

Geostatistische Analyse der Wachstumsvariabilität von Winterweizen in einem Agroforstsystem auf Basis von Spektralmessungen

Magdalena OCHSENBAUER¹, Thomas MACHL², Franz-Xaver MAIDL³,
Kurt-Jürgen HÜLSBERGEN³ und Matthäus SCHILCHER²

¹ Abteilung Information und Wissensmanagement · Landesanstalt für Landwirtschaft
Lange Point 12 · 85354 Freising
E-Mail: magdalena.ochsenbauer@lfl.bayern.de

² Fachgebiet Geoinformationssysteme · Technische Universität München
Arcisstraße 21 · 80333 München
E-Mail: thomas.machl@bv.tum.de, matthaeus.schilcher@bv.tum.de

³ Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme · Technische Universität München
Alte Akademie 12 · 85354 Freising
E-Mail: maidl@wzw.tum.de, huelsbergen@wzw.tum.de

Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Nutzung von Ressourcen das Interesse an einer multifunktionalen Landschaft deutlich angestiegen. Ein Beispiel hierfür sind Agroforstsysteme, bei der Gehölze in ackerbaulich genutzte Flächen eingebunden werden. Neben agrarökologischen Effekten ist gerade für den Landwirt die Rentabilität eines Agroforstsystems wichtig. Dahinter steht die Frage, ob insgesamt eher synergistische oder konkurrierende Effekte zwischen der Forst- und Agrarkomponente existieren. In dieser Arbeit wird dabei der Einfluss von Gehölzstreifen auf die Ackerkultur untersucht. Dazu werden für eine flächige Analyse der Wachstumsvariabilität von Winterweizen Reflexionsmessungen durchgeführt.

Als Versuchsstandort dient ein silvoarables Agroforstsystem der Versuchsstation Scheyern (nahe Pfaffenhofen, Bayern), in dem mehrere Baumarten zur energetischen Nutzung etabliert wurden. Bisher wurde der Ertrag der Ackerkultur meist nur innerhalb von Parzellen gemessen, welche in Transekten quer zu den Baumreihen angeordnet sind oder in Streifen entlang der Baumreihen. In dieser Arbeit wurden in der Vegetationsperiode im Jahr 2012 zu mehreren Entwicklungsstadien des Winterweizens dagegen georeferenzierte Reflexionsmessungen durchgeführt, aus spezifischen Wellenlängen der Vegetationsindex REIP („Red Edge Inflection Point“) für jeden Messpunkt errechnet und auf Basis von geostatistischen Analysen interpolierte Karten erstellt. Die Ergebnisse der Interpolation aus den Daten der ersten (Pflanzenentwicklungsstadium BBCH¹-32) und dritten Messung (Pflanzenentwicklungsstadium BBCH-65) wurden anschließend in ein NetCDF (Network Common Data Form) gespeichert und stehen für umfangreiche raumzeitliche Analysen zur Verfügung.

¹ Die BBCH-Skala dient zur einheitlichen Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen; die Kurzbezeichnung leitet sich dabei von **B**iologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, **B**undessortenamt und **C**hemische Industrie ab (BBA 2001).

1 Einführung

Schon zu den Anfängen der Landwirtschaft war der sogenannte Wanderfeldbau mit seinem aufeinanderfolgenden Anbau von ackerbaulichen und hölzernen Kulturen in Europa weitverbreitet. Später entwickelten sich daraus die Waldweiden, Hecken oder auch die Streuobstwiesen. Im 20. Jahrhundert ist diese kombinierte Nutzung von Gehölzen und landwirtschaftlichen Kulturen in Europa deutlich zurückgegangen (EICHORN et al. 2006). Unter Umständen ergeben sich durch die Baumstreifen arbeitswirtschaftliche Nachteile und dadurch höhere Kosten für die Bewirtschaftung bei der maschinellen Bearbeitung der Fläche, welche bislang nicht ausreichend durch Ausgleichszahlungen kompensiert werden. In den letzten Jahren ist dagegen das Interesse an einer multifunktionalen Landschaft mit der Einbindung von Gehölzen in ackerbaulich genutzten Flächen wieder angestiegen. Diese Kombination wird als Agroforstsystem bezeichnet und in aktuellen Forschungsprojekten intensiv untersucht. Auch am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme (TUM) werden in einem nationalem Verbundprojekt (ELKE) silvoarable Agroforstsysteme als extensives Landnutzungskonzept für die Produktion nachwachsender Rohstoffe als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme auf ihre Eignung hin erforscht (siehe auch www.landnutzungsstrategie.de).

2 Grundlagen und Stand des Wissens

2.1 Agroforstsysteme

Der Begriff „Agroforstsystem“ ist eine Sammelbezeichnung für eine Anbauform, bei der holzige, mehrjährige Kulturpflanzen (Bäume, Sträucher, Palmen, Bambus etc.) bewusst auf einer gleichen räumlichen Bewirtschaftungseinheit angebaut werden, auf der sich entweder landwirtschaftliche Kulturen oder Tiere befinden. Die Kombination erfolgt entweder in Form einer bestimmten räumlichen Anordnung oder in Form einer zeitlichen Abfolge. Dabei treten sowohl ökologische als auch ökonomische Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Komponenten auf. (NAIR 1993)

Bei den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Agroforstsystemen handelt es sich um ein sogenanntes silvoarables System mit Energieholzstreifen. In silvoarablen Systemen werden zeitgleich auf derselben Fläche Bäume und Feldfrüchte angebaut. Die Bäume können dabei verstreut oder in Reihen angeordnet sein (MOSQUERA-LOSADA et al. 2009). Die Produktivität eines Agroforstsystems ist abhängig von der Auswahl der Baumarten und auch abhängig von deren Interaktion mit den Ackerkulturen. Mit dieser Thematik haben sich in Europa schon mehrere nationale und internationale Forschungsgruppen beschäftigt: Direkt neben Hecken bzw. neben Gehölzstreifen findet gemäß den Angaben aus der Literatur in den meisten Fällen eine Ertragsdepression der Ackerkultur statt (PRETZSCHEL et al. 1991, KOWALCHUK et al. 1995, WEBER 2003, BURGESS et al. 2004, MÖNDEL 2007, VETTER & BÄRWOLFF 2010). Bei KOWALCHUK et al. (1995) zeigte sich eine Ertragsdepression bis zu einem Abstand von 10 m neben den Windschutzhecken, VETTER & BÄRWOLFF (2010) haben in einem ihrer Agroforst-Versuche den geringsten Ertrag direkt am Gehölzsaum (3 m) und den höchsten Ertrag 8 m entfernt davon gemessen. Ursache der Ertragsdepression direkt neben den Gehölzen ist hauptsächlich die Konkurrenz um Nährstoffe, Licht und Wasser (siehe Abb. 1). Dagegen kann der Schutz vor Wind zu einer verminderten Verduns-

tung bzw. einer höheren Bodenfeuchte und Taubildung führen und damit einen Mehrertrag außerhalb der Wettbewerbszone ermöglichen (siehe Abb. 1).

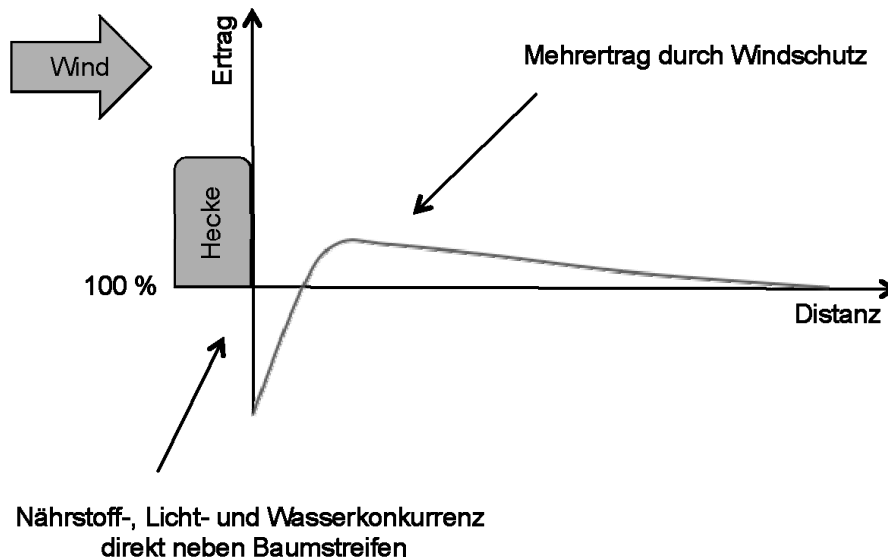


Abb. 1: Schematische Darstellung der Ertragsvariabilität einer Ackerkultur neben einer quer zur Windrichtung verlaufenden Hecke (verändert nach WEBER 2003 und MÖNDEL 2007).

2.2 Spektralanalysen

In den bisherigen Forschungsprojekten wurde der Ertrag der Ackerkultur meist mithilfe von in Transekten quer zu den Baumreihen angeordneten Parzellen oder in Streifen entlang der Baumreihen gemessen. Mit diesen Methoden lässt sich die kleinräumige Variabilität jedoch nicht ausreichend erfassen. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht daher die Quantifizierung der Wachstumsvariabilität des Weizenbestandes mithilfe von Spektralsensormessungen. Bei der Messung wird das Reflexionsspektrum der Pflanzenoberfläche des Weizens im sichtbaren und nahinfraroten Bereich (350 bis 1050 nm) erfasst. Bei der Identifizierung von grüner Biomasse ist der Wellenlängenbereich von 680 bis 780 nm sehr charakteristisch, denn hier findet ein starker Anstieg der Reflexion statt (siehe Abbildung 2). Die Lage und Form ist dabei von der Chlorophyllkonzentration und vom strukturellen Aufbau abhängig. GUYOT & BARET haben 1988 einen Vegetationsindex entwickelt, welcher den Effekt der Bodenhelligkeit minimiert. Dieser Vegetationsindex verrechnet die Wellenlängenbanden, welche alle sehr nahe um den sogenannten „Red Edge Inflection Point“ (Wellenlängenbereich am Hauptwendepunkt) im roten und nahinfraroten Bereich liegen (siehe Abbildung 2). Im Folgenden wird dieser Vegetationsindex REIP (1) genannt. Dabei bezeichnet R_x die Reflexion bei x nm.

$$\lambda = 700 + 40 * \frac{\frac{R_{670} + R_{780}}{2} - R_{700}}{R_{740} + R_{700}} \quad (1)$$

Der REIP eignet sich sehr gut für die Bestimmung des Chlorophyllgehalts in Blättern (BOOCHS et al. 1990, FILLELA et al. 1994, PENUELAS et al. 1998) und der Chlorophyllgehalt

ist wiederum mit dem N-Gehalt bzw. der N-Aufnahme von Pflanzen korreliert (STRENNER & MAIDL 2010). Weiterhin haben mehrere Forschungsergebnisse belegt, dass der Hauptwendepunkt im nahen infraroten bis roten Wellenlängenbereich gut mit der Biomasse von grünen Pflanzen korreliert (BOOCHS et al. 1990, FILLELA et al. 1994).

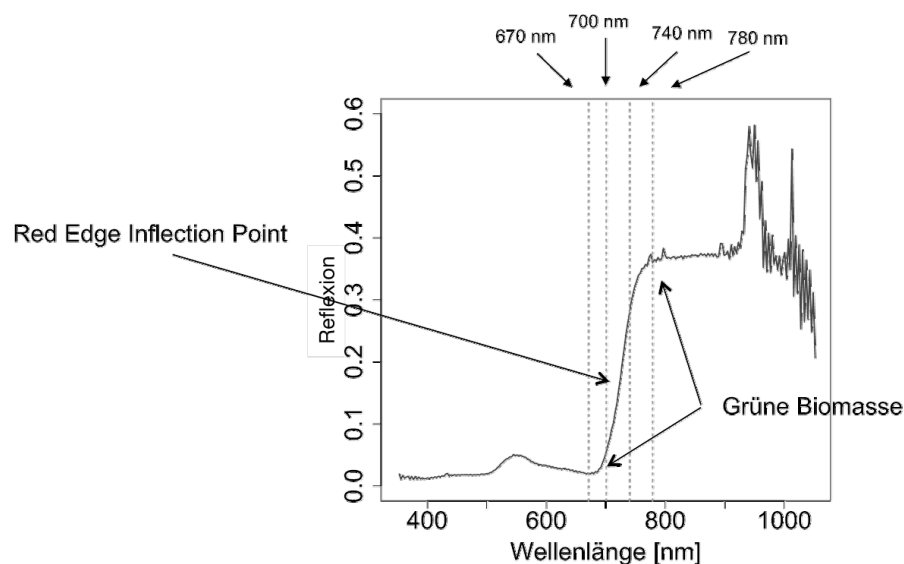


Abb. 2: Reflexionskurve einer vitalen Pflanze mit Wellenlängen (schwarz gestrichelt), welche für die Berechnung des Red Edge Inflection Point (REIP) verwendet werden (verändert nach PENUELAS et al. 1998).

3 Material und Methoden

Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Quantifizierung der räumlichen Wachstumsvariabilität von Winterweizen in einem Agroforstsystem basierend auf Spektralsensormessungen. Als Versuchsstandort dient hierfür ein silvoarables Agroforstsystem der Versuchstation Scheyern, in dem mehrere Baumarten (Pappel, Weide, Robinie, Erle, einheimische Mischung) im Jahr 2009 zur energetischen Nutzung etabliert wurden (Umtriebszeit: 4 Jahre).

Bei dem in dieser Arbeit verwendeten Feld-Spektrometer handelt es sich um ein zweikanaliges Spektralsensorsystem der Firma Tec5 mit zwei monolithischen miniaturisierten Spektralsensoren (2 MMS-VIS) der Firma Carl Zeiss. Der Referenzkanal mit einem cosinuskorrigierten Diffusor erfasst das einfallende Sonnenlicht und der Messkanal erfasst die reflektierte Strahlung. Bei einem Öffnungswinkel von 25° und einem Abstand von circa 50 cm über dem Pflanzenbestand wird eine Fläche von circa 0.03 m^2 erfasst. Der genutzte Wellenlängenbereich geht von 350 bis 1052 nm; die spektrale Auflösung beträgt dabei 3 nm. In diesem Versuch wurde für die Positionserfassung der einzelnen Reflexionsmessungen ein RTK-GPS von Trimble verwendet.

Für die statistischen und geostatistischen Analysen wurde R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2012) verwendet, eine interpretierte Programmiersprache welche durch eine Vielzahl von Paketen (*gstat*, *geoR* etc.) erweitert werden kann. Dabei wurden im Rahmen dieser Arbeit

umfangreiche Tools zur automatischen Analyse der Wachstumsvariabilität von Winterweizen entwickelt.

4 Geostatistische Analysen

4.1 Theoretische Grundlagen

Für die geostatistischen Analysen müssen die Daten zuerst auf die Annahmen der Stationarität hin überprüft werden. Falls bei den Daten ein Trend zu erkennen ist, sind die Annahmen der Stationarität nicht erfüllt, da die intrinsische Hypothese, welche besagt, dass der Erwartungswert für alle x gleich ist und nicht vom Ort abhängt, nicht erfüllt ist (WEBSTER & OLIVER 2007).

Das Variogramm quantifiziert die räumliche Autokorrelation der Zufallsvariablen in Abhängigkeit der Distanz. Für das experimentelle Variogramm wird für jedes Datenpaar die Semivarianz (2) ausgerechnet und anschließend für jede Distanzklasse gruppiert (Abbildung 3 (a)). Die Semivarianz γ wird in Abhängigkeit der Distanz h für jedes Wertepaar z_i und z_{i+h} berechnet.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 \cdot n_h} * \sum_{i=1}^{n_h} (z_i - z_{i+h})^2 \quad (2)$$

Nach der visuellen Analyse wird an das experimentelle Variogramm (e) mittels iterativer Methoden ein theoretisches Modell (t) angepasst (siehe Abbildung 3 (a)). Die *Nugget-Varianz* entspricht dem Interzept des Variogramms und zeigt den Messfehler und die Variation am Messort an. Der *Range* beschreibt, bis zu welcher Entfernung eine Autokorrelation zwischen Messwerten zu erwarten ist. Der Schwellenwert (*Sill*) beschreibt dabei die maximale Semivarianz, welche über eine theoretisch unendliche Distanz gegeben ist.

Anhand einer richtungsabhängigen Betrachtung der Variogramme können mehrere Eigenschaften untersucht werden: Isotropie liegt vor, wenn das Variogramm in alle Richtungen dieselbe Form besitzt. Falls dies nicht der Fall sein sollte, herrscht eventuell eine geometrische *Anisotropie* vor. Der zu schätzende Bereich kann durch eine Koordinatentransformation in einen isotropen Fall überführt werden. In *gstat* wird dabei der Range-Parameter durch drei Parameter ersetzt – durch einen Range-Parameter in Richtung der stärksten Korrelation (major direction), einen Winkel (azimuth) mit der Hauptrichtung und dem Anisotropie-Verhältnis (Abb. 3(b)). Über das Anisotropie-Verhältnis wird die Nebenrichtung (minor direction) automatisch berechnet. (HENGL 2007)

4.2 Räumliche Interpolation und Fehlerberechnung

Die oben genannten Parameter (Nugget, Sill, Range) und das theoretische Variogramm bilden die Grundlage für die räumliche Interpolation. Das Ziel ist es, von Punktmessungen zu flächenhaften Aussagen zu kommen. In dieser Arbeit wird das Ordinary Kriging mit Blockschätzungen verwendet, welches sehr robust ist. Die Krige-Schätzung für einen Block ist ein einfacher gewichteter Durchschnitt der Daten (3). Dabei wird Z für einen Block B durch $\hat{Z}(B)$ anhand der umliegenden Daten $z(x_i)$ an den Punkten x_i geschätzt. Um sicher zu gehen, dass die Schätzung unverzerrt ist, werden die Gewichtungen (λ_i) zu 1 aufsummiert.

$$\hat{Z}(B) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

Nach der Annahme, dass Dinge, die näher beieinanderliegen, sich ähnlicher sind, fließen die jeweils nächsten Punkte am stärksten in die Schätzung ein.

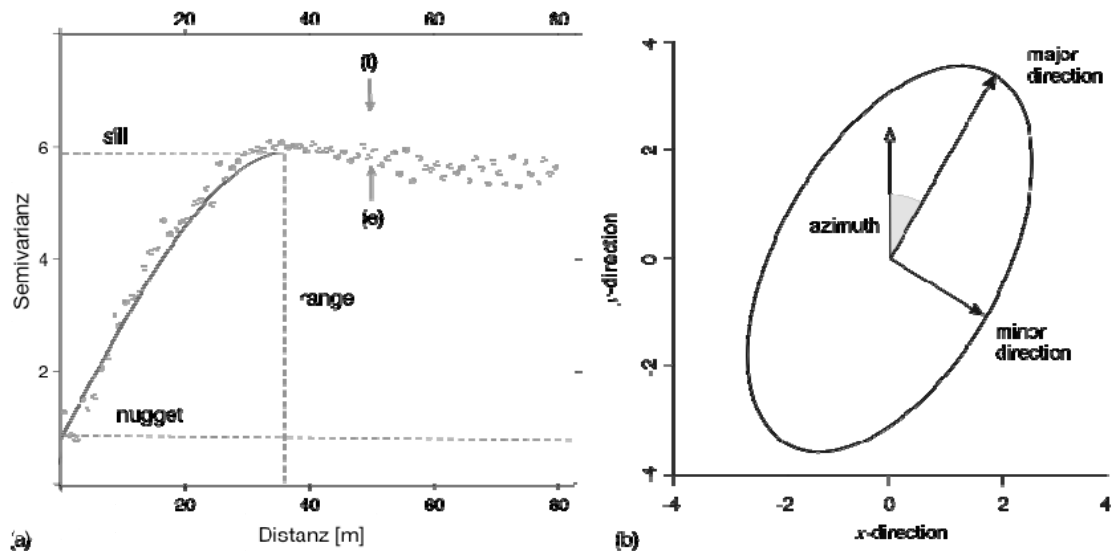


Abb. 3: (a) Experimentelles (e) und theoretisches (t) Variogramm mit Nugget, Sill und Range (verändert nach WEBSTER & OLIVER 2007); (b) Range-Ellipse für ein anisotropisches Modell (HENGL 2007).

5 Quantifizierung der Wachstumsvariabilität

5.1 Anisotropie und Anpassung des theoretischen Variogramms

Wie in Abbildung 4 (a) zu sehen, weist das Variogramm mit Daten aus der ersten Messung für verschiedene Richtungen unterschiedliche Verläufe auf. In 135°-Richtung steigt die Semivarianz kontinuierlich und erreicht ab einer bestimmten Distanz einen Schwellenwert. In 45° Richtung ist dagegen kein kontinuierlicher Anstieg und kein konstantes Maximum der Varianz (Schwellenwert) zu erkennen. Dies deutet auf eine Anisotropie hin. Im nächsten Schritt wird zunächst visuell ein exponentielles Modell an das experimentelle Variogramm in 133.8°-Richtung angepasst (Abbildung 4 (b)). Mithilfe von iterativen Methoden werden Nugget (0.45), Sill (3.56) und Range (12.9) in R angepasst (4):

$$\gamma(h) = 0.45 + 3.56 * (1 - e^{-\frac{h}{12.9}}). \quad (4)$$

Eine Gegenüberstellung von geschätzten und beobachteten Werten und anschließender Regressionsanalyse ergibt ein Bestimmtheitsmaß von 0.79 (Kreuzvalidierung). Der Regressionskoeffizient liegt mit 0.99 sehr nahe an 1. Dieses theoretische Variogramm dient als Basis für die räumliche Interpolation.

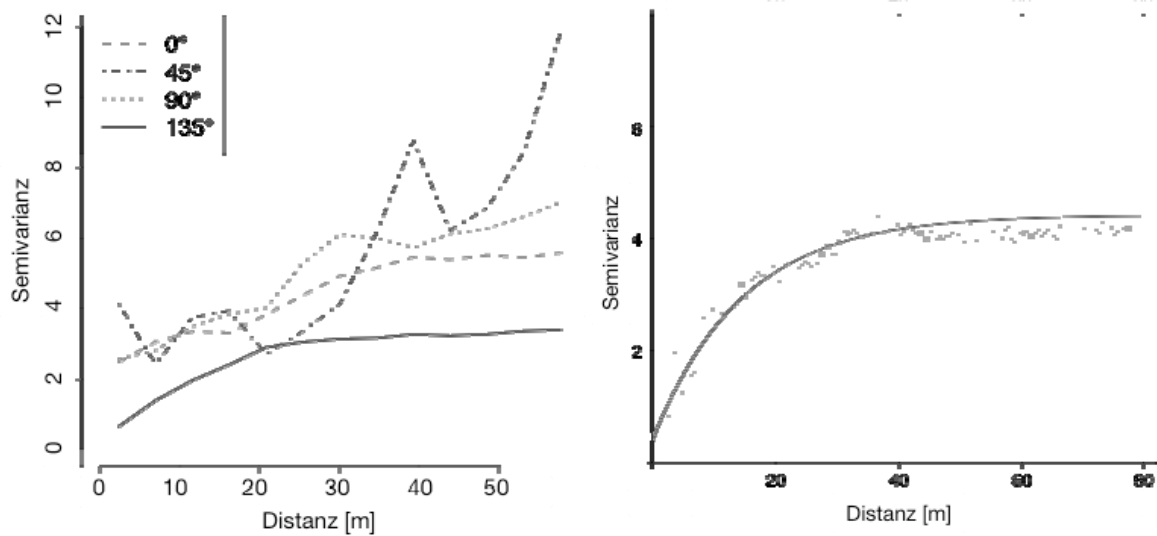


Abb. 4: (a) Experimentelle Variogramme in vier Richtungen (0° , 45° , 90° , 135°) mit Daten aus der ersten Messung; (b) Experimentelles und theoretisches Variogramm mit Daten aus der ersten Messung (eigene Quelle).

5.2 Ordinary Kriging

Zur geostatistischen räumlichen Interpolation zwischen den gemessenen Punkten wird das *Ordinary Kriging* in R durchgeführt. Es fließen dabei die 20 am nächsten gelegenen Nachbarn bis zu einer maximalen Distanz von 10 m in die Schätzung ein. Zudem werden die Werte für einen Block von $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ geschätzt. Dies verringert den Schätzfehler.

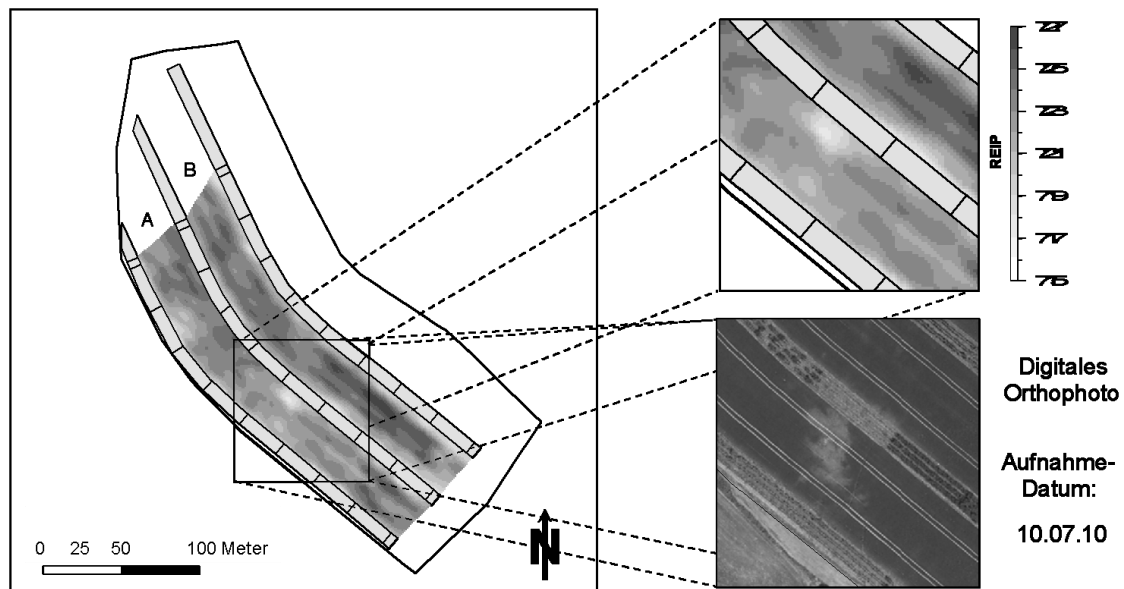


Abb. 5: Räumliche Interpolation (Ordinary Kriging) mit Daten aus der ersten Messung (eigene Quelle); Digitales Orthophoto (Auflösung: 20 cm, Aufnahme datum: 10.07.10, Bildquelle: LVG 2012).

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis der geostatistischen Interpolation aus Daten der ersten Messung zu BBCH-Stadium 32 des Winterweizens.

Niedrige REIP-Werte befinden sich in den meisten Fällen direkt neben den Gehölzstreifen. In der Mitte der jeweiligen Abschnitte existieren Bereiche mit höheren REIP-Werten. Ein Vergleich des Ausschnittes der interpolierten Karte mit dem digitalen Orthophoto aus dem Jahr 2010 (LVG 2012) zeigt, dass die Bereiche mit den besonders niedrigen REIP-Werten in der Mitte des unteren Abschnitts auch im Orthophoto wieder zu erkennen sind.

6 Raumzeitliche Analyse der Wachstumsvariabilität

Durch Speicherung der Interpolationsergebnisse in NetCDF (Network Common Data Form) können auf Basis raumzeitlicher Berechnungen vielfältige wissenschaftliche Analysen durchgeführt werden (UNIDATA 2012). Der raumzeitliche Vergleich der Bestandsentwicklung zwischen erster (BBCH-32) und dritter Messung (BBCH-65) zeigt die Veränderung der REIP-Werte über die Zeit an (siehe Abb. 6).

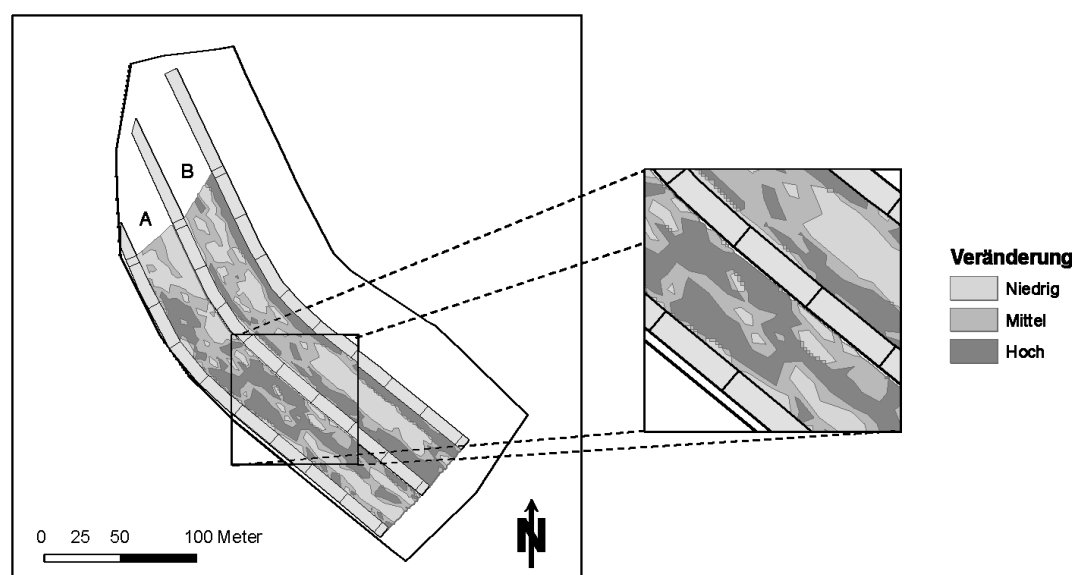


Abb. 6: Differenz der interpolierten REIP-Werte aus erster und dritter Messung, eingeteilt in drei Zonen mit niedriger, mittlerer und hoher Veränderung (eigene Quelle).

Auf Basis von 33 %-Quantilen werden die REIP-Werte in drei Zonen mit niedriger, mittlerer und hoher Veränderung eingeteilt (siehe Abb. 6). Hinsichtlich der Bestandsveränderung von der ersten Messung bis zur dritten Messung zeigt sich eine überproportionale Entwicklung von ursprünglich unterentwickelten Beständen.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Während der Ertrag bisher nur in definierten Abständen zu den Baumreihen ermittelt wurde, konnten mit den hier vorgestellten Verfahren erstmals der Bestand flächenhaft dargestellt und daraus Ertragszonen abgeleitet werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit dienen als Basis für viele agrarökonomische und -ökologische Fragestellungen. Zudem erlaubt die Methodik der Messung eine zerstörungsfreie Erfassung der Bestandsentwicklung – hieraus ist es möglich, am gleichen Ort zu mehreren Zeitpunkten Messungen durchzuführen und die raumzeitliche Veränderung mithilfe von NetCDF zu analysieren und zu interpretieren. Mit den umfangreichen Tools, welche im Rahmen dieser Arbeit in R entwickelt wurden, können zudem künftige Messdaten eingelesen, automatisiert verrechnet und analysiert werden. Somit ist ein fortlaufendes Monitoring des Bestandes, beispielsweise über eine Umtriebszeit bzw. über eine gesamte Fruchtfolge möglich.

In aufbauenden Arbeiten könnte eine genauere Analyse des Lichteinfalls einen Aufschluss darüber geben, in welchem Umfang eine Verschattung durch die Bäume einen Einfluss auf das Wachstum der Ackerkultur hat. Zudem birgt das Variogramm weitere Informationen über die räumliche Verteilung der Daten, wie z. B. geschachtelte Strukturen, welche in zukünftigen Forschungsarbeiten noch eingehender analysiert werden können.

Literatur

- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (BBA) (2001), Hrsg. Uwe Meier. http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/bbch/BBCH-Skala_deutsch.pdf (27.01.2013).
- BOOCHS, F., KUPFER, G., DOCKTER, K. & KÜHBAUCH, W. (1990), Shape of the red edge as vitality indicator for plants. In: *International Journal of Remote Sensing*, 11 (10), 1741-1753.
- BURGESS, P., INCOLL, L., CORRY, D., BEATON, A. & HART, B. (2004), Poplar (*Populus* spp) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England. In: *Agroforestry Systems*, 63, 157-169.
- EICHHORN, M., PARIS, P., HERZOG, F., INCOLL, L., LIAGRE, F., MANTZANAS, K. et al. (2006), Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects. In: *Agroforestry Systems*, 67, 29-50.
- FILELLA, I. & PENUELAS, J. (1994), The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. In: *International Journal of Remote Sensing*, 15 (7), 1459-1470.
- GUYOT, G. & BARET, F. (1988), Utilisation de la haute résolution spectrale pour suivre l'état des couverts végétaux. In: *Proceedings of the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, Aussouis, France.
- HENGL, T. (2007), *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. European Communities, Luxemburg.
- KOWALCHUK, T. & DE JONG, E. (1995), Shelterbelts and their effect on crop yield, *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 543-551.
- LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION (LVG) (2012), Landesamt für Vermessung und Geoinformation. http://geodaten.bayern.de/ogc/ogc_dop20_cir.cgi? (01.09.2012).

- MÖNDEL, A. (2007), Ertragsmessungen in Winterroggen – der Ertrageinfluss einer Windschutzanlage in der oberrheinischen Tiefebene. Fachbereich Landespflege, Universität Freiburg.
- MOSQUERA-LOSADA, M., MCADAM, J., ROMERO-FRANCO, R., SANTIAGO-FREIJANES, J. & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. (2009), Definitions and Components of Agroforestry Practices in Europe. In: RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., MCADAM, J. & MOSQUERA-LOSADA, M. (Eds.), *Agroforestry in Europe*. Springer-Verlag, Heidelberg/Berlin/New York, 3-19.
- NAIR, P. R. (1993), *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande.
- PENUELAS, J. & FILELLA, I. (1998), Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. In: *Trends in plant science*, 3 (4), 151-155.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012), *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- STRENNER, M. & MAIDL, F.-X. (2010), Comparison of Different Vegetation Indices and their Suitability to describe N-uptake in Winter Wheat for Precision Farming. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Precision Agriculture*, 211.
- VETTER, A. & BÄRWOLFF, M. (2010), *Verbundprojekt AgroForstEnergie – Mischkulturen mit Energieholz*. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Agrarholz, Berlin.
- WEBER, H. (2003), *Gebüsche, Hecken, Krautsäume*. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- WEBSTER, R. & OLIVER, M. (2007), *Geostatistics for Environmental Scientists*. Wiley & Sons, Cornwall.
- UNIDATA (2012), University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) Community Programs (UCP). www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/what_is_netcdf.html (08.08.2012).