

Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosen-Beständen auf den Kornertrag in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

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

Mixing effects in cereal-grain legume stands in dependence of the mixing ratio

1 Einleitung und Problemstellung

Mischbestände, zusammengesetzt aus mehreren Körnerfruchtarten oder verschiedenen Sorten einer Art, besitzen gegenüber arten- und sortenreinen Beständen eine größere Dynamik. Als Reaktionsvermögen auf unvorhersehbar wechselnde Aufwuchsbedingungen verstanden, ist die Dy-

namik zweifellos ein Vorzug. Die Ertragsrelevanz im Verlauf einer Vegetationsperiode sowohl, wie über mehrere Vegetationsperioden oder Standorte variierender Wachstumsbedingungen, bleibt in Mischbeständen geringer als in Reinbeständen, es sei denn, Reinbestände werden durch spezifische produktionstechnische Maßnahmen gestützt (DANSO et al., 1987; HELENIUS und RONNI, 1989; JOKINEN 1991a, b;

Summary

The problem was: how important are the proportions of a cereal component and a grain legume component in a mixed stand for the grain yields under low input conditions. To investigate this problem, a two years field experiment was conducted. Yields of stands, mixed in different ratios and established on terms of substitution or addition were compared to the expected values, based on pure stands, or to the better yielding components in pure stands. Especially in stands of substitution by lens, the results revealed positive mixing effects. In principle these effects were not dependent on the mixture ratio. In all cases in which the seeding rate of legumes exceeded 50%, the grain yield level of the mixtures decreased. Stands established on terms of addition were not able to reach the high expected values. Nevertheless there were combinations, which caused positive mixing effects in comparison to the better yielding components. But the results did not allow to derive a correlation to the size of the added legume proportion. Definitely the results demonstrated that pure stands were not able to exploit the yielding potential of the given growing conditions.

Key words: Mixed stands, mixing effects, cereal components, grain legume components, grain yield.

Zusammenfassung

Die Frage, welche Bedeutung dem Mischungsverhältnis in Beständen aus einer Getreide- und einer Körnerleguminosenkomponente unter Low-Input-Bedingungen für das Kornertragsvermögen zukommt, wurde zweijährig in Feldexperimenten untersucht. In verschiedenen Mischungsverhältnissen erstellte Substitutions- und Additionsbestände wurden den reinbestandesbasierten Erwartungswerten und der jeweils leistungsfähigeren Komponente gegenübergestellt. Insbesondere in den Substitutionsbeständen mit der Linse zeigten sich positive Mischungseffekte im Prinzip unabhängig von der anteiligen Zusammensetzung. Das Ertragsniveau der Substitutionsbestände sank jedoch, wenn der Leguminosenanteil das Übergewicht erhielt. Die Additionsbestände konnten die hohen Erwartungswerte nicht erreichen. In einigen Kombinationen traten positive Mischungseffekte gegenüber der leistungsfähigeren Komponente auf. Ein nachvollziehbarer Einfluss der Größe des addierten Anteils konnte nicht abgeleitet werden. Eindeutig war, dass das Ertragspotenzial der Aufwuchsbedingungen durch die Reinbestände nicht ausgeschöpft werden konnte.

Schlagworte: Mischbestände, Mischungseffekte, Getreidekomponenten, Körnerleguminosenkomponenten, Kornertrag.

SNAYDON, 1991; BULSON et al., 1997; AUFHAMMER, 1999; RAUBER et al., 2000, 2001; HOF und RAUBER, 2003; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b). Natürlich stehen den Vorteilen des größeren dynamischen Potenzials von Mischbeständen eine ganze Reihe produktionstechnischer, ertrags- und qualitätsrelevanter Nachteile gegenüber (AUFHAMMER, 1999). Nichtsdestoweniger, unterbleiben – aus welchen Gründen auch immer – produktionstechnische Eingriffe, sind Mischbestände Reinbeständen offensichtlich in der Fähigkeit, Wachstumsfaktoren zu nutzen und Schadfaktoren abzapuffern, überlegen (ANDERSEN et al., 1983; BULSON et al., 1997).

Das dynamische Potenzial eines Mischbestandes hängt von den Eigenschaften und Ansprüchen der beteiligten Arten und Sorten ab. Die Saatchichten und die Anteile der Mischungspartner an den Ausgangsbeständen dürften, abhängig von den Aufwuchsbedingungen, ebenfalls Einfluss nehmen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Art gegebenenfalls bereits in der Aufgangsphase im Mischbestand andere Bedingungen vorfindet als im Reinbestand und die Effekte von den Anteilen der Mischungskomponenten abhängig sein können. Vermehrt gilt dies im Verlauf der weiteren Bestandesentwicklung. Die arten- und sortenverschiedenen Individuen in einem Mischbestand interagieren anders als die arten- und sortengleichen Individuen in einem Reinbestand. In der Konsequenz entsprechen die Leistungen von Mischbeständen häufig nicht den aus den Reinbeständen der Mischungskomponenten abgeleiteten Erwartungswerten (WEIL und MCFADDEN, 1991; AUFHAMMER, 1999; RAUBER et al., 2000, 2001; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b). Die Differenzen, die positiv oder negativ sein können, werden als Mischungseffekte bezeichnet.

Zur Leistungsfähigkeit von Mischbeständen, in denen Getreide- und Leguminosenkomponenten mit gleichen Reinsaatdichteanteilen substituiert oder addiert wurden, erfolgte bereits eine Ergebnispräsentation (AUFHAMMER et al., 2004, 2005 a, b). Mit dem vorliegenden Beitrag wird die Problemstellung auf die Variation der Artenanteile ausgeweitet. Es resultiert folgende Frage: Unter welchen Aufwuchsbedingungen über- oder unterschreiten die Kornerträge von Mischbeständen in Abhängigkeit von den Komponentenanteilen bei der Saat entweder die reinbestandsbasierten Erwartungswerte oder den Kornertrag der besten Komponente im Reinbestand, wenn Zweikomponenten-Mischbestände, nach dem Substitutions- oder dem Additionsprinzip in breiter Anteilsvariation kombiniert, die Grundlage bilden?

Ausgerichtet auf die Beantwortung dieser Frage wurden zweijährig mehrfaktorielle Feldversuche zur Erhebung relevanter Daten durchgeführt.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Die Feldversuche (Spaltanlage, 3 Wiederholungen) wurden 2002 und 2003 auf der Versuchsstation für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Ihinger Hof (470–500 m NN, 8,2 °C mittlere Tagestemperatur, 690 mm, schluffreiche, zur Verschlammung neigende Parabraunerde) der Universität Hohenheim durchgeführt. Hierbei wurden die Getreidearten Sommerweizen und Nackthafer mit den lageranfälligen Körnerleguminosenarten Erbse und Linse zu Zweikomponentenmischbeständen kombiniert und den jeweiligen Reinbeständen gegenübergestellt. Die Variation der Aufwuchsbedingungen und der Mischbestände gibt die Tabelle 1 wieder. Die N-Versorgung (Haupteinheit) umfasste zwei Stufen. In der Stufe N₁ unterblieb eine N-Zufuhr. In der Stufe N₂ wurde vor der Saat auf den noch gefrorenen Boden so viel Gülle ausgebracht, dass ca. 50 kg Stickstoff ha⁻¹ in Ammoniumform vorlagen. Im Jahr 2003 konnten die Trockensubstanz- und die NH₄-Gehalte der Gülle erst nach der Ausbringung ermittelt werden. Der Analyse zufolge wurden mit derselben Güllemenge wie im Jahr 2002 im Jahr 2003 nur 25 kg ha⁻¹ NH₄-Stickstoff ausgebracht. Um die Aussaat nicht weiter zu verzögern, wurden weitere 25 kg N ha⁻¹ durch eine Entec-Gabe zur Saat ausgebracht.

Die Artenkombinationen bildeten die Untereinheiten. Die Reinbestände und die Mischbestände (Unter-Untereinheiten) wurden innerhalb der Blöcke zufällig verteilt. Jede der zwei Getreide- und der zwei Leguminosenarten war durch eine bewährte Sorte repräsentiert. Die Saatchichten der Reinbestände betragen bei den Getreidearten 300, bei der Linse 160 und bei der Erbse 80 keimfähige Körner m⁻². In den Mischbeständen wurden nach dem Substitutionsprinzip 25, 50 oder 75 % einer Komponente durch die andere ersetzt. Nach dem Additionsprinzip wurden zur Saatchichte der Getreidekomponente 25, 50, 75 oder 100 % der Saatchichte der Leguminosenkomponente addiert (Tabelle 1). Zur Aussaat wurden die Mischungskomponenten für jede Parzelle getrennt abgewogen und unmittelbar vor der Aussaat gemischt. Die Saat erfolgte in einer Überfahrt bei einheitlicher Saattiefe (3–4 cm) im Getreidereißenabstand (12 cm) mit der Ojord-Parzellendruckmaschine. Aufgrund der

Tabelle 1: Versuchsanlage – Rein- und Mischbestände

Table 1: Experimental design – pure stands and mixed stands

I N-Angebot

N₁ = Bodenbürtiges N-Angebot, symbiotische N-Bindung, keine N-Düngung

N₂ = wie N₁, eine zusätzliche Güllegabe (~ 50 kg ha⁻¹ Ammonium-N) wurde 2002 vor der Saat auf den gefrorenen Boden ausgebracht. 2003 enthielt die Gülle sehr geringe TS- und N-Gehalte.

Güllegabe: 25 kg ha⁻¹ Ammonium-N + Entecgabe: 25 kg ha⁻¹ Ammonium-N

II Bestände (Rein- und Mischbestände)

Reinbestände

Arten	Sorten	Saadichten (keimfähige Körner m ⁻²)
Sommerweizen	(S) Quattro ¹⁾	300
Nackthafer	(H) Salomon ¹⁾	300
Linsen	(L) Anicia ²⁾	160
Erbsen	(E) Madonna ¹⁾	80

Mischbestände

Arten und Artenkombinationen		Rein- und Substitutionsbestände (keimfähige Körner m ⁻²)		Additionsbestände (keimfähige Körner m ⁻²)	
S	H	300	Reinbestand		
S + L	H + L	225 + 40	(¾ + ¼)		
S + L	H + L	150 + 80	(½ + ½)		
S + L	H + L	75 + 120	(¼ + ¾)		
	L	160	Reinbestand		
S + L	H + L	300 + 40		(1 + ¼)	
S + L	H + L	300 + 80		(1 + ½)	
S + L	H + L	300 + 120		(1 + ¾)	
S + L	H + L	300 + 160		(1 + 1)	
S	H	300	Reinbestand		
S + E	H + E	225 + 20	(¾ + ¼)		
S + E	H + E	150 + 40	(½ + ½)		
S + E	H + E	75 + 60	(¼ + ¾)		
	E	80	Reinbestand		
S + E	H + E	300 + 20		(1 + ¼)	
S + E	H + E	300 + 40		(1 + ½)	
S + E	H + E	300 + 60		(1 + ¾)	
S + E	H + E	300 + 80		(1 + 1)	

¹⁾ ANONYMUS, 2002

²⁾ HORNEBURG, 2003

guten P-, K-Versorgung (25 bzw. 21 mg pro 100 g Boden; EUF-Methode) wurde auf eine Grunddüngung verzichtet. Eine Saatgutbeizung bzw. eine -impfung unterblieb ebenso, wie die Applikation von Bioziden und Wachstumsregulatoren. Die Unkrautbekämpfung erfolgte mechanisch.

Vor dem Drusch wurde aus jeder Parzelle der Rein- und Mischbestände durch einen Schnitt ca. 5 cm über der Bodenoberfläche eine Sprossmasseprobe (1 m²) entnommen und anschließend von Hand in die Komponenten getrennt. Nach dem Drusch der Restparzelle (11 m²) wurde das Korngut getrocknet und einer Reinigung unterzogen. Anschließend wurde eine Teilprobe (1 kg) mit dem Probenteiler getrennt und von Hand in die Komponenten und den Besatz (Unkrautsamen, nicht zuordenbares Bruchkorn)

separiert. Die Anteile wurden gewichtsmäßig erfasst. Daraus wurde der anteilige Beitrag der Arten zum Kornertrag des Mischbestandes kalkuliert. Die Ertragsdaten werden als besatzfreie Korntrockenmasse angegeben. Ausgehend von der Problemstellung stehen im vorliegenden Beitrag die Mischungseffekte auf die Korntrockenmasseerträge im Mittelpunkt.

2.2 Kalkulation der Erwartungswerte und der Mischungseffekte

Zur Ermittlung der Mischungseffekte auf den Kornertrag wurde zunächst aus den Saadichteanteilen der jeweils an

Tabelle 2: Definition des Erwartungswertes (EW) und der Mischungseffekte (ME₁, ME₂)
 Table 2: Definition of the expected value (EW) and of the mixing effects (ME₁, ME₂)

Erwartungswert (EW)

des Merkmals Kornenertrag einer Mischung aus den Komponenten Sommerweizen und Linse

Mit den Anteilen der Komponenten am Mischbestand gewichteter arithmetischer Mittelwert aus den vergleichbaren Reinbeständen der beteiligten Komponenten. Bezugsbasis sind die Saatkulturen der Reinbestände.

Mischungseffekte: (ME₁, ME₂) des Merkmals Kornenertrag

Differenz zwischen dem gemessenen Wert (GW) eines Merkmals im Mischbestand und dem Erwartungswert des Merkmals [GW – EW = ME₁] oder:

Differenz zwischen dem gemessenen Wert und dem Wert der leistungsfähigsten Komponente im Reinbestand [GW – Wert der besten Komponente = ME₂]

Beispiel für die Kalkulation von Erwartungswerten, Daten aus dem Jahr 2003

Kornenerträge (dt ha ⁻¹)	Sommerweizen (S)	N ₁	35,24
	Linse (L)	N ₁	23,58

Kalkulation von ME ₁ bzw. ME ₂ (dt ha ⁻¹)	Substitutionsbestand		Additionsbestand
Saadichterelationen $\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$	225 + 40		300 + 80
Reinbestandsertrag S $\times \frac{3}{4}$	26,43	Reinbestandsertrag S $\times 1$	35,24
Reinbestandsertrag L $\times \frac{1}{4}$	5,90	Reinbestandsertrag L $\times \frac{1}{2}$	11,79
EW	32,33		47,03
GW (Mischung S + L)	41,86		43,93
ME ₁	+9,53		-3,10
Reinbestandsertrag der besten Komponente, das ist Sommerweizen: 35,24 dt (EW)			
EW	35,24		35,24
GW (Mischung S + L)	41,86		43,93
ME ₂	+6,62		+8,69

einem Mischbestand beteiligten Komponenten und aus den, um den Besatzanteil bereinigten Druscherträgen ihrer Reinbestände ein Erwartungswert (EW) kalkuliert. Ein Beispiel hierfür ist in Tabelle 2 gegeben. Der kalkulierte EW wurde dem gemessenen Kornenertrag (GW) des Mischbestandes gegenübergestellt. Die Differenz zwischen Erwartungswert (EW) und gemessenem Wert (GW) stellt den Mischungseffekt 1 (ME₁) dar. Zusätzlich wurde der gemessene Ertrag des Mischbestandes mit dem der leistungsfähigsten Komponente im Reinbestand verglichen. Diese Differenz wird als Mischungseffekt 2 (ME₂) bezeichnet.

2.3 Auswertung der erhobenen Daten

Für die Mittelwertvergleiche der Rein- und Mischbestände (Tabelle 4, 5, 6) wurden je Prüfglied die Summen über beide Mischungspartner berechnet und nach einem Modell für eine Spalt-Spaltanlage überprüft. Die Unbalanciertheit der Daten führt dazu, dass der Standardfehler einer Diffe-

renz und somit die Grenzdifferenz basierend auf einem t-Test nicht immer konstant ist. In den meisten Fällen ist die Schwankung der Grenzdifferenzen jedoch gering. Deshalb wurde jeweils eine mittlere Grenzdifferenz (GD) berechnet. Bei größeren Schwankungen werden außerdem Minimum und Maximum in einer Fußnote angegeben. Für die zusammenfassende Auswertung über zwei Jahre wurde eine Serienauswertung vorgenommen, bei welcher der Faktor Jahr als zufällig betrachtet wurde (PIEPHO et al., 2003; PIEPHO, 2004).

Bei den Artenmischungen liegen je Parzelle Messwiederholungen für die Mischungskomponenten vor. Um die Messwiederholungen zu modellieren, wurde für die drei artspezifischen Fehlerterme (Haupt-, Unter- und Unteruntereinheiten) die so genannte Compound-Symmetry Varianz-Kovarianz-Struktur angepasst. Mischungseffekte werden als lineare Kontraste formuliert und getestet. Der Kontrast für den Vergleich einer Mischung mit dem Erwartungswert nach dem Substitutions- bzw. Additionsprinzip (Mischungseffekt 1, ME₁) wurde mit einem t-Test zum Niveau 5 % geprüft.

Beim Vergleich des Kornertrages eines Mischbestandes mit dem jeweils besten Reinbestand der an der Mischung beteiligten Komponenten (Mischungseffekt 2, ME_2) wurde eine Multiplizitätsadjustierung nach Bonferroni vorgenommen, also ein t-Test zum Niveau 2,5 % statt der üblichen 5 %. Die Freiheitsgrade wurden mit der Kenward-Roger-Methode berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Aufwuchsbedingungen

Die Kornerträge der Reinbestände erlauben einen Vergleich der Ertragsniveaus mit einer Charakterisierung vermutlich relevanter Aufwuchseinflüsse (Tabelle 3). Der Sommerweizen lag mit bis zu knapp 50 dt ha⁻¹ am oberen Ende, die Linse mit bis zu 24 dt ha⁻¹ am unteren Ende der Kornertragsskala. Trotz einer rund 20 Tage längeren Vegetationszeit und eines mit 38 gegenüber 32 kg N ha⁻¹ ähnlichen N_{\min} -Gehaltes im Boden vor der Saat, blieb das Kornertragsniveau im Jahr 2002 durchgängig erheblich geringer als im Jahr 2003 (Tabelle 3). Als Ursache kommen extreme Witterungsabschnitte in Betracht, die die Bestandes- und die Ertragsbildung im Jahr 2002 bereits in frühen Entwicklungsphasen gravierend beeinträchtigten. Kurz nach der Saat führten Niederschläge zu Oberflächenverschlammungen. Eine über 20 Tage andauernde Spätfrostperiode mit Nachttemperaturen bis -9°C folgte. Darunter litt insbesondere der Feldaufgang der bereits keimenden Getreidearten. Die Bestände entwickelten sich uneinheitlich. Eine Hitzeperiode Anfang Mai beschleunigte den Schossverlauf und begrenzte das Ertragspotenzial zusätzlich. Demgegenüber konnten im Jahr 2003 relativ einheitliche Ausgangsbestände bei gleichmäßigerer Entwicklung höhere Kornerträge realisieren.

In den Linsenreinbeständen trat Lager auf. Krankheits- oder Schädlingsbefall konnte in keinem der beiden Versuchsjahre in nennenswertem Umfang beobachtet werden.

3.2 Kornertragsniveau der Mischbestände

In der Tabelle 4 sind die Kornertragsmittelwerte der insgesamt sieben unterschiedlich zusammengesetzten Mischbestände in Interaktion mit den Jahren, den N-Stufen und den Artenkombinationen den entsprechenden Mittelwerten der Getreide- bzw. der Leguminosenreinbestände gegenübergestellt, um das Ertragsniveau der Mischbestände einzuordnen. Substitutionsbestände, die überwiegend Leguminosen ($\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$) enthielten, ausgenommen, übertrafen die substituierten und die additiven Mischbestände teils signifikant teils tendenziell die Kornerträge der Reinbestände. Im Versuchsmittel betrug die Größenordnung des Mehrertrags der anteilig unterschiedlichen Mischbestände gegenüber dem Mittel der Getreidereinbestände bis zu 5 dt ha⁻¹, gegenüber dem Mittel der Leguminosenreinbestände bis zu 10 dt ha⁻¹. Im Vergleich der einzelnen Kombinationen, also des Weizen-Linsen- oder des Hafer-Linsenbestandes mit dem Linsenreinbestand, sind die Differenzen noch wesentlich größer. Daneben ist ein Trend zu einem geringfügig höheren Ertragsniveau der Additions- verglichen mit den Substitutionsbeständen nicht zu übersehen (Tabelle 4).

3.3 Mischungseffekte

Die Erwartungswerte basieren anteilig (Substitution) oder additiv (Addition) auf den Reinbestandsenerträgen der beteiligten Komponenten. Den Erwartungswerten (EW) werden zur Bestimmung der Mischungseffekte 1 (ME_1) die gemessenen Kornerträge (GW) der Mischbestände gegenübergestellt (Tabelle 5, 6). Die Mischbestände aus Weizen oder Hafer mit der Linse zeigten nahezu durchgängig signifikante positive Mischungseffekte. Diese Effekte traten unabhängig von den Aufwuchsbedingungen (Jahre, N-Stufen) auf. Zwischen den anteilig verschieden zusammengesetzten Beständen unterschieden sich die Mischungseffekte

Tabelle 3: Kornerträge (dt ha⁻¹) der Getreide- und der Körnerleguminosen-Reinbestände in Abhängigkeit von den Jahren und dem Stickstoff-Angebot (N_1 , N_2)

Table 3: Grain yields (dt ha⁻¹) of the pure stands of cereals and grain legumes in dependence of the seasons and the nitrogen levels (N_1 , N_2)

Jahr	N-Angebot	Sommerweizen	Nackthafer	Linse	Erbse
2002	N_1	24,86	18,15	12,54	32,32
	N_2	29,72	25,07	13,36	29,19
2003	N_1	36,23	23,53	23,63	38,08
	N_2	48,67	35,36	18,52	37,50

Tabelle 4: Kornerträge (dt ha⁻¹) der Rein-, der Substitutions- und der Additionsbestände in Abhängigkeit von den Jahren, dem N-Angebot und den Artenkombinationen (Mittelwerte)Table 4: Grain yields (dt ha⁻¹) of the pure stands and the stands on terms of substitution and addition in dependence of the seasons, the nitrogen levels and the species combinations (mean values)

Faktoren	Reinbestand Getreide	Substitutionsbestände			Additionsbestände				Reinbestand Leguminosen	GD 5 %
		$\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$	$\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$	$1 + \frac{1}{4}$	$1 + \frac{1}{2}$	$1 + \frac{3}{4}$	$1 + 1$		
Versuchsmittel	30,26	33,89	34,63	31,55	34,01	35,50	35,93	35,76	25,79	2,15
Jahre										
2002	24,57	30,13	31,34	27,97	29,21	31,25	32,03	31,68	22,15	1,73
2003	35,94	37,64	37,92	35,12	38,80	39,74	39,82	39,84	29,43	1,57
N-Versorgung										
N ₁	25,73	31,04	32,58	30,54	29,85	32,54	33,59	33,75	26,94	2,84
N ₂	34,79	36,73	36,47	32,55	38,16	38,45	38,26	37,77	24,64	2,85
Artenkombinationen										
S + L	34,11	37,76	37,45	32,47	37,27	39,19	38,31	38,84	17,23	3,58
S + E	35,62	39,29	40,54	35,55	40,38	40,70	41,81	41,22	35,86	3,58
H + L	25,78	27,72	27,28	24,89	28,95	28,93	28,43	29,72	16,79	3,62
H + E	25,52	30,75	32,85	33,27	29,42	33,17	35,16	33,27	33,28	3,61

S = Sommerweizen, L = Linse, E = Erbse, H = Hafer

tendenziell insofern, als häufig die Bestände, die gleiche Reinsaatanteile beider Komponenten enthielten ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$), etwas größere Mischungseffekte und etwas höhere Kornerträge als die übrigen Bestände ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$ bzw. $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$) aufwiesen. In der Kombination der Getreidearten mit der Erbse zeichneten sich vorwiegend im Jahr 2002 gleichgerichtete Effekte ab. Auf dem höheren Ertragsniveau im Jahr 2003 sind hingegen die numerisch geringen Mischungseffekte nicht nachweisbar (Tabelle 5, 6).

Die gemessenen Erträge der Additionsbestände werden mit steigenden Leguminosenanteilen ansteigenden Erwartungswerten gegenübergestellt. Von vorneherein ist die Vorstellung, mit den Additionsbeständen die addierten Reinbestandserträge beider Komponenten zu erreichen, unrealistisch. Vielmehr sind in der Konsequenz in beiden Jahren und auf beiden N-Stufen negative Mischungseffekte in ansteigender Größenordnung gegenüber den reinbestandsbasierten Erwartungswerten nachzuweisen (Tabelle 5, 6).

Zur Feststellung des Mischungseffekts 2 (ME₂) wird der gemessene Kornertrag eines Mischbestandes seiner leistungsfähigsten Komponente im Reinbestand gegenübergestellt. Diese ist für die Substitutions- und die Additionsbestände einer Artenkombination identisch. Zur Prüfung des Mischungseffekts 2 wurde die Signifikanzschwelle bei 2,5 % fixiert, da der Mischbestand die gleiche Komponente bereits enthält (siehe Material und Methoden). Bei dieser Prüfintensität konnten nur Mischungseffekte > 6 dt ha⁻¹ statistisch nachgewiesen werden, kleinere Effekte müssen

als Tendenzen gewertet werden (Tabelle 5, 6). In diesem Sinne sind im Jahr 2002 sowohl in den Substitutions- als auch in den Additionsbeständen von Weizen und Hafer mit beiden Leguminosenarten und auf beiden N-Versorgungsstufen Mischungseffekte (ME₂) in der Größenordnung von 2 bis 5 dt ha⁻¹ festzustellen (Tabelle 5, 6). Im Mittel über die Artenkombinationen resultieren hieraus aber häufig, wie erwähnt (Tabelle 4), signifikante Mehrerträge der Mischbestände gegenüber den Reinbeständen der besseren Komponente. Im Jahr 2003 blieben positive Mischungseffekte gegenüber der besseren Komponente zumeist auf die N₁-Stufe beschränkt. Dort wurden in den Additionsbeständen mit der Linse hohe positive Mischungseffekte in der Größenordnung von 7–9 dt ha⁻¹ nachgewiesen.

4 Diskussion

Gefragt war vorrangig die Bedeutung der Komponentenanteile für die Ertragsfähigkeit von Getreide-Körnerleguminosenbeständen. Dass solche, sowohl nach dem Substitutions- als auch nach dem Additionsprinzip erstellten Bestände mit relevanten Reinbeständen verglichen, ertragsüberlegen sein können, wurde bereits in vorausgehenden Untersuchungen nachgewiesen (WILSON, 1988; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b). In Kombination mit der Linse gegenüber der Erbse, und im ertragsschwachen Jahr 2002 gegenüber 2003 stärker ausgeprägt, bestätigen die vorliegenden Ergebnisse diesen Trend.

Tabelle 5: Erwartete (EW) und gemessene (GW) Kornerträge (dt ha⁻¹) der Sommerweizen-Linsen- und der Sommerweizen-Erbsemischbestände sowie die Mischungseffekte ME₁, ME₂ in Abhängigkeit von den Jahren und dem N-Angebot.

 Table 5: Expected (EW) and measured (GW) grain yields (dt ha⁻¹) of the wheat-lens mixtures and the wheat-peas mixtures, further more the mixing effects (ME₁, ME₂) in dependence of the seasons and the nitrogen levels

Mischung	N-Stufe	Werte	Reinbestand S. Weizen	Substitutionsbestände			Additionsbestände				Reinbestand Körnerleguminosen	GD 5 % (GW)
				¾ + ¼	½ + ½	¼ + ¾	1 + ¼	1 + ½	1 + ¾	1 + 1		
2002												
S + L	1	EW		20,06	17,58	15,10	25,70	28,85	32,01	35,16		
		GW	22,54	27,19	28,19	24,84	25,32	27,70	26,93	27,15	12,62	4,72
		ME ₁		7,13*	10,61*	9,74*	-0,38	-1,15	-5,08	-8,01*		
		ME ₂		4,65	5,65	2,30	2,78	5,16	4,39	4,61		
S + L	2	EW		27,41	22,97	18,54	35,37	38,89	42,42	45,95		
		GW	31,84	36,49	36,54	31,68	37,18	37,26	35,60	37,30	14,10	4,72
		ME ₁		9,08*	13,57*	13,14*	1,81	-1,63	-6,82*	-8,65*		
		ME ₂		4,65	4,70	-0,16	5,34	5,42	3,76	5,46		
S + E	1	EW		28,47	29,77	31,07	35,26	43,36	51,45	59,54		
		GW	27,17	34,38	36,65	29,75	32,90	34,97	37,50	35,92	32,38	4,72
		ME ₁		5,91*	6,88*	-1,32	-2,36	-8,39*	-13,95*	-23,62*		
		ME ₂		2,00	4,27	-2,63	0,52	2,59	5,12	3,54		
S + E	2	EW		28,73	29,87	31,01	35,63	43,66	51,70	59,74		
		GW	27,59	33,56	37,84	34,03	34,93	35,67	39,67	40,62	32,15	4,72
		ME ₁		4,83	7,97*	3,02	-0,70	-7,99*	-12,03*	-19,12*		
		ME ₂		1,41	5,69	1,88	2,78	3,52	7,52*	8,47*		
2003												
S + L	1	EW		32,33	29,41	26,50	41,14	47,03	52,93	58,82		
		GW	35,24	41,86	41,09	34,44	39,08	44,38	43,93	44,21	23,58	4,45
		ME ₁		9,53*	11,68*	7,94*	-2,06	-2,65	-9,00*	-14,61*		
		ME ₂		6,62*	5,85	-0,80	3,84	9,14*	8,69*	8,97*		
S + L	2	EW		39,77	32,72	25,67	51,48	56,14	60,79	65,45		
		GW	46,82	45,50	43,99	38,91	47,49	47,41	46,77	46,71	18,62	4,45
		ME ₁		5,73*	11,27*	13,24*	-3,99	-8,73*	-14,02*	-18,74*		
		ME ₂		-1,32	-2,83	-7,91*	0,67	0,59	-0,05	-0,11		
S + E	1	EW		37,72	38,22	38,73	47,02	56,83	66,64	76,45		
		GW	37,21	40,45	41,34	37,78	41,42	41,37	41,26	42,43	39,24	4,45
		ME ₁		2,73	3,12	-0,95	-5,60*	-15,46*	-25,38*	-34,02*		
		ME ₂		1,21	2,10	-1,46	2,18	2,13	2,02	3,19		
S + E	2	EW		47,80	45,09	42,38	60,43	70,34	80,26	90,17		
		GW	50,51	48,88	46,31	40,62	52,26	50,79	48,81	45,89	39,66	4,45
		ME ₁		1,08	1,22	-1,76	-8,17*	-19,55*	-31,45*	-44,28*		
		ME ₂		-1,63	-4,20	-9,89*	1,75	0,28	-1,70	-4,62		

Die Substitutionsbestände zeigten positive Mischungseffekte, d. h. Mehrerträge sowohl im Vergleich zu den Erwartungswerten, als auch im Vergleich zur leistungsfähigeren Komponente, im Prinzip unabhängig von den Jahren, der Stickstoffdüngung und der anteiligen Zusammensetzung. Das Ertragsniveau der Substitutionsbestände änderte sich nur, d.h. es sank, wenn der Leguminosenanteil auf Kosten des Getreideanteils das Übergewicht erhielt. Die Arten und Sorten waren in ihren Reinbeständen offensichtlich nicht in der Lage, ihr Leistungspotenzial kombiniert mit den Aufwuchsbedingungen in gleichem Umfang in Ertrag umzusetzen wie im gemeinsamen Mischbestand. Wurde die Ge-

treidekomponente bis zur halben Reinsaatdichte durch eine Leguminosenkomponente substituiert, unterstützten sich die beiden Komponenten wechselseitig zugunsten des Mischbestandsertrags. Teilweise begünstigten vermutlich Frostschäden am keimenden Getreide die Entwicklungsbedingungen für die Leguminosen. Zudem können sowohl eine Standfestigkeitsstabilisierung insbesondere der Linse durch die Getreidehalme (AUFHAMMER et al., 2004), als auch eine Zusatzversorgung der Getreidekomponente mit Stickstoff durch die Leguminose (JENSEN, 1996; RAUBER et al., 2000, 2001; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2001) ertragsfördernd wirken. Die Entwicklung und die Grünfärbung

Tabelle 6: Erwartete (EW) und gemessene (GW) Kornerträge (dt ha⁻¹) der Nackthafer-Linsen- und der Nackthafer-Erbsenmischbestände sowie die Mischungseffekte ME₁, ME₂ in Abhängigkeit von den Jahren und dem N-AngebotTable 6: Expected (EW) and measured (GW) grain yields (dt ha⁻¹) of the oats-lens mixtures and the oats-peas mixtures, further more the mixing effects (ME₁, ME₂) in dependence of the seasons and the nitrogen levels

Mischung	N-Stufe	Werte	Rein- bestand Nackthafer	Substitutionsbestände			Additionsbestände				Rein- bestand Körnerle- guminosen	GD 5 % (GW)
				¾ + ¼	½ + ½	¼ + ¾	1 + ¼	1 + ½	1 + ¾	1 + 1		
2002												
H + L	1	EW		19,19	16,95	14,70	24,55	27,67	30,78	33,90		
		GW	21,44	24,21	22,85	21,63	24,49	22,89	24,70	26,56	12,46	4,72
H + L	2	ME ₁		5,02	5,90*	6,93*	-0,06	-4,78	-6,08*	-7,34*		
		ME ₂		2,77	1,41	0,19	3,05	1,45	3,26	5,12		
		EW		19,93	17,49	15,06	25,52	28,67	31,83	34,98		
		GW	22,36	26,50	24,54	20,79	24,72	27,93	25,80	25,35	12,62	5,46 ¹⁾
H + E	1	ME ₁		6,57*	7,05*	5,73*	-0,80	-0,74	-6,03	-9,63*		
		ME ₂		4,14	2,18	-1,57	2,36	5,57	3,44	2,99		
		EW		19,21	23,55	27,90	22,92	30,98	39,04	47,11		
		GW	14,86	25,68	29,56	30,85	21,05	28,95	29,24	26,83	32,25	5,13
H + E	2	ME ₁		6,47*	6,01*	2,95	-1,87	-2,03	-9,80*	-20,28*		
		ME ₂		-6,57	-2,69	-1,40	-11,20*	-3,30	-3,01	-5,42		
		EW		27,39	27,00	26,61	34,33	40,89	47,44	54,00		
		GW	27,78	32,92	32,93	30,16	31,45	34,63	36,79	33,69	26,22	4,72
H + E	2	ME ₁		5,53*	5,93*	3,55	-2,88	-6,26*	-10,65*	-20,31		
		ME ₂		5,14	5,15	2,38	3,67	6,85	9,01*	5,91		
		EW										
		GW										
2003												
H + L	1	EW		23,53	23,58	23,62	29,40	35,32	41,24	47,15		
		GW	23,49	25,56	28,16	28,24	27,65	27,81	28,21	30,37	23,67	4,45
H + L	2	ME ₁		2,03	4,58*	4,62*	-1,75	-7,51*	-13,03*	-16,78*		
		ME ₂		1,89	4,49	4,57	3,98	4,14	4,54	6,70*		
		EW		30,97	26,79	22,60	39,76	44,36	48,97	53,57		
		GW	35,15	34,59	33,56	28,88	37,30	37,08	34,99	36,59	18,42	4,45
H + E	1	ME ₁		3,62	6,77*	6,28*	-2,46	-7,28*	-13,98*	-16,98*		
		ME ₂		-0,56	-1,59	-6,27	2,15	1,93	-0,16	1,44		
		EW		26,91	30,25	33,58	32,80	42,03	51,26	60,49		
		GW	23,57	28,89	32,83	36,76	26,87	32,28	36,93	36,51	36,92	4,45
H + E	2	ME ₁		1,98	2,58	3,18	-5,93*	-9,75*	-14,33*	-23,98*		
		ME ₂		-8,03*	-4,09	-0,16	-10,05*	-4,64	0,01	-0,41		
		EW		35,51	35,45	35,40	44,40	53,23	62,07	70,90		
		GW	35,56	35,37	36,06	35,29	38,32	36,81	37,68	36,04	35,34	4,45
H + E	2	ME ₁		-0,14	0,61	-0,11	-6,08*	-16,42*	-24,39*	-34,86*		
		ME ₂		-0,19	0,50	-0,27	2,76	1,25	2,12	0,48		
		EW										
		GW										

¹⁾ min = 4,72, max = 7,22

der Fahnenblätter der Getreidekomponente in den Mischbeständen unterstützten diese Vermutung sichtbar. Überschritt der Leguminosenanteil die halbe Reinsaatdichte zulasten der Getreidekomponente, blieben die Kombinationseffekte zu gering, um das Ertragsniveau zu halten. Aber bis zur genannten Grenze spielte – die Kornqualität der Erträge unberücksichtigt – die anteilige Zusammensetzung des Mischbestandes keine entscheidende Rolle. Da, von der besonders ertragsschwachen Linse abgesehen, aufgrund des unbekanntem Witterungsverlaufs nicht sicher vorhersagbar ist, welche Komponente im Reinbestand die höheren Erträ-

ge produzieren wird, liegen die Vorteile bei solchen Substitutionsbeständen.

Mit steigenden Leguminosenanteilen zunehmende negative Mischungseffekte gegenüber den Erwartungswerten bei den Additionsbeständen überraschen nicht, da nicht zu erwarten war, dass die produzierten Kornerträge die hohen und sehr hohen Erwartungswerte erreichen oder übertreffen. Letzteres kann nur eintreten, wenn Reinbestände von vorne herein mit arten- und standortbezogen zu geringen Dichten erstellt werden. Andererseits ist interessant, dass einige Getreidebestände, denen die Linse oder die Erbse

addiert wurde, positive Mischungseffekte gegenüber der jeweils leistungsfähigeren Komponente zeigten. Die Erträge dieser Bestände entsprachen zwar nicht den Erwartungswerten der Kombinationen, übertrafen aber allemal die Reinbestände der Komponenten. Nimmt man hinzu, dass nur in zwei von insgesamt vierundsechzig Fällen negative Mischungseffekte gegenüber der besseren Komponente nachgewiesen wurden, boten auch die Additionsbestände die Chance eines Ertragsvorteils gegenüber den Reinbeständen. Soweit sich bei einer Artenkombination durch Addition positive Mischungseffekte gegenüber der besseren Komponente abzeichneten, hatte die unterschiedliche Größe der addierten Leguminosenanteile keinen nachvollziehbaren Einfluss auf die Größenordnung des Mehrertrags. So fragwürdig relativ hohe Mehrerträge gerade infolge der Addition großer Leguminosenanteile sind –, sie widersprechen m. E. den Ergebnissen der Substitutionsbestände –, sie sind in mehreren Fällen signifikant und verweisen auf ein Ertragspotenzial, das mit einem Getreidereinbestand ungenutzt blieb. Die Annahme, dass mit dem Leguminosenanteil das dem Getreideanteil zugängliche N-Angebot wuchs, liegt nahe. Der Vergleich der Daten der beiden N-Versorgungsstufen unterstützt diese Annahme jedoch nur zum Teil.

Andererseits werfen die Ergebnisse, die Tendenz zu einer Ertragsüberlegenheit der Additionsbestände gegenüber den Substitutions- und den Reinbeständen einbezogen, doch die bereits angesprochene Frage auf, ob die gegebenen Aufwuchsbedingungen nicht generell höhere Reinsaatdichten erforderten? Die Beantwortung dieser Frage verlangt einen gesonderten Experimentalansatz, der Saatdichten und Mischungsanteile als mehrstufige Faktoren kombiniert. Die vorliegenden Befunde zeigen jedenfalls, dass Sommerweizen- und Haferreinbestände auf der Basis von Saatdichten mit 300 keimfähigen Körnern das Ertragsniveau von Mischbeständen, die mit zusätzlich 160 Linsen- bzw. 80 Erbsensamen ausgesät wurden, nicht erreichten.

Literatur

- ANONYMUS (2002): Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln). Bundessortenamt Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover.
- ANDERSEN, A. J., V. HAAHR, E. S. JENSEN and J. SANDFAER (1983): Effect of N-fertilizer on yield, protein content and symbiotic N-fixation in *Pisum sativum* L., grown in pure stand and mixtures with barley. In: THOMPSON, R. and R. CASEY (eds): Perspectives for peas and lupins as protein-crops, 205–218. Proc. Int. Symp. on Protein Production from legumes in Europe 19.–20. Oct. 1981. M. Nijhoff Publ., The Hague.
- AUFHAMMER, W. (1999): Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2004): Getreidearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 1. Mitt.: Mischungseffekte auf die Kornerträge. Pflanzenbauwiss. 8 (2), 56–63.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2005a): Getreidearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 2. Mitt.: Mischungseffekte auf die Produktion und die Verteilung der Sprosstrockenmasse. Pflanzenbauwiss. 9 (1), 1–8.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2005b): Getreidearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 3. Mitt.: Mischungseffekte auf die N-Akkumulation der Sprosstrockenmasse und die N_{\min} -Rückstände im Boden. Pflanzenbauwiss. 9 (2), 87–95.
- BULSON, H. A. J., R. W. SNAYDON and C. E. STOPES (1997): Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. J. Agric. Sci. 128, 59–71.
- DANSO, S. K. A., F. ZAPATA, G. HARDARSON and M. FRIED (1987): Nitrogen fixation in faba beans as affected by plant population density in sole or intercropped systems with barley. Soil Biol. Biochem. 19, 411–415.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS and E. S. JENSEN (2001): Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops. – A field study employing ^{32}P technique. Plant and Soil 236, 63–74.
- HELENIUS, J. and P. RONNI (1989): Yield, its components and past incidence in mixed intercropping of oats (*Avena sativa*) and field beans (*Vicia faba*). J. Agric. Sci. in Finland 61, 15–31.
- HOF, C. und R. RAUBER (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau. Inst. f. Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Georg-August Universität Göttingen. Hrsg.: Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn, 1. Auflage.
- HORNEBURG, B. (2003): Frischer Wind für eine alte Kulturpflanze! Linsen im ökologischen Anbau, ihre Ge-

- schichte und Verwendung. Herausgegeben vom Dreschflegel e. V. und dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen. 1. Auflage 2003.
- JENSEN, E. S. (1996): Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 182, 25–38.
- JOKINEN, K. (1991a): Competition and yield performance in mixtures of oats and barley – nitrogen fertilization, density and proportion of the components. *J. Agric. Sci. in Finland* 63, 321–340.
- JOKINEN, K. (1991b): Influence of different barley varieties on competition and yield performance in barley-oats mixtures at two levels of nitrogen fertilization. *J. Agric. Sci. in Finland* 63, 341–351.
- PIEPHO, H.-P., A. BÜCHSE and K. EMRICH (2003): A hitchhiker's guide to the mixed model analysis of randomized experiments. *J. Agronomy and Crop Science* 189, 310–322.
- PIEPHO, H.-P. (2004): An algorithm for a letter-based representation of all-pairwise comparisons. *J. of Computational and Graphical Statistics* 13, 456–466.
- RAUBER, R., K. SCHMIDTKE and H. KIMPEL-FREUND (2000): Konkurrenz und Ertragsvorteile in Gemengen aus Erbsen (*Pisum sativum* L.) und Hafer (*Avena sativa* L.). *J. Agron. Crop. Sci.* 185, 33–47.
- RAUBER, R., K. SCHMIDTKE and H. KIMPEL-FREUND (2001): The performance of pea (*Pisum sativum* L.) and its role in determining yield advantages in mixed stands of pea and oat (*Avena sativa* L.). *J. Agron. Crop. Sci.* 187, 137–144.
- SNAYDON, R. W. (1991): Replacement or additive designs for competition studies? *J. Appl. Ecol.* 28, 930–946.
- WEIL, R. R. and M. E. MCFADDEN (1991): Fertility and weed stress on performance of maize / soybean intercrop. *Agron. J.* 13, 717–721.
- WILSON, J. B. (1988): Shoot competition and root competition. *J. Appl. Ecol.* 25, 279–296.

Anschrift der Verfasser

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

Eingelangt am 14. Februar 2007
Angenommen am 21. Februar 2007