

Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Schätzung von Blattflächenindex in Dauergrünlandbeständen

ANDREAS KLINGLER¹, ANDREAS SCHAUMBERGER²,
FRANCESCO VUOLO³ & ERICH M. PÖTSCH²

Zusammenfassung: Der Blattflächenindex (LAI) stellt einen der vielversprechendsten biophysikalischen Parameter zur Beschreibung von Grünlandbeständen dar. Im Gegensatz zu einfachen Vegetationsindizes neigt der LAI nicht zur Sättigung in fortgeschrittenen Vegetationsstadien. In der vorliegenden Arbeit wird die Korrelation von LAI-Zeitreihen, berechnet aus Hyperspektralsignaturen eines Feldspektrometers, Sentinel-2-Daten und AccuPAR-Messungen, untersucht. Dazu wurden wöchentlich feldspektroskopische Erhebungen und AccuPAR-Messungen auf einer vierschnittigen Dauergrünlandwiese durchgeführt. Von derselben Fläche wurden sämtliche wolkenfreie Sentinel-2-Beobachtungen zum Vergleich mit den Bodenmessungen verwendet. Die berechneten LAI-Zeitreihen des Feldspektrometers und der AccuPAR-Methode zeigen generell eine starke Korrelation mit den Sentinel-2-Werten für die gesamte Dauer der Vegetationsperiode. Deutliche Unterschiede sind zwischen den einzelnen Aufwüchsen und Entwicklungsstadien festzustellen.

1 Einleitung

Die klimatischen Veränderungen während der letzten Jahrzehnte haben merkbare Unterschiede in der Wachstumsdynamik von Grünland zur Folge. Dazu kommen klimawandelbedingte Änderungen von Beginn und Dauer der Vegetationsperiode sowie Wetterextreme, welche eine große Herausforderung für die Grünlandwirtschaft darstellen. Um weiterhin ein möglichst optimales Grünlandmanagement gewährleisten zu können, bietet sich der Einsatz von bisher wenig genutzten Technologien zur Erfassung wachstumsrelevanter Kennwerte an. Der Blattflächenindex, engl. Leaf Area Index (LAI), definiert als die gesamte einseitige Blattfläche pro Bodenoberfläche (CHEN & BLACK, 1992), stellt einen der vielversprechendsten biophysikalischen Parameter dar, um wichtige Wachstumsprozesse wie Fotosynthese oder Biomasseakkumulation im Grünland beschreiben zu können (CLEVERS et al. 2017). Das Ziel der vorliegenden Untersuchung besteht darin, LAI-Zeitreihen eines Wirtschaftsgrünlandes berechnet aus a) Hyperspektralsignaturen, b) Sentinel-2-Daten und c) AccuPAR LP-80 Messungen zu vergleichen.

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Abteilung Pflanzenbau, Konrad-Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln an der Donau, E-Mail: andreas.klingler@rauberg-gumpenstein.at

² HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft, Altirdning 11, A-8952 Irdning-Donnersbachtal, E-Mail: [andreas.schaumberger, erich.poetsch]@rauberg-gumpenstein.at

³ Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien, E-Mail: francesco.vuolo@boku.ac.at

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Die Versuchsfläche mit einer Größe von 4,6 ha liegt im steirischen Ennstal (47°30'35.4"N 14°05'03.5"E) auf 643 m Seehöhe. Die langjährige Durchschnittstemperatur (1981-2010) liegt bei 8,2 °C und der durchschnittliche Jahresniederschlag bei 1056 mm. Die Versuchsfläche, welche sich auf einem Augley-Boden befindet, gehört mit einer Nutzungshäufigkeit von vier Schnitten pro Jahr zu den intensiv genutzten Dauergrünlandflächen. Auf den in Abb. 1 gekennzeichneten Bereichen 1-3 wurden in wöchentlichen Intervallen über den Zeitraum einer ganzen Vegetationsperiode Erhebungen durchgeführt. Mithilfe eines GPS-Gerätes mit Genauigkeiten im Submeterbereich (DGPS) wurden die drei Bereiche zu Beginn eines jeden Aufwuchses mit Markern gekennzeichnet. Um möglichst repräsentative Flächen für die Bodenmessungen zu erhalten, wurde besonders auf die botanische Homogenität der Flächen geachtet.



Abb. 1: Versuchsfeld (4,6 ha) mit den Messbereichen 1 – 3 (20 x 20m)

2.2 Eingesetzte Methoden zur Bestimmung des LAI

2.2.1 Feldspektroskopie

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.

Die Pflanzen eines Grünlandmischbestandes zeigen im Laufe der Aufwuchsperiode entwicklungs-dynamische Veränderungen, die mit Hilfe der Spektroskopie erfasst und in weiterer Folge entsprechend interpretiert werden können. Abb. 2 zeigt am Beispiel ausgewählter Zeitpunkte innerhalb des zweiten Aufwuchses einer Dreischnittfläche die Verläufe von Spektralsignaturen in Abhängigkeit des Entwicklungszustandes. Je stärker sich die Pflanzen zu einem geschlossenen Bestand hin entwickeln, desto mehr nimmt der Kurvenverlauf eine für „vitale“ Vegetation typische Form an.

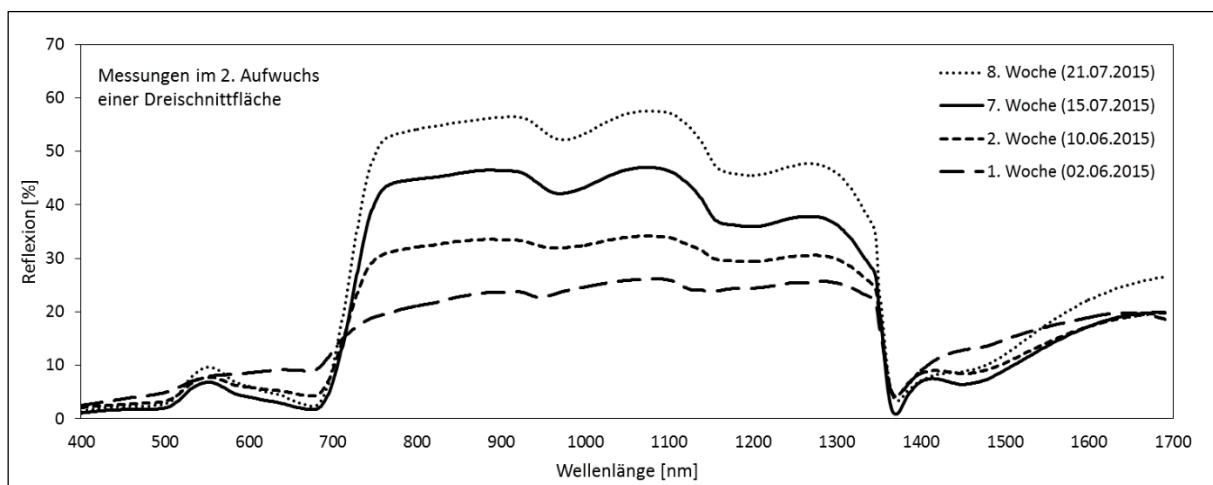


Abb. 2: Unterschiedliche Spektralsignaturen (Feldspektrometer) eines Dauergrünlandbestandes in Abhängigkeit der Entwicklungsphasen während des zweiten Aufwuchses

In der vorliegenden Untersuchung 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. Mit höheren Auflösungen können mehr Informationen aus den Spektren ausgelesen werden, indem einzelne Elemente mit individuellen Reflexions- und Absorptionseigenschaften besser differenzierbar sind (GOVENDER et al. 2007). 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. Beobachtungen unter suboptimalen atmosphärischen Bedingungen können dank der integrierten Referenzmessung einigermaßen effizient erledigt werden.

Eine Kalibrierung mittels Graureferenzadapter wurde in der Regel nur zu Beginn einer Messkampagne vorgenommen. Das HandySpec erfasst zunächst die Reflektanz 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 erwarten, 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.

In Abstimmung mit dem 10 Meter Tiling Grid von Sentinel-2 wurden auf der viermähdigen Dauergrünlandfläche in wöchentlichem Abstand in den in Abb. 1 dargestellten drei Bereichen Spektren an jeweils vier Positionen in je vierfacher Wiederholung (48 Einzelmessungen) erhoben und zu drei Mittelwertspektren zusammengefasst.

2.2.2 AccuPAR-Ceptometer

Mit dem AccuPAR PAR/LAI Ceptometer Model LP-80 wird die fotosynthetisch aktive Strahlung, engl. Photosynthetically Active Radiation (PAR), im Wellenlängenbereich von 400-700 nm gemessen. Die gemessene 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 (DECAGON DEVICES INC., 2014) eingesehen werden.

Die Messungen erfolgten in denselben Bereichen wie die feldspektroskopischen Erhebungen (Abb. 1). Um den Einfluss der Messungen auf den Bestand möglichst gering zu halten wurden in nur einem der vier Punkte in jedem der drei Bereiche mit wöchentlicher Rotation Erhebungen durchgeführt. Ein LAI-Wert pro Messpunkt setzt sich aus 24 Einzelmessungen zusammen, die in einem Radius von ca. 2 m um den Referenzsensor, jeweils um 15° versetzt erhoben wurden.

2.2.3 Sentinel-2

Die Sentinel-2-Satelliten zählen zur neuesten Generation von Erdbeobachtungssatelliten der Europäischen Raumfahrtbehörde (ESA). 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 Landnutzungskarten, Landnutzungsänderungen, geo- und biophysikalische Variablen und viele weitere Parameter erstellt werden (ESA, 2018b). Um die Sentinel-2-Daten mit den Bodenmessungen vergleichen zu können, wurden die Werte aus dem Zentrum des nächstliegenden Pixels der Satellitenaufnahme herangezogen und den Bodenmessungen gegenübergestellt.

Die Aufbereitung der Sentinel-2-Daten erfolgt durch das Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) 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).

2.3 Transformationsschritte und Berechnung des LAI

Die im Feld erhobenen Hyperspektralsignaturen wurden mit Hilfe von Spectral Response Functions (ESA, 2018a) in multispektrale Bänder, entsprechend den Sentinel-2-Definitionen, umgeformt und anschließend mit zeitnahen Sentinel-2-Reflexionsdaten (\pm max. 4 Tage) verglichen (Abb. 3). Das fehlende Band 12, welches außerhalb des spektralen Aufnahmebereichs des Feldspektrometers liegt, wurde anhand der empirischen Gleichung 1 berechnet.

Gleichung 1: Berechnung des Sentinel-2 Bandes Nummer 12

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

Aufgrund der leichten Überschätzung des Feldspektrometers im hohen Reflexionsbereich (Abb. 3), wurden sämtliche Reflexionswerte des Feldspektrometers mit Gleichung 2 an die Sentinel-2-Reflexionen angepasst.

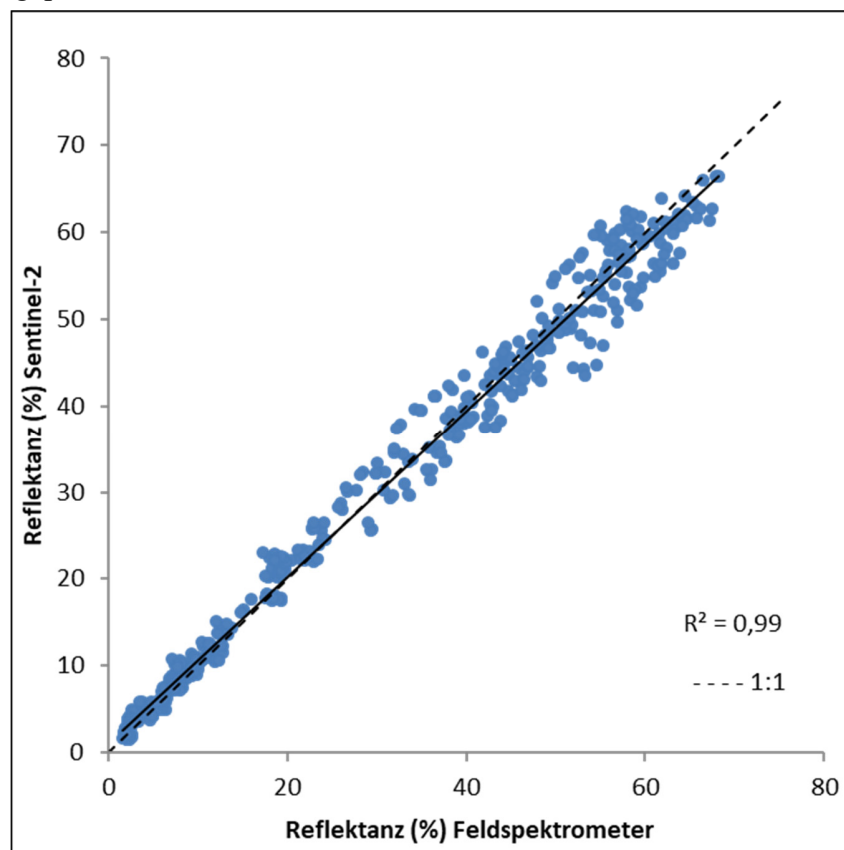


Abb. 3: Vergleich der Sentinel-2 Reflexionswerte mit den umgeformten Feldspektrometer-Reflexionswerten vor der Anpassung mit Gleichung 2

Gleichung 2:

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

$RF_{spec_{adj}}$ entspricht den angepassten und RF_{spec} den ursprünglichen spektralen Reflexionswerten des Feldspektrometers.

Mithilfe eines neuronalen Netzes nach BARET et al. (2010) wurde aus den umgeformten Multispektraldaten des Feldspektrometers und aus den Sentinel-2-Daten der Blattflächenindex identisch berechnet. Das Neuronale Netz wurde 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.

Die LAI-Werte der drei Sensoren wurden in R 3.5.1. (R CORE TEAM, 2018; ZEILEIS & GROTHENDIECK, 2005) auf Tagesbasis interpoliert und wöchentlich am gleichen Tag miteinander verglichen. Um den linearen Zusammenhang der Sensoren bewerten zu können, wurde der Pearson Korrelationskoeffizient berechnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Für die LAI-Werte, berechnet aus Feldspektrometer und Sentinel-2, konnte für die Dauer der gesamten Vegetationsperiode ein Korrelationskoeffizient (r) von $0,97$ berechnet werden. Zwischen Sentinel-2 und AccuPAR ($r = 0,88$) sowie zwischen Feldspektrometer und AccuPAR ($r = 0,84$) bestehen ebenfalls starke lineare Zusammenhänge (Abb. 4).

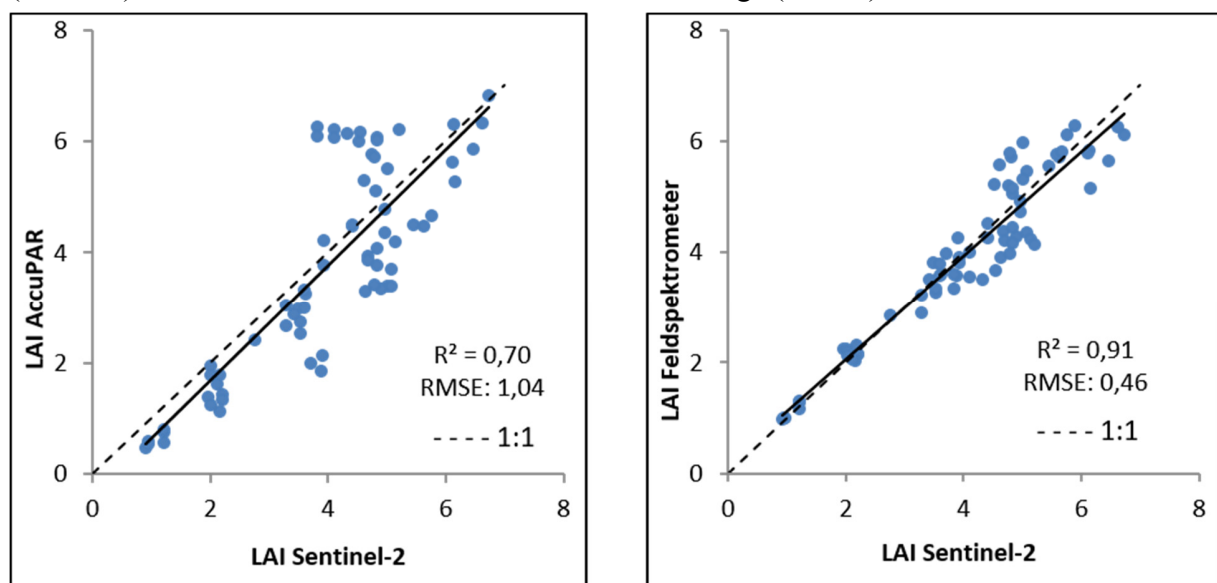


Abb. 4: Streudiagramm zwischen Bodenmessungen (links: AccuPAR, rechts: Feldspektrometer) und den satellitenbasierten LAI-Messungen der Versuchsfläche für das Jahr 2018

Zu Beginn des ersten Aufwuchses wird der LAI durch das AccuPAR deutlich unterschätzt (Abb.5). 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 vorliegenden 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.

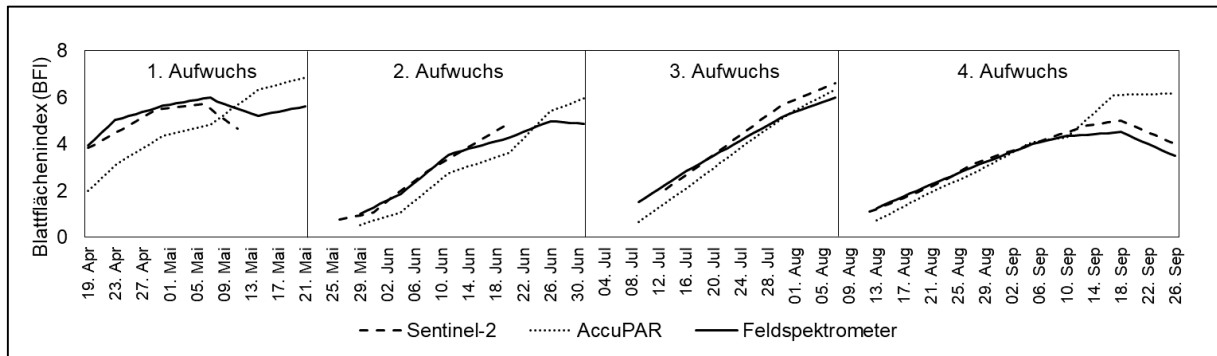


Abb. 5: LAI-Zeitreihen der unterschiedlichen Sensoren für die einzelnen Aufwüchse des Jahres 2018

Vor allem zu Beginn der Folgeaufwüchse wurde eine gute Übereinstimmung der AccuPAR-Methode mit den 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.

4 Fazit & Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden LAI-Zeitreihen einer Wirtschaftsgrünlandfläche aus AccuPAR-Messungen, Feldspektrometer- und Sentinel-2-Reflexionsdaten berechnet, miteinander verglichen und deren Zusammenhänge untersucht. Zwischen allen drei Sensoren konnte ein starker linearer Zusammenhang beobachtet werden. Die gute Übereinstimmung der drei Sensoren, vor allem zwischen Feldspektrometer und Sentinel-2, bietet die Möglichkeit, über eine virtuelle Konstellation LAI-Zeitreihen mit mehreren Sensoren zu generieren.

In Gebieten mit einem hohen Bewölkungsgrad kann die Kombination von Sensoren zu einer verbesserten Beschreibung der Entwicklungsdynamik von Grünlandbeständen führen. In strukturell komplex aufgebauten Grünlandbeständen kommt es aufgrund von sich ändernder Blattarchitektur, unterschiedlichem Blattstängel-Verhältnis, ungleicher phänologischer Entwicklung der bestandesbildenden Arten und weiterer Parameter zu Differenzen zwischen den unterschiedlichen Messmethoden. Um valide Messergebnisse biophysikalischer Variablen von komplexen und artenreichen Grünlandbeständen zu erhalten, müssen deren vegetationspezifische Eigenheiten beachtet werden. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit sind von wachsender Bedeutung für das Monitoring von Grünlandflächen. Regionale und auch überregionale

Anwendungsmöglichkeiten, wie etwa der Einsatz in Grünlandwachstumsmodellen stellen eine umfangreiche und zusätzliche Informationsquelle für die Landwirtschaft dar.

5 Danksagung

Die Arbeit wurde durch das FFG-Projekt Farm/IT: „Innovative Technologien für eine smarte Landwirtschaft“ und über die HBLFA Raumberg-Gumpenstein durch das DaFNE-Projekt SatGrass: „Nutzung von Fernerkundungs- und Klimadaten zur Beschreibung von Ertrags- und Qualitätsdynamiken im Grünland“ gefördert.

6 Literaturverzeichnis

- BARET, F., WEISS, M., BICHERON, P. & BERTHELOT, B., 2010: Sentinel-2 MSI Products WP1152 Algorithm Theoretical Basis Document for Product Group B. INRA-EMMAH, Avignon, France.
- CHEN, J.M. & BLACK, T.A., 1992: Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment*, **15** (4), 421-429.
- CLEVERS, J., KOOISTRA, L. & VAN DEN BRANDE, M., 2017: Using Sentinel-2 Data for Retrieving LAI and Leaf and Canopy Chlorophyll Content of a Potato Crop. *Remote Sensing* **9** (5), 405.
- DECAGON DEVICES INC. 2014: Operator's Manual. AccuPAR model LP-80 PAR/LAI Ceptometer Pullman, WA, 78.
- 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. & BARGELLINI, P., 2012: Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, **120**, 25-36.
- ESA, 2018a: Sentinel-2 Spectral Response Functions (S2-SRF), 5. https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/document-library/asset_publisher/Wk0TKajiISaR/content/sentinel-2a-spectral-responses, (10.11.2018).
- ESA, 2018b: Sentinel Online. SENTINEL-2, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, (11.12.2018).
- GOVENDER, M., CHETTY, K. & BULCOCK, H., 2007: A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA*, **33** (2), 145-152.
- HE, Y., GUO, X. & 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.
- JACQUEMOUD, S., VERHOEF, W., BARET, F., BACOUR, C., ZARCO-TEJADA, P.J., ASNER, G.P., FRANÇOIS, C. & USTIN, S.L., 2009: PROSPECT + SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment* **113**, Supplement 1 (0), 56-66.
- MILTON, E.J., 1987: Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing*, **8**(12), 1807-1827.
- R CORE TEAM, 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.
- 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. & ATZBERGER, C., 2016: Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples. *Remote Sensing*, **8** (11), 938.

ZEILEIS, A. & GROTHENDIECK, G., 2005: zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, **14** (6), 1-27.