



Damian SCHULZE-BRÜNINGHOFF, Thomas ASTOR und Michael WACHENDORF

## Stauden-Lupine aus der Ferne

Eine genaue Kenntnis über Lupine-invasierte Flächen und den zeitlichen und räumlichen Ausbreitungsverlauf sind für das Lupine-Management besonders wichtig. Eine effektive Kartierungsmöglichkeit wäre die Nutzung von Sensoren zur Messung elektromagnetischer Strahlung. Verfahren der Bildanalyse und Algorithmen des maschinellen Lernens können diese Sensordaten hinsichtlich der Lupine-Abundanz interpretieren. Wichtig ist hierbei die Kombination möglichst komplementärer Sensor- und Trägersysteme, um auf großer Fläche möglichst detaillierte Informationen zu erhalten.

### Einleitung

Die Magerwiesen der langen Rhön erstrecken sich über eine Fläche von etwa 2.400 ha entlang der Hochrhönstraße. In großen Teilen der Flächen hat sich die aus Nordamerika stammende Staudenlupine (*Lupinus polyphyllus*) bereits etabliert und breitet sich kontinuierlich aus (siehe Übersichtsartikel: "Blaues Wunder im Land der offenen Ferne"). Um diesen Prozess einzudämmen, muss die Einwanderung in ökologisch wertvolle und tierökologisch sensible Flächen möglichst frühzeitig unterbunden werden.

Schon seit den 1990er-Jahren werden die Ausbreitungsprozesse der Lupine beobachtet und mittels manueller Analyse von Luftbildern, Gebietskenntnis und Detailkartierung erfasst. Für eine vollständige Abschätzung der räumlichen

und zeitlichen Ausbreitung sind die Areale jedoch zu groß und zu schlecht zugänglich: Die Deckungsschätzung durch Geländebegehung kombiniert mit Luftbildkartierung stößt an ihre Grenzen. Durch die technologischen Fortschritte der letzten Jahrzehnte im Bereich der Bildsensoren wie auch in der computergestützten Verarbeitung großer Datenmengen öffnen sich neue Türen für ein effektives Detektieren invasiver Pflanzenarten wie auch der Lupine-Bestände in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Die Erfassung des gesamten Areals und die computergestützte Interpretation dieser Aufnahmen tritt somit an die Stelle einer bis dahin manuell digitalisierten und interpolierten Deckungsschätzung. Dieser neue Ansatz hat zum einen das Potenzial, leicht wie schwer zugängliche Flächen gleichermaßen zu beobachten und somit Ausgangspunkt

### Abbildung 1

Vorbereitungen zur Erfassung der Lupinen-Bestände aus der Luft (Foto: Grünlandwissenschaft und Nachwuchsstoffe [GNR]).



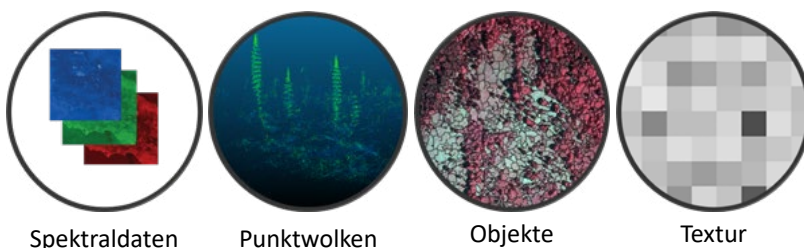
**Abbildung 2**  
Übersicht der eingesetzten Sensor- und Plattformsysteme (Bild: GNR).

für ein gezieltes Lupine-Management zu werden. Zum anderen bietet er die Möglichkeit, die zeitliche Veränderung der Lupine-Abundanz zu dokumentieren, um somit zukünftige Managementszenarien und Prognosemodelle zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund führten Mitarbeitende des Fachgebietes „Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe“ der Agrarfakultät der Universität Kassel von 2016 bis 2020 umfangreiche Sensormessungen durch.

**Theorie und Technik**

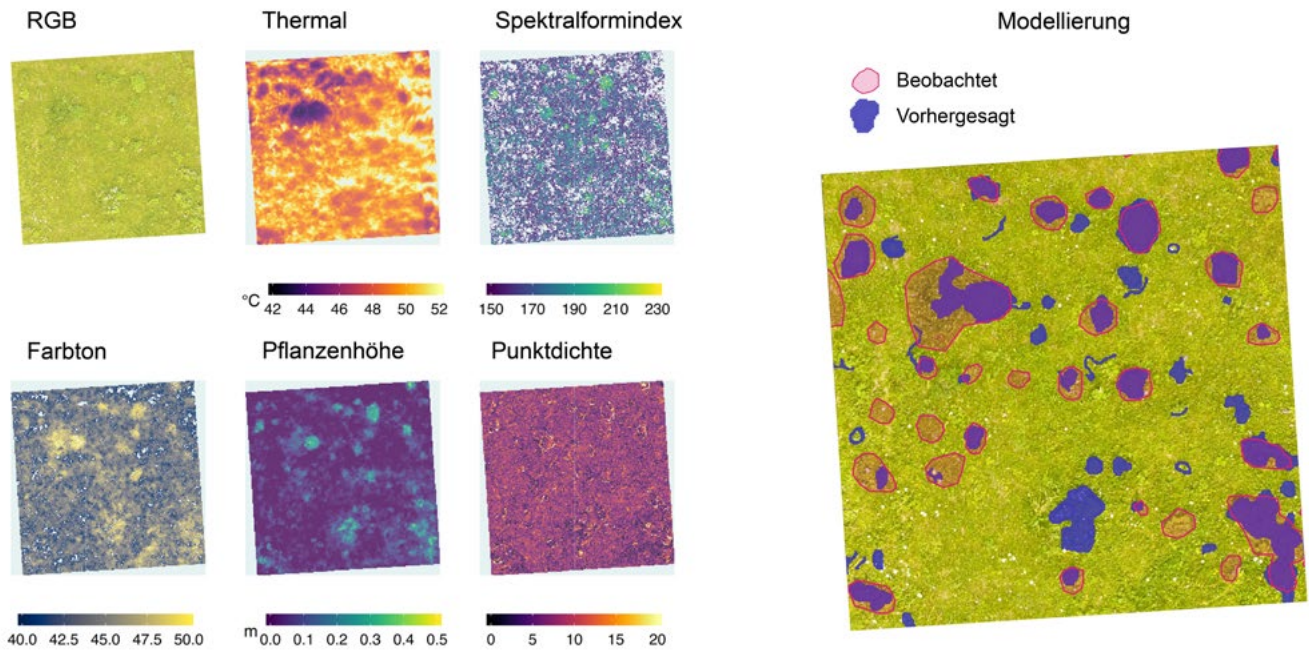
Die eingesetzten Methoden der Fernerkundung messen die Untersuchungsflächen aus der Ferne. Um eine reichhaltige und diverse Datensammlung zu erzeugen, wurden möglichst komplementäre Sensorsysteme eingesetzt, die zudem auf sehr unterschiedlichen Trägerplattformen angebracht wurden. Dies ermöglichte die Untersuchung auf Kleinflächen mit räumlichen Auflösungen im Bereich einzelner Lupine-Blätter bis auf die Skala des gesamten Naturschutzgebietes, dann jedoch mit Einbußen an räumlicher Auflösung.

**Abbildung 3**  
Unterschiedliche Arten von Sensordaten. Spektraldaten: Informationen über reflektiertes Licht; Punktwolken: Dreidimensionales Abbild des Pflanzenbestandes; Objekte: Maschinelle Unterteilung der Luftbilder in homogene Segmente; Textur: Interpretation benachbarter Grauwerte auf Pixelebene (Bild: GNR).



Viele Bildsensoren messen – vereinfacht – die von der Sonne ausgestrahlte und von der Oberfläche reflektierte elektromagnetische Strahlung. Die Beschaffenheit der Oberfläche beeinflusst hierbei das Reflektionsverhalten maßgeblich. Somit lassen sich Oberflächeneigenschaften ableiten und Bereiche voneinander unterscheiden. Je höher die spektrale Auflösung des Sensors ist, desto mehr Informationen können über die Untersuchungsfläche einbezogen werden. Während die wohl bekanntesten Sensoren, verbaut in gängigen Fotokameras, ein Bild aus den Kanälen des sichtbaren Lichtes im Bereich Rot, Grün und Blau (RGB-Kameras) erzeugen, messen sogenannte multispektrale Sensoren auch elektromagnetische Strahlung außerhalb des sichtbaren Wellenlängenbereiches. Diese Wellenlängen sind für die Interpretation von Vegetationen besonders wichtig, da gerade im nahinfraroten Bereich des Lichtes wichtige Informationen über den Pflanzenbestand zu finden sind. Diese Sensoren decken, genau wie RGB-Kameras, nur bestimmte Bereiche des Lichtspektrums ab (in der Regel vier bis fünf Kanäle). Die konsequente Evolution der Sensorsysteme mündete in sogenannten hyperspektralen Sensoren, die inzwischen weite Bereiche des sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereiches mit mehreren hundert Kanälen erfassen. Diese hohe, spektrale Auflösung ermöglicht auch, Nuancen im Reflektionsverhalten der untersuchten Flächen zu erkunden.

Zusätzlich zur spektralen Information lassen sich jedoch auch räumliche Daten sammeln. Eine exakte dreidimensionale Positionserfassung der einzelnen Lupine-Pflanzen mit hohem Detailgrad ermöglicht der Einsatz eines Laserscanners. Dieser sendet aktiv einen Laserstrahl aus und misst die Distanz zum Objekt. Auch hier bestimmt die Distanz des Sensors zur Untersuchungsfläche die räumliche Auflösung und somit den Detailgrad des erzeugten dreidimensionalen Abbildes der Vegetation. Eine alternative Möglichkeit, dreidimensionale Daten zu erzeugen, bietet das Verfahren „Structure from Motion“. Hier wird eine handelsübliche RGB-Kamera genutzt, um Bilder der Untersuchungsflächen aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu erzeugen. Mittels einer speziellen Software (Agisoft Metashape: zirka 3.500 Euro) lassen sich diese Bilder dann in ein dreidimensionales Abbild zusammenrechnen. Verglichen mit einem Laserscanner, müssen deutliche Abstriche bezüglich der räumlichen Auflösung gemacht werden, jedoch ist diese Methode wesentlich kostengünstiger.



**Abbildung 4**  
Sensor- und Modellierungsdaten, die der Kartierung dienen. Rechts daneben, Übereinstimmungen zwischen manuell digitalisierter und vom Modell klassifizierter Lupine-Vorkommen (Bild: GNR).

### Lupine in der Bildanalyse

Ein Ansatz unserer Forschungsarbeit war die Kartierung der invasiven *L. polyphyllus* mit drohnen-gestützten Bildern und objektbasierter Bildanalyse. Für diesen Versuch kamen eine RGB-Kamera und ein Thermalsensor zum Einsatz. Mittels einer kleinen handelsüblichen Drohne konnten simultan mit beiden Sensoren die Versuchsflächen in 20 m Höhe überflogen werden. Jeder Pixel in einem solchen Bild, beziehungsweise in so einem Stapel aus verschiedenen Kanälen, enthält Informationen, die zur Lupine-Erkennung einzeln möglicherweise unbrauchbar sind, in Kombination jedoch die nötigen Informationen liefern können. Nicht nur der rote, grüne, blaue und thermale Kanal wurden genutzt, sondern auch die oben bereits beschriebene Methode „Structure from Motion“, zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung der Fläche. Aus diesem 3D-Modell lässt sich beispielsweise die Pflanzenhöhe ermitteln.

Mittels einer speziellen Software wurden diese „Karten“ in einzelne Segmente unterteilt. Hierbei wurde versucht, die Einstellungen so vorzunehmen, dass die einzeln errechneten Segmente möglichst passgenau den Formen der Lupine-Pflanzen entsprachen. Danach konnte aus den Segmenten durch manuelle Klassenfestlegung („Lupine“ und „nicht Lupine“) ein Datensatz erzeugt werden. Ein Teil des Datensatzes wurde genutzt, um ein Random Forest-Modell, ein Algorithmus des maschinellen Lernens, zu trainieren. Ziel dieses Trainings ist die Vorhersage von unbekanntem Bildbereichen beziehungsweise

Segmenten hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, dass dort die Stauden-Lupine vorkommt. Der Rest des Datensatzes wurde verwendet, um die Modellvorhersage zu überprüfen.

Ein gelungener Ansatz: Große Teile der Lupine-Vorkommen konnten identifiziert werden. Jedoch ist es auch von Interesse, bereits sehr kleine Lupine-Pflanzen zu identifizieren. Dafür sind hochauflösende Aufnahmen nötig, mit einem Detailgrad, um einzelne Blattformen zu erkennen. Die beste räumliche Auflösung bieten uns momentan RGB-Kameras in einer möglichst niedrigen Flughöhe (10 m). Von Hand wurden einzelne Blattformen nachgezeichnet und mit einem in der Bildanalyse bewährten Verfahren, dem sogenannten „deep learning“, einem selbstlernenden Algorithmus, verarbeitet. Diese besonders rechenintensiven Operationen wurden auf externen Cloudservern ausgeführt.

Beide beschriebenen Methoden zeigten erste Erfolge in der Erkennung der invasiven Stauden-Lupine. Jedoch stoßen die Ansätze an räumliche Grenzen, wenn man die Größe der invadierten Flächen bedenkt. So ist der bodennahe Drohneinsatz mit erhöhter Feldarbeit verbunden, jedoch ist er, verglichen mit einer Geländebegehung kombiniert mit Luftbildkartierung, noch weitaus komfortabler. Gerade die automatisierte Modellierung der Lupine-Pflanzen ist eine enorme Arbeitserleichterung, verglichen mit einer manuellen Digitalisierung. Ein Nachteil: Der Drohneinsatz ist aus naturschutzfachlicher Sicht ein potenzieller Störfaktor für

sensible Tierarten. Besonderen Schutz bedürfen hier vor allem bodenbrütende Vögel wie das Birkhuhn (*Tetrao tetrix*).

Neben dem Einsatz von Drohnen wären auch bemannte Fluggeräte als Sensorplattform nutzbar. Die Koordination solcher Überfliegungen ist langfristig jedoch aufwendiger und teurer als der Drohneneinsatz. Eine Alternative stellen Satelliten dar. Sie sind zwar auch von Wetterzuständen – vor allem wolkenfreier Sicht – abhängig, decken dafür aber sehr große Areale ab. Die kostenfreien und kostenpflichtigen privaten Betreiber bieten neben RGB-Bildern auch Multispektralsensordaten an. Letztere haben jedoch im Vergleich zu Drohnen eine geringere räumliche Auflösung.

Um Satellitenbilder zur Lupine-Erkennung zu nutzen, sind Referenzdaten am Boden zu erheben. Da die Auflösung der Bilder oft nicht ausreicht, um manuell Lupine-Stauden einzuzichnen, müssen für eine detaillierte Erfassung der Bestände vor Ort Deckungsschätzungen gemacht werden.

Die Modellierungen stoßen hier jedoch schneller an ihre Grenzen. Die derzeit beste Auflösung von kommerziellen Satellitenbildern liegt für multispektrale Daten bei 1,2 m Kantlänge pro Pixel, mit einem sogenannten panchromatischen Kanal, der jedoch keine spektralen Informationen enthält, bei einer Auflösung von 0,3 m. So können mit dieser Methode keine Einzelpflanzen erkannt werden, der Ansatz eignet sich eher, um größere Lupine-Vorkommen zu kartieren.

### Ausblick

Wir sehen also, dass im Nah- wie im Fernbereich Potenziale zur Lupine-Detektion liegen, die einsetzbaren komplementären Systeme sollten allerdings möglichst kombiniert werden, um den Anforderungen von Detailschärfe und großflächiger Abdeckung gerecht zu werden. Die Entwicklungen im Bereich der technischen Sensoren, aber auch der Trägerplattformen, lassen vermuten, dass in den kommenden Jahrzehnten effektivere Drohnen, schärfere Bilder und schnellere Prozessoren die Arbeit im Management invasiver Pflanzen erleichtern werden. Zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Bilder des Naturschutzgebietes „Lange Rhön“ mit Lupine-Deckungen bis auf Einzelpflanzenebene wären ein mächtiges Werkzeug, das einen gezielten Bekämpfungseinsatz auf besonders vulnerablen und wertvollen Flächen unterstützen könnte. Die zeitnahe Warnung vor neu auftauchenden Einzelpflanzen wäre hier besonders wichtig und effektiv, um die Ausbreitung in neue Flächen zu unterbinden!

Die Übertragbarkeit der Modellierungsmethoden auf andere invasive Pflanzenarten ist potenziell gegeben. Es bedarf jedoch immer einer neuen Kalibrierung der Modelle mit Referenzproben der Zielart.

### Autoren



#### Damian Schulze-Brüninghoff,

Jahrgang 1987.

Studium der Ökologischen Agrarwissenschaften in Kassel/Witzenhausen. Seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet für Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe der Universität Kassel. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Entwicklung fernerkundlicher Methoden zur Abschätzung qualitativer und quantitativer Parameter von extensiven Grünlandbeständen.

Günlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

+49 561 804-1339

[dam.schubrue@uni-kassel.de](mailto:dam.schubrue@uni-kassel.de)

#### Dr. Thomas Astor,

Jahrgang 1985.

[astor.thom@gmail.com](mailto:astor.thom@gmail.com)

#### Prof. Dr. Michael Wachendorf,

Jahrgang 1963.

+49 561 804-1334

[mwach@uni-kassel.de](mailto:mwach@uni-kassel.de)

### Zitiervorschlag

SCHULZE-BRÜNINGHOFF, D., ASTOR, T. & WACHENDORF, M. (2021): Stauden-Lupine aus der Ferne – ANLiegen Natur 43(2): 103–106, Laufen; [www.anl.bayern.de/publikationen](http://www.anl.bayern.de/publikationen).

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Anliegen Natur](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [43\\_2\\_2021](#)

Autor(en)/Author(s): Schulze-Brüninghoff Damian, Astor Thomas, Wachendorf Michael

Artikel/Article: [Stauden-Lupine aus der Ferne 103-106](#)