

Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosen-Beständen auf die Zusammensetzung der Spross- und Kornmassen in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

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

Mixing effects in cereal-grain legume stands on the composition of the above ground dry matter yield and the grain yield in dependence of the mixing ratio

1 Einleitung und Problemstellung

Die Stoffproduktion eines Bestandes basiert auf seiner Photosyntheserate, einer dynamischen Größe, die aus dem Assimilationsflächenindex, dem Lichtaufnahmevermögen und der Photosyntheserate je Einheit Assimilationsfläche resul-

tiert. Mit Modellen kann das Zusammenwirken dieser Parameter im System Bestand simuliert und untersucht werden (DUNCAN et al., 1967; DEWIT und BROUWER, 1968). Im Einzelfall dominiert die spezielle Struktur des Bestandes – Rein- oder Mischbestand, Pflanzenzahl und -verteilung beispielsweise – die Aufnahme- und die Nutzungseffizienz

Summary

The problem was: how important are the proportions of a cereal component (wheat, oats) and a grain legume component (lens, pea) in a mixed stand under low input conditions for the amount and the composition of the above ground dry matter (grain + straw) yield and the composition of the grain yield. For investigation a two years factorial field experiment was conducted. In terms of substitution or addition mixed stands with increasing legume proportions were established. The above ground dry matter and the grain yields were separated into the contributions of the concerned species. The measured values were compared as to the expected values based on pure stands and the differences were defined as mixing effects. The substitution by increasing legume proportions resulted in positive mixing effects on the above ground dry matter yields and the cereal proportions of the dry matter and the grain yields. The addition of increasing legume proportions to full cereal stands produced negative mixing effects on the above ground dry matter yields and smaller partly positive, partly negative effects on the cereal proportions, dependent on the concerned species.

Key words: Cereal-grain legume mixed stands, above ground dry matter yield, mixture relations.

Zusammenfassung

Die Frage, welche Bedeutung dem Mischungsverhältnis in Beständen aus einer Getreidekomponente (Weizen, Hafer) und einer Leguminosenkomponente (Linsen, Erbsen) unter Low-Input-Bedingungen für die Sprossmasseerträge (Korn + Stroh) und die artenanteilige Zusammensetzung der Spross- und der Kornmasseerträge zukommt, wurde zweijährig in faktoriellen Feldversuchen untersucht. In Mischungen mit zunehmenden Leguminosenanteilen wurden Substitutions- und Additionsbestände erstellt und deren Spross- und Kornmassen in die Beiträge der beteiligten Arten zerlegt. Die Sprossmasseerträge und die Getreideanteile der Mischbestände wurden den reinbestandsbasierten Erwartungswerten gegenüber gestellt und die Differenzen als Mischungseffekte bezeichnet. Aus der Substitution steigender Getreideanteile resultierten sowohl auf die Sprossmasseerträge als auch auf die Getreideanteile der Spross- und Kornmassen positive Mischungseffekte. Die Addition steigender Leguminosenanteile führte zu negativen Effekten auf die Sprossmassen. Die artenverschieden teils positiven, teils negativen Mischungseffekte auf die Getreideanteile blieben geringer.

Schlagworte: Getreide-Körnerleguminosen-Mischbestände, Sprossmasse, Mischungsverhältnis.

sowohl von Licht als auch von anderen Wachstumsfaktoren und damit die Quantität und Qualität der Stoffproduktion des Systems (TRENBATH, 1986; FUKAI und TRENBATH, 1993). Im Mischbestand kommen insbesondere die Kombinationseignung der Komponenten und das Kombinationsmuster als bestimmende Größen hinzu (SNAYDON, 1991). Zur Bewertung der Leistung von Mischbeständen wird stets der Bezug zu den Reinbeständen der beteiligten Komponenten hergestellt. Entweder werden die Mischbestandserträge mit relativen Ertragsparametern beschrieben (DEWIT, 1960; DEWIT und VAN DEN BERGH, 1965) oder die Differenzen zwischen den Mischbestandserträgen und reinbestandsbasierten Erwartungswerten, als Mischungseffekte bezeichnet, dienen als Informationsgrundlage.

Zweifellos besitzen Mischbestände gegenüber Reinbeständen ein größeres Reaktionspotential auf variierende Aufwuchsbedingungen. Verschiedene Arten oder unterschiedliche Sorten einer Art interagieren differenziert mit den Umweltverhältnissen und beeinflussen sich darüber hinaus im gemeinsamen Bestand wechselseitig (HELENIUS und RONNI, 1989; JOKINEN, 1991a, b; CARR et al., 1995; BULSON et al., 1997; HOF und RAUBER, 2003; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b; KÜBLER et al., 2006). Natürlich stehen diesem Vorteil, der die Stoffproduktion im Spross- wie im Wurzelbereich des Bestandes unterstützt und sichert, diverse Nachteile gegenüber (AUFHAMMER, 1999; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b). Als ein immanenter Nachteil gilt die Inhomogenität der produzierten Spross- und insbesondere – soweit es sich um Körnerfrüchte handelt – der Kornmassen. Neben der Ertragshöhe und der Ertragsicherheit bestimmt aber die Ertragsqualität die Eignung von Mischbeständen.

Aus zweijährigen Feldversuchen wurden die Effekte der Kombination einer Getreide- mit einer Körnerleguminosenart in breiter Variation der Artenanteile auf den Kornertrag der Mischbestände bereits präsentiert (KÜBLER et al., 2006). Im vorliegenden Beitrag stehen neben den quantitativen Auswirkungen auf die Sprossmassen, also die Korn- und Stroherträge, die Effekte auf die artenanteilige Zusammensetzung der Sprossmasse und insbesondere der Kornfraktion im Mittelpunkt. Die Basis bilden folgende Vorstellungen, die zu prüfen sind.

In Mischbeständen können offensichtlich Leguminosenkomponenten den Getreidekomponenten nutzbaren Stickstoff zur Verfügung stellen (DANSO et al., 1987). Daher ist anzunehmen, dass eine Substitution von Getreidepflanzenanteilen im Ausgangsbestand durch Leguminosen unter Bedingungen, unter denen aufnehmbarer Stickstoff als knapper

Faktor die Nutzung eingestrahelter Lichtenergie und anderer Wachstumsfaktoren in Frage stellt, zu überproportionalen Effekten auf die Mischbestandserträge führt, soweit nicht inkompatible Eigenschaften der Mischungskomponenten die Bestandesentwicklung beeinträchtigen.

Möglicherweise kann unter den genannten Bedingungen selbst der volle Getreidebestand additiv Leguminosenanteile mit ertragspositiver Wirkung aufnehmen. Dies sollte dann der Fall sein, wenn die ertragsdepressiven Effekte zusätzlicher Konkurrenz, beispielsweise um Licht, geringer bleiben als die ertragsdepressiven Effekte fehlenden Stickstoffs.

Zunehmende Anteile einer Mischungskomponente am Ausgangsbestand lassen an sich Veränderungen der Ertragsqualität zugunsten dieser Komponente erwarten. Wenn jedoch steigende Anteile einer Leguminosenkomponente vorrangig dazu beitragen, den N-Mangel der beteiligten Getreidekomponente zu reduzieren, ist nicht nur ein Anstieg des Ertragsniveaus, sondern zugleich auch eine Zunahme des Getreideanteils am Ertrag vorstellbar.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Auf der Versuchsstation für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Ihinger Hof (450-550 m NN; 8,2 °C; 690 mm Niederschlag; schluffreiche Parabraunerden) der Universität Hohenheim, wurde zweijährig ein Feldversuch (Spalt-Spaltanlage, 3 Wiederholungen) auf Low-Input-Basis durchgeführt. Die Haupteinheit N-Versorgung umfasste 2 Stufen. In N₁ unterblieb eine N-Zufuhr. In N₂ wurden 2002 durch eine Güllegabe 50 kg ha⁻¹ Ammonium-N vor der Saat ausgebracht. 2003 wurde dieselbe NH₄-Menge je zur Hälfte durch eine Gülle- und eine Entec-Gabe verabreicht (Tabelle 1). Die Artenkombinationen stellten die Untereinheiten dar (Tabelle 1).

Die Arten Sommerweizen und Nackthafer wurden mit den Körnerleguminosen Linsen und Erbsen zu Mischbeständen kombiniert. Diese wurden nach dem Substitutions- und dem Additionsprinzip mit breiter Anteilsvariation etabliert und den jeweiligen Reinbeständen gegenübergestellt (Unter-Untereinheiten). Ausgehend von Reinbeständen mit standortüblichen Saatchichten wurde in den Substitutionsbeständen 25, 50 und 75 % der Saatchichte einer Komponente durch die der jeweils anderen Komponente ersetzt. Bei den Additionsbeständen wurden zur Reinbestandssaatchichte der Getreidekomponente 25, 50, 75 und

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 wurde vor der Saat auf den gefrorenen Boden ausgebracht. 2002 enthielt die Güllegabe ~ 50 kg ha⁻¹ Ammonium-N.

2003 enthielt die Gülle sehr geringe TS- und N-Gehalte. Mit der Gabe wurden nur 25 kg ha⁻¹ Ammonium-N ausgebracht, deshalb wurde zur Ergänzung auf 50 kg ha⁻¹ N eine Entecgabe von 25 kg ha⁻¹ Ammonium-N verabfolgt.

II Bestände (Rein- und Mischbestände)

Reinbestände

Arten	Sorten	Saadichten (kf. Körner m ⁻²)	Arten	Sorten	Saadichten (kf. Körner m ⁻²)
Sommerweizen (S)	Quattro ¹⁾	300	Linsen (L)	Anicia ²⁾	160
Nackthafer (H)	Salomon ¹⁾	300	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	($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)		
S + L	H + L	150 + 80	($\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$)		
S + L	H + L	75 + 120	($\frac{1}{4}$ + $\frac{3}{4}$)		
L	L	160		Reinbestand	
S + L	H + L			300 + 40	(1 + $\frac{1}{4}$)
S + L	H + L			300 + 80	(1 + $\frac{1}{2}$)
S + L	H + L			300 + 120	(1 + $\frac{3}{4}$)
S + L	H + L			300 + 160	(1 + 1)
S	H	300	Reinbestand		
S + E	H + E	225 + 20	($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)		
S + E	H + E	150 + 40	($\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$)		
S + E	H + E	75 + 60	($\frac{1}{4}$ + $\frac{3}{4}$)		
E	E	80	Reinbestand		
S + E	H + E			300 + 20	(1 + $\frac{1}{4}$)
S + E	H + E			300 + 40	(1 + $\frac{1}{2}$)
S + E	H + E			300 + 60	(1 + $\frac{3}{4}$)
S + E	H + E			300 + 80	(1 + 1)

¹⁾ Anonymus 2002

²⁾ Horneburg 2003

100 % der Leguminosenkomponente addiert. Eine Grunddüngung unterblieb ebenso wie jeglicher Impfmittel- und Biozideinsatz. Die Unkrautregulierung erfolgte durch zweimaligen Striegeleinsatz. Vor dem Drusch wurde aus jeder Parzelle eine Sprossmasseprobe (1 m²) entnommen, in die beteiligten Komponenten zerlegt, die ähren- bzw. rispen-tragenden Halme gezählt und bei 80 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die Teilproben mit dem Standdrescher gedroschen und die Korn- bzw. die Restsprossmassen separat gewogen.

Das Korngut der Restparzelle (11 m²) wurde nach dem Drusch getrocknet, gereinigt und gewogen. Eine Teilprobe (1 kg) wurde mit dem Probenteiler entnommen und anschließend von Hand in die Arten und den Besatz (Un-

krautsamen, Bruchkorn) separiert und anteilig gewogen. Die Spross- und Kornmassen werden durchgängig als besatzfreie absolute Trockenmassen angegeben.

2.2 Kalkulation der Erwartungswerte und der Mischungseffekte

Zur Feststellung der Mischungseffekte auf den Sprossmasseertrag (Korn + Stroh) wurde aus den Saadichteanteilen der an einem Mischbestand beteiligten Komponenten und den gemessenen Sprossmasseerträgen ihrer Reinbestände ein Erwartungswert (EW) kalkuliert (Tabelle 2). In der Tabelle 3 wurden die Erwartungswerte den gemessenen Wer-

ten (GW) der Sprossmasse gegenüber gestellt. Die Differenz zwischen beiden Werten (EW – GW) stellt jeweils den Mischungseffekt (ME) dar.

Aus Gründen der Überschaubarkeit werden in den Tabellen 4 und 5 nur die erwarteten (EW) und die gemessenen (GW) relativen Anteile der Getreidekomponenten am Mischbestand (%; Mischbestand = 100) dargestellt. Die Differenz zwischen dem erwarteten und dem gemessenen relativen Anteil der Getreidekomponente (EW – GW) ergibt den Mischungseffekt (ME). Die Differenz zwischen den Werten der Getreidekomponente und 100% entspricht jeweils dem Anteil der Leguminosenkomponente. Somit gehen mit positiven Mischungseffekten bei den dargestellten Getreidekomponenten negative Effekte auf die beteiligten Leguminosenkomponenten einher.

Ein Beispiel zur Berechnung der erwarteten Anteile der Komponenten an den produzierten Sprossmassen von zwei definierten Mischbeständen zeigt Tabelle 2. Im Substitutionsbestand ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$) werden 25 % des Getreidesaatguts durch Leguminosensaatgut ersetzt. 75 % der Sprossmasse des Getreidereinbestandes belaufen sich auf 62,91 dt ha⁻¹, 25 % des Leguminosenreinbestandes auf 17,70 dt ha⁻¹, der Mischbestand lässt somit einen Sprossmasseertrag von 80,61 dt ha⁻¹ erwarten. Auf 80,61 dt ha⁻¹ = 100% bezogen, lauten die erwarteten Anteile der beiden Komponenten 78,05 % und 21,95 %. Die erwarteten Anteile der Additionsbestände wurden analog berechnet.

2.3 Überprüfung der Daten

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Rein- und den Mischbeständen wurden nach einem Modell für eine Spalt-Spalt-Anlage auf Reproduzierbarkeit geprüft. Für paarweise Vergleiche wurden Grenzdifferenzen zum Niveau 5 % berechnet. Aufgrund der Unbalanciertheit der Daten waren die Grenzdifferenzen nicht immer konstant. Da die Schwankungen jedoch gering blieben, wurde jeweils eine mittlere Grenzdifferenz berechnet. Für die Auswertung über zwei Jahre wurde eine Serienauswertung vorgenommen, wobei der Faktor Jahr als zufällig betrachtet wurde. Die Mischungseffekte wurden als lineare Kontraste formuliert und getestet. Der Kontrast für den Vergleich einer Mischung mit dem Erwartungswert wurde ebenfalls mit einem t-Test zum Niveau 5 % geprüft (JOHNSON et al., 1993; PIEPHO, 2004; PIEPHO et al., 2003, 2004, 2006).

3 Ergebnisse

3.1 Mischungseffekte auf die Sprossmasseerträge

Die Sprossmassen umfassen die Korn- und die Strohfraktion. Die Differenzierung der Sprossmassen in Abhängigkeit von den Jahren, dem N-Angebot und den Artenkombinationen folgt im Wesentlichen der Differenzierung der

Tabelle 2: Kalkulation der Erwartungswerte (EW) und der Mischungseffekte (ME) der Spross-(Korn + Stroh)massen von Zweikomponentenmischbeständen und ihrer Komponenten (Beispiel für einen Substitutions- ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$) und einen Additionsbestand (1 + 1) anhand der Versuchsmittelwerte der Sprossmasse aus Tabelle 3)

Table 2: Calculation of the expected values (EW) and the mixing effects (ME) of the above ground dry matter yields of two component stands and their components (Example for a stand on terms of substitution ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$) and a stand on terms of addition (1 + 1) using means of the above ground dry matter yield from Table 3)

Parameter	Arten	Reinbestand (dt ha ⁻¹)	Zweikomponentenmischbestände							
			Substitutionsbestand ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)				Additionsbestand (1+1)			
			Komponenten		Mischbestand		Komponenten		Mischbestand	
			(dt ha ⁻¹)	(%)	(dt ha ⁻¹)	(%)	(dt ha ⁻¹)	(%)	(dt ha ⁻¹)	(%)
Erwartungswert (EW)	Getreide		62,91 ¹⁾	78,05	80,61 ²⁾	100	83,88 ¹⁾	54,24	154,66 ²⁾	100
	Leguminosen		17,70 ¹⁾	21,95			70,78 ¹⁾	45,76		
Gemessener Wert (GW)	Getreide	83,88	76,61	83,89	90,57 ²⁾	100	63,30	63,89	99,08 ³⁾	100
	Leguminosen	70,78	13,41	16,11			35,78	36,11		
Mischungseffekte (ME)				+5,84 ³⁾		+9,96 ⁴⁾		+9,65 ³⁾		-55,58 ⁴⁾

1) Anteilige Reinbestandsenerträge 75 % + 25 % bzw. 100 % + 100 %

2) Summe aus den anteiligen Reinbestandsenerträgen der Komponenten

3) Die Mischungseffekte werden hier und in den Ergebnistabellen 4 und 5 nur für die Getreidekomponente ausgewiesen.

Der Mischungseffekt (5,84 %) im Substitutionsbestand ergibt sich aus der Differenz zwischen dem gemessenen relativen Getreideanteil (83,89%) und dem erwarteten relativen Getreideanteil (78,05 %). Analog ergibt sich der Mischungseffekt im Additionsbestand.

4) Mischungseffekte auf den Sprossmasseertrag

Tabelle 3: Erwartete (EW) und gemessene (GW) Sprossmasseerträge (dt ha⁻¹) der Rein- und Mischbestände sowie Mischungseffekte (ME) in Abhängigkeit von den Jahren, den N-Stufen und den Artenkombinationen

 Table 3: Expected (EW) and measured (GW) above ground dry matter yields (dt ha⁻¹) of pure and mixed stands and mixing effects (ME) in dependence of the years, the nitrogen levels and the species combinations

Faktoren	Parameter	Reinbestand Getreide	Substitutionsbestände			Additionsbestände				Reinbestand Leguminosen	GD 5%	
			¾ + ¼	½ + ½	¼ + ¾	1 + ¼	1 + ½	1 + ¾	1 + 1			
Versuchsmittel	EW	83,88	80,61	77,33	74,05	101,57	119,26	136,96	154,66	70,78	11,26	
	GW		90,57	92,41	90,15	91,79	95,29	94,54	99,08			
	ME		9,96***	15,08***	16,10***	-9,78***	-23,97***	-42,42***	-55,58***			
Jahre	2002	71,00	69,89	68,78	67,67	87,64	104,28	120,92	137,56	66,56	6,11	
			GW	85,41	87,82	88,74	84,52	91,22	93,12			94,64
			ME	15,52***	19,04***	21,07***	-3,12	-13,06***	-27,80***			-42,92***
	2003	96,76	91,32	85,88	80,44	115,50	134,25	153,00	171,75	75,00	5,71	
			GW	95,73	96,99	91,57	99,07	99,35	95,95			103,51
			ME	4,41	11,11***	11,13***	-16,43***	-34,90***	-57,05***			-68,24***
N-Angebot	N ₁	72,78	71,31	69,84	68,36	89,50	106,23	122,95	139,67	66,89	11,65	
			GW	82,14	86,62	85,01	80,65	85,73	88,39			91,64
			ME	10,83***	16,78***	16,65***	-8,85**	-20,50***	-34,56***			-48,03***
	N ₂	94,97	89,89	84,82	79,74	113,64	132,70	150,97	169,63	74,66	11,65	
			GW	97,99	98,19	95,30	102,94	104,85	100,68			106,51
			ME	8,10**	13,37***	15,56***	-10,70**	-27,95***	-50,29***			-63,12***
Artenkombinationen	S + L	88,39	82,40	76,41	70,43	104,50	120,61	136,72	152,83	64,44	12,67	
			GW	91,83	95,38	88,08	90,84	97,14	93,64			99,07
			ME	9,43*	18,97***	17,65***	-13,66***	-23,47***	-43,08***			-53,76***
	S + E	80,00	79,83	79,65	79,48	99,83	119,65	139,48	159,30	79,30	12,67	
			GW	86,92	91,52	82,25	92,77	91,84	92,37			95,29
			ME	7,09	11,87***	2,77	-7,06	-27,81***	-47,11***			-64,01***
	H + L	81,71	78,33	74,95	71,57	98,75	115,80	132,85	149,90	68,20	12,67	
			GW	90,13	89,86	95,71	94,27	95,67	92,43			101,02
			ME	11,80**	14,91***	24,14***	-4,48	-20,13***	-40,42***			-48,88***
	H + E	85,41	81,85	78,29	74,73	103,20	121,00	138,79	156,58	71,17	12,67	
			GW	93,40	92,86	94,58	89,30	96,51	99,70			100,92
			ME	11,55***	14,57***	19,85***	-13,90***	-24,49***	-39,09***			-55,66***

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

Kornfraktion. Die Parallelität gilt im Prinzip gleichermaßen für die Mischungseffekte. Einschließlich der Mischungseffekte wurden die Kornerträge bereits an anderer Stelle dokumentiert (KÜBLER et al., 2006). Infolgedessen werden die Ergebnisse zu den Sprossmasseerträgen, in der Tabelle 3 in dt ha⁻¹ ausgewiesen, hier nur kurz zusammengefasst. Die Sprossmasseerträge der Mischbestände übertrafen im Jahr 2002 die Sprossmasseerträge der Getreide- und der Leguminosenreinbestände durchgängig. Im Jahr 2003 – auf höherem Ertragsniveau – lagen die Mischbestände mit den Getreidereinbeständen gleichauf, übertrafen aber wiederum die Leguminosenreinbestände (Tabelle 3). Innerhalb der Substitutions- und innerhalb der Additionsbestände nahmen die Erträge teils tendenziell, teils nachweislich mit steigenden Leguminosenanteilen geringfügig zu. In Bezug zu den reinbestandsbasierten Erwartungswerten be-

wirkte die Substitution zunehmender Saatkichteanteile der Getreidekomponenten durch Leguminosen bis auf ca. 20 dt ha⁻¹ ansteigende, positive Mischungseffekte auf die erzeugten Sprossmassen. Die Additionsbestände konnten die erwarteten Sprossmasseerträge verständlicherweise nicht erreichen. Mit additiv steigenden Leguminosenanteilen bei der Aussaat nahmen – aufgrund des steigenden Konkurrenzdrucks – die negativen Mischungseffekte – Mindererträge gegenüber den Erwartungswerten – zu. Die Größenordnung der Mindererträge blieb allerdings durchweg unter den zu erwartenden Sprossmasseerträgen der addierten Leguminosenanteile (Tabelle 3). Dies besagt: auch den üblichen Saatkichten für Getreidereinbestände konnten unter den gegebenen Aufwuchsbedingungen Saatkichteanteile von Leguminosen positiv ertragswirksam zugemischt werden.

3.2 Mischungseffekte auf die Qualität der Spross- und der Kornmassen

Mit dem Begriff Qualität ist die anteilige Zusammensetzung der Spross- bzw. der Kornmassen der Mischbestände aus den jeweils am Mischbestand beteiligten Komponenten, einer Getreide- und einer Leguminosenart, gemeint. Wie bereits im methodischen Teil begründet, werden dazu in den Tabellen 4 und 5 nur die Getreideanteile in Prozent präsentiert. Die Differenz zwischen dem Getreideanteil der Spross- bzw. der Kornmasse eines Mischbestandes und 100 %, dem relativen Wert der Spross- bzw. der Kornmasse des gesamten Mischbestandes, stellt den Leguminosenanteil dar. Letzterer wird nicht gesondert dargestellt. Als Teil der Sprossmasse wird deren Reaktion von der Kornmasse mitbestimmt. Die Effek-

te auf beide Parameter bewegen sich im Großen und Ganzen parallel, jedoch werden beide Parameter dargestellt, zumal die Nachweisbarkeit der Effekte differiert. Wurde im Zuge der Aussaat durch zunehmende Anteile an Leguminosensaatgut entweder – bei den Substitutionsbeständen – Anteile der Getreidesaatdichte ersetzt, oder – bei den Additionsbeständen – der Getreidesaatdichte hinzugefügt, sind die abnehmenden relativen Getreideanteile an den Spross- und den Kornmassen eine verständliche Folge. Sowohl die Erwartungswerte (EW) als auch die gemessenen Werte (GW) der Mischbestände beider Datenreihen zeigen diesen Veränderungsverlauf. Interessant ist der parallele Anstieg positiver Mischungseffekte (ME). Generell zeichnete sich dieser Anstieg mit häufig größeren und zumeist nachweislichen Effekten bei den Substitutions- gegenüber den Additionsbeständen und bei

Tabelle 4: Anteilige Beiträge (GW in %) der Getreidekomponenten zu den Sprossmasse (Korn + Stroh)-erträgen der Mischbestände (GW der Mischbestände = 100) verglichen mit den Erwartungswerten (EW in %) und Mischungseffekte (ME) in Abhängigkeit vom Jahr, dem N-Angebot und den Artenkombinationen

Table 4: Contributions (GW, %) of the cereal components to the above ground dry matter yields (grain + straw) of the mixed stands (GW of the mixed stands = 100) as compared to the expected values (EW, %) and mixing effects (ME) in dependence of the years, the nitrogen levels and the species combinations

Faktoren	Parameter	Substitutionsbestände			Additionsbestände				
		$\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$	$\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$	$1 + \frac{1}{4}$	$1 + \frac{1}{2}$	$1 + \frac{3}{4}$	$1 + 1$	
Versuchsmittel	EW	78,05	54,24	28,32	82,58	70,33	61,24	54,24	
	GW	83,89	66,94	48,35	84,64	74,95	66,33	63,89	
	ME	5,84*	12,70*	20,03*	2,06	4,62*	5,09*	9,65*	
Jahr	2002	EW	76,19	51,62	26,23	81,01	68,09	58,72	51,62
		GW	81,12	63,54	48,12	82,38	70,94	63,06	60,48
		ME	4,93*	11,98*	21,89*	1,37	2,85	4,34	8,86*
	2003	EW	79,47	56,33	30,07	83,77	72,07	63,24	56,33
		GW	86,34	70,02	48,58	86,56	78,64	69,51	67,00
		ME	6,87*	13,69*	18,51*	2,79	6,57*	6,27*	10,67*
N-Angebot	N ₁	EW	76,55	52,11	26,62	81,32	68,52	59,20	52,11
		GW	80,17	63,13	44,17	81,26	69,32	62,30	58,40
		ME	3,62	11,02*	17,55*	-0,06	0,80	3,10	6,29
	N ₂	EW	79,24	55,99	29,78	83,57	71,78	62,91	55,99
		GW	87,02	70,30	52,09	87,29	79,56	69,88	68,61
		ME	7,78*	14,31*	22,31*	3,72*	7,78*	6,97*	12,62*
Artenkombinationen	S + L	EW	80,45	57,84	31,38	84,58	73,29	64,65	57,84
		GW	82,94	72,17	48,91	82,87	76,74	72,27	70,75
		ME	2,49	14,33*	17,53*	-1,71	3,45	7,62*	12,91*
	S + E	EW	75,17	50,22	25,17	80,14	66,86	57,36	50,22
		GW	78,52	55,15	31,68	81,20	60,38	51,32	45,39
		ME	3,35	4,93	6,51*	1,06	-6,48*	-6,04	-4,83
	H + L	EW	78,23	54,51	28,54	82,74	70,56	61,50	54,51
		GW	89,50	76,40	67,21	87,09	87,16	77,05	78,52
		ME	11,27*	21,89*	38,67*	4,35	16,60*	15,55*	24,01*
	H + E	EW	78,26	54,55	28,57	82,76	70,59	61,54	54,55
		GW	84,39	64,03	43,26	87,41	74,93	64,73	59,97
		ME	6,13*	9,48*	14,69*	4,65	4,34	3,19	5,42

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

* = Signifikanz bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 5: Anteilige Beiträge (GW in %) der Getreidekomponenten zu den Kornerträgen der Mischbestände (GW der Mischbestände = 100) verglichen mit den Erwartungswerten (EW in %) und Mischungseffekte (ME) in Abhängigkeit vom Jahr, dem N-Angebot und den Artenkombinationen

Table 5: Contributions (GW, %) of the cereal components to the grain yields of the mixed stands (GW of the mixed stands = 100) as compared to the expected values (EW, %) and mixing effects (ME) in dependence of the years, the nitrogen levels and the species combinations

Faktoren	Parameter	Substitutionsbestände			Additionsbestände				
		$\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$	$\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$	$1 + \frac{1}{4}$	$1 + \frac{1}{2}$	$1 + \frac{3}{4}$	$1 + 1$	
Versuchsmittel	EW	78,13	54,35	28,41	82,65	70,42	61,35	54,35	
	GW	81,04	62,98	43,81	81,82	71,35	62,46	60,25	
	ME	2,91*	8,63*	15,40*	-0,83	0,93	1,11	5,90*	
Jahr	2002	EW	77,49	53,44	27,67	82,11	69,66	60,48	53,44
		GW	78,96	59,69	46,70	78,04	66,81	58,03	57,01
		ME	1,47	6,25*	19,03*	-4,07	-2,85	-2,45	3,57
	2003	EW	78,56	54,98	28,93	83,01	70,95	61,95	54,98
		GW	82,66	65,69	41,50	84,58	74,92	66,02	62,83
		ME	4,10*	10,71*	12,57*	1,57	3,97*	4,07*	7,85*
N-Angebot	N ₁	EW	74,82	49,76	24,82	79,84	66,45	56,90	49,76
		GW	77,67	59,86	39,31	78,11	65,51	57,65	55,45
		ME	2,85	10,10*	14,49*	-1,73	-0,94	0,75	5,69*
	N ₂	EW	80,78	58,34	31,83	84,85	73,69	65,13	58,34
		GW	83,83	65,78	48,03	84,79	76,29	66,68	64,54
		ME	3,05*	7,44*	16,20*	-0,06	2,60	1,55	6,20*
Artenkombinationen	S + L	EW	85,59	66,44	39,76	88,79	79,84	72,52	66,44
		GW	83,88	70,84	54,84	82,56	76,52	71,00	69,88
		ME	-1,71	4,40	15,08*	-6,23*	-3,32	-1,52	3,44
	S + E	EW	74,87	49,83	24,87	79,89	66,52	56,98	49,83
		GW	75,50	52,44	25,59	77,21	62,76	49,87	41,54
		ME	0,63	2,61	0,72	-2,68	-3,76	-7,11*	-8,29*
	H + L	EW	81,84	60,04	33,67	85,73	75,03	66,70	60,04
		GW	85,67	77,35	70,20	90,17	84,30	77,01	79,63
		ME	3,83	17,31*	36,53*	4,44	9,27*	10,31*	19,59*
	H + E	EW	70,91	44,83	21,31	76,47	61,90	52,00	44,83
		GW	80,41	55,12	32,75	79,52	64,49	56,36	54,88
		ME	9,50*	10,29*	11,44*	3,05	2,59	4,36	10,05*

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

* = Signifikanz bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit

den Spross- gegenüber den Kornmassen deutlicher ab. In den Sommerweizen-Additionsbeständen wurden allerdings nahezu durchgängig negative Mischungseffekte auf die Anteile der Weizenkornmasse auffällig (Tabelle 5). Bei den Weizensprossmassen traten negative Mischungseffekte hauptsächlich in den Weizen-Erbsen-Additionsbeständen auf (Tabelle 4). Davon abgesehen erreichten die Mischungseffekte 2003 – verglichen mit 2002 – und auf der Stickstoffversorgungsstufe N₂ verglichen mit der Stufe N₁ ein höheres Niveau. Die Artenkombinationen unterschieden sich insofern als die Mischbestände mit der Linse zu größeren positiven Mischungseffekten auf die Getreideanteile an den Sprossmassen tendierten als die Mischbestände mit der Erbse (Tabelle 4).

Zusammenfassend folgte damit die Zusammensetzung von den Mischbeständen produzierter Spross- bzw. Kornmassen nicht den reinbestandsbasierten Erwartungen.

Selbst in den Additionsbeständen, die, von vollen Getreidesaatsdichten ausgehend, mit steigenden Leguminosensaatsdichteanteilen kombiniert und schließlich mit vollen Saatsdichten beider Mischungskomponenten angelegt wurden, übertrafen die Getreideanteile in Form positiver Mischungseffekte teilweise die Erwartungswerte (Tabelle 4). Hinsichtlich der Kornmasse gehen die positiven Effekte in erster Linie auf den Hafer zurück (Tabelle 5).

4 Diskussion

Aus der Substitution steigender Getreideanteile an der Getreidesaatsdichte durch Leguminosen resultierten – gegenüber den reinbestandsbasierten Erwartungswerten – positive Mischungseffekte sowohl auf die Quantität der Sprossmas-

sen als auch auf die Qualität der Spross- und der Kornmassen der Mischbestände. Diese Befunde, Ergebnisse anderer Untersuchungen unterstützen sie (PANSE et al., 1989; BULSON et al., 1997; KÜBLER et al., 2006), bestätigen prinzipiell die eingangs formulierten Hypothesen. Insbesondere die Qualität, d. h. die anteilige Zusammensetzung der Massen, veränderte sich – über die Erwartung hinaus – mit jedem Substitutionsschritt in Richtung prozentual zunehmender Getreideanteile. Die absolute Anzahl an Getreidepflanzen nahm aber, daran sei erinnert, mit jedem Substitutionsschritt ab. In den Mischbeständen herrschten demnach für jede individuelle Pflanze ebenso wie für den Pflanzenverbund schrittweise andere Konkurrenz- und Produktionsbedingungen und in jedem Fall andere Bedingungen als in den Reinbeständen der jeweils beteiligten Mischungskomponenten. Diese Problematik wird auch in anderen Publikationen erörtert (WILSON, 1988; AUFHAMMER, 1999).

Verglichen mit den relativ wärmeanspruchsvollen, teils größerkörnigen Leguminosen liefen die Getreidearten, insbesondere der Weizen, nach der gemeinsamen Aussaat von Getreide- und Leguminosenkomponenten rascher auf. Damit konnten sich die Getreidekomponenten in den Mischbeständen einen Entwicklungsvorsprung sichern, der allerdings vorrangig im Frühjahr 2002 durch Spätfrost und deshalb niedrige Feldaufgänge begrenzt wurde (Tabelle 6).

Tabelle 6: Feldaufgänge (%) und Wuchshöhen (cm) in den Reinbeständen der Getreide- und der Leguminosenkomponenten in Abhängigkeit von den Jahren

Table 6: Field emergence rates (%) and growth heights (cm) of pure stands of the cereal and the legume components in dependence of the years

Arten	Feldaufgang (%)		Wuchshöhe (cm)	
	2002	2003	2002	2003
Sommerweizen	72	75	77	93
Nackthafer	59	83	112	119
Linsen	100	100	57	60
Erbsen	95	91	88	76

Möglicherweise entstand daraus befristet ein Vorteil für die Leguminosen. Zum Zweiten vergrößerte sich mit fortschreitender Substitution, also abnehmender Getreidepflanzenzahl m^{-2} , trotz simultan ansteigender Leguminosenpflanzenzahl, zunächst der Standraum je Getreidepflanze verglichen mit dem Reinbestand. Damit standen der Getreidepflanze im Mischbestand, jedenfalls während der Anfangsentwicklung, bessere Bedingungen, beispielsweise ein größeres Nährstoffangebot, zur Verfügung. Zum Dritten spielten wahrscheinlich die Leguminosen im weiteren Verlauf tatsächlich als N-Lieferanten eine Rolle, worauf manche weitere Untersuchung hinweist (ANDERSEN et al., 1983; DANSO et al., 1987; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2001; AUFHAMMER et al., 2005a, b). Auch relativ kleine Beiträge können unter Low-Input-Bedingungen bedeutend sein. Zumindest wies der Grünfärbungsgrad der Fahrenblätter der Getreidepflanzen in späteren Stadien darauf sichtbar hin (nicht dargestellt). Zudem verbesserte sich ja mit jedem Substitutionsschritt die N-Versorgung der verbleibenden Getreidepflanzen, da immer mehr Leguminosenpflanzen immer weniger Getreidepflanzen gegenüber standen. In frühen Stadien setzt die Getreidepflanze verbesserte Produktionsbedingungen, insbesondere ein größeres N-Angebot, in Seitentriebe und Kornanlagen um. Daraus resultierten in den vorliegenden Mischbeständen überproportional hohe Bestandesdichten. Ein Substitutionsbestand ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$), der reinbestandsbezogen rund 200 ährentragende Halme aufweisen sollte, wies 314 Halme auf (Tabelle 7).

Somit wurden fallende Erträge infolge zurückgehender Pflanzenzahlen durch steigende Leistungen der verbleibenden Pflanzen jedenfalls teilweise ersetzt und die Qualität der Mischbestanderträge zugunsten des Getreideanteils verschoben. Es geht hier, wohlgermerkt, um die relativen Getreideanteile an den geernteten Massen der Mischbestände. Positive und negative Mischungseffekte hierauf in den Additionsbeständen blieben, verglichen mit den Substitutionsbeständen, häufig quantitativ geringer und weniger stetig. Einerseits nahm in den Additionsbeständen mit den Legu-

Tabelle 7: Ähren- bzw. rispenträgende Halme m^{-2} in den Rein- und den Mischbeständen von Sommerweizen und Hafer (Mittelwerte über N-Stufen und Kombinationen)

Table 7: Ears resp. panicles bearing stems m^{-2} of the pure and the mixed stands of wheat and oats (means across nitrogen levels and combinations)

Jahr	Getreideart	Reinbestand	Substitutionsbestände			Additionsbestände			
			($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$)	($\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$)	($1 + \frac{1}{4}$)	($1 + \frac{1}{2}$)	($1 + \frac{3}{4}$)	($1 + 1$)
2002	S. Weizen	398	350	314	182	408	363	338	343
	Hafer	262	226	172	121	269	297	255	246
2003	S. Weizen	446	356	295	159	396	356	331	342
	Hafer	332	270	207	120	296	303	271	289

minosenzusätzen der Konkurrenzdruck auf jede Getreide- und jede Leguminosenpflanze kontinuierlich zu. Andererseits stieg zugleich das Potential zur zusätzlichen N-Versorgung der Getreidekomponente. In den Weizenmischbeständen übertrafen offensichtlich die Konkurrenzwirkungen die Stickstoffeffekte, eine Situation, die hypothetisch bereits angedacht, zweifellos die Leistung von Mischbeständen beeinflussen kann (WILSON, 1988; PANSE et al., 1989; JOKINEN, 1991a, b; SNAYDON, 1996; AUFHAMMER, 1999). In beiden Jahren weisen darauf von rund 400 ährentragenden Halmen der Weizenkomponente im Additionsbestand (1 + ¼) auf ca. 340 ährentragende Halme m⁻² zurückgehende Bestandesdichten im Additionsbestand (1 + 1) hin. Dieser Prozess wurde wahrscheinlich durch die – verglichen mit Hafer – hohen Bestandesdichten ausgelöst und im Jahr 2002 durch die Konkurrenz der wuchshöheren Erbse unterstützt (Tabellen 6, 7). Vermutlich kamen so schließlich die negativen Mischungseffekte auf die Weizenspross- und -kornmassen zustande. Das heißt, die Zusammensetzung des Ernteguts dieser Mischbestände veränderte sich zugunsten des Leguminosenanteils. In den Mischbeständen mit dem wuchshöheren Hafer blieben hingegen die Bestandesdichten – im Vergleich zum Weizen auf erheblich geringerem Dichtenniveau – mehr oder weniger konstant (Tabellen 6, 7). Es liegt nahe anzunehmen, dass eine leguminosenbürtige N-Zufuhr in Kombination mit den Wuchslängenvorteilen die Kornerträge je Rispe über die relevanten Reinbestandswerte hinaus anhob. Hieraus resultierten positive Effekte auf die Haferanteile. Das geerntete Korngut dieser Mischbestände setzte sich daher aus höheren Haferanteilen als erwartet zusammen.

Abschließend ist auf der Basis der absoluten Massenerträge nochmals auf den bereits an anderer Stelle (KÜBLER et al. 2006) dargelegten Befund hinzuweisen: Die Sommerweizen- und die Haferreinbestände konnten – ohne Rücksicht auf die Erntegutqualität – unter den gegebenen Low-Input-Bedingungen – das Spross- und das Kornertragsniveau von Mischbeständen aus einer Getreide- und einer Leguminosenkomponente nicht erreichen. Selbst das Ertragsniveau von Beständen, die beide Komponenten, insbesondere Weizen oder Hafer mit der Erbse in vollen Reinsaatdichten kombinierten, übertraf das der Reinbestände um mehrere Dezitonnen. Soweit darüber hinaus die vorliegenden Ergebnisse Getreideanteile am Erntegut über den reinbestandsbasierten Erwartungswerten zeigen, weist dies auf den Stickstoff als ertragsbegrenzenden Faktor hin. Angewandt bedeutet dies: unter solchen Voraussetzungen ist das Ertragspotential, das der Standort bietet, mit Weizen- oder Haferreinbeständen nicht ausschöpfbar. Soweit nicht Qua-

litätsansprüche dies ausschließen, sind hier zu gleichen Teilen aus einer Getreide- und einer Leguminosenart kombinierte Bestände vorzuziehen. In den vorliegenden Versuchen tendierten zwar Additionsbestände gegenüber substitutiv erstellten Beständen zum höheren Ertragsniveau, sie sind aber durch Schadeinflüsse wie Wassermangel, Krankheitsbefall und Lagerneigung stärker gefährdet.

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 und 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. & 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): Mischbau 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, 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, 1–8.
- 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, 87–95.
- BULSON, H. A. J., R. W. SNAYDON und 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.
- CARR, P. M., J. C. GARDENER, B. G. SCHATZ, S. W. ZWINGER und S. J. GULDAN (1995): Grain yield and weed biomass of a wheat-lentil-intercrop. Agron. J. 87, 574–579.
- DANSO, S. K. A., F. ZAPATA, G. HARDARSON und 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.
- DEWIT, C. T. (1960): On competition. *Versl. Landbouwk. Onderzoek.* No. 66.8., Wageningen, 1–82.
- DEWIT, C. T. und J. P. VAN DEN BERGH (1965): Competition between herbage plants. *Neth. J. Agric. Sci.* 13, 212–221.
- DEWIT, C. T. und R. BROUWER (1968): Über ein dynamisches Modell des vegetativen Wachstums von Pflanzenbeständen. *Z. Angew. Bot.* 42, 1–12.
- DUNCAN, W. G., R. S. LOOMIS, W. A. WILLIAMS und R. HANAU, (1967): A model for simulating photosynthesis in plant communities. *Hilgardia* 38, 181–205.
- FUKAI, S. und B. R. TRENBATH (1993): Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Res.* 34, 247–271.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS und 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. und 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 Geschichte und Verwendung. Herausgegeben vom Dreschflegel e. V. und dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen. 1. Auflage 2003.
- JOHNSON, N. L., S. KOTZ und A. W. KEMP (1993): Univariate discrete distributions. 2nd edition. Wiley, New York.
- 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.
- KÜBLER, E., W. AUFHAMMER und H.-P. PIEPHO (2006): Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosen-Beständen auf den Kornertrag in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. *Die Bodenkultur*, 57, 121–130.
- PANSE, A., J. H. C. DAVIS und G. FISCHBECK (1989): Compensation-induced grain yields in mixtures of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 162, 347–353.
- PIEPHO, H.-P., A. BÜCHSE und K. EMRICH (2003): A hitchhiker's guide to the mixed model analysis of randomized experiments. *J. Agron. Crop Sci.* 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.
- PIEPHO, H.-P., A. BÜCHSE und C. RICHTER (2004): A mixed modelling approach to randomized experiments with repeated measures. *J. Agron. Crop Sci.* 190, 230–247.
- PIEPHO, H.-P., E. R. WILLIAMS und M. FLECK (2006): A note on the analysis of designed experiments with complex treatment structure. *HortScience* 41, 446–452.
- SNAYDON, R. W. (1991): Replacement or additive designs for competition studies? *J. Appl. Ecol.* 28, 930–946.
- SNAYDON, R. W. (1996): Above-ground and below-ground interactions in intercropping. In: ITO, O., C. JOHANSEN, J. J. ABU-GYMAFI, K. KATAYAMA, J. V. D. K., KUMAR RAO and T. J. REGO (Eds.): *Dynamics of roots and nitrogen in cropping systems of the semi-arid tropics.* Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 73–92. ISBN 4-906635-01-6.
- TRENBATH, B. R. (1986): Resource use by intercrops. In: FRANCIS, C. A. (Ed.): *Multiple cropping systems*, 57–81. Mac Millan; New York.
- WILSON, J. B. (1988): Shoot competition and root competition. *J. Appl. Ecol.* 25, 279–296.

Anschrift der Verfasser

Ernst Kübler, Walter Aufhammer, Hans-Peter Piepho, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, 70599 Stuttgart, Deutschland
E-Mail: piepho@uni-hohenheim.de
Fax: +49 (0)7150-33217 (E. Kübler)

Eingelangt am 1. April 2008

Angenommen am 18. Juli 2008