Spatialanalyse für Kontrollparzellen in Versuchen mit Weizen und Hafer

W E WEBER Universität Hannover Inst Angewandte Genetik
R ANLAUF TU Braunschweig Inst Geographie u Geoökologie

Zusammenfassung Bei Ertragsprüfungen zu Weizen und Hafer in Versuchen mit Kontrollparzellen wurden verschiedene Verfahren zur Erfassung und Eliminierung der systematischen Bodenvariation überprüft Zum Einsatz kamen Kriging ungewogene und mit dem Abstand gewogene Gleitmittelverfahren angewandt auf alle bzw nur die Kontrollparzellen Der Erfolg gemessen an der Korrelation zum Ertrag des Folgejahres war nur gering Ein Grund hierfür liegt in der unzureichenden Erfaßbarkeit der systematischen Bodenvariation Züchterversuche sind in der Regel für den Einsatz geostatistischer Methoden zu klein

Summary: Yield trials including check plots for wheat and oats were used to test the efficiency of adjustment by moving means Kriging unweighted moving averages and moving averages weighted by the distance were used The correlation to the yield of the next year could not be improved by adjustment No precise estimate of the systematic soil variation was possible Trials for breeding purpose are generally not large enough for efficient use of geostatistical methods

I EINLEITUNG

Für den Züchter stellt sich oft die Frage ob sich Ertragsprüfungen in frühen Generationen schon lohnen Zum einem soll das Material auf diese wirtschaftlich wichtige Eigenschaft hin möglichst früh selektiert werden zum anderen sind Ertragsfeststellungen aus den verschiedensten Gründen sehr unsicher Wegen der hohen Versuchsfehler sind aufwendige Versuche in Parzellen ausreichender Größe mit mehreren Wiederholungen und in mehreren Umwelten (Orte Jahre) erforderlich Bei Feldversuchen kommt das zusätzliche Problem hinzu daß ein Versuchsfeld nicht den Idealvorstellungen entspricht Besonders mangelnde Einheitlichkeit auf kleinem Raum führt zu einer Vergrößerung des Versuchsfehlers Damit ist die Gefahr verbunden daß die Erträge der Prüfglieder mehr oder weniger falsch eingeschätzt werden Einer Vergrößerung des Prüfumfangs stehen aber die oft nicht ausreichende Saatgutmenge in frühen Generationen Kapazitätsgrenzen für den Betrieb und ökonomische Überlegungen entgegen

Eine sinnvolle Planung von Feldversuchen ist darauf ausgerichtet unter gegebenen Restriktionen (Versuchsfläche Prüfgliedzahl verfügbares Saatgut bzw Pflanzenmaterial) eine optimale Aussage zu ermöglichen Auch die leichtere Durchführbarkeit und Robustheit von Versuchen gegenüber nicht eingeplanten Vorkommnissen sind wichtige

Gesichtspunkte Bei Versuchen mit Zuchtmaterial in frühen Generationen ist es dabei nicht möglich Wiederholungen durchzuführen Um trotzdem die Bodenvariation teilweise erfassen und eliminieren zu können gibt es verschiedene Wege Eine zusammenfassende Darstellung hierzu wurde von Kempton (1984) gegeben Die wichtigsten Techniken zur Adjustierung von Parzellenwerten sind:

1 Einfügung von Standardparzellen
Die Bodenvariation wird aus den Standardparzellen geschätzt Für die dazwischenliegenden Parzellen lassen sich Bodenwerte durch Ausgleichsverfahren (Interpolation Glättungsverfaheren) schätzen Diese werden für eine Korrektur benutzt Manchmal werden auch die Standardparzellen als Kovariate eingesetzt (Baker und McKenzie 1967 Mak et al 1978 Rosielle 1980)

2 Unterteilung des Versuchsfeldes in kleinere Einheiten
Durch die Unterteilung wird erreicht daß im Teilstück die Bodenvariation klein und damit vernachlässigbar ist Diese Methode ist als Gitterselektion (grid selection) bekannt und wird schon bei Gardner (1961) genannt Die Teilstückmittel dienen als Basis für die Korrektur der Parzellenwerte Nachteilig ist daß die Teilstückmittel von den im Teilstück liegenden Prüfgliedern abhängen Außerdem ist zu erwarten daß die Korrektur für die mittleren Parzellen der Teilstücke besser ist als für die Randparzellen

3 Gleitmittelverfahren
Dieses Verfahren arbeitet ähnlich wie die Gitterselektion Bei den Gleitmittelverfahren wird für jede Parzelle das Teilstück so bestimmt daß die Parzelle in der Mitte liegt Probleme treten bei Randparzellen auf

Die Güte verschiedener Verfahren ist theoretisch und in Simulationsstudien getestet worden z B von Schutz und Cockerham (1966) Bos (1983) Stam (1983) Lin und Poushinsky (1983) Kempton (1984) und Weber und Stam (1988) Bei experimentellen Studien mit Wiederholungen kann ein Vergleich über die Veränderung der Varianzkomponenten erfolgen (Mak et al 1978)

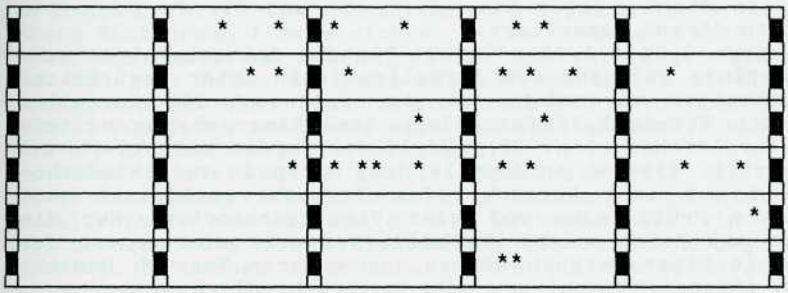
Im folgenden sollen Ergebnisse verschiedener Verfahren an Versuchen zu Weizen und Hafer untersucht werden Dabei beschränkt sich die Ausführung auf den Ertrag der einen großen aufweist Die Verfahren werden dabei anhand der Ergebnisse des nächsten Jahres bewertet

II MATERIAL und METHODEN

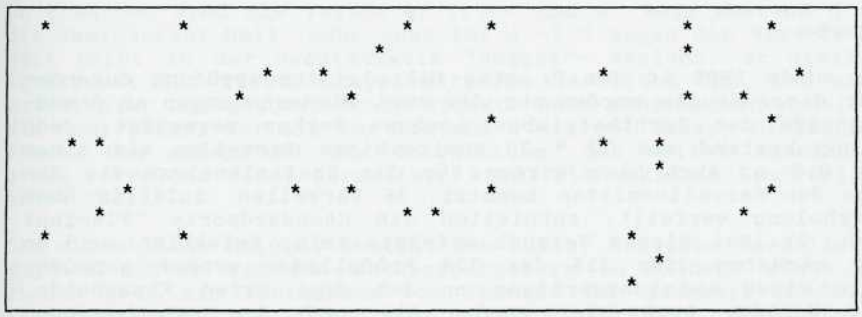
Die Daten zu Weizen stammen aus dem Zuchtbetrieb Fr Strube Schöningen und zu Hafer aus einen DFG- Projekt zur rekurrenten Selektion beim Selbstbefruchter Hafer [1]

---

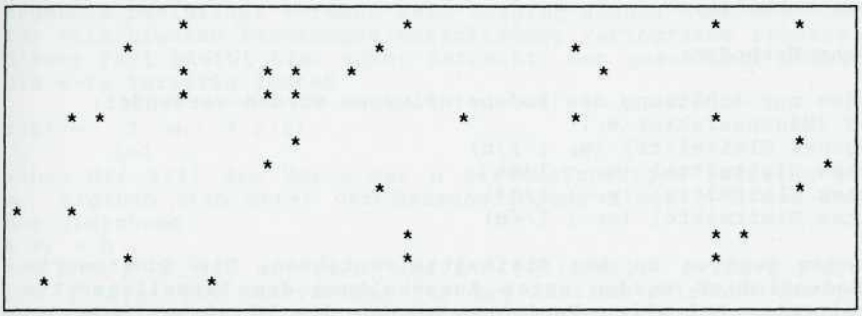
[1] Für die Überlassung der Daten danken wir Herrn Dr B Peters Fa Strube und Herrn Dipl Ing agr M Vanselow Hannover



* = weitergeführte Prüfglieder ▇ = Standardparzellen (Ares)
Abb 1: Versuchsfeld bei Weizen



1 Wiederholung



2 Wiederholung
* = Standardparzellen (Flämings Vita)
Abb 2: Versuchsfeld bei Hafer

Weizenversuche

Bei Weizen wurde 1987 in Schöningen ein sogenanntes Standardraster benutzt (Abb 1) Es bestand aus sechs Reihen zu je 51 Parzellen In

jeder Reihe wurde die 1 11 21 31 41 und 51 Parzelle für die Standardsorte "Ares" reserviert
Die Parzellen waren 3 60 * 1 25 m² groß Für die Spatialanalyse wurden nur die Abstände zwischen den Parzellenmitten unter Berücksichtigung der Wegbreiten verwendet Von den insgesamt 306 Parzellen entfielen auf den Standard 36 Parzellen dazu kamen einige weitere Parzellen für Vergleichssorten 27 Prüfglieder wurden selektiert und 1988 erneut geprüft diesmal an jeweils drei Orten in zwei Wiederholungen verteilt auf zwei Versuche Die Versuche enthielten auch zahlreiche andere Prüfglieder und vier Vergleichssorten Nur die Orte Schöningen und Kalme wurden in beide Versuche einbezogen der dritte Ort war in einem Versuch Warmse im anderen Versuch Hassel Da die Orte in ihrem Ertragsniveau sehr unterschiedlich waren wurden nur Relativwerte verrechnet Korreliert wurden die nach verschiedenen Methoden korrigierten Erträge von Schöningen 1987 mit den Erträgen im Folgejahr

Haferversuche

Bei Hafer wurde 1985 in der F_2 eine Mikroleistungsprüfung durchgeführt Für diese Studie wurden nur die zwei Wiederholungen am Standort Klausheide des Zuchtbetriebes Lochow- Petkus verwendet Jede Wiederholung bestand aus 12 * 30 zweireihigen Parzellen mit einer Länge von 0 5 m Auch hier wurden für die Spatialanalyse die Abstände von den Parzellenmitten benutzt 36 Parzellen zufällig über die Wiederholung verteilt enthielten die Standardsorte "Flämings Vita" (Abb 2) Bei diesem Versuch erfolgte keine Selektion und so wurden im nächsten Jahr 316 der 324 Prüfglieder erneut geprüft diesmal in einer Leistungsprüfung an den drei Orten Klausheide Ruthe und Wohlde Auch hier wurden die nach den verschiedenen Methoden korrigierten Erträge des Jahres 1985 mit den Erträgen des Folgejahres korreliert

Statistische Methoden

Als Methoden zur Schätzung des Bodeneinflusses wurden verwendet
1 Kriging (Wägungsfaktor w_1)
2 ungewogenes Gleitmittel (w_2 1/n)
3 gewogenes Gleitmittel (w_3 ; 1/d)
4 gewogenes Gleitmittel (w_4 $1/d^2$)
5 gewogenes Gleitmittel (w_5 $1/\sqrt{d}$)

Alle Methoden gehören zu den Gleitmittelverfahren Die Schätzwerte für den Bodeneinfluß wurden unter Ausschaltung des Parzellenwertes selbst ermittelt Bei allen Verfahren wurden die 16 nächstliegenden Parzellen einbezogen Die Methoden wurden zum einen auf alle Werte zum anderen nur auf die Standardparzellen angewandt Die 16 nächstliegenden Standardparzellen umfaßten ein wesentlich größeres Teilstück als die 16 nächsten Parzellen Dem Vorteil daß die Standardparzellen alle den gleich Genotyp haben steht der Nachteil der größeren und damit weniger einheitlichen Fläche gegenüber Bei allen Verfahren wurde der geschätzte Bodeneinfluß vom Parzellenwert abgezogen

Das Kriging- Verfahren stammt aus dem Bereich der Geostatistik Eine nähere Einführung findet sich z B bei Webster (1985) Es wird versucht systematische Bodeneinflüsse von zufälligen Fehlern zu trennen Man geht davon aus daß bei systematischen Effekten eine Autokorrelation besteht Diese Autokorrelation wird über das Variogramm erfaßt Für jeden Abstand d wird die Semivarianz γ nach der Formel

$$\gamma(d) = \Sigma (z(i)-z(i+d))^2 / (2 n(d))$$

geschätzt (siehe Abb 3 und 4) Dabei ist z(i) ein Parzellenwert z(i+d) ein anderer Parzellenwert im Abstand d und n(d) die Zahl der Parzellenpaare mit Abstand d Als nächstes wird ein geeignetes Modell gesucht das die Semivarianzen als Funktion des Abstandes beschreibt In dieser Untersuchung wird nur das sphärische Modell benutzt Dabei ist

$$\gamma(d) = C_0 + C * (1 5 * d/a - 0 5 * (d/a)^3) \; ; \; 0 < d < a$$

$$\gamma(d) = C_0 + C \; ; \; d < a$$

$$\gamma(0) = 0$$

Zu schätzen sind die Parameter C_0 C und a Beim Abstand d = 0 ist die Semivarianz Null geht aber für d -> 0 gegen den Wert C_0 Dieser Wert heißt in der Geostatistik "Nugget"- Varianz er stellt einen Schätzwert für die nichtsystematische Variation dar Das sind Versuchsfehler und genotypischer Effekt Beim sphärischen Modell steigt die Semivarianz nur bis zum Abstand d = a an danach bleibt sie konstant Das entspricht der Beobachtung daß weiter auseinanderliegende Parzellen nicht korreliert sind Die maximale Semivarianz C_0+C heißt "Sill"

Das eigentliche Kriging besteht nun darin für eine Parzelle ein gewogenes Mittel aus den Nachbarparzellen zu bilden wobei die Gewichte über das Variogramm vom Abstand der Nachbarn abhängen Das Variogramm wird aus dem ganzen Versuch geschätzt Über die Auswahl des Modelles das an das Variogramm angepaßt wird kann das Kriging-Ergebnis beeinflußt werden Beim Kriging können auch bei Anisotropie für verschiedene Richtungen verschiedene Variogramme benutzt werden dieser Fall bleibt hier außer betracht Der geschätzte Bodenwert für die k-te Parzelle lautet

$$z(k) = \sum_{i=1}^{n} w_{1i} * z(i)$$

wobei die z(i) die Werte der n berücksichtitgen Nachbarn sind Die w_{1i} ergeben sich unter der Nebenbedingung $\Sigma w_{1i} = 1$ aus der Lösung der Gleichung

$$\mathbf{A}\, \mathbf{w_1} = \mathbf{b}$$

mit $\mathbf{A} = [\gamma(i\ j)]$ $\mathbf{w_1} = [w_{1i}]$ und $\mathbf{b} = [\gamma(i\ k)]$ i=1 n ; j=1 n Dabei ist $\gamma(i\ j)$ die Semivarianz für den Abstand zwischen der i-ten und der j-ten Parzelle Aus der Nebenbedingung ist zu ersehen daß z(k) aus den Nachbarpunkten erwartungstreu geschätzt wird Bei den vier anderen Methoden sind die Gewichte einfacher zu bestimmen:

$$w_{2i} = 1/n$$

$$w_{3i} = (1/d(ik)) / \Sigma (1/d)$$

$$w_{4i} = (1/d(ik)^2) / \Sigma (1/d^2)$$

$$w_{5i} = (1/\sqrt{d(ik)}) / \Sigma (1/\sqrt{d})$$

Dabei ist d(ik) der Abstand der i-ten Parzelle von der k-ten Parzelle Die Nenner dienen dazu die Summe der Gewichte auf 1 zu bringen

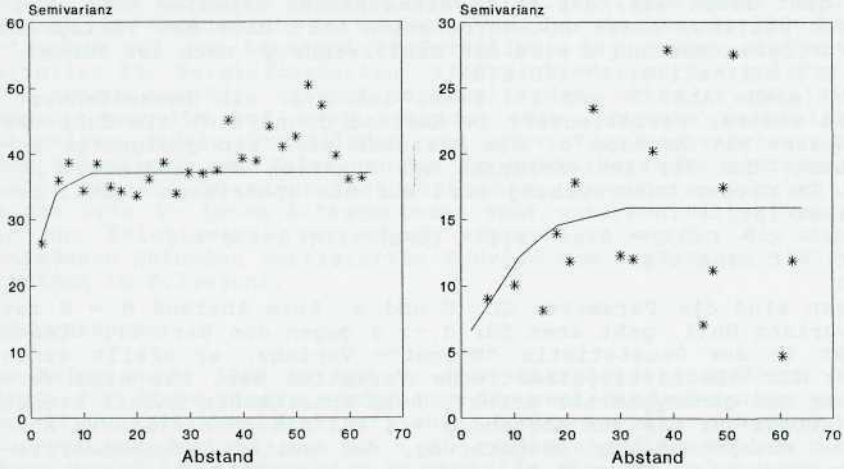


Abb. 3: Weizen a) alle Werte b Standardparzellen

Tab 1: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Ertrag 1987 korrigierten Werten und den Erträgen 1988 bei Weizen

	Erträge				
Methode	Schöningen 1987	Schöningen 1988	Kalme 1988	Warmse/Ha 1988	Durchschnitt 1988
0=Kontr	1 000	0 534	0 612	0 290	0 644
1	0 961	0 578	0 574	0 269	0 634
2	0 961	0 550	0 587	0 243	0 618
3	0 937	0 585	0 567	0 276	0 638
4	0 846	0 506	0 408	0 313	0 548
5	0 954	0 577	0 593	0 254	0 637
1 S	0 962	0 573	0 661	0 323	0 697
2 S	0 998	0 546	0 616	0 297	0 654
3 S	0 985	0 577	0 668	0 315	0 698
4 S	0 950	0 558	0 676	0 344	0 707
5 S	0 944	0 561	0 640	0 302	0 673

Methoden
0= Kontrolle= Ertrag 1987 1 = Kriging; 2 = ungewogenes Gleitmittel
3 = gewog Gleitmittel w3 = 1/d; 4 = gewog Gleitmittel w4 = $1/d^2$
5 = gewog Gleitmittel w5 = $1/\sqrt{d}$
1 2 3 4 5: alle Werte; 1S 2S 3S 4S 5S: nur Standardparzellen

III ERGEBNISSE

Weizen

Für das Kriging- Verfahren wurde zunächst das Variogramm ermittelt (Abb 3) Aus dem Variogramm für die Standardparzellen läßt sich kaum eine systematische Bodenvariation herleiten Bei beiden Variogrammen streuen die Punkte stark Die Abbildung zeigt auch die für das Kriging benutzte Modellfunktion

Tab 1 enthält die Korrelationskoeffizienten zwischen den korrigierten Werten des Ertrages 1987 den Ausgangswerten und den Erträgen des Folgejahres Wie schon aus dem Variogramm zu erwarten war sind die Korrekturen nicht sehr stark und es besteht eine enge Korrelation zu den Ausgangswerten Alle Korrekturverfahren die nur auf den Standardparzellen beruhten brachten eine Verbesserung der Korrelation zu allen Erträgen des Folgejahres Demgegenüber brachten die Korrekturverfahren unter Einbeziehung aller Werte keine Verbesserung Es zeigt sich bei Weizen auch daß zwischen den verschiedenen Methoden der Korrektur keine großen Unterschiede bestehen

Hafer

Die Variogramme zeigt Abb 4 Hier sind für jede Wiederholung eigene Variogramme errechnet worden aber nur für die erste Wiederholung dargestellt Die Variogramme lassen keinen systematischen Bodeneinfluß erkennen Das geht auch aus den Ergebnissen zur Korrelationsrechnung hervor (Tab 2)

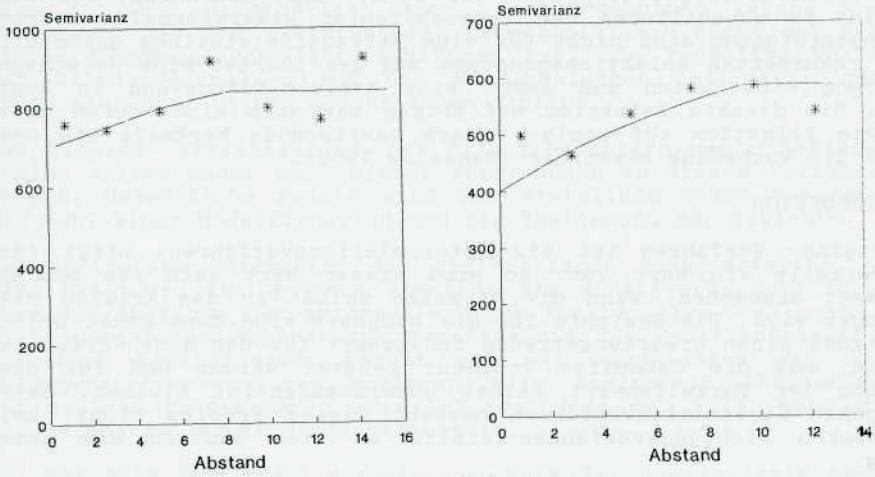


Abb. 4: Hafer 1 a) alle Werte b) Standardparzellen

Tab 2 Korrelationskoeffizienten zwischen dem Ertrag 1985 in Klausheide und den Erträgen 1986 bei Hafer

Methode	Erträge				
	Klausheide 1985	Klausheide 1986	Ruthe 1986	Wohlde 1986	Durchschnitt 1986
0=Kontr	1 000	0 006	0 122	0 023	0 099
1	0 935	0 010	0 115	0 044	0 102
2	0 937	0 012	0 115	0 044	0 103
3	0 925	-0 004	0 109	0 039	0 089
4	0 888	-0 023	0 096	0 035	0 069
5	0 935	0 005	0 113	0 041	0 097
1 S	0 935	0 011	0 114	0 032	0 096
2 S	0 969	0 003	0 119	0 019	0 092
3 S	0 944	0 004	0 111	0 025	0 088
4 S	0 886	-0 008	0 099	0 026	0 072
5 S	0 963	0 005	0 117	0 022	0 092

Methoden siehe Tab 1

Die korrigierten Erträge sind eng mit den Ausgangswerten korreliert auch beim Hafer hat die Korrektur keinen großen Effekt Für den Züchter nicht überraschend sind die sehr niedrigen Korrelationskoeffizienten zunm Folgejahr Sie lassen sich auch durch keines der Korrekturverfahren verbessern Dies ist darauf zurückzuführen daß die Variation im wesentlichen den Versuchsfehler widerspiegelt Mikroleistungsprüfungen sind nicht für eine Ertragsfeststellung geeignet und im rekurrenten Selektionsprogramm muß der Züchter eine Zwischenvermehrung einschalten und damit eine Zyklusverlängerung in Kauf nehmen Die direkte Selektion auf Ertrag war auch nicht durch eine indirekte Selektion auf weniger stark variierende Merkmale wie das TKG und die Wuchshöhe ersetzbar (Vanselow 1990)

IV DISKUSSION

Das Kriging- Verfahren ist ein Interpolationsverfahren Liegt für eine Parzelle ein Wert vor so wird dieser Wert auch als bester Schätzwert angesehen wenn die Parzelle selbst in das Kriging mit einbezogen wird Die Gewichte für die Nachbarn sind dann exakt Null Um trotzdem einen erwartungstreuen Schätzwert für den Bodeneffekt zu erhalten muß die Jacknife- Prozedur benutzt werden und für die Schätzung der Parzellenwert selbst unberücksichtigt bleiben Beim ungewogenen Gleitmittelverfahren besteht dieses Problem nicht bei den anderen Wichtungsverfahren stellt es sich ähnlich wie beim Kriging

In der Pflanzenzüchtung liegen für die Parzellen die man vom Bodeneinfluß bereinigen will Beobachtungswerte vor Es ist also ein Korrekturverfahren erwünscht bei dem die Gewichte für die Nachbarpar-

zellen insgesamt klein werden wenn fast kein Einfluß vorliegt Das Kriging- Verfahren kann das nicht leisten In der Pflanzenzüchtung kann in diesem Fall ein Index benutzt werden (siehe Weber und Stam 1988) Beim Index ist die Erwartungstreue nicht gegeben Das ist jedoch unter züchterischen Gesichtspunkten unerheblich da die Korrelation zum Ergebnis des Folgejahres maximiert werden soll

Häufig werden bei der Korrektur nur die Standardparzellen herangezogen Wenn man davon ausgehen kann daß die Reaktion der Standardsorte auf Bodenunterschiede mit der Reaktion der übrigen Prüfglieder vergleichbar ist dann erlauben die Standardparzellen die Erfassung der Bodenunterschiede ohne Vermengung mit genotypischen Unterschieden Für diesen Fall ist das Kriging eine geeignete Methode da es die Berücksichtigung aller Standardparzellen im Versuch ermöglicht wobei aber die näherliegenden Parzellen ein wesentlich größeres Gewicht erhalten

Der Weizenversuch ließ erkennen daß eine Korrektur auf der Basis der Standardparzellen sinnvoll ist Das ungewogene Gleitmittelverfahren schnitt etwas schlechter ab Das liegt hier vor allem daran daß von den insgesamt 36 Standardparzellen jeweils 16 benutzt wurden die Korrektur also wenig effizient sein konnte Der Züchter benutzt üblicherweise nur eine oder zwei Standardparzellen Es ist zu erwarten daß das Ergebnis dann ähnlich wie bei den anderen Verfahren ausgefallen wäre

Beim Hafer ließ sich durch keines der Korrekturverfahren eine Verbesserung erzielen obwohl sie wegen der extrem niedrigen Korrelation dringend erforderlich wäre Die Ergebnisse lassen nur den Schluß zu daß die Fehlervarianz im wesentlichen nicht auf systematische Bodeneinflüsse zurückzuführen ist Die zufällige Verteilung der Standardparzellen auf die Wiederholungen ist nicht günstig hatte hier aber keinen wesentlichen Einfluß

Das Kriging- Verfahren ist bei Pflanzenzüchtern wenig bekannt Zum Schluß sollen daher noch einige Anmerkungen zu diesem Verfahren erfolgen Wesentliche Punkte sind die Erstellung eines Variogrammes die Wahl einer Modellfunktion und die Bestimmung der Gewichte

Das Variogramm beschreibt die systematische Bodenvariation Jedoch sind besonders für größere Abstände die Schätzwerte sehr unsicher da diese Abstände nur zwischen wenigen Punktepaaren vorliegen Damit diese unsicheren Schätzwerte das Ergebnis der Modellanpassung nicht zu stark beeinflussen werden sie oft weggelassen In normalen Pflanzenzüchterversuchen basieren alle Semivarianzschätzungen nur auf wenigen Punktepaaren Das ist besonders der Fall wenn nur die Standardparzellen herangezogen werden

Bei der Wahl der Modellfunktion wird in der Geostatistik empirisch vorgegangen da die genaue Bodenvariation ja nicht bekannt ist Zwar unterscheiden sich die einzelnen Ansätze das dürfte jedoch auf das Kriging- Ergebnis nur wenig Einfluß haben da viele Punkte in die Interpolation eingehen Die Kriging- Interpolation kann nur etwas

bringen wenn die Semivarianz in der unmittelbaren Umgebung der Parzelle deutlich kleiner ist als in größerer Entfernung

Die Kriging- Interpolation ist im Vergleich zu anderen Verfahren rechenaufwendig da für jedes Nachbarschaftsmuster eine eigene Matrixinversion erforderlich ist Da der Rang der Matrix von der Zahl der Nachbarpunkte abhängt ist man bestrebt diese Zahl zu begrenzen Im vorliegenden Fall sind wir mit n = 16 der allgemeinen Empfehlung gefolgt Die Ergebnisse zu Weizen und Hafer zeigen daß hier der erhöhte Rechenaufwand für das Kriging im Vergleich zu anderen Gleitmittelverfahren nicht gerechtfertigt war

Literatur

Baker R J and R I H McKenzie 1967: Use of control plots in yield trials Crop Sci 7 335-337
Bos I 1983 About the efficiency of grid selection Euphytica 32 885-893
Gardner C O 1961 An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield on corn Crop Sci 1 241-245
Kempton R A 1984 The design and analysis of unreplicated field trials Vortr Pflanzenzüchtg 7 219-242
Lin C S and G Poushinsky 1983: A modified augmented design for an early stage of plant selection involving a large number of test lines without replication Biometrics 39 553-561
Mak C B L Harvey and J D Berdahl 1978: An evaluation of control and moving means for error control in barley nurseries Crop Sci 18 870-873
Rosielle A A 1980: Comparison of lattice designs check plots and moving means in wheat breeding trials Euphytica 29 129-133
Schutz W M and C C Cockerham 1966 The effect of field blocking on gain from selection Biometrics 22 843-863
Stam P 1983: Estimation of genotypic values without replications in field trials Euphytica 33 841-852
Vanselow M 1990: Computersimulationen zur Effizienz rekurrenter Selektion bei Selbstbefruchtern und experimentelle Ergebnisse aus einem Selektionszyklus bei Hafer Diss Univ Hannover
Weber W E and P Stam 1988: On the optimum grid size in field experiments without replications Euphytica 39 237-247
Webster R 1985: Quantitative spatial analysis of soil in the field Adv Soil Sci 3, 1-70