

# **Analysen zur Anwendung der ‚Hohenheim - Gülzower - Serienauswertung‘ im regionalisierten Sortenversuchswesen in Mecklenburg - Vorpommern**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum agriculturarum  
(Dr. rer. agr.)

eingereicht an der  
Lebenswissenschaftlichen Fakultät  
der Humboldt-Universität zu Berlin

von  
**Dipl. Ing. agr. Volker Michel**  
geboren am 13. April 1963 in Rostock

...

## **Einführung**

In den letzten drei Jahrzehnten war bei den meisten landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten ein zwar von Ertragsschwankungen begleiteter, aber doch anhaltender Ertragsfortschritt zu verzeichnen, der überwiegend in einem bislang nicht abgeschwächten Züchtungsfortschritt begründet ist (Laidig et al., 2014). Nach der züchterischen Selektionsphase und dem Sortenzulassungsverfahren beim Bundesortenamt schließt sich eine Phase der Sortenprüfung mit dem Ziel der regionalen Einschätzung von zugelassenen, vertriebsfähigen Sorten für die landwirtschaftliche Praxis an. Diese Regionalprüfung erfolgt in Deutschland durch die Länderdienststellen für das Sortenversuchswesen (LDS) im Wesentlichen auf der Basis von Landessortenversuchen sowie vorgelagerter Wertprüfungen und EU-Sortenversuche. Basis der Bewertung ist die Gesamtheit der wertbestimmenden Eigenschaften der Sorten unter regionalem Aspekt. Große Bedeutung kommt dabei der frühzeitigen, möglichst schätzgenauen, gut reproduzierbaren Auswertung jeder einzelnen wertbestimmenden Eigenschaft zu. Während in der Züchtungsphase Selektion und damit aus biometrischer Sicht die Bestimmung von Rangfolgen im Vordergrund steht,

kommt es in der Regionalprüfung von Sorten, die sich mit der Zulassung bereits als Teil der leistungsfähigsten Spitze erwiesen haben, weniger auf Rangfolgen als auf die präzise Schätzung der Differenzen zwischen Sorten an. Unter Einbeziehung aller meist univariat ausgewerteten Merkmale können auf dieser Basis nicht nur Gesamtbewertungen erarbeitet werden, sondern darüber hinaus auch sortenspezifische Hinweise zur Einordnung einer Sorte in konkrete Anbausituationen (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Saatzeit, Standortbesonderheiten u.v.m.).

Aufgrund der begrenzten, tendenziell gesunkenen Kapazitäten auf regionaler Ebene und der gleichzeitigen Forderung nach schneller Überleitung des Züchtungsfortschrittes in die Praxis gilt es dabei, die potenzielle Datenbasis voll auszuschöpfen. Probleme bereitet hierbei die dem integrierten Sortenprüfsystem immanente stark ausgeprägte Unbalanciertheit / Lückigkeit der Daten. Um Sortenunterschiede trotzdem mit möglichst geringem Fehler zu schätzen, sind der Komplexität der Datenstruktur und den Sorte  $\times$  Umwelt - Interaktionen angemessene Auswertungsmodelle erforderlich. Hier haben sich gegenüber einem Stand der Versuchsserienauswertung, wie ihn z.B. Bätz (1984) beschreibt, erhebliche methodische Innovationen aufgetan, die der Problematik entgegenkommen.

Allerdings haben diese Neuerungen bislang kaum Einzug in die Praxis des angewandten Versuchswesens vieler Länderdienststellen gehalten. Die hergebrachte regionale Ertragsauswertung bezog i.d.R. nur Versuchsergebnisse der Landesortenversuche (LSV) der jeweiligen Länderdienststelle der letzten drei Jahre ein. Diese bislang übliche Beschränkung auf LSV, auf Sortenvergleiche innerhalb immer nur genau eines LSV-Jahrganges (also innerhalb vollständig orthogonal besetzter Datenstrukturen) sowie auf eine Regelprüfzeit von drei Jahren ermöglicht zwar eine traditionelle Versuchsserienauswertung mit orthogonaler Datenstruktur, wie sie bereits Mudra (1952) beschreibt, lässt aber einen erheblichen Umfang an vorliegenden Daten ungenutzt und ist damit im Sinne der o.g. Zielstellung nicht prinzipiell begründbar (Piepho und Michel, 2001). Im Interesse der Frühzeitigkeit und Genauigkeit ist es sinnvoll, die Datenbasis weiter zu fassen und voll auszuschöpfen. Die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern hat dazu die Auswertung in folgender Weise verändert:

Seit 1998:

In der Region angelegte, den Landessortenversuchen zeitlich vorgelagerte amtliche Sortenprüfungen (Wertprüfungen, EU-Sortenversuche, Orientierungsversuche u.a.) wurden einbezogen. Dazu wurde auf ein Auswertungsmodell umgestellt, welches die Verrechnung unbalancierter Daten ermöglicht. Methodische Grundlage war zunächst die von Yates (1933) und Patterson (1997) vorgeschlagene sogenannte FITCON-Methode (method of fitting constants; s. Abschn. 3).

Seit 2000:

Das Auswertungsmodell wurde von FITCON auf gemischte Modelle umgestellt und der bis dahin verwendete Faktor *Umwelt* (dessen Stufen Einzelversuche kodieren) wurde untersetzt in die Faktoren *Jahr*, *Ort* und *Versuchstyp* an Ort  $\times$  Jahr - Kombinationen. Einerseits war dies die Voraussetzung für die Ermittlung geeigneterer Maßzahlen für die Schätz- bzw. Vorhersagegenauigkeit (für künftigen Anbau in neuem Jahr an neuem Ort). Insbesondere konnten dadurch aber auch Verzerrungen in der Mittelwertschätzung abgebaut werden, wenn Sorten in Jahren, Orten oder Versuchstypen erheblich ungleichmäßig besetzt waren. Zusätzlich wurde die Option der

Gewichtung von Mittelwerten aus Einzelversuchen mittels der Kehrwerte ihrer Fehlervarianzen eingeführt.

Seit 2004:

Die regionalbezogene Sortenempfehlung erfolgt für standortkundlich definierte pflanzenartsspezifische Anbaugebiete (nicht mehr für politisch definierte Gebiete wie Bundesland o.ä.). Die dafür erforderliche regionalisierte Versuchsauswertung basiert auf dem Konzept von Zielgebiet und gewichteter Einbeziehung von ähnlichen Nachbargebieten, wobei sich die Räume um unterschiedliche Zielgebiete überlappen können.

Diese Veränderungen mündeten in der *Hohenheim-Güzlower-Serienauswertung* (Michel et al., 2007a), die in der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) seit 2004 eingesetzt wird. Die Agrarministerkonferenz (2004) des Bundes und der Länder hat in ihrem *Beschluss zur Neuordnung des Sortenversuchswesens* die bundesweite Einführung der hier sogenannten *Hohenheimer Methodik* eingefordert. Mit dieser Methode können unter anderem folgende Besonderheiten des Sortenwesens berücksichtigt und adäquat verwertet werden:

Unbalanciertheit:

- a) Ergebnisse der den LSV vorgelagerten Versuche (insbesondere Wertprüfungen des Bundessortenamtes (WP) und EU-Sortenversuche (EUSV)) können in die Versuchsserienauswertung einbezogen werden, obgleich ihre Sortimente (gemeinsam in einem Versuch geprüfte Sorten) sehr stark von denen der Landessortenversuche abweichen.
- b) Trotz der bei langjährigen, aus einem Selektionsprozess gewonnenen Daten bestehenden großen Unbalanciertheit können viele (alle fachlich noch relevanten) Versuchsjahre einbezogen werden.
- c) Bei differenzierter Datenbesetzung erfolgt eine Gewichtung der unterschiedlich besetzten Faktorstufen. Die Gewichtungsabstufung erfolgt durch das verwendete gemischte Modell, sie basiert auf der Relation der Varianzkomponenten zueinander. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass z.B. bezüglich einer Sorte schwach besetzte Jahre (i.d.R. Wertprüfungsjahre) in die Gesamtauswertung ohne das Risiko einer Über- oder Untergewichtung einfließen können. Dieses Risiko einer Fehlgewichtung besteht in der verbreiteten Herangehensweise von Versuchsanstellern auch in den Länderdienststellen (LDS), welche die Mittelwertberechnung über eine Versuchsserie traditionell mit einfachen Methoden der Tabellenkalkulation ausführen. So erfolgt in diesen LDS häufig in einem ersten Schritt der Zusammenfassung von Versuchen die Bildung arithmetischer Sortenmittelwerte über die Versuche in einem Jahr zu einem ‚Jahresmittelwert‘ und im zweiten Schritt die Bildung arithmetischer Mittelwerte von Jahresmittelwerten zu einem zwei- oder dreijährigen Mittelwert. Dieser Algorithmus bedingt eine nur suboptimale Gewichtung von Versuchsergebnissen, wenn zwischen den Jahren die Anzahl einbezogener Versuche unterschiedlich ist.
- d) Die Gesamtauswertung erfordert keine absolut durchgängigen Verrechnungssorten oder orthogonalen Kerne.

### Regionalität:

Ergebnisse aus benachbarten Regionen im standortkundlichen Überlappungsbereich können mit objektiviert abgestuftem Gewicht in die Auswertungen für ein Zielgebiet einfließen. Wesentliche Einflussgrößen für die Gewichtung sind die genetische Korrelation zwischen den Anbaugebieten (basierend auf den Varianz-Kovarianz-Strukturen) sowie auch die differenzierte Datenbesetzung der Anbaugebiete.

### Differenzierte Versuchspräzision:

Unterschiedliche Fehlervarianzen der Mittelwerte in Einzelversuchen werden entsprechend den Vorschlägen von Möhring und Piepho (2009) bei der Gewichtung in der Versuchsserienauswertung berücksichtigt. Auch diese Gewichtsabstufung erfolgt in Abhängigkeit von der Relation der Varianzkomponenten durch das verwendete gemischte Modell. Relevante Ursachen für unterschiedliche Standardfehler sind:

- unterschiedliche Restvarianz der Einzelversuche,
- unterschiedliche Wiederholungsanzahl in den Einzelversuchen,
- unterschiedliche Wiederholungsanzahl von Prüfgliedern innerhalb von Einzelversuchen,
- Prüfglieder mit unterschiedlicher Fehlervarianz im Einzelversuch aufgrund unvollständiger Blocks oder räumlicher Modelle.

### Verletzung der Modellvoraussetzungen / Nichtadditives Datenverhalten:

kann durch eine entsprechende Transformation der Daten berücksichtigt werden.

Die *Hohenheim-Gülzower-Serienauswertung* wurde in der Phase der Modellierung theoretisch hergeleitet und nur an wenigen Beispieldatensätzen getestet. Im Zuge der Einführung der hier vorgestellten Methoden wurden seitdem in der LFA für den *Großraum* diluvialer Standorte in Nordostdeutschland ausgesprochen große, langjährige Datenbestände für alle bearbeiteten landwirtschaftlichen Pflanzenarten und deren varianzanalytisch auswertbaren Merkmale zusammengeführt. Nach nunmehr mehrjähriger Einführung der *Hohenheim-Gülzower-Serienauswertung* und Umsetzung für das o.g. Regionalisierungskonzept sollen mit dieser Arbeit verallgemeinerungswürdige Erfahrungen und Ergebnisse abgeleitet werden. Die sekundäre Auswertung der Datensätze von insgesamt 34 Variablen lässt insbesondere Aussagen hinsichtlich der Bedeutung unterschiedlicher Variationsursachen, des Datenverhaltens (Transformationserfordernis) und der bestmöglichen Nutzung von Daten aus Nachbargebieten erwarten. Vergleichbar große Datenbestände für derartige Analysen liegen außerhalb des Sortenwesens (aus üblichen geplanten Versuchsserien im pflanzenbaulichen Versuchswesen) nicht vor.

Die Datenstrukturen sind kompliziert und müssen in enger Wechselbeziehung zu den Sorte  $\times$  Umwelt - Wechselwirkungen gesehen werden. Diese in integrierten Sortenprüfsystemen immanente Problematik hat die Entwicklung der *Hohenheim-Gülzower-Serienauswertung* motiviert und zunehmend erforderlich gemacht. Daher fällt die Beschreibung der Datenstrukturen und der systematischen Verflechtung zwischen den Klassifikationsfaktoren einerseits und der Lückigkeit andererseits in der vorliegenden Arbeit relativ umfangreich aus.

Unter den methodischen Grundlagen wurde das Auswertungsverfahren der *Hohenheim-Gülzower-Serienauswertung* und das Regionalisierungskonzept (Roß-

berg et al., 2007) in unmittelbarem Bezug zu dieser Arbeit unter Mitwirkung des Autors dieser Arbeit entwickelt. Daher werden auch diese Aspekte unter *Methoden* umfassend beschrieben.

## Zielstellung

Die in der Einleitung beschriebenen eingeführten Innovationen haben die beraterrelevante Datenbasis für die Auswertung von Sortenversuchen in Mecklenburg-Vorpommern erheblich erweitert. Dies geht aber einher mit einer z.T. extremen Zunahme der Unbalanciertheit der auszuwertenden Daten und mit einer großen Anzahl zu berücksichtigender Effekte in dem der Versuchsserienauswertung zugrunde liegenden mathematischen Modell.

Vor diesem Hintergrund dient diese Arbeit folgenden Aufgaben und Zielen:

- Schätzung (nicht Testung!) von Sortenunterschieden in einem Anbauggebiet unter Minimierung des Vorhersagefehlers von Sortendifferenzen als Grundlage für Sortenempfehlungen;
- die Schätzung des Vorhersagefehlers von Sortendifferenzen und -mittelwerten soll folgende Anforderungen beinhalten:
  - das Optimierungskriterium ist die Minimierung der mittleren Fehlervarianz der Vorhersage einer Differenz von Sortenmittelwerten (MSEP);
  - in diesen MSEP soll die Verzerrung einfließen, die sich aus der Einbeziehung von Nachbargebieten in die Schätzungen für ein Zielgebiet ergibt; die Minimierung des MSEP hat also Vorrang vor Erwartungstreue der geschätzten Mittelwertdifferenzen;
  - der je Sorte auszuweisende Vorhersagefehler des *Mittelwertes* soll sich - vor dem Hintergrund der Unbalanciertheit - aus dem Vorhersagefehler der Differenz zu einer Sorte mit identischer Varianz-Kovarianz-Matrix berechnen; der Vorhersagefehler des Mittelwertes soll unabhängig vom Wertelevel konkreter Umwelten sein, es sollen also keine reinen, nicht mit dem Faktor Sorte gekreuzten Umwelteffekte einfließen;
- dieses Herangehen entspricht dem Anspruch der regionalen Sortenprüfung, den Landwirten Sorten für den *künftigen* Anbau auf *neuen* Schlägen im Anbauggebiet zu empfehlen;
- Erarbeitung verallgemeinerungsfähiger Aussagen für unterschiedliche landwirtschaftliche Pflanzenarten sowie unterschiedliche Merkmalstypen zu:
  - Einhaltung von Modellvoraussetzungen, Datenverhalten und Transformationsanfordernis;
  - Varianzkomponenten (insbesondere der Sorte  $\times$  Umwelt - Interaktionen);
  - genetischen Korrelationen zwischen benachbarten Anbaugebieten auf diluvialen Standorten im Nordosten Deutschlands;
- Einschätzung der Wirksamkeit der eingeleiteten Veränderungen hinsichtlich der Vorhersagegenauigkeit und Relevanz für die Sortenbewertung;
- Empfehlungen für den praktischen Einsatz der Auswertungsmethode unter Nutzung der Anwendersoftware PIAFStat und für die Regionalisierungsstrategien bei der Auswertung.