

Zur Kornqualität alter Weizenarten

W. Aufhammer, E. Kübler und H.-P. Piepho

Grain quality of ancient wheat species

1 Einleitung

In einem früheren Beitrag (AUFHAMMER et al., 2012) wurde das Ertragsvermögen der alten Weizenarten Dinkel (*Triticum spelta*), Einkorn (*T. monococcum*), Emmer (*T. dicoccum*) und Orientalischer Weizen (*T. turanicum*), auch als Kamut bezeichnet (GRAUSGRUBER et al., 2004), bei abgestufter Anbauintensität dem Saatweizen (*T. aestivum*) ge-

genübertgestellt. Neben Reinbeständen wurden Mischbestände aus den spelzenfrei dreschenden Arten Orientalischer Weizen und Saatweizen erstellt. Mehrjährige Feldversuche mit verschiedenen intensiven Kombinationen aus Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen differenzierten die Aufwuchsbedingungen und boten die Basis für die Erfassung quantitativer Ertragsdaten.

Summary

In a three-years field experiment the grain quality of ancient wheat species, i. e. *Triticum spelta*, *T. monococcum*, *T. dicoccum* and *T. turanicum* were to be compared to the grain quality of *T. aestivum*. Furthermore the grain quality response of these wheat species to an increased production intensity should be investigated as well in pure stands and in mixed stands combining *T. turanicum* and *T. aestivum*. Important quality traits were the 1000 grain weight and the share of marketable grain yield, the protein content and the share of waxy grain, the sedimentation volume and the falling number. An increased production intensity improved the share of marketable grain yields of all wheat species significantly, but on an absolute yield level the differences between the ancient species and *T. aestivum* were not reduced but increased. Except *T. monococcum* the ancient species exceeded *T. aestivum* in the shares of waxy grain and the protein content. But in response to a more intensive production the sedimentation volumina of *T. aestivum* improved even more as compared to the ancient species. In mixed stands the marketable grain yields and the sedimentation volumina revealed positive mixing effects.

Key words: Ancient wheat species, grain quality, pure and mixed stands.

Zusammenfassung

In mehrjährigen Feldversuchen sollte die Kornqualität der alten Weizenarten Dinkel (*Triticum spelta*), Einkorn (*T. monococcum*), Emmer (*T. dicoccum*) und Orientalischer Weizen (*T. turanicum*) der Kornqualität von Saatweizen (*T. aestivum*) gegenübergestellt und die Auswirkungen angehobener Anbauintensität verglichen werden. Hierzu dienten Daten von Reinbeständen aller Arten und von Mischbeständen aus Saat- und Orientalischem Weizen auf zwei Intensitätsstufen. Als wesentliche Qualitätskriterien wurden das Tausendkorngewicht und der marktfähige Anteil des Kornertrags, der Rohproteingehalt und der Glasigkeitsgrad des marktfähigen Kornguts sowie das Sedimentationsvolumen und die Fallzahl der Mahlprodukte erfasst. Die Anbauintensivierung verbesserte die marktfähigen Ertragsanteile in den Reinbeständen der alten Arten deutlich, führte auf absolutem Ertragsniveau aber nicht zu einer Reduktion, sondern zu einer Vergrößerung der Differenzen gegenüber dem Saatweizen. Das Einkorn ausgenommen, wiesen die alten Weizenarten höhere Glasigkeitsgrade und höhere Rohproteingehalte auf. In Reaktion auf die Anbauintensität stiegen jedoch die Sedimentationswerte des Saatweizens deutlich stärker als die der alten Arten. In den Mischbeständen traten sowohl beim marktfähigen Kornertrag als auch bei den Sedimentationswerten positive Mischungseffekte auf.

Schlagworte: Alte Weizenarten, Kornqualität, Rein- und Mischbestände.

Im vorliegenden Beitrag werden Kornqualitätsdaten ausgewählter Anbauintensitätsstufen der Weizenarten vorgelegt. Äußere und innere Kriterien bestimmen den marktfähigen, verarbeitbaren Anteil einer Kornpartie (ABDEL-AAL et al., 1995; BORGHI et al., 1996; STALLKNECHT et al., 1996; AUFHAMMER, 2003). Ausgehend vom Saatweizen als aktuellem Rohstoff sind die Kornausbildung, gemessen als Tausendkornmasse, und die Korngrößenverteilung, erfasst als Siebsortierung, wichtig. Darüber hinaus sind Kornguteigenschaften wie der Rohproteingehalt als indirektes Maß für den Klebergehalt, der Sedimentationswert zur Beurteilung der Kleberqualität und die Fallzahl zur Bewertung des Zustands der Stärkefraktion entscheidende Kenngrößen, für die konkrete Vorgaben existieren (ANONYMUS, 2000). Da diese auf den Saatweizen ausgerichtet sind, ist ihre Eignung für die Bewertung der alten Weizenarten fragwürdig. Somit sollen die Untersuchungen Antworten auf folgende Fragen ermöglichen:

- Wie groß sind die Unterschiede hinsichtlich der Kornqualität zwischen den alten Weizenarten und zwischen diesen und dem Saatweizen unter Einsatz der für den Saatweizen üblichen Qualitätsvorgaben? Kann eine Anbauintensivierung artspezifische Qualitätsdefizite des Kornguts reduzieren, bzw. die Kornqualität anheben?
- Dem Korngut der artreinen Weizenbestände steht das Korngut von Mischbeständen aus Orientalischem Weizen und Saatweizen gegenüber. Entspricht die Qualität des artengemischten Kornguts den reinbestandsbasierten Erwartungswerten oder sind Mischungseffekte festzustellen?

Die Fragen sind auf die Weizenarten ausgerichtet, die Antworten können jedoch nur im Rahmen der verwendeten Sorten gelten. In den Feldversuchen wurde jede Art nur durch eine einzige Sorte repräsentiert. Artenumfassende Verallgemeinerungen sind mit den folgenden Ausführungen nicht gemeint und nicht zulässig.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Zur Datengewinnung wurden die Kornerträge von Feldversuchen verwendet. Diese wurden in den Jahren 1999, 2000 und 2001 als mehrfaktorielle Anlagen (Spaltanlage, drei Wiederholungen) auf der Versuchsstation Agrarwissenschaften, Standort Ihinger Hof (470–510 m NHN; 8,2 °C; 690 mm Niederschlag; schluffreiche Parabraunerden) der

Universität Hohenheim durchgeführt. Zwischen den Jahren differierten der Witterungsverlauf sowie die Schlagvorgeschichte. Der Versuch 1999 wurde nach Erbsen mit nachfolgender Senfzwischenfrucht angelegt. 2000 stand der Versuch nach Hafer und 2001 nach Winterweizen.

Die Haupteinheit der Spaltanlage stellte der Faktor „Anbauintensität“ mit unterschiedlichen Intensitätsstufen dar. Aus insgesamt vier an anderer Stelle (AUFHAMMER et al., 2012) beschriebenen Intensitätsstufen wurden für die vorliegenden Untersuchungen zur Kornqualität nur die beiden Eckpositionen I 1 und I 4 ausgewählt. In I 1 wurde weder eine N-Düngung noch ein Wachstumsregler oder ein Fungizid appliziert. In I 4 erfolgte eine Kombination von N-Düngungsmaßnahmen mit dem Einsatz eines Wachstumsreglers und eines Fungizids (Tab. 1).

Die Untereinheit der Spaltanlage umfasste unter dem Faktor „Weizenarten“ Reinbestände der Sommerform der alten Weizenarten Dinkel (*Triticum spelta*), Einkorn (*T. monococcum*), Emmer (*T. dicoccum*), Orientalischer Weizen (*T. turanicum*) und des Saatweizens (*T. aestivum*) der Sorte Triso. Neben den Reinbeständen wurden Mischbestände mit unterschiedlichen Anteilen der frei dreschenden Arten Orientalischer Weizen und Saatweizen als Mischungspartner mit dem Ziel erstellt, potentielle Stabilisierungseffekte des Saatweizens auf den Marktwarenertrag und weitere Qualitätskriterien der Bestände als Mischungseffekte zu erfassen. Damit umfasste der Faktor „Weizenarten“ insgesamt 9 Stufen (A1–A9, Tab. 1).

Aufgrund eingeschränkter Standfestigkeit und teilweise hoher Krankheitsanfälligkeit der alten Weizenarten wurden deren Reinbestände mit 150 keimfähigen Körnern m⁻², die Mischbestände und die relevanten Reinbestände der Komponenten Orientalischer Weizen und Saatweizen jedoch mit 300 keimfähigen Körnern m⁻² ausgesät (Tab. 1). Das Saatgut der Mischungskomponenten wurde anteilig abgewogen, unmittelbar vor der Aussaat gemischt und in einer Überfahrt mit der Ojord-Parzellendrillmaschine 2–3 cm tief ausgebracht. Das Saatgut der bespelzten Arten Dinkel, Einkorn und Emmer stammte aus der Landessaatzuchtanstalt Hohenheim (KLING et al., 2006). Ausgesät wurde das Material im entspelzten Zustand. Das Saatgut des Orientalischen Weizens stellte die Firma Schnitzer, St. Georgen, zur Verfügung.

Die Versuchsflächen wurden jeweils im vorangegangenen Herbst einheitlich mit 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ und 120 kg K₂O ha⁻¹ grundgedüngt, gepflügt und im Frühjahr mit einer Eggenkombination saarfertig gemacht. Die Unkrautregulierung erfolgte durch Herbizideinsatz.

Tabelle 1: Versuchsfaktoren und Faktorstufen
Table 1: Experimental design

I	Jahre	1999	Vorfrucht Erbse mit nachfolgender Senfzwischenfrucht		
		2000	Vorfrucht Hafer		
		2001	Vorfrucht Winterweizen		
II	Intensität	I ₁	ohne N-Düngung, Wachstumsregler und Fungizid		
		I ₄	30 kg N ha ⁻¹ (Kalkammonsalpeter) zu Vegetationsbeginn + 60 kg N ha ⁻¹ (Kalkammonsalpeter) zum Ährenschieben + Wachstumsregler (Terpal C, 1 l ha ⁻¹) im Schossverlauf + Fungizid (Juwel Top, 1 l ha ⁻¹) zum Ährenschieben		
III	Arten (Sommerformen)			Saadichte (keimfähige Körner m ⁻²)	
		A ₁	Dinkel	D	150
		A ₂	Einkorn	EK	150
		A ₃	Emmer	EM	150
		A ₄	Orient. Weizen ¹⁾	OW	150
		A ₅	Orient. Weizen	OW	300
		A ₆	Saatweizen	SW	300
		A ₇	OW + SW		150 + 150
		A ₈	OW + SW		200 + 100
		A ₉	OW + SW		250 + 50
IV	Wiederholungen	W ₁ – W ₃			

¹⁾ Orient. Weizen = Orientalischer Weizen (OW)

2.2 Datenerhebung

In den Versuchen wurden Daten zur Ertragsfähigkeit (AUFHAMMER et al., 2012) und zur Korngutqualität der Bestände erhoben. Der vorliegende Beitrag ist auf die Kornqualität ausgerichtet und umfasst die Kriterien Tausendkornmasse, Marktwarenanteil und -ertrag, Glasigkeit und Rohprotein-gehalt, Fallzahl und Sedimentationswert. Nach dem Drusch wurde das Korn- und das Vesengut getrocknet, gereinigt und gewogen. Bei den bespelzt dreschenden Arten Dinkel, Einkorn und Emmer wurde nach der Trocknung eine Teilprobe entnommen, mit dem Laborentspelzer (Firma Schmiege, Prinzip Unterläufer) entspelzt, und der spelzenfreie Kornertrag ermittelt. Spelzenfreies Korngut aller beteiligten Arten und der Mischbestände diente als Ausgangsmaterial für weitere Untersuchungen. Stichproben von jeweils 100 g wurden mit dem Labor-Sortimat einer Siebsortierungsanalyse unterzogen. Die Analyse umfasste die Fraktionen > 2,8 mm, > 2,5 mm, > 2,2 mm und < 2,2 mm Kornquerdurchmesser. Der Gewichtsanteil > 2,2 mm stellt den Marktwarenanteil, der Anteil < 2,2 mm den Abgang

dar. Aus dem Marktwarenanteil und dem Kornertrag wurde der Marktwarenertrag errechnet. Zur Ermittlung der Tausendkornmasse wurden mit dem Seedcounter jeweils 1000 Körner abgezählt und anschließend die Tausendkornmasse bestimmt. Weitere jeweils 100 Körner wurden zur Ermittlung der Kornstruktur mit dem Kornschneider quer geschnitten. An der Schnittfläche wurde die Glasigkeit bonitiert und die vollglasigen, die teilglasigen und die mehligten Körner anteilig erfasst. Angegeben wurden die Anteile vollglasiger und die Anteile teilglasiger Körner (ARBEITSGEMEINSCHAFT GETREIDEFORSCHUNG e.V., 1994).

Definierte Stichproben aus dem Kornmaterial wurden gemahlen und mit dem Elementargerät nach der Verbrennungsmethode Dumas auf den Gesamtstickstoffgehalt (N_t) untersucht (WINKLER et al., 2000). Der N_t-Gehalt im Korn ergab, einheitlich mit dem Faktor 6,25 multipliziert, den Korn-Rohprotein-gehalt. Weiterhin wurde mit dem Falling-Number-Gerät die Fallzahl (sec) nach Hagberg-Perten ermittelt. Darüber hinaus wurde der Sedimentationswert nach Zeleny festgestellt.

Tabelle 2: Kalkulation der Erwartungswerte (EW) und der Mischungseffekte (ME) beim marktfähigen Kornertrag (dt ha⁻¹ > 2,2 mm) (Beispiel 2001: I 1, Mischung Orientalischer Weizen 150 keimfähige Körner m⁻² + Saatweizen 150 keimfähige Körner m⁻²)
 Table 2: Calculation of the expected values (EW) and the mixture effects (ME) on the grain yield (Example 2001: I1, mixture *T. turanicum* 150 seeds m⁻² + *T. aestivum* 150 seeds m⁻²)

Parameter	Arten	Reinbestände	Mischungsbestand 150 + 150
Erwartungswert (EW)	Orientalischer Weizen		50% = 10,15
	Saatweizen		50% = 14,65
			EW = 24,8
Gemessener Wert (GW)	Orientalischer Weizen	20,3	
	Saatweizen	29,3	
			GW = 28,9
Mischungseffekt (ME)			ME = 4,1 ***

ME = GW – EW

*** = Signifikanz bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit

2.3 Kalkulation der Mischungseffekte

Zur Kalkulation der Mischungseffekte auf den Marktwarenenertrag wurde aus den Saatcheanteilen der am Mischbestand beteiligten Komponenten und aus den Werten der Reinbestände von Orientalischem Weizen und Saatweizen ein Erwartungswert (EW) kalkuliert. Ein Beispiel ist in Tabelle 2 gegeben. Der kalkulierte EW wurde dem entsprechenden gemessenen Wert (GW) gegenübergestellt. Die Differenz zwischen EW und GW stellt den Mischungseffekt (ME) dar.

2.4 Auswertung der erhobenen Daten

Die Mittelwerte der Rein- und Mischbestände wurden nach einem Modell für eine Spaltanlage geprüft. Für die zusammenfassende Auswertung über drei Jahre wurde eine Serienauswertung vorgenommen, bei welcher der Faktor Jahr als zufällig betrachtet wurde. Für die paarweisen Vergleiche wurden Grenzdifferenzen zum Niveau 5 % berechnet. Für die Reinbestände und die Mischbestände der Weizenarten wurde eine Buchstabenindizierung vorgenommen. Mittelwerte, die mit einem gemeinsamen Buchstaben versehen sind, sind nach t-Test nicht signifikant verschieden.

Die Mischungseffekte wurden als lineare Kontraste formuliert und getestet. Der Kontrast für den Vergleich des gemessenen Wertes (GW) mit dem Erwartungswert (EW) wurde gleichfalls mit einem t-Test zum Niveau 5 % geprüft (PIEPHO, 2004; PIEPHO et al., 2006; PIEPHO, 2012).

3 Ergebnisse

3.1 Kornqualität der Reinbestände

Zunächst ist die äußere Qualität des Kornguts, basierend auf dem Tausendkorngewicht und dem Kornanteil > 2,2 mm (Marktware) maßgebend für eine weitere Verarbeitung. Über die Jahre hinweg wies das Korngut von Saatweizen in I 1 Tausendkorngewichte zwischen 35 und 40 g sowie Marktwareanteile von nahezu 100 % auf. Der Dinkel erreichte das Tausendkorngewichtsniveau des Saatweizens nur in einem, die Anteile an Marktware in keinem der drei Versuchsjahre (Tab. 3). Daraus resultierten marktfähige Kornerträge von Dinkel, die in I 1 etwa die Hälfte der marktfähigen Kornerträge von Saatweizen erreichten (Tab. 4). In I 4 wurden prinzipiell ähnliche Artenunterschiede, allerdings auf deutlich höherem Niveau, ermittelt (Tab. 3, 4). Dem Saatweizen und dem Dinkel gegenüber entwickelten Emmer und insbesondere Einkorn in I 1 erheblich niedrigere, der Orientalische Weizen erheblich höhere Tausendkorngewichte und Marktwareanteile. In zwei von drei Jahren produzierten die Einkornbestände unter 20 %, d. h. absolut nur zwischen 2 und 8 dt ha⁻¹ marktfähiges Korn, während der Emmer immerhin zwischen 15 und 20 dt ha⁻¹ lieferte (Tab. 3, 4). In einer gegenüber dem Saatweizen um 7 Tage, gegenüber dem Dinkel und dem Einkorn um 11–13 Tage längeren Kornausbildungsperiode entwickelte der Orientalische Weizen mit 60–75 g extrem hohe Tausendkorngewichte und damit nahezu abgangsfreies Korngut. Diese Erträge übertrafen zwar in zwei von drei Jahren in I 1 die marktfähigen Dinkelerträge, zum Saatweizen blieben aber durchweg erhebliche Differenzen (Tab. 4). Die produktionstechnischen Maßnahmen in I 4 begünstigten 1999 die Entwicklung von Einkorn, Emmer und

Tabelle 3: Tausendkorngewichte (g) und Marktwarenanteile (%) der Weizenarten<sup>+) in Abhängigkeit von den Versuchsjahren und der Anbauintensität
 Table 3: 1000-grain weight (g) and share of marketable grain yield (%) of the wheat species^{+) in dependence on the year and the production intensity level}</sup>

Arten Jahr	Saatdichte (kf. Kö. m ⁻²)	Tausendkornmasse (g)		Marktwarenanteil (% > 2,2 mm)	
		I 1	I 4	I 1	I 4
1999					
Dinkel	150	35,53 f	41,50 f	94,9 b	99,0 a
Einkorn	150	24,83 g	28,01 g	18,3 d	58,9 c
Emmer	150	25,48 g	28,74 g	79,5 c	87,7 b
Orient. Weizen	150	70,47 a	72,63 b	99,3 a	99,6 a
Orient. Weizen	300	70,71 a	75,81 a	99,5 a	99,8 a
Saatweizen	300	38,41 e	43,53 f	99,4 a	99,7 a
Mittelwert über Arten		47,17 b	50,93 a	87,7 b	93,7 a
2000					
Dinkel	150	35,83 f	41,29 c	90,2 b	95,6 b
Einkorn	150	24,35 h	25,04 g	35,9 c	31,1 c
Emmer	150	29,12 g	31,68 f	89,1 b	93,8 b
Orient. Weizen	150	68,37 a	63,37 a	99,6 a	99,4 a
Orient. Weizen	300	68,37 a	64,53 a	99,5 a	99,5 a
Saatweizen	300	40,15 e	43,67 d	99,7 a	99,8 a
Mittelwert über Arten		46,69 a	46,77 a	90,3 ab	90,9 a
2001					
Dinkel	150	35,75 d	38,99 de	78,4 c	80,3 b
Einkorn	150	21,78 f	21,00 g	11,7 d	11,2 c
Emmer	150	28,31 e	29,09 f	83,1 b	77,9 b
Orient. Weizen	150	63,40 a	61,40 a	97,2 a	97,5 a
Orient. Weizen	300	65,49 a	63,06 a	96,1 a	97,8 a
Saatweizen	300	35,86 d	37,89 e	95,8 a	97,6 a
Mittelwert über Arten		41,42 ab	42,25 a	83,3 a	83,9 a

^{+) Mittelwerte pro Spalte und Jahr, die mit einem gemeinsamen Buchstaben versehen sind, sind nach t-Test nicht signifikant verschieden}

^{+) Means for a column and year, that have a letter in common are not significantly different according to a t-test}

Orientalischem Weizen mit Zuwächsen der marktfähigen Kornerträge um über 10 dt ha⁻¹. In den folgenden Jahren blieben die Effekte allerdings wesentlich schwächer, die Tausendkorngewichte des Orientalischen Weizens gingen, vermutlich verursacht durch das Lagern und den Fußkrankheitsbefall der Bestände, eher zurück (Tab. 3, 4).

Über die äußeren Kriterien der Kornqualität hinaus sind die physikalische und die physiologische Endospermstruktur richtungsweisend für die Verarbeitbarkeit. Glasiges Endosperm ist härter und häufig proteinreicher als mehliges Endosperm. Aber nicht nur der Proteingehalt, sondern auch die Qualität und die enzymatische Aktivität von Proteinen spielen eine wesentliche Rolle. In I 1 blieben der

Glasigkeitsgrad und mit 12 % auch der Proteingehalt des Saatweizens relativ gering. Mit Unterschieden wiesen die alten Weizenarten wesentlich höhere Glasigkeitsgrade und mit bis zu 17 % auch wesentlich höhere Rohproteingehalte auf (Tab. 5). Eine Ausnahme bildete das Einkorn, das trotz hoher Rohproteingehalte 1999 und 2000 unter dem Einfluss niederschlagsreicher Abreifebedingungen ausschließlich mehliges Korngut lieferte. Vermutlich in erster Linie als Effekte des Düngestickstoffangebots stiegen in I 4 sowohl die Glasigkeitsgrade als auch die Rohproteingehalte deutlich an. Die größten Vollglasigkeitsanteile wurden mit Werten zwischen 86 % und 96 % beim Emmer und beim Orientalischen Weizen ermittelt.

Tabelle 4: Marktfähige Kornerträge (dt ha⁻¹) und Abgänge (dt ha⁻¹) der Weizenarten^{+) in Abhängigkeit von den Versuchsjahren und der Anbauintensität}Table 4: Marketable grain yields (dt ha⁻¹) and waste grain yields (dt ha⁻¹) of the wheat species^{+) in dependence on the year and the production intensity level}

Arten Jahr	Saatedichte (kf. Kö. m ⁻²)	Marktfähiger Kornertrag (dt ha ⁻¹ > 2,2 mm)		Kornertrag Abgang (dt ha ⁻¹ < 2,2 mm)	
		I 1	I 4	I 1	I 4
1999					
Dinkel	150	27,0 d e	37,0 d	1,4 c	0,4 c
Einkorn	150	4,6 g	18,7 f	20,5 a	13,0 a
Emmer	150	19,6 f	30,8 e	5,1 b	4,3 b
Orient. Weizen	150	26,4 e	36,3 d	0,2 d	0,1 c
Orient. Weizen	300	24,2 e	35,9 d	0,1 d	0,1 c
Saatweizen	300	43,5 a	61,8 a	0,3 d	0,2 c
Mittelwert über Arten		26,7 c	38,5 a	3,8 b	2,8 c
2000					
Dinkel	150	20,6 d	29,9 c e	2,2 b	1,4 b
Einkorn	150	7,9 e	7,1 f	14,1 a	15,7 a
Emmer	150	16,4 d	25,4 e	2,0 b	1,7 b
Orient. Weizen	150	26,2 c	27,1 d e	0,1 c	0,2 c
Orient. Weizen	300	28,2 c	30,7 c d	0,1 c	0,2 c
Saatweizen	300	43,8 a	64,7 a	0,1 c	0,1 c
Mittelwert über Arten		26,9 c	33,5 a	2,9 a	3,4 a
2001					
Dinkel	150	15,1 c	23,4 e	4,2 b	5,7 b
Einkorn	150	2,1 d	2,5 g	16,0 a	19,4 a
Emmer	150	15,7 c	19,6 f	3,2 b	5,6 b
Orient. Weizen	150	20,9 b	24,0 e	0,6 c	0,6 c
Orient. Weizen	300	20,3 b	26,7 d	0,8 c	0,6 c
Saatweizen	300	29,3 a	46,8 a	1,3 c	1,2 c
Mittelwert über Arten		19,7 c	26,8 a	4,0 b	5,1 a

^{+) Mittelwerte pro Spalte und Jahr, die mit einem gemeinsamen Buchstaben versehen sind, sind nach t-Test nicht signifikant verschieden}

^{+) Means for a column and year, that have a letter in common are not significantly different according to a t-test}

Die Fallzahl und der Sedimentationswert beschreiben die Backfähigkeit des Kornguts bzw. der Mahlprodukte. Von Brotweizen werden Fallzahlen > 230 sec und Sedimentationswerte > 18 ml verlangt. Im vorliegenden Material differierten die Fallzahlunterschiede zwischen den Weizenarten von Jahr zu Jahr auf wechselndem Niveau erheblich (Tab. 6). In den Jahren 1999 und 2000 blieben die Fallzahlen der alten Arten verglichen mit dem Saatweizen geringer. Insbesondere der Emmer und der Orientalische Weizen wiesen 1999 in I 4 und 2000 in I 1, verglichen mit den anderen Arten, den Saatweizen eingeschlossen, ein erheb-

lich niedrigeres Niveau auf. Vermutlich geht diese Differenzierung auf die Empfindlichkeit gegenüber relativ feuchten Abreifebedingungen zurück. Im Gegensatz zu den Fallzahl-differenzen zeigten die Artenunterschiede bei den Sedimentationswerten über die Jahre eine größere Stabilität. Der Dinkel wies gefolgt vom Saatweizen die höchsten, das Einkorn die niedrigsten Sedimentationswerte auf. Während der Saatweizen auf die Anbauintensität in I 4 mit einem markanten Anstieg der Sedimentationswerte reagierte, blieben die Reaktionen der alten Arten wesentlich geringer (Tab. 6).

Tabelle 5: Anteile voll- und teilglasiger Körner (%) und Rohproteingehalt (%) des marktfähigen Kornguts der Weizenarten^{+) in Abhängigkeit von den Versuchsjahren und der Anbauintensität}Table 5: Shares of waxy and partly waxy grains (%) and protein content (%) of the marketable grain yields of the wheat species^{+) in dependence on the year and the production intensity level}

Arten Jahr	Saatdichte kf. Kö. m ⁻²	Anteil Körner (%) vollglasig teilglasig ¹⁾		Anteil Körner (%) vollglasig teilglasig ¹⁾		Rohproteingehalt Korn (%)	
		I 1	I 4	I 1	I 4	I 1	I 4
1999							
Dinkel	150	5,0 e	69,7	2,7 e	91,0	17,14 a	20,60 a
Einkorn	150	0 f	1,0	0 f	1,0	15,94 b c	20,76 a
Emmer	150	66,3 b	19,7	95,3 a	6,3	15,68 b c	20,65 a
Orient. Weizen	150	88,0 a	5,3	92,3 a b	4,0	16,48 a b	20,10 a b
Orient. Weizen	300	84,0 a	10,7	86,0 b	8,3	16,57 a b	19,87 a b
Saatweizen	300	3,3 e	21,0	44,3 d	32,0	11,68 f	15,19 d
Mittelwert über Arten		37,6	26,6	57,0	25,4	15,08 c	19,04 a
2000							
Dinkel	150	1,7 d	86,7	4,0 e	93,0	17,07 a	22,45 a
Einkorn	150	0 d	0,7	0 f	0	17,26 a	23,40 a
Emmer	150	74,0 a	19,7	96,0 a	2,7	16,84 a	23,09 a
Orient. Weizen	150	84,3 a	14,0	84,7 b	9,7	15,32 b	21,04 b
Orient. Weizen	300	77,3 a	20,3	78,7 b c	10,3	14,82 b	19,96 b c
Saatweizen	300	10,7 c	37,3	37,3 d	53,7	11,02 d	16,46 f
Mittelwert über Arten		39,9	33,5	51,2	32,9	14,45 c	20,05 a
2001							
Dinkel	150	8,7 e	46,7	23,0 d	75,3	16,26 b	20,98 a b
Einkorn	150	79,0 a	21,0	56,7 b c	49,0	17,40 a	21,69 a
Emmer	150	71,7 a	18,7	92,7 a	7,3	15,40 b	20,68 b
Orient. Weizen	150	81,7 a	18,3	96,0 a	4,0		
Orient. Weizen	300	82,3 a	16,0	90,7 a	9,3		
Saatweizen	300	8,3 d e	19,7	49,0 c	40,0		
Mittelwert über Arten		46,6	27,0	64,8	31,7	16,38 ²⁾ d	21,12 a

1) nicht verrechnet

2) nur Dinkel, Einkorn und Emmer

3) Mittelwerte pro Spalte und Jahr, die mit einem gemeinsamen Buchstaben versehen sind, sind nach t-Test nicht signifikant verschieden

4) Means for a column and year, that have a letter in common are not significantly different according to a t-test

3.2 Mischungseffekte auf die Kornqualität der Mischbestände

Die marktfähigen Erträge der Mischbestände aus Orientalem Weizen und Saatweizen spiegeln auf den ersten Blick die anteilige Zusammensetzung der Bestände wider. Abnehmende Saatweizenanteile führten in beiden Intensitätsstufen, wie erwartet, zur Abnahme der marktfähigen Kornerträge (Tab. 7). Der Vergleich mit den reinbestandebasierten Erwartungswerten deutet jedoch an, dass in allen Mischungsvarianten, offensichtlich auch abhängig von den

Aufwuchsbedingungen, positive Mischungseffekte von bis zu 4 dt ha⁻¹ auf die vermarktbareren Kornerträge auftraten. In den Jahren 1999 und 2000 blieben die Effekte in I 1 und I 4 allerdings instabil, in I 2 und I 3 (nicht dargestellt) konnten Mehrerträge nachgewiesen werden. Hingegen erwiesen sich die Effekte im Jahr 2001 nahezu durchgängig in allen Intensitätsstufen signifikant (Tab. 7). Mit diesen Effekten auf die Höhe der marktfähigen Kornerträge der Mischbestände sind Effekte auf deren Qualitätseigenschaften verbunden. Von möglichen Mischungseffekten abgesehen resultierten die Qualitätseigenschaften der

Tabelle 6: Fallzahlen (sec) und Sedimentationswerte (ml) des marktfähigen Kornguts der Weizenarten^{+) in Abhängigkeit von den Jahren und der Anbauintensität}Table 6: Falling numbers (sec) and sedimentation values (ml) of the marketable grain yields of the wheat species^{+) in dependence of the year and the production intensity level}

Arten Jahr	Saatdichte (kf. Kö. m ⁻²)	Fallzahl (sec)		Sedimentationswert (ml)	
		I 1	I 4	I 1	I 4
1999					
Dinkel	150	324 c	365 a b	28 a	29 a
Einkorn	150	305 c	175 c	12 d	11 e
Emmer	150	356 a c	63 d	15 b c	15 c
Orient. Weizen	150	299 c	62 d	12 d	12 d e
Orient. Weizen	300	301 c	62 d	15 b c	14 c d
Saatweizen	300	437 a b	452 a	18 b	28 a
OW + SW	150+150	458 a	278 b	15 b c	22 b
OW + SW	200+100	350 b c	314 b	13 c d	23 b
OW + SW	250+ 50	377 a c	146 c d	12 d	16 c
Mittelwert über Arten		356 a	213 c	15 b	19 a
2000					
Dinkel	150	148 b	63 c	26 a	28 c
Einkorn	150	132 b	62 c	4 f	11 e
Emmer	150	63 b	62 c	10 e	11 e
Orient. Weizen	150	63 b	62 c	11 d e	12 e
Orient. Weizen	300	62 b	62 c	11 d e	12 e
Saatweizen	300	364 a	412 a	21 b	40 a
OW + SW	150+150	336 a	302 b	20 b c	33 b
OW + SW	200+100	340 a	117 c	18 c	31 b c
OW + SW	250+ 50	158 b	115 c	13 d	21 d
Mittelwert über Arten		185 a	140 a	15 c	22 a
2001					
Dinkel	150	383 b	362 b	27 a	33 a
Einkorn	150	387 b	317 b	6 e	13 d
Emmer	150	373 b	334 b	10 d	10 e
Orient. Weizen	150	455 a b	572 a	12 d	14 d
Orient. Weizen	300	505 a b	454 a b	12 d	14 d
Saatweizen	300	378 b	429 a b	21 b	33 a
OW + SW	150+150	464 a b	418 a b	22 b	34 a
OW + SW	200+100	447 a b	457 a b	21 b	25 b
OW + SW	250+ 50	573 a	465 a b	17 c	33 a
Mittelwert über Arten		440 a	423 a b	16 c	23 a

^{+) Mittelwerte pro Spalte und Jahr, die mit einem gemeinsamen Buchstaben versehen sind, sind nach t-Test nicht signifikant verschieden}

^{+) Means for a column and year, that have a letter in common are not significantly different according to a t-test}

artengemischten Kornerträge aus zu- bzw. abnehmenden quantitativen Anteilen der Mischungspartner, die zusätzlich auf unterschiedlichem Niveau ausgeprägte Qualitätsunterschiede aufwiesen.

Die Fallzahl unterlag bereits in den Reinbeständen von Orientalischem Weizen – im Gegensatz zu den Reinbestän-

den von Saatweizen – starken aufwuchs- und abreifebedingten Schwankungen, die auch den Einfluss der Anbauintensität unkenntlich machen (Tab. 6). Gleichmaßen lassen die variierenden Mischungseffekte der Mischbestände keine nutzbare Information zu, die Darstellung unterbleibt daher. Hingegen zeigten die Sedimentationswerte des

Tabelle 7: Mischungseffekte in Mischbeständen aus Orientalischem Weizen + Saatweizen (OW+SW) auf den marktfähigen Kornertrag (dt ha⁻¹) im Jahr 2001 in Abhängigkeit von der Anbauintensität

Table 7: Mixing effects in mixed stands of *T. turanicum* + *T. aestivum* (OW+SW) on the marketable grain yield (dt ha⁻¹) in the year 2001 in dependence on the production intensity level

Jahr	Intensität		Marktfähiger Kornertrag (dt ha ⁻¹)				
			Reinbestand Orient. Weizen	OW + SW 150+150 (kf. Kö. m ⁻²)	OW + SW 200+100 (kf. Kö. m ⁻²)	OW + SW 250+50 (kf. Kö. m ⁻²)	Reinbestand Saatweizen
2001	I 1	EW ¹⁾	20,3	24,80	23,30	21,80	29,3
		GW ¹⁾		28,90	27,60	22,90	
		ME ¹⁾		+4,10***	+4,30***	+1,10	
	I 4	EW	26,7	36,75	33,40	30,05	46,8
		GW		39,30	36,70	32,60	
		ME		+2,55*	+3,30**	+2,55*	

1) EW = Erwartungswert
GW = gemessener Wert
ME = Mischungseffekt

2) * signifikant bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
** signifikant bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
*** signifikant bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 8: Mischungseffekte in Mischbeständen aus Orientalischem Weizen + Saatweizen (OW+SW) auf den Sedimentationswert (ml) in Abhängigkeit von den Jahren und der Anbauintensität

Table 8: Mixing effects in mixed stands of *T. turanicum* + *T. aestivum* (OW+SW) on the sedimentation value (ml) in dependence on the years and the production intensity level

Jahr	Intensität		Sedimentationswert (ml)				
			Reinbestand Orient. Weizen	OW + SW 150+150 (kf. Kö. m ⁻²)	OW + SW 200+100 (kf. Kö. m ⁻²)	OW + SW 250+50 (kf. Kö. m ⁻²)	Reinbestand Saatweizen
1999	I 1	EW ¹⁾	15	16,5	16,0	15,5	18
		GW ¹⁾		15,0	13,0	12,0	
		ME ¹⁾		-1,5	-3,0*	-3,5*	
	I 4	EW	14	21,0	18,7	16,3	28
		GW		22,0	23,0	16,0	
		ME		+1,0	+4,3*	-0,3	
2000	I 1	EW	11	16,0	14,3	12,7	21
		GW		20,0	18,0	13,0	
		ME		+4,0***	+3,7**	+0,3	
	I 4	EW	12	26,0	21,3	16,7	40
		GW		33,0	31,0	23,0	
		ME		+7,0***	+9,7***	+6,3***	
2001	I 1	EW	12	16,5	15,0	13,5	21
		GW		22,0	21,0	17,0	
		ME		+5,5***	+6,0***	+3,5**	
	I 4	EW	14	23,5	20,3	17,2	33
		GW		34,0	25,0	33,0	
		ME		+10,5***	+4,7***	+15,8***	

1) EW = Erwartungswert
GW = gemessener Wert
ME = Mischungseffekt

2) * signifikant bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
** signifikant bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
*** signifikant bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit

Kornguts der Mischbestände in den Jahren 2000 und 2001 durchgängig positive Mischungseffekte (Tab. 8). Hier hob im Sinne von Aufmischeffekten der besser backfähige Saatweizen in Mischung mit dem Orientalischen Weizen die Backfähigkeit der Mischung über die Erwartungswerte hinaus an. Allerdings traten im Jahr 1999, insbesondere in I 1, auch negative Mischungseffekte auf.

4 Diskussion

Wird die Vorgabe für Saatweizen zugrunde gelegt, die besagt, nur Korngut > 2,2 mm Querdurchmesser ist marktfähig, erreichte von den alten Weizenarten nur der Orientalische Weizen dem Saatweizen vergleichbar hohe Anteile an Marktware. Jedoch bildete der Orientalische Weizen zwar sehr große, aber eben nur wenige Körner je Ähre aus, der Harvestindex blieb relativ gering (AUFHAMMER et al., 2012), die marktfähigen Kornerträge je Hektar betragen nur etwa 60 % der marktfähigen Kornerträge von Saatweizen. Die gleichen Zusammenhänge gelten prinzipiell für die spelzenfreien, vermarktbareren Dinkelkornerträge je Hektar, die ähnliche Differenzen zum Saatweizeniveau aufwiesen. Hohe Marktfähigkeit kann fehlende Ertragsfähigkeit nicht ersetzen. Jedoch erlaubt die Kornausbildung von Orientalischem Weizen und Dinkel durchaus den Einsatz der für Saatweizen gültigen Sortierungsvorgaben. Für die Bewertung des Kornguts der beiden schmalkörnigen Weizenarten Emmer und insbesondere Einkorn gilt dies nicht. Wenn beim Einkorn selbst mit intensiver Produktionstechnik, also einer Folge von Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen, der marktfähige Kornanteil maximal 55 % und der marktfähige Kornertrag nur 17 dt ha⁻¹ erreichten, also knapp die Hälfte des erzeugten Kornguts nicht verarbeitungswürdig erscheint, ist die Schranke von 2,2 mm Kornquerdurchmesser nicht brauchbar. Artenspezifisch schmalkörniges Gut verlangt engere Vorgaben. Wenn damit auch eine geringere Mehlausbeute verbunden ist, kann andernfalls ein Anbau seinen Zweck nicht erfüllen. Zusammengefasst machen die Ergebnisse deutlich, dass die marktfähigen Kornerträge von Dinkel, Emmer und Orientalischem Weizen über die Produktionstechnik um bis zu 40–60 % und damit in einer ähnlichen relativen Größenordnung anhebbar waren, wie die des Saatweizens, jedoch war dessen Low-Input-Ertragsniveau absolut etwa doppelt so hoch wie das der alten Arten. Somit verbesserte die Anbauintensivierung die äußere Kornqualität der alten Arten deutlich, führte absolut aber nicht zu einer Redukti-

on, sondern zu einer Vergrößerung der Ertragsdifferenzen gegenüber dem Saatweizen.

Auch infolge der geringeren Fähigkeit, Reservekohlehydrate in Form von Kornmasse zu speichern, wies das Korngut der alten Weizenarten um bis zu 6 % mehr Rohprotein und zumeist wesentlich höhere Glasigkeitsgrade als das des Saatweizens auf. Letzteres traf beim Einkorn nur im Jahr 1999 zu. Darüber hinaus ist die differierende Kornstruktur und die Reaktionsfähigkeit auf die Aufwuchsbedingungen weitgehend genetisch vorgegeben. Auch die Fallzahlen des Kornguts von Saatweizen nahmen zu, die Fallzahlen der alten Arten gingen eher zurück. Über die Produktionstechnik sind artenspezifische Kornqualitätsdefizite offensichtlich nur unsicher und in geringem Umfang zu beheben.

In den Mischbeständen aus Orientalischem Weizen und Saatweizen traten sowohl beim marktfähigen Kornertrag als auch bei den Sedimentationswerten Mischungseffekte auf. Zwar ist die Größenordnung der Mehrerträge begrenzt, bereits bei den Druscherträgen wurden aber gleichgerichtete Effekte nachgewiesen (AUFHAMMER et al., 2012). Aus den Mischbeständen resultierte Korngut des Orientalischen Weizens mit relativ niedrigen Sedimentationswerten in Mischung mit Saatweizenkorngut, das wesentlich höhere Sedimentationswerte aufwies. Diese Kombination führte beim Mahlprodukt zu Aufmischeffekten. Die Fähigkeit des Mehls von Genotypen mit hoher Backfähigkeit, das Mehl gering backfähiger Genotypen über die Mischungsproportionen hinaus zu verbessern, ist bekannt. Dieser Effekt ist auch bei der Verarbeitung von Korngut alter Weizenarten nutzbar. Natürlich kann Korngut aus relevanten Reinbeständen besser in exakten Anteilen gemischt werden. Mit dem Mischanbau lassen sich aber quantitative Ertragsvorteile mit qualitativen Vorteilen für die Weiterverarbeitung des Kornguts kombinieren.

Literatur

- ABDEL-AAL, E.-S.M., P. HUCL and F.W. SOSULSKI (1995): Compositional and nutritional characteristics of spring Einkorn and spelt wheats. *Cereal Chem.* 72, 621–624.
- ANONYMUS (2000): Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffel). Bundessortenamt Hannover (Hrsg.), Landbuch-Verlag, Hannover.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT GETREIDEFORSCHUNG e. V. (AGF) (1994): Standardmethoden für Getreide, Mehl und Brot. Verlag M. Schäfer, Detmold.

- AUFHAMMER, W. (2003): Rohstoff Getreide. Ulmer Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2012): Zur Ertragsfähigkeit alter Weizenarten. *Die Bodenkultur* 63 (2), 39–49.
- BORCHI, B., R. CASTAGNA, M. CORBELLINI, M. HEUN and F. SALAMINI (1996): Breadmaking quality of Einkorn wheat. *Cereal Chem.* 73, 208–214.
- GRAUSGRUBER, H., C. SAILER and P. RUCKENBAUER (2004): Khorasan wheat, Kamut® and ‘Pharaonenkorn’: Origin, characteristics and potential. 55. Tagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 75–80.
- KLING, C.J., J. BREUER und K. MÜNZING (2006): Eignung alter Weizenkulturen für heutige Anforderungen. *Getreidetechnologie* 60 (1), 55–60.
- PIEPHO, H.-P. (2004): An algorithm for a letter-based representation of all-pairwise comparisons. *J. Comput. Graph. Stat.* 13, 456–466.
- PIEPHO, H.-P., E.R. WILLIAMS and M. FLECK (2006): A note on the analysis of designed experiments with complex treatment structure. *HortScience* 41 (2), 446–452.
- PIEPHO, H.-P. (2012): A SAS macro for generating letter displays of pairwise mean comparisons. *Communications in Biometry and Crop Science* 7 (1), 4–13.
- STALLKNECHT, G.F., K.M. GILBERTSON and J.E. RANNEY (1996): Alternative wheat cereals as food grains: Einkorn, Emmer, Spelt, Kamut and Triticale. In J. Janick (ed.), *Progress in new crops*. ASHS Press, Alexandria, VA., 156–170.
- WINKLER, R., S. BOTTERBRODT, E. RABE und M.G. LINDHAUER (2000): Stickstoff-/Proteinbestimmung mit der Dumas-Methode in Getreide und Getreideprodukten. *Getreide, Mehl und Brot* 54 (2), 86–91.

Anschrift der Autoren

Prof. Dr. W. Aufhammer, Dr. E. Kübler, Prof. Dr. H.-P. Piepho, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, 70599 Stuttgart, Deutschland
E-Mail: piepho@uni-hohenheim.de

Eingelangt: 19. Juni 2013

Angenommen: 31. Januar 2014