

# Modellierung von Grünlanderträgen mittels Fernerkundungs- und Wetterdaten

## *Modelling of grassland yields using remote sensing and weather data*

Andreas Klingler\* & Andreas Schaumberger

### **Einleitung**

Die Sentinel Satelliten der Europäischen Raumfahrtbehörde bieten für die Landwirtschaft die Möglichkeit auf Feldebene verschiedenste Aspekte der Bewirtschaftung in kurz aufeinanderfolgenden Zeitabständen von wenigen Tagen zu betrachten. Im Forschungsprojekt SatGrass wird unter anderem der Zusammenhang zwischen Satellitendaten, agrarmeteorologischen Parametern und der quantitativen Entwicklung von Grünlandbeständen untersucht. Um vegetationsrelevante Kennwerte aus den Satellitendaten ableiten zu können, eignen sich besonders Vegetationsindizes und biophysikalische Parameter aus Strahlungstransfermodellen (DARVISHZADEH et al. 2008, HOUBORG et al. 2007). Der Blattflächenindex, definiert als die gesamte einseitige Blattfläche pro Bodenoberfläche (CHEN und BLACK 1992), stellt einen der vielversprechendsten Parameter dar, um wichtige Wachstumsprozesse wie Fotosynthese oder Biomasseakkumulation beschreiben zu können (CLEVERS et al. 2017). Sowohl Umweltbedingungen als auch Pflanzenwachstum selbst können durch die Kombination von Fernerkundungs- und Wetterdaten kontinuierlich beobachtet und zur Optimierung und Anpassung der Landwirtschaft herangezogen werden.

### **Material und Methoden**

Untersuchungsgebiet: Der Feldversuch wurde auf einer vierschnittigen Dauergrünlandfläche, welche sich auf einem Augley-Boden befindet, angelegt. Die Versuchsfläche befindet auf einer Seehöhe von 643 müA, die langjährige Durchschnittstemperatur (1981-2010) liegt bei 8,2 °C und der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 1056 mm.

Versuchsdesign: Als Versuchsdesign wurde eine Split-Plot-Anlage gewählt. Der Versuch besteht aus insgesamt 12 randomisiert verteilten main-plots, welche sich aus dem Vierschnittregime und einer dreifachen Wiederholung ergeben. Innerhalb der main-plots sind insgesamt 8 Parzellen (1,5 x 1,5 m) für die wöchentliche Ernte der oberirdischen Biomasse in randomisierter Form als sub-plots angelegt. Das Versuchsdesign bietet die Möglichkeit den Verlauf der Ertragsentwicklung durch mehrere Beprobungen je Aufwuchs beobachten zu können und liefert somit eine optimale Datenbasis für die Modellkalibrierung.

Spektralmessungen: Die räumliche Auflösung von 10 m der Sentinel-2-Daten ermöglicht zwar eine detaillierte Auswertung einzelner Feldstücke, eignet sich aber nicht für die Auswertung kleinstrukturierter Versuchsanlagen. Aus diesem Grund wurde die Reflexion der elektromagnetischen Sonnenstrahlung in diesem Versuch mithilfe eines Feldspektrometers (HandySpec Field VIS/NIR 1.7, tec5) gemessen. Die im Feld erhobenen Hyperspektralsignaturen wurden mit Hilfe von Spectral Response Functions in multispektrale Bänder, entsprechend den Sentinel-2-Definitionen, umgeformt und anschließend für die Berechnung des Blattflächenindex bereitgestellt (KLINGLER et al. 2020).

Blattflächenindex: Mithilfe eines neuronalen Netzes nach BARET et al. (2010) wurde aus den Multispektraldaten des Feldspektrometers der Blattflächenindex 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.

Modellierung: Für die Biomassemodellierung wurde ein robuster Machine Learning Algorithmus verwendet (Model Averaged Neural Network) und mithilfe der Funktion avNNet im R-Paket caret (KUHN 2015) trainiert. Als Prädiktoren für die Modelle wurden die Parameter Summe der Tagesmitteltemperatur, der Globalstrahlung, des Niederschlages, der Referenz-Evapotranspiration nach Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998) und die Summe des Blattflächenindex des jeweiligen Aufwuchses verwendet. Für das Optimieren der Modellhyperparameter und die Modellkalibrierung wurde ein Trainingsdatensatz, welcher 75 % der Daten enthält, verwendet. 25 % der Daten wurden für die Modellvalidierung verwendet.

## Ergebnisse und Diskussion

Eine objektive Einschätzung der Grünlanderträge unterstützt ein effizientes und standortangepasstes Grünlandmanagement auf betrieblicher Ebene einerseits und stellt eine wichtige Grundlage für die über-regionalen Anwendungen andererseits dar. Die Kombination von wichtigen agrarmeteorologischen Parametern, fernerkundlichen Informationen und neuesten Algorithmen zeigt ein sehr hohes Potential zur Schätzung von Grünlanderträgen. Die Modellvalidierung mithilfe eines unbekanntes Testdatensatzes ergab ein  $R^2$  von 0,91 und einen mittleren Schätzfehler (RMSE) von 306 kg TM ha<sup>-1</sup> (Abbildung 1). Das Streudiagramm zeigt zudem einen starken Zusammenhang über den gesamten Wertebereich der Erträge.

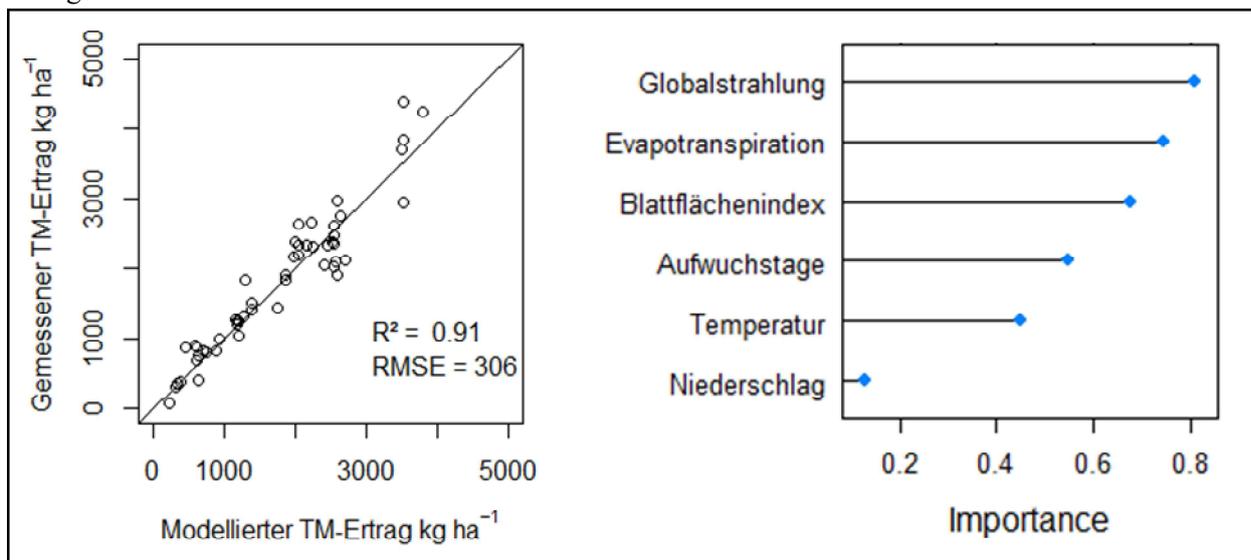


Abbildung 1: Streudiagramm der Modellvalidierung mit Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Root Mean Square Error (RMSE) links, sowie Variable Importance rechts.

Um die Einflussgröße der einzelnen Prädiktoren auf den Trockenmasseertrag ermitteln zu können, wurde im Anschluss an die Kalibrierung die Variable Importance berechnet. Dabei zeigt sich, dass die Globalstrahlung, die Evapotranspiration und der Blattflächenindex den größten Einfluss auf das Modellierungsergebnis ausüben. Die Anzahl an Aufwuchstagen, die Temperatur und der Niederschlag tragen hingegen weniger zum Modellergebnis bei. Der geringe Einfluss des Niederschlages kann auf die stets wassergesättigten Bodenverhältnisse des Augley-Bodens zurückgeführt werden. Auf trockenheitsgefährdeten Standorten muss mit einer Zunahme der Variable Importance des Prädiktors Niederschlag gerechnet werden. Ein Bodenwassermodell, welches auch Parameter wie die nutzbare Feldkapazität miteinbezieht, könnte die Modellgenauigkeit und die räumliche Übertragbarkeit weiter steigern. Die gute Modellperformance zeigt, dass das Modell selbst bei unbekanntes Datensätzen eine hohe Schätzungsgenauigkeit erreicht und deshalb belastbare Ergebnisse für unterschiedlichste Anwendungen liefern kann. In einem Folgeprojekt wird das Ertragsmodell und auch ein parallel entwickeltes Modell zur Schätzung der Futterqualität auf insgesamt 170 Standorten in ganz Österreich angewendet, um eine möglichst genaue und auch flächendeckende Beschreibung der Wachstumscharakteristiken für das gesamte Bundesgebiet zu erreichen.

## Zusammenfassung

Die frei verfügbaren Daten der Sentinel-2 Satelliten des Copernicus Programms der Europäischen Raumfahrtbehörde bieten die Möglichkeit, bei wolkenfreien Bedingungen die Reflexion von Pflanzenbeständen in kurzen Abständen von etwa 5 Tagen in einer räumlichen Auflösung von bis zu 10 Metern zu betrachten. Daraus abgeleitete Parameter wie zum Beispiel der Blattflächenindex, können verwendet werden um wichtige Wachstumsprozesse wie Fotosynthese oder Biomasseakkumulation im Grünland zu beschreiben. In der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang von agrarmeteorologischen Parametern, Blattflächenindex, berechnet aus den Reflexionsdaten und der quantitativen Entwicklung von Grünlandbeständen mithilfe eines robusten Machine Learning Algorithmus untersucht.

Die Ergebnisse der Modellvalidierung zeigen die hohe Eignung der verwendeten Methode um Wachstumsverläufe von Dauergrünlandflächen zu beschreiben. Eine Analyse der verwendeten Modellprädiktoren zeigt, dass die Globalstrahlung, die Evapotranspiration sowie der Blattflächenindex am meisten zur Modellperformance beitragen. Die Bereitstellung einer robusten Ertragsschätzung im Grünland liefert vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, wie etwa die Ermittlung von Grünlanderträgen auf lokaler Ebene zur Unterstützung eines optimalen, standortangepassten Managements auf den landwirtschaftlichen Betrieben. Eine überregionale Anwendung der Modelle ermöglicht unter anderem die Ermittlung von Grundfutterbilanzen und die Detektion von Schäden durch extreme Wetterereignisse und dient in weiterer Folge als fundierte Basis für agrarpolitische Entscheidungen.

### ***Abstract***

The free available data from the European Space Agency's Sentinel-2 satellites of the Copernicus program provide the opportunity to observe grassland at short intervals of about five days in cloud-free conditions at a spatial resolution of up to 10 meters. Parameter, such as the leaf area index, can describe growth processes like photosynthesis or biomass accumulation of grassland. In the present study, we relate satellite and meteorological data to yield data of permanent grassland using a robust machine-learning algorithm. The model validation shows the high suitability of the method to describe grassland growth dynamics. An importance-analysis of the used model predictors shows that global radiation, evapotranspiration, and leaf area index contribute most to model performance. The availability of a robust yield model for grassland provides multiple application possibilities, such as yield estimation on a local level to support optimal and site-adapted grassland management. On a regional level, the models can detect harvest failures caused by extreme weather events, enable the determination of forage balances or serve as a basis for agricultural policy decisions.

### ***Literatur***

- ALLEN RG, PEREIRA LS, RAES D, SMITH M, (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers. Paper No 56, FAO, Rome, 326.
- 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 JM, BLACK TA, (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.
- DARVISHZADEH R, SKIDMORE A, SCHLERF M, ATZBERGER C, (2008): Inversion of a radiative transfer model for estimating vegetation LAI and chlorophyll in a heterogeneous grassland. *Remote Sensing of Environment* 112 (5), 2592-2604.
- HOUBORG R, SOEGAARD H, BOEGH E, (2007): Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data. *Remote Sensing of Environment* 106 (1), 39-58.
- JACQUEMOUD S, VERHOEF W, BARET F, BACOUR C, ZARCO-TEJADA P.J, ASNER GP, FRANÇOIS C, USTIN SL, (2009): PROSPECT + SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment* 113, Supplement 1 (0), 56-66.
- KLINGLER A, SCHAUMBERGER A, VUOLO F, KALMÁR LB, PÖTSCH EM, (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.
- KUHN M, (2015): caret: Classification and Regression Training. Astrophysics Source Code Library.
- 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.

### ***Adresse der Autoren***

HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft, Altirdning 11, 8952 Irdning-Donnersbachtal

\* Ansprechpartner: DI Andreas KLINGLER, andreas.klingler@raumberg-gumpenstein.at