

5.5 Modellgestützte Generierung von Ertragswartungskarten (TP 15)

Model-supported generation of yield-expectation maps

Wenkel, K.-O.; Mirschel, W.; Wieland, R.; Kersebaum, Ch.; Bobert, J.

5.5.1 Extended Summary

The development of procedures which facilitate the determination of realistic yield targets for management units within agricultural fields for the forthcoming vegetation period represents a scientific challenge which is not satisfactory solved up to now. The determination of a realistic yield expectation is crucial for the entire production process. If expectations strived for are too high, there is a danger of applying too much inputs as seeds, fertiliser and pesticides which consequently leads to excessive production costs. If the assessment is too low, the full production capacity of the site is not used and therefore negative economical effects have to be taken into account as well. In subproject 15 an easy applicable and suitable for scenario-studies fuzzy expert system is to be developed, capable to take into account site- and crop production parameter for the derivation of the yield target as well as fuzzy variables like site experience and management considerations. In the first year of the *pre agro* project a prototype of the fuzzy expert system was developed. The procedure for generation of site-specific yield expectation-maps is divided into two methodical steps. Within the first step a statistical estimation of yield potential of the entire field based on regional information is carried out. In step two site-specific influence of parameter as i.e. water supply on yield formation is estimated and linked with the regional information of the entire field. The procedure was tested on a 45 hectare field planted with winter wheat in the Tschernosem area of Saxony-Anhalt in the East of Germany. The regional approach takes into account physical parameters derived from the land classification system "Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK)" as well as meteorological input data or results of variety testing trials for prediction of regional average yields. This prediction is starting point for the linked site-specific fuzzy-model. For a yield estimation taking into account site-specific heterogeneity, high resolution spatial information of parameter influencing yield formation are necessary. Physical parameter like plant available soil water, potential capillary rise, ground water table distance or landform attributes were used to generate the site specific yield-expectation map. Generation of the expectation map was done within the Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT), a grid based software tool that allows computation of fuzzy-models. The yield-expectation map of the sample field for 2005 yield, based on a 24 m grid, shows a correlation of 0.70 compared to a yield map derived from the point data of yield measurements of a combine. The error of prediction for this first approach is 1,200 kg ha⁻¹. A new developed optimization procedure for SAMT allows an optimization of fuzzy output functions and consequently a reduction of the error of estimation and a comfortable testing of fuzzy-rules.

In the ongoing work the model has to be tested on more fields, as well as in different climate regions. Management parameter like effects of preceding crops will be taken into account. Furthermore other crops as winter barley, corn, sugar beet or winter rape will be included into the model.

5.5.2 Problemstellung

Die Entwicklung und Bereitstellung praxisanwendbarer Methoden zur prospektiven teilflächenbezogenen Planung der Ertragsziele (Ertragserwartungswerte für die jährliche Anbauplanung) ist eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterentwicklung und Breitenanwendung der Precision Farming Technologie.

a) Problemstellung aus fachwissenschaftlicher Sicht

Für die differenzierte teilflächenbezogene Aussaat-, Düngungs- und Pflanzenschutzplanung ist die Ertragserwartungskarte die entscheidende Datengrundlage. Sie bestimmt wesentlich die räumliche Ausprägung dieser Maßnahmen und damit auch entscheidend die hierdurch zu erzielenden ökonomischen Effekte bzw. die mit den Maßnahmen verbundenen ökologischen Wirkungen. Die Festlegung realistischer Ertragsziele ist somit ein kritischer Punkt im gesamten Produktionsverfahren. Werden die Planziele zu aggressiv festgelegt, besteht die Gefahr überhöhter landwirtschaftlicher Inputs (Saat- und Düngermengen, Pflanzenschutzintensität, ...) und damit Risiken für erhöhte Produktionskosten und die Umwelt. Werden die Ertragsziele zu konservativ geplant, besteht die Gefahr, dass die Vorteile günstiger Wachstumsbedingungen nicht ökonomisch verwertet werden können, was wiederum negative Einflüsse auf das gesamte Betriebsergebnis hat (ROTH 1995). Die Festlegung der Ertragsziele ist daher immer eine Risikoentscheidung des Landwirts und kann folglich nur von ihm unter Berücksichtigung der konkreten Standortbedingungen und der betrieblichen Situation getroffen werden. Erforderlich sind deshalb Methoden, die den Landwirt bei der Risikoentscheidung „Planung teilflächenbezogener Ertragserwartungswerte“ bestmöglich unterstützen, ohne ihn bezüglich der Datenbereitstellung zu überfordern. Neben der Berücksichtigung der konkreten Standort- und Bodenfruchtbarkeitsbedingungen, der konkreten Sortenpotenziale, der Vorfrucht-Nachfruchteffekte sowie der erreichten Erträge zurückliegender Jahre müssen solche Methoden vor allem szenariotauglich sein (Analyse von möglichen Situationen: was wäre, wenn eine Maßnahme z.B. vom Zeitpunkt oder von der Intensität her geändert wird) und räumlich explizit arbeiten können. Des Weiteren müssen diese Methoden, wenn sie eine praktische Akzeptanz finden sollen, möglichst einfach, transparent, flexibel sowie anpassungs- und erweiterungsfähig sein.

b) Problemstellung aus Sicht des Gesamtprojektes

Aufgabe des TP 15 ist die Entwicklung von Verfahren, die es ermöglichen, für konkrete Teilflächen innerhalb von landwirtschaftlichen Schlägen realistische Ertragsziele für die nächste Vegetationsperiode zu bestimmen. Die Ergebnisse des Teilprojektes können vom Projektbereich 4 (Bestandesführung) für die Erarbeitung von Grundlagen und Konzepten im teilflächenspezifischen Anbau genutzt werden. Insbesondere für die Teilprojekte Naturschutz, Bestandesführung und Pflanzenschutz können die Ertragserwartungskarten eine wertvolle Datengrundlage darstellen. Für eine erweiterte Anzahl von Versuchsschlägen wird die Verwendung der Ertragserwartungskarten im 3. Projektjahr möglich sein. Die erzeugten Ertragserwartungskarten werden als Grundlage für weiterführende ökonomische Analysen dem Teilprojekt 3 (Wirtschaftlichkeit des Precision Farming) zur Verfügung gestellt und dienen hier ebenfalls als Ausgangsbasis für eigene Untersuchungen.

5.5.3 Bearbeitungsgegenstände und verwendete Methoden

Die Prozedur der Erstellung von teilflächenbezogenen Ertragserwartungskarten unterteilt sich methodisch in zwei Schritte. Der erste Schritt bildet eine statische Abschätzung des schlagbezogenen Standortertragspotenzials auf der Grundlage regionaler Informationen, das im zweiten Schritt über die Teilschlagspezifizierung wichtiger ertragsbeeinflussender Faktoren, wie z.B. der Wasserversorgung,

an die Heterogenität des Schlages angepasst wird. Dargestellt und überprüft wird diese Methodik zunächst an einem 45 ha großen Winterweizenschlag eines *pre agro II* –Betriebes aus dem Jahr 2005, der im Schwarzerdegebiet Sachsen-Anhalts liegt. Der Beispielschlag ist durch sehr heterogene Bodeneigenschaften gekennzeichnet. Neben tiefgründigen Schwarzerden treten auch flache, durch Sand- und/oder Kieshorizonte bestimmte Böden auf. Die Wasserversorgung des Pflanzenbestandes wird maßgeblich auch durch das Relief beeinflusst (Höhenunterschiede auf dem Schlag bis 6 m), was mit signifikanten Oberflächenzu- und -abflüssen verbunden ist. Zusätzlich variiert die Grundwassernähe auf den einzelnen Schlagteilen deutlich.

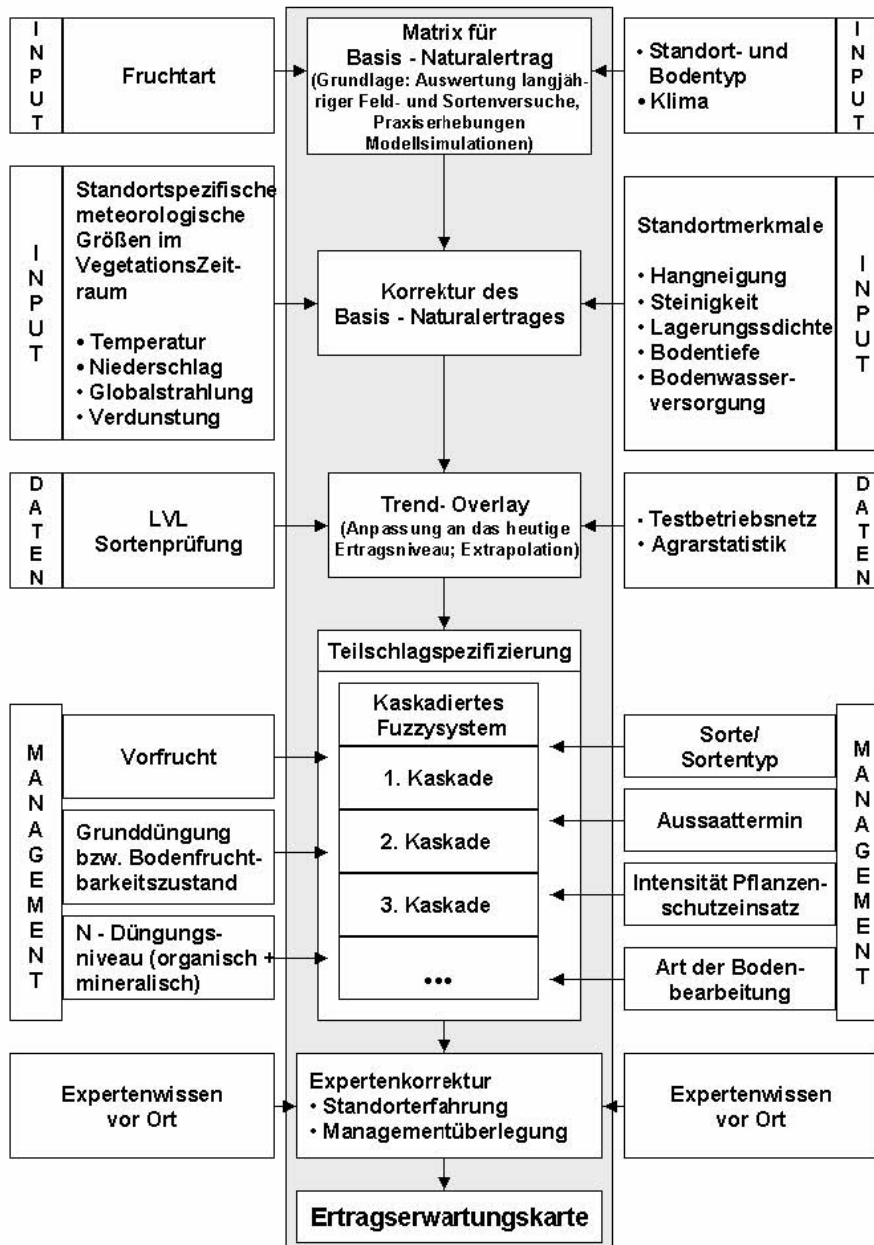


Abbildung 45: Fuzzy - Expertensystem zur Erstellung von Ertragserwartungskarten

Figure 45: Fuzzy-expert system for generation of yield-expectation maps

Standortbezogene Ertragspotenzialabschätzung

Grundlage für die Ertragspotenzialabschätzung bildet ein dreistufiger statischer Schätzalgorithmus (siehe Abbildung 45), der sich aus einer standorttypabhängigen Naturalertragsmatrix, einem Korrekturalgorithmus nach Standortmerkmalen sowie einem Ertragstrendoverlay zusammensetzt. Die drei Stufen sind additiv verknüpft. Die Naturalertragsmatrix ist eine Erweiterung der Schätzmatrix nach (KINDLER 1992). Für 56 Standorttypen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK, SCHMIDT & DIEMANN 1991) bzw. ähnlich gelagerten Daten aus anderen mittelmaßstäbigen Bodenübersichtskarten können die Basis-Naturalerträge für 16 landwirtschaftliche Fruchtarten geschätzt werden. Diese werden in Abhängigkeit von Standortmerkmalen, wie Steinigkeit, Hangneigung, Hydromorphieflächentyp, Ackerzahl, Höhe über NN, Neigungsflächentyp sowie von jahresbezogenen Wettergrößen, wie wachstumswirksame Temperatur, mesoskalige Klimazonierung, klimatische Wasserbilanz mit Zu- und Abschlägen versehen. Der Korrekturalgorithmus für Winterweizen ist bei (MIRSCHER et al. 2003) beschrieben. Der schwer quantifizierbare ertragswirksame Fortschritt bei der Züchtung neuer Sorten und bei der Anwendung neuer Anbautechnologien wird über einen linearen Trend erfasst, wobei vom Ertragsniveau des Jahres 1990 ausgegangen wird. Der für die Neuen Bundesländer ermittelte jährliche Zuwachs im Ertrag beträgt z. B. bei Winterweizen 1,21 dt ha⁻¹, bei Triticale 1,10 dt ha⁻¹, bei Zuckerrüben 11,18 dt ha⁻¹ und bei Raps 0,30 dt ha⁻¹.

Teilschlagbezogene Ertragsabschätzung

Für eine die Schlagheterogenität berücksichtigende Ertragsabschätzung sind räumlich höher aufgelöste Informationen zu den wichtigsten ertragsbeeinflussenden Größen notwendig. Um die Ertragsabschätzungen raumbezogen realisieren zu können, wird hier auf das Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT) (WIELAND et al. 2004) zurückgegriffen, ein auf Gridbasis arbeitendes Modellierungstool. Entsprechend der Arbeitsbreite der Landtechnik wurde der Beispielschlag hierfür in ca. 847 Gridzellen (24 x 24 m) unterteilt, die jeweils als homogen betrachtet werden. Bedingt durch die geografische Lage des mit Winterweizen bestellten Schlages, der im Regenschatten des Harzes (Niederschlag: 440 mm a⁻¹) liegt, ist hier die Wasserversorgung der Pflanzen wichtigster begrenzender Faktor der Ertragsbildung. Für die Wasserversorgung des Pflanzenbestandes sind die *nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum*, der *Grundwasserabstand zur Oberfläche*, der *potentielle kapillare Aufstieg* und das *Relief des Schlages* signifikante Größen. Auf der Grundlage vorhandener Hofbodenkarten sowie eines digitalen Geländemodells wurden für diese vier Größen detaillierte Karten mit der gleichen Rasterung (24 x 24 m) erstellt. Da sich zwischen diesen Größen und dem Ertrag keine analytischen Ansätze ableiten und quantifizieren, sich aber unscharfe Abhängigkeiten durch Expertenwissen formulieren lassen, wird hier ein Fuzzy-Ansatz favorisiert, der mit Hilfe von SAMT-FUZZY erstellt und anschließend mit SAMT sofort auf jeder Gridzelle des Beispielschlages zur Ausführung kommt. Aus diesem Grund werden im ersten Schritt die Größen *nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum*, *Grundwasserabstand zur Oberfläche* und *potenzieller kapillarer Aufstieg* hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Ertrag in jeweils fünf Klassen (sehr klein, klein, mittel, groß, sehr groß) eingeteilt. Aufgrund von Expertenwissen werden für alle Klassenkombinationen Fuzzyregeln aufgestellt, deren Ergebnisse einem entsprechenden Output zugeordnet werden, der wiederum auch in diese fünf Klassen eingeteilt ist. Die Kombination aus „klein“ für *nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum*, „sehr klein“ für den *potenziellen kapillaren Aufstieg* und „groß“ für den *Grundwasserabstand zur Oberfläche* führt laut Regelwerk zur Outputklasse „klein“. Der Standort würde besser bewertet, wenn ein geringerer *Grundwasserabstand zur Oberfläche* und ein besserer

potentieller kapillarer Aufstieg vorhanden wären. Die Outputklassen wurden mit einem Normierungsfaktor versehen.

GWA	AUFSTIEG	NFK	OUTPUT
sk	sg	sk	sg
sk	sg	k	sg
sk	sg	m	sg
sk	sg	g	sg
sk	sg	sg	sg
GWA = Grundwasserabstand, AUFSTIEG = pot. kapillarer Aufstieg, NFK = nutzbare Feldkapazität sk = sehr klein, k = klein, m = mittel, g = gut, sg = sehr gut			

Tabelle 15: Beispielhafte Darstellung von Fuzzyregeln

Table 15: Example of fuzzy-rules

Nach Integration des Fuzzy-Modells in SAMT erhält man für den Schlag eine Karte, die den relativen Einfluss der drei betrachteten Größen auf die Ertragsbildung wiedergibt. Diese Karte wird dann mit einer aus dem digitalen Geländemodell abgeleiteten Karte, die den Einfluss der Geländeform hinsichtlich Kuppe und Senke auf den Wasserhaushalt wichtet, verschnitten. Kuppenstandorte werden dabei schlechter als Senkenstandorte eingestuft. Das Ergebnis dieser Verschneidung wird in SAMT mit dem im ersten Schritt der Methodik ermittelten standortbezogenen Ertragspotenzial multipliziert. Das Ergebnis ist dann die Ertragserwartungskarte.

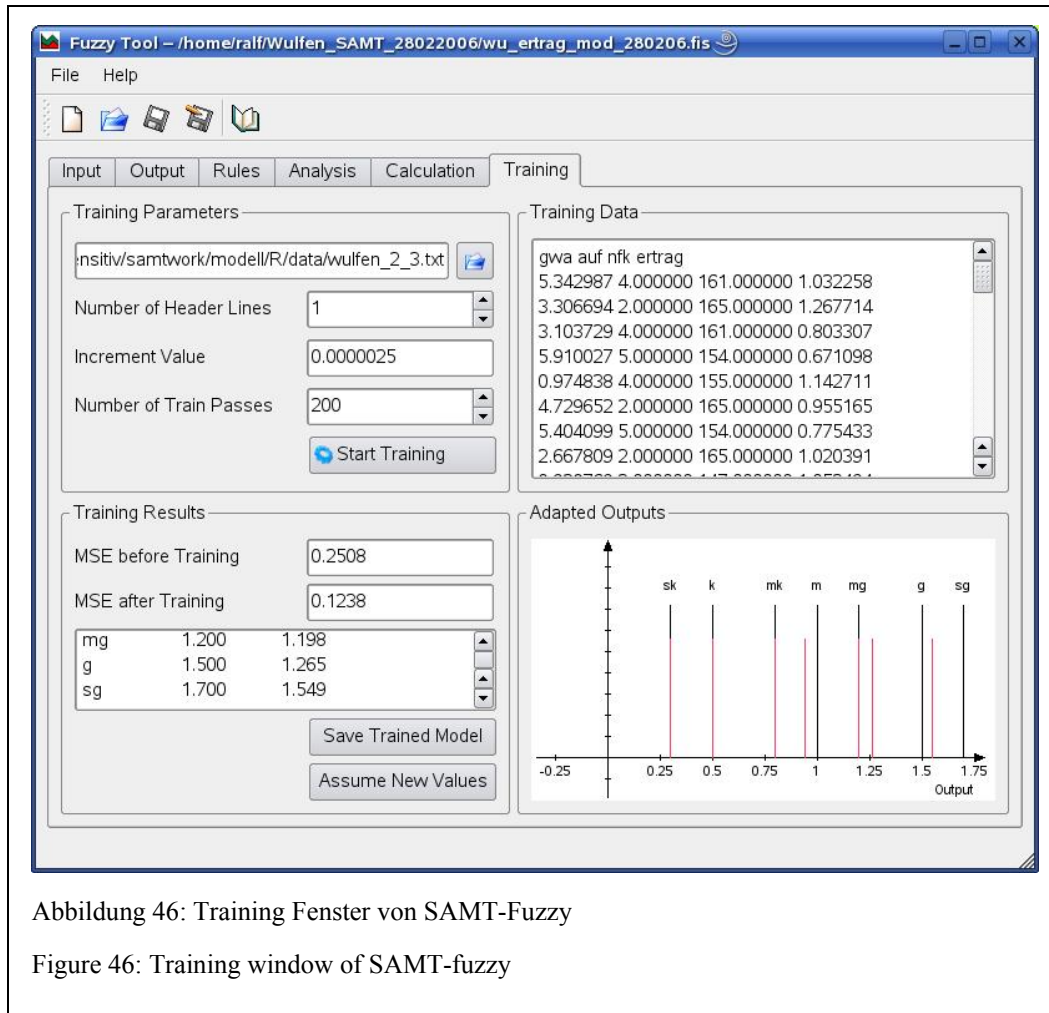
5.5.4 Ergebnisse von 2005 und ihre Diskussion

Für den im Jahr 2004/05 mit Winterweizen bestellten Beispielschlag zeigt Abbildung 47 einen Vergleich zwischen der mit der hier vorgestellten Methodik in SAMT erstellten Ertragserwartungskarte und der für den Schlag aus Mährescherdaten generierten Ertragskarte. Die Ertragskarte wurde mit der Software VESPER (MINASNY et al. 2005) durch Kriging mit einem exponentiellen Modell erstellt. Die Zonen mit hohen bzw. niedrigen Erträgen sind nahezu deckungsgleich. Die Korrelation über alle Gridzellen des Beispielschlages beträgt $R = 0,70$. Der mit dem derzeitigen Prototyp der Ertragsschätzmethode erreichte durchschnittliche absolute Schätzfehler von 1.200 kg ha⁻¹ liegt allerdings in einer noch nicht akzeptablen Größenordnung. Die quantitative Übereinstimmung kann verbessert werden zum einen durch eine bessere Abbildung des Expertenwissens in den Regeln des Fuzzy-Ansatzes und zum anderen durch eine optimale Bewertung der Eingangsparameter.

Ein weiterer, gerade in der Entwicklung befindlicher, Ansatz ermöglicht die Optimierung der Fuzzy-Outputfunktionen (WIELAND et al. 2006). Durch die Optimierung kann einerseits die Aussagegüte des Modells verbessert werden, andererseits ermöglicht das Verfahren auch eine Überprüfung des Fuzzyregelsatzes auf seine Stringenz und Qualität.

Die Regeln eines Fuzzy-Modelles stellen das Expertenwissen des Modelles dar und sollten nur verändert werden, wenn ersichtlich wird, dass sie nicht konsistent sind. Bei der Optimierung des Fuzzy-Modelles werden die vom Modell prognostizierten Outputwerte mit gemessenen verglichen und durch iterative schrittweise Minimierung der Differenz der beiden Werte der Outputfehler minimiert.

Diese Trainingsprozedur wurde in SAMT integriert. Sie ist intuitiv bedienbar und lässt durch eine graphische Auswertung einen Rückschluss auf den Grad der Anpassung zu. Außerdem wird in SAMT als Maß der Verbesserung des Modelles durch das Training der MSE (Mean square error) vor und nach dem Training angezeigt (Abbildung 46).



Der Trainingsdatensatz kann auch zum Training eines ebenfalls in SAMT integrierten neuronalen Netzes verwendet werden. Erste Tests zeigten, dass sowohl mit der Optimierung des Fuzzy-Modelles, als auch mit dem Training durch das neuronale Netz der MSE halbiert werden kann.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die vorgestellte Methode für die Erstellung einer in Precision Agriculture für die teilflächenbezogene Maßnahmenplanung benötigten Ertragserwartungskarte geeignet ist.

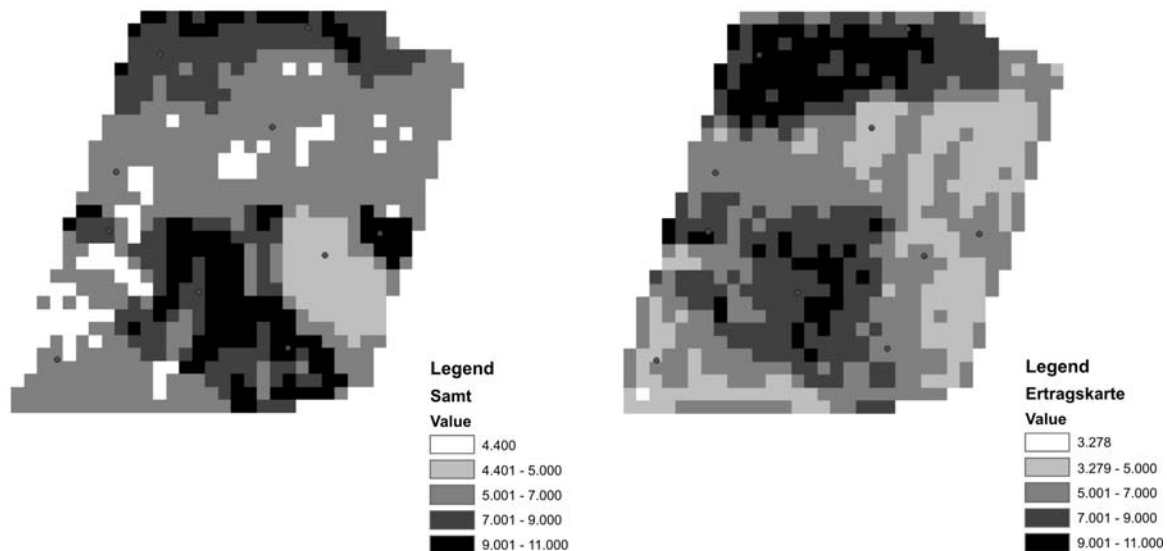


Abbildung 47: Vergleich zwischen der mit Hilfe der in SAMT integrierten Methodik erstellten Ertragswartungskarte (links) und der für den Schlag aus Mährescherdaten generierten Ertragskarte (rechts), jeweils in t/ha

Figure 47: Comparison between the yield-expectation map (left) generated with SAMT and the yield map (right) derived from point yield measurement data from the combine, units are t/ha

5.5.5 Soll-Ist-Vergleich mit den im Projektantrag angestrebten Ergebnissen bzw. vorgesehenen Meilensteinen

Hauptziel des Teilprojektes 15 war die Erstellung eines ersten Modellprototyps zur Generierung von Ertragswartungskarten im 1. Projektjahr. Dieses Ziel ist erreicht worden.

Ein Vergleich des Modelles mit verschiedenen potenziell geeigneten Methoden zur Generierung von Ertragswartungskarten (z.B. Beispiel mit dem Ansatz des Betriebes Reinstedt (Sachsen-Anhalt) oder auch mit deterministischen Punktmodellen wird vorbereitet (Analyse alternativer Methoden, Zusammenstellung von Inputparametersätzen für deterministische Modelle).

Die experimentelle Überprüfung, Quantifizierung und Interpretation möglicher Abweichungen generierter Ertragswartungskarten von real erhobenen Ertragskarten in ausgewählten Beispielsbetrieben von *pre agro II* wurde mit dem Prototyp bereits für den Schlag Finkenherd durchgeführt. Die Datenbasis für die weitere Validierung und Weiterentwicklung des Modelles wird kontinuierlich erweitert.

Die Generierung praktisch umsetzbarer Ertragswartungskarten in einzelnen *pre agro II* Beispielsbetrieben wird im Jahr 2006 für einzelne Winterweizenschläge erfolgen.

Sobald diese Karten erstellt sind, ist eine Überprüfung der Praktikabilität und der praktischen Anwendbarkeit gemeinsam mit Praktikern der *pre agro II* Beispielsbetriebe geplant.

5.5.6 Geplante nächste Arbeitsschritte

Im nächsten Arbeitsschritt soll das entwickelte Modell auf weiteren Schlägen und einer anderen geografischen Region getestet und weiterentwickelt werden. Dazu werden weitere Daten benötigt, die zum Teil selbst erhoben werden, zum Teil aber auch von anderen Projektpartnern oder externen Quellen zur Verfügung gestellt werden müssen. Die Verknüpfung von geophysikalischen Messungen mit Ableitungen aus digitalen Höhenmodellen, die in TP 14 (integrative Standortanalyse) durchgeführt wird, stellt einen sehr interessanten Ansatz zur Integration von Standortparametern in das Ertragserwartung dar. Mit TP 16 (potenzieller Wurzeltiefgang) wird eng zusammengearbeitet, um die Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung der Durchwurzelungstiefe auf die Ertragserwartung in die Modellierung mit einfließen zu lassen. Zusätzliche Einflussparameter auf die Ertragsbildung (z.B. Vorfruchteffekte) sollen implementiert werden. Andere bereits implementierte Parameter, wie z.B. der Einfluss des Reliefs auf die Ertragsbildung sollen durch qualitativ bessere Daten (Ableitungen aus den vor kurzem durchgeführten Laserscanmessungen) präzisiert werden.

Schließlich werden auch Ertragserwartungskarten für weitere Fruchtarten neben Winterweizen modelliert. Geplant sind Modelle für die Fruchtarten Mais, Wintergerste, Winterraps und Zuckerrübe.

5.5.7 Erkenntnisse aus den Arbeiten des Jahres 2005 für das Anliegen des Projektbereiches bzw. aus Sicht des Gesamtprojektes

Die Modellentwicklung wurde am Institut für Landschaftssystemanalyse des ZALF durchgeführt. Die große Erfahrung der Mitarbeiter auf dem Gebiet der Pflanzenwachstumsmodellierung und der Modellierung mit unscharfen Eingangsgrößen erwies sich als hervorragende Grundlage für die Entwicklung des ersten Modells zur Generierung von Ertragserwartungskarten. Sehr wichtig war aber auch die sehr gute Zusammenarbeit des Projektbereiches 3 bei der Erfassung der Monitoringdaten auf den Schlägen in Wulfen und Groß Twülpstedt. Der Aufwand zur Erfassung der Monitoringdaten war sehr groß, aber notwendig. Umso wichtiger war die gute Zusammenarbeit. Die Auswertung von einigen Daten (Bodendaten, Befliegungsdaten, Ertragsstrukturdaten) nahm sehr viel Zeit in Anspruch, so dass einige dieser Daten erst im Jahr 2006 genutzt werden können.

5.5.8 zitierte Literatur/Quellen

KINDLER, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. - Verlag Pflug und Feder GmbH, 230 S.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; & WHELAN, B.M. (2005): VESPER version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. (<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>)

MIRSCHEL, W.; WIELAND, R.; WENKEL, K.-O. (2003): Bedeutung der Modellwahl bei der Ertragsschätzung - Bauernschläue vs. Agrarwissenschaft- . In: GNAUCK, A.(Hrsg.): Theorie und Modellierung von Ökosystemen: Workshop Kölpinsee 2001. Shaker Verlag Aachen, S. 162-186.

SCHMIDT, R. & DIEMANN, R. (Hrsg.) (1991): Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK).- FZB Müncheberg, 78 S.

- ROTH, R. (1995): Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturen.- In: BORK, H.-R.; DALCHOW, C.; KÄCHELE, H.; PIOR, H.-P. & WENKEL, K.-O. (Hrsg.): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Ernst & Sohn, S. 59-61
- WIELAND, R.; MIRSCHEL, W.; WENKEL, K.-O.; AIJBEFUN, I. (2004): Räumliche Simulation mit SAMT.- In: WITTMANN, J. (Hrsg.): Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Shaker Verlag, S. 161 – 181.
- WIELAND, R.; MIRSCHEL, W.; BOBERT, J.; HOLTMANN, X. (2006): Lernfähige Modelle für Precision Agriculture.- In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop 2006 in Leipzig; Shaker Verlag, in press.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Karl-Otto Wenkel
Dr. Wilfried Mirschel
Dr. Ralf Wieland
PD Dr. Christian Kersebaum
Dipl. Ing. agr. Jans Bobert
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
Institut für Landschaftssystemanalyse
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg
Telefon: 033432/82-379, -277, -337, -394, -161
Telefax: 033432/82334
E-Mail: wenkel@zalf.de
wmirschel@zalf.de
rwieland@zalf.de
ckersebaum@zalf.de
bobert@zalf.de