

Nemaplot
Dr. Kai Schmidt
Argelanderstr. 3
5 D-53115 Bonn

Dezember 2009

Erklärung

Das Verfahren ist seit September 2009 unter 10 2009 040 944.0 beim Deutschen Patent- und Markenamt angemeldet.

10 Die Weitergabe, Anwendung, Weiterverarbeitung und Weiterentwicklung und Veröffentlichungen unterliegen dem Patentschutz und ist nur mit Genehmigung des Patentinhabers, hier Dr. Kai Schmidt, möglich. Eine Lizenzvergabe ist angestrebt.

15 **Verfahren zur Identifikation und Ermittlung des Zustandes von Pflanzen und anderen Objekten mittels Fernerkundung**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Zustandes von Pflanzen mittels Fernerkundung mit den
20 Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Fernerkundungsverfahren dienen der berührungslosen Vermessung von Objekten und ihrer Charakterisierung anhand elektromagnetischer Strahlung. Als Signalarten unterscheidet man reflektierte Strahlung, Fluoreszenzstrahlung und thermisch bedingte
25 Strahlung. Die häufigste Messung ist die vom Messobjekt reflektierte Sonnenstrahlung. Die Messmethodik umfasst verschiedene multispektrale und hyperspektrale Sensortechniken mit Wellenlängen im Spektralbereich von 400 nm bis 1000 nm, bzw. 2500 nm. Die Technik umfasst transportable Handsensoren,
30 bodengestützte Systeme bis hin zu flugzeug- und satellitenbasierten Systemen. Nach Verarbeitung des Sensorsignals erhält man eine spezifische Spektralsignatur über den gemessenen Wellenlängenbereich. Spektrale Signaturen sind das Ergebnis der vom gemessenen Objekt reflektierten Strahlung und zeigen ein
35 charakteristisches Muster, was sich aus der Reflexionsintensität

tät in Abhängigkeit von der Wellenlänge zusammensetzt und welches mit Art und Zustand des Objekts variiert.

Für ein durch einen entsprechenden Sensor aufgenommenes Objekt bestehen multiple Zustände, die sich in unterschiedlichen Signaturen darstellen (Guyot, 1990). Laut Buschmann (1993) reicht
5 eine Detektionsart für ein klares Bild über das Messobjekt nicht aus. Daher sind für die Interpretation der Signaturen oft weitere Attribute aus anderen Bereichen notwendig.

Das allgemeine Problem besteht darin, eine Verknüpfung oder
10 Klassifikation zwischen dem rein technischen Messergebnis und dem gemessenen Objekt zu erstellen. Ist das Objekt bekannt, repräsentieren die Spektralkurven definierte Zustände, die in ihrer Charakteristik einen bestimmten Zustand des Objekts beschreiben.

15 Zur Analyse und Objektklassifikation werden im Stand der Technik folgende Techniken angewandt:

1. Erste Ableitung der spektralen Signatur zur Verdeutlichung sensitiver und signifikanter Wellenlängenbereiche und zur Eliminierung von Bodensignalen, bzw. Hintergrundstörgrößen;
- 20 2. Zerlegung der Spektren und Transformationsanalyse der relativen Differenzen von z.B. gesundem zu befallenem Pflanzengewebe;
3. Partial least square Regression (PLS) Techniken basieren auf multifaktoriellen Regressionsfunktionen oder Splines mit
25 optimierten Variablenzahlen;
4. Anwendung multivariater Verfahren;
5. Wavelet Transformation als Weiterentwicklung einer Fourier-Transformation;
6. Distanzmessung zum Vergleich zweier Spektren, Zerlegung des
30 Spektrum auf objektrelevante Wellenlängen;

7. Physikalisch begründete Modelle der Umweltbedingungen; sowie

8. Indexbildung.

Mehrheitlich erfolgt eine Reflexionsspektrenanalyse durch Indices. In der Regel bedeutet das eine Reduktion der Information auf eine wenige Wellenbereiche oder Informationsreduktion auf einige (signifikante) Spektralbereiche.

Zu diesen Indices zählen:

Multispektrale Indices: SR (Simple Ratio), NDVI (normalised difference vegetation index), SAVI (soil - adjusted vegetation index) und zahlreiche weitere;

Hyperspektrale Vegetationsindices: RE, (Red Edge), Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI): (Verhältnis der Wellenlängen von 700, 670, 550 nm;

Normalised ratio indices: Verhältnis aller möglichen 2 er Kombination, die für ein Problem relevant sein könnten.

Blackburn (Blackburn, G.A., 2006, *Hyperspectral remote sensing of plant pigments*, J. Experim. Botany, 58, 4, 855-867.), Buschmann (Buschmann, C., 1993, *Fernerkundung von Pflanzen, Ausbreitung, Gesundheitszustand und Produktivität*, Naturwissenschaften 80, 439-453) oder Jensen (Jensen, John R., 2007, *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective* (Prentice Hall series in geographic information science), 2nd ed. 592 pp) haben die Mehrzahl dieser Indices zusammenfassend dargestellt und deren Verwendungsmöglichkeiten beschrieben.

Die Klassifikation erfolgt per Regression von gewählttem Index zu gemessener objektbezogener Größe, z.B. Biomasse in Gewichtseinheiten. Die Verwendung spezifischer Bänder führt zu Informationsverlusten und die Auflösung der Informationen, die

nach dem aktuellen Stand der Sensortechnik realisiert werden könnte, wird in den Indices vernachlässigt.

Aus der Deutschen Patentschrift DE 100 02 880 C1 ist ein Verfahren zur Ermittlung eines Pflanzenzustandes bekannt, bei dem
5 die Analyse der Reflexion von passiver und aktiver Beleuchtung, also Sonnenlicht und Beleuchtung mit einer künstlichen Lichtquelle, ausgewertet wird. Für dieses Verfahren ist ein Geräteträger erforderlich, der die Lichtquelle für die aktive
10 mögliche Kombination einer Pflanzen/Pathogen/Umwelt - Interaktion ein Referenzspektrum auf dem Mikroprozessor vorliegen muss, um eine Auswertung vornehmen zu können. Dies erscheint bei den gegebenen technischen Möglichkeiten unrealistisch, weil bei der Vielzahl der möglichen Kombinationen insbesondere
15 die Speicherung im Prozessor den derzeit und in absehbarer Zukunft verfügbaren Speicherplatz bei weitem überschreitet. Es wird in dieser Druckschrift auch nicht dargelegt, in welcher Form das Referenzspektrum vorliegt und wie der Vergleich durchgeführt wird. Für ein Fernerkundungsverfahren ist diese
20 Methode nicht geeignet.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Ermittlung des Zustandes von Pflanzen oder anderer Objekte durch Auswertung des reflektierten Spektrums zu schaffen, das verbesserte Informationen gegenüber dem Stand der Technik er-
25 bringt. Insbesondere soll das neue Verfahren geeignet sein, die aufgenommenen Spektren zu quantifizieren, d.h. auf numerische Werte abzubilden, um sie analysierbar und vergleichbar zu machen. Diese Aufgabe wird von einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

30 Weil das im Bereich des sichtbaren und des nah-infraroten Lichts aufgenommene Spektrum der Wellenlänge nm durch folgende Funktion beschrieben wird:

$$F_{(nm)} = A + \sum_{i=1}^n B_i \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{nm}{nm\alpha_i}\right)^{\alpha_i}} \right) \cdot e^{-\left(\frac{nm}{nm\beta_i}\right)^{\beta_i}} \quad \text{Gl. 1}$$

kann durch Änderung der Parameter A , B_1 bis B_n , α_1 bis α_n und β_1 bis β_n obige Funktion an das Spektrum angepasst werden. Es wird ein Parametervektor ermittelt, der eine vereinfachte Übermittlung des Ergebnisses und eine einfache Auswertung durch Vergleich mit anderen Parametervektoren ermöglicht. Die Anpassung ermöglicht eine sehr gute Unterscheidbarkeit verschiedener Pflanzenzustände oder deren Klassifikation. Diese Analyse verwendet die Gesamtinformation der momentan technisch möglichen Auflösung entsprechender Sensoren.

Dies gilt insbesondere schon für eine Funktion mit $n = 2$, die im Bereich bis 850 nm aussagekräftig ist. Eine weitere Verbesserung wird erreicht, wenn gilt $n = 3$ oder $n = 4$. Für Spektren bis etwa 2500 nm können Funktionen mit $n = 5$ oder $n = 6$ vorteilhaft sein.

Als Beispiel für $n=2$, also für den Wellenlängenbereich von 400 bis 850 nm, d.h. den sichtbaren und den nahen Infrarotbereich, lassen sich die charakteristischen Signaturen bezüglich der gemessenen Reflexionen folgendermaßen beschreiben:

$$F_{nm} = A + B_1 \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{nm}{nm\alpha_1}\right)^{\alpha_1}} \right) \cdot e^{-\left(\frac{nm}{nm\beta_1}\right)^{\beta_1}} + B_2 \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{nm}{nm\alpha_2}\right)^{\alpha_2}} \right) \cdot e^{-\left(\frac{nm}{nm\beta_2}\right)^{\beta_2}} \quad \text{Gl. 2}$$

Der Ansatz basiert auf einer Reihe von additiv verknüpften, doppelten Weibull-Funktionen. Einfache Weibull-Funktionen sind Bestandteil von Statistik-Standardwerken. Damit sind die Gesamtinformationen des spektralen Signaturintervalls zwischen 400 und etwa 850-1000 nm auf 9-11 Parameter verdichtet, wobei der gesamte Informationsbereich der Sensordaten verwendet

wird. Die zusätzliche Berücksichtigung des mittleren Infrarotbereichs erfordert eine entsprechende Erweiterung um $n=3,4,\dots,n$ mit jeweils 5 zusätzlichen Parametern für jede Amplitude. Die Funktion lässt sich mit jedem Parameterschätzprogramm an die spektralen Daten anpassen.

Parameterbeschreibung:

n_m ist die Wellenlänge im Messintervall. Der Parameter A beschreibt die Reflexionsgrundlinie eines Objekts [Einheit: % Reflexion]. B_1 und B_2 dienen der Modellanpassung auf der Y-Achse [Einheit: % Reflexion]. Die vier Parameter $n_{m\alpha_1}$, $n_{m\beta_1}$, $n_{m\alpha_2}$, $n_{m\beta_2}$ beschreiben die Wendepunkte [Einheit: nm], die Potenzparameter $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ den Grad der Steigungen der Funktion [Einheit: dimensionslos].

Die Parameter der Funktion lassen sich anhand der gemessenen Spektren mit den üblichen Verfahren (Kleinste Abweichungsquadratrate; Trust-Region Algorithmus; Maximum Likelihood) schätzen.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand von zwei Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Es zeigen:

Tabellen 1 bis 4: gemessene Spektren im Bereich 400 nm - 1.000 nm und angepasste Funktionen sowie die dazu ermittelten Parametersätze für gesunde Vegetation und unterschiedlichen Stadien der Schädigung; sowie

Tabelle 5: Abbildung einer spektralen Signatur im erweiterten Wellenlängenbereich bis 2500 nm.

Tabelle 6: Abbildung einer Fluoreszenzsignatur im Wellenlängenbereich bis 850 nm.

Ausführungsbeispiel 1

Zu Tabelle 1

Die Parameterschätzer für die $nm_{\alpha 1}$, $nm_{\beta 1}$ Parameter ergeben ein konsistentes Bild und entsprechen näherungsweise den Absorptionsbereichen von Anthocyan und Carotinoiden, und den oberen Absorptionsmaxima von Chlorophyll a und b. $nm_{\alpha 2}$ beschreibt den
5 sogenannten "blue edge" Bereich bei 716 nm.

Die Absolutwerte der Parameter A , B_1 , B_2 ändern sich mit der Skalenebene (hier Blatt, Pflanze, Bestand) bzw. Art und/oder Sorte oder sonstigen Faktoren und dienen der Klassifikation eines Objekts. Im gesunden Blattzustand haben die Potenzparameter Wertebereiche der oberen Approximation, höhere Werte
10 führen zu marginalen Änderungen des Funktionsverlaufs. Der Parameter $\beta 2$ adressiert die Reflexion des Wassergehalts, der in diesen Wellenlängenbereich durch die Sensoren aufgenommen wird.

15 Zu Tabelle 2:

Leichte Stresssymptome werden vorerst durch eine Verkleinerung der Potenzparameter $\alpha 1$, $\beta 1$ beschrieben und einer Vergrößerung des Parameter B . Änderungen treten damit zuerst in der Reflexion des sichtbaren Lichts auf. Damit lassen sich frühzeitig
20 Stresssymptome in den Parameter identifizieren und über die Stresslevel auf der Ebene der relativen Parameteränderung quantifizieren (Tab. 2)

Zu Tabelle 3:

Zunehmender Stress führt zu einem veränderten Signaturverlauf
25 (Tab. 3) und damit zu einem veränderten Parametervektor. Die Tendenz abnehmender Werte für die Potenzparameter verstärkt sich mit zunehmendem Stresszustand der Pflanze. Zusätzlich zeigen sich Veränderung in den Parameterbereichen, die den Nah-Infrarot Bereich betreffen.

30 Zu Tabelle 4:

Ist die Intensität eines Stressses letal, so zeigt sich die Zerstörung der Blattstruktur auch an den Parameterwerten. Die physiologisch begründbaren Parameter der Wendepunkte, die bisher wenig auf die stressbedingte Änderungen reagiert haben, sind in Wertebereiche verschoben, die nicht mehr mit den photosynthetisch aktiven Bereichen übereinstimmen. Die Abweichungen in den Parameterwerten spiegeln den Grad der Zellstrukturzerstörung wider.

Im gegebenen Beispiel wird der Wert des Parameters α_1 immer kleiner, zusätzlich approximieren beide Potenzparameter β gegen 1. Die Werteänderung beschreibt den Übergang von beginnendem Stress bis hin zu den massiven Stress- und Absterbescheinungen und weiter zur Zerstörung und Auflösung der Gewebestruktur.

15

Ausführungsbeispiel 2

Zu Tabelle 5: Abbildung der spektralen Signatur im Wellenlängenbereich bis 2500 nm, Daten erweitert aus Mahlein et al., 2009. Am Beispiel eines gesunden Zuckerrübenblattes ist dargestellt, wie sich das Modell mit $n=6$ an die Sensordaten anpassen lässt. Auch unter Verwendung von 31 Parametern ist das System numerisch noch auswertbar.

Das Modell verhält sich konsistent über den zeitlichen Verlauf spektraler Signaturen und ist in der Lage, den Verlauf einer ganzen Vegetationsperiode einer Pflanze von Saat bis zur Reife und Seneszenz abzudecken.

25

Ausführungsbeispiel 3

Zu Tabelle 6: Anpassung an das Ergebnis eines Fluoreszenzensors im Wellenlängenbereich bis 850nm. Die Streuung der geschätzten Parameter ist hoch, die Anwendung des Modells ist machbar, weitere Analysen sind notwendig.

30

Vorteile

Klassifikationen können über die Gesamtheit der Parameter durchgeführt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Individualität eines Parametervektor mit seinen 11 Parameter bei n=2 für eine Klassifikation von Beständen, Arten, Sorten verwendet werden kann und eine sehr hohe Trennschärfe erreicht wird. Abgleich eines geschätzten Parametersatzes mit Spektraldatenbanken können die Schwierigkeiten auch ähnlicher Klassifikationen überwinden.

Die Vegetationskurven repräsentieren den Gesamtzustand eines Objekts. D.h. es werden multiple Faktoren in ihrer Gesamtwirkung zusammengefasst. Abweichungen in einigen spezifischen Parametern erlauben die Quantifizierung der Abweichung im Vergleich zum gesunden Normalzustand zu einem gegebenen Zeitpunkt.

Objektbezogene, abgestufte Analysemöglichkeiten:

Für die Skalenebene Bestand, Klassifikation der Kultur

Kulturbestimmung durch den kulturspezifischen Parametersatz, bestehend aus den 11 Parametern (für n=2 und gegebener physiologischer Zeit), z.B. für eine Differenzierung von für Wald und Grünland. Eine Hinterlegung von kulturspezifischen Datenbanken erlaubt die Echtzeit- oder Online Analyse;

Für eine gegebene Skalenebene:

Stressdiagnose über Änderung der Parameter, d.h. welche Parameter ändern sich in welcher Größenordnung, Beispiele: Nährstoffstress, Wasserstress, Pathogenstress;

Für eine gegebene Diagnose, d.h. Stressor ist bekannt:

Intensität des Stresses, Erfassung und Quantifizierung über Zeitreihen, Parameterwerte müssen relativ zu Altersstruktur des Objekts interpretiert werden;

Statistische Analyse

- 5 Vergleich einzelner Parameter über die Varianz / Konfidenzintervalle der Schätzer können zur statistischen Analyse von Behandlungseffekten angewandt werden. Der Parametervergleich erlaubt eine statistisch signifikante Abgrenzung und ermöglicht eine Vergleichbarkeit von Signaturen über die Signifikanz der statistischen Tests.

10 Die erweiterte Form der Analyse ist der Vergleich des Spektrums über den gesamten Wellenlängenbereich als ein Spezialverfahren von Funktionsvergleichen. Die absolute und relative Richtungsänderung (+/-) eines Parameters erlaubt die Quantifizierung eines Behandlungseffekts und die relative Zuordnung zu einer möglichen Stressorcharakterisierung.

Das Analyseverfahren ist auf alle spektrale Reflexionssignaturen anwendbar und nicht reduziert auf die Analyse von Vegetationskurven. Der simple Algorithmus mit einer einfachen schnellen Lösung ist eine Grundlage für Analysen in Echtzeit- und Hochdurchsatzverfahren. Die Einsatzbedingungen sind gegeben durch die vorhandenen Sensortechniken. Der Algorithmus ist anwendbar auf transportable Handsensoren, bodengestützte Systeme bis hin zu den flugzeug- und satellitenbasierten Sensoren. Es eignet sich für alle kommerziell und wissenschaftlich genutzten Sensoren und für die Anwendung in Statistik-Programmpaketen und Geoinformationssystemen.

30 Die Fernerkundung verwendet u.a. die reflektierte Strahlung zur berührungslosen Erfassung von Objekten. Diese Messmethode liefert charakteristische, spektrale Signaturen im betrachteten Wellenlängenbereich, die zur Erkennung bzw. Klassifikation eines vermessenen Objekts analysiert werden müssen. Die verschiedenen Verläufe spektraler Signaturen lassen sich über ad-

ditiv verknüpfte doppelte Weibull-Funktionen in ihrer Gesamtheit beschreiben. Für das Wellenlängeintervall von 400 bis 850-1000 nm wird die Gesamtinformation auf 11 Parameter komprimiert. Die Objektklassifizierung erfolgt über die Individualität des Parametervektors oder über die relative Änderung einzelner Parameter. Der Algorithmus bildet eine Grundlage für Echtzeit- und Hochdurchsatzanalysen, sowie zum statistischen Vergleich von Signaturkurven in der wissenschaftlichen Analyse und Abschätzung von Behandlungseffekten.

5

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Identifikation und/oder Ermittlung des Zu-
 10 standes von Pflanzen oder anderen Objekten durch Auswer-
 tung des reflektierten Spektrums im Wellenlängenbereich
 von 400 nm bis 2.500 nm, mit folgenden Verfahrensschrit-
 ten:
- Aufnehmen eines von wenigstens einer Oberfläche einer
 15 Pflanze oder eines anderen Objekts reflektierten Spekt-
 rums,
 - Anpassen einer wellenlängenabhängigen Funktion $F_{(nm)}$ an
 das Spektrum durch numerische Variation von Parametern
 der Funktion Vergleichen des Spektrums, **d a d u r c h**
 20 **g e k e n n z e i c h n e t**, dass
 - die Funktion

$$F_{(nm)} = A + \sum_{i=1}^n B_i \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{nm}{nm_{\alpha_i}}\right)^{\alpha_i}} \right) \cdot e^{-\left(\frac{nm}{nm_{\beta_i}}\right)^{\beta_i}}$$

- verwendet wird und diese durch Anpassen der Parameter A,
 B₁ bis B_n, α₁ bis α_n und β₁ bis β_n an das Spektrum angepasst
 25 wird, bis die Abweichungen einen vorgegebenen Wert unter-
 schreiten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t**, dass für den Wellenlängenbereich von 400 nm bis 850 nm $n = 2$ oder $n = 3$ ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass für den Wellenlängenbereich von 400 nm bis 2.500 nm $n = 4$ bis $n = 6$ ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass für einen Vergleich des Spektrums mit einer Datenbank ein Parametervektor umfassend die Parameter A , B_1 bis B_n , α_1 bis α_n und β_1 bis β_n ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass das Spektrum ein Reflexionsspektrum von Pflanzen und Pflanzenbeständen ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass die Ermittlung der Parameter nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate erfolgt.
7. Computerprogramm mit Programmcodemittel, um ein Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 bis 6 durchzuführen.
8. Programmierter integrierter elektronischer Baustein mit digitalen und analogen Baugruppen, um ein Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 bis 6 durchzuführen.
9. Messgerät zur Ausführung eines Computerprogramms gemäß Anspruch 7.
10. Messgerät zum Betrieb von Bausteinen gemäß Anspruch 8.

LE 090072de

23.9.2009

a1101463

5

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft ein Auswerteverfahren zur Analyse
spektraler Signaturen, die durch entsprechende Sensoren von
10 beliebigen Objekten gewonnen werden.

Anhang

5 Tabelle 1: Signaturbeispiel: gesundes Blatt einer Zuckerrübenpflanze (Daten nach Hillnhütter et al., 2009)

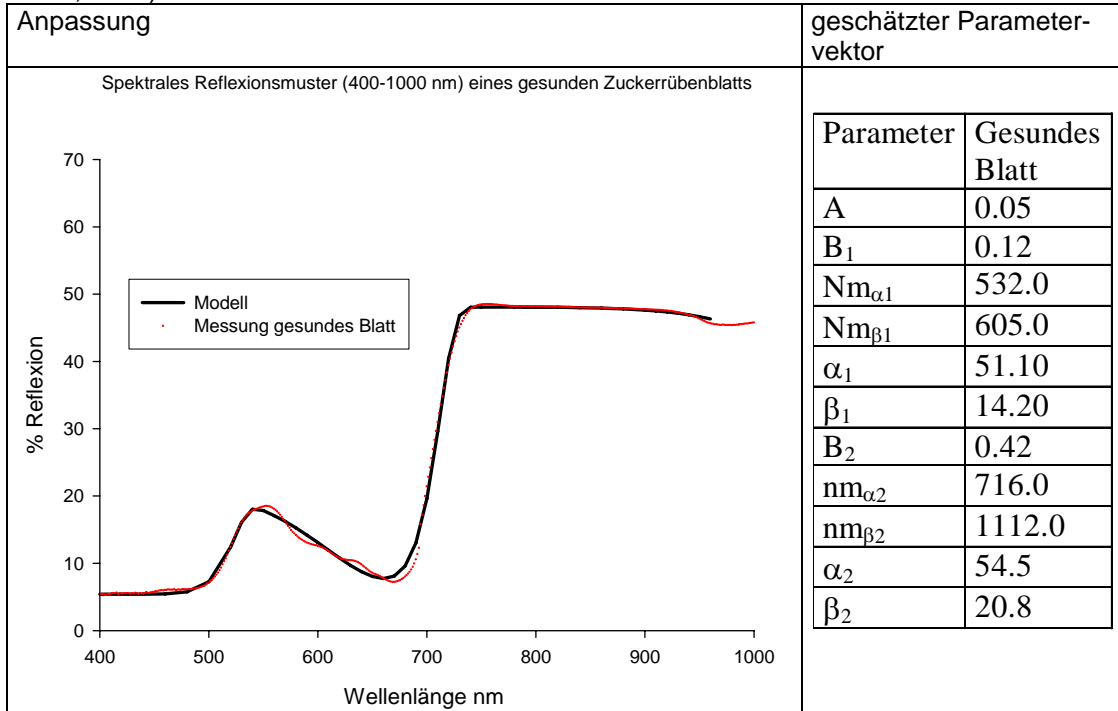


Tabelle 2: Signaturbeispiel: leicht gestresstes Blatt (Daten nach Hillnhütter et al., 2009)

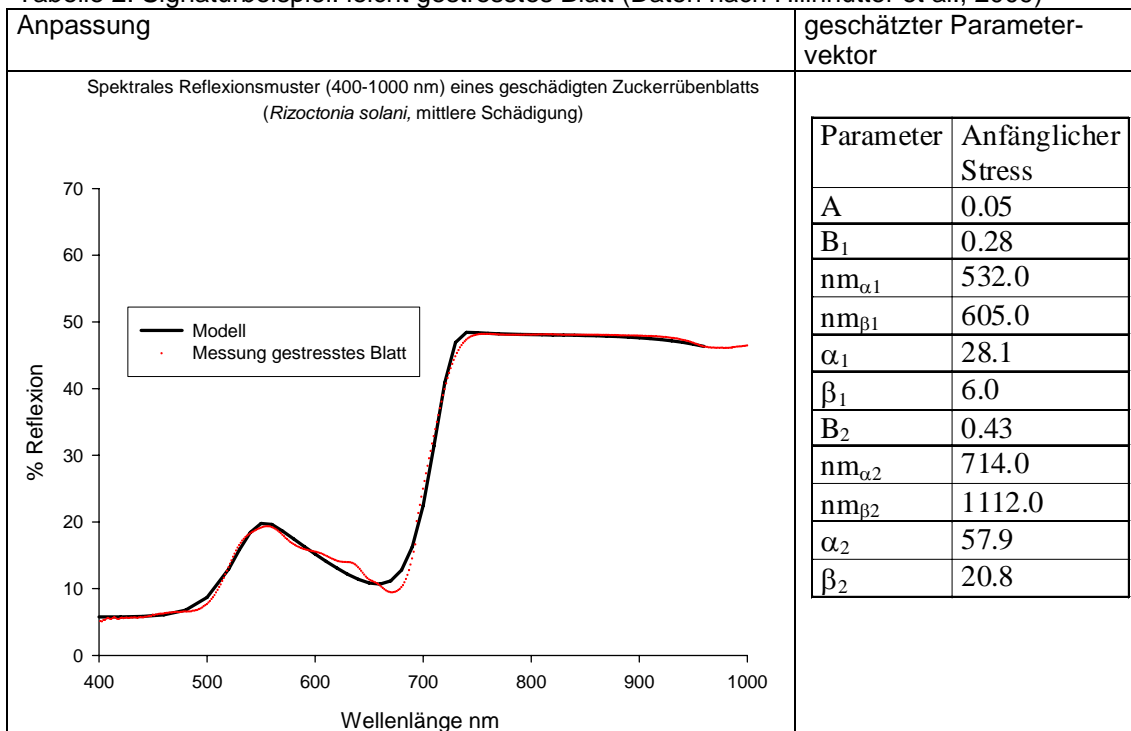
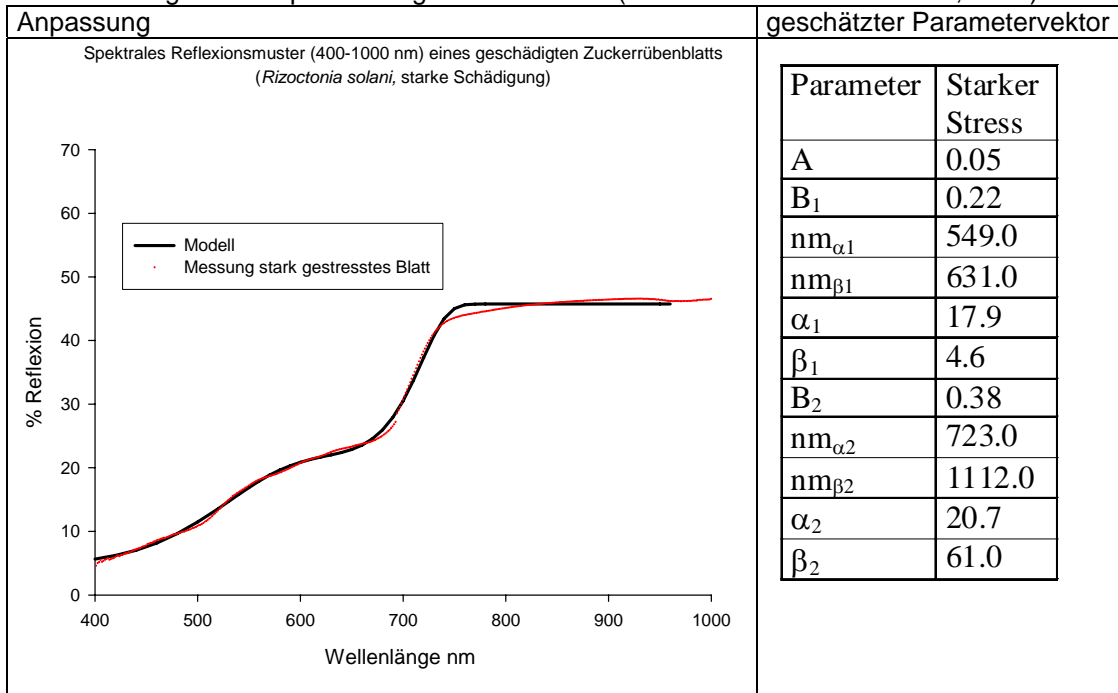


Tabelle 3: Signaturbeispiel: stark gestresstes Blatt (Daten nach Hillnhütter et al., 2009)



5

Tabelle 4: Signaturbeispiel: letal geschädigtes Blatt (Daten nach Hillnhütter et al., 2009)

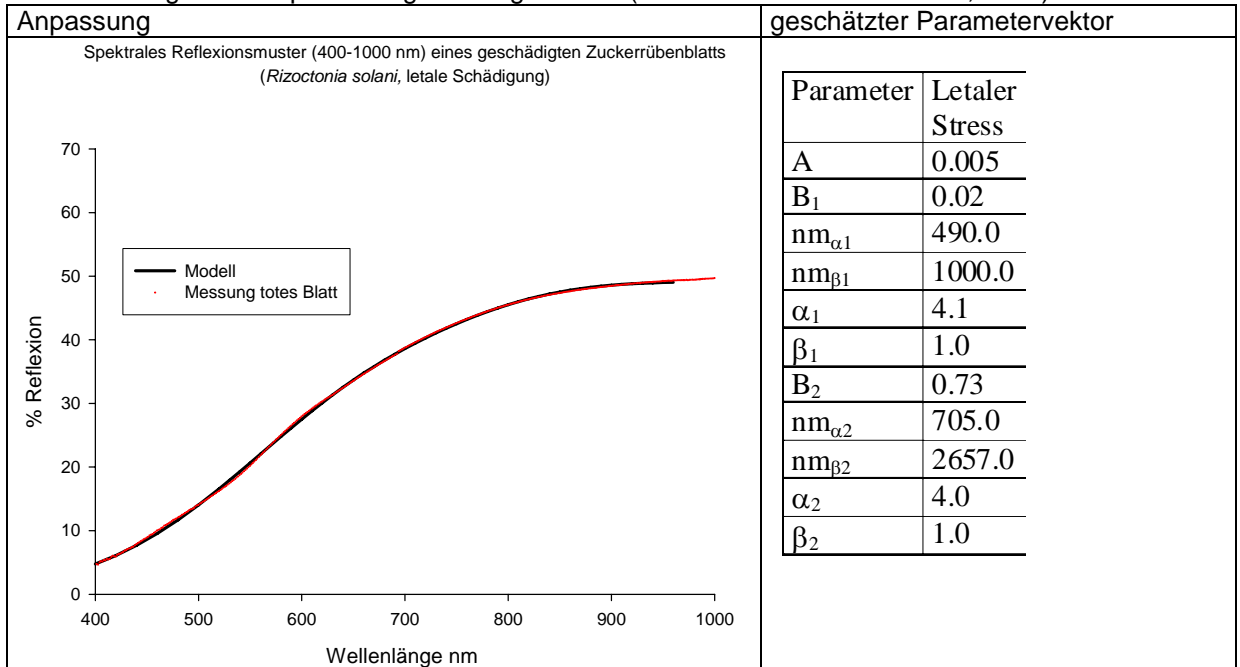
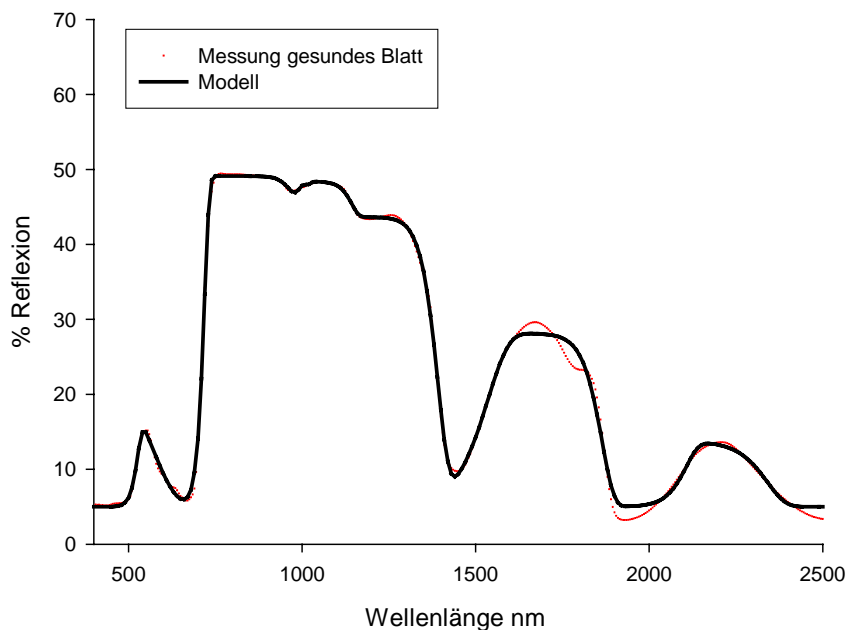


Tabelle 5: Signaturbeispiel bis zu einem Wellenlängenbereich von 2500 nm (Daten erweitert nach Mahlein et al., 2009), Bsp. gesundes Zuckerrübenblatt, n=6;

5

Spektrales Reflexionsmuster (400-2500 nm) eines gesunden Zuckerrübenblatts



Parametersatz, gesundes Zuckerrübenblatt, n=6						
A	5.0		B ₃	5.4	B ₅	23.1
B ₁	23.6		nm _{α3}	1068.2	nm _{α5}	1538.0
nm _{α1}	530.9		nm _{β3}	1143.7	nm _{β5}	1865.3
nm _{β1}	562.1		α ₃	8.497	α ₅	26.856
α ₁	42.638		β ₃	64.796	β ₅	56.013
β ₁	8.168		B ₄	38.6	B ₆	8.82
B ₂	43.8		nm _{α4}	1037.9	nm _{α6}	2109.4
nm _{α2}	719.5		nm _{β4}	1393.4	nm _{β6}	2342.1
nm _{β2}	1036.3		α ₄	23.942	α ₆	59.782
α ₂	54.417		β ₄	46.524	β ₆	45.019
β ₂	20.530					

10

ANHANG 2

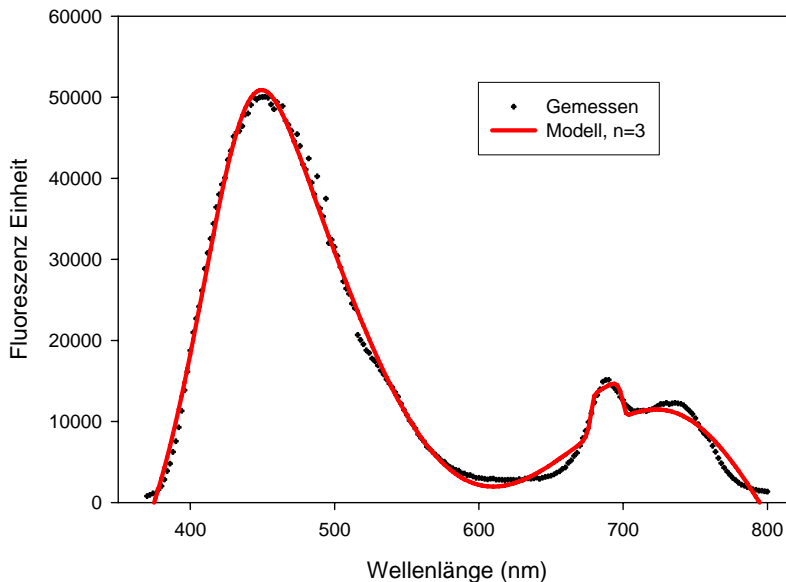
Tabelle 6: Signaturbeispiel Fluoreszenz, Weizenblatt, Daten von K. Bürling, INRES Gartenbauwissenschaften, Universität Bonn

5

Fluoreszenzmessung

10

15



Parameterschätzer

Parameter	Schätzer	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untere Grenze	Obere Grenze
a	-15150,809	1697,305	-18497,718	-11803,900
b1	115647,503	17384,811	81366,459	149928,547
ac1	421,423	1,104	419,245	423,600
al1	15,113	,540	14,048	16,178
bc1	499,369	6,718	486,122	512,616
bl1	5,799	1,107	3,616	7,982
b2	8015,312	4366,369	-594,715	16625,338
ac2	680,548	2,353	675,909	685,187
al2	158,025	51,356	56,757	259,293
bc2	698,468	5,632	687,363	709,574
bl2	75,586	53,232	-29,381	180,553
b3	49489,657	483840,835	-904594,259	1003573,573
ac3	704,338	994,914	-1257,529	2666,206
al3	8,175	9,210	-9,987	26,337
bc3	788,612	428,606	-56,554	1633,778
bl3	12,864	53,574	-92,778	118,507

Literatur

- Blackburn, G.A., 2006, Hyperspectral remote sensing of plant pigments, *J. Experm. Botany*, 58, 4, 855-867.
- 5 Buschmann, C. ,1993, Fernerkundung von Pflanzen, Ausbreitung, Gesundheitszustand und Produktivität, *Naturwissenschaften* 80, 439-453.
- 10 Guyot, G., 1990, Optical Properties of vegetation canopies, in "Applications of Remote Sensing in Agriculture", 1990, edited by J.A. Clark, M.D. Steven, Butterworth, London, Kap. 2, 19-43;
- Haaland, D.M., Thomas, E.V., 1988. Partial least-squares methods for spectral analyses. 1. Relation to other quantitative calibration methods and the extraction of qualitative information. *Analytical Chemistry* 60, 1193–1202.
- 15 Hartung, J. (1991); Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 8. Auflage, Oldenbourg, 976 S.;
- Hillnhütter, C. , Sikora, R.A., Oerke, E.C., 2009, Wechselbeziehungen zwischen *Heterodera schachtii* und *Rhizoctonia solani* an der Zuckerrübe: Berührungloser Nachweis und Sortenvergleich, Oral presentation at the DPG Arbeitskreistagung Nematologie, 11.03.09-12.03.09, Düren, Germany;
- 20 Jahn, B.R., R. Linker, S.K. Upadhyaya, A. Shaviv; D.C. Slaughter; I. Shmulevich, 2006, Mid-infrared Spectroscopic Determination of Soil Nitrate Content, *Biosystems Engineering* 94 (4), 505–515.
- 25 Jensen, John R., 2007, Remote sensing of the environment: an earth resource perspective (Prentice Hall series in geographic information science), 2nd ed. 592 pp.
- Keshava, N., 2004, Distance metrics and band selection in hypespectral processing with applications to material identification and spectral libraries, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 42,2, 1552-1565.
- 30 Larsolle, A. Muhammed, H.H., 2007, Measuring crops status using multivariate analysis of hyperspectral field reflectance with application to disease severity and plant density, *Precision Agric.*, 8, 37-47.
- 35 Mahlein, A.-K., Steiner, U., Dehne, H-W., Oerke, E-C., 2009, "Spectral signatures of diseased sugar beet leaves", *Proceeding of the 7th JIAC 2009*, Wageningen, Netherlands, 239-246.
- Muhammed H.H. (2005) Hyperspectral Crop Reflectence Data for Characterising and Estimating Fungal Disease Severity in Wheat, *Biosystems engineering*,91, 9-20.
- 40 Richter, O. & Söndergerath, D. (1990), Parameter estimation in ecology, the link between data and models,VCH, 219 S.
- 45 Steven, M.D.; Malthus, T.J., Demetriades-Shahj, T.H., Danson, F.M., & Clark, J.A., 1990, High-spectral resolution indices for crop stress, in "Applications of Remote Sensing in Agriculture", 1990, edited by J.A. Clark, M.D. Steven, Butterworth, London, Kap. 14, 209-227;
- Sunshine, J.M., Pieters, C.M. (1993) Estimating modal abundances from the spectra of natural and laboratory pyroxene mixtures using the modified Gaussian model, *Journal of Geophysical Reseach*, 98, 9075-9087;
- 50 Viscarra-Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney, A.B., Janik, L.J., Skjemstad, J.O., 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131, 59–75.
- 55
- 60