

Vergleichende Untersuchungen zur Bestandesetablierung und zur Trockenmasseproduktion der Pseudogetreidearten Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Reismelde (*Chenopodium quinoa*) und Amarant (*Amaranthus sp.*) und der Getreidearten Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) und Zwerghirse (*Eragrostis tef*) auf einem Grenzstandort

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

Comparative study of crop stand establishment and dry matter production of the pseudocereals buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus sp.*) and the cereals millet (*Panicum miliaceum*) and tef (*Eragrostis tef*) in a marginal environment

1. Einleitung

Der Buchweizen, die Reismelde, Körneramarantarten und die Hirsen sind unter den gemäßigten Klimabedingungen und den Ernährungsgewohnheiten Mitteleuropas Nischenfruchtarten. Nichtsdestotrotz können diese Arten für Ein-

zelbetriebe durchaus eine interessante Anbaualternative darstellen. Das Korngut ergibt ernährungsphysiologisch wertvolle Zusatzrohstoffe, die mit herkömmlichen Getreidearten kombiniert verarbeitet werden (KUHN, 1999; AUFHAMMER, 2000). Abgesehen von anderen Anforderungen setzt ein rentabler Anbau dieser wärmeanspruchs-

Summary

Small seeds and high sensitivity against soil crusting combined with high minimum temperatures for germination and long vegetation periods impede the establishment of productive crop stands of quinoa, millet and predominantly of amaranth and tef on marginal locations. During 2-years field experiments the effects of sowing dates and sowing rates on field emergence, crop density at harvest, shoot dry matter production and distribution, were examined, thus affecting environmental conditions for germination and intraspecific competition, respectively. Except tef, each species was represented by four genotypes. All crops were sown at an early and a late sowing date at three specific sowing rates. The dates of field emergence were noted and the seedling densities were counted, which allowed for the calculation of field emergence percentages. From plant samples shortly before harvest we recorded the plant or panicle densities, the shoot dry matter and the grain yield. In parallel with the seed size, the field emergence percentages decreased in the sequence buckwheat > millet > quinoa > amaranth > tef. The high temperature level after the late as compared to early sowing date, mainly in 1996, caused a faster field emergence. For millet and amaranth the emergence percentages were also higher, but for buckwheat and quinoa they dropped compared with earlier sowing. Plant density and the shoot dry matter were graduated similar to field emergence. Elevating sowing density increased competition for water with quinoa and millet due to smaller seed distances within the row especially with low rainfall in 1997. After shallow broadcast seeding of the highest sowing rate in 1997, additionally a missing water supply for germination (quinoa) and bird feeding (buckwheat, millet) reduced field emergence percentages. However, in most field plots elevated plant densities were realized and subsequently shoot dry matter increased. The harvest index was only negligibly affected by sowing date or sowing rate. With decreasing seed size of the different species difficulties to establish sufficiently productive crop stands increased. The use of highly germinable seed material, early varieties, mulch seeding, row distances according to the sowing rate and an exact, seed size adapted sowing depth might be approaches for improvement.

Key words: pseudocereals, millet, field emergence, dry matter production, grain yield.

Zusammenfassung

Artverschiedene Kleinkörnigkeit und Verschlammungsempfindlichkeit in Kombination mit meist hohen Keimtemperatur- und Vegetationszeitanforderungen erschweren auf Grenzstandorten die Erstellung von leistungsfähigen Reismelde-, Rispenhirse- und vor allem Amarant- und Zwerghirsebeständen. In zweijährig durchgeführten Feldversuchen wurden der Einfluss von saatterminabhängigen Keimbedingungen und von saattedichteveränderten Konkurrenzsituationen auf den Feldaufgang, die Bestandesdichte zur Ernte, die Sprosstrockenmassebildung und -verteilung geprüft. Die Zwerghirse ausgenommen, wurden die Arten durch vier Genotypen repräsentiert. Die Aussaat erfolgte einheitlich zu einem früheren und einem späteren Saattermin in drei artverschiedenen Saattedichten. Erfasst wurden das Aufgangsdatum sowie die Keimdichte. Hieraus wurde der relative Feldaufgang errechnet. An Probeschnitten vor der Ernte wurden Pflanzen-/Rispendichte, Sprosstrockenmasse und der Kornertrag ermittelt. Parallel zur Korngröße des Saatgutes nahm von Buchweizen über Rispenhirse und Reismelde zu Amarant und Zwerghirse der Feldaufgang ab. Das nach dem späteren Saattermin vor allem 1996 höhere Temperaturniveau hatte einen artverschiedenen rascheren, bei Rispenhirse und Amarant auch höheren, bei Buchweizen und Reismelde jedoch geringeren Feldaufgang zur Folge. Die Pflanzenzahl und die Sprosstrockenmasse stuften sich tendenziell dem Feldaufgang folgend ab. Die Erhöhung der Saattedichte führte infolge kleinerer Kornabstände insbesondere bei geringen Niederschlägen 1997 zu schärferer Konkurrenz um Wasser (Reismelde, Rispenhirse). Bei flacher Breitsaat der dichten Bestände bedingten 1997 zudem fehlender Wasseranschluss (Reismelde) und Vogelfraß (Buchweizen, Rispenhirse) artverschiedenen abnehmenden Feldaufgänge. Dennoch wurden nahezu durchgängig höhere Bestandesdichten erreicht, was meist auch höhere Sprosstrockenmasseerträge zur Folge hatte. Der Harvestindex wurde durch Saattermin und Saattedichte nur tendenziell variiert. Mit zunehmender Kleinkörnigkeit der Arten nahmen die Schwierigkeiten bei der Etablierung leistungsfähiger Bestände zu. Die Verwendung von hoch-keimfähigem Saatgut, frühreifen Sorten, Mulchsaat, eine saattedichteabhängige Reihenweite und eine exakte, TKG-abhängige Ablagetiefe könnten Verbesserungsansätze darstellen.

Schlagnworte: Pseudocerealien, Hirsen, Feldaufgang, Trockenmassebildung, Kornertrag.

vollen Arten die Etablierung potenziell leistungsfähiger Ausgangsbestände voraus.

In manchen Regionen Südamerikas und Asiens werden die genannten Arten noch heute in Kleinparzellen von Hand ausgesät. Der Amarant und die Reismelde werden auch gepflanzt (WILLIAMS und BRENNER, 1995). Bei einer Handaussaat ist die Anzahl ausgesäter keimfähiger Körner pro Quadratmeter zumeist keine exakt fixierte Größe. Andererseits gewährleistet die Saatgutausbringung auf die Bodenoberfläche verbunden mit einem anschließenden Einrechnen eine flache Ablage, ein für die artenspezifisch kleinen Samen wichtiger Aspekt. Darüber hinaus entstehen keine Bodenverdichtungen durch Schlepperspuren, auf die insbesondere die Pseudogetreidearten höchst empfindlich reagieren (AUFHAMMER und KÜBLER, 1991). Da Bestandeskorrekturen im Zuge der Unkrautbekämpfung mit der Handhacke durchgeführt werden können, kommt dem Feldaufgang nicht der essentielle Stellenwert zu, der bei der mechanisierten Bestellung größerer Flächen ohne Korrekturmaßnahmen verlangt wird.

Auf einigen hundert bis einigen tausend Hektar wird neuerdings in den USA, in Polen, Österreich und in der Slo-

wakei Amarant angebaut (DOBOS, 1996; AUFHAMMER und KÜBLER, 1998). Dieser Anbau ist, ebenso wie der großflächige Anbau von Buchweizen in Russland und der von Rispenhirse in Ost- und Südosteuropa (PETR, 1995) nur mit der bei Getreide üblichen Saat- und Erntetechnik praktikabel. Die Leistungsmängel, die Abreifeproblematik und die Kornverlustgefahren vor und beim Drusch ungleichmäßiger Bestände (LEE, 1995; LEE et al., 1996) erfordern Bodenbearbeitungs- und Saatverfahren, die hohe Feldaufgänge ermöglichen (AUFHAMMER et al., 1994b; AUFHAMMER et al., 1998).

Mit der Kleinkörnigkeit des Saatgutes nehmen die Ansprüche an die Feinkrümeligkeit des Saatbetts zu, auf schluffreichen Böden steigt mit der Feinkrümeligkeit allerdings die Verschlammungsgefahr. Verschlammte Oberflächen können den Feldaufgang erheblich beeinträchtigen. Die Mindestkeimtemperaturen liegen beim Buchweizen und der Reismelde um 5–7 °C, bei der C4-Pflanze Amarant um 12 °C und bei den Hirsen um 10 °C. Der Buchweizen ist bereits ab +2 °C kälteempfindlich. Der Amarant zeigt Frostschäden bei 0 °C, die Hirsen und die Reismelde sind mit -2 bzw. -4 °C auch nur begrenzt spätfrostverträglich. In

Verbindung mit den artspezifischen Keimtemperaturanforderungen und der Frostempfindlichkeit kommt daher dem Saattermin und den Aufgangsbedingungen für einen raschen und hohen Feldaufgang große Bedeutung zu (JACOBSEN et al., 1994; AUFHAMMER und KÜBLER, 1998).

2. Problemstellung

Die Problematik der Etablierung leistungsfähiger Bestände der – abgesehen vom Buchweizen – durchweg kleinkörnigen Arten auf einem Standort, der im Hinblick auf die Wärmeansprüche und die Verschlammungsgefahr der Böden einen Grenzstandort darstellt, stand im Vordergrund der vorliegenden Untersuchungen. Hierbei ging es primär um den Artenvergleich und die artspezifischen Defizite. Der Pseudogetreideartengruppe standen zwei Getreidearten gegenüber. Jede Art wurde durch mehrere Sorten repräsentiert. Sortenunterschiede gehören jedoch hier nicht zur Fragestellung, sie werden gesondert publiziert. Vorliegend wurden vielmehr folgende Fragen geprüft:

- In welchem Ausmaß wird der Feldaufgang der überwiegend kleinkörnigen, epigäisch keimenden Arten durch die differierenden Keim- und Aufgangsbedingungen abgestufter Saattermine mit Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Bestände beeinflusst?
- Ist über die Auswirkungen angehobener Saattermine auf den Feldaufgang und die Bestandesentwicklung, ggf. in Interaktion mit den Saattermineffekten, die Trockenmassebildung und -verteilung der Arten beeinflussbar?

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsanlage

In den Vegetationsperioden 1996 und 1997 wurde auf der Versuchsstation für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Ihinger Hof der Universität Hohenheim (470–500 m NN, 8.0 °C, 690 mm Jahresniederschlag) je ein mehrfaktorieller Feldversuch nach der Vorfrucht Körnererbse angelegt. Die Böden weisen mit Schluffanteilen von 65–75 % ein hohes Verschlammungsrisiko auf. In Relation zu den Temperatur- und den Saatterminansprüchen der kleinkörnigen Arten ist der Standort als Grenzstandort zu bezeichnen. Die Haupteinheit der gewählten Spaltanlagen bildeten zwei, für alle Arten einheitliche Saattermine. Damit wurde versucht, mit dem einen oder mit dem anderen Termin, den arten-

verschiedenen Keimtemperatur- und Vegetationszeitanforderungen Rechnung zu tragen. Die Zwerghirse ausgenommen, von der nur ein israelischer Genotyp zur Verfügung stand, wurden die Arten (Untereinheit) auf Parzellenebene jeweils durch vier Genotypen repräsentiert (Tab. 1). In der Gruppe der Pseudogetreidearten wurde das Genotypenspektrum, das in vorausgegangenen Versuchen (LEE, 1995; KRUSE, 1996) am Standort die Druschreife erreichte, um leistungsfähige Typen erweitert. Beim Buchweizen, der Art mit dem vergleichsweise höchsten Tausendkorngewicht und dem geringsten Vegetationszeitanforderung (AUFHAMMER und KÜBLER, 1998) wurde neben drei diploiden frühreifen Genotypen eine tetraploide, später reifende Sorte einbezogen (AUFHAMMER, 2000). Das Reismeldesortiment umfasste zusätzlich zu zwei bereits geprüften Sea-Level-Genotypen erstmals weitere zwei, wahrscheinlich dem Altiplanotyp zuzurechnende Sorten. Von den vier Amarantsorten gehören zwei zur Art *A. hypochondriacus* (Roter Hybridfuchsschwanz), eine weitere zur Art *A. cruentus* (Rispenfuchsschwanz), die vierte, eine schwarzsamige Sorte wird *A. hybridus* (Bastardfuchsschwanz) zugerechnet (BALTENSBERGER, 1991; IRVING et al., 1981; KAUL et al., 1996; RISI und GALWEY, 1991; SPORY, 1992).

Innerhalb der Saattermine wurde in drei deutlich abgestuften Dichten (D = Unter-Unter-Einheit) ausgesät. Im Jahr 1997 wurden die Saattermine gegenüber 1996 in einzelnen Stufen angehoben. Zum einen wurde hierbei das Feldaufgangsniveau von 1996 berücksichtigt, zum anderen wurden in D3 verzweigungsarme Bestände u. a. mit dem Ziel angestrebt, eine möglichst einheitliche Abreife der Fruchtstände und der Restpflanzen zu erreichen. In Tabelle 1 werden sowohl die vorgesehenen als auch die realisierten Saattermine genannt. Zusammenhängend mit der verfügbaren Säscheibenlochung der Gemüsesämaschine, die lediglich 7 Kornabstände in der Reihe von 0,9–4,6 cm erlaubte, konnten in den einzelkornesäten Varianten insbesondere 1997 die vorgesehenen Saattermine nicht exakt eingehalten werden. Zur Errechnung des Feldaufgangs wurden die realisierten Saattermine herangezogen.

Im Jahr 1997 wurde das Saatgut in der hohen Saattermine (D3) bei allen Arten breit auf die Bodenoberfläche ausgesät. Diese Maßnahme, darüber hinaus die Kornform von Buchweizen und das sehr niedrige TKG der Zwerghirse machten den Einsatz der Ojord-Parzellendrillmaschine mit angebautem Striegel erforderlich. Die Rispenhirse, die Reismelde und der Amarant wurden 1996 in allen Dichten, 1997 nur in der niedrigen und der mittleren Dichte mit der Gemüse-Einzelkornsämaschine (Accord Miniair S) ausge-

Tabelle 1: Versuchsfaktoren und Faktorstufen

Table 1: Factorial design of experiments

Saattermine (T)			1996 T1: 26.04. / T2: 22.05			1997 T1: 05.05. / T2: 24.05.		
Arten und Sorten		Herkunft	Saatdichte (keimfähige Körner m ⁻²)					
			D1	D2	D3	D1	D2	D3
Buchweizen			50 ¹⁾	100 ¹⁾	260 ¹⁾	50 ¹⁾	200 ¹⁾	1000 ¹⁾
Hruszowska	diploid	Polen	49	97	252	52	207	1037
Lileja	diploid	Ukraine	57	114	296	52	208	1042
Prego	diploid	Deutschland	41	81	211	51	206	1029
La Harpe	tetraploid	Frankreich	55	110	286	52	208	1039
Reismelde			100 ²⁾	200 ²⁾	450 ²⁾	200 ²⁾	400 ²⁾	2000 ¹⁾
Tango	Altiplano-Typ	USA	108	221	467	205	392	2012
407	Altiplano-Typ	USA	99	203	428	203	388	2009
Temuco	Sea-Level-Typ	Chile	93	171	361	198	379	2002
Faro	Sea-Level-Typ	Chile	106	218	461	209	400	1997
Amarant			100 ²⁾	200 ²⁾	400 ²⁾	100 ²⁾	400 ²⁾	2000 ¹⁾
K 432	<i>A. hypochondriacus</i>	USA	100	171	267	105	230	2000
Plainsman	<i>A. hypochondriacus</i>	USA	100	184	389	97	270	2000
MT 3	<i>A. cruentus</i>	USA	105	225	350	105	230	2000
Pastewny	<i>A. hybridus</i>	Russland	103	189	400	106	340	2000
Rispenhirse			100 ²⁾	200 ²⁾	550 ²⁾	200 ²⁾	400 ²⁾	800 ¹⁾
Gierczyckie		Polen	108	206	550	201	400	799
Unikum		Slowakei	104	198	528	196	391	802
Lovaszpatonai		Ungarn	109	208	556	198	415	800
Zwerghirse								
Israel		Israel	7250 ¹⁾	14500 ¹⁾	37750 ¹⁾	4998 ¹⁾	9996 ¹⁾	19992 ¹⁾

¹⁾ Saat mit Ojord (erforderlich wegen Kornform von Buchweizen; geringstes TKG und höchste Saatdichte bei Zwerghirse, 1997 in D3 Breitsaat, hohe Saatdichte)

²⁾ Saat mit Gemüse-Einzelkornsämaschine (Reismelde, Rispenhirse, Amarant, 1996: D1, D2, D3; 1997: D1, D2)

sät. Bei 2 m Arbeitsbreite erfolgte dabei die Saat in 4 Doppelreihen mit je 10 cm Reihenabstand. Mit der Ojord-Sämaschine wurden 14 Reihen mit je 12 cm Reihenabstand bzw. 5 cm breite Bänder (D3, 1997) gesät.

3.2 Datenerhebung und -überprüfung

Zur Dokumentation der jahres- und saatterminverschiedenen Keim- und Aufgangsbedingungen wurden die Lufttemperatur und die Niederschläge zwischen der Saat und dem Aufgang in einer den Versuchsflächen benachbarten Wetterstation ermittelt. Nach üblichen Verfahren wurden folgende Parameter erfasst: die Dauer zwischen Aussaat und Aufgang (Tage), die Keimdichte (Pflanzenzahl m⁻²), die Pflanzen- bzw. die Rispenzahl bei der Ernte m⁻² (Probeschnitt) und die Spross- und die Korntrockenmasse (dt ha⁻¹, Probeschnitt). Errechnet wurden der Feldaufgang (%) und der Harvestindex (%).

Aufgrund der arten- und jahresverschiedenen Saatdich-

ten und -verfahren erfolgte die varianzanalytische Überprüfung der Daten getrennt nach Arten und Jahren mit dem General-Linear-Model (GLM) von SAS (SAS, 1987). In der Hirsegruppe umfasste eine Varianzanalyse die drei Rispenhirsen, eine weitere die Zwerghirse. Zusätzlich wurden die Daten über die Arten hinweg in eine Varianzanalyse zusammengefasst, um die Hauptwirkung „Arten“ zu prüfen. Soweit im F-Test signifikante Varianzen vorlagen, wurden Grenzdifferenzen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % errechnet.

4. Ergebnisse

4.1 Allgemeiner Artenvergleich

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen erreichte nur der Buchweizen mit im Mittel 84 % ein akzeptables Feldaufgangsniveau (Tabelle 2). Werte zwischen 32 und 37 %, wie bei der Reismelde und der Rispenhirse festgestellt,

Tabelle 2: Tausendkorngewicht, Feldaufgang, Trockenmasseerträge und Harvestindex im Artenvergleich (Mittelwerte über 2 Jahre, 2 Saattermine, 3 Saaddichten, 4 Sorten)

Table 2: 1000-grain weight, field emergence, dry matter yield and harvestindex for the different species (means across 2 years, 2 sowing dates, 3 sowing rates, 4 genotypes)

Arten	Tausendkorngewicht (g)	Feldaufgang (%)	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	Korntrockenmasse (dt ha ⁻¹)	Harvestindex (%)
Buchweizen	26,4	83,9	79,4	26,3	33,3
Reismelde	2,7	31,8	97,5	36,7	38,2
Amarant	0,8	14,9	85,7	22,5	25,9
Rispenhirse	5,9	36,7	94,6	35,7	38,0
Zwerghirse ¹⁾	0,3	18,1	88,1	11,6	13,2
GD 5%	n.v. ²⁾	2,86	4,98	1,84	1,38

¹⁾ nicht in Verrechnung enthalten; ²⁾ n.v. = nicht verrechnet

führen zu einer ungleichmäßigen Pflanzenverteilung und so zu variierenden zwischen- und innerpflanzlichen Konkurrenzverhältnissen. Erst recht gilt dies beim Amarant und der Zwerghirse. Im Mittel gingen nur 15 % der ausgesäten, keimfähigen Amarantsamen auf. Der Aufgang der Zwerghirse wurde 1996 durch Oberflächenverschlammung bis auf wenige Prozentpunkte verhindert. Hierbei müssen allerdings die teils sehr hohen Saaddichten berücksichtigt werden.

Unübersehbar hing die artenverschiedene Aufgangsempfindlichkeit eng mit der Samenkorngröße zusammen. Zur Sprosstrockenmasse, die ein Bestand bis zur Totreife produziert, trägt neben dem Feldaufgang und dem Angebot an Wachstumsfaktoren die Wachstumsdauer bei. Dass die Amarantbestände nur das gleiche Trockenmassenniveau wie die Buchweizenbestände erreichten, obwohl sie diese in der Wachstumsdauer um ca. 30 Tage übertrafen, weist auf Defizite im Bestandaufbau hin, die nicht kompensiert werden konnten. Mit Sprosstrockenmassen um 95 dt ha⁻¹ und Kornanteilen von 38 % erreichten die Reismelde- und die Rispenhirsebestände deutlich höhere Ertragsniveaus als die anderen Arten.

4.2 Auswirkungen der Saattermine auf die Etablierung und die Leistung der Bestände

Zwischen der Saat und dem Aufgang fielen 1996 Niederschläge in der Größenordnung von ca. 30–60 mm. Bestimmend waren einerseits die Saattermine, andererseits die artenspezifisch von den Saatterminen abhängige Dauer zwischen der Aussaat und dem Aufgang. Ein Starkregen, rund 19 mm wenige Tage nach dem zweiten Saattermin, leitete eine Oberflächenverschlammung und -verkrustung ein. Eine krustenbrechende Oberflächenbearbeitung mit

der Cambridgewalze nach Abtrocknung der Krume und Befahrbarkeit der Fläche kam nur den langsam auflaufenden Arten, dem Amarant und den Hirsen, zugute, nicht den rascher keimenden Arten Buchweizen und Reismelde, die deshalb von der Verschlammung stärker betroffen waren. Nach dem frühen Saattermin trat in der Keimphase einmal Nachtfrost auf. Die Lufttemperatur im Zeitraum nach dem zweiten Saattermin lag im Mittel der Arten um 3,4 °C höher als nach dem ersten Saattermin. Das höhere Temperaturniveau nach dem zweiten Saattermin beschleunigte, abhängig von den Arten, den Aufgang um 2 bis 6 Tage, bei der Rispenhirse sogar um 11 Tage. Nur bei den Hirsearten und beim Amarant zeichneten sich parallel höhere Feldaufgänge ab. Beim Buchweizen und bei der Reismelde wurden nach der späteren Aussaat verschlammungsbedingt geringere Feldaufgänge nachgewiesen.

In der Vegetationsperiode 1997 trat nach der Saat deutlich weniger Niederschlag auf als 1996. Vor allem nach der Aussaat Ende Mai fielen zunächst nur wenige Millimeter. Im Lufttemperaturniveau betrug die saatterminbedingte Differenz rund 1 °C. In der Keimphase kamen nach beiden Saatterminen Nachtfroste vor. Die Dauer bis zum Aufgang war nach der späteren Aussaat zumeist 1–2 Tage kürzer. Trotz der relativ geringen Differenzierungen reagierten der großkörnige Buchweizen und die Reismelde auf die Verzögerung der Saat auch 1997 vor allem trockenheitsbedingt mit abnehmenden, die Hirsearten und der Amarant hingegen – auf einem generell sehr niedrigen Niveau – mit tendenziell zunehmenden Feldaufgängen.

In beiden Versuchsjahren pflanzten sich die Feldaufgangsdifferenzen analog im weiteren Bestandesentwicklungsverlauf teils nachweislich, teils tendenziell fort. Dies zeigen die Pflanzenzahlen und die Sprosstrockenmassen bei der Ernte. Allerdings blieben die saatterminbedingten Unterschiede in den Spross- und den Korntrockenmassen

Tabelle 3: Feldaufgang, Pflanzen-/Rispendichte bei der Ernte, Trockenmasseerträge und Harvestindex in Abhängigkeit von den Temperatur- und Niederschlagsbedingungen der Jahre und Saattermine (gemittelt über Sorten und Saaddichten)

Table 3: Field emergence, crop density, dry matter yield and harvestindex as affected by environmental conditions of years and sowing dates (means across sowing rates and genotypes)

Art	Saattermin	Lufttemperatur (°C)		Tage bis zum Aufgang im Mittel der Art	Feldaufgang (%)	Pflanzen/Rispen bei der Ernte (m ²)	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	Kornrockenmasse (dt ha ⁻¹)	Harvestindex (%)
		Niederschläge (mm) zwischen Saat und Aufgang							
Buchweizen	26.04.1996	10,5	33,4	12	103,2	116,2	76,6	29,5	38,5
	22.05.1996	13,9	48,0	10	83,6	82,1	72,8	22,5	30,8
	GD 5%			n.v. ¹⁾	14,8	19,6	n.s. ²⁾	2,6	4,0
	05.05.1997	12,5	13,7	12	84,2	123,5	89,9	24,6	27,2
	24.05.1997	12,0	4,6	10	63,1	81,3	78,4	28,9	36,6
	GD 5%			n.v.	n.s.	n.s.	7,3	3,2	4,3
Reismelde	26.04.1996	10,5	29,1	10	42,6	90,7	100,8	38,8	39,1
	22.05.1996	12,9	30,2	8	24,0	52,6	103,6	40,3	39,6
	GD 5%			n.v.	9,6	5,8	n.s.	n.s.	n.s.
	05.05.1997	10,3	13,7	9	32,3	168,4	101,7	37,3	37,4
	24.05.1997	11,6	0	8	28,3	77,2	84,1	30,4	36,8
	GD 5%			n.v.	1,5	13,0	11,8	4,8	n.s.
Amarant	26.04.1996	8,4	41,6	17	13,4	28,1	86,4	20,1	22,6
	22.05.1996	13,4	48,0	12	21,0	41,9	89,8	22,6	25,1
	GD 5%			n.v.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	05.05.1997	12,3	34,1	17	6,0	27,8	86,7	26,5	30,4
	24.05.1997	14,9	27,3	20	19,4	36,1	80,0	20,8	25,6
	GD 5%			n.v.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Rispenhirse	26.04.1996	10,2	63,2	22	34,1	167,0	92,8	33,8	36,7
	22.05.1996	13,6	48,0	11	55,0	199,4	94,9	34,7	36,7
	GD 5%			n.v.	9,9	16,2	n.s.	n.s.	n.s.
	05.05.1997	12,4	19,1	14	24,7	133,7	90,8	35,9	39,8
	24.05.1997	13,0	4,9	13	32,8	133,5	99,9	38,5	39,0
	GD 5%			n.v.	n.s.	n.s.	7,8	n.s.	n.s.
Zwerghirse	26.04.1996	9,4	43,6	18	0,1	371	48,8	4,2	7,7
	22.05.1996	13,4	48,0	12	0,9	646	70,1	5,7	8,1
	GD 5%			n.v.	0,5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	05.05.1997	12,5	13,7	12	31,1	nicht erfasst	101,1	20,0	19,7
	24.05.1997	12,0	4,6	10	40,2		126,3	16,1	14,2
	GD 5%			n.v.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

1) n.v. = nicht verrechnet

2) n.s. = nicht signifikant

absolut und relativ wesentlich geringer als die Feldaufgangsunterschiede.

4.3 Einfluss der Saaddichten auf die Etablierung und die Leistung der Bestände

Mit der Erhöhung der Saaddichte ging in der Vegetationsperiode 1996 der Feldaufgang der einzelkornigesäten Reismelde- und der Rispenhirsebestände bei kleineren Kornabständen in der Reihe zurück (Tabelle 4). In der Vegetationsperi-

ode 1997 trat dieser Rückgang auch beim Buchweizen und zwar in gravierendem Ausmaß auf. Hierbei sind die deutliche Erhöhung der Saaddichte von D2 nach D3 und die Ablage auf die Bodenoberfläche zu beachten. Der geringe Feldaufgang von Amarant mit Werten zwischen 10 und 20 % blieb indessen in beiden Jahren von der Saaddichte unbeeinflusst. Gleichgerichtetes gilt für die Zwerghirse. Jedoch stiegen bei allen Arten mit der deutlich abgestuften Saaddichte die Pflanzen- bzw. die Rispenzahlen, zumeist auch die Spross- und die Kornrockenmassen an (Tabelle 4). In der Vegetationsperiode 1997 bewirkten die über D2 hinausge-

Tabelle 4: Feldaufgang, Pflanzen-/Rispendichte bei der Ernte, Trockenmasseerträge und Harvestindex in Abhängigkeit von der Saaddichte in beiden Jahren (gemittelt über Saattermine und Sorten)

Table 4: Field emergence, crop density, dry matter yield and harvestindex as affected by sowing rates in two years (means across sowing dates and genotypes)

Art	Parameter	1996				1997			
		D1	D2	D3	GD 5%	D1	D2	D3	GD 5%
Buchweizen	Feldaufgang (%)	93,5	94,0	92,6	n.s. ¹⁾	102,9	98,8	20,5	9,6
	Pflanzen bei der Ernte (m ⁻²)	57,3	89,0	153,1	14,4	52,8	134,5	119,8	39,3
	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	69,2	76,0	78,9	6,1	84,1	88,0	80,5	n.s.
	Kornrockenmasse (dt ha ⁻¹)	22,4	26,7	28,8	2,8	28,1	27,8	24,1	3,0
	Harvestindex (%)	32,5	35,1	36,4	3,0	33,7	31,5	30,9	n.s.
Reismelde	Feldaufgang (%)	40,3	34,2	25,4	9,7	31,1	30,4	29,3	n.s.
	Pflanzen bei der Ernte (m ⁻²)	36,1	68,0	110,9	7,4	50,0	83,9	234,5	18,3
	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	97,6	105,2	103,8	n.s.	89,3	92,7	96,6	5,1
	Kornrockenmasse (dt ha ⁻¹)	38,0	41,5	39,1	2,8	33,8	33,2	34,6	n.s.
	Harvestindex (%)	39,7	40,0	38,4	n.s.	38,5	36,3	36,5	1,6
Amarant	Feldaufgang (%)	17,8	17,4	16,4	n.s.	10,1	12,3	15,5	n.s.
	Pflanzen bei der Ernte (m ⁻²)	18,7	32,2	54,1	9,6	9,0	21,5	64,5	11,8
	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	82,6	87,1	94,6	4,9	65,3	78,0	106,8	11,1
	Kornrockenmasse (dt ha ⁻¹)	19,6	21,1	23,3	1,8	18,8	23,1	29,0	4,3
	Harvestindex (%)	23,2	23,8	24,5	n.s.	27,4	29,4	27,2	n.s.
Rispenhirse	Feldaufgang (%)	47,6	47,3	38,8	5,9	39,7	33,8	12,9	7,2
	Rispen bei der Ernte (m ⁻²)	127,9	163,0	258,4	29,6	116,1	143,0	142,6	14,7
	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	86,5	92,3	102,8	5,8	89,5	91,5	105,2	9,0
	Kornrockenmasse (dt ha ⁻¹)	31,6	33,8	37,3	2,6	36,9	34,3	40,5	4,8
	Harvestindex (%)	36,7	36,9	36,5	n.s.	41,5	37,6	39,1	n.s.
Zwerghirse	Feldaufgang (%)	0,3	0,5	0,5	n.s. ²⁾	36,6	34,9	35,4	n.s.
	Rispen bei der Ernte (m ⁻²)	479	497	654	n.s.	nicht erfasst			
	Sprosstrockenmasse (dt ha ⁻¹)	59,9	58,8	68,4	n.s.	150,6	95,1	95,2	n.s.
	Kornrockenmasse (dt ha ⁻¹)	4,1	4,4	6,8	n.s.	20,9	16,9	16,3	n.s.
	Harvestindex (%)	6,8	7,1	9,8	n.s.	16,2	17,8	16,8	n.s.

¹⁾ n.s. = nicht signifikant ²⁾ n.v. = nicht verrechnet

henden, extrem hohen Saaddichten beim Buchweizen und der Rispenhirse keinen weiteren Dichteanstieg, dies schloss aber bei der Rispenhirse einen Trockenmassezunahme nicht aus. Bei der Zwerghirse produzierten relativ dünne Bestände (D1) 150 dt ha⁻¹ Trockenmasse. Die dichteren Saaten (D2, D3) führten 1997 bei höherem Feldaufgang als 1996 zu Keimdichten zwischen 5 000 und 8 500 Pflanzen m⁻², was starkes Lager und einen Rückgang der Trockenmassebildung zur Folge hatte. Während 1996 die dichteren gesäten Buchweizenbestände (D2, D3) tendenziell höhere Harvestindices erkennen ließen und höhere Kornerträge als dünn gesäte Bestände (D1) ausbildeten, zeichneten sich 1997 gegenteilige Reaktionen ab. Allein beim Amarant entsprach die Reaktion der des Vorjahres.

Nur vereinzelt konnten Interaktionseffekte zwischen der Saatzeit und der Saaddichte nachgewiesen werden. Diese beschränkten sich auf das Ausmaß der Reaktionen, die Richtung blieb unverändert. Unterschiedlich ausgerichtete Dichteeffekte nach der späten, verglichen mit der frühen Aussaat traten nicht auf. Aufgrund des minimalen Infor-

mationsgehaltes werden die Interaktionseffekte nicht gesondert ausgewiesen.

5. Diskussion

Nur der Buchweizen erreichte mit einer Spanne von 80–100 % ein im intensiven Getreideanbau übliches Feldaufgangsniveau. Bei den übrigen Arten entwickelten sich nur aus geringen Anteilen der ausgesäten keimfähigen Körner bestandesbildende Pflanzen mit dann stärkerer Verzweigung und größerer Wuchshöhe (AUFHAMMER et al., 1998; SOOBY et al., 1998). Prinzipiell mit den Aufgangsquoten variierende Spross- und Kornrockenmassen weisen auf die Relevanz der beiden aufgangsabhängigen Komponenten, der Pflanzenzahl pro m⁻² und der Pflanzenverteilung, hin (BACH, 1919; DARWINKEL und STÖLEN, 1997). Die Keimfähigkeit des Saatguts ist als Ursache der geringen Feldaufgänge auszuschließen, die realisierten Saaddichten basierten durchgängig auf keimfähigen Körnern. Vielmehr gelang es

einbezüglich der produktionstechnischen Variation nicht, größeren Anteilen der artspezifisch kleinen bzw. extrem kleinen Samen die erforderlichen Keim- und Aufgangsvoraussetzungen zu schaffen (WAGONER, 1983; WEBB et al., 1987; WEBER et al., 1990). Insbesondere das Zusammenreffen der Kleinkörnigkeit mit hohen Keimtemperatursprüchen verschärfte die Problematik (AUFHAMMER et al., 1994b; 1998; JACOBSEN et al., 1994). Die fragwürdige Ablagepräzision von kleinkörnigem Saatgut in Kombination mit den Effekten des Temperaturverlaufs und der Niederschlagsereignisse nach der Saat direkt und indirekt über die Bodeneigenschaften auf die Samen erwiesen sich als die zentralen, nur begrenzt beherrschbaren Einflussgrößen (BRENNER, 1991; WEBB et al., 1987).

Um 2–4 °C höhere Temperaturen in der Keimphase, hervorgerufen durch eine Verschiebung der Aussaat in die letzte Maidekade, beschleunigte die Feldaufgangstermine durchgängig um mehrere Tage. Die Aufgangsquoten stiegen jedoch nur beim Amarant und den Hirsen, fielen aber beim Buchweizen und der Reismelde. Der Amarant und die Hirsen gelten als besonders wärmeanspruchsvoll (AUFHAMMER und KÜBLER, 1998; PETR, 1995). Suboptimale Keimtemperaturen reduzieren beim Amarant den Anteil keimender Samen erheblich. Zusätzlich kann bei flacher Saatgutablage wie 1997 in der Breitsaatvariante eine Lichtempfindlichkeit, die bei optimalen Temperaturen verschwindet, die Keimung beeinträchtigen (AUFHAMMER et al., 1998; JACOBSEN et al., 1994). Auch bei Tagesmittelwerten nahe den Minimum-Temperaturen von Amarant werden im Tagesgang höhere Mittagstemperaturen, die die Lichtempfindlichkeit aufheben, erreicht. Dies scheint 1997 vor allem nach dem späteren Saattermin in der Breitsaatvariante wahrscheinlich, da hier höhere Feldaufgänge erzielt wurden. Bei der Einzelkornsaat mit Ablagetiefen um 1 cm dürfte die Lichtempfindlichkeit keine entscheidende Rolle gespielt haben. Durch einen Starkregen kurz nach der Aussaat Ende Mai 1996 entstanden Verschlammungs- und Verkrustungserscheinungen. Im Gegensatz zu den zügiger keimenden Buchweizen- und Reismeldevarianten konnten die Verdichtungen in den Amarant- und den Hirseparzellen noch vor Beginn der Auflaufphase mit der Cambridgewalze gebrochen werden. Damit wurden die aufgangsbehindernden Effekte zwar nicht eliminiert aber gemindert (AUFHAMMER et al., 1994b). Die Auflaufquoten von Buchweizen und Reismelde wurden nach der späteren Saat 1996 durch Bodenverkrustungen, 1997 durch Wassermangel und bei Buchweizen und Rispenhirse in den hohen Saaddichten der Breitsaat auf die Bodenoberfläche auch durch

Vogelfraß erheblich beeinträchtigt. Zusammenfassend kam die Verlegung des Saattermines in eine wärmere Periode nur den besonders wärmeanspruchsvollen Arten zu Gute, das Aufgungsverhalten von Buchweizen und Reismelde dominierte der Niederschlagsverlauf. Der Verbleib nach der Aussaat nicht unmittelbar gekeimter Samen wurde nicht gesondert untersucht. Insbesondere in den Breitsaatvarianten von Buchweizen und Rispenhirse wurden Anteile von Vögeln gefressen. Bei den kleinkörnigen Pseudogetreidearten wurde kein Vogelfraß beobachtet. Unbedeutende Anteile liefen stark verzögert auf und wurden nachfolgend unterdrückt. Ebenfalls sehr geringe Anteile blieben als Samenbank im Boden, vereinzelt liefen im 2. Folgejahr Amarantsamen auf.

Unter den kritischen Aufgangsbedingungen die schwierige Bestandesetablierung durch hohe Saaddichten zu unterstützen, erwies sich, vom Saatgutaufwand abgesehen, als sinnvoll (WAGONER, 1983). Mit artspezifisch geringen Pflanzendichten sind nur bei sehr gleichmäßiger Pflanzenverteilung leistungsfähige Bestände zu erstellen; dies gelang hier nur beim Buchweizen. Kornerträge um 28 dt ha⁻¹ wurden mit 130, aber auch mit stärker verzweigten 50 Buchweizenpflanzen m⁻² erzielt (AUFHAMMER et al., 1994a). Bei den übrigen Arten zeichneten sich, teilweise unter Abnahme der Auflaufquoten, mit zunehmenden Pflanzendichten ansteigende Spross- und zumeist auch Korntrockenmassen ab. Mit zunehmender Pflanzendichte geht auch bei relativ geringen Auflaufquoten das Ausmaß an ungenutztem Standraum zurück, zugleich steigt aber die Gefahr zu dichter Bestandesbereiche mit ertragsmindernden Konkurrenzeffekten (AUFHAMMER, 1999). Mit steigenden Saaddichten abnehmende Auflaufquoten deuten bereits auf die zunehmende Konkurrenz hin. Solange die Auswirkungen ungenutzten Standraums den Flächenertrag in stärkerem Maße bestimmen als ertragsdepressive Effekte aus der zwischen- und innerpflanzlichen Konkurrenz, steigen die Erträge an. Dies bedeutet zugleich, dass unter solchen Bedingungen keine Bestände erstellbar sind, die das standortspezifische Ertragspotential der Art vollständig umzusetzen vermögen.

Zur Entschärfung der Aufgangsproblematik bei den kleinkörnigen Arten sind Ansätze zu prüfen, die eine gröbere Saadbettstruktur und/oder Mulchauflagen, relativ späte Saattermine verbunden mit – soweit vorhanden – frühreifen Sorten und artspezifisch zumindest mittlere Saaddichten kombinieren. Allerdings steht eine gröbere Saadbettstruktur der Ablagepräzision entgegen, Mulch verzögert zunächst die Bodenerwärmung und somit den Feldaufgang, späte Saattermine gefährden die Abreife. Das Ziel,

Kombinationen zu entwickeln, die auch unter kritischen Witterungsbedingungen die Etablierung leistungsfähiger Ausgangsbestände sichern, verlangt zweifellos noch größeren Untersuchungsaufwand.

Literatur

- AUFHAMMER, W. (2000): Pseudogetreidearten: Buchweizen, Reismelde und Amarant. Herkunft, Nutzung und Anbau. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- AUFHAMMER, W. (1999): Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., D. CZUCZOROVA, H.-P. KAUL und M. KRUSE (1998): Germination of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* x *A. hybridus*): effects of seed quality, temperature, light and pesticides. Eur. J. Agron. 8, 127–135.
- AUFHAMMER, W. und E. KÜBLER (1998): Vergleichende Untersuchungen zur Anbauwürdigkeit der Getreidearten Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) und Kanariensaat (*Phalaris canariensis*) sowie der Pseudogetreidearten Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Reismelde (*Chenopodium quinoa*) und Amarant (*Amaranthus* sp.). Die Bodenkultur 49 (3), 156–169.
- AUFHAMMER, W., H. ESSWEIN und E. KÜBLER (1994a): Zur Entwicklung und Nutzbarkeit des Kornertragspotentials von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*). Die Bodenkultur 45 (1), 37–47.
- AUFHAMMER, W., H.-P. KAUL, M. KRUSE, J. H. LEE und D. SCHWESIG (1994b): Effects of sowing depth and soil conditions on seedling emergence of amaranth and quinoa. Eur. J. Agron. 3 (3), 205–210.
- AUFHAMMER, W. und E. KÜBLER (1991): Zur Anbauwürdigkeit von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*). Die Bodenkultur 42 (1), 31–43.
- BACH, F. W. (1919): Über *Chenopodium* als Nahrungsmittel, besonders über die als Melden bekannten Arten von *Chenopodium* und *Atriplex*. Landwirtsch. Jahrbuch 52, 387–409.
- BARTH, S. (1996): Bewertung eines Reismeldesortiments (*Chenopodium quinoa*). Morphologie, Phänologie und Stoffproduktion. Diplomarbeit, Universität Hohenheim.
- BALTENSPERGER, D. D. (1991): Release of Plainsman (P.L. 538322) grain amaranth. Legacy 4 (1), 7.
- BRENNER, D. (1991): Seed shattering control with indehiscent utricles in grain amaranthus. Legacy, 3 (1), 2–3.
- DARWINKEL, A. und O. STØLEN (1997): Understanding of the quinoa crop-guidelines for growing in temperate regions of N.W. Europe. Brochure, cofunded by the Europ. Com (DGVIF. II 3-Coordination of Agric. Res.).
- DOBOS, G. (1996): Züchterische Bearbeitung von Körneramarant, Reismelde und Wintermohn unter Berücksichtigung der im Laufe einer Introdution auftretenden Fragen. Forschungsprojekt L 819/93, 1–68.
- IRVING, D. W., A. A. BETSCHART und R. M. SAUNDERS (1981): Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. J. Food Sci. 46, 1170–1174.
- JACOBSEN, S. E., J. JØRGENSEN und O. STØLEN (1994): Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. J. Agric. Sci. (Camb.) 122, 47–52.
- JACOBSEN, S. E., B. JØRNSGARD, J. L. CHRISTIANSEN und O. STØLEN (1994): Effect of harvest time, drying technique, temperature and light on the germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Seed Sci. & Technol. 27, 937–944.
- KAUL, H.-P., W. AUFHAMMER, B. LAIBLE, E. NALBORCZYK, S. PIROG und K. WASIAK (1996): The suitability of amaranth genotypes for grain and fodder use in Central Europe. Die Bodenkultur 47, 173–181.
- KRUSE, M. (1996): Vergleichende Untersuchungen zur Licht- und Stickstoffnutzung von Amarant-, Reismelde- und Buchweizenbeständen. Dissertation, Universität Hohenheim.
- KUHN, M. (1999): Pseudocerealien – eine Herausforderung für künftige Forschung und Produktentwicklung. Getreide, Mehl und Brot 53, 8–11.
- LEE, J. H. (1995): Ertrag und Kornqualität der Pseudogetreidearten Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench), Reismelde (*Chenopodium quinoa* Willd.) und Amarant (*Amaranthus hypochondriacus* L. x *Amaranthus hybridus* L.) im Vergleich zur Getreideart Hafer (*Avena sativa* L.) in Abhängigkeit vom Anbauverfahren. Dissertation, Universität Hohenheim.
- LEE, J. H., W. AUFHAMMER und E. KÜBLER (1996): Gebildete, geerntete und verwertbare Kornerträge der Pseudocerealien Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench), Reismelde (*Chenopodium quinoa* Willd.) und Amarant (*Amaranthus hypochondriacus* L. x *Amaranthus hybridus* L.) in Abhängigkeit von pflanzenbaulichen Maßnahmen. Die Bodenkultur 47 (1), 5–14.
- PETR, J. (1995): Pestovani pohanky a prosa.
- RISI, J. und N. W. GALWEY (1991): Genotype x environmental interaction in the Andian grain crop quinoa (*Che-*

- nopodium quinoa*) in temperate environments. Plant Breeding 107, 141–147.
- SAS INSTITUTE INC. (1987): SAS/STAT Guide for Personal Computers. 6. Auflage, Cary USA.
- SOOBY, J., R. MYERS, D. D. BALTENSPERGER, D. BRENNER, R. WILSON und C. BLOCK (1998): Field preparation and planting. In: Amaranth – Production Manual for the Central United States. University of Nebraska Cooperative Extension. EC 98, 6–9.
- SPORY, K. (1992): Reismelde (*Chenopodium quinoa* Willd.) – Bedeutung, Verbreitung, Anbau, Anbauwürdigkeit. Diplomarbeit, Universität Hohenheim.
- WAGONER, P. (1983): Amaranth Density Report. Rodale Press. Inc., P.A. Report No. RRC/NC-83/8.
- WEBB, D. M., D. W. SMITH und J. SCHULZ-SCHAFFER (1987): Amaranth seedling emergence as affected by seedling depth and temperature on a thermogradient plate. Agron. J. 79, 23–26.
- WEBER, L. E., W. W. APPLGATE, D. D. BALTENSPERGER, M. D. IRVIN, J. W. LEHMANN und D. H. PUTNAM (1990): Amaranth grain production guide. Rodale Research Center and American Amaranth Institute, Briceley, USA.
- WILLIAMS, J. T. und D. BRENNER (1995): Grain amaranth (*Amaranthus* species). In: WILLIAMS, J. T. (ed.): Cereals and Pseudocereals. Chapman & Hall, London, 129–186.

Anschrift der Verfasser

Dr. Ernst Kübler, Priv.-Doz. Dr. Hans-Peter Kaul und Prof. Dr. Walter Aufhammer, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Fachgebiet Spezieller Pflanzenbau, Fruwirthstr. 23, D-70599 Stuttgart, Deutschland; e-mail: ari340@uni-hohenheim.de

Eingelangt am 20. Juni 2001

Angenommen am 15. Dezember 2001