

Janna Macholdt¹, Gert Barthelmes², Frank Ellmer¹, Michael Baumecker³

Zur Ökostabilität von Winterweizensorten unter Standortbedingungen Brandenburgs

Yield stability of winter wheat grown in Brandenburg

411

Zusammenfassung

Im Mittelpunkt der Untersuchung von Winterweizensorten unter Standortbedingungen Brandenburgs stand die Fragestellung: Welche Sortenunterschiede bestehen hinsichtlich der Ökostabilität, der Leistungsfähigkeit und der Reaktion auf trockenere Witterungsbedingungen?

Dazu wurden auf Basis von mehrortigen und mehrjährigen Ergebnissen aus Sortenversuchen in Brandenburg und unter Nutzung biostatistischer Parameter verschiedene Weizensorten beurteilt. Die Bewertung zur Ökostabilität und Leistungsfähigkeit umfasste neben der deskriptiven Statistik die Parameter Ökovalenz, lineare Regressionsanalyse und Floating Checks. Weiterhin wurden verschiedene Einflussgrößen auf die Ertragsvariabilität im Rahmen einer Varianzkomponentenanalyse berechnet und die Sortenreaktion auf unterschiedliche Witterungsbedingungen anhand der klimatischen Wasserbilanz geprüft.

Die Auswertung der Sortenversuche zeigte, dass die Umwelt (Ort × Jahr) den stärksten Einfluss auf die Ertragsvariabilität hatte. Im Vergleich dazu war der Sorteneinfluss deutlich geringer. Dennoch wiesen die Sorten deutliche Unterschiede hinsichtlich der Leistungsfähigkeit, Ökostabilität und der Reaktion unter differenzierten Umweltbedingungen auf.

Die Ergebnisse sind für die Sortenprüfung und -bewertung, die Züchtung und die landwirtschaftliche Praxis gleichermaßen bedeutsam. Sie liefern Informationen zu den umweltabhängig variierenden Eigenschaften der Sorten und bieten Unterstützung für die standortgerechte

Sortenempfehlung sowie bestmögliche Sortenwahl durch die Entwicklung eines Bewertungsschemas.

Stichwörter: Ökostabilität, Ökovalenz, Floating Checks, Lineare Regression, klimatische Wasserbilanz

Abstract

This study of winter wheat varieties grown under environmental conditions in the Brandenburg region focuses on the following question: How do winter wheat varieties differ in terms of yield stability, yield capacity and response to dry weather conditions?

To answer this question, we drew on the results from variety trials carried out over a period of several years and at several different locations in the German Federal State of Brandenburg and analysed different varieties of winter wheat according to the following bio-statistical parameters: ecovalence, linear regression and floating checks. We then estimated different factors affecting yield variability and analysed the response of varieties to different weather conditions according to the climatic water balance.

The study showed that environmental factors had the greatest influence on yield variability, whilst variety had a significantly smaller effect. Nevertheless, there were considerable differences between varieties with regard to yield capacity, yield stability and response to environmental conditions.

The results are equally important for variety testing and evaluation and plant breeding as well as for agri-

Institut

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Berlin¹
Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Güterfelde²
Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Lehr- und Forschungsstation Bereich Freiland, Thyrow³

Kontaktanschrift

Janna Macholdt, An der Enckekaserne 122, 39110 Magdeburg, E-Mail: jsayer@gmx.net

Zur Veröffentlichung angenommen

8. September 2013

cultural practice. They provide information about the variable, environment-dependent traits of varieties and through the development of an evaluation scheme, can help breeders to select optimum varieties and make recommendations of suitable site-adapted varieties to farmers.

Key words: Yield stability, ecovalence, floating checks, linear regression, climatic water balance

Einleitung

Winterweizen nimmt mit 144 500 ha in Brandenburg nach Winterroggen den zweiten Rang in der Getreideanbaufläche ein (AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2012). Für Brandenburg sind Standorte mit geringen Ackerzahlen (AZ < 35) und Jahresniederschlagsmengen zwischen 450 und 600 mm charakteristisch. Auf derartigen Weizengrenzstandorten schwankt die Anbaufläche je nach Erzeugerpreis stärker. In Gebieten mit besserer Bodengüte (Oderbruch, Uckermark, Nauener Platte, Prignitz) ist der Anbauumfang von Weizen relativ stabil. Aufgrund der Standort- und Marktbedingungen dominieren im Anbau die A-Sorten mit einem Anteil von ca. 45 bis > 50% (BARTHELMES, 2012). Ein hoher Stellenwert kommt aber auch den E-Sorten vor allem auf den besseren Böden im Oderbruch und in der Uckermark zu. Sie erreichen in Brandenburg einen Anbauanteil von ca. 20 bis 25% (BARTHELMES, 2012). Die qualitativ schwächeren B-Sorten und Futterweizen können dagegen unter den wasserlimitierten Bedingungen ihr höheres Ertragspotential häufig nicht ausschöpfen und haben daher nur untergeordnete Bedeutung.

Das Ertragspotential von Winterweizen wird in Brandenburg einerseits durch den hohen Anteil vergleichsweise leichter Böden, andererseits auch auf typischen Weizenstandorten durch regelmäßige Trockenperioden limitiert. Im Hinblick auf den Klimawandel ist zu erwarten, dass die Variabilität der Erträge zwischen den Jahren deutlich zunehmen wird (EITZINGER et al., 2009). Aus diesem Grund rückt unter den Standortbedingungen in Brandenburg die Frage nach möglichst stabilen Ertragsleistungen zunehmend in den Vordergrund. Als zentraler Aspekt bei der Sortenwahl wird daher, neben der absoluten Ertragsfähigkeit, vor allem die Ökostabilität von Sorten an Bedeutung gewinnen.

Zur Bewertung der Ökostabilität wird in der Literatur zwischen dem statischen und dem dynamischen Konzept unterschieden, die von BECKER und LEON (1988) wie folgt beschrieben werden: Nach dem statischen Konzept wird eine Sorte als stabil betrachtet, wenn diese unter allen Anbaubedingungen konstante Leistungen aufweist. Dieses Konzept kommt beispielsweise bei Qualitäts- und Resistenzmerkmalen zur Anwendung. Das dynamische Konzept wird dagegen bei Ertragsmerkmalen vorgezogen. Hier ist eine Sorte stabil, wenn ihre Leistung dem Ertragspotential der Umweltbedingungen entspricht bzw. wenn sie unter allen Anbaubedingungen eine möglichst

gleiche Abweichung zu den jeweiligen Umweltmittelwerten zeigt. Die Umweltmittelwerte werden jeweils als Durchschnitt aller Sortenleistungen in einer bestimmten Umwelt berechnet und als Maß für die Produktivität dieser Umwelt angesehen. Die Einschätzung der Ökostabilität einer Sorte spiegelt sich beim dynamischen Konzept im Ausmaß der Sorte-Umwelt-Wechselwirkungen wieder, wobei geringe Wechselwirkungseffekte auf eine stabilere Sortenleistung hinweisen können (THOMAS, 2006). Zur quantitativen Bewertung der Ökostabilität werden in der Literatur verschiedene biometrische Verfahren zur Analyse der Sorte-Umwelt-Wechselwirkungen beschrieben, wie beispielsweise von BECKER und LEON (1988), CROSSA et al. (1991), EBERHART und RUSSELL (1966), HILL et al. (1998), HÜHN (1996), KANG (1998), WRICKE (1962) und ZOBEL et al. (1988).

In dieser Studie wurde die Ökostabilität, nach dem dynamischen Konzept, und die Leistungsfähigkeit anhand folgender Verfahren bewertet: Ökovalenz, lineare Regression und Floating Checks. Weiterhin wurden verschiedene Einflussgrößen auf die Ertragsvariabilität im Rahmen einer Varianzkomponentenanalyse berechnet und die Sortenreaktion auf unterschiedliche Witterungsbedingungen anhand der klimatischen Wasserbilanz geprüft. Die Untersuchungen sollten klären, ob es unter Brandenburger Standortbedingungen Weizensorten gibt, die neben einer guten Ertragsfähigkeit auch eine bessere Ökostabilität, vor allem auch unter trockenen Witterungsbedingungen, aufweisen. Die Auswertung bezieht sich auf experimentelle Daten der Landessortenversuche in Brandenburg vom Zeitraum 2003 bis 2011 sowie auf Daten aus Sortenversuchen der Jahre 2003 bis 2011 am Versuchsstandort Thyrow der Humboldt-Universität zu Berlin. Durch die übergreifende retrospektive Auswertung wird neues Wissen zur Ökostabilität und Leistungsfähigkeit von Winterweizensorten generiert. Die Ergebnisse stellen somit eine Ergänzung zur bestehenden Sortenbewertung dar und können die praktische Sortenwahl unter den entsprechenden Standortbedingungen in Brandenburg unterstützen.

Material und Methoden

Datengrundlage A: Landessortenversuche Brandenburg

Als Datengrundlage dienten die Landessortenversuche (LSV) aus Brandenburg, welche jährlich vom Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg durchgeführt wurden. In die Auswertung wurden die Ergebnisse von Winterweizen (Zeitraum 2003 bis 2011) und die Witterungsdaten des Prüfstandortes Nuhnen (2003 bis 2009) einbezogen. Eine Kurzcharakteristik der entsprechenden Prüfstationen ist in Tab. 1 aufgeführt. Die LSV wurden als zweifaktorielle Spaltanlagen (Haupteinheit: Sorte, Untereinheit: Pflanzenschutzintensität) mit zweifacher Wiederholung je Prüfglied angelegt. Für die Untersuchungen wurden folgende Prüfmerkmale herangezogen: Bestandesdichte (ährentragende Halme m⁻²), Kornzahl je Ähre, Tausendkorn-

Tab. 1. Kurzcharakteristik der in die Auswertung einbezogenen Prüfstationen

Brief profile of the test stations included in the evaluation

Standorte	GPS Koordinaten [°]		mittlere Ackerzahl	Bodenart	Niederschlags- höhe* [mm]	Lufttemperatur* [°C]
	Breite	Länge				
Badingen	53,008431	13,241007	40	IS	517	8,3
Baruth	51,244725	14,596438	32	IS	626	8,6
Berge	52,621757	12,787986	40	SI	553	10,0
Dürrenhofe	52,009348	13,944726	30	SI	541	8,5
Güterfelde	52,372318	13,201445	35	IS	545	8,9
Kliestow	52,381572	14,513268	33	IS	546	8,4
Nuhnen	52,324901	14,476018	34	IS	535	8,6
Pessin	52,646475	12,66856	45	IS	521	9,8
Petkus	51,979382	13,359962	31	IS	531	8,2
Prenzlau	53,282535	13,901861	40	IS	453	8,9
Sonnewalde	51,710917	13,64167	35	IS	429	9,1
Thyrow	52,254236	13,236592	25	Su	495	8,9

Legende: * = langjähriges Mittel (1971 bis 2000)

Quelle: LVL (2007)

masse, Kornertrag und Rohproteingehalt (jeweils bei 86% TS). Die Auswertung für Winterweizen umfasste 33 A-, 12 B- und 4 C-Sorten (Tab. 2). Das verfügbare Datenmaterial von Eliteweizensorten war für eine Auswertung zu gering. Zur Berechnung der Leistungsfähigkeit und Ökostabilität wurden nur Sorten mit mindestens fünf Prüfumwelten (Standort × Jahr) in die Auswertung einbezogen.

Datengrundlage B: Sortenversuche auf Sandboden, Standort Thyrow

Die zweite Datengrundlage umfasste Sortenversuche auf Sandboden, welche am Standort Thyrow vom Bereich Freiland der Lehr- und Forschungsstation an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin durchgeführt wurden. Der Standort

Thyrow liegt südlich von Berlin (Teltow-Fläming-Kreis) auf ca. 44 m Höhe über NN. Bei Ackerzahlen zwischen 23 und 28 weist der Standort einen für die Region typischen schwach schluffigen Sandboden auf (Tab. 1). Das Versuchsdesign war eine zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit: Sorte, Untereinheit: Pflanzenschutzintensität) mit zweifacher Wiederholung je Prüfglied. Als Prüfmerkmal wurde hier nur der Kornertrag in dt ha⁻¹ bei 86% TS herangezogen. Die Auswertung basiert auf den Ertragsergebnissen aus den Jahren 2003 bis 2011. Die Datenbasis beinhaltet zehn A-Sorten, vier B-Sorten und eine C-Sorte (Tab. 3). Eine Auswertung der E-Weizensorten konnte auf Grund des zu geringen Prüfumfangs nicht vorgenommen werden. Für die Auswertung wurden nur Sorten mit einem Prüfumfang von mindestens vier Versuchsjahren herangezogen.

Tab. 2. Datengrundlage der Landessortenversuche Brandenburg für das Merkmal Kornertrag von Winterweizen (2003 bis 2011)

Data base from the Brandenburg regional variety trials for grain yield of winter wheat (2003 to 2011)

Qualitäts- gruppe	Sortenname	Anzahl Umwelten	Sorten- mittelwert [dt ha ⁻¹]	Floating Checks [%]	Ökovalenz [%]	Reaktions- parameter b	Stabilitäts- parameter s
A	Akratos	57	73,5	92,3	6,3	1,00	4,70
A	Batis	19	65,6	87,2	4,1	0,93	4,11
A	Boomer	20	64,0	90,8	3,4	1,01	2,33
A	Brilliant	56	73,5	90,6	5,2	0,93	3,62
A	Chevalier	43	75,4	91,2	6,0	0,94	4,48
A	Cubus	63	71,8	91,1	5,4	1,04	3,86

Tab. 2. Fortsetzung

Continue

Qualitäts- gruppe	Sortenname	Anzahl Umwelten	Sorten- mittelwert [dt ha ⁻¹]	Floating Checks [%]	Ökovalenz [%]	Reaktions- parameter b	Stabilitäts- parameter s
A	Discus	41	75,2	90,6	5,2	0,92	3,60
A	Ellvis	23	63,3	87,9	5,9	0,98	4,33
A	Format	13	72,2	87,7	5,0	0,89	3,59
A	Gaston	13	73,9	85,4	6,1	0,92	4,85
A	Gecko	13	75,4	91,6	6,2	0,94	5,47
A	Impression	24	64,7	88,6	5,0	1,00	3,67
A	JB Asano	33	82,1	94,8	4,2	1,04	3,45
A	Jenga	19	78,2	90,8	5,4	0,96	4,31
A	Kometus	10	68,7	91,2	5,4	0,97	4,06
A	KWS Pius	11	66,5	91,8	4,2	1,00	3,09
A	Lahertis	10	59,8	84,4	4,5	1,06	2,64
A	Leiffer	20	65,2	88,7	3,6	1,03	2,38
A	Levendis	15	64,5	84,8	6,1	1,09	3,54
A	Linus	10	70,2	93,2	2,5	1,05	1,60
A	Ludwig	34	63,2	87,3	6,8	0,97	4,31
A	Meister	19	78,1	93,8	3,6	1,04	2,87
A	Meteor	12	65,7	88,1	3,9	0,98	2,82
A	Nirvana	24	65,8	86,7	5,6	1,00	3,80
A	Pamier	17	85,5	88,7	4,0	1,00	3,70
A	Paroli	13	67,3	86,2	6,2	0,99	4,35
A	Pegassos	33	64,3	87,7	5,0	0,92	2,98
A	Potenzial	48	77,4	93,7	5,5	0,97	4,30
A	Retro	10	71,0	87,4	5,7	1,06	4,23
A	Schamane	20	63,7	86,6	5,3	1,10	3,55
A	Sobi	10	59,4	83,7	3,8	1,12	2,69
A	SW Tataros	13	76,4	88,3	7,9	1,21	4,26
A	Tiger	13	62,1	85,3	8,2	0,99	5,44
A	Tommi	52	67,3	88,0	5,9	1,06	3,85
A	Toras	41	70,4	88,1	8,3	0,88	5,49
A	Türkis	63	73,0	87,8	6,0	1,00	4,42
B	Anthus	20	61,5	87,2	3,9	0,99	2,82
B	Buteo	13	69,6	89,1	5,8	0,99	4,04
B	Dekan	13	66,0	90,7	5,7	1,03	3,47
B	Drifter	23	61,5	85,4	8,4	1,02	5,05
B	Ephoros	27	72,4	91,8	4,8	1,02	3,57
B	Hybred	19	71,3	93,6	6,6	0,96	4,89
B	Julius	33	80,3	92,7	5,7	1,09	4,34
B	Kredo	25	78,6	93,5	4,1	1,07	3,09
B	Mulan	32	73,0	91,1	6,5	0,99	4,79
B	Premio	17	73,2	88,6	6,9	0,96	5,28
B	Solitär	13	66,0	84,5	4,8	1,00	3,41
B	Terrier	13	66,4	91,2	6,0	1,09	3,56
C	Biscay	10	59,8	93,3	5,1	1,03	3,69
C	Hermann	48	74,2	91,8	4,6	0,98	3,47
C	Skalmeje	13	68,1	91,6	6,7	0,96	4,49
C	Tabasco	15	87,4	95,9	5,5	1,01	5,05

Tab. 3. Datengrundlage der Sortenversuche Thyrow für das Merkmal Kornertrag von Winterweizen (2003 bis 2011)
Data base from Thyrow the variety trials for the grain yield of winter wheat (2003 to 2011)

Qualitätsgruppe	Sortenname	Anzahl Umwelten	Sortenmittelwert [dt ha ⁻¹]	Floating Checks [%]	Ökovalenz [%]	Reaktionsparameter b	Stabilitätsparameter s
A	Akratos	6	50,1	90,9	4,2	0,89	2,33
A	Brilliant	4	45,6	87,5	9,6	0,72	5,15
A	Cubus	7	45,8	83,5	8,1	1,39	5,62
A	Discus	4	49,2	90,3	8,1	0,78	4,85
A	Ellvis	4	44,7	86,3	7,9	1,04	4,94
A	Ludwig	5	41,6	81,5	4,3	0,97	2,26
A	Pegassos	6	42,2	84,2	6,3	0,90	3,02
A	Tommi	8	44,5	83,1	6,9	1,15	3,03
A	Toras	5	45,0	83,0	4,1	0,84	1,75
A	Türkis	5	44,6	82,1	8,2	0,94	4,66
B	Drifter	4	43,1	83,2	3,9	1,08	1,95
B	Ephoros	4	49,0	93,5	7,4	1,43	4,94
B	Hybred	5	54,6	96,8	5,9	1,16	3,79
B	Mulan	5	45,1	84,9	6,3	0,76	2,44
C	Hermann	7	47,8	89,2	6,6	0,97	3,72

Methodik zur Sortenbewertung

Die Untersuchung umfasst verschiedene methodische Ansätze zur Sortenbewertung, welche im Folgenden kurz beschrieben werden.

Ein zentraler Punkt war die Berechnung der **Ökovalenz** für ausgewählte Sorten. Die Ökovalenz geht auf WRICKE (1962) zurück und ist eine Maßzahl für die Ökostabilität einer Sorte, aus der sowohl Aussagen zur Stabilität der Merkmalsausprägung von Sorten als auch Einschätzungen verschiedener Umwelten abgeleitet werden können. Je kleiner die Ökovalenz eines Prüfgebietes ist, desto größer ist seine Ökostabilität. Je größer die Ökovalenz ist, desto stärker ist der Umwelteinfluss auf die Prüfgebieteffekte (Skalierung nach BÄTZ, 1984). Hierfür wurden ausgehend vom Prüffaktor-Umwelt-Modell die Wechselwirkungseffekte Sorte × Umwelt geschätzt, die dann quadriert und über die Stufen des jeweils anderen Faktors summiert den Anteil der Sorte bzw. Umwelt an der Wechselwirkungs-SQ ausmachen. Die Berechnung der Ökovalenz erfolgte nach THOMAS (2006):

1. Schätzung der Wechselwirkungseffekte

$$su_{ij} = \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..}$$

2. Summe der Abweichungsquadrate über die Umwelten

$$\text{Ökoval}(s_i) = \sum_{j=1}^b (su_{ij})^2$$

3. Variationskoeffizient der Ökovalenz

$$s\%(\text{ÖVSorte}_i) = \sqrt{\frac{\text{Ökoval}(s_i)}{b-1}} \times \frac{100}{\bar{y}_i}$$

Legende: i = 1... a Prüfglieder und j = 1... b Umwelten

Zur Erfassung der sortenspezifischen Reaktion auf verschiedene Umweltbedingungen diente das Verfahren der **linearen Regressionsanalyse** nach EBERHART und RUSSELL (1966). Die Berechnung der Umweltmittelwerte erfolgte auf Grundlage von Umwelt-Indizes nach BECKER und LEON (1988). Für die fachliche Interpretation wurden der Regressionskoeffizient b (Reaktionsparameter) und der Stabilitätsparameter s genutzt. Der Reaktionsparameter gibt Hinweise darauf, ob Sorten dem Extensivtyp oder dem Intensivtyp zuzuordnen sind. Diese können nach HAUFE und GEIDEL (1978) wie folgt differenziert werden: Extensivtypen weisen einen Reaktionsparameter von $b < 0,8$ auf und können demnach günstigere Umweltbedingungen im Vergleich zum Gesamtsortiment schlechter in Ertrag umsetzen. Sorten mit einem Reaktionsparameter von $b > 1,2$ werden zu den Intensivtypen gezählt und können günstigere Umweltbedingungen auch überdurchschnittlich gut in Ertrag umsetzen, fallen aber unter ungünstigeren Umweltbedingungen im Vergleich zum Sortiment ertraglich zurück. Zur Beurteilung der Stabilität einer Sortenleistung wird der Stabilitätsparameter s herangezogen, welcher anhand der Abweichungsquadratsumme die jeweilige Streuung um die Regressionsgerade beschreibt (FINLAY und WILKINSON, 1963). Je geringer der Stabilitätsparameter s ausfällt, desto stabiler ist die Sortenleistung.

Die **Floating-Checks-Methode** von JENSEN (1976), als drittes Verfahren, ermöglichte die Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Sorte in einem bestimmten Merkmal. Für alle Umwelten wurden die Sorten mit der höchsten Leistung bestimmt und anschließend ein Mittelwert dieser Höchsterträge berechnet. Dieser Mittelwert entsprach 100%. Die Sortenmittelwerte über alle Umwelten wurden ins prozentuale Verhältnis zum durchschnittlichen Höchstertrag gesetzt. Je mehr sich eine Sorte dem Wert 100% näherte, desto höher war ihre Leistung über alle Umwelten bzw. im Vergleich zum geprüften Sortiment.

Im Rahmen einer Varianzkomponentenanalyse wurden zudem verschiedene **Einflussgrößen auf die Ertragsvariabilität** berechnet. Zur Beurteilung der Einflussgröße verschiedener Prüfmerkmale (Kornertrag und Ertragsstrukturmerkmale) wurden im Rahmen der Varianzanalyse die Anteile der Prüffaktoren (Jahr, Standort, Sorte) an der Merkmalsvariabilität bestimmt. Die Varianzanalyse basierte auf einem gemischt linearen Modell, wobei der Jahreseffekt als zufälliger Faktor sowie Standort und Sorte als fixe Faktoren behandelt wurden. Die Variation der Merkmalswerte wurde dazu in ihre Streuungsanteile zerlegt und als Summe der Abweichungsquadrate (SQ) ausgewiesen (THOMAS, 2006). Zur Bestimmung der relativen Variationsanteile wurden die SQ der jeweiligen Variationsursache zur Gesamtsumme SQ Total (= 100%) ins Verhältnis gesetzt. Das Verfahren ermöglicht es, die Anteile der Variationsursachen an der Variabilität von Kornertrag und Ertragskomponenten aufzuschlüsseln und zu quantifizieren. Um von der Größe der SQ-Werte auf eine Signifikanz schließen zu können, wurde anschließend ein F-Test der mittleren Abweichungsquadrate (MQ-Werte) durchgeführt ($\alpha \leq 0,05$).

Weiterhin wurde die **Sortenreaktion auf trockenere Witterungsbedingungen** geprüft. Die Ertragsbildung wird im Zeitraum April bis Juni signifikant von der Evapotranspiration (CHMIELEWSKI und KÖHN, 2000), dem Niederschlag und der Temperatur beeinflusst (CHMIELEWSKI, 1992). Zur Sortenbewertung wurde der Kornertrag in Beziehung zur klimatischen Wasserbilanz im Zeitraum April bis Juni gesetzt. Die Auswertung bezieht sich auf den Kornertrag im Mittel des geprüften Sortiments in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz (KWB) an der LSV-Prüfstation Nuhnen (2003 bis 2009, für Datengrundlage A) und am Versuchsstandort Thyrow (2003 bis 2011, für Datengrundlage B). Die klimatische Wasserbilanz wurde aus der Differenz zwischen Niederschlagshöhe und Höhe der potentiellen Verdunstung (Verfahren nach HAUDE, 1955) je Standort für die Zeitspanne April bis Juni berechnet. Die Einbeziehung des HAUDE-Faktors (LÖPMEIER, 1994) ermöglichte die Anpassung der Gleichung an unterschiedliche Wachstums- und Entwicklungszeiträume der Fruchtart. Der Kornertrag des geprüften Sortiments wurde in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz mittels linearer Regression berechnet. Aufgrund des zu geringen Datenumfanges bzw. der nicht ausreichend orthogonal geprüften Sorten, konnte diese Auswertung nur für das Sortimentsmittel erfolgen und nicht auf Sortenebene.

Die Datengrundlagen A und B beinhalteten keinen orthogonalen Sortenkern über den gesamten Prüfzeitraum und waren somit unbalanciert (PIEPHO und MÖHRING, 2005). Der Adjustierungsprozess basierte deshalb vorrangig auf direkten Sortenvergleichen. Zusätzlich ermöglichten Verrechnungsblöcke über andere Sorten einen indirekten Vergleich über Brücken (PIEPHO et al., 2011). Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der Versuchsmittelwerte.

Die Durchführung der deskriptiven Statistik, linearen Regressionsanalyse und Varianzkomponentenanalyse erfolgten mit dem Programm SPSS Statistics 17.0. Die Berechnung der Ökivalenz, Floating Checks und die Diagrammerstellung (Boxer-Whisker-Plot, lineare Regression) erfolgten mit dem Programm Microsoft Office Excel 2010.

Ergebnisse

Landessortenversuche Brandenburg

Die jährlichen Ertragsleistungen von Winterweizen sind in Abb. 1 dargestellt. Zwischen den mittleren Kornerträgen der A-, B- und C-Sorten bestanden keine signifikanten Unterschiede, und sie sind daher zusammengefasst dargestellt. Der mittlere Kornertrag lag im Zeitraum 2003 bis 2011 für das in die Auswertung einbezogene Sortiment bei 71 dt ha^{-1} . Für den betrachteten Zeitraum war im Mittel aller geprüften Sorten und Umwelten keine signifikante Veränderung im Ertragsniveau (Trend) zu verzeichnen. Die Jahresschwankungen waren dagegen deutlich erkennbar, wie z.B. im Trockenjahr 2003 mit einem geringen Ertragsniveau von 46 dt ha^{-1} und im Vergleich dazu die guten Ertragsjahre 2004, 2009 und 2010 mit über 80 dt ha^{-1} .

In Tab. 2 sind die Ergebnisse der Sorten je Qualitätsgruppe für das Merkmal Kornertrag dargestellt. Es bestanden große Sortenunterschiede in der Leistungsfähigkeit und der Ökostabilität, welche allerdings weitgehend unabhängig von den Qualitätsgruppen waren. Die Ökivalenz lag für das Merkmal Kornertrag mit durchschnittlich 5,4% auf einem mittleren Niveau (Skalierung nach BÄTZ, 1984). Die Variationsbreite der einzelnen Sorten erreichte 2,5 bis 8,4%. Allerdings wiesen nur die Sorten SW Tataros, Tiger, Toras und Drifter ein hohes Ökivalenzniveau von über 7,5% auf. Diese vier Sorten zeigten damit im Vergleich zum Gesamtsortiment eine geringere Ertragssicherheit und auch eine unterdurchschnittliche Leistungsfähigkeit (Floating Checks < 90%). Die Hybrid-sorten Hybred erreichte im Vergleich zu den Liniensorten die dritthöchste Ertragsfähigkeit mit 93,6% Floating Checks. Die Ertragssicherheit dieser Sorte entsprach mit einem Ökivalenzwert von 6,6% einem mittleren Niveau. Die im Vergleich höchste Ertragssicherheit in Kombination mit einer überdurchschnittlichen Ertragsleistung bestand bei der A-Sorte Linus (2,5% Ökivalenz und 93,2% Floating Checks). Die Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse wiesen bezüglich des Reaktionsparameters keine Auffälligkeiten auf. Alle geprüften Sorten

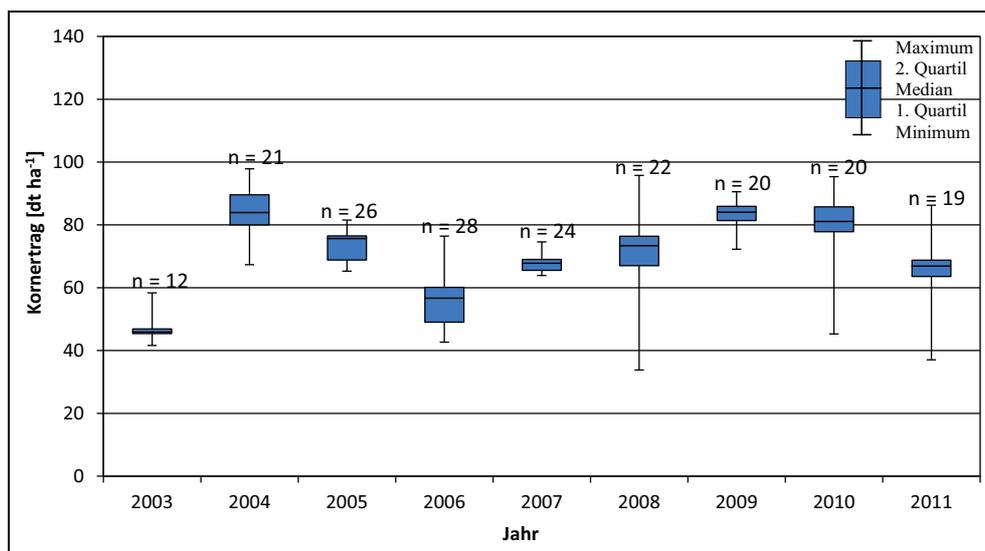


Abb. 1. Box-Whisker-Plot der jährlichen Ertragsleistung des ausgewählten Sortiments von Winterweizen; n = Anzahl Sorten; gruppiert nach Jahren (Landessortenversuche Brandenburg, 2003 bis 2011).
Box and whisker plot showing the annual yield of the selected winter wheat varieties; n = number of varieties; grouped by year (Brandenburg regional variety trials, 2003 to 2011).

lagen mit $b = 0,8$ bis $1,2$ im Normalbereich und wiesen daher keine Tendenz zu Extensiv- oder Intensivtypen auf.

In Tab. 6 sind die Ökovalenzwerte der Ertragsstrukturparameter und des Rohproteingehalts von Winterweizen zusammengefasst. Die Ökovalenzwerte für die Ertragsstrukturmerkmale Bestandesdichte und Kornzahl je Ähre lagen im Mittel des Sortiments auf einem sehr hohen Niveau und zeigten eine deutliche Variationsbreite auf Sortenebene. Für die Merkmale Tausendkornmasse und Rohproteingehalt lagen die Ökovalenzwerte im Mittel des geprüften Sortiments dagegen auf einem geringen Niveau. Im Vergleich der Ertragsstrukturmerkmale fielen die Sortenunterschiede gering aus, was auch auf die Differenzierung zwischen den Qualitätsgruppen in diesen Merkmalen zutrif.

Die Einflussgrößen verschiedener Faktoren auf die Variabilität des Kornertags, der Ertragsstruktur und des Rohproteingehalts von Winterweizen sind in Tab. 4 aufgeführt. Der Faktor Sorte erreichte einen signifikanten Einfluss auf die Ertragsvariabilität von 2,3%. Auch der Rohproteingehalt war mit 21,4% signifikant von der Sorte beeinflusst. Im Ergebnis einer separaten Varianzanalyse (Tab. 5) fiel der Einfluss des Faktors Qualitätsgruppe auf den Kornertag mit 0,1% sehr gering aus, während der Rohproteingehalt zu 11,2% signifikant durch diesen Faktor geprägt wurde.

In Abb. 2 ist der Kornertag in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz im Mittel aller geprüften Weizensorten an den Standorten Nuhnen und Thyrow dargestellt. An beiden Standorten war für den Prüfzeitraum

Tab. 4. Variationsursachen des Kornertags, der Ertragsstruktur und des Rohproteingehalts von Winterweizen (Faktor Sorte), (Landessortenversuche Brandenburg, 2003 bis 2011)

Sources of variation in grain yield, yield components and crude protein content of winter wheat (factor variety), (Brandenburg regional variety trials, 2003 to 2011)

Variationsursachen	Kornertag	Bestandesdichte	Kornzahl je Ähre	Tausendkornmasse	Rohproteingehalt
	Angaben in %				
Jahr	10,9*	9,0*	4,0	31,6*	9,0
Ort	59,4*	31,0*	18,1	24,3*	21,0*
Sorte	2,3*	11,9*	23,9*	18,3*	21,4*
Wechselwirkung Ort × Jahr	21,9*	16,9*	15,8*	16,9*	5,8*
Wechselwirkung Sorte × Jahr	1,3*	5,3*	7,9	2,6*	29,6*
Wechselwirkung Ort × Sorte	2,5	13,7	19,0*	4,3*	6,7*
Wechselwirkung Ort × Sorte × Jahr	1,8	12,3	11,4	2,1	4,4

Legende: * = signifikant für $p < 0,05$

Tab. 5. Variationsursachen des Kornertrags, der Ertragsstruktur und des Rohproteingehalts von Winterweizen (Faktor Qualitätsgruppe), (Landessortenversuche Brandenburg, 2003 bis 2011)

Sources of variation in grain yield, yield components and crude protein content of winter wheat (factor quality group), (Brandenburg regional variety trials, 2003 to 2011)

Variationsursachen	Kornertrag	Bestandesdichte	Kornzahl je Ähre	Tausendkornmasse	Rohproteingehalt
	Angaben in %				
Jahr	25,1*	20,7	9,7	53,0*	21,8*
Ort	57,2*	45,0*	24,0	21,0*	19,0*
Qualitätsgruppe	0,1	0,1	3,5*	1,2*	11,2*
Wechselwirkung Ort × Jahr	16,6	24,2*	42,7*	20,3*	42,8*
Wechselwirkung Jahr × Qualitätsgruppe	0,2*	2,1	4,4	2,0*	2,7*
Wechselwirkung Ort × Qualitätsgruppe	0,1	2,8	3,2	1,3*	0,9
Wechselwirkung Ort × Jahr × Qualitätsgruppe	0,6	5,0	12,5	1,3	1,7

Legende: * = signifikant für p < 0,05

Tab. 6. Ökovalenzwerte der Ertragsstrukturmerkmale und des Rohproteingehalts von Winterweizen (Landessortenversuche Brandenburg, 2003 bis 2011)

Ecovalence values for yield component traits and crude protein content of winter wheat (Brandenburg regional variety trials, 2003 to 2011)

Merkmal	Ökovalenz [%] – Mittelwerte und Spannweiten		
	A-Sorten	B-Sorten	C-Sorten
Bestandesdichte	9,83 (6,02 – 16,64)	10,93 (5,80 – 16,15)	9,69 (8,64 – 10,50)
Kornzahl je Ähre	10,45 (6,45 – 16,53)	11,56 (7,93 – 15,97)	11,91 (8,70 – 13,81)
Tausendkornmasse	4,52 (1,87 – 6,89)	4,57 (3,35 – 7,29)	5,27 (3,70 – 7,67)
Rohproteingehalt	3,16 (1,59 – 6,96)	3,27 (2,33 – 5,57)	3,69 (1,42 – 6,65)

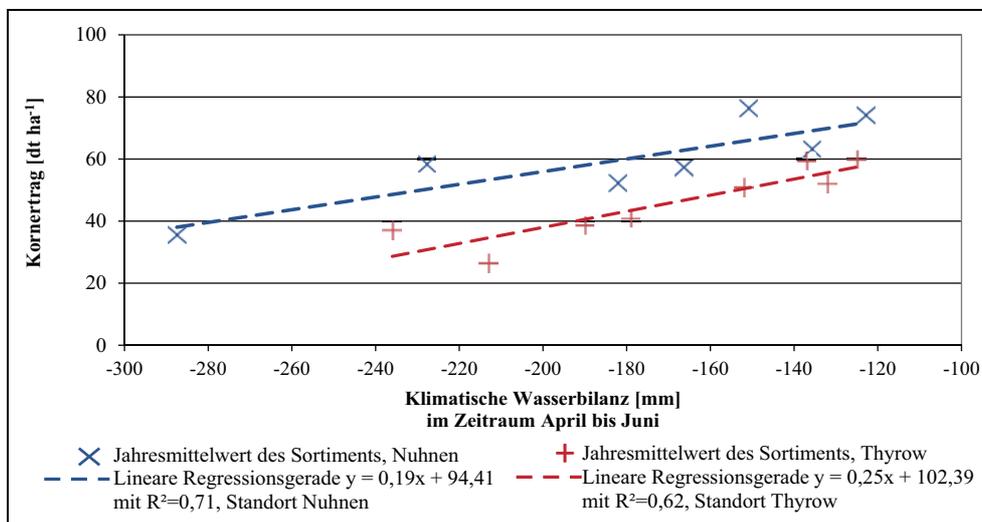


Abb. 2. Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz an den Standorten Nuhnen (Landessortenversuche Brandenburg, 2003 bis 2009) und Thyrow (Sortenversuche Thyrow, 2003 bis 2011). Grain yield of winter wheat depending on climatic water balance at Nuhnen (Brandenburg regional variety trials, 2003 to 2009) and Thyrow (Thyrow variety trials, 2003 to 2011) sites.

der Zusammenhang zwischen Kornertrag und der klimatischen Wasserbilanz für die Monate April bis Juni signifikant. Je weiter die Werte der klimatischen Wasserbilanz im negativen Bereich lagen, umso geringer war das Ertragsniveau des geprüften Sortiments. Am Standort Thyrow gingen die Kornerträge von 60 dt ha⁻¹ unter relativ günstigeren Witterungsbedingungen (KWB = -120 mm) bis auf 25 dt ha⁻¹ unter zunehmend trockneren Witterungsbedingungen (KWB = -210 mm) zurück. Eine statistisch gesicherte Auswertung auf Ebene der Qualitätsgruppen und Sorten im Einzelnen war aufgrund der mangelnden Orthogonalität der Datenbasis allerdings nicht möglich.

Sortenversuche auf Sandboden, Standort Thyrow

Die durchschnittliche Ertragsleistung von Winterweizen betrug im Zeitraum von 2003 bis 2011 am Standort Thyrow 45 dt ha⁻¹, wobei zwischen den Qualitätsgruppen keine statistisch gesicherten Unterschiede hinsichtlich der Ertragsleistung festgestellt werden konnten.

In Tab. 3 sind die Ergebnisse der Sorten je Qualitätsgruppe für das Merkmal Kornertrag dargestellt. Die Ökovalenz des Sortiments erreichte mit durchschnittlich 6,5% ein mittleres Niveau. Eine Differenzierung im Hinblick auf die Ökostabilität war unabhängig von der Einteilung nach Qualitätsgruppen aufgrund der Heterogenität ausschließlich auf Sortenebene zu finden. Die Spanne der Ökovalenzwerte von 4 bis 10% belegt die erheblichen Unterschiede in der Ökostabilität der einzelnen Sorten. Für den Standort Thyrow können die A-Sorten Akratos, Ludwig und Toras sowie die B-Sorte Drifter als ertragsstabil eingestuft werden. Bei diesen Sorten lag die Ökovalenz auf einem geringen Niveau. Die A-Sorte Akratos zeigte eine günstige Kombination aus sicherer und guter Ertragsleistung (Floating Checks: 91%), die B-Sorte Hybrid als Hybridsorte erreichte mit 96,8% die höchste Leistungsfähigkeit. Die Werte der Reaktionsparameter, welche anhand der linearen Regression berechnet wurden, lagen für den überwiegenden Teil der Sorten zwischen $b = 0,8$ und $1,2$. Die B-Sorte Mulan und die beiden A-Sorten Brilliant und Toras wiesen Reaktionsparameter von $b < 0,8$ auf und zeigten damit eine Tendenz zum Extensivtyp. Die B-Sorte Ephoros und die A-Sorte Cubus erreichten Reaktionsparameter von $b > 1,2$, die in der Tendenz auf einen Intensivtyp hinweisen.

Die Auswertung zu den verschiedenen Einflussgrößen auf die Ertragsvariabilität zeigte am Standort Thyrow die folgenden Ergebnisse: Für den Faktor Jahreswitterung konnte ein signifikanter Einfluss auf den Kornertrag von 82,0% festgestellt werden. Der Einfluss des Faktors Sorte auf die Höhe des Kornertrages von Winterweizen fiel mit 10,9% ebenfalls signifikant aus. Die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Jahreswitterung und Sorte erreichten 7,1%, waren aber im F-Test ($p < 0,05$) nicht signifikant. Für den Faktor Qualitätsgruppe konnte kein signifikanter Einfluss auf den Kornertrag festgestellt werden.

Die Abhängigkeit des Kornertrages von der klimatischen Wasserbilanz am Standort Thyrow wurde bereits

im vorigen Abschnitt im Vergleich zum Standort Nuhen aufgeführt und ist in Abb. 2 dargestellt.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die zentrale Fragestellung bezog sich auf die Ökostabilität und Leistungsfähigkeit des geprüften Weizensortiments. Dabei zeigt die Untersuchung, dass eine große Heterogenität im geprüften Weizensortiment festzustellen ist. Es konnten Sorten mit guter Ökostabilität und solche mit instabilem Ertragsverhalten ausgewiesen werden. Die Ertragsspannweite aller Sorten lag zwischen 82% und 98% Floating Checks. Die Ökovalenz schwankte zwischen 2% und 10%. Diese Heterogenität unterstreicht die Bedeutung der Sortenwahl. Am pflanzenbaulich eher ungünstigen Standort Thyrow war dies deutlich zu erkennen. Hier bewährte sich beispielsweise die A-Sorte Akratos in Ertragshöhe und -sicherheit. Dagegen wies Brilliant (A-Sorte) ein höheres Ertragsrisiko auf. In einigen Fällen zeigten Sorten mit einem Reaktionsparameter $< 0,8$ bzw. $> 1,2$ (z.B. Brilliant, Toras, Cubus) erhöhte Ökovalenzwerte und somit eine instabilere Merkmalsausprägung. Offensichtlich können Sorten mit ausgleichender Reaktion auf verschiedene Umweltbedingungen besonders auch auf Sandböden Vorteile für die Ökostabilität bieten.

Eine weitere Fragestellung bezog sich auf die Sortenreaktion in verschiedenen Umwelten, welche im geprüften Sortiment ebenfalls eine große Heterogenität zeigte. Die A-Sorte Brilliant erreichte in den LSV durchschnittliche Ergebnisse hinsichtlich Leistung und Stabilität im Kornertrag. In den Ergebnissen am Standort Thyrow zeigte sich Brilliant ebenfalls mit durchschnittlichem Kornertrag, war allerdings mit einer Ökovalenz von 9,6% weniger ertragsstabil. Die A-Sorte Akratos zeigte in den LSV ebenfalls durchschnittliche Ergebnisse im Kornertrag (Ökovalenz und Floating Checks), hob sich jedoch in den Sortenversuchen am Standort Thyrow positiv in ihrer Ertragsleistung und Ökostabilität vom restlichen Sortiment ab. Die relativ höheren Kornerträge von Akratos resultierten demnach aus den im Vergleich zum übrigen Sortiment offenbar geringeren Standortansprüchen. Die verschiedenen Reaktionsrichtungen dieser beiden Sorten können allein anhand der Reaktionsparameter (Ökoregression) nicht abgeleitet werden (Akratos $b = 1,0$ und Brilliant $b = 0,9$). Die Aussage zur Ertragsleistung und Ökostabilität einer Sorte bedarf demnach einer umfassenden Prüfung. Besondere Standortbedingungen sollten daher separat untersucht und die Sorte mit entsprechend differenzierter Bewertung ausgewiesen werden.

Auf den Prozess der Ertragsbildung wirken verschiedene Einflussfaktoren, die sich in der Ertragsvariabilität widerspiegeln. Den größten Anteil an der Ertragsvariabilität besitzen die Umweltfaktoren Boden und Jahreswitterung bzw. deren Wechselwirkung. Am Standort Thyrow war die Jahreswitterung mit 82% die wichtigste Größe, die den Kornertrag beeinflusste. Der Faktor Sorte war dagegen nachgeordnet und erreichte 11%. Die Wahl

einer standortangepassten Sorte ist demzufolge eine vom Anbauer beeinflussbare Möglichkeit, hohe und stabile Erträge zu erzielen.

Weiterhin ergab sich folgende Rangordnung der Variationsanteile von Ertragskomponenten an der Ertragsvariabilität: Bestandesdichte > Kornzahl je Ähre > Tausendkornmasse. Die Merkmale Bestandesdichte und Kornzahl je Ähre sind im Vergleich zur Tausendkornmasse stärker umweltvariabel. Beide Merkmale zeigten sortenabhängig eine stärkere Differenzierung in der Ökovalenz, während die der Tausendkornmasse geringer blieb. Sorten mit geringerer und instabilerer Ausprägung von Bestandesdichte und/oder Kornzahl je Ähre können daher als eine Ursache für verminderte und unsicherere Ertragsleistungen auf Sandböden angesehen werden. Großkörnigere Sorten können demzufolge auf derartigen Standorten tendenziell vorteilhaft sein.

Im Weizenanbau überwiegen in Deutschland bisher Liniensorten, obwohl auch einige Hybridsorten zugelassen sind. Dies ist zum Teil auf den im Vergleich zu Fremdbefruchtern schwächeren Heterosiseffekt und die dadurch relativ geringere Mehrleistung der Hybrid- gegenüber den Liniensorten zurückzuführen (LONGIN et al., 2012). In der vorliegenden Arbeit konnte aufgrund des geringen Prüfumfanges von Hybridsorten nur für die Sorte Hybred eine Aussage getroffen werden. Hybred zählt zu den Kompensationstypen und erreichte in den Sortenversuchen am Standort Thyrow mit 97% Floatings Checks die höchste Ertragsfähigkeit. In den LSV zeigte sie ebenfalls eine überdurchschnittliche Ertragsleistung. Die Ertragsstabilität wurde in beiden Sortenversuchen als mittel eingestuft (Ökovalenz: 6%). Inwieweit sich der Anbau von Hybridsorten unter trockeneren Witterungsbedingungen und auf sandigen Böden durchsetzt, hängt in besonderem Maße von der Rentabilität des Anbaus und dem Züchtungsfortschritt bei Linien- und Hybridsorten ab. Aussagen zum Ertragsvergleich zwischen beiden Sortentypen sowie zur Ertragsstabilität wären dann wünschenswert.

Im Weizenanbau sind Sorten gefragt, die sich durch eine gute Ertragsbildung auch unter Hitze- und Trockenbedingungen auszeichnen. Die Korrelation der sortenspezifischen Kornerträge zur klimatischen Wasserbilanz (Zeitraum April bis Juni) kann daher die Sortenbewertung ergänzen. Die positiven Korrelationen beider Parameter an den Standorten Nuhnen und Thyrow belegen das, d.h. eine um 140 mm verbesserte klimatische Wasserbilanz im Zeitraum April bis Juni bedingte ca. 30 dt ha⁻¹ Mehrertrag. In diesem Zeitraum werden die wichtigen Entwicklungsstadien Schossen, Ährenschieben und Blüte durchlaufen, die hinsichtlich der Ertragsbildung besonders wassersensibel sind (GUPTA et al., 2001). Aufgrund der nicht orthogonalen Datensätze war eine sortenspezifische gesicherte Aussage statistisch nicht möglich.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Schätzungen von Sorte-Umwelt-Wechselwirkungen einen relativ großen Fehler beinhalten (PIEPHO und MICHEL, 2001). Zudem beruhen die Ergebnisse auf einer Datenbasis aus-

gewählter Versuchsstandorte eines Anbaugbiets bzw. auf relativ wenigen Jahren. Die Ergebnisse können daher nur für die in die Auswertung einbezogenen Sorten und Umwelten interpretiert werden.

Aufgrund der nicht-orthogonalen Datenstruktur wurden einfache und valide Methoden verwendet, welche im Ergebnis durch wenige Zahlen eindeutige Aussagen zur Sortenbewertung ermöglichen. Der vorgestellte methodische Ansatz bietet anhand von objektiven und reproduzierbaren Parametern eine Ergänzung und Präzisierung der Sortenbewertung, wodurch die regionale Sortenempfehlung in der landwirtschaftlichen Praxis unterstützt werden kann. Für die sichere Beurteilung der Ertragsstabilität unter differenzierten Standortbedingungen ist die Berechnung von Ökovalenz und Floating Checks auf Grundlage von mehrjährigen Sortenprüfungen notwendig, wobei allerdings die Praxisrelevanz aufgrund der marktbedingten raschen Sortenfluktuation eingeschränkt sein könnte. Das bestehende bundeseinheitliche „Planungs-, Informations- und Auswertungssystem Feldversuchswesen“ (PIAF) stellt differenziert nach Anbaugebieten Daten zu Sortenleistungen und Standorten aus Sortenversuchen des integrierten Prüfsystems der Bereiche Züchtung, Zulassung und Regionalberatung bereit. Eine Möglichkeit, die Sortenbewertung zu vervollkommen, ist die Erweiterung des Systems um die Parameter der Ökostabilität und Witterungsdaten, wozu bereits Ansätze bestehen (MICHEL und ZENK, 2010). Im Hinblick auf klimatische Veränderungen könnte die Ausweisung von Weizensorten mit einer guten Kombination von Leistungsfähigkeit und Ökostabilität dazu beitragen, das Anbaurisiko von Winterweizen auf den Diluvialstandorten in Nordostdeutschland zu reduzieren.

Literatur

- AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2012: Herbstaussaat 2012: Größte Roggenanbaufläche seit 2002 in Brandenburg. Pressemitteilung Nr. 398 vom 19. Dezember 2012, Potsdam. (<http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/pms/2012/12-12-19b.pdf>).
- BARTHELMES, G., 2012: Sortenratgeber Winterweizen 2012/2013. Güterfelde, Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg.
- BÄTZ, G., 1984: Empfehlungen zur erweiterten Auswertung von Versuchsserien, insbesondere unter Berücksichtigung der Prüfglied-/Umwelt-Wechselwirkung. *Feldversuchswesen* **1**, 20-31.
- BECKER, H.C., J. LEON, 1988: Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* **101**, 1-23.
- CHMIELEWSKI, F.-M., 1992: Impact of climate change on crop yields of winter rye in Halle (southeastern Germany), 1901 to 1980. *Climate Research* **2**, 23-33.
- CHMIELEWSKI, F.-M., W. KÖHN, 2000: Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agricultural and Forest Meteorology* **102**, 253-261.
- CROSSA, J., P.N. FOX, W.H. PFEIFFER, S. RAJARAM, H.G. GAUCH JR., 1991: AMMI Adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor. Appl. Genet.* **81**, 27-37.
- EBERHART, S., W. RUSSELL, 1966: Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* **6**, 36-40.
- EITZINGER, J., K.-C. KERSEBAUM, H. FORMAYER, 2009: Landwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Clenze, AgriMedia, 320 S.
- FINLAY, K., G. WILKINSON, 1963: The analysis of adaptation in a breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* **14**, 742-754.

- GUPTA, N.K., S. GUPTA, A. KUMAR, 2001: Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science* **186**, 55-62.
- HAUDE, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes* **11** (2). Bad Kissingen, Dt. Wetterdienst, 24 S.
- HAUFE, W., H. GEIDEL, 1978: Zur Beurteilung der Ertragssicherheit von Sorten und Zuchtstämmen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **80**, 24-37.
- HILL, J., H.C. BECKER, P.M.A. TIGERSTEDT, 1998: *Quantitative and Ecological Aspects of Plant Breeding*. London, UK, Chapman and Hall.
- HÜHN, M., 1996: Nonparametric analysis of genotype \times environment interactions by ranks. In: KANG, M.S., H.G. GAUCH, Jr. (Eds.): *Genotype-by environment interaction*. Boca Raton, FL., CRC Press, 235-271.
- JENSEN, N.F., 1976: Floating checks for plant breeding nurseries. *Cereal Research Communications* **4**, 285-295.
- KANG, M.S., 1998: Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* **62**, 199-252.
- LONGIN, C.F.H., J. MÜHLEISEN, H.P. MAURER, H. ZHANG, M. GOWDA, J.C. REIF, 2012: Hybridbreeding in autogamous cereals. *Theor. Appl. Genet.* **125**, 1087-1096.
- LÖPMEIER, F.-J., 1994: Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung mittels agrarmeteorologischer Modelle. *Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft* **29**, 157-167.
- LVL, 2007: Jahresbericht 2007 des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurerneuerung Brandenburg, Referat Ackerbau und Grünland. Frankfurt (Oder), Brandenburg, 34-35.
- MICHEL, V., A. ZENK, 2010: Eignung von Winterweizensorten unter speziellen Anbaubedingungen und Einführung neuer Parameter zur Bewertung von Sorten unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Gülzow, Forschungsbericht Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- PIEPHO, H.-P., V. MICHEL, 2001: Überlegungen zur regionalen Auswertung von Landessortenversuchen. *Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie* **31**, 123-139.
- PIEPHO, H.-P., V. MICHEL, A. ZENK, 2011: PIAFStat-Verfahren für die „Hohenheim Gülzower Serienauswertung“. Gülzow, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 4-5.
- PIEPHO, H.-P., J. MÖHRING, 2005: Best linear unbiased prediction of cultivar effects for subdivided target regions. *Crop Science* **45**, 1151-1159.
- THOMAS, E.T., 2006: *Feldversuchswesen*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 387 S.
- WRICKE, G., 1962: Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **47**, 92-96.
- ZOBEL, R.W., M.J. WRIGHT, H.G. GAUCH, 1988: Statistical analysis of a yield trial. *Agron. Journal* **80**, 388-393.