, 346.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Schätzung von Blattflächenindex in Dauergrünlandbeständen. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, Vienna, DGPF, 28, Februar 20 - 22, 301 - 309.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Nutzung von Satellitendaten für die Grünlandbewirtschaftung. 28th International Scientific Symposium on Nutrition of Farm Animals - Zadavec-Erjavec Days 2019, Radenci, Slovenia, KGZS - Zavod MS, 28, November 07-08, 89 - 93.

Schaumberger, A. und Klingler, A. (2019): Nutzung von Satellitendaten für die praktische Landwirtschaft. 25. Österreichische Wintertagung, Aigen im Ennstal, Austria, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, 31. Januar- 01. Februar 2019, 47-50.

Schaumberger, A. und Pötsch, E.M. (2019): Satelliten - nützlich für das Grünland? Blick ins Land (6-7), SPV Printmedien Gesellschaft m.b.H., Wien, 28-29.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F.; Kalmár, L.B. und Pötsch, E.M. (2020): Comparison of Direct and Indirect Determination of Leaf Area Index in Permanent Grassland. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science 88 (5), 369-378.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2020): Suitability of non-destructive yield and quality measurements on permanent grassland. 28th General Meeting of the European Grassland Federation - Meeting the future demands for grassland production, Helsinki, Finland, Grassland Science in Europe, 25, October 19-22, 602 - 604.

7 Projektpräsentationen

Schaumberger, A. und Klingler, A. (2019): Nutzung von Satellitendaten für die praktische Landwirtschaft. 25. Österreichische Wintertagung 2019, Aigen im Ennstal, 1. Februar 2019.

Schaumberger, A. und Klingler, A. (2019): Nutzung von Fernerkundungs- und Klimadaten zur Beschreibung von Ertrags- und Qualitätsdynamiken im Grünland. Workshop Grünlandnutzung und Fernerkundung, Thünen Institut Braunschweig, 4.-5. Februar 2019.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Schätzung von Blattflächenindex in Dauergrünlandbeständen. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, Vienna, 20. – 22. Februar 2019.

Schaumberger, A. (2019): Remote sensing for monitoring grassland yield and quality dynamics. Project meeting, BOKU und TU Wien, 4. Juni 2019.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Comparison of different sensing technologies to estimate LAI of managed grassland. Joint 20th Symposium of the European Grassland Federation and the 33rd Meeting of the EUCARPIA Section 'Fodder Crops and Amenity Grasses', Zürich, Switzerland, 24.-27. Juni 2019.

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Monitoring grassland growth dynamics using Leaf Area Index from Sentinel-2 data. Transnational workshop: Precision farming – using new technologies to optimise grassland systems, Haus Riswick, Kleve, Deutschland, 18.-19. September 2019

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Schweiger, M. und Poetsch, E.M. (2019): Forschungsprojekt: SatGrass. Alpenländisches Landtechnik-Treffen 2019, Ettenhausen, Schweiz, 01.-02. Oktober 2019.

Klingler, A. (2019): Use of remote sensing and climate data to specify yield and quality dynamics in grassland. Principles and challenges of research in socio-economics, natural resources and life sciences, Wien, 17. Oktober 2019

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Nutzung von Satellitendaten für die Grünlandbewirtschaftung. 28th International Scientific Symposium on Nutrition of Farm Animals - Zadavec-Erjavec Days 2019, Radenci, Slovenia, 07.-08. November 2019

Schaumberger, A. und Adelwöhrer M. (2020): Management von Hyperspektraldaten für die Grünlandforschung. 40. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Stuttgart, 4.-6. März 2020.

Klingler, A. (2020): Nutzung von Fernerkundungs- und Klimadaten zur Beschreibung von Ertrags- und Qualitätsdynamiken im Grünland. Dissertanten-Seminar, Webinar, 29. Mai 2020

Klingler, A. (2020): Aktuelles aus der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Grünlandberatertagung 2020, Obertrum am See, 29. September 2020

Klingler, A.; Schaumberger, A.; Vuolo, F. und Poetsch, E.M. (2019): Suitability of non-destructive yield and quality measurements on permanent grassland. 28th General Meeting of the European Grassland Federation - Meeting the future demands for grassland production, Helsinki, Finland, Webinar, 19. Oktober 2020.

Schaumberger, A. und Klingler, A. (2020): Satellitenbasierte Modellierung von Ertrag und Qualität im Grünland. Digitale Technologien am bäuerlichen Familienbetrieb, Webinar an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 22.-24. Oktober 2020.

Klingler, A. und Schaumberger, A. (2020): Anwendungsmöglichkeiten von Satellitendaten in der Grünland- und Almwirtschaft. Innovationen in der Almwirtschaft, Webinar, 06. November 2020

8 Literatur

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. und Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers. Paper No 56, FAO, Rome, 326 S.
- Atzberger, C.; Darvishzadeh, R.; Immitzer, M.; Schlerf, M.; Skidmore, A. und le Maire, G. (2015): Comparative analysis of different retrieval methods for mapping grassland leaf area index using airborne imaging spectroscopy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 43, 19-31.
- Baret, F.; Weiss, M.; Bicheron, P. und Berthelot, B. (2010): Sentinel-2 MSI Products WP1152 Algorithm Theoretical Basis Document for Product Group B, INRA-EMMAH, Avignon, France.
- Bareth, G. und Schellberg, J. (2018): Replacing Manual Rising Plate Meter Measurements with Low-cost UAV-Derived Sward Height Data in Grasslands for Spatial Monitoring. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* 86 (3), 157-168.
- Borra-Serrano, I.; De Swaef, T.; Muylle, H.; Nuyttens, D.; Vangeyte, J.; Mertens, K.; Saeys, W.; Somers, B.; Roldán-Ruiz, I. und Lootens, P. (2019): Canopy height measurements and non-destructive biomass estimation of *Lolium perenne* swards using UAV imagery. *Grass and Forage Science* 0 (0).
- Braun-Blanquet, J. (1951): *Pflanzensoziologie - Grundzüge der Vegetationskunde*, 2. Auflage, Springer-Verlag, Wien, 631 S.
- Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P.; Meygret, A.; Spoto, F.; Sy, O.; Marchese, F. und Bargellini, P. (2012): Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment* 120, 25-36.
- Easlson, H.M. und Bloom, A.J. (2014): Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in Plant Sciences* 2 (7), 1-4.
- ESA (2018a): Sentinel Online. SENTINEL-2, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, (11.12.2018).
- ESA (2018b): Sentinel-2 Spectral Response Functions (S2-SRF), 5 S., https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/document-library/-/asset_publisher/Wk0TKajilSaR/content/sentinel-2a-spectral-responses, (15.01.2020).
- Fick, G.W. und Mueller, S.C. (1989): Alfalfa: Quality, Maturity, and Mean Stage of Development. *Information Bulletin, Cornell University* (217), 16.
- Fricke, T.; Richter, F. und Wachendorf, M. (2011): Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 79 (2), 142-152.
- Grüner, E.; Astor, T. und Wachendorf, M. (2019): Biomass Prediction of Heterogeneous Temperate Grasslands Using an SfM Approach Based on UAV Imaging. *Agronomy* 9 (2), 54.
- Hakl, J.; Hrevušová, Z.; Hejcman, M. und Fuksa, P. (2012): The use of a rising plate meter to evaluate lucerne (*Medicago sativa* L.) height as an important agronomic trait enabling yield estimation. *Grass and Forage Science* 67 (4), 589-596.
- Hammes, G.G. (2005): *Fundamentals of Spectroscopy: Spectroscopy for the Biological Sciences*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 1-15.
- He, Y.; Guo, X. und Wilmshurst, J.F. (2007): Comparison of different methods for measuring leaf area index in a mixed grassland. *Canadian Journal of Plant Science* 87 (4), 803-813.
- Hutchings, N.J.; Phillips, A.H. und Dobson, R.C. (1990): An ultrasonic rangefinder for measuring the undisturbed surface height of continuously grazed grass swards. *Grass and Forage Science* 45 (2), 119-127.

- Jacquemoud, S.; Verhoef, W.; Baret, F.; Bacour, C.; Zarco-Tejada, P.J.; Asner, G.P.; François, C. und Ustin, S.L. (2009): PROSPECT + SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment* 113, Supplement 1 (0), 56-66.
- Klapp, E. (1930): Zum Ausbau der Graslandbestandsaufnahme zu wissenschaftlichen Zwecken. *Pflanzenbau* 6, 197-210.
- Kuhn, M. (2015): caret: Classification and Regression Training. Astrophysics Source Code Library.
- LI-COR (2018): LAI-2200C Plant Canopy Analyzer: Instruction manual, LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, 262 S.
- Lussem, U.; Bolten, A.; Menne, J.; Gnyp, M.L.; Schellberg, J. und Bareth, G. (2019): Estimating biomass in temperate grassland with high resolution canopy surface models from UAV-based RGB images and vegetation indices. *Journal of Applied Remote Sensing* 13 (3), 1-26.
- Markwell, J. und Dale, B. (1999): The Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter: An Exciting New Tool for Education in the Plant Sciences. *The American Biology Teacher* 61 (9), 672-676.
- Meier, U.; Bleiholder, H.; Buhr, L.; Feller, C.; Hack, H.; Heß, M.; Lancashire, P.D.; Schnock, U.; Stauß, R.; Van den Boom, T.; Weber, E. und Zwerger, P. (2009): The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. *Journal für Kulturpflanzen* 61 (2), 41-52.
- Meter (2018): AccuPAR PAR/LAI Ceptometer Model LP-80: Operator's Manual, Pullman, WA, 81 S.
- Milton, E.J. (1987): Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing* 8 (12), 1807-1827.
- Moore, K.J.; Moser, L.E.; Vogel, K.P.; Waller, S.S.; Johnson, B.E. und Pedersen, J.F. (1991): Describing and Quantifying Growth Stages of Perennial Forage Grasses. *Agronomy Journal* 83 (11), 1073-1077.
- Peratoner, G. und Pötsch, E.M. (2015): Erhebungsmethoden des Pflanzenbestandes im Grünland. 20. Alpenländisches Expertenforum zum Thema "Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland", Gumpenstein, 1.-2. Oktober 2015, 15-22.
- Peratoner, G. und Pötsch, E.M. (2019): Methods to describe the botanical composition of vegetation in grassland research. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 70 (1), 1-18.
- Schaumberger, A.; Schellberg, J. und Hollberg, J. (2015): Spektrometrie - moderne, nicht-invasive Erfassungstechnik von Pflanzenbeständen. 20. Alpenländisches Expertenforum zum Thema "Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland", Gumpenstein, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 1.-2. Oktober 2015, 23-32.
- Tilley, J.M.A. und Terry, R.A. (1963): A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18 (2), 104-111.
- Trott, H.; Ingwersen, B.; Wachendorf, M. und Taube, F. (2002): Schätzung des Trockenmasseertrages auf Dauergrünland mit Hilfe einer Höhenmessung. *Pflanzenbauwissenschaften* 6 (2), 78-83.
- Verhoef, W. (1984): Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. *Remote Sensing of Environment* 16 (2), 125-141.
- Vuolo, F.; Žóltak, M.; Pipitone, C.; Zappa, L.; Wenng, H.; Immitzer, M.; Weiss, M.; Baret, F. und Atzberger, C. (2016): Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples. *Remote Sensing* 8 (11), 938.

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Landwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal