

3.8 Ertragspotenzialkarten (TP II-6b)

Teilprojektleiter: Dr. A. Werner
Bearbeiter: Dipl. Ing. agr. E. Kettner¹
Dr. J. Pauly
Dipl.-Ing. agr. St. Dölling

3.8.1 Zusammenfassung

Die Abschätzung des Ertragspotenzials von Teilflächen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gezielte Durchführung von precision agriculture. Neben den Standortcharakteristika sind sortenspezifische Bestandesentwicklung und Ertragsbildung zu berücksichtigen, um Ertragspotenziale bzw. Ertragserwartungen abschätzen zu können. Als Ertragspotenzial werden die fruchtartenbezogenen und sortentypischen, über die Varianz der standörtlichen Witterung gemittelten, standortspezifischen Erträge definiert. Aufbauend auf diesem Ertragspotenzial wird die Ertragserwartung als die Ertragshöhe bezeichnet, die aufgrund der bereits durchgeführten Maßnahmen und des Witterungsverlaufes unter der spezifischen Jahressituation noch zu erreichen ist.

Die Analyse von Ertragspotenzialen und Ertragserwartungen für die Teilflächen der *preagro*-Schläge erfolgte durch Mehrjahressimulationen mit Hilfe eines validierten und für die Standorte parametrisierten Pflanzenwachstumsmodells. Eingesetzt wurde dazu CERES-WHEAT aus dem Modellierungspaket DSSAT 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, IBS-NAT, 1999).

Für das Erntejahr 2002 wurden für alle Pflichtschläge des Verbundprojektes auf der Grundlage der Hofbodenkarte (s. Kap. 3.1) die Ertragsvarianz durch Simulationsrechnungen ermittelt und daraus die Ertragspotenziale der in der Hofbodenkarte ausgewiesenen Teilflächenpolygone α -rechnet. Für die anderen Projektjahre wurden solche Ertragspotenziale für ausgewählte Schläge oder typisierte Schlagsituationen ermittelt. Die Werte der teilflächenspezifischen Ertragspotenziale wurden mit dem Teilprojekt „Bestandesführung“ (Kap. 4.3) erörtert sowie Vergleiche zu gemessenen Ertragsdaten der Ertragskarten und mit Zusatzinformationen von Feldbonituren gezogen. Dabei zeigten sich unterschiedliche gute Übereinstimmungen zwischen Simulationsergebnissen und Erhebungsdaten. Standorte, die extremen Einflüssen wie Trockenstress ausgesetzt sein können oder meeresnahe Lagen, zeigen bisher keine zufriedenstellenden Ergebnisse für die Ertragspotenziale, dort werden die in der Praxis erreichbaren Erträge durch die simulierten Ertragspotenziale unterschätzt.

Für ausgewählte Standorte wurden die Ertragspotenziale in Form von Polygonkarten erstellt. Die Flächenabgrenzung wurde dazu aus den jeweiligen Hofbodenkarten übernommen.

¹ Die Dissertation der das Teilprojekt bearbeitenden Doktorandin liegt zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Abschlussberichtes noch nicht vor. Die Mitarbeiterin wurde während der Projektlaufzeit und Abfassung der Dissertation zweifache Mutter. Detaillierte und systematische Ergänzungen zum Teilprojekt werden mit Abgabe der Dissertation (vorauss. Sommer 2004) vorliegen.

3.8.2 Bezug zum Verbundprojekt

Das Teilprojekt „Ertragspotenzialkarten“ stellte für die Aussaatplanungen zum Jahr 2000 Ergebnisse zu ausgewählten Standortsituationen sowie zu den Jahren 2001 und 2002 für die Pflichtschläge dem Teilprojekt „Bestandesführung“ (Kap. 4.3) die mit dem Modell CERES-Wheat simulierten Ertragspotenziale zur Verfügung. In regelmäßigen Abständen wurden die Ergebnisse zwischen den beiden Teilprojekten diskutiert und abgestimmt, so dass die Ertragspotenziale als Entscheidungsgrundlage in die Aussaatplanung mit einfließen konnten. Damit wurden die Ertragspotenziale auch Grundlage für die Planungsansätze der N-Düngung (Kap. 4.5) sowie des Einsatzes von Wachstumsreglern zur Halmstabilisierung (Kap. 4.6).

Als wesentliche Eingangsgrößen des Simulationsmodells wurden Bodeninformationen aus dem Teilprojekt „Hofbodenkarten“ genutzt. Weiterhin sind Informationen zum Schlagmanagement aus den Ackerschlagkarteien eine wichtige Datenquelle (Teilprojekt „Ökonomie“, Kap. 5.1).

In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt „Bodenwasserspeicher“ (Kap. 3.7) wurde an der Validierung des Simulationsmodells bzw. der Anpassung von Standortinformationen als Eingangsgrößen zum Simulationsmodell auf Standorten mit Trockenstress gearbeitet.

Zur Überprüfung der Simulationsergebnisse wurden Daten aus dem Teilprojekt „Aufbereitung Ertragskartierungen“ (Kap. 3.6) und Boniturdaten aus dem Teilprojekt „Düngung“ (Kap. 4.5) herangezogen.

3.8.3 Einleitung und Problemstellung

Die Kenntnis des Ertragspotenzials der differenziert zu bewirtschaftenden Teilflächen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gezielte Maßnahmengestaltung im precision agriculture. Neben den Standortcharakteristika sind sortentypische Bestandesentwicklung und Ertragsbildung zu berücksichtigen, um Ertragspotenziale bzw. Ertragsersparungen zuverlässig abschätzen zu können. Die Ermittlung des Ertragspotenzials anhand von monofaktoriellen Standorteigenschaften ist nicht möglich (Werner et al. 2000).

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 Maßnahmen² entsprechend.

² Wichtige pflanzenbauliche Maßnahmen sind: Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Saat, Stickstoff-Düngung (N), Unkrautregulation, Pflanzenschutz, Düngung von Phosphor (P) und Kalium (K).

Die Maßnahmen des precision agriculture können nur geplant werden, wenn im Vorfeld die mittleren Standortbedingungen oder die mittleren Standortbedingungen plus die aktuellen Zustände von Bestand und/oder Standort 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 der jeweiligen Produktionsziele gestaltet. Die absoluten Höhen dieser Ziele³ 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 sind somit notwendige Inputs in den bestandesbezogenen Entscheidungsunterstützungssystemen. In ihrer praktischen Anwendung für precision agriculture wird der Landwirt die Möglichkeit haben, von verschiedenen Schätzmethode auszuwählen, um die Ertragscharakteristik der Teilflächen eines Schrages zu ermitteln (s.u.a. Roth 1995). Die Wahl für eine dieser Methoden wird von der angestrebten Information, vom benötigten Datenumfang der Methode, ihrer Zuverlässigkeit und der Sicherheit ihrer Schätzungen sowie dem zukünftigen Support durch den Entwickler abhängen.

Als *Ertragspotenzialⁱ* werden die fruchtartenbezogenen und sortentypischen, über die Varianz der standörtlichen Witterung gemittelten, standortspezifischen Erträge definiert. Aufbauend auf diesem Ertragspotenzial wird die *Ertragserwartungⁱⁱ* als die Ertragshöhe bezeichnet, die aufgrund der bereits durchgeführten Maßnahmen und des Witterungsverlaufes unter der spezifischen Jahressituation noch zu erreichen ist.

Sollen die *Ertragspotenziale* 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 Schrages beschreiben. Eine geeignete Methode ist die Anwendung von Wachstumsmodellen. 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. 3.7). Die Ertragspotenziale werden als Mehrjahressimulationen ermittelt, bei denen langjährige Witterungsaufzeichnungen des jeweiligen Standortes zugrunde gelegt wurden.

Lediglich validierte und übertragbare Wachstumsmodelle oder deren vereinfachten Derivate bieten somit die Möglichkeit, Simulationen zu verschiedenen, standortrelevanten Kulturpflanzenarten, Sorten und Anbausystemen vorzunehmen. Für die Abschätzung der Ertragspotenziale wird im Forschungsverbund *preagro* das Simulationsmodell CERES-Wheat des Programmpaketes DSSAT 3.5 eingesetzt.

³ Ertragshöhe und –stabilität, Gehalte an bestimmten Stoffen in den Ernteprodukten.

Neben der Abschätzung von Ertragspotenzialen können mit dem Simulationsmodell CERES-Wheat auch Ertragsersparungen für einzelne Anbaujahre abgeschätzt werden. Ertragsersparungen wurden exemplarisch für einzelne Standorte berechnet, um das Schlagmanagement in seinen Entscheidungen zu unterstützen.

3.8.4 Material und Methoden

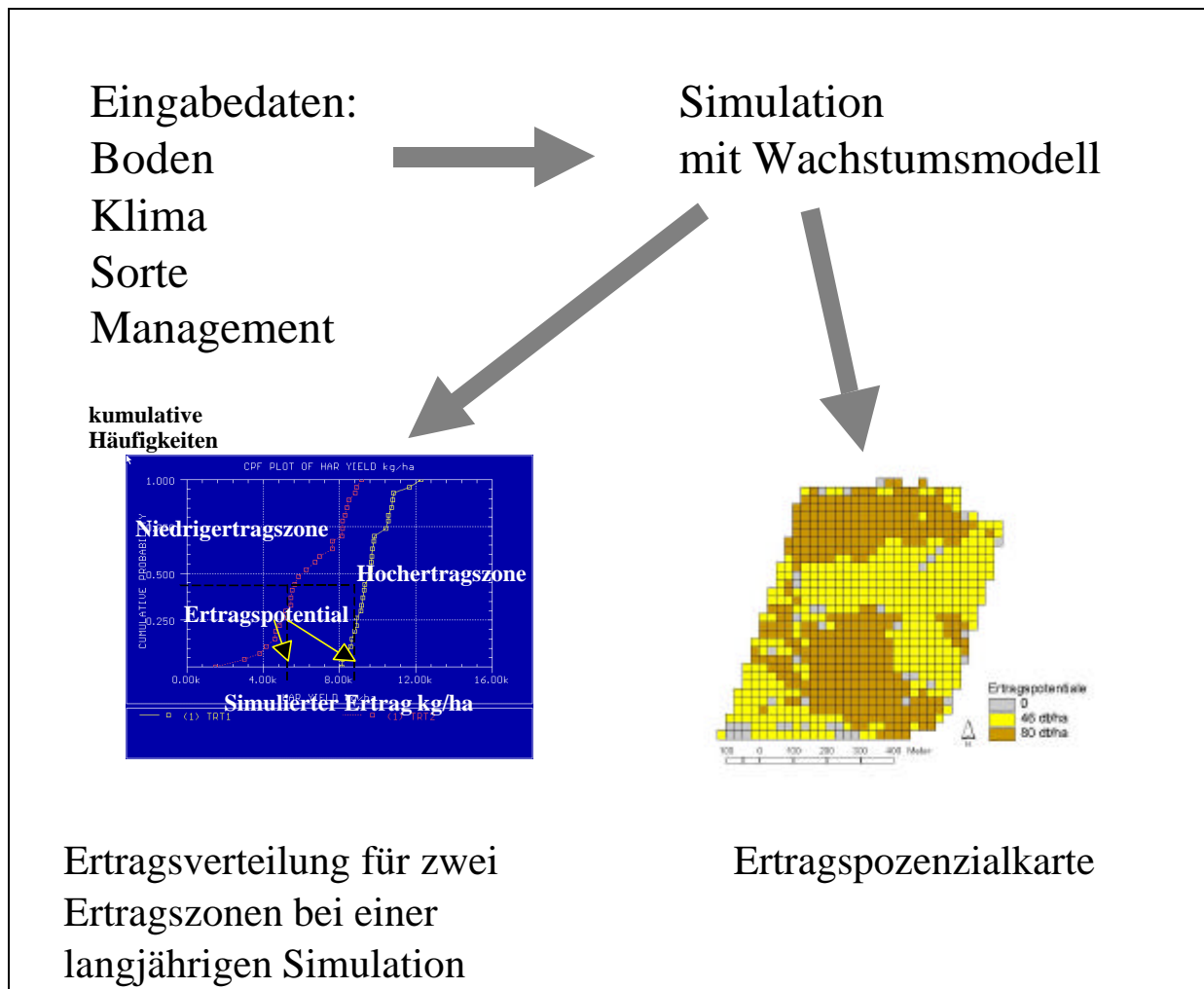
Das Pflanze-Boden Simulationsmodell CERES-Wheat

Das Modell CERES WHEAT aus dem Modellierungspaket DSSAT 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, IBSNAT 1999) kann zur Abschätzung von Ertragspotenzialen und als Entscheidungshilfe für Anbaustrategien von Winterweizen genutzt werden. Die Abschätzung der teilflächenspezifischen Ertragspotenziale erfolgt mittels Simulationsrechnungen für mehrere Jahre. Dazu werden langjährige Wetterdatenreihen nahe gelegener Klima- und Regenstationen sowie Bodendaten genutzt. Die Ertragspotenziale werden für einzelne Punkte in Schlägen berechnet. Um die Informationen in Applikationskarten einfließen zu lassen, müssen die Punktinformationen in Flächeninformationen transferiert werden.

Für die Simulationsrechnungen werden folgende gemessene Eingangsdaten benötigt:

- Wetter: Tageswerte für Minimal- und Maximaltemperatur sowie Globalstrahlung und Niederschlag
- Boden: Sand- und Tongehalt; daraus können die Bodenwassergehalte bei verschiedenen Bodenfeuchten (Algorithmus nach RITCHIE et al. 1999) abgeleitet werden.

In dem Modell werden sortenspezifische Parameter berücksichtigt, die vor dem Modelllauf ausgewählt werden müssen. Das Modell simuliert den Ertrag für die Jahre, für die Wetterdaten vorliegen. Die Darstellung der Verteilung der Ertragspotenziale über viele Jahre (als kumulative Wahrscheinlichkeitsverteilung in dem Modell vorgegeben, siehe linke Darstellung in nachfolgendem Schema) ermöglicht es, die Ertragsannahme für das kommende Jahr zu überprüfen und das Ertragspotenzial bei optimalen Anbaubedingungen zu bestimmen. Variieren lassen sich in dem Modell Managementparameter wie Aussaatstärke, Düngung und Zeitpunkt der Aussaat. Damit sind verschiedene Anbauverfahren im Hinblick auf den zu erwartenden Ertrag miteinander vergleichbar.



Ablaufschema zur Berechnung einer Ertragsverteilung für zwei Ertragszonen mit standortabhängigem Wachstumsmodell (z.B.: Ceres Wheat) und der räumlichen Darstellung von Ertragspotenzialzonen auf einem Schlag

Simulation von Ertragspotenzialen

Zur Ertragspotenzialabschätzung wurde die überarbeitete Version des Modells CERES-WHEAT aus dem Modellierungspaket DSSAT 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, IBSNAT, 1999) genutzt.

Die Anpassung der Sortenkoeffizienten des Simulationsmodells CERES-Wheat an das Sortenspektrum der europäischen Hochleistungssorten ist während der Projektlaufzeit wiederholt erfolgreich durchgeführt worden⁴ (s.u., Kap. 3.8.5), so dass diese als Grundlage für die Simulationen der Ertragspotenziale für die Pflichtschläge genutzt werden konnten. Als Vergleichsdaten für die Simulationsergebnisse liegen Ertragsmessungen und Boniturdaten für einzelne Schläge von bis zu drei Jahren vor.

⁴ s. Kap. Ertragspotenzialkarten in der KTBL-Sonderveröffentlichung 035 aus dem Jahr 2001

Die Abschätzung der teilflächenspezifischen Ertragspotenziale erfolgt mittels mehrjähriger Simulationsrechnungen (Werner et al. 2000). Dazu werden langjährige Wetterdatenreihen nahegelegener Klima- und Regenstationen verwendet sowie Bodendaten, die im Zuge der Hofbodenkarten kartiert wurden. Die Ertragspotenziale werden zunächst punktuell berechnet und dann als Polygone gleicher Ertragspotenziale in Form von Karten zu den jeweiligen Schlägen dargestellt.

Für die Simulationsrechnungen werden folgende gemessene Eingangsdaten benötigt:

Wetter: Tageswerte für Minimal- und Maximaltemperatur sowie Globalstrahlung und Niederschlag. Die 30jährigen Wetterdaten stammen von nahe gelegenen Klima- und Regenstationen, die Wetterdaten ab 1999 von eigenen Stationen des Forschungsverbundes *preagro*.

Die zur Simulation erforderlichen Bodendaten konnten aus den Bodenkartierungen des Teilprojektes Hofbodenkarten erhalten werden. Aus diesen werden die nachfolgenden Parameter abgeleitet:

Bodenwassergehalte bei $pF \sim 4,2$, $pF 1,8$ und bei Sättigung abgeleitet aus Textur (Algorithmus nach Ritchie et al. 1999),

Sortenparameter: beruhen auf dem IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) crop model; Sortenkalibrierung auf Sortenversuchsstandorten der Landesortenversuche.

Im Modell erfolgt die Berechnung der Evapotranspiration auf Grundlage der Priestley-Taylor Methode (Ritchie 1985).

Bodenkenngrößen für das Modell CERES-Wheat

Bei der Berechnung der Kenngrößen des Bodenwasserhaushaltes wird ein neuer Algorithmus verwendet (nach Ritchie et al. 1999), der zum Zeitpunkt des Projektbeginns noch nicht in das Programm integriert war. Die Bodenwassergehalte *Lower Limit* (~ Wassergehalt bei Welkepunkt) und *Drained Upper Limit* (~ Wassergehalt bei Feldkapazität) werden als Funktion aus Sand- und Tongehalt, Lagerungsdichte, Gehalt an organischer Substanz und dem Steingehalt bestimmt. Der Wert für den *Upper Limit Saturated* (Wassergehalt bei Sättigung) ist abhängig von der Lagerungsdichte. Die so ermittelten Kenngrößen für den Bodenwasserhaushalt sind die wesentlichen Größen, die zur Charakterisierung des Bodens im Modell dienen. Eine optimale Nährstoffversorgung der Böden wird bei den Simulationsrechnungen vorausgesetzt.

Ertragspotenzialkarten

Für ausgewählte Pflichtschläge des Verbundprojektes wurden Ertragspotenzialkarten erstellt. Die Hofbodenkarte diente dabei als Grundlage für die Abgrenzung von Arealen gleicher Ertragspotenziale. Für die einzelnen Teilflächen eines Schlages wurden meist mehrere Ertragspotenziale auf der Grundlage von Bodeninformationen simuliert. Der Mittelwert der Ertragswerte aus den mehrjährigen Simulationen stellt das errechnete Ertragspotenzial der einzelnen Teilfläche dar.

Die Berücksichtigung von weiteren Informationsquellen kann die Qualität von Ertragspotenzialkarten deutlich erhöhen. Für den Schlag Finkenherd wurden folgende im Projekt vorliegende Daten ausgewertet:

- ECA Karten
- Ertragskarten (2000 und 2001)
- Luftbilder, NIR Bilder
- Topographie (Digitales Geländemodell)
- Bodendaten.

Auf der Grundlage der Daten wurden Flächen gleichen Ertrags ausgegrenzt und mit den Bodeninformationen abgeglichen.

Validierung Ertragspotenziale

Bei den mehrjährigen Simulationsrechnungen werden Ertragspotenziale, Wachstumsstadien, Biomasse und Blattflächenindex errechnet, die mit gemessenen Daten abgeglichen werden können. Dieser Schritt erfolgte mit Ertragskarten und eigenen Bonituren wie den LAI-Messungen, Handernten, Einzelkorngewicht und Entwicklungsstadien.

Weiterhin wurden die Ertragspotenziale mit den konkreten Erfahrungen von Praktikern sowie mit den Einschätzungen der Ertragspotenziale des Teilprojektes „Bestandesführung“ verglichen.

3.8.5 Ergebnisse

Parametrisierung von Sorteneigenschaften für das Modell

Sortenkoeffizienten des Modells CERES Wheat

Das genetische Leistungspotenzial der Sorten wird im Modell anhand von sieben verschiedenen Koeffizienten beschrieben. Diese wurden in Langzeitversuchen für verschiedene Sorten, die vom Modell bereitgehalten werden, festgelegt. Als neuer Sortenparameter gegenüber den bis zum Zeitpunkt des Projektbeginns veröffentlichten Versionen von CERES-Wheat ist der Wert für die Blattentwicklung (PHINT) hinzugekommen. Der Parameter PHINT bezeichnet die Temperaturtage, die zwischen dem Erscheinen der Blätter liegen. Insgesamt lassen sich folgende Koeffizienten unterscheiden:

P1V: Relative Entwicklungsverzögerung bei nicht erfüllter Vernalisation

P1D: Relative Entwicklungsverzögerung bei suboptimalen Photoperioden

P5: Relative Kornfüllungsdauer in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit

G1: Kornzahl pro Ähre

G2: Kornfüllungsrate unter optimalen Bedingungen

G3: Biomasse eines Halmes und Ähre nach Abschluss des Längenwachstums unter stressfreien Bedingungen

PHINT: Temperaturtage, die zwischen dem Erscheinen von zwei Blättern liegen.

Plausibilitätskontrolle

Bei den langjährigen Simulationsrechnungen werden die phänologische Entwicklung, die Biomasse- und Ertragsbildung abgebildet. Die Mittelwerte und Streuung der so ermittelten Parameter Blattflächenindex, Reifedatum und Kornertrag werden zum Zweck einer Plausibilitätskontrolle mit gemessenen Daten abgeglichen. Bisher erfolgt der Abgleich mit den Ertragskarten und den von dem Teilprojekt III-2 (Kap. 4.3) vereinfacht ermittelten Ertragspotenzialen.

Anpassung der genetischen Sortenkoeffizienten im Modell

Die für CERES-WHEAT in DSSAT 3.5 angepassten Winterweizensorten können die europäischen Hochleistungssorten in ihren Maximalerträgen nicht hinreichend abbilden, daher muss eine Anpassung der Sortenkoeffizienten für diese Sorten erfolgen.

Darüber hinaus wurde gegenüber der bisher genutzten Version von CERES-Wheat ein zusätzlicher Sortenparameter eingeführt (s.o.), so dass auch dafür eine gezielte Sortenkalibrierung an die mitteleuropäischen Bedingungen erfolgen muss. Dazu liegen Boden-, Klima- und Bestandesdaten für verschiedene Sortenversuchsstandorte vor, anhand derer eine Kalibrierung der Sortenparameter vorgenommen wurde. Es zeigte sich jedoch, dass mit dem vorhandenen Datenmaterial eine Anpassung jeder einzelnen Sorte nicht möglich sein wird. Daher wurden die Sorten aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit und ihrer Zugehörigkeit zu Sortengruppen eingeteilt. Für jede Gruppe wurde die Sorte als Leitsorte ausgewählt, für die hinreichendes Datenmaterial zur Verfügung stand und die auf den Pflichtenschlägen des Verbundprojektes am häufigsten angebaut wurde.

Tab. 3.8-1: Einteilung der Winterweizensorten in Deutschland in Sortengruppen für die Verwendung von CERES-Wheat

Leitsorte der Sortengruppe	Zugehörige Sorten	Bemerkung
Batis	Ludwig Asketis Pegassos	Qualitätsgruppe A, hoher Kornertrag
Toronto	Astron	Qualitätsgruppe A, mittlerer Kornertrag
Ritmo	Maverick	Qualitätsgruppe B, mittlerer Kornertrag
Drifter		Qualitätsgruppe B, hoher Kornertrag
Zentos	Thasos	Qualitätsgruppe E, mittlerer Kornertrag

Für jede Leitsorte erfolgte die Justierung der Modellparameter anhand eines Abgleichs von Kenngrößen (Phänologie und Ertrag) der Versuchsbestände der Landessortenversuche mit den simulierten Werten langjähriger Simulationsrechnungen. Zuerst wird die Phänologie (Termine von Feldaufgang, Ährenschieben, Gelbreife und Vollreife) angepasst (siehe Tab. 3.8-2). Ist die Anpassung zufriedenstellend, werden die Mittelwerte der Erträge der langjährigen Simulation mit den Mittelwerten der Sortenversuchsstandorte (meist liegen Ertragsdaten für 4 Jahre vor) verglichen. Wesentlich dabei ist, dass die Simulationen mit den gewählten Sortenkoeffizienten die Maximal- und Minimalwerte des Ertragsspektrums abbilden können.

Ergebnisse der Anpassung der genetischen Sortenkoeffizienten im Modell

Die Anpassung der genetischen Koeffizienten ist bisher für die Leitsorte Batis in langjährigen Simulationsläufen und vierjährigen Simulationen erfolgt. Die Phänologie und Entwicklungsgeschwindigkeit konnte mit der Sorte Batis in langjährigen Simulationsläufen (Tab. 3.8-2) zufriedenstellend abgebildet werden.

Die für vier Jahre simulierten Erträge für die Sortenversuchsstationen Altenmellrich und Haus Düsse (Nordrhein-Westfalen) stimmen zum Teil sehr gut mit den gemessenen Erträgen überein (Abb. 3.8-1 und Abb. 3.8-2).

Tab. 3.8-2: Vergleich der Sorte Batis mit der im Modell vorgeschlagenen Winterweizensorte „Winter Europe“ und den in Sortenversuchen gemessenen Daten für Aufgang, Ährenschieben und Reife und den langjährig simulierten Erträgen von Batis und Winter Europe mit den real gemessenen Erträgen in Landessortenversuchen $\text{dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Error = Abweichung zu „Batis“, Landessortenversuch).

Sorte	Aufgang	Ährenschieben	Reife	Mittlerer Kornertrag $\text{dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (28 Jahre)
Batis, simuliert	9. Okt.	8. Jun.	2. Aug.	111
Winter Europe, simuliert	9. Okt.	2. Jun.	13. Jul.	77
Batis, Landessortenversuch	7. Okt.	8. Jun.	27. Jul.	100 (4 Jahre)
Error Batis	2	0	6	11
Error Winter Europe	2	- 6	- 14	- 23

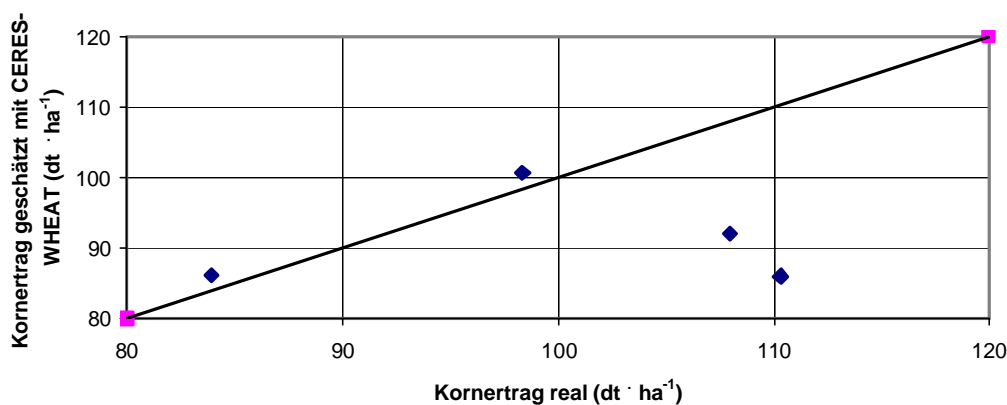


Abb. 3.8-1: Anpassungsgüte der Sortenparameter von CERES-Wheat zur Sorte Batis (Vergleich simulierte und gemessene Kornerträge; Sortenversuchsstandort Altenmellrich)

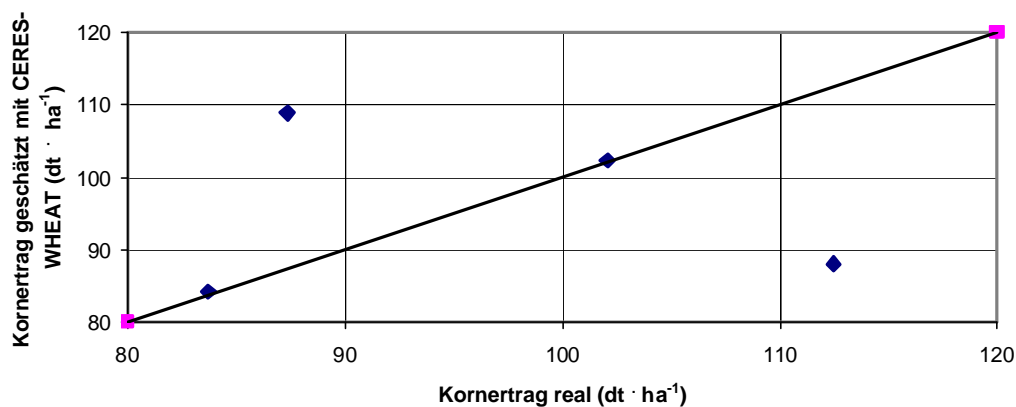


Abb. 3.8-2: Anpassungsgüte der Sortenparameter von CERES-Wheat zur Sorte Batis (Vergleich simulierte und gemessene Kornerträge; Sortenversuchsstandort Haus Düsse)

Die langjährigen und die vierjährigen Simulationsläufe zeigen eine sehr gute Übereinstimmung bei den Mittelwerten für den Reifetag und die Erträge zwischen simulierten und gemessenen Werten (Tab. 3.8-3 und Tab. 3.8-4). Auffallend bei der langjährigen Simulation ist der geringe Minimalertrag von nur 30 dt/ha in einem sehr trockenen Jahr. Im Modell kann der kapillare Aufstieg von Bodenwasser nicht berücksichtigt werden, so dass diese im Einzelfall für die Ertragsbildung entscheidende zusätzliche Wasserversorgung vom Modell nicht einbezogen wird. Des Weiteren gibt das Modell einen festen Grenzwert für die maximal mögliche Entwässerung vor (Lower Limit pF 4,2), der in der Realität nach Trockenstress des Pflanzenbestandes aber variabel sein kann.

Tab. 3.8-3: Vergleich des Eintritts der Reife bei langjährigen und vierjährigen Simulationen auf den Sortenversuchsstandorten Haus Düsse und Altenmellrich; STABW- Standardabweichung

	Sorte	Mittelwert Reifetag	Max	Min	STABW
Langjährige Simulation	Batis	6. Aug.	14. Aug.	24. Jul.	5.9
4-jährige Simulation	Batis	2. Aug.	11. Aug.	24. Jul.	6.5
Abweichung zu „4-jähr.“		4 Tage	3.0	0.0	-0.6

Tab. 3.8-4: Vergleich der Erträge bei langjährigen und vierjährigen Simulationen auf den Sortenversuchsstandorten Haus Düsse und Altenmellrich; STABW- Standardabweichung

	Sorte	Mittelwert Kornertrag (t · ha⁻¹)	Max	Min	STABW
Langjährige Simulation	Batis	9,1	12,0	3,0	1,7
4-jährige Simulation	Batis	9,3	10,1	8,6	0,5
Abweichung zu „4-jähr.“		-0,2	1,9	-5,7	1,2

Ertragspotenziale für die Pflichtschläge des Verbundprojektes

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen und Jahre sind u.a. den Projektberichten sowie Werner et al. 2002 zu entnehmen.

Nach den Kalibrierungs- und Validierungsarbeiten sowie gezielten Ertragspotenzialermittlungen ausgesuchter Teilflächen in den ersten Projektjahren wurden für alle Pflichtschläge zum Erntejahr 2002 Ertragspotenziale mittels mehrjähriger Simulationsrechnungen ermittelt. Die Ergebnisse wurden danach mit dem Teilprojekt Bestandesführung (Kap. 4.3) erörtert, um ein Maß für die Qualität der Simulationsergebnisse zu gewinnen. Dabei zeigen sich sehr gute Simulationsergebnisse für die Schläge der Betriebe Raguhn, Groß Twülpstedt und Raesfeld. Im Folgenden werden einzelne Ergebnisse diskutiert.

Für den Schlag Bullenstall lassen sich zwei deutlich unterschiedliche Ertragspotenzialniveaus, $80 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ und $55 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, ableiten (Abb. 3.8-3). Der Schlag Bullenstall liegt in der Leipziger Tieflandbucht mit einem mittleren Jahresniederschlag von 460 mm und einem Braunerde Tschernosem als Hauptbodenform. Das relativ geringe Ertragspotenzial von $55 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ lässt sich durch eine Kieseinlagerung erklären, die sich im Südwesten quer durch den Schlag zieht und in dessen Bereich die Böden sehr flachgründig sind.

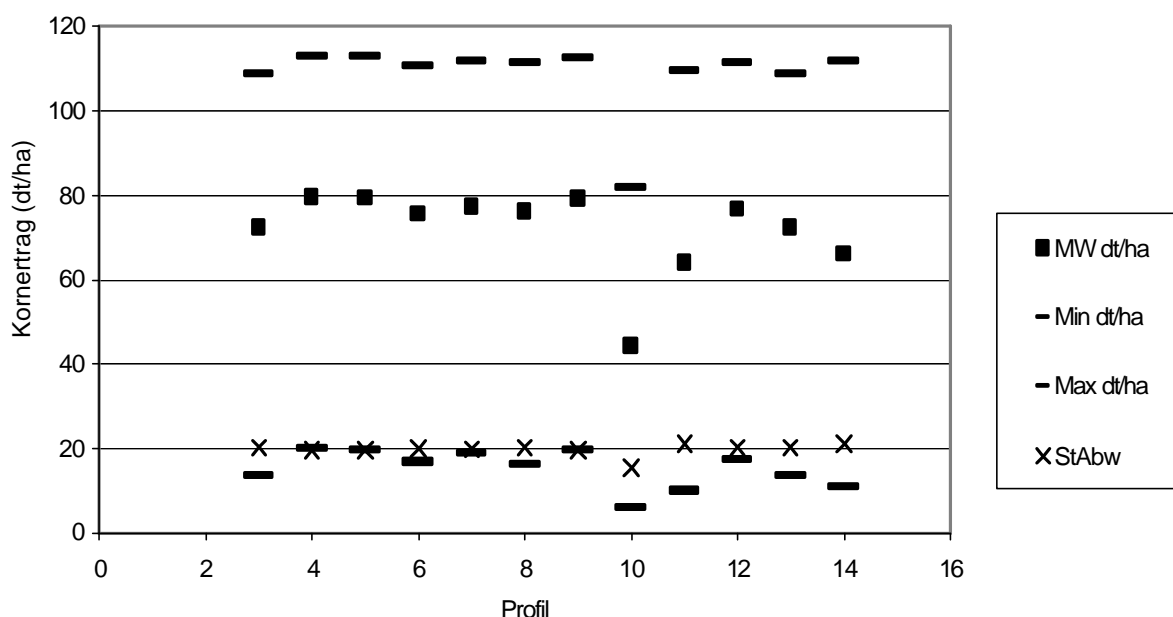


Abb. 3.8-3: Mittlere Ertragspotenziale aus langjährigen Ertragssimulationen, Bezeichnung der Bodenprofile nach Hofbodenkarte, Schlag Bullenstall, Betrieb Raguhn.

Auffällig ist die Spannweite der Erträge für die einzelnen Profile, die Minimalerträge liegen bei $20 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Betrachtet man die Ertragsverteilung über die Jahre für alle berücksichtigten Bodenprofile (Abb. 3.8-4), so bestätigen die niedrigen Ertragspotenziale im Jahr 1975 die für dieses Jahr bekannten Trockenheitsprobleme.

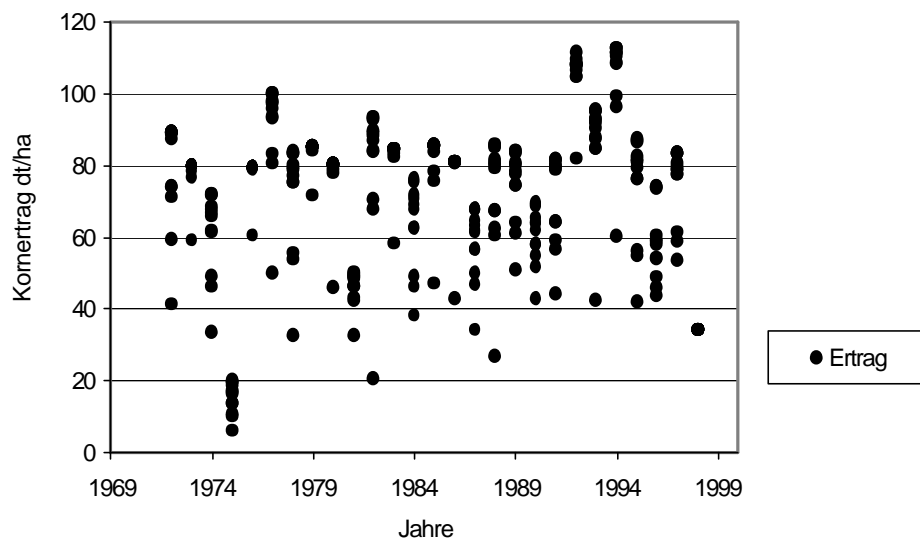


Abb. 3.8-4: Ertragspotenziale einzelner Jahre über alle Profile, Schlag Bullenstall, Betrieb Raguhn.

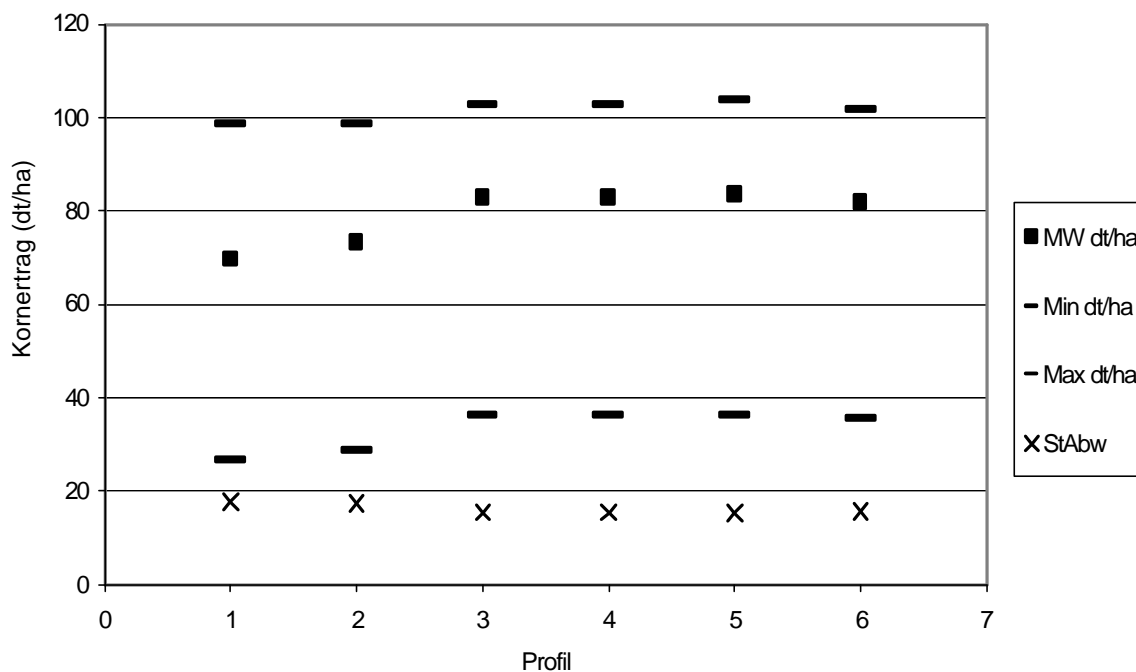


Abb. 3.8-5: Mittlere Ertragspotenziale aus langjährigen Ertragssimulationen, Bezeichnung der Bodenprofile nach Hofbodenkarte, Schlag Almker Straße, Betrieb Groß Twülpstedt

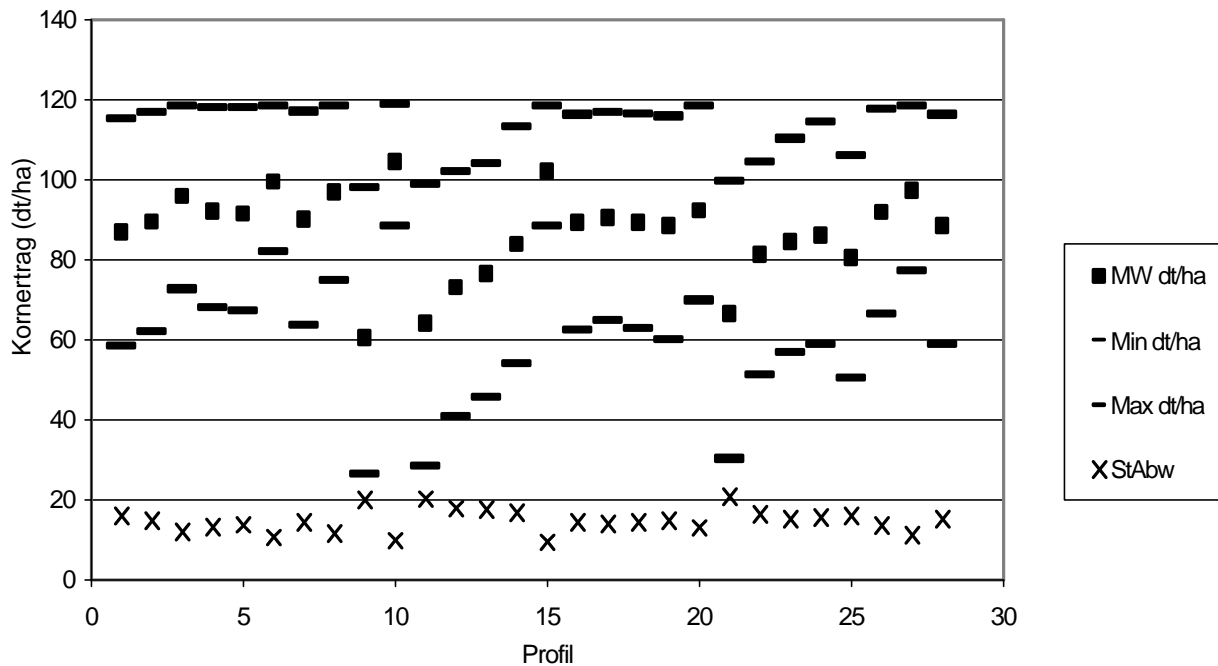


Abb. 3.8-6: Mittlere Ertragspotenziale aus langjährigen Ertragssimulationen, Bezeichnung der Bodenprofile nach Hofbodenkarte, Schlag Kassow106-1, Kassow

Der Schlag Almker Straße (Betrieb Groß Twülpstedt) zeigt Ertragspotenziale zwischen $70 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ und $80 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Abb. 3.8-5). Die Heterogenität dieses Schlages ist relativ gering.

Die durch Mehrjahressimulation ermittelten Ertragspotenziale für den Schlag Kassow 106 liegen zwischen $60 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ und $100 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Abb. 3.8-6).

Ertragspotenzialkarten

Die Ertragspotenzialkarten wurden für einzelne Schläge erstellt, bei denen die Abgrenzung nach der Hofbodenkarte die wahrscheinliche Ertragsverteilung widerspiegelt. Diese entspricht gut den Erwartungen des Teilprojekts Bestandeführung.

Für den Schlag Bullenstall wurden für die Flächen der Hofbodenkarte die mittleren Erträge der Ertragskartierung und die Ertragspotenziale errechnet. Die Flächenverteilung der Relativerträge zeigt eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 3.8-7). Die Ertragspotenziale liegen aber über den gemessenen Erträgen, da immer in den Simulationen von einer optimalen Versorgung der Kulturpflanze bzw. einer konkurrenzfreien Situation ausgegangen wird, die aber in der Realität nicht unbedingt unterstellt werden kann. Somit sind diese Abweichungen durchaus zufriedenstellend.

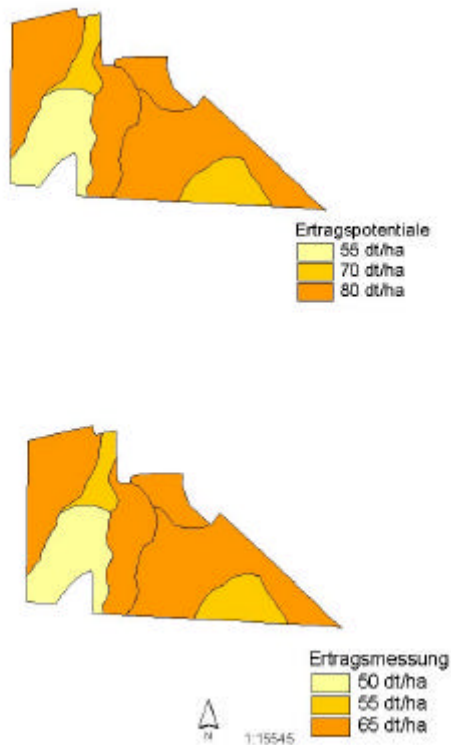


Abb. 3.8-7: Vergleich der Ertragspotenzialkarte mit Ertragsmessungen für das Erntejahr 2000, Schlag Bullenstall, Betrieb Raguhn

Für den Schlag Autobahn wurde eine Ertragspotenzialkarte erstellt und mit Ertragsmessungen für das Jahr 2001 verglichen (Abb. 3.8-8). Wird nur die räumliche Verteilung relativ hoher und niedriger Erträge betrachtet, zeigen sich nur für den mittleren Teil des Schlages gute Übereinstimmungen. Während die Ertragspotenzialkarte die geringsten Ertragspotenziale im Süden ausweist, zeigt die Ertragskarte von 2001 die niedrigsten Erträge im Norden.

Schlag Autobahn Betrieb Raesfeld Vergleich simulierte und gemessene Erträge 2001



Abb. 3.8-8: Räumliche Verteilung relativ hoher und niedriger Erträge nach Ertragspotenzialkarte und Ertragskarte, Schlag Autobahn, Betrieb Raesfeld

Eine Karte mit simulierten Erträgen für das Erntejahr 2000 für den Schlag Finkenherd zeigt Abb. 3.8-9. Für die räumliche Abgrenzung von Arealen gleichen Ertrags wurden Zusatzinformationen aus ECA Karten, Luftbildern, NIR Bildern, Ertragskarten mit gemessenen Werten vergangener Jahre, dem Geländemodell und der Hofbodenkarte genutzt und mit den aktuell gemessenen Werten der Ertragskarte verglichen (siehe Abb. 3.8-9). Sowohl in der Karte mit gemessenen als auch simulierten Werten lassen sich zwei Ertragszonen ausweisen, das räumliche Muster von hohen und niedrigen Ertragszonen stimmt sehr gut überein.

Finkenherd yield maps

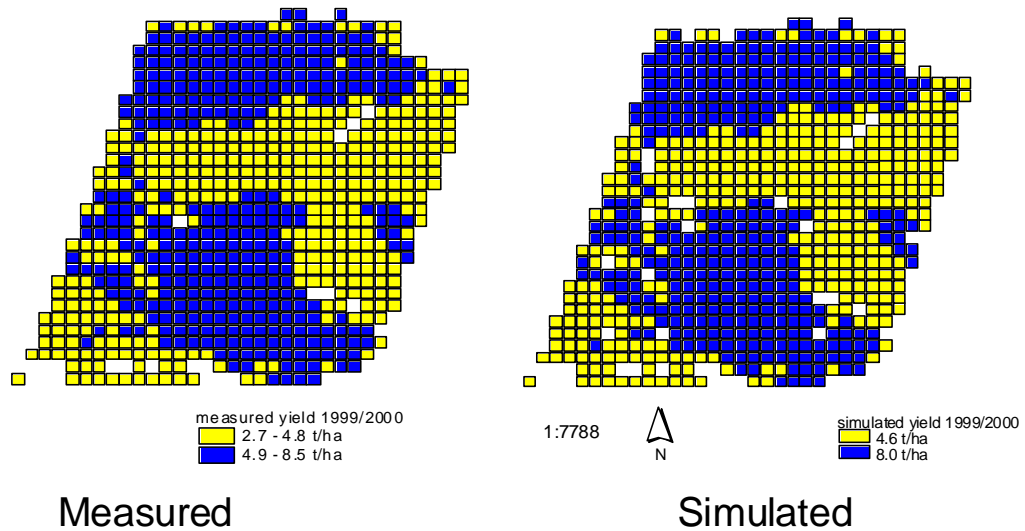


Abb. 3.8-9: Simulierte und gemessene Ertragskarte Schlag Finkenherd für das Erntejahr 2000

Vergleich von Einzeljahressimulationen mit Ertragsmessungen und Bonituren

Für den Schlag Autobahn, Betrieb Raesfeld wurden erste Vergleiche von Boniturdaten mit Einzeljahressimulationen durchgeführt. Einschränkend sei vorangestellt, dass die Bonitурpunkte und die Bodeninformationen für die Simulationen nicht an den gleichen Punkten erhoben wurden, aber möglichst nahe liegende Punkte miteinander verglichen wurden. Dadurch findet sich in den Vergleichswerten auch die räumliche Standortvariabilität wieder. Die Handernten zeigen für die Bonitурpunkte M_2 und M_1 gute Übereinstimmungen mit den simulierten Erträgen für das Jahr 2001 (Tab. 3.8-5). Auffallend ist jedoch an allen Punkten die geringe Tausendkornmasse in den Simulationsergebnissen.

Tab. 3.8-5: Vergleich von Bonituren mit einjährigen Simulationsrechnungen für das Jahr 2001, Schlag Autobahn, Betrieb Raesfeld (LAI-Blattflächenindex, TKM-Tausendkorngewicht)

Boniturstandort R_2 und Bodenprofile Nr 6,11,12

	Messwerte	Simulation (MW)	Error
LAI 05/17/01(day137)	3.94	2.83	1.11
LAI 06/11/01(day162)	4.79	2.41	2.38
Ertrag dt · ha ⁻¹	78.5	93.2	-14.68
Erntedatum	29.07.01	16.07.01	13.00
TKM g	42.76	29.4	13.36

Boniturstandort M_2 und Bodenprofil Nr. 8

	Messwerte	Simulation	Error
LAI 05/17/01(day137)	3.44	2.78	0.66
LAI 06/11/01(day162)	4.88	2.36	2.52
Ertrag dt · ha ⁻¹	85.6	92.5	-6.92
Erntedatum	29.07.01	16.07.01	13.00
TKM g	45.89	29.4	16.49

Boniturstandort R_1 und Bodenprofil Nr. 7

	Messwerte	Simulation	Error
LAI 05/17/01(day137)	3.23	2.83	0.40
LAI 06/11/01(day162)	4.57	2.40	2.17
Ertrag dt · ha ⁻¹	77.6	93.2	-15.58
Erntedatum	29.07.01	16.07.01	13.00
TKM g	46.63	29.4	17.23

Boniturstandort M_1 und Bodenprofil Nr. 10

	Messwerte	Simulation	Error
LAI 05/17/01(day137)	4.17	2.86	1.31
LAI 06/11/01(day162)	5.24	2.43	2.81
Ertrag dt · ha ⁻¹	86.9	93.6	-6.63
Erntedatum	29.07.01	16.07.01	13.00
TKM g	46.24	29.5	16.74

3.8.6 Diskussion

Ertragspotenzialkarten

Die Erstellung der Ertragspotenzialkarten erfolgte auf der Grundlage der Hofbodenkarten. Dieses führte in den meisten Fällen nicht zu befriedigenden flächenhaften Darstellungen. Die Abgrenzung von Flächen gleichen Ertragspotenzials muss noch gemeinsam im Verbundprojekt gelöst und dabei methodologisch systematisiert werden.

Die für den Schlag Finkenherd angewandte Methode zur Ausgrenzung von Flächen gleichen Ertrags scheint vielversprechend und soll in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten „Relief“, „Bestandesinformation“, „Luftbilder“, „Bestandesführung“ und „Bodenwasserspeicher“ weiter vertieft werden.

Modellvalidierung

Die Zielgröße des hier zu entwickelnden bzw. zu untersuchenden Verfahrens ist der Ertrag. Die vorgestellte Methode (Ertragsberechnung mit validierten Wachstumsmodellen) simuliert für jedes Jahr, für das Wetterdaten vorliegen, den Ertrag. Daraus kann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Jahre für die Zielgröße Ertrag erstellt werden. Die Übereinstimmung von gemessenen und simulierten Erträgen hängt von der Qualität der Eingangsdaten ab. Eine wesentliche Eingangsgröße ist der Bodenwassergehalt. Bildet dieser die realen Verhältnisse ab, weichen die simulierten Erträge von den gemessenen ca. 10 % ab.

Für die Modellvalidierung wurden Boniturdaten für die Pflichtschläge mit simulierten Werten abgeglichen. Die Vergleiche, die ausführlich für das Jahr 2001 durchgeführt worden sind, zeigen, dass das Modell die Ertragsniveaus in ebenen, nicht grundwasserbeeinflussten oder trockenen, Standorten gut abbilden kann. Problematisch wird es auf Standorten, die besonderen klimatischen Einflüssen ausgesetzt sind, z.B. meeresnahe (und damit höhere Luftfeuchtigkeit: Standort Thumby), von Trockenstress bedrohte Gebiete (Wulfen) sowie Flächen mit lateralem Wasserzufluss bzw. -abfluss zu Teilflächen.

3.8.7 Ausblick und zukünftige Forschung

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass es in einigen Fällen sehr gut möglich ist, die Ertragspotenziale von Teilflächen standortbezogen zu analysieren. Aufgrund von besonderen Standorteigenschaften gelingt dies bei anderen Teilflächen weniger gut. Ursächlich hierfür sind zum einen unzureichende (da fehlende oder nicht zutreffende) Eingabegrößen für die Simulationsmodelle. Zum anderen werden aufgrund von bisher in der Standortcharakterisierung nicht berücksichtigten Eigenschaften die Wachstumsbedingungen dieser Standorte falsch eingeschätzt. Hierzu zählen insbesondere laterale Wasser-, Nährstoff- und Energieströme in die betrachtete

Teilfläche oder aus ihr heraus. Insbesondere die laterale Wasserdynamik der Standorte bzw. der Teilflächen bei reliefiertem Gelände bewirken in dem hier vorgestellten methodischen Ansatz noch nicht quantifizierte Einflüsse auf das Ertragsbildungsvermögen der Teilfläche. Dies im Einzeljahr sowie damit auch im Mittel der Jahre.

Aufgabe zukünftiger Forschungsprojekte muss es sein, von den angedeuteten Prozessen ertragswirksam relevante zu identifizieren, die Schlüsselfaktoren zu ermitteln und ihre Effekte zu quantifizieren und verallgemeinernd zu modellieren. Zudem sind die modellseitig benötigten Eingangsgrößen in ihrer Genauigkeit besser zu ermitteln bzw. durch ergänzende Standorteigenschaften inhaltlich aufzuwerten.

Welche mögliche Rolle ergänzende Informationen für die Verwendung von Simulationsmodellen für die Analyse der Ertragspotenziale bzw. Ertragserwartungen haben könnte, zeigt nachfolgende Übersicht.

Übersicht: Methoden, die eine Analyse der Standorteigenschaft 'Ertragspotenzial' mit Hilfe von Wachstumsmodellen ergänzen und dabei inhaltlich unterstützen bzw. die Genauigkeit der Analyseergebnisse verbessern können (Kettner 2004).

Methode	Bedeutung der Methode für die Unterstützung bei der Analyse der Ertragspotenziale von Teilflächen standortheterogener Ackerflächen [Beschreibung (anhand individueller Einschätzungen)]
Hof-Bodenkarte	sehr wichtige Ergänzung: Ableitung des Bodenwassergehaltes aus dem Sand- und Tongehalt. Hilfreich bei der räumlichen Abgrenzung von Teilflächen mit gleichem Ertragspotenzial, begrenzt möglich.
Bodenschätzung	wichtige Ergänzung: Ableitung des Bodenwassergehaltes aus dem Sand- und Tongehalt; die Bodeninformationen aus der Bodenschätzung müssen in das aktuelle Bodenklassifikationssystem übertragen werden. Hilfreich bei der räumlichen Abgrenzung von Teilflächen mit gleichem Ertragspotenzial.
EM 38	wichtige Ergänzung: Abgrenzung von Teilflächen gleichen Ertragspotenzials auf gut zeichnenden Standorten
Geländemodell	sehr wichtige Ergänzung: Berücksichtigung von Hangzugswasser
NIR-Karten	sinnvolle Ergänzung: zur Abgrenzung von Teilflächen gleichen Ertragspotenzials
Ertragskarten	sehr wichtige Ergänzung: Abgrenzung von Teilflächen gleichen Ertragspotenzials, Kontrolle der Simulationsergebnisse
Luftbilder	wichtige Ergänzung: Abgrenzung von Teilflächen gleichen Ertragspotenzials

Literatur

- Kettner, E. (2004): Modell CERES Wheat. - In: Hufnagel, J., Herbst, R., Werner, A., Jarfe, A. [Hrsg.]: Anleitung zu Precision Farming für Praktiker. KTBL-Schrift (im Druck).
- Tsuji, G.Y; Jones, J.W. und S. Balas [eds.] (1994): DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Ritchie, J.T. (1985): A user-oriented model of the soil water balance in wheat. In: W.Day and R.K. Atkins [eds.] Wheat Growth and modelling, 295-305. Plenum Publishing Corporation, NATO-ATO Series.
- Ritchie, J.T., Gerakis, A. and A. Suleiman (1999): Simple Model to estimate field-measured soil water limits. - In: American Society of Agricultural Engineers. Vol. 42 (6), 1609-1614.
- Roth, R. (1995): Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. - In: Bork, H.-R.; C. Dalchow; H. Kächele; H.-P. Piorr und K.-O. Wenkel [Hrsg.]: Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Ernst & Sohn, Berlin. pp. 59-61.
- Werner, A., Dölling, S., Jarfe, A., Kühn, J., Pauly, J., Roth, R. (2000): Deriving Maps of Yield-Potenzials with Crop Models, Site Information and Remote Sensing. P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson [eds.]: Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, July 2000, Minneapolis, Minnesota.
- Werner, A., Kettner, E., Pauly, J. (2002): Ertragspotenzialkarten. - In: Werner, A., Jarfe, A. [Hrsg.]: Precision Agriculture - Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 038: Kuratorium für Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, S. 201-210, ISBN 3-9808279-0-9.
- Werner, A., Kettner, E., Pauly, J., Reining, E., Roth, R., Kühn, J., Selige, T., Bobert, J., Schmidhalter, U., Hufnagel, J. (2003): Yield potenzials of sub-units within fields as a key input for crop management in precision agriculture. In: Werner, A., Jarfe, A. [eds.]: Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF: 820-822; Wagenin-gen Academic Publishers.

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

ⁱⁱ **Ertragserwartungen** werden hier definiert als Werte oder Klassen von Erträgen, die erreicht werden von einer bestimmten Fruchtart, 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 Punkt 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 groß noch vor der Saatⁱⁱ und reduziert sich dann schrittweise bis zum Ende der Vegetationsperiode. Somit sind Ertragserwartungen theoretische Werte für die Teilflächen von heterogenen Schlägen für eine konkrete Situation. Die Ertragserwartungen können absolute Werte als Mittelwerte mit ihren Verteilungen sein (verursacht durch die Witterungsvarianz des Standortes). Ertragserwartungen können aber auch in Form von Klassen typisiert werdenⁱⁱ.