

5.2 Ertragspotentiale von Teilflächen innerhalb von Ackerschlägen als Schlüsselgröße für die Bestandesführung von precision agriculture

ausführliche Zusammenfassungen der Teilprojekte von *pre agro* mit Schwerpunkt „Ertragspotentialabschätzung“

Dr. A. Werner, Dipl. Ing. E. Kettner, Dr. J. Pauly, Dr. E. Reining, Dr. R. Roth, Dipl. Geogr. J. Kühn, Dr. T. Selige, Dipl. Ing. agr. J. Bobert, Prof. Dr. U. Schmidhalter, Dipl. Ing. agr. J. Hufnagel

Einführung: Die räumliche Verteilung der Zustände von Pflanzenbeständen bzw. die räumlichen Unterschiede im Ertrag von Ackerschlägen werden verursacht (i) durch kleinräumige Einflüsse des Standortes (Boden, Relief, laterale Einwirkungen, Grundwasserstand etc.) sowie (ii) durch anthropogene Einflüsse (frühere Nutzungen, bisherige Bewirtschaftung, Qualität der Applikationstechnik, Pannen in der Maßnahmendurchführung etc.). Das Gesamtergebnis dieser Einwirkungen ist ein heterogener Bestand mit räumlicher Differenzierung von Bestandesdichte, Bestandesstruktur, Biomasse, Erträgen sowie Qualität der Ernteprodukte. Die pflanzenbauliche Technologie des precision agriculture versucht, diese Unterschiede zu berücksichtigen und steuert die pflanzenbaulichen Maßnahmen¹ entsprechend. Es gibt dabei verschiedene Wege, mit welchen Grundansätzen eine solche pflanzenbauliche Maßnahmengestaltung geplant und durchgeführt werden kann. Diese verschiedenen Ansätze beziehen den Grad der Maßnahme auf (I) einen mittleren oder frühere spezifische Zustände der kleineren Teilfläche des Schläges (kartierender Ansatz; Mapping-Ansatz), (II) die aktuelle Situation des Pflanzenbestandes und/oder das des Standortes der Teilfläche (direkter Reaktionsansatz; Online-Ansatz) oder (III) beide (direkter Reaktionsansatz mit überlagerten Karten; Online-Ansatz mit Map-Overlay). Besonders die dritte Variante ist vielversprechend.

Die Maßnahmen des Precision Agriculture können nur geplant werden, wenn im Vorfeld die mittleren Standortbedingungen (Ansatz I) oder die mittleren Standortbedingungen plus die aktuellen Zustände von Bestand und/oder Standort (Ansatz III) bekannt sind. Aus diesen Informationen können die verschiedenen pflanzenbaulich möglichen Maßnahmen innerhalb von plausiblen Anbaustrategien abgeleitet werden. In den meisten dieser Ansätze werden die pflanzenbaulichen Maßnahmen in Abhängigkeit von den jeweiligen Produktionszielen gestaltet. Die absoluten Höhen dieser Ziele² oder zumindest ihre Spannweite sind wichtige Eingangsgrößen in den Entscheidungsfindungsprozess zur Auswahl von Art und Menge der pflanzenbaulichen Maßnahmen. Um die Führung eines Pflanzenbestandes zu planen und zu organisieren, ist es eine Grundvoraussetzung, die anzustrebenden Ziele zu kennen. Deshalb ist es erforderlich, die in der Zukunft mögliche Entwicklung des jeweiligen Pflanzenbestandes zu verstehen. Mindestens ist es erforderlich, den Endzustand des Pflanzenbestandes, den Ertrag, in seiner Höhe einschätzen zu können.

Die Ertragsklasse bzw. die absolute Ertragshöhe werden als Eingabegrößen für Entscheidungsunterstützungssysteme von precision agriculture benötigt. Mit diesen können Maßnahmen der Pflanzenproduktion geplant werden. In ihrer praktischen Anwendung für Precision Agriculture wird der Landwirt die Möglichkeit haben, zwischen verschiedenen Schätz-

¹ wichtige pflanzenbauliche Maßnahmen sind: Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Saat, Stickstoff-Düngung (N), Unkrautregulation, Pflanzenschutz, Düngung von Phosphor (P) und Kalium (K).

² Ertragshöhe und –stabilität, Gehalte an bestimmten Stoffen in den Ernteprodukten

methoden auszuwählen, um die Ertragscharakteristik der Teilflächen eines Schläges zu ermitteln. Die Wahl für eine dieser Methoden wird vom benötigten Datenumfang der Methode, ihrer Zuverlässigkeit und der Sicherheit ihrer Schätzungen sowie dem zukünftigen Support durch den Entwickler abhängen.

Einige Methoden, mit denen der mögliche Ertrag und damit eine Charakteristik der Teilflächen von Ackerschlägen ermittelt werden können, werden in diesem Buch vorgestellt.

Begriffe: *Ertragspotential* wird hier definiert als langjähriger Mittelwert des Ertrages für einen bestimmten Standort (= Teilfläche), einer ausgewählten Kulturpflanzenart und einer Gruppe ähnlicher Sorten, die unter einem vorgegebenen Typ von gleichartig wirkenden Anbaumaßnahmen wachsen. Diese Ertragspotentiale sind notwendige Eingaben für die Planung der Bestandesführung, die in die noch unbekannt Zukunft schauen muss. Die genaue Zukunft kann nicht im Vorfeld ermittelt werden. Aber es ist nachvollziehbar, dass das mögliche Muster von Bestandesentwicklung, Pflanzenwachstum und Ertragsbildung eines (evtl. noch gar nicht gesäten) Bestandes wahrscheinlich einem solchen entspricht, welches aufgrund von Erfahrung oder aus vorhandenen Daten durch Inter- oder Extrapolation abgeleitet werden kann. Damit sind die Ertragspotentiale theoretische Werte für die Teilflächen von heterogenen Schlägen für eine generelle Situation. Die Ertragspotentiale können absolute Werte als Mittelwerte mit ihren Verteilungen sein (verursacht durch die Witterungsvarianz des Standortes). Ertragspotentiale können aber auch in Form von Klassen typisiert werden³.

Ertragsersparungen werden hier definiert als Werte oder Klassen von Erträgen, die von einer bestimmten Fruchtart erreicht werden, bei einer abgelaufenen bisherigen Produktion und bei mittleren oder verteilten Witterungsbedingungen. In den meisten Fällen der Entscheidungsfindung im Pflanzenbau ist ein Blick in die Zukunft des Bestandes erforderlich. Zu einem bestimmten Zeitpunkt des Pflanzenwachstums ist eine Abschätzung der möglichen Bestandesentwicklung bzw. des Bestandes als Funktion der bisherigen Maßnahmen und des zu erwartenden Musters möglicher, standorttypischer Witterungsverläufe erforderlich. Der Pflanzenbestand selber hat nur eine begrenzte Zahl an möglichen Entwicklungs- und Ertragsbildungsverläufen. Diese Zahl ist vor der Saat⁴ noch groß und reduziert sich dann schrittweise bis zum Ende der Vegetationsperiode. Somit sind Ertragsersparungen theoretische Werte für die Teilflächen von heterogenen Schlägen für eine konkrete Situation. Die Ertragsersparungen können absolute Werte als Mittelwerte mit ihren Verteilungen sein (verursacht durch die Witterungsvarianz des Standortes). Ertragsersparungen können aber auch in Form von Klassen typisiert werden⁵.

Methoden: Einen einfachen, aber pragmatischen Ansatz zur Ertragspotentialabschätzung (Roth, 1995) hat das Forschungsverbundprojekt *pre agro* verwendet, um die sachgerechte Differenzierung der Saatstärke bzw. der Stickstoffdüngung von Teilflächen abzuleiten. Anhand einer Tabellenfunktion, die empirisch anhand von Versuchsergebnissen und Experten-

³ Ertragsklassen: hoch, mittel, niedrig etc.; werden zur Vergleichbarkeit ergänzt durch Angabe von absoluten Referenzbeträgen.

⁴ Ertragspotential und Ertragsersparung einer Teilfläche können zum Zeitpunkt vor der eigentlichen Bestandesbegründung (Saat) noch gleich sein; da aber das Ertragspotential für eine Gruppe von Sorten abgeleitet und die Ertragsersparung für eine spezifische Sorte angepasst wird, können dennoch schon zu diesem Zeitpunkt Unterschiede zwischen diesen beiden Werten existieren.

⁵ Ertragsklassen: hoch, mittel, niedrig etc.; werden zur Vergleichbarkeit ergänzt durch Angabe von absoluten Referenzbeträgen.

einschätzungen entstand, kann das standortspezifische Ertragspotential von Getreide (dabei Winterweizen als Referenzfrucht) abgeleitet werden. Eingangsgrößen sind die Angaben der deutschen Reichsbodenschätzung sowie die Summe der mittleren Jahresniederschläge. Dieses Modell funktioniert auf den meisten für Precision Agriculture relevanten Standorten in Deutschland. Die so geschätzten Ertragspotentiale korrespondieren gut mit den Erfahrungen der Landwirte, die im Verbundprojekt *pre agro* mitarbeiten. Die standortspezifischen Ertragspotentiale werden den Nutzern in den *pre agro*-Modulen zur Entscheidungsunterstützung des Precision Agriculture als Vorschläge angeboten. Die Anwender können diese Vorschläge aber manuell überschreiben. Die Schätzergebnisse entsprechen auch gut den Ergebnissen aus der Anwendung von Pflanzen-Simulationsmodellen.

In vielen Regionen von Mitteleuropa werden die Ertragsmuster durch Unterschiede im örtlichen Wasserhaushalt der Teilflächen bedingt. In vielen Fällen ist dies eine für hohe Erträge nicht ausreichende Wasserversorgung. In einigen wenigen Fällen ist dies evtl. aber auch Überschusswasser aufgrund hoch anstehender Grundwasserstände, Wasseransammlung in Senken sowie Staunässe aufgrund von geschichtetem Substrat. Diese starke Abhängigkeit der Ertragsvarianz von der Wasserversorgung erlaubt es, Methoden zu entwickeln, mit denen die Ertragspotentiale vorrangig anhand der Wasserversorgung der Teilflächen abgeschätzt werden können.

Mit einem kombinierten Ansatz von Fernerkundung und Bodenansprache wurde ein Regressionsmodell entwickelt, mit dem die *Standortpotentiale* sowie die *Ertragspotentiale* von Teilflächen ermittelt werden können (Kap. 3.5). Basierend auf den Reflektionseigenschaften der Pflanzenbestände im thermalen Bereich sowie im nahen Infrarot wurde der Wasserstatus des Boden-Pflanzen-/Komplexes ermittelt. Durch korrelative Verknüpfung der gemessenen Biomasse und der Erträge mit diesem Wasserstatus konnte die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser abgeschätzt werden. Mit dieser Methode können dann Karten über die räumliche Verteilung des pflanzenverfügbaren Wassers von Schlägen erstellt werden. Derartige Daten sind wesentliche Eingangsgrößen für verschiedene Modelle zur Abschätzung der Ertragspotentiale dieser Teilflächen.

Sollen die *Ertragspotentiale* oder die *Ertragserwartung* von Teilflächen sehr detailliert betrachtet werden, so sind Methoden erforderlich, die diese Ertragswerte für die Wechselwirkung *Kulturpflanzenart x Sorte x Standort x Bestandesführung* für alle Teilflächen eines Schlages beschreiben. Eine geeignete Methode ist die Anwendung von Wachstumsmodellen. Hierzu wird im Kapitel 5.3 beschrieben, wie mit Hilfe solcher Modelle (hier: CERES-Familie) die Ertragspotentiale abgeschätzt werden können. Diese Abschätzung basiert nicht auf der Anwendung von langjährigen Datenerhebungen. Es werden lediglich Daten herangezogen, die auf Betriebsebene bzw. in der Betrachtungsregion üblicherweise verfügbar sind. Zur Überprüfung dieser Modelle erfolgten Kalibrierungsexperimente bezüglich der Eingangsdaten zum Boden, speziell im Hinblick auf die Wasserbilanz (Kap. 2.4 und 5.4). Die Ertragspotentiale werden als Mehrjahressimulationen ermittelt, bei denen langjährige Witterungsaufzeichnungen des jeweiligen Standortes zugrunde gelegt werden. Die ersten Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmungen zu den auf dem jeweiligen Feld/der Teilfläche gemessenen Erträgen, insbesondere dann, wenn die zu beobachtenden Teilflächen mit Unterstützung durch Fernerkundungsinformationen besser abgegrenzt werden.

Teilflächen / Bewirtschaftungseinheiten: Sollen die Ertragspotentiale der Teilflächen eines Schlages ermittelt werden, so ist entscheidend, die Reichweite der Werte, ihre Gültigkeit über Distanzen zu kennen. Teilflächen, die in diesem Sinne homologe Eigenschaften von Ertrag oder Bestandescharakteristika zeigen, können als Bewirtschaftungseinheiten (Management-Units) ausgegrenzt bzw. zusammengefasst werden. Hierzu werden einige geeignete Methoden in diesem Buch erörtert.

Diskussion: *Ertragspotentiale* und *Ertragswartungen* sind theoretische, aber für die Planung und Durchführung von Precision Agriculture sehr wesentliche Werte. Es ist nachvollziehbar, dass es nicht möglich ist, exakte Werte dieser Ertragsgrößen durch Ertragskartierung oder durch Korrelationen mit Standortinformationen aus Boden- und Reliefdaten abzuleiten. Die Ertragskartierung repräsentiert vorwiegend Werte eines Jahres oder nur weniger Jahre zur gleichen Frucht sowie den spezifischen pflanzenbaulichen Maßnahmen der jeweiligen Jahre. Diese Daten können damit kaum belastbare Informationen zum langjährigen, mittleren Ertragspotential der Teilflächen liefern. Nur in wenigen Regionen und dann auch nicht bei allen Feldern ist es möglich, ein stabiles Muster der räumlichen Verteilung von Ertragspotentialen bzw. Ertragspotentialklassen bei Ertragskartierungen zu finden. Der Wechsel von Sorten, Fruchtfolgestellung sowie den pflanzenbaulichen Maßnahmen in dieser Zeit begrenzt die Verallgemeinerbarkeit ohnehin. Standortinformationen über Boden und Relief können dagegen nicht ausreichend die Dynamik der Pflanzenbestände in der Zeit berücksichtigen. Auch können solche Ansätze nicht die Abhängigkeit der späteren Zustände der Pflanzenbestände von früheren Situationen im Bestand abbilden.

Literatur

Roth, R. (1995) Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. - In: Bork, H.-R., Dalchow, C., Kächele, H., Piorr, H.-P., Wenkel, K.-O. (1995): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Verlag Ernst & Sohn, Berlin: 59-61.

5.2 Yield Potentials of Sub-units within Fields as a Key Input for Crop Management in Precision Agriculture

extended summary of the respective subprojects of *pre agro*, dealing with “yield potential”

Dr. A. Werner, Dipl. Ing. E. Kettner, Dr. J. Pauly, Dr. E. Reining, Dr. R. Roth, Dipl. Geogr. J. Kühn, Dr. T. Selige, Dipl. Ing. agr. J. Bobert, Prof. Dr. U. Schmidhalter, Dipl. Ing. agr. J. Hufnagel

Introduction: Spatial distributions in the conditions of plant variables or spatial differences in crop yield within fields are caused by (i) small scale site effects (soil, relief, lateral impacts, depth of water table etc.) or (ii) by anthropogenic impacts (historic land use, previous management, variance of crop management techniques, mishaps in technical measures etc.). The total result of all these impacts and effects is a heterogeneous crop with spatial differences in plant density, canopy structure, biomass, yields and qualities of the harvestable products. The *crop management technology of precision agriculture* tries to regard such differences and controls the cropping measures⁶ accordingly. There are several ways, on what terms such a control of the cropping measures is planned and can be operated. These different approaches relate either the degree of the measure to (I) an average or specific previous site conditions of the sub-unit (mapping approach), to (II) actual conditions of the crop and/or that of the site of the sub-unit (online approach) or (III) both (online approach with map overlay). Especially the third possibility promises to be the main approach in the future of precision agriculture.

A process of planning the measures of precision agriculture is only possible when the average site conditions (approach I) or average site conditions plus the actual conditions of crop and/or site (approach III) are known in advance. From such information the feasible cropping measures can be derived within several crop management strategies. In most of these cases the cropping measures are related to the goals of the very crop production. The absolute levels of these goals⁷ or at least their range are an input in the decision making process when selecting the quantity or quality for a cropping measure or for a set of cropping measures. Knowing the goal that should and could be reached, is a general prerequisite when planning or steering a crop stand with cropping measures. Therefore it is necessary to have an understanding of the possible development of the crop stand in its future. At least it is necessary to have an estimate of the final condition of the crop stand, the height of the yield.

The yield levels or the absolute values of expectable yields are necessary inputs for crop driven decision support systems in precision agriculture. In the practical application of such decision support systems for precision agriculture, the farmers will be able to select from a set of different methods to estimate the yield characteristics of its sub-units of the field. The choice for a specific method will depend on available data necessary for the method, the reliability and robustness of the method and its support by the developer over time.

⁶ Important cropping measures are: soil tillage, seedbed preparation, sowing, Nitrogen-fertilisation (N), weed control, crop protection and fertilisation of Phosphorous (P) and Potassium (K).

⁷ Yield in level and stability, concentration of specific compounds in the harvested products etc..

Several methods to determine the possible yield and its characteristics for a single subpart of fields are scientifically developed and compared in this book.

Terms: *Yield potentials* are defined as long term averages of yields for a specific site, a selected crop species and a range of similar varieties growing under a predefined type of homologous management strategies. Such yield potentials are necessary input information within crop management planning to look ahead into a still unknown future. The exact future cannot be determined in advance. But it is obvious, that the pattern of crop development, crop growth and yield formation of a (f. e. not yet sown) crop will most likely be very similar to one of those that can be estimated by experience or will be derived from available data or their appropriate inter- and extrapolations. Thus yield potentials are theoretical values for sub-units of heterogeneous fields for a general situation. The yield potentials can be absolute values as averages with their distribution, caused by the weather-variance of that site. Yield potentials can also be classified values as levels of yield height⁸.

Yield expectations are defined as values or levels of yields that can be achieved with a specific crop, a specific variety, a specific history of crop management and with average or distributed weather conditions. In most cases of operative decision making for cropping measures, it is necessary to look into the future of a crop from a time-point within the crop development. From that point on the crop development and the yield are determined by the previous growth conditions, the applied cropping measures and the pattern of possible weather conditions. These can be characterized by the long-term weather data for that site. The crop stand itself has only a restricted number of possibilities for its future development. This number is higher before sowing⁹ and reduces gradually until the end of the growing season. Thus yield expectations are theoretical values for sub-units of heterogeneous fields for a specific situation. The yield expectations can be absolute values as averages with their distribution, caused by the weather-variance of that site. Yield expectations can also be classified values¹⁰.

Methods: A simple but pragmatic approach (Roth, 1995) was applied in the joint research project *prea-gro* to determine the yield potentials of sub-units when preparing the site specific sowing rates and nitrogen-dressing. By using a table function, empirically developed from measured yield data and expert knowledge, the site specific yield of small grains (winter wheat as a reference) is derived in dependence of the German soil classification number and annual average precipitation. The model works on most sites relevant for precision agriculture in Germany. The estimated yields correspond well with the experiences of the farmers working in the joint research project *preagro*. These site-specific yield estimations are supplied as options in the *preagro* modules for supporting the decision-making in the management of sub-units with precision agriculture. The farmers still can override these estimations with their own experiences (chapter 6.2). The estimated values correspond well with simulations.

⁸ Yield classes: high, medium, low etc.; and adding an absolute reference value for reason of comparability.

⁹ Yield potential and yield expectation of a sub-unit can be equal at the evaluation point of pre sowing, but because yield potential is derived for a set of varieties and yield expectations can be derived for a specific variety, there can be differences at that specific point.

¹⁰ Yield classes: high, medium, low etc.; and adding an absolute reference value for reason of comparability.

In many regions of Central Europe the yield patterns within fields are caused by differences in local water supply of the very site of a sub-unit. In most cases this will be a lack of water, not fulfilling the demands of the crop for a high yield. In other, fewer cases this might be a too high water supply caused by shallow groundwater tables, collected water in depressions or water accumulation due to impermeable layers in the soil. Because of this, it is reasonable to develop methods for determining yield potentials and yield expectation of sub-units with respect to the water supply of the very sites.

With a combined approach of remote sensing and soil surveying, a regression-based method is developed that allows estimating the *site potentials* and *yield potentials* (chapter 3.5). Based on the reflection characteristics of crop canopies in the thermal and the near infrared-range of light, the water status of the crop-plant complex is determined. Relating the different values of biomass and yield to the water status of sub-parts in the field the method estimates the water holding capacity of the soil profile. From that maps of potentially plant available water of a field can be derived. These data can be a base for yield estimations with models.

When looking for very detailed aspects of *yield potentials* or *yield expectations*, then methods are necessary, which evaluate the appropriate yield values for the interactions of *species x variety x site x management* for all sub-parts within an arable field. A feasible method is the application of validated crop growth models. It is described, that with the use of such models (CERES-family), the yield potentials can be estimated without long-term data sampling (chapter 5.3). Only data are used that are available for farm fields on an overall base. With additional calibration experiments the data input for soil information, evaluated with the soil water balance are determined (chapter 2.4 and 5.4). The yield potentials are determined as averages of multi-year simulations, using long term weather records of the very site. The first results show a good fit of the estimated yields compared to those being measured on the fields, especially when delineating the observed zones in the fields with remote sensing.

Management Units: When determining the yield potentials of sub-parts of fields, it is important to know, how far in distance these values are valid. The spatial range of the yield potentials or yield expectations is a crucial point for managing the sub-parts. Areas, that show homologous characteristics of yield or of crop stand variables can be delineated as management zones or management units. Methods to determine such units are described in the book.

Discussion: *Yield potentials* or *yield expectations* are theoretical values. It is therefore obvious, that it will not be possible to determine exact values of yield potentials by yield mapping or through correlations from soil and relief related site information.

Yield mapping will predominantly represent values of a single or of few years for a specific variety and the specific management of that year or those few. These data hardly can be reliable information for a view onto yields on a long-term base. Only in a few regions and with few fields it will be possible to determine persistent spatial yield patterns with a few years of yield mapping. Changing in varieties, crop rotations and crop management over time will restrict this.

Site information does not properly consider the dynamics of a crop stand over time and the autocorrelation of certain later situations with earlier conditions in crop stand or that of the site.

Literature

Roth, R. (1995) Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. - In: Bork, H.-R.; C. Dalchow; H. Kächele; H.-P. Piorr und K.-O. Wenkel (1995): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Verlag Ernst & Sohn, Berlin. pp. 59-61.