

Kartierung funktioneller Strategietypen der Vegetation durch abbildende Spektroskopie

Hannes Feilhauer (FAU Erlangen), Sebastian Schmidlein (Universität Bonn)

Einleitung

Phil Grimes Konzept der CSR-Strategietypen [1] wird häufig zur Beschreibung funktioneller Eigenschaften der Pflanzendecke verwendet. Es unterscheidet drei Strategien, die Pflanzenarten das Überleben in ihrer Umwelt ermöglichen: Arten können entweder konkurrenzstark sein und sich im Wettstreit um vorhandene Ressourcen durchsetzen (C-Strategen), stresstolerant sein und ungünstige Umweltbedingungen ertragen (S-Strategen) oder schnell neu entstandene Ruderalflächen besiedeln (R-Strategen). Auf der Bestandesebene spiegeln die vorherrschenden Strategien die Produktivität der Vegetation und das lokale Störungsregime wieder. Eine Erfassung und Überwachung der sich ausbildenden räumlichen Muster kann daher Einblicke in Schlüsselfunktionen eines Ökosystems bieten. Der Strategietyp einer Art ist eng an Pflanzenmerkmale wie Biomasse, Wuchshöhe und -form oder Blütenmerkmale gekoppelt [2], die optische Eigenschaften der Vegetation bestimmen [3]. Es liegt daher nahe, ihre räumliche Verteilung durch Fernerkundungsdaten zu erfassen [4]. In der vorliegenden Studie wurde das Potenzial hyperspektraler Daten zur Kartierung von Strategietypen empirisch getestet. Darüber hinaus wurden aus den generierten Strategiekarten weitere Produkte mit zusätzlicher ökologischer Bedeutung abgeleitet. Hierbei wurde der Fokus auf ein Maß der Ausgewogenheit der Strategien und ihre Änderungsrate im Raum gelegt.

Methoden

Als Untersuchungsgebiet wurde die Wahner Heide östlich von Köln gewählt. Dieses semi-natürliche Ökosystem (~30 km²) besitzt aufgrund seiner langen Landnutzungsgeschichte (u.a. für Weidewirtschaft, als militärisches Übungsgelände und als Flughafen) eine große Vielfalt an Grasland und Heidetypen und deckt dadurch ein breites Spektrum an Strategietypen ab.

In einer Feldkampagne im Sommer 2009 wurde die Offenlandvegetation in 195 zufällig ausgewählten Flächen (Plots) beprobt. Diese Beprobung umfasste eine Erhebung aller auftretenden Arten und ihrer Deckungsanteile in den Plots. Artspezifische Information zu den Strategietypen sind als numerische Werte in Datenbanken verfügbar. Für die gefundenen Arten wurden diese Werte kompiliert und auf Plotebene mit Hilfe der Deckungsanteile zu einem gewichteten Mittel zusammengefasst. Diese plotspezifischen CSR-Werte beschreiben das dem spektralen Signal entsprechende vorherrschende Strategieverhältnis. Sie wurden daher als abhängige Variable zur Kalibrierung und Validierung der Zusammenhänge zwischen Strategietypen und Reflexion verwendet.

Zeitgleich zur Feldkampagne wurden das Testgebiet mit dem abbildenden Spektrometer HyMAP befliegen. HyMAP deckt das elektromagnetische Spektrum von 450 nm bis 2480 nm mit 125 Kanälen ab. Die Daten wurden in zwei Flugstreifen mit einer räumlichen Auflösung von 4 m erhoben. Für jeden Plot wurde aus den Daten das Reflexionsspektrum extrahiert.

Diese Reflexionsdaten wurden durch Partial Least Squares Regression [5] in Bezug zu den plotbasierten Strategietypen gesetzt. Für jede Strategie wurde ein Modell

erstellt, das über eine Bandselektion verfeinert [6] und über eine zehnfache Kreuzvalidierung validiert wurde. Die Regressionsgleichungen der Modelle wurden im Anschluss auf die Bilddaten angewendet, um eine pixelbasierte Vorhersage der modellierten Strategiewerte zu erhalten. Wald und Siedlungsbereiche, die nicht von der Beprobung abgedeckt waren, wurden im Anschluss ausmaskiert. Aus den so erstellten Karten wurden zwei zusätzliche Produkte abgeleitet. Erstens wurden die C, S und R-Werte eines jeden Pixels verglichen und ein Index für die Ausgewogenheit der Strategien (Shannon's Evenness [7]) berechnet. Dieser Index lässt Aussagen darüber zu, ob die Vegetation eines Pixels von einer Strategie dominiert ist oder ob alle Strategien gleichwertig vertreten sind. Zweitens wurden die Strategiekombination jedes Pixels mit der seiner benachbarten Pixel verglichen und die maximale Änderungsrate bestimmt. Diese Rate erlaubt die Identifikation von Bereichen, in denen sich die vorherrschende Strategie abrupt ändert.

Ergebnisse und Diskussion

Die PLSR-Modelle für die drei Strategien erreichten in der Validierung Güten von $R^2=0.63$ für C, $R^2=0.63$ für S und $R^2=0.69$ für R. Durch die Bandselektion konnte die berücksichtigte spektrale Information für C und S auf je 11 Bänder und für R auf 16 Bänder reduziert werden. Die Modelle für C und S zeigten dabei ein ähnliches aber inverses Muster der Regressionskoeffizienten. Beide Modelle basierten auf Bändern des sichtbaren, Rededge und MIR-Bereichs, die bekanntermaßen mit Vegetationsparametern wie der Biomasse und der Bestandesdichte korreliert sind [3]. Das inverse Muster der Koeffizienten erscheint insofern aussagekräftig, als C-Strategen durch eine dichte Belaubung und viel Biomasse gekennzeichnet sind, während S-Strategen eine geringe Wuchshöhe und vergleichsweise wenig Biomasse aufweisen [2]. Das R-Modell berücksichtigte Bänder aus allen Spektralbereichen und zeigte ein von den anderen Modellen abweichendes Muster der Koeffizienten. Im Vergleich mit einer Vegetationskarte der Wahner Heide [8] zeigten sich Übereinstimmungen zwischen der Verteilung von Vegetationstypen und vorherrschenden Strategien. Sowohl trockene Besenheiden als auch saure Heidemoore sind von S-Strategen dominiert, während Grasland durch eine Dominanz von C und R-Strategen charakterisiert ist. Des Weiteren ließen sich in den räumlichen Mustern Effekte der Landnutzung erkennen. Intensive Mahd im Flughafenbereich und Beweidung in den Randbereichen der Wahner Heide fördern die Etablierung von C und R-Strategen. In diesen Bereichen ist die Evenness der Strategien geringer als in den extensiv genutzten Teilen des Untersuchungsgebiets. Dafür besitzen die intensiver genutzten Bereiche eine höhere räumliche Änderungsrate als extensiv genutzte Teile der Heide. Beide Verteilungsmuster deuten an, dass in Abhängigkeit von Nutzung und Umweltbedingungen unterschiedliche räumlichen Skalen für funktionelle Muster relevant sind.

Fazit

Unsere Studie bestätigt das Potenzial optischer Fernerkundung für die Untersuchung von Ökosystemfunktionen. Räumliche Analysen der modellierten Strategie-Verbreitungsmuster erzeugen einen Mehrwert und erlauben die Identifikation relevanter Skalenniveaus von Ökosystemfunktionen. Die Ergebnisse derartiger Analysen liefern wertvolle Informationen für die Management-Planung und bieten das Potenzial, funktionelle Änderungen zu überwachen.

- [1] Grime J.P. (1974) Vegetation classification by reference to strategies, *Nature* 250, 26-31.
- [2] Hodgson J.G., Wilson P.J. Hunt R., Grime J.P., Thompson K. (1999) Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem. *OIKOS* 85, 282-294.
- [3] Kumar L., Schmidt L., Dury S., Skidmore A. (2001) Imaging spectrometry and vegetation science. In: van der Meer F.D. & de Jong S.M. (Hrsg.) *Imaging spectroscopy. Basic principles and prospective applications*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 111–155.
- [4] Schmidtlein S., Feilhauer H., Bruelheide H. (2012) Mapping plant strategy types using remote sensing. *Journal of Vegetation Science* 23, 395-405.
- [5] Wold S., Sjöström M., Eriksson L. (2001) PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 58, 109-130.
- [6] Martens H., Martens M. (2000) Modified Jack-knife estimation of parameter uncertainty in bilinear modelling by Partial Least Squares regression (PLSR). *Food Quality and Preferences* 11, 5-16.
- [7] Margalef R. (1958) Information theory in ecology. *General Systems* 3, 36-71.
- [8] Feilhauer H., Faude U., Schmidtlein S. (2011) Combining Isomap ordination and imaging spectroscopy to map continuous floristic gradients in a heterogeneous landscape. *Remote Sensing of Environment* 115, 2513-2524.