

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz

**Nackthafer mit verbesserten Eigenschaften aus Kreuzungen
von Spelz- und Nackthafer**

der Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

als

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades
doctor agriculturarum (Dr. agr.)

vorgelegt von

Magister Science
Asep Ginanjar Arip

geb. am 07.07.1968
in Garut (Indonesien)

Gutachter: Prof. Dr. W. E. Weber
PD Dr. F. Ordon
PD Dr. A. Börner

Verteidigung am: 26. Januar 2004

Halle/Saale 2004

urn:nbn:de:gbv:3-000006085

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000006085>]

Verzeichnis der Abkürzungen

AVE	Gaterslebener Akzessionsbezeichnung für Hafer
°C	Grad Celsius
%	Prozent
Σ	Summe
a	analysiert
Abb.	Abbildung(en)
BBCH	Skala zur einheitlichen Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen
BMELF	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BSA	Bundessortenamt
BYDV	Barley Yellow Dwarf Virus (Haferröte)
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAN	Kanada
CHN	China
CZ	Tschechien
d.h.	das heißt
Diff.	Differenz
dt	Dezitonne(n)
Dw6	Dwarfgen (Verzweigungsgen)
EAA	essential amino acids
EP	Einzelpflanze(n)
EPN	Einzelpflanzennachkommenschaft(en)
ER	Einzelrispe
ERN	Einzelrispenachkommenschaft(en)
f. sp.	forma specialis
F-1	Blatt unter dem Fahnenblatt
FAO	Food and Agriculture Organization
FG	Freiheitsgrad
FIN	Finnland
Fld.nr.	Feldnummer
FRA	Frankreich
F _x	x-te Filial
g	Gramm
GBR	Großbritannien
GER	Deutschland
GLM	general linear model
h	Stunde
ha	Hektar
Her.	Herkunft
Hal	Halle
Ho	Hohenthurm
Inc.	Incorporation
kcal	Kilokalorien
Keimf.	Keimfähigkeit(en)
kg	Kilogramm
KG	Korngewicht

KZ	Kornzahl
Krztg.	Kreuzung
Krztg.nr	Kreuzungsnummer
L.	Linné
l	Liter
LLG	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
LSV	Landessortenversuch(e)
max.	maximal
Md	Mähdrescher
mg	Milligramm
min	Minute(n)
mind.	mindestens
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
MLU	Martin-Luther-Universität
mm	Millimeter
Mittw.	Mittelwert
MQ	Mittleres Abweichungsquadrat
N	Anzahl
N x N	(Eltern der Kreuzung) Nackthafer x Nackthafer
nb	nicht bestimmt
NIT	Nahinfrarottransmission
NK	Nachkommenschaften der Kreuzung aus Nacktformen
Nr.	Nummer
ns	nicht signifikant
Öl	Ölgehalt
p	Wahrscheinlichkeit (probability)
P	Parentalgeneration
PG	Parzellengewicht
POL	Polen
Pop.	Population(en)
r	Korrelationskoeffizient
ROM	Rumänien
RP	Rohproteingehalt
s	signifikant
\$	Dollar
S x N	(Eltern der Kreuzung) Spelzhafer x Nackthafer
Sal	Salzmünde
SARDI	South Australian Research and Development Institute
SOV	Sowjetunion
Std. abw.	Standardabweichung
subsp.	subspecies
SWE	Schweden
Tab.	Tabelle(n)
TKG	Tausendkorngewicht
TKeG	Tausendkerngewicht
TM	Trockenmasse
unb	unbekannt
USA	United States of America
var.	varietät

Wdh.
W. spelzhafer
z.B.
zit.

Wiederholung
Winterspelzhafer
zum Beispiel
zitiert

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verzeichnis der Abkürzungen	iii
1 Einleitung	1
2 Literatur	4
2.1 Bedeutung und Verwendung des Hafers (<i>Avena sativa</i>).....	4
2.2 Botanische Stellung des Hafers (<i>Avena sativa</i>).....	8
2.3 Morphologie von Spelz- und Nackthafer.....	9
2.4 Genetik der Nacktkörnigkeit.....	10
2.5 Züchtung.....	11
3 Material und Methoden	15
3.1 Material	15
3.1.1 Pflanzenmaterial.....	15
3.1.2 Materialaufbau bis zur F ₅ -Generation.....	19
3.1.3 Versuche zur Keimfähigkeit und Qualität (Öl- und Rohproteingehalt).....	21
3.1.4 Kreuzungen zwischen Nackthaferformen	21
3.2 Standorteigenschaften.....	22
3.3 Methoden	23
3.3.1 Merkmalerfassung in Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer.....	23
3.3.2 Bestimmung der Keimfähigkeit und Qualität.....	27
3.3.3 Herstellung und Analyse der Kreuzungen zwischen Nackthaferformen.....	29
3.4 Statistische Auswertung.....	32
4 Ergebnisse.....	33
4.1 Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer	33
4.1.1 F ₂ -Generation.....	33
4.1.2 F ₃ -Generation.....	34

4.1.3	F ₄ -Generation.....	40
4.1.4	F ₅ -Generation.....	50
4.2	Versuche zur Keimfähigkeit und Qualität	64
4.2.1	Keimfähigkeit	64
4.2.2	Spelzengehalt und Anteil bespelzter Körner.....	67
4.2.3	Qualität.....	72
4.3	Kreuzungen zwischen Nackthaferformen.....	79
5	Diskussion	85
5.1	Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer.....	85
5.2	Genetik der Nacktkörnigkeit.....	96
6	Zusammenfassung	99
7	Summary	101
8	Literaturverzeichnis	103
9	Abbildungsverzeichnis	I
10	Tabellenverzeichnis	II

1 Einleitung

Der Hafer (*Avena sativa*) ist eine Getreideart mit einem besonderen Gesundheitswert und wird in der menschlichen Ernährung sowie in der Fütterung eingesetzt. Normalerweise ist die bespelzte Form im Anbau. Der Hauptnachteil des Hafers ist seine dicke faserige Spelze, die den Energiewert des Korns als Futter senkt. Das Verhältnis zwischen Spelze und Kern kann allerdings beträchtlich variieren (Valentine, 1995). Für die Verwendung als Lebensmittel in Form von Haferflocken müssen die Körner zunächst einer Schälung unterzogen werden.

Unter den Getreidearten rangiert der Hafer (*Avena sativa*) in Deutschland in der Anbaubedeutung hinter anderen Getreidearten. Hafer liegt nach Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Körnermais an sechster Stelle (BMELF, 2000). Die Anbaufläche ging zwischen 1982 und 2001 von 723.000 ha auf 232.000 ha zurück, während im gleichen Zeitraum der Ertrag von 43 dt/ha auf 49 dt/ha anstieg (BSA, 2002). In der Weltgetreideproduktion folgt Hafer auf Weizen, Mais, Reis, Gerste und Hirse und nimmt den sechsten Platz ein. Der Anbau des Hafers ist weltweit rückläufig und die Erträge gingen von 1960 bis 1990 von 49,3 Million Tonnen auf 38,6 Million Tonnen zurück (Hoffman, 1995).

Jedoch könnte sich die Anbaufläche des Hafers in Zukunft stabilisieren. Ein Grund hierfür ist der im Vergleich zu den übrigen Getreidearten besondere ernährungsphysiologische Wert des Hafers, der durch einen hohen Gehalt an biologisch wertvollem Protein, ungesättigten Fettsäuren, Thiamin und an Beta-Glucan bestimmt wird (Kestin et al., 1990; Rabe, 1993; Hardin, 2000; Maier et al., 2000; Katz, 2001). Die positive Wirkung des Beta-Glucans ist auf eine Senkung des Serumcholesterins und des Blutzuckergehaltes zurückzuführen. Für die Verdauung förderlich sind auch seine Eigenschaften als Schleim- und Ballaststoff (Kestin et al., 1990; Behall et al., 1997; Romero et al., 1998; Maier et al., 2000).

Als eine besondere Züchtungsrichtung innerhalb der Fruchtart Hafer gilt der Nackthafer. Er kann in der Lebensmittelproduktion als ganzes Korn eingesetzt werden, da eine Entspelzung nicht erfolgen muss. Der Nackthafer ist somit für die Herstellung von spezifischen Fertigprodukten wie gerösteten Körner in Teigwaren und Müsli mit ganzen Haferkörnern geeignet. Als Nischenprodukt spielt er auch im ökologischen Anbau eine wichtige Rolle. Bei der Herstellung hochproteinreicher Kraftfutter entfällt der aufwendige und verlustreiche Schälvorgang (Cuddeford, 1995).

Spelzhafer muss für Nahrungszwecke geschält werden. Der auch beim freidreschenden Nackthafer noch vorhandene Spelzenanteil ist dagegen leicht zu entfernen. Die Höhe des Spelzenanteils hängt von der Einstellung des Mähdreschers beim Dreschvorgang ab. Um Beschädigungen des Keimlings zu vermeiden, ist es erforderlich, beim Dreschen sowie bei der weiteren Aufbereitung von Nackthafer das Korn nicht übermäßig mechanisch zu strapazieren. Anders als beim Spelzhafer, der zwei bis drei entwickelte Körner je Ährchen ausbildet, sind die Ährchen des Nackthafers vielblütig. Die Entwicklung weiterer Körner in einem Ährchen wird nicht gestoppt, was eine ungleichmäßige Kornentwicklung zur Folge hat.

Nackthafer ist in Ertragsprüfungen dem Spelzhafer deutlich unterlegen. Das trifft auch dann zu, wenn der Spelzenanteil berücksichtigt wird (Peltonen-Sainio, 1994). Auch das Tausendkorngewicht (TKG) ist reduziert, was jedoch stark mit dem Spelzenanteil zusammen hängt. Deutliche Unterschiede zwischen Spelz- und Nackthafer bestehen in der Kornzusammensetzung. Dabei übertrifft der Nackthafer die bespelzte Form im Fett-, Rohprotein- und Energiegehalt (Valentine, 1995).

Aufgrund der geringen Anbaufläche von Nackthafer in Deutschland ist die Züchtung bislang nur im begrenztem Umfang betrieben worden. Weltweit jedoch hat die Züchtung wieder an Bedeutung gewonnen. Im Vordergrund steht die Erhöhung der Ertragsleistung, die geringer zu bewerten ist als die des Spelzhafers (Kittlitz, 1968). Aufgrund der Vielblütigkeit bildet der Nackthafer Körner mit geringer und ungleichmäßiger Korngröße. Hier ist die Züchtung bestrebt, die Vielblütigkeit und die Empfindlichkeit gegenüber maschinellem Drusch zu reduzieren (Kittlitz und Uhlig, 1974).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen folgende Ziele verfolgt werden:

1. Das Ertragspotential von Nackthafer soll gesteigert werden, um diese Haferform mit ihren besonderen Eigenschaften anbauwürdig zu machen.
2. Die Bedeutung der Ertragskomponenten bei Spelz- und Nackthafer wie Korngewicht, Kornzahl je Rispe und TKG sowie deren Wechselbeziehungen sollen über eine Ertragsanalyse erfasst werden.
3. Nackthafer unterliegen einer größeren Druschempfindlichkeit als Spelzhafer und aufgrund des stärker freiliegenden Embryos einer verminderten Keimfähigkeit. Daher soll die Bruchfestigkeit über die Keimfähigkeit erfasst werden.
4. Ein Vergleich von Protein- und Ölgehalt in der F₄- und F₅-Generation aus der Kreuzung bespelzt x nackt soll an Geschwisterlinien und zugelassenen Sorten durchgeführt werden.

5. Durch Kreuzung von Nacktformen untereinander soll geklärt werden, ob es verschiedene Gene für die Entstehung der Nacktform gibt.

2 Literatur

2.1 Bedeutung und Verwendung des Hafers (*Avena sativa*)

Hafer nimmt in Deutschland im Jahr 2002 unter den Getreidearten den sechsten Platz nach Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Körnermais in Bezug auf Anbaufläche und Ertrag ein (BMELF, 2002). Dies ist die Folge eines starken Rückganges der Anbaufläche, der sich über mehrere Jahrzehnte hinzog. Zwar ist auch in den letzten Jahren der Anteil an angebautem Hafer weiter zurückgegangen, eine gewisse Stabilisierung ist aber festzustellen (BSA, 2000a).

Ursache für den starken Rückgang ist die Abschaffung der Zugtiere als Folge der Mechanisierung in der Landwirtschaft (Fischbeck, 1985). Ein weiteres Absinken des Anbaus ist aber nicht zu erwarten, da der Pferdesport als Freizeitbeschäftigung einen hohen Stellenwert einnimmt und Hafer eine der wichtigsten Futterkomponenten ist.

Noch 1960 lag Hafer dicht hinter Weizen, Gerste und Roggen auf Platz vier mit einer Anbaufläche von mehr als einer Million Hektar in Deutschland. Im Jahr 2002 betrug diese nur noch ca. 260.000 ha (BMELF, 2002). Trotz des Rückganges sind die Erträge bis zum Jahr 1980 weiter angestiegen und erst danach deutlich abgefallen (Hoffmann, 1995). Im Osten Deutschlands hat Hafer bisher eine geringere Bedeutung als im westlichen Teil. Bundesweit betrug der Anteil von Hafer an der gesamten Getreidefläche 2002 etwa 3,4 %. Diesen Wert erreichte jedoch keines der ostdeutschen Länder (Land und Forst, 2003). Auch in Sachsen-Anhalt lagen die Anbauflächen und Erträge bei Hafer in den Jahren 1991 bis 2001 unter denen der anderen Getreidearten (Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, 2002). Von 1995 bis 2001 stagnierte die Anbaufläche und lag auf dem fünften Platz nach Weizen, Gerste, Roggen und Triticale (Abb. 1 und 2).

Weltweit gesehen sind die wichtigsten Anbaugeländer für Hafer in Europa die Ostsee-Anrainerstaaten Schweden, Finnland, Russland, Polen und Deutschland. Außerhalb Europas sind es vor allem der Norden der U.S.A., Kanada und Australien (Walker, 2002).

Innerhalb der gesamten Anbaufläche für Hafer macht der Nackthafer nur einen sehr geringen Anteil aus. Kibite (2002) gibt für die kanadischen Provinzen einen Anteil von weniger als 5 % an. In anderen Anbaugeländern liegt dieser Anteil noch niedriger.

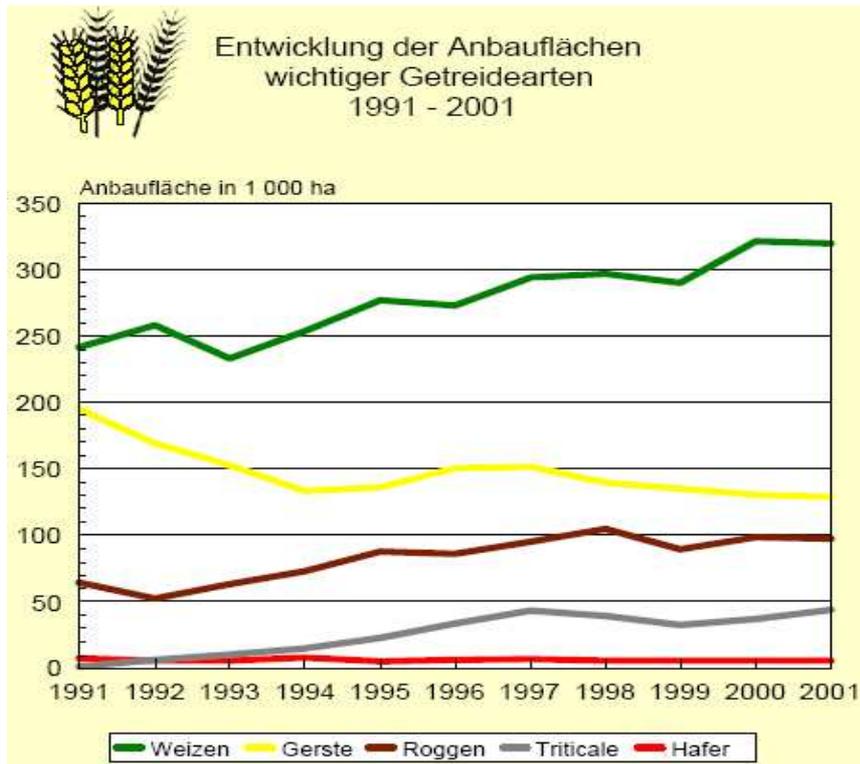


Abbildung 1: Entwicklung der Getreideanbauflächen in Sachsen-Anhalt (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, 2002)

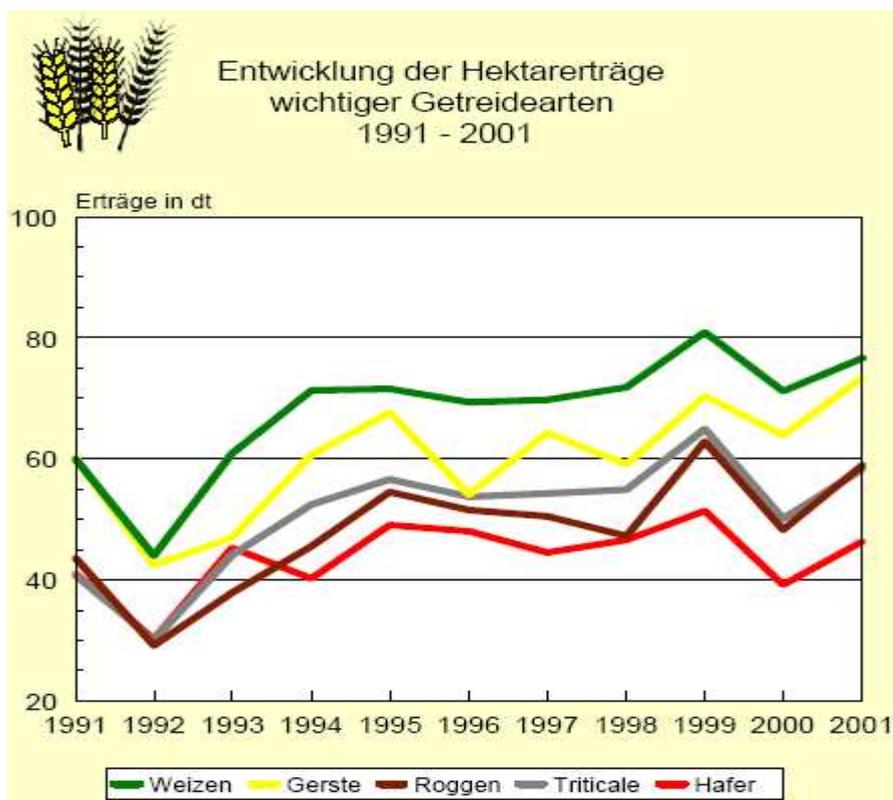


Abbildung 2: Entwicklung der Hektarerträge wichtiger Getreidearten in Sachsen-Anhalt (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, 2002)

Spelz- und Nackthafer haben einen höheren Nährwert in Bezug auf Ölgehalt und Aminosäuren als andere Getreide (Ougham et al., 1996). Fett, Protein und Stärke sind die Hauptinhaltsstoffe im Haferkorn. Unter den Getreiden haben nur Hafer und Mais Chancen als ölproduzierende Arten. Ein Vergleich des Nährwertes der Getreidearten wird in der Tab. 1 gezeigt.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung (g/kg TM)

	Nackthafer	Weizen	Gerste	Spelzhafer
Öl	83-97	19	13	43 (30-84)
Rohprotein	119-150	123	128	116
Rohfaser	28-45	20	50	105
Cellulose	36	29	54	105
Lignin	18	11	16	36
Energie(MJ/kg TM)				
Brutto Energie	19,9	18,2	18,4	19,5

Quelle: Valentine, 1995

Nährstoff pro 100 g	Hafermehl	Maismehl	Vollkorn Weizenmehl	Brauner Reis
Energie (kcal)	401	368	310	357
Protein (g)	12,4	9,4	12,7	6,7
Öl (g)	8,7	3,3	2,2	2,8
Kohlenhydrat (g)	72,8	73,1	63,9	81,3
Nicht-Stärke Polysaccharide (g)	6,8	2,2	9	1,9
Kalium (mg)	370	170	340	250
Kalzium (mg)	55	3	38	10
Magnesium (mg)	110	44	120	110
Phosphor (mg)	380	120	320	310
Eisen (mg)	4,1	1,3	3,9	1,4
Kupfer (mg)	0,23	0,15	0,45	0,85
Zink (mg)	3,3	1	2,9	1,8
Vitamin E (mg)	1,7	Spuren	1,4	0,8
Riboflavin (mg)	0,5	0,26	0,47	0,59
Thiamin (mg)	0,1	0,08	0,09	0,07
Niacin (mg)	3,8	2	8,2	6,8
Vitamin B6 (mg)	0,12	nb	0,5	nb
Folate (g)	60	nb	57	49

Quelle : Welch,1995 (nb= nicht bestimmt)

Der Ölgehalt der Hafersorten variiert von 3 bis 12 % in der Trockenmasse. Es gibt aber auch Zuchtlinien, die einen Ölgehalt von bis zu 19 % aufweisen (Banas et al., 2000). Daher besitzt Hafer den höchsten Energiegehalt. Auch Kalium, Kalzium, Phosphor, Eisen, Zink, Vitamin E, Riboflavin und Folate sind in hohem Maße vorhanden (Welch, 1995; Paas und Pierce, 2002).

Wegen des beträchtlichen Rohfasergehaltes von Spelzhafer wird die Verdaulichkeit eingeschränkt (Menke und Huss, 1987). Hinzu kommt, dass die Spelzen für Menschen und sich monogastrisch ernährende Tiere wie Schweine und Geflügel eine niedrige umsetzbare Energie besitzen (Zarkadas et al., 1995a; Morris und Bryce, 2000). Jedoch werden 67 % der weltweiten Haferproduktion für die Tierernährung und 10 % für die menschliche Ernährung verwendet (Morris und Bryce, 2000).

Hafer wird hauptsächlich an Pferde verfüttert, deren Anzahl aufgrund der Popularität des Reitsportes in den letzten Jahren zugenommen hat. Aber auch bei der Fütterung von Schafen ist Hafer ein Bestandteil der Grundration. Mit dem Trend in Richtung gesunder Ernährung ist der Stellenwert von Hafer in der Lebensmittelproduktion ebenfalls gestiegen, vor allem in der Frühstücksnahrung, bei Imbissprodukten oder als Kleie (Baldanzi, 1998).

Je nach Verwendungszweck, wie z.B. bei der Herstellung von Haferflocken, ist eine Entspelzung des Korns nach dem Drusch notwendig. Ball (1999) stellte fest, dass die Kosten für die Entfernung der Haferschale bei 80 bis 100 \$ pro Tonne lagen. Er machte den Vorschlag, Nackthafer zu verwenden, der mehrere Vorteile bietet. Er besitzt eine höhere verdauliche Energie und liegt im Eiweiß- und insbesondere im Lysingehalt über dem Spelzhafer. Als technisch vorteilhaft in der Verarbeitung ist vor allem die Eigenschaft des Freidreschens.

Nackthafer hat aber für spezifische Verwendungszwecke wie für Ganzkornmüsli in der menschlichen Ernährung und als energiereiches Kraftfutter in der Haltung von Geflügel eine feste Nische. In den letzten Jahren gewann die Züchtung von Nackthafer in vielen Gebieten wieder mehr an Bedeutung, z.B. in Großbritannien, Nordamerika und Deutschland (Valentine, 1995). In der Sortenliste sind gegenwärtig fünf Nackthafersorten eingetragen: Mozart, Sallust, Salomon, Samuel und Sandokan (BSA, 2003).

Der Hauptnachteil des Nackthafers ist vor allem die geringere Kornausbeute gegenüber Spelzhafer. Die Steigerung des Ertragspotenziales stellt daher den Schlüssel zum Erfolg dar. Als Ursache hierfür sind reduziertes Sämlingsaufkommen, eine geringere Ährchenanzahl pro Rispe und Vielblütigkeit der Ährchen zu nennen (Peltonen-Sainio, 1997).

Beim Mähdrusch ist das freiliegende Korn besonders anfällig gegenüber mechanischen Schäden (Kittlitz und Uhlig, 1974; Peltonen-Sainio et al., 2001).

2.2 Botanische Stellung des Hafers (*Avena sativa*)

Die Gattung *Avena* gehört zum Tribus *Avenae* innerhalb der Unterfamilie *Pooideae* der *Poaceae*. Es treten verschiedene Ploidiestufen in dieser Gattung auf, d.h., die Anzahl der Chromosomensätze variiert. Die Chromosomengrundzahl ist $x = 7$. Drei natürlich auftretende Ploidiestufen können hierbei unterschieden werden: die diploide mit einer Chromosomenzahl von $2n = 2x = 14$, die tetraploide mit $2n = 4x = 28$ und die hexaploide mit $2n = 6x = 42$ Chromosomen (Li et al., 2000; Linares et al., 2000). Es existieren mehrere Genome, die homöolog sind (Linnert, 1997). Hafer wird als sekundäre Kulturpflanze bezeichnet, da er ähnlich wie Roggen auf den Feldern als Unkraut angesehen wurde (Fischbeck, 1985).

Die im Anbau befindlichen Sorten zählen zur Art *Avena sativa*. Diese ist hexaploid mit den Genomen A, C und D. Die Nackthaferarten sind ebenfalls hexaploid und werden heute wie der Spelzhafer unter der Art *Avena sativa* aufgeführt. Zwischen den beiden Formen bestehen keinerlei Kreuzungsbarrieren. Die ältere Bezeichnung *Avena nuda* findet sich noch bei Plarre (1970) und Simons et al. (1978), wird aber heute nicht mehr für den hexaploiden Nackthafer verwendet (Schönberger und Kropf, 2000). Danert (1972) geht in seinen Ausführungen genauer auf die Problematik der unterschiedlichen Formenbezeichnungen ein.

Nacktformen gibt es bei Hafer sowohl unter den hexaploiden als auch unter den diploiden Arten. Die Artbezeichnung *Avena nuda* sollte nach Leggett und Thomas (1995) für diploide Nacktformen reserviert werden.

Über die Herkunft der Genome A, C und D konnten lange Zeit keine genaueren Angaben gemacht werden, insbesondere über die Homöologiebeziehung zwischen den Genomen (Fischbeck, 1985). Mit der modernen molekularen Analyse in Verbindung mit der *in situ* Hybridisierung konnten erste Ansätze in Richtung Klärung dieser Fragestellungen unternommen werden (Leggett und Markhand, 1995; Linares et al., 1998 und 2000, Li et al., 2000). Die Kenntnis über diese Zusammenhänge ist züchterisch bedeutsam, wenn Wildarten zur Einkreuzung wichtiger Gene benutzt werden sollen.

Zu den hexaploiden Wildarten mit den Genomen A, C und D gehört auch der Flughäfer (*Avena fatua*), der als lästiges Unkraut in den Getreidebeständen nicht chemisch bekämpft werden kann. Er ist mit dem Hafer kreuzbar und bildet fertile Bastarde. In den

Folgegenerationen treten dann Mischtypen mit unterschiedlichen Anteilen an Flughafer auf. Diese Gefahr besteht, obwohl der Hafer weitgehend geschlossen abblüht und die Fremdeinkreuzungsrate unter natürlichen Bedingungen weit unter 3 % liegt.

2.3 Morphologie von Spelz- und Nackthafer

Haferpflanzen bilden Rispen, welche sich in zahlreiche Äste verzweigen. Bei Spelzhafer enthält ein Ährchen in der Regel drei Blüten, von denen das mittlere rudimentär ausgebildet ist und meistens kein Korn bildet. Daher werden normalerweise zwei Körner pro Ährchen gebildet. Die Ausbildung von nur einem Korn ist dabei aber nicht ausgeschlossen (Magness et al., 1971). Die Körner sind von einer Spelze umhüllt, die bei der Reife lignifiziert und das Korn auch bei der Ernte noch fest umschließt. Die Rachilla, an der die Blütchen sitzen, ist relativ kurz.

Die Morphologie des Nackthafers unterscheidet sich deutlich von der des Spelzthafers. Die auch bei Nackthafer vorhandenen Spelzen sind sehr dünn und können beim Dreschen zum größten Teil entfernt werden (Lawes und Boland, 1974). Daraus resultiert allerdings auch eine höhere Druschempfindlichkeit von Nackthafer (Kittlitz und Uhlig, 1974; Peltonen-Sainio et al., 2001). Die Spelze ist dünn und papierartig. Nackthafer ist daher freidreschend wie Weizen und Roggen. Auch bei der Gerste, die normalerweise bespelzt ist, treten Nacktformen auf.

Ein weiterer wichtiger morphologischer Unterschied zwischen Spelz- und Nackthafer liegt in der Anzahl der Blütchen. Diese ist bei Nackthafer wesentlich höher, außerdem sitzen sie an einer wesentlich längeren Rachilla. Häufig werden bis zu acht Blüten gebildet (Fischbeck, 1985). Coffman und Mackey (1959) berichten allerdings auch über Pflanzen, die zehn bis zwölf Blüten pro Ährchen besitzen. Es ist anzumerken, dass auch bei Spelzhafer die Anlage für mehr Blüten vorhanden ist, deren weitere Entwicklung jedoch frühzeitig gestoppt wird (Ougham et al., 1996).

Man kann die höhere Zahl an Blüten pro Ährchen aber nicht unbedingt als Vorteil ansehen. Die Ausbildung einer größeren Zahl an Körnern in einem Ährchen hat zur Folge, dass die Korngrößenvariation ansteigt und ein erheblicher Anteil sehr kleiner Körner gebildet wird (Meyer, 1993; Valentine, 1995). Dies hat eine Verringerung des Tausendkorngewichtes zur Folge. Kittlitz (1968) untersuchte die Wirkung der Blütenzahl im Ährchen auf die Kornausbildung. Er reduzierte bei Nacktformen künstlich die Blütenzahl an der Ährchenbasis. Die Ergebnisse zeigten, dass es einen Unterschied zwischen

Kontrolle und Behandlung im TKG gab. Er betrug bei der Kontrolle 24,1 g und bei der Behandlung 28,0 g.

2.4 Genetik der Nacktkörnigkeit

Die Nacktkörnigkeit ist eine komplex vererbte Eigenschaft. Hauptverantwortlich ist ein dominantes Majorgen, das von Jenkins und Hanson (1976) mit N bezeichnet wurde. Diese Bezeichnung wurde später in N-1 umgeändert (Simons et al., 1978). Jenkins und Hanson (1976) beschreiben drei weitere Genorte. Die Allele dieser drei Loci interagieren untereinander und mit N-1. Es gibt zahlreiche Formen von völlig nackten, über partiell nackte und partiell bespelzte, bis hin zu völlig bespelzten Phänotypen. In allen Fällen scheint die Nacktkörnigkeit vom Majorgen N-1 maßgeblich beeinflusst zu werden (Valentine, 1995). Er betrachtet dieses Gen als ein Regulatorgen. Kibite (2002) fand in seinen Untersuchungen einen Esterase-Isozymmarker, der mit N-1 eng gekoppelt ist.

Die Nacktkörnigkeit wird auch von Umweltfaktoren stark beeinflusst. Der Ausprägungsgrad ist im Gewächshaus stärker als unter Freilandbedingungen (Boland und Lawes, 1973). Eine Förderung der Nacktkörnigkeit ist auch bei höheren Temperaturen zu beobachten (Lawes und Boland, 1974).

Aus Sicht der Züchtung ist eine möglichst vollständige Ausprägung wichtig. Lawes und Boland (1974) berichten, dass in einem Feldversuch im Jahr 1971 von 89 unterschiedlichen nacktkörnigen Genotypen nur zehn ausschließlich nackte Körner produzierten. Die übrigen 79 Genotypen wiesen aber immer noch einen Anteil von 5 % bespelzten Körnern auf.

Mit der Nacktkörnigkeit sind die Eigenschaften der Vielblütigkeit und einer verlängerten Rachilla gekoppelt (Coffman und Mackey, 1959; Cabral et al., 2000). Alle Versuche, diesen Komplex aufzubrechen, sind bisher nicht erfolgreich gewesen (Ougham et al., 1996).

Über Kreuzungsergebnisse zwischen Spelz- und Nackthafer wurde schon sehr früh berichtet (Zinn und Surface, 1917). Vom Erscheinungsbild her nahmen die F₁-Pflanzen eine Zwischenstellung ein. Sie bestätigten die Ergebnisse von Tschermak (1910), dass die Vielblütigkeit vorherrscht, wenn nicht sogar dominant ist. Zinn und Surface (1917) beobachteten, dass an einer einzelnen Pflanze innerhalb einer Rispe verschiedene Formen an den einzelnen Ästen auftraten und auch der Grad der Nacktkörnigkeit eine Stellung zwischen den Eltern einnahm.

2.5 Züchtung

Hafer ist ein strenger Selbstbefruchter mit einer Selbstbefruchtungsrate von nahezu 100 %. Coffman und Mackey (1959) führten verschiedene Experimente mit Schwarzhafener durch, der als Bestäuber eingesetzt wurde. In den meisten Fällen lag die Fremdbefruchtungsrate unter 1 %. Bei ungünstigen Bedingungen und in Abhängigkeit vom Genotyp wurden auch 3 % nachgewiesen. Die zugelassenen Sorten sind die für Selbstbefruchter typischen Liniensorten.

In Deutschland wird fast ausschließlich Sommerhafer angebaut, jedoch gibt es verstärkt Bestrebungen, auch Winterformen zu entwickeln, die in Gebieten mit milderen Klimaten wie in Großbritannien eine erhebliche Bedeutung haben. Von der Zuchtmethodik her gibt es zwischen Spelz- und Nackthafer keine Unterschiede.

Kreuzungen sind bei Hafer etwas schwieriger durchzuführen als bei anderen Getreidearten. Beim Kastrieren der Mutterpflanze wird nur eine Blüte pro Ährchen belassen. Eine Verletzung der Narbe muss unbedingt vermieden werden. Bei Nackthafer ist das Kastrieren besonders bei Akzessionen noch schwieriger, da die Blüten sehr klein sind. Die kastrierte Blüte ist anschließend zwei bis fünf Tage befruchtungsfähig.

Bei Übertragung der Pollen müssen günstige Bedingungen herrschen, damit eine schnelle Befruchtung gewährleistet wird. Ein anderer Weg besteht darin, Bestäuberrispen zu schneiden und mit den kastrierten Rispen zusammen in ein Glas zu bringen. Dadurch ist der Pollen frischer und der Erfolg bei der Bestäubung wird erhöht.

Der weitere Zuchtgang erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den anderen selbstbefruchtenden Getreidearten. Bei der Pedigreezüchtung werden aus den F₁-Pflanzen über mehrere Generationen hinweg Linien entwickelt.

In der Züchtung von Nackthafer erfolgt in der Regel eine Kreuzung mit Spelzhafer. Da die Nacktform dominant ist, wird der Spelzhafer als Mutter eingesetzt. Die Merkmalsausprägung ist aber, wie dargestellt, modifiziert (Valentine, 1995). Daher muss in jeder Generation streng auf Nackttypen selektiert werden, um einheitliche Nackthaferlinien zu entwickeln.

Zuchtziele

Hafer ist schon seit Tausenden von Jahren ein wesentlicher Bestandteil der menschlichen Ernährung. In Mitteleuropa wurde Hafer ursprünglich sowohl als Brotgetreide als auch in Breiform verzehrt. Ab dem 2. Jahrhundert gewann Hafer mehr und mehr in der

Tierernährung an Bedeutung (Ranhotra und Gelroth, 1995). Wichtig wurde Hafer besonders als energiereiches Futter für Zugtiere.

Bis ins 16. Jahrhundert hinein wurde Haferbier hergestellt, und auch heute noch wird in Nordeuropa Haferfladenbrot gebacken. Weiterhin findet Hafer Verwendung als Zugabe für Suppen, Brei und Müsli. In der Volksmedizin gilt Haferschleim als reizmildernde Suppe, mit Hafergrütze werden Umschläge gemacht und Tee aus Haferstroh soll gegen Husten helfen (Aichele und Schwegler, 1991). Neben der Nutzung der Körner kann Hafer auch für Silage, Heu, Häcksel und Stroh genutzt werden (Stevens et al., 2002).

Zuchtziele sind vor allem hohe Erträge, Krankheitsresistenz, Standfestigkeit und eine verbesserte Öl- und Proteinqualität (Ahmad, 1973; Karmohova, 1998; Mlinar, 1998; Vanacker et al., 1998; Holland et al., 2001). Das South Australian Research and Development Institute (SARDI) verwaltet ein Haferzuchtprogramm mit dem Ziel, die Ökostatibilität zu verbessern. Ausgehend von etwa 100 Kreuzungen wurden in sechs bis acht Jahren eine strenge Selektion und Prüfungen an 22 Standorten durchgeführt. Fortschritte wurden bei der Erzeugung von neuem Material erzielt (Frensham et al., 1998). Ein weiteres Ziel in der Haferzüchtung ist eine Verringerung der Pflanzenlänge, um die Standfestigkeit zu verbessern (Milach et al., 1997). Hafer behielt trotz des aufwendigen Vorgangs der Schälung immer seine Bedeutung im Rahmen der menschlichen Ernährung. Hierfür müssen allerdings hohe Qualitätsanforderungen erfüllt werden. Schönberger und Kropf (2000) geben folgende Mindestwerte für die Ertrags- und Qualitätskomponenten an:

Hektolitergewicht	mind.	54 kg
TKG	mind.	30 g
TKeG	mind.	24 g
Sortierung > 2,0 mm	mind.	99 %
Spelzengehalt	unter	26 %
Fettgehalt	mind.	6 %
Proteingehalt	mind.	15 %
Kornfeuchte	max.	15 %

Der Fremdbesatz darf 3 % nicht überschreiten und muss dabei weniger als 0,5 % Roggenkörner aufweisen. Die Spelze ist reich an Rohfaser und für den menschlichen Verzehr nicht geeignet (Ganßmann und Vorwerck, 1995; Anonym, 2001). Sie hat einen

niedrigen Energiewert, ist hart und geschmacklos. Ihre Hauptfunktion liegt in dem Schutz der reifenden Karyopse.

Haas (2000) stellte fest, dass der Spelzengehalt bei Untersuchung von 70 Proben eine Schwankung im Bereich von 24 % bis 34 % aufwies und im Durchschnitt bei 29,7 % lag. Dies ist im Vergleich zu Gerste, bei der Vorspelze und Deckspelze zusammen etwa 10 % des Korngewichtes ausmachen, ein sehr hoher Wert (White, 1995). Daher zielt die Züchtung bei Spelzhafer darauf ab, den Spelzenanteil zu senken, ohne das Tausendkerngewicht (TKeG) zu verringern (Molfese, 1998), da die Spelze ein reines Abfallprodukt darstellt.

Der größte Teil des in Deutschland verbrauchten Schälhafers wird aus dem Ausland importiert. Bei der Produktion von Lebensmitteln wird in den Mühlen ausschließlich Qualitätshafer verwendet. Diese Eigenschaften zu verwirklichen ist ein wichtiges Zuchtziel. Obwohl bei der Herstellung von Haferflocken die Spelzen als Abfall anfallen, bevorzugen die Hafermühlen Schälhafer, da Nackthafer die Anforderungen an die Helligkeit nicht erfüllt.

Wichtige Zuchtziele beim Nackthafer sind hoher Ertrag und TKG, geringer Spelzenanteil und eine gleichmäßige Kornsortierung. Die Druschempfindlichkeit von Nackthafer kann über einen schonenden Drusch beeinflusst werden. Bei der Saatguterzeugung ist es besonders wichtig, dass unbeschädigte Körner produziert werden (Valentine, 1995). Da alle Nackthafersorten durch Einkreuzung von Spelzhafer entstanden sind, ist außerdem eine stabile Ausprägung der Nacktkörnigkeit wichtig. Wie schon erwähnt, ist im Vergleich zu Spelzhafer das Ertragspotential bei Nackthafer niedriger (Tab. 2). Hierbei ist natürlich zunächst der Spelzenanteil zu berücksichtigen. Trotzdem liegt der Ertrag von Nackthafer zwischen 5 % und 10 % unter dem des geschälten Spelzhafers (Peltonen-Sainio, 1994; Schönberger und Kropf, 2000). Zur Erreichung einer möglichst gleichmäßigen Kornausbildung ist eine reduzierte Anzahl fertiler Blüten günstig. Jedoch wird auch diskutiert, das prinzipiell höhere Ertragspotential, welches durch die Vielblütigkeit gegeben ist, zur Ertragssteigerung auszunutzen (Valentine, 1995).

Das aktuelle Ertragsniveau in der Region zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 2: Ergebnisse LSV Sommerhafer Sachsen–Anhalt
Stand: 04.08.2003

Sorte	dt/ha		
	Beetzendorf	Biendorf	Mittelwert
<i>Nackthafer:</i>			
Samuel	32,6	68,4	50,5
Sandokan	28,2	68,9	48,6
<i>Spelzhafer:</i>			
Aragon	48,0	95,6	71,8
Jumbo	41,6	89,4	65,5
Revisor	44,0	99,5	71,8

Quelle: LLG Sachsen-Anhalt, 2003

Die wichtigsten Krankheiten bei Hafer sind der Kronenrost (*Puccinia coronata* var. *avenae*) und der Echte Mehltau (*Erysiphe graminis* Gleichstrom. f. sp. *avenae* em. Marchal). Für beide Krankheiten sind resistente Haferformen bekannt (Clifford, 1995). Die wichtigste Viruserkrankung ist die Haferröte (Barley Yellow Dwarf Virus, BYDV), die aber nur über den Vektor bekämpft werden kann.

Spelz- und Nackthafer unterscheiden sich in der Zusammensetzung des Korns. Valentine (1995) verglich die chemische Zusammensetzung und den Energiewert von Nackthafer mit Spelzhafer, Weizen und Gerste (Tab. 1). Nackthafer besitzt einen geringeren Gehalt an Rohfaser, wasserlöslichen Fasern, säurelöslichen Fasern, Zellulose, Lignin und Stärke. Im Gegensatz dazu ist ein hoher Protein- und Ölgehalt vorhanden. Als Resultat daraus ergibt sich, dass die verdauliche Energie bei Nackthafer um die Hälfte erhöht ist. Der hohe Fettgehalt verringert allerdings die Haltbarkeit und fördert das Ranzigwerden. Das Hafereiweiß gilt als wertvoll und der Fettgehalt ist bei Hafer generell höher als bei anderen Getreidearten. Daher erscheint es lohnend, die im Hafer vorhandene genetische Variabilität für die menschliche Ernährung auszunutzen. Insbesondere gilt dies auch für den Gehalt an dem löslichen Ballaststoff Beta-Glucan, der zu einer Senkung von erhöhten Blutcholesterinwerten und zur Stabilisierung des Blutglucosespiegels führt.

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Pflanzenmaterial

Die Untersuchungen von Nackthafergenotypen mit verbesserten Eigenschaften erfolgten an Kreuzungsnachkommenschaften, wozu Nackthafersorten mit ertragreichen Spelzhaferarten gekreuzt wurden. Ab der F₂-Generation können die herausspaltenden Nacktformen als getrennte Linien weitergeführt und analysiert werden. Die gleichen Kreuzungen können auch für einen Vergleich des genetischen Potentials von Spelz- und Nackthafer genutzt werden. Dieser Vergleich ist besonders gut, wenn Geschwisterlinien verglichen werden, die auf eine gemeinsame Pflanze in einer möglichst späten Generation zurückgehen. Für die Qualitätsanalyse wurden die in Tab. 3 aufgeführten Sorten und Stämme herangezogen. Zur Untersuchung der Vererbung der Nacktkörnigkeit wurden verschiedene Nackthaferabstammungen aus der Kulturpflanzenbank in Gatersleben (Tab. 4) mit Nackthafersorten gekreuzt (Tab. 5). Aufspaltungen sind zu erwarten, wenn Unterschiede in der genetischen Basis der Nackthafergenotypen vorliegen, die ab F₂ sichtbar werden können.

Tabelle 3: Sorten und Stämme in den Versuchen, RP = Rohproteingehalt, Öl = Ölgehalt, Keimf. = Keimfähigkeit, S x N = Eltern der Kreuzungen Spelz- x Nackthafer, N x N = Eltern der Kreuzungen Nackt- x Nackthafer, W. spelzhafer = Winterspelzhafer

Sorte/Stamm	Herkunft	Rispentyp	RP	Öl	Keimf.	S x N	N x N
Tomba	Deutschland	Spelzhafer	x				
Iltis	Deutschland	Spelzhafer	x				
Revisor	Deutschland	Spelzhafer	x	x	x		
Adler	Deutschland	Spelzhafer	x				
Bonus	Deutschland	Spelzhafer	x				
Fuchs	Deutschland	Spelzhafer	x				
Lutz	Deutschland	Spelzhafer	x	x	x		
Heinrich	Deutschland	Spelzhafer	x	x			
Nordstern	Deutschland	Spelzhafer	x				
Gramena	Deutschland	Spelzhafer	x	x			
Hecht	Deutschland	Spelzhafer	x		x	x	
Jumbo	Deutschland	Spelzhafer	x	x	x		
Coach	Deutschland	Spelzhafer	x				
Alf	Deutschland	Spelzhafer	x				
Flämingslord	Deutschland	Spelzhafer	x	x	x	x	
Flämingsplus	Deutschland	Spelzhafer	x				
Flämingsstern	Deutschland	Spelzhafer	x		x		

Sorte/Stamm	Herkunft	Rispenotyp	RP	Öl	Keimf.	S x N	N x N
Flämingsstip	Deutschland	Spelzhafer	x	x			
Flämingsnova	Deutschland	Spelzhafer	x				
Expander	Deutschland	Spelzhafer	x				
Radius	Deutschland	Spelzhafer	x				
Neklan	Deutschland	Spelzhafer	x	x			
Flipper	Deutschland	Spelzhafer	x				
Taiko	unbekannt	Spelzhafer	x				
Finley	unbekannt	Spelzhafer	x				
Autieul	unbekannt	Spelzhafer	x				
Sirene	Deutschland	Spelzhafer	x				
Bullion	Großbritannien	Nackthafer	x	x	x	x	x
Rhiannon	Großbritannien	Nackthafer	x	x	x		x
Ripon	Großbritannien	Nackthafer	x		x		x
Samuel	Deutschland	Nackthafer	x		x		x
SAL 947	Deutschland	Nackthafer	x		x		
SAL 1228	Deutschland	Nackthafer	x		x		
SAL 15	Deutschland	Nackthafer	x		x		
SAL 40	Deutschland	Nackthafer	x		x		
Bruno	Deutschland	Spelzhafer	x		x		
Caracas	Deutschland	Spelzhafer	x				
Conny	Deutschland	Spelzhafer	x				
Tikal	Deutschland	Spelzhafer	x		x		
Wiesel	Deutschland	Spelzhafer	x		x		
Mozart	Deutschland	Nackthafer	x	x	x	x	
Nord 1100	Deutschland	Spelzhafer	x		x		
Spae 1108	Deutschland	Spelzhafer	x		x	x	
SAL 11169	Deutschland	Nackthafer	x		x	x	
Salomon	Deutschland	Nackthafer	x	x	x		x
Sallust	Deutschland	Nackthafer	x	x			x
Sandokan	Deutschland	Nackthafer	x		x		
SAL 1322	Deutschland	Nackthafer	x		x		
SAL 02	Deutschland	Nackthafer	x		x		
SAL 25	Deutschland	Nackthafer	x		x		
Lexicon	Großbritannien	Nackthafer	x	x	x		
Icon	Großbritannien	Nackthafer	x		x		
Peniarth	Großbritannien	Spelzhafer	x	x	x		
Viscount	Großbritannien	Spelzhafer	x				
Gerald	Großbritannien	Spelzhafer	x				
Millenium	Großbritannien	Spelzhafer	x				
Widder	Deutschland	W.spelzhafer	x				
Wibke	Deutschland	W.spelzhafer	x	x	x		
Silwi	Deutschland	W.spelzhafer	x				
Aragon	Deutschland	Spelzhafer	x	x	x		
Freddy	Deutschland	Spelzhafer	x		x		
Kanton	Deutschland	Spelzhafer	x		x		
Adam	Tschechien	Nackthafer	x				
Abel	Tschechien	Nackthafer	x				x
Izak	Tschechien	Nackthafer	x				x

Tabelle 4: Gaterslebener Akzessionen, RP = Rohproteingehalt, Öl = Ölgehalt, N x N = Eltern der Kreuzungen Nackt- x Nackthafer, CAN = Kanada, CHN = China, CZ = Tschechien, FIN = Finnland, GER = Deutschland, GBR = Großbritannien, FRA = Frankreich, POL = Polen, ROM = Rumänien, SWE = Schweden, SOV = Sowjetunion, USA = Vereinigte Staaten von Amerika, unb = unbekannt

Avena Nr.	Botanischer Name	Her.	Sorte	RP	Öl	N x N
AVE 329	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	SWE		x	x	
AVE 351	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER		x		
AVE 378	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	USA		x		x
AVE 382	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER		x	x	
AVE 396	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER		x		x
AVE 411	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CAN	Laurel	x		x
AVE 420	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	ROM		x		
AVE 472	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER		x		
AVE 477	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER		x		
AVE 502	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CAN	Brighton	x		x
AVE 580	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	POL	Nagi Purawski	x	x	
AVE 687	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CAN	Vicar	x	x	
AVE 742	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	unb.	Hoejer	x	x	
AVE 782	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER	N.O.S Nackthafer	x		x
AVE 822	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	USA	James	x		x
AVE 1016	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CZ	Cinsky Nahy	x	x	x
AVE 1112	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CHN	U-zaj-ju-maj	x		
AVE 1138	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CHN	Ju-maj	x	x	
AVE 1190	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CHN		x		x
AVE 1191	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	SOV		x		
AVE 1287	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	FIN		x		x
AVE 1296	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER	Caesar	x	x	
AVE 1357	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	FRA	Nuprime	x		x
AVE 1582	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CAN	Terra	x		x
AVE 1922	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CHN		x		x
AVE 2061	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	CAN	Torch	x		
AVE 2218	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	SOV	Uspeh	x	x	x
AVE 2593	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GBR	Rhiannow	x		x
AVE 2841	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	FRA		x	x	x
AVE 2842	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Körn	GER	Konradin	x	x	x
AVE 2002	<i>A. sativa</i> var. <i>chinensis</i>	GBR		x		
AVE 2725	<i>A. sativa</i> var. <i>chinensis</i>	GBR	Rhiannon	x		
AVE 2728	<i>A. sativa</i> var. <i>chinensis</i>	GER	Magda	x	x	x
AVE 508	<i>A. nuda</i> subsp. <i>nuda</i>	GER	Kleiner Nackthafer	x		
AVE 674	<i>A. nuda</i>	GER	Weißer Nackter Fahnen	x		

Tabelle 5: Kreuzungsnachkommenschaften Nackt- x Nackthafer, Krzг.nr = Kreuzungsnummer

Krzг.nr	Mutter	Herkunft	Vater	Herkunft	F ₁ -EP	F ₂ geerntet	analyisiert	F ₃ Anbau
NK1	AVE 2842	Deutschland	AVE 1357	Frankreich	1	x	a	
NK2	Izak	Tschechien	AVE 822	USA	8	x		
NK3	AVE 1016	Tschechien	AVE 1357	Frankreich	1	x		
NK4	AVE 2218	Sowjetunion	AVE 1016	Tschechien	6	x		
NK5	AVE 1287	Finnland	AVE 1016	Tschechien	4	x		
NK6	AVE 378	USA	AVE 2841	Frankreich	1	x		
NK8	AVE 1296	Deutschland	AVE 2841	Frankreich	9	x	a	•
NK10	AVE 1582	Kanada	AVE 822	USA	2	x		
NK11	AVE 2218	Sowjetunion	AVE 822	USA	1	x		
NK14	AVE 1016	Tschechien	AVE 2841	Frankreich	5	x		
NK15	AVE 1357	Frankreich	AVE 822	USA	3	x		
NK16	AVE 1582	Kanada	AVE 2841	Frankreich	2	x	a	•
NK17	AVE 1016	Tschechien	AVE 2842	Deutschland	7	x		
NK20	AVE 2218	Sowjetunion	AVE 378	USA	1	x		
NK21	Bullion	Großbritannien	AVE 378	USA	7	x		
NK23	Izak	Tschechien	AVE 1016	Tschechien	2	x		
NK24	AVE 378	USA	AVE 502	Kanada	1	x		
NK25	AVE 378	USA	AVE 2842	Deutschland	2	x		
NK26	AVE 502	Kanada	AVE 1287	Finnland	2	x		
NK28	AVE 1582	Kanada	AVE 2842	Deutschland	1	x		
NK29	AVE 2728	Deutschland	AVE 1016	Tschechien	1	x		
NK30	Samuel	Deutschland	AVE 1016	Tschechien	3	x		
NK31	AVE 378	USA	Izak	Tschechien	10	x		
NK32	AVE 1287	Finnland	AVE 2842	Deutschland	8	x	a	•
NK33	AVE 2218	Sowjetunion	AVE 2842	Deutschland	3	--		
NK34	Bullion	Großbritannien	AVE 782	Deutschland	7	--		
NK37	AVE 2218	Sowjetunion	Izak	Tschechien	2	x		
NK38	AVE 2728	Deutschland	AVE 2842	Deutschland	1	x		
NK39	Bullion	Großbritannien	Izak	Tschechien	2	x		
NK41	AVE 2728	Deutschland	AVE 1287	Finnland	1	x		
NK42	Salomon	Deutschland	AVE 782	Deutschland	5	x		
NK43	Salomon	Deutschland	AVE 1287	Finnland	7	x	a	•
NK44	Sallust	Deutschland	AVE 782	Deutschland	3	x		
NK45	Salomon	Deutschland	AVE 2218	Sowjetunion	2	x		
NK47	AVE 1190	China	AVE 2728	Deutschland	1	x	a	•
NK48	AVE 411	Kanada	Rhiannon	Großbritannien	1	x		
NK50	AVE 396	Deutschland	Abel	Tschechien	2	--		
NK61	AVE 1922	China	AVE 782	Deutschland	1	x		
NK62	AVE 1922	China	Abel	Tschechien	4	x		
NK67	AVE 2593	Großbritannien	AVE 782	Deutschland	1	--		
NK74	AVE 1922	China	Ripon	Großbritannien	2	--		
				Summe:	133	36	6	5

3.1.2 Materialaufbau bis zur F₅-Generation

Es wurden drei Kreuzungsnachkommenschaften (Pop. 13, 14, 19) analysiert (Tab. 6). Die Kreuzungen wurden in Salzmünde durchgeführt, wobei in allen Fällen Spelzhafer als mütterlicher Elter eingesetzt wurde. Von jeder Kreuzung wurde nur eine F₁-Pflanze für die Weiterentwicklung genutzt. Aus den geernteten F₂-Körnern wurden Einzelpflanzennachkommenschaften (EPN) entwickelt. Der weitere Materialaufbau ist in Tab. 7 dargestellt.

Tabelle 6: Übersicht der Eltern der Kreuzungen von Spelz- und Nackthafer

Kreuzungsnummer	Eltern	Herkunft	Typ der	
			Körner	Rispen
13	Spae 1108	Deutschland	bespelzt	2-3 blütig
	Bullion	Großbritannien	nackt	vielblütig
14	Hecht	Deutschland	bespelzt	2-3 blütig
	Mozart	Deutschland	nackt	vielblütig
19	Flämingslord	Deutschland	bespelzt	2-3 blütig
	SAL 11169	Deutschland	nackt	vielblütig

Die F₂-Generation wurde einzelpflanzenweise angebaut. Beim Anbau der F₃-Generation wurden von jeder F₂-Einzelpflanze (EP) eine Reihe (3 m lang) ausgesät. In jeder F₃-Reihe wurden von zehn Einzelpflanzen die Hauptrispen geschnitten. An diesen erfolgte die Rispen- und Kornbonitur, die Bestimmung der Kornzahl, des Korngewichtes sowie des Tausendkorngewichtes (TKG).

Anbau und Ernte der F₄-Generation

Nach der Analyse der Ertragskomponenten wurden von den zehn in der F₃-Generation geernteten Rispen vier ausgewählt und als F₄-Generation angebaut. Die Einzelrispennachkommenschaften (ERN) wurden geteilt und standen parallel als Doppelreihen (1,5 m lang) in Hohenthurm und Salzmünde.

An beiden Standorten wurden von jeweils einer Doppelreihe fünf Hauptrispen für die Ertragsanalyse geerntet. Die Doppelreihen der nicht spaltenden Nachkommenschaften (Spelz- und Nackthafer) wurden mit dem Mährescher geerntet und für die Erfassung von Kornzahl, Korngewicht und TKG genutzt. Die spaltenden Doppelreihen wurden nicht geerntet.

Anbau und Ernte der F₅-Generation

Nach Analyse der F₄-Generation wurden 80 Versuchsglieder (20 Linien der Population 13, 20 Linien der Population 14, 28 Linien der Population 19, 6 Eltern, 3 Verrechnungssorten Spelzhafer und 3 Verrechnungssorten Nackthafer) für eine Prüfung in der F₅-Generation an zwei Orten zusammengestellt. Auswahlkriterium waren aus züchterischer Sicht ein hohes TKG und aus genetischer Sicht die Bildung von Geschwisterpaaren nackt und bespelzt, die auf eine F₂-Einzelpflanze zurückgehen. Wie bei der F₄-Generation wurden fünf Rispen geschnitten und der Ertrag sowie das TKG für die Ertragsanalyse genutzt. Die Entwicklung von der F₂ bis zur F₅ ist in Tab. 7 dargestellt.

Tabelle 7: Entwicklung der Kreuzungspopulationen von der F₂- bis zur F₅-Generation, aufbauend auf F₂-EP

	Jahr	Population 13	Population 14	Population 19
F ₂ – EPN in F ₃	2000	57	52	80
F ₂ – EPN in F ₄	2001	32	28	54
F ₂ – EPN in F ₅	2002	14	15	16
F ₃ – EPN in F ₄	2001	41	37	87
F ₃ – EPN in F ₅	2002	20	20	28
F ₃ – EPN in F ₅ (Geschwisterpaare)	2002	4	3	12

In allen Generationen sind die Nachkommenschaften in nackt und bespelzt unterteilt worden. Zusätzlich gab es im Jahr 2000 auch spaltende Nachkommenschaften. Für Vergleichszwecke wurden zusätzliche Prüfglieder angebaut. Damit ergaben sich folgende Versuchsumfänge in den einzelnen Jahren (Tab. 8).

Tabelle 8: Versuchsumfänge in den einzelnen Jahren und Orten (Hohenthurm (Ho), Salzmünde (Sal), Halle (Hal)), 5 = vielblütig, 1 = 2-3 blütig

Jahr	Geprüfte Generation	Generation der EP	Anzahl Nachkommenschaften in Population						Eltern	Vergleichsorten	Prüftyp	Orte	Zahl der Wiederholungen
			13		14		19						
			Rispentyp		Rispentyp		Rispentyp						
			5	1	5	1	5	1					
1999	F ₂	F ₂	57		52		80		6	-	EP	Ho	1
2000	F ₃	F ₂	57		52		80		6	-	Reihe	Ho	1
2001	F ₄	F ₃	26	15	23	14	56	31	6	-	Doppelreihen	Ho, Sal	1
2002	F ₅	F ₃	10	10	10	10	16	12	6	6	Parzellen	Hal, Sal	2

3.1.3 Versuche zur Keimfähigkeit und Qualität (Öl- und Rohproteingehalt)

Zum Vergleich der nackten und bespelzten Formen hinsichtlich der Keimfähigkeit wurden aus insgesamt 65 Sorten und Stämmen 34 ausgewählt (Tab. 3). Für die Prüfung der Keimfähigkeit der Sorten und Stämme wurden Erntemuster der Jahre 2000, 2001 und 2002 aus Hohenthurm und Halle verwendet. Außerdem wurde die Keimfähigkeit der F₄- und F₅-Nachkommenschaften aus den Kreuzungen bespelzt x nackt bestimmt.

Der Rohproteingehalt wurde an Sorten des Züchtersortiments (Tab. 3) von den Erntejahren 2000, 2001 und 2002 und an Akzessionen der Gaterslebener Genbank (Tab. 4) an Ernteproben des Jahres 2001 und 2002 untersucht. Der Ölgehalt wurde an Proben der Ernte von 2002 des Züchtersortiments, an Gaterslebener Akzessionen und der F₅-Generation aus den Kreuzungen Spelzhafer x Nackthafer bestimmt.

3.1.4 Kreuzungen zwischen Nackthaferformen

Die Kreuzungen zwischen Nacktformen sind in Tab. 5 aufgelistet. Bei den Gaterslebener Akzessionen (AVE-Nummern) handelt es sich um nacktkörnige und vielblütige Sommerformen (Tab. 4).

Es wurden im Jahr 2001 insgesamt 250 Rispen kastriert, wobei 75 Kreuzungskombinationen Ansatz zeigten. In Hohenthurm wurden diese Körner im September 2001 in Schalen ausgesät. 133 Pflanzen von 41 Kreuzungskombinationen keimten und wurden als F₁-Generation in Gatersleben im Gewächshaus angezogen (Tab. 5).

In Halle wurde dann die F₂-Generation der Kreuzungskombinationen einzelpflanzenweise angebaut. Insgesamt standen 13.677 Pflanzen von 41 Kombinationen im Jahr 2002 auf dem Versuchsfeld. Zum Zeitpunkt der Blüte wurden Pflanzen, die dem Spelzhafertyp entsprachen, mit einem Stab markiert. In sechs Kreuzungskombinationen trat eine Spaltung auf. Aus diesen Kombinationen wurden fünf für den Anbau in der F₃-Generation ausgewählt. Im Frühjahr 2003 erfolgte die Aussaat in Halle.

3.2 Standorteigenschaften

Das Untersuchungsmaterial stand an insgesamt drei Standorten, die sich in ihren Klima-, Boden- und Witterungsbedingungen nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Bis zum Jahr 2001 wurden die Versuche in Hohenthurm und Salzmünde durchgeführt. Mit dem Umzug des Instituts 2002 nach Halle fiel der Standort Hohenthurm weg und die Versuche wurden auf dem Kühnfeld in Halle fortgesetzt. Alle Orte liegen dicht beieinander im Mitteldeutschen Trockengebiet. Die degradierten Schwarzerdeböden (nach FAO Haplic Phaeozem bzw. Haplic Chernosem) sind schon seit langer Zeit geradezu prädestiniert für züchterische Untersuchungen. Das langjährige Mittel der Niederschläge schwankt leicht zwischen den Standorten, es liegt in Halle bei ca. 450 mm und in Salzmünde bei 427 mm. Die mittlere Jahrestemperatur bewegt sich um 9 °C (Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der MLU, 2003). In der Regel bevorzugt der Hafer kühleres und feuchteres Klima, doch aufgrund seines guten Anpassungsvermögens verliefen die Versuche problemlos (LLG Sachsen-Anhalt, 2000).

3.3 Methoden

3.3.1 Merkmalerfassung in Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer

Ertrag und Bonitur während der Vegetation

In der Arbeit stellt die Ertragsanalyse einen wichtigen Faktor zur Selektion der Nachkommenschaften dar. Als Ertragskomponenten wurden die Kornzahl (KZ) je Rispe, das Korngewicht (KG) je Rispe und das Tausendkorngewicht (TKG) bestimmt. Zur Erfassung des ernährungsphysiologischen Wertes wurden der Rohproteingehalt und der Rohfettgehalt bestimmt. Während der Vegetation wurde eine Rispenbonitur der Parzelle sowie Bonituren zur Lagerneigung, zum Mehltau- und Kronenrostbefall durchgeführt. Weiterhin erfolgte eine Bonitur der Einzelpflanzen bzw. Einzelrispen zur Bestimmung des Rispentyps und nach dem Drusch eine Kornbonitur (Tab. 9).

Tabelle 9: Übersicht der erfassten Merkmale (EP = Einzelpflanzen, ER = Einzelrispen, Md = Mähdrescher, • = ausgeführt)

	F ₂ 1999	F ₃ 2000	F ₄ 2001	F ₅ 2002
Rispenschieben			•	•
Krankheiten			•	•
Lagerneigung			•	•
Pflanzenlänge			•	•
Rispentypbonitur der Parzelle			•	•
Ernteverfahren	EP	ER	5 ER Md	2x5 ER Md
Rispentyp- und Kornbonitur der Einzelrispe	•	•		
Parzellengewicht				•
Kornzahl (KZ)	•	•	•	•
Korngewicht (KG)	•	•	•	•
Tausendkorngewicht (TKG)	•	•	•	•
Keimfähigkeit			•	•
Rohproteingehalt			•	•
Ölgehalt				•
Spelzengehalt				•

Ertragsanalyse der Parzellen

Das erfasste Parzellengewicht (PG) in kg/Parzelle ist die Grundlage für die Berechnung des Ertrages.

$$\text{Ertrag Halle (dt/ha)} = \text{PG} * 100 / 4,125$$

$$\text{Ertrag Salzmünde (dt/ha)} = \text{PG} * 100 / 3,5$$

Berechnung des Tausendkorngewichts (TKG)

Fünf geschnittene Rispen wurden mit der Einzelährendreschmaschine zusammen gedroschen. Anschließend wurden die Körner gezählt und gewogen. Das Korngewicht (KG) und die Kornzahl (KZ) von fünf Rispen wurde in allen Generationen für die Berechnung des TKGs verwendet. Die Erfassung des TKGs aus dem Drusch der Parzellen in der F₄- und F₅-Generation erfolgte durch Zählen von 2 x 100 Körnern, die aus Ernteproben entnommen wurden, mit dem Körnerzählgerät „Contador“.

Krankheitsbefall

Der Mehltau- und Kronenrostbefall wurde am zweiten Blatt von oben (F-1) bonitiert. In der F₄-Generation wurde der Kronenrostbefall in Hohenthurm am 30. Juli 2001 und der Mehлтаubefall in Salzmünde am 10. Juli 2001 einmalig erfasst. In der F₅-Generation erfolgte die Erfassung des Mehлтаubefalls in Halle zweimal und zwar am 17. und 26. Juni 2002, in Salzmünde nur einmal am 24. Juni 2002. In 2002 trat kein Kronenrostbefall auf.

Es wurde für beide Krankheiten der Boniturschlüssel des Bundessortenamtes (BSA, 2000b) benutzt:

1	=	fehlend		0 %
2	=	sehr gering bis gering	>	0 – 2 %
3	=	gering	>	2 – 5 %
4	=	gering bis mittel	>	5 – 8 %
5	=	mittel	>	8 – 14 %
6	=	mittel bis stark	>	14 – 22 %
7	=	stark	>	22 – 37 %
8	=	stark bis sehr stark	>	37 – 61 %
9	=	sehr stark	>	61 – 100 %

In dieser Arbeit werden die Bonituren 1 bis 5 als resistent und ab 6 als anfällig betrachtet.

Lagerneigung

Zum Zeitpunkt der Gelbreife und vor der Ernte wurde die Lagerneigung in Hohenthurm (F₄) und in Halle (F₅) bonitiert. Dies erfolgte in der F₄-Generation zweimal, am 18. und 30. Juli 2001, und in der F₅-Generation dreimal, am 21. Juni sowie am 9. und 11. Juli 2002. Am 11. Juli 2002 gab es einen Sturm, deshalb wurde zwei Tagen nach der zweiten Bonitur (9. Juli 2002) die Lagerneigung nochmals erfasst.

Auch hier wurde der Boniturschlüssel des BSA (2000b) genutzt:

- 1 = kein Lager auf dem Teilstück, alle Halme stehen aufrecht
- 3 = Neigung aller Halme um ca. 30° von der Senkrechten oder nesterweise auf ca. einem Viertel des Teilstückes stärkeres Lager
- 5 = Neigung aller Halme um ca. 45° oder nesterweise stärkeres Lager auf der Hälfte des Teilstückes
- 7 = Neigung aller Halme um ca. 60° oder totales Lager auf drei Vierteln des Teilstückes
- 9 = Totallager

Rispenschieben

Es gilt das Datum, an dem bei 75 % der Pflanzen die Ährchen voll sichtbar sind und somit das BBCH-Stadium 59 erreicht ist.

Pflanzenlänge

Die Pflanzenlänge wurde gemessen, wenn kein Zuwachs mehr zu erwarten ist (ab BBCH 70). Die Messung wurde an zwei Stellen in der Parzelle mit einer Messlatte ausgeführt.

Bonitur des Rispentyps im Parzellenbestand

Es wurde das Verhältnis von nackten (vielblütigen) zu bespelzten (2–3 blütigen) Pflanzen auf dem Feld nach folgendem Schema bestimmt:

- 1 = alle Pflanzen in der Parzelle sind 2-3 blütig
- 2 = die Mehrzahl der Pflanzen in der Parzelle sind 2-3 blütig
- 3 = die Hälfte der Pflanzen in der Parzelle sind vielblütig
- 4 = die Mehrzahl der Pflanzen in der Parzelle sind vielblütig
- 5 = alle Pflanzen in der Parzelle sind vielblütig

Bonitur des Rispentyps von Einzelrispen nach der Ernte:

Bei Hafer gibt es auch innerhalb der Rispe eine Variation. Darauf beruht diese in Abb. 3 dargestellte Bonitur:

B = alle Ährchen der Rispe sind 2-3 blütig

B+ = die Mehrzahl der Ährchen der Rispe sind 2-3 blütig

1/2 = die Hälfte der Ährchen der Rispe sind vielblütig

N+ = die Mehrzahl der Ährchen der Rispe sind vielblütig

N = alle Ährchen der Rispe sind vielblütig

In der F₁-Generation zeigten alle Kreuzungsnachkommenschaften Vielblütigkeit, wie sie bei Nackthafer (N) üblich ist. Die Variabilität der Ausprägung der Vielblütigkeit und des Rispentyps wurde in der F₂-Generation an Einzelrispen der Kreuzungspopulationen erfasst.

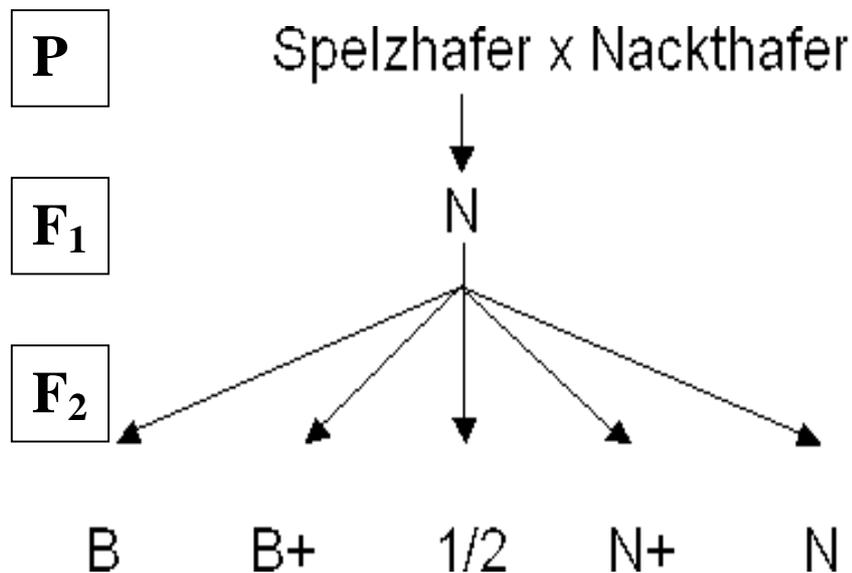


Abbildung 3: Aufspaltung der Nachkommenschaften der Kreuzung zwischen Spelz- und Nackthafer für den Rispentyp

Kornbonitur der Einzelrispen nach dem Drusch:

Auch für den Anteil bespelzter Körner gibt es innerhalb einer Rispe eine Variation. Daraus ergibt sich folgende Bonitur:

b = alle Körner bespelzt

b+ = 1 – 40 % der Körner nacktkörnig

½ = 41 – 60 % der Körner nacktkörnig

n+ = 61 – 94 % der Körner nacktkörnig

n = 95 – 100 % der Körner nacktkörnig

Beurteilung der Rispenbonitur in der F₃-Generation

Die Bonitur von 10 Einzelrispen nach dem vorher aufgeführten Schema wurde wie folgt zu einem Wert je F₂-Nachkommenschaft zusammengefasst:

B = alle Einzelrispen B oder B+

N = alle Einzelrispen N oder N+

sp = alle anderen Nachkommenschaften

Beurteilung der Kornbonitur in der F₃-Generation

Auch hier wurden die Boniturnwerte der 10 Einzelrispen zu einem Wert je F₂-Nachkommenschaft zusammengefasst:

b = alle Einzelrispen b oder b+

n = alle Einzelrispen n oder n+

sp = alle anderen Nachkommenschaften

3.3.2 Bestimmung der Keimfähigkeit und Qualität**Keimfähigkeit**

Bei Nackthafer mit seinem unbespelzten Haferkorn wird in der Praxis immer wieder auf seine relativ schlechte Keimfähigkeit hingewiesen. Die Keimfähigkeit von 17 Nackthafer- und 16 Spelzhaferarten (Tab. 3) wurde nach der Ernte in den Jahren 2000 mit dem Einzelährendrescher, 2001 und 2002 an mit dem Mähdrescher gedroschenem Saatgut bestimmt. Die F₄- und F₅-Kreuzungsnachkommenschaften von Spelz- und Nackthafer

wurden ebenfalls nach dem Drusch mit dem Mähdrescher auf die Keimfähigkeit untersucht.

Die Keimproben wurden auf sterilisiertem Quarzsand in Petrischalen ausgelegt und in einem Raum mit einer Temperatur von 18 bis 20 °C aufgestellt (Abb. 4). Hierbei wurde darauf geachtet, dass eine konstante Feuchtigkeit im Keimbereich herrscht. Untersucht wurden je Genotyp 2 x 100 Körner circa vier Monate nach der Ernte. Zehn Tage nach der Keimung wurde die Anzahl der aufgegangenen Keimlinge bestimmt.



Abbildung 4: Untersuchungen zur Keimfähigkeit des Hafers

Untersuchungen zum Spelzenghalt und dem Anteil bespelzter Körner

Diese Untersuchungen wurden an der F₅-Generation, an Kreuzungspartnern und an Vergleichssorten vorgenommen.

Für die Bestimmung des Spelzengehaltes wurden bespelzte Linien der F₅-Generation verwendet und je Linie 2 x 200 Körner entspelzt. Anschließend wurde das Gewicht von Kernen und Spelzen bestimmt.

Zur Untersuchung des Anteils bespelzter Körner wurden nackte Linien der F₅-Generation benutzt. Hierbei wurde das Gewicht der bespelzten Körner von 2 x 50 g bestimmt.

Analyse des Rohproteingehaltes

Diese Messungen wurden mit dem INFRATEC 1255 Food and Feed Analyzer durchgeführt. Es wurde eine Eichkurve der Firma Perten verwendet, die für das INFRATEC-Gerät anhand eines internationalen Sortimentes erstellt wurde. Zur Erstellung der Eichkurve ist es erforderlich, Messungen mit dem INFRATEC 1255 Food and Feed Analyzer mit Werten zu vergleichen, die mit dem Standardverfahren ermittelt wurden. Bei dem Standardverfahren zur Rohproteinbestimmung nach Kjeldahl wird das Protein mit konzentrierter Schwefelsäure in Gegenwart eines Katalysators zum Reaktionsprodukt Ammoniumsulfat aufgeschlossen. In einem zweiten Schritt wird das Ammonium mit Wasserdampf destilliert und anschließend titriert. Aus dem so ermittelten Stickstoffgehalt wird durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 für Hafer der Rohproteingehalt errechnet und nach Ermittlung des Feuchtegehaltes der Probe auf den Trockensubstanzgehalt bezogen.

Analyse des Ölgehaltes

Die Rohfettbestimmung bei Getreide besteht aus zwei Schritten, der Säurehydrolyse und der Extraktion. Dazu wurden 5 g gemahlene Haferkerne eingewogen und mit 120 ml 3 N HCl und 5 g Celite (Siedeverzug) in 250 ml Erlenmeyerkolben am Rückflusskühler langsam zum Sieden gebracht. Das Hydrolysat wird mit 100 ml kochenden Wasser verdünnt und in Extraktionshülsen überführt. Nach der Hydrolyse werden die Extraktionshülsen 12 h bei 60 °C getrocknet. Anschließend wird in der Soxhlet-Apparatur die Probe mit 50 ml Petroleumbenzin etwa 1 h extrahiert. Der Extraktionsrückstand (Rohfett) wird 30 min bei 105 °C getrocknet und nach Auskühlung im Exsikkator zurückgewogen.

3.3.3 Herstellung und Analyse der Kreuzungen zwischen Nackthaferformen

Kreuzungstechnik

Kreuzungen zwischen nacktkörnigen Formen (Sorten und Gaterslebener Akzessionen) wurden im Sommer 2001 durchgeführt. An 250 Rispen wurden 18 bis 30 Außenblütchen je Rispe kastriert und isoliert. Die Bestäubung erfolgte nach zwei bis fünf Tagen, je nach Blühzeitübereinstimmung der Eltern. Die kastrierte Rispe und zwei bis drei Vatterispen, die als Pollenspender dienten, blühten unter einer Isolierungstüte in einem

Becherglas mit einer Nährlösung ab (Abb. 5). Diese bestand aus einem Liter Wasser unter Zusatz von 40 ml Schnittblumenfrisch und 100 g Zucker.



Abbildung 5: Kastrierte Rispen und Pollenspenderrispen unter Isolierungstüten

Ernte und Weiterführung bis zur F₃-Generation

Der Kornansatz an den kastrierten und bestäubten Rispen wurde ermittelt und die F₁-Generation für die Zwischengeneration vorbereitet. Die Sämlinge der F₁-Generation konnten nach einer Vernalisation mit einer Dauer von circa vier Wochen bei 8 °C am 15. November 2001 in Gatersleben im Gewächshaus ausgepflanzt werden. Am 3. April 2002 wurden die Pflanzen geerntet.

Der Anbau der F₂-Generation in Halle auf dem Versuchsfeld erfolgte nach der Zwischengeneration im Gewächshaus verspätet und zwar am 9. April 2002 mit einer Einzelkornsämaschine.

Die F₁-Einzelpflanzennachkommenschaften (EPN) wurden in 3 m langen Reihen mit einem Pflanzenabstand von 10 cm vollständig ausgesät. Es standen je F₁-EPN 2 – 19 Einzelreihen. Insgesamt waren es 189 Reihen mit 13.677 Pflanzen.

Von 41 Kombinationen auf dem Feld wurden bei 36 Kombinationen mindestens zwei F₁-EPN geerntet (Tab. 5). Von allen Pflanzen dieser Nachkommenschaften wurde je eine Rispe geschnitten. Bei einigen Nachkommenschaften (NK1, NK8, NK16, NK32, NK43 und NK47) wurden in der Vegetationsperiode bereits Aufspaltungen beobachtet. Die Bonitur dieser Nachkommenschaften, die einen Anteil Spelzhafer enthielten, erfolgte nach einem weiter unten beschriebenen Schema.

Nach Analyse der F₂-Rispen wurde im Frühjahr 2003 die F₃-Generation für die in der F₂-Generation spaltenden Kreuzungskombinationen NK8, NK16, NK32, NK43 und NK47 in Halle angebaut. Es wurden bei der Kreuzung NK8 alle neun F₁-EPN zur Aussaat der F₃-Generation verwendet, bei den übrigen Kreuzungskombinationen waren es maximal zwei F₁-EPN. In allen Nachkommenschaften waren die meisten Pflanzen vielblütig und vom Nackthafertyp. Zur Kontrolle wurden auch hiervon in der F₃-Generation jeweils zwei Reihen als EPN angebaut, ebenso jeweils zwei Reihen der Eltern.

Das Anbauschema ist beispielhaft für NK8 in Abb. 6 dargestellt. Nach jeweils zwei Reihen der Eltern erfolgte für jede Pflanze in der F₂-Generation mit Spelzhafermerkmalen, also auch für Zwischentypen, der Anbau einer Reihe, gefolgt von zwei Reihen von Nackthafertypen. In der F₃-Generation wurden nur Rispen geerntet, die dem reinen Spelzhaferertyp entsprachen.

Rispenbonitur

B = alle Ährchen der Rispe 2-3 blütig, Spelzhaferertyp (kurze Rachilla, gespreizte Ährchen)

B+ = Mehrzahl der Ährchen in der Rispe 2-3 blütig

N = Mehrzahl der Ährchen mit 4 oder mehr Blütchen, Nackthafertyp

Kornbonitur

b = alle Körner bespelzt

b+ = 1 – 40 % der Körner nacktkörnig

½ = 41 – 60 % der Körner nacktkörnig

n+ = 61 – 99 % der Körner nacktkörnig

n = alle Körner nacktkörnig

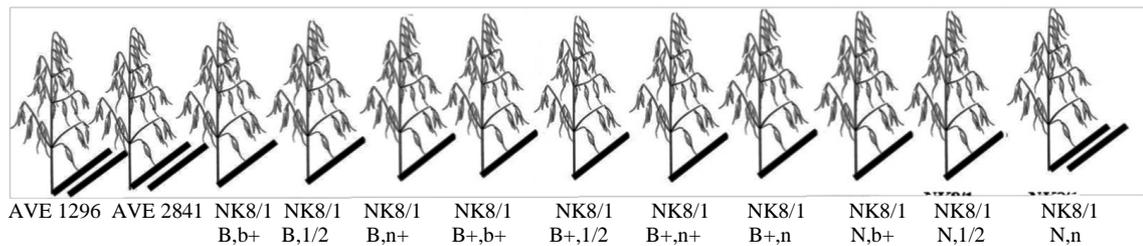


Abbildung 6: Anbau der F₃-Generation Nackthafer x Nackthafer (schwarze Linien = Reihen)

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit SAS-Prozeduren (SAS Institute Inc., 1992) und SPSS 11 (SPSS Inc., 1989-2001) durchgeführt. Für die Varianzanalyse wurde die GLM-Prozedur von SAS eingesetzt. Mit SPSS 11 wurde der t-Test zum Vergleich der Mittelwerte durchgeführt und der Pearsonsche Korrelationskoeffizient berechnet.

Für die varianzanalytische Auswertung der F₄- und F₅-Generation erfolgte die Einteilung in bespelzte Linien (Bonitur eins und zwei des Rispentyps im Parzellenbestand) und nackte Linien (Bonitur vier und fünf). Die Boniturnote drei trat bei den Untersuchungen nicht auf. Bei Auswertung der F₅-Generation wurde zuerst die Analyse über die Populationen hinweg für die Merkmale Ertrag und TKG aus dem Druschgut der Parzellen vorgenommen. Danach erfolgte eine nach Populationen getrennte Darstellung der Ergebnisse. Innerhalb der F₅-Prüfung ließen sich Geschwisterpaare (nackte bzw. bespelzte Linien) vergleichen, die auf die gleiche F₂-Pflanze zurückgehen.

4 Ergebnisse

4.1 Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer

4.1.1 F₂-Generation

Von jeder der drei Kreuzungen wurden F₂-Einzelpflanzen (3-4 Rispen) einer F₁-Nachkommenschaft der Rispenbonitur unterzogen. Nach dem Drusch mit der Einzelährendreschmaschine erfolgte die Kornbonitur. Tab. 10 stellt die Verteilung des Rispen-typs (große Buchstaben) und der Kornbonitur (kleine Buchstaben) für die Populationen 13, 14 und 19 dar.

Tabelle 10: Verteilung der Rispen- und Kornbonituren in der F₂-Generation

B = alle Ährchen der Rispe 2–3 blütig, B+ = die Mehrzahl der Ährchen der Rispe 2–3 blütig, ½ = die Hälfte der Ährchen der Rispe vielblütig, N+ = die Mehrzahl der Ährchen der Rispe vielblütig, N = alle Ährchen der Rispe vielblütig, b = alle Körner bespelzt, b+ = 1 – 40 % Körner nacktkörnig, ½ = 41 – 60 % der Körner nacktkörnig, n+ = 61 – 94 % der Körner nacktkörnig, n = 95 – 100 % der Körner nacktkörnig

Population 13 Neklan x Bullion						Population 14 Hecht x Mozart					
	B	B+	½	N+	N		B	B+	½	N+	N
b	10					b	7				
b+	1	4	2	1		b+		5	9		
½			6	5		½		1	7	6	
n+			1	6		n+				5	2
n				10	11	n				3	7

Population 19 Flämingslord x SAL 11169

	B	B+	½	N+	N
b	15				
b+		4	4	1	1
½			2	7	3
n+		2	4	13	7
n			1	6	10

Die vielblütigen Genotypen herrschten vor, es gab mehr Pflanzen vom Rispentyp N und N+ als vom Rispentyp B und B+. Bei den Populationen 13 und 14 korrelieren die Stufen der Rispen- und Kornbonitur sehr stark. Auch die Population 19 zeigte einen erhöhten Anteil an vielblütigen Rispen und an Rispen mit einem hohen Anteil nackter Körner.

Die Verteilung der Population 19 zeigt jedoch auch Korrelationsbrecher innerhalb der Nachkommenschaft. Es gab Einzelpflanzen (B+, n+), die eine geringe Vielblütigkeit und annähernde Nacktkörnigkeit aufwiesen.

4.1.2 F₃-Generation

Auch in der F₃-Generation fand die Erfassung der Verteilung des Zusammenhanges zwischen Rispen- und Kornbonitur statt. Tab. 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der F₃-Generation.

Tabelle 11: Verteilung der Rispen- und Kornbonituren in der F₃-Generation
 B = alle Einzelrispen B oder B+, N = alle Einzelrispen N oder N+, sp = alle anderen Nachkommenschaften, b = alle Einzelrispen b oder b+, n = alle Einzelrispen n oder n+, sp = alle anderen Nachkommenschaften

Population 13 Spae 1108 x Bullion				Population 14 Hecht x Mozart			
	B	sp	N		B	sp	N
b	11			b	7		
sp		27	9	sp		33	3
n		2	8	n			9

Population 19 Flämingslord x SAL 11169			
	B	sp	N
b	15		
sp		47	2
n			16

Wie in Material und Methoden beschrieben, wurden alle F₂-Pflanzen in die nächste Generation überführt und reihenweise angebaut. Von jeder F₃-Reihe wurden zehn Hauptrispen geschnitten und bonitiert. Für die F₂-Einzelpflanzennachkommenschaften wurde festgestellt, ob alle Rispen 2-3 blütig (B), spaltend (B+, ½, N+) oder vielblütig (N) ausgeprägt waren. An den Körnern erfolgte nach dem Drusch der Rispen die Feststellung der nackten (n), spaltenden (n+, ½, b+) und bespelzten Ausprägung.

Wie Tab. 11 zeigt, ergeben sich für die drei Populationen ähnliche Verteilungen. Der spaltende Typ (sp), welcher bei allen Populationen für beide Bonituren überwiegt, gibt die heterogenen F₂-Nachkommenschaften wieder. Die F₂-Nachkommenschaften mit homogenem Erscheinungsbild (B, b; N, n) waren in jeder Population zu etwa gleichen Anteilen vorhanden. Die Boniturstufen des Rispentyps korrelieren mit denen der Körner.

Tab. 12 zeigt die Aufspaltung der F₂-Einzelpflanzen und der F₂-Nachkommenschaften in der F₃-Generation der Population 13, 14 und 19 für den Rispentyp, also die Anzahl an Blütchen je Ährchen.

Tabelle 12: Aufspaltung der F₂-Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der F₂-Nachkommenschaften in der F₃-Generation (Abkürzung Tab. 10 für F₂ und Tab. 11 für F₃) der Population 13, 14 und 19 für den Rispentyp

Population 13 Spae 1108 x Bullion				Population 14 Hecht x Mozart			
F ₂	B	B+, ½, N+	N	F ₂	B	B+, ½, N+	N
F ₃				F ₃			
B	10	1		B	7		
sp	1	25	3	sp		33	
N		9	8	N		3	9

Population 19 Flämingslord x SAL 11169			
F ₂	B	B+, ½, N+	N
F ₃			
B	15		
sp		34	13
N		10	8

In Population 13 zeigte eine der elf 2-3 blütigen F₂-Pflanzen in der F₃-Generation eine Aufspaltung für das Merkmal Rispentyp.

In den Populationen 14 und 19 blieb das Merkmal der Zwei- bis Dreiblütigkeit in der F₃-Generation erhalten. Die vielblütigen Einzelpflanzen in der F₂-Generation zeigten in der F₃-Generation in Population 13 und 19 zum Teil spaltende Nachkommenschaften. Die unvollständige Ausprägung des Merkmals Vielblütigkeit (B+, ½, N+) bei den F₂-Einzelpflanzen führte in der F₃-Generation in der Population 13 zu 25 spaltenden und 9 vielblütigen Nachkommenschaften, in der Population 19 zu 34 spaltenden und 10 vielblütigen und in der Population 14 zu 33 spaltenden und 3 vielblütigen Nachkommenschaften. Die Darstellung zeigt den engen Zusammenhang in der Ausprägung des Merkmals Rispentyp in der F₂- und F₃-Generation.

Tab. 13 zeigt das Verhältnis der Ausprägung des Merkmals Nacktkörnigkeit bzw. Bepelzung (Kornbonitur) der F₂-Einzelpflanzen und ihrer Nachkommenschaften.

Tabelle 13: Aufspaltung der F₂-Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der F₂-Nachkommenschaften in der F₃-Generation (Abkürzung Tab. 10 für F₂ und Tab. 11 für F₃) der Population 13, 14 und 19 für die Kornbonitur

Population 13 Spae 1108 x Bullion				Population 14 Hecht x Mozart			
F ₂ F ₃	b	n+, ½, b+	n	F ₂ F ₃	b	n+, ½, b+	n
b	10	1		b	7		
sp		25	11	sp		33	3
n			10	n		2	7

Population 19 Flämingslord x SAL 11169			
F ₂ F ₃	b	n+, ½, b+	n
b	15		
sp		43	6
n		5	11

Alle bespelzten F_2 -Einzelpflanzen der 3 Populationen waren in der F_3 -Generation vollständig bespelzt.

Die nacktkörnigen Pflanzen der F_2 -Generation prägten das Merkmal in der F_3 -Generation in der Population 13 im Verhältnis 11 spaltend zu 10 einheitlich nackt, in der Population 19 in 6 spaltend zu 11 einheitlich nackt und in der Population 14 in 3 spaltend zu 7 einheitlich nackt aus. Bei der Betrachtung der Übergangsformen (Kornbonitur $b+$, $\frac{1}{2}$, $n+$) in der F_2 -Generation zeigte sich die unterschiedliche Reaktion in der F_3 -Generation, überwiegend wurden aber spaltende Nachkommenschaften gefunden.

Während in der Population 13 die Aufspaltung 1 bespelzte und 25 spaltende Nachkommenschaften ergab, zeigte die Population 14 ein Verhältnis von 33 spaltenden zu 2 nacktkörnigen und die Population 19 ein Verhältnis von 43 spaltenden zu 5 nacktkörnigen Nachkommenschaften. Auch hier lässt sich der enge Zusammenhang zwischen der F_2 - und F_3 -Generation erkennen. Die eine bespelzte Nachkommenschaft in der F_3 -Generation in der Population 13 weist auf eine unkorrekte Beurteilung in der F_2 -Generation hin (Unterschied zwischen b und $b+$).

Tab. 14 vergleicht die Bonitur des Rispentyps der F_2 - und F_3 -Generation. Der Anteil der Ausprägung der 2-3 blütigen Ährchen blieb bei den zwei Generationen der drei Populationen gleich. In der Population 19 gab es in der F_3 mehr spaltende Nachkommenschaften als in der F_2 Zwischentypen. In den Populationen 13 und 14 war es umgekehrt.

Tabelle 14: Vergleich der Aufspaltungen für den Rispentyp in der F_2 - und F_3 -Generation für drei Populationen

		2-3 blütig	Zwischentypen (F_2) spaltend (F_3)	vielblütig
Population 13	F_2	11	35	11
	F_3	11	29	17
Population 14	F_2	7	36	9
	F_3	7	33	12
Population 19	F_2	15	44	21
	F_3	15	47	18

Das Verteilungsmuster der Kornbonitur zwischen der F_2 - und F_3 -Generation wird in Tab. 15 dargestellt. Die Anzahl der Einzelpflanzennachkommenschaften (EPN) mit 2-3

blütigen Rispen ist identisch mit der Anzahl der Einzelpflanzennachkommenschaften mit bespelzten Körnern mit einer Ausnahme in der Population 13. Es gab in allen Populationen in der F_2 weniger Zwischentypen als in der F_3 spaltende Nachkommenschaften.

Tabelle 15: Vergleich der Aufspaltungen für die Kornbonitur in der F_2 - und F_3 -Generation für drei Populationen

		bespelzt	Zwischentypen (F_2) spaltend (F_3)	nacktkörnig
Population 13	F_2	10	26	21
	F_3	11	36	10
Population 14	F_2	7	35	10
	F_3	7	36	9
Population 19	F_2	15	48	17
	F_3	15	49	16

Für alle F_2 -Pflanzen und deren Nachkommenschaften in F_3 sind die einzelnen Ergebnisse in Tab. 16 (Population 13 und 14) und Tab. 17 (Population 19) aufgeführt, und zwar mit den vorher beschriebenen Boniturstufen (jeweils fünf Klassen für F_2 und drei Klassen für F_3). In allen drei Populationen führt keine F_2 -Pflanze mit einer Rispenbonitur von B und B+ zu einer Kornbonitur vom nackten Typ (n oder n+) oder zu einer reinen Nacktform in der F_3 (N oder n).

Lediglich eine F_2 -Pflanze der Population 13 (13/28) und einige F_2 -Pflanzen der Population 19 (19/21, 19/53, 19/54 und 19/77) wurden für Rispe und Korn sehr unterschiedlich bonitiert. Dabei ist zu vermuten, dass es sich bei 19/54 um einen Boniturfehler der Rispenbonitur handelte, da die Nachkommenschaft einheitlich vielblütig und nacktkörnig war. Bei den anderen Pflanzen zeigt die Aufspaltung für Merkmale in der F_3 die Schwierigkeiten der F_2 -Bonitur auf.

Tabelle 16: Aufspaltung der F₂-Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der Nachkommenschaften in F₃ (Abkürzung Tab. 11) für die Merkmale Rispenbonitur und Kornbonitur in den Populationen 13 und 14

Linien- nummer Pop. 13	F ₂		F ₃		Linien- nummer Pop. 14	F ₂		F ₃	
	Rispen- bonitur	Korn- bonitur	Rispen- bonitur	Korn- bonitur		Rispen- bonitur	Korn- bonitur	Rispen- bonitur	Korn- bonitur
13/1	1/2	1/2	N	sp	14/1	B+	b+	sp	sp
13/2	B	b	B	b	14/2	B	b	B	b
13/3	1/2	1/2	sp	sp	14/3	1/2	b+	sp	sp
13/4	1/2	1/2	sp	sp	14/4	B+	b+	sp	sp
13/5	B+	b+	sp	sp	14/5	1/2	1/2	sp	sp
13/6	N+	n	N	n	14/6	N+	n	N	n
13/7	N+	1/2	sp	sp	14/7	1/2	b+	sp	sp
13/8	B+	b+	sp	sp	14/8	1/2	b+	sp	sp
13/9	N+	1/2	sp	sp	14/9	1/2	1/2	sp	sp
13/11	N	n	N	n	14/10	N	n	N	n
13/13	N+	n	sp	sp	14/11	N	n+	N	n
13/14	N+	1/2	sp	sp	14/12	N+	1/2	sp	sp
13/15	N+	n	N	n	14/13	B+	b+	sp	sp
13/16	N+	n	N	n	14/14	N	n+	N	n
13/17	N	n	N	n	14/15	B	b	B	b
13/18	1/2	n+	sp	sp	14/16	N	n	N	n
13/19	B	b	B	b	14/17	B	b	B	b
13/20	B	b	B	b	14/18	N+	n	N	n
13/21	B	b	B	b	14/19	B+	b+	sp	sp
13/22	B	b	B	b	14/20	1/2	1/2	sp	sp
13/24	B	b	B	b	14/21	1/2	1/2	sp	sp
13/25	N	n	N	sp	14/22	N+	1/2	sp	sp
13/26	N	n	N	sp	14/23	B	b	B	b
13/27	N	n	N	sp	14/24	N+	1/2	sp	sp
13/28	N+	b+	sp	sp	14/25	1/2	b+	sp	sp
13/29	N+	n	sp	sp	14/27	N+	n+	sp	sp
13/30	N	n	sp	n	14/28	N+	n+	sp	sp
13/31	N+	n+	N	sp	14/29	N	n	N	n
13/32	N+	n+	sp	sp	14/30	B	b	B	b
13/33	B	b	B	b	14/31	B+	1/2	sp	sp
13/34	1/2	1/2	sp	sp	14/32	1/2	b+	sp	sp
13/35	N+	n+	sp	sp	14/33	1/2	b+	sp	sp
13/36	1/2	b+	sp	sp	14/34	N+	n+	sp	sp
13/37	N+	1/2	sp	sp	14/35	N+	n+	sp	sp
13/38	N+	n	N	sp	14/36	B	b	B	b
13/39	N+	1/2	sp	sp	14/37	1/2	1/2	sp	sp
13/40	N	n	N	n	14/38	N+	1/2	sp	sp
13/41	1/2	b+	sp	sp	14/39	N	n	N	sp
13/42	N	n	sp	sp	14/40	N	n	N	sp
13/43	B+	b+	sp	sp	14/41	N+	n	N	n
13/44	B	b	B	b	14/42	N+	n+	sp	sp
13/45	B	b	B	b	14/43	B+	b+	sp	sp
13/46	N+	n	sp	n	14/44	1/2	1/2	sp	sp
13/47	N+	n	sp	sp	14/46	1/2	1/2	sp	sp
13/48	N+	n+	sp	sp	14/47	1/2	b+	sp	sp
13/49	N+	n+	sp	sp	14/48	1/2	b+	sp	sp
13/50	N+	n	N	n	14/49	N+	1/2	sp	sp
13/51	N+	n	N	sp	14/50	B	b	B	b
13/52	N+	n+	N	sp	14/51	1/2	b+	sp	sp
13/53	N	n	N	n	14/52	N	n	N	sp
13/54	B	b+	sp	sp	14/53	N+	1/2	sp	sp
13/55	N	n	sp	sp	14/54	N	n	N	n
13/56	N	n	N	sp					
13/57	1/2	1/2	sp	sp					
13/58	B	b	B	b					
13/59	1/2	1/2	sp	sp					
13/60	B+	b+	B	b					

Tabelle 17: Aufspaltung der F₂-Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der Nachkommenschaften in F₃ (Abkürzung Tab. 11) für die Merkmale Rispenbonitur und Kornbonitur in der Population 19

Liniennummer Pop. 19	F ₂		F ₃		Liniennummer Pop. 19	F ₂		F ₃	
	Rispenbonitur	Kornbonitur	Rispenbonitur	Kornbonitur		Rispenbonitur	Kornbonitur	Rispenbonitur	Kornbonitur
19/1	N+	n	sp	sp	19/41	N+	n+	sp	sp
19/2	N+	n+	sp	sp	19/42	1/2	n+	sp	sp
19/3	N+	n	sp	sp	19/43	B	b	B	b
19/4	N+	n+	sp	sp	19/44	N	1/2	sp	sp
19/5	B	b	B	b	19/45	N+	n+	sp	sp
19/6	B	b	B	b	19/46	B	b	B	b
19/7	B	b	B	b	19/47	B	b	B	b
19/8	N+	n+	sp	sp	19/48	1/2	n+	sp	sp
19/9	B	b	B	b	19/49	1/2	n	N	n
19/10	N+	1/2	sp	sp	19/50	1/2	1/2	sp	sp
19/11	N+	n	N	sp	19/51	N+	n+	N	n
19/12	N+	1/2	sp	sp	19/52	1/2	b+	sp	sp
19/13	N+	1/2	sp	sp	19/53	B+	n+	sp	sp
19/14	B	b	B	b	19/54	B+	n+	N	n
19/15	N	n+	sp	sp	19/55	N+	n+	sp	sp
19/16	1/2	1/2	sp	sp	19/56	B	b	B	b
19/17	B	b	B	b	19/57	N+	n	N	n
19/18	N	n	N	n	19/58	N+	1/2	sp	sp
19/19	N	1/2	sp	sp	19/59	N	1/2	sp	sp
19/20	N	n	N	n	19/60	1/2	b+	sp	sp
19/21	N+	b+	sp	sp	19/61	1/2	b+	sp	sp
19/22	N	n+	sp	sp	19/62	N+	n+	N	n
19/23	N+	1/2	sp	sp	19/63	N+	n+	sp	sp
19/24	N+	1/2	sp	sp	19/64	1/2	n+	sp	sp
19/25	B	b	B	b	19/65	N+	n	N	n
19/26	N	n+	sp	sp	19/66	N+	n+	sp	sp
19/27	N	n+	sp	sp	19/67	N	n+	sp	sp
19/28	B	b	B	b	19/68	N+	n	sp	sp
19/29	N+	n+	sp	sp	19/69	N	n	N	n
19/30	B	b	B	b	19/70	N	n+	sp	sp
19/31	1/2	n+	sp	sp	19/71	N	n	N	n
19/32	B	b	B	b	19/72	N	n+	N	sp
19/33	1/2	b+	sp	sp	19/73	N	n	sp	sp
19/34	B+	b+	sp	sp	19/74	N	n	N	n
19/35	N+	n+	N	n	19/75	B	b	B	b
19/36	N+	n+	N	n	19/76	N	n	N	n
19/37	N+	1/2	sp	sp	19/77	N	b+	sp	sp
19/38	B+	b+	sp	sp	19/78	N	n	N	n
19/39	B+	b+	sp	sp	19/79	N	n	sp	sp
19/40	B+	b+	sp	sp	19/80	N	n	sp	sp

4.1.3 F₄-Generation

Die F₄-Generation stand in Mikroparzellen in einfacher Wiederholung an zwei Orten.

Die einzelnen Ergebnisse sind in den Tab. 18 – 20 zusammengestellt.

Tabelle 18: F₄-Generation der Population 13; Erfassung der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Ertragskomponenten

Linien	Rispen- typ	Pflanzenlänge (cm)	Rispen- schieben	Anfälligkeit für		Neigung zu		Ertragskomponenten von 5 Rispen (Hohenthurm)			Ertragskomponenten von 5 Rispen (Salzmünde)		
				Mehltau 10.7. (Sal)	Kronenrost 30.7. (Ho)	Lager 18.7. (Ho)	Lager 30.7. (Ho)	KZ	KG	TKG	KZ	KG	TKG
Spae 1108	5	98	spät	5	6	2	3	1106	33,82	30,67	784	23,93	30,45
Bullion	1	95	spät	2	6	3	4	1027	24,14	23,56	677	17,32	25,69
313/1/2	5	90	mittel	3	6	2	4	664	16,37	24,65	568	12,75	22,45
313/4/4	1	94	spät	6	6	4	6	1045	33,72	32,27	632	22,86	36,17
313/5/2	5	94	spät	6	5	2	4	920	20,62	22,41	732	17,75	24,25
313/7/5	1	103	mittel	7	6	3	5	815	29,03	35,62	598	19,96	33,38
313/8/2	1	100	mittel	5	5	7	8	773	24,63	31,86	611	19,48	31,88
313/8/4	1	100	mittel	6	5	7	8	800	19,27	24,09	774	22,90	29,59
313/8/7	1	100	mittel	6	5	6	7	1262	35,45	28,09	794	22,21	27,97
313/9/3	5	105	spät	5	5	5	6	1262	25,52	20,22	839	18,38	21,91
313/9/4	1	102	spät	5	5	6	7	958	26,60	27,77	928	28,92	31,16
313/11/2	5	97	mittel	3	4	6	6	954	28,11	29,47	627	16,09	25,66
313/11/3	5	107	mittel	3	4	3	5	1176	29,79	25,33	670	17,55	26,19
313/11/5	5	103	mittel	2	4	4	5	855	21,82	25,52	694	17,11	24,65
313/13/9	5	103	mittel	3	4	2	6	825	26,40	32,00	491	17,71	36,07
313/14/3	1	96	spät	5	4	4	4	829	28,62	34,52	581	20,91	35,99
313/15/10	5	97	früh	3	4	6	8	852	19,50	22,89	568	14,71	25,90
313/17/6	5	97	früh	5	3	4	4	1260	33,70	26,75	714	14,34	20,08
313/18/10	1	90	spät	6	6	4	8	597	21,10	35,34	564	19,09	33,85
313/25/10	5	92	mittel	3	3	4	7	987	21,45	21,73	576	14,54	25,24
313/26/4	5	97	mittel	3	5	6	6	1200	27,89	23,24	686	15,38	22,42
313/27/7	5	85	mittel	5	5	6	6	1011	21,36	21,13	669	14,32	21,41
313/30/7	5	105	früh	6	5	4	5	950	23,28	24,51	507	14,12	27,85
313/31/10	5	105	mittel	5	4	6	6	1142	31,72	27,78	715	20,54	28,73
313/32/8	5	100	früh	5	5	5	6	878	19,35	22,04	547	14,67	26,82
313/35/9	1	90	spät	6	6	6	7	926	31,73	34,27	616	22,54	36,59
313/35/6	1	89	spät	6	5	6	6	903	32,56	36,06	534	18,97	35,52
313/36/6	5	105	früh	2	5	6	7	1135	29,76	26,22	550	14,03	25,51
313/38/6	5	105	spät	6	6	5	5	1109	23,55	21,24	765	18,19	23,78
313/40/7	5	92	mittel	5	5	6	6	987	21,16	21,44	639	14,10	22,07
313/41/5	1	100	mittel	6	6	4	4	851	29,00	34,08	640	18,47	28,86
313/41/6	5	103	mittel	3	6	4	4	1774	40,99	23,11	841	19,48	23,16
313/43/8	1	105	mittel	5	3	4	5	679	27,47	40,46	581	19,41	33,41
313/46/10	5	97	spät	4	6	5	6	1067	26,50	24,84	1097	24,01	21,89
313/47/4	5	99	spät	7	5	5	5	1310	28,47	21,73	704	16,09	22,86
313/48/8	1	102	früh	6	5	7	7	708	28,34	40,03	633	21,17	33,44
313/48/9	5	102	früh	5	5	4	4	775	22,24	28,70	557	13,90	24,96
313/51/9	5	95	spät	5	4	5	5	1177	32,83	27,89	816	20,52	25,15
313/52/8	5	93	spät	6	5	6	6	1593	31,31	19,65	918	18,32	19,96
313/54/1	1	102	mittel	7	6	6	6	867	31,02	35,78	681	22,39	32,88
313/55/8	5	98	mittel	4	5	6	6	1252	26,83	21,43	820	18,87	23,01
313/55/10	1	90	mittel	5	5	6	6	800	29,47	36,84	591	19,35	32,74
313/56/3	5	105	spät	5	6	6	6	1293	26,05	20,15	888	18,25	20,55

Tabelle 19: F₄-Generation der Population 14; Erfassung der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Ertragskomponenten

Linien	Rispen- typ	Pflanzenlänge (cm)	Rispenchieben	Anfälligkeit für		Neigung zu		Ertragskomponenten von 5 Rispen (Hohenthurm)			Ertragskomponenten von 5 Rispen (Salzmünde)		
				Mehltau 10.7. (Sal)	Kronenrost 30.7. (Ho)	Lager 18.7. (Ho)	Lager 30.7. (Ho)	KZ	KG	TKG	KZ	KG	TKG
Mozart	5	106	spät	4	6	5	5	1096	25,08	22,91	589	15,07	25,41
Hecht	1	97	spät	6	6	4	4	951	36,55	38,43	654	23,82	36,34
314/1/8	1	100	spät	5	6	5	6	921	29,73	32,28	704	21,98	31,22
314/4/3	5	105	spät	5	7	3	3	824	18,63	22,61	591	14,13	23,91
314/4/8	1	96	spät	6	6	3	3	872	29,43	33,75	726	27,17	37,42
314/5/5	1	107	spät	6	7	5	5	1016	38,45	37,84	731	26,43	36,16
314/6/3	5	110	spät	5	6	5	5	1212	28,99	23,92	909	21,60	23,76
314/7/3	1	108	mittel	5	4	7	7	867	29,33	33,83	639	19,40	30,36
314/8/1	1	98	spät	7	5	5	6	838	35,30	42,12	537	18,64	34,71
314/11/2	5	95	mittel	6	7	4	4	1145	27,27	23,82	685	15,03	21,94
314/13/2	1	95	spät	2	7	3	3	830	32,94	39,69	516	17,63	34,17
314/14/6	5	93	mittel	6	7	6	6	1018	19,41	19,07	937	20,19	21,55
314/18/3	5	92	mittel	6	6	5	5	1067	27,33	25,61	659	15,83	24,02
314/19/2	1	102	spät	6	7	4	4	819	27,07	33,05	591	22,34	37,80
314/19/5	1	105	mittel	5	5	3	3	973	32,85	33,76	707	24,63	34,84
314/20/1	5	96	mittel	3	6	5	5	1124	30,89	27,48	505	13,29	26,32
314/21/8	5	103	spät	5	7	5	5	1152	26,93	23,38	665	15,39	23,14
314/22/1	5	96	spät	5	7	4	4	1108	22,53	20,33	691	15,48	22,40
314/24/6	5	93	mittel	5	7	4	4	1138	23,09	20,29	713	15,72	22,05
314/28/8	5	107	spät	5	7	4	4	1578	40,93	25,94	647	14,11	21,81
314/33/10	5	93	spät	5	7	4	4	1045	27,28	26,11	781	20,11	25,75
314/37/2	5	100	mittel	4	6	3	3	946	21,22	22,43	564	13,79	24,45
314/39/7	5	93	spät	5	7	4	4	966	21,44	22,19	755	16,90	22,38
314/40/5	5	109	spät	4	7	4	4	1281	29,55	23,07	684	17,72	25,91
314/40/7	5	98	spät	6	5	4	4	970	24,68	25,44	695	16,85	24,24
314/41/1	5	106	spät	5	7	6	7	864	19,95	23,09	697	18,20	26,11
314/43/1	1	103	spät	7	7	4	4	874	29,86	34,16	485	17,62	36,33
314/43/6	1	89	spät	6	7	4	4	904	35,97	39,79	474	16,03	33,82
314/44/2	1	100	spät	6	7	6	7	888	34,14	38,45	519	17,86	34,41
314/44/6	5	92	spät	6	7	5	5	885	20,43	23,08	662	14,19	21,44
314/44/8	1	93	spät	6	7	6	7	775	28,74	37,08	693	24,34	35,12
314/46/5	1	100	mittel	6	6	4	4	1020	35,15	34,46	640	19,30	30,16
314/47/1	1	92	mittel	5	7	6	6	774	22,82	29,48	494	14,74	29,84
314/47/4	5	92	spät	5	6	4	4	1006	25,12	24,97	528	11,80	22,35
314/52/1	5	105	spät	4	7	3	3	1251	27,46	21,95	803	18,89	23,52
314/53/1	5	104	früh	5	7	6	6	891	19,42	21,80	696	14,09	20,24
314/54/3	5	103	spät	5	5	4	4	795	17,49	22,00	687	15,36	22,36
314/54/5	5	105	spät	5	6	4	4	890	22,94	25,78	534	14,03	26,27
314/54/6	5	96	spät	4	6	3	3	766	17,27	22,55	625	14,12	22,59

Tabelle 20: F₄-Generation der Population 19; Erfassung der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Ertragskomponenten

Linien	Rispen- typ	Pflanzenlänge (cm)	Rispen-schieben	Anfälligkeit für		Neigung zu		Ertragskomponenten von 5 Rispen (Hohenthurm)			Ertragskomponenten von 5 Rispen (Salzmünde)		
				Mehltau 10.7. (Sal)	Kronenrost 30.7. (Ho)	Lager 18.7. (Ho)	Lager 30.7. (Ho)	KZ	KG	TKG	KZ	KG	TKG
SAL 11169	5	107	mittel	3	5	4	4	795	22,77	29,06	505	14,05	27,91
Flämingslord	1	102	mittel	3	5	3	3	955	28,37	29,54	662	18,45	27,86
319/1/1	1	105	mittel	2	6	3	3	671	23,50	35,02	562	16,20	28,83
319/1/2	1	105	mittel	3	5	3	3	681	22,26	32,69	632	16,65	26,34
319/1/4	5	100	mittel	3	5	4	4	916	19,26	21,03	475	11,44	24,08
319/2/1	1	94	mittel	3	6	4	4	1054	33,88	32,14	700	19,93	28,47
319/3/2	1	100	mittel	4	6	5	5	1320	40,33	30,55	684	18,45	26,97
319/4/6	1	105	spät	3	6	4	4	768	25,64	33,39	577	16,73	28,99
319/8/1	1	110	mittel	4	5	5	5	778	25,83	33,20	562	17,55	31,23
319/10/6	1	107	mittel	3	6	5	5	795	28,76	36,18	548	17,40	31,75
319/11/2	5	114	mittel	4	5	6	6	1018	25,52	25,07	569	13,77	24,20
319/11/3	5	110	mittel	5	6	3	3	1019	26,48	25,99	659	17,50	26,56
319/11/4	5	110	mittel	5	6	3	3	894	23,78	26,60	593	16,42	27,69
319/11/6	5	115	mittel	5	5	4	4	1215	30,19	24,85	761	18,01	23,67
319/12/3	1	111	spät	3	6	5	5	787	25,45	32,34	631	18,79	29,78
319/12/5	5	103	mittel	3	6	5	5	770	20,39	26,48	508	13,49	26,56
319/13/7	1	104	mittel	4	5	5	5	870	29,19	33,55	587	17,56	29,91
319/15/10	1	111	spät	3	6	4	4	999	33,86	33,89	549	15,74	28,67
319/16/4	5	106	spät	3	6	6	6	1157	22,85	19,75	484	9,06	18,72
319/16/6	1	102	mittel	3	6	6	6	861	29,59	34,37	525	14,18	27,01
319/18/1	5	100	mittel	3	5	5	5	773	16,71	21,62	446	10,06	22,56
319/18/2	5	104	spät	3	6	5	5	935	20,07	21,47	505	12,28	24,32
319/18/6	5	94	mittel	4	6	5	5	822	21,31	25,92	571	14,80	25,92
319/20/3	5	100	mittel	2	5	4	4	1034	25,23	24,40	460	10,07	21,89
319/20/8	5	103	mittel	3	6	4	4	1112	24,85	22,35	658	14,54	22,10
319/22/1	1	105	spät	3	5	3	3	789	25,64	32,50	699	20,18	28,87
319/22/8	5	111	spät	3	6	5	5	893	23,95	26,82	511	11,66	22,82
319/23/1	5	106	spät	3	6	4	4	964	24,98	25,91	561	16,00	28,52
319/23/3	1	104	mittel	4	6	4	4	897	29,51	32,90	632	19,40	30,70
319/26/7	5	98	spät	5	6	2	2	1144	27,10	23,69	456	10,18	22,32
319/27/3	4	100	mittel	5	6	3	3	899	22,81	25,37	705	16,13	22,88
319/29/1	5	102	mittel	3	6	3	3	861	20,75	24,10	489	12,53	25,62
319/31/2	5	105	spät	3	6	4	4	848	22,32	26,32	547	15,12	27,64
319/31/6	1	102	spät	4	6	3	3	868	25,05	28,86	617	18,17	29,45
319/33/5	1	104	spät	3	5	4	4	980	33,68	34,37	654	19,52	29,85
319/34/1	5	96	mittel	3	6	4	4	896	22,16	24,73	507	10,95	21,60
319/34/6	1	98	mittel	3	6	4	4	816	29,12	35,69	523	15,28	29,22
319/35/1	5	97	mittel	2	5	3	3	1063	27,12	25,51	736	16,29	22,13
319/36/1	5	94	mittel	2	5	3	4	570	18,60	32,63	469	15,11	32,22
319/36/3	5	101	mittel	2	5	4	4	727	21,82	30,01	526	15,56	29,58
319/37/3	2	101	mittel	3	5	4	4	838	22,30	26,61	465	12,56	27,01
319/38/5	5	94	mittel	2	3	4	4	952	22,73	23,88	752	15,89	21,13
319/38/9	1	103	mittel	2	3	3	3	806	25,80	32,01	556	17,23	30,99

Linien	Rispen- typ	Pflanzenlänge (cm)	Rispschieben	Anfälligkeit für		Neigung zu		Ertragskomponenten von 5 Rispen (Hohenthurm)			Ertragskomponenten von 5 Rispen (Salzmünde)		
				Mehltau 10.7. (Sal)	Kronenrost 30.7. (Ho)	Lager 18.7. (Ho)	Lager 30.7. (Ho)	KZ	KG	TKG	KZ	KG	TKG
319/42/1	5	97	früh	2	4	4	4	986	25,92	26,29	504	14,21	28,19
319/44/4	1	103	mittel	3	3	3	3	732	23,15	31,63	510	15,07	29,55
319/45/2	1	105	mittel	4	6	2	2	880	29,54	33,57	610	21,01	34,44
319/48/4	5	104	mittel	3	5	2	2	1080	28,60	26,48	809	19,97	24,68
319/50/3	1	100	spät	5	6	3	3	754	23,16	30,72	578	17,82	30,83
319/50/5	5	100	mittel	3	5	3	3	741	17,00	22,94	612	13,66	22,32
319/51/2	5	94	spät	3	6	4	4	757	20,65	27,28	634	16,93	26,70
319/52/4	1	100	mittel	3	6	5	5	700	21,10	30,14	502	14,23	28,35
319/57/4	5	105	mittel	3	5	3	3	1004	26,31	26,21	594	13,81	23,25
319/57/5	5	105	mittel	4	5	3	3	997	21,77	21,84	767	17,60	22,95
319/58/4	1	57	spät	4	6	4	4	690	21,68	31,42	526	15,90	30,23
319/58/8	5	102	spät	4	6	4	4	1051	24,67	23,47	474	10,59	22,34
319/59/6	1	100	spät	5	6	3	3	856	29,03	33,91	577	18,85	32,67
319/60/6	1	99	mittel	3	5	5	5	750	24,30	32,40	519	15,86	30,56
319/61/10	1	97	spät	3	6	5	5	927	28,35	30,58	706	18,40	26,06
319/62/1	5	102	mittel	4	6	6	6	998	21,66	21,70	538	12,31	22,88
319/62/10	5	95	mittel	4	5	4	5	942	24,69	26,21	595	14,11	23,71
319/64/1	5	99	mittel	3	6	3	3	733	20,57	28,06	651	19,69	30,25
319/64/3	1	100	mittel	4	6	3	3	786	26,22	33,36	694	20,69	29,81
319/65/4	5	95	mittel	3	5	4	4	923	19,97	21,64	544	12,54	23,05
319/65/7	5	102	mittel	4	6	4	4	971	21,87	22,52	587	14,19	24,17
319/66/2	5	93	mittel	3	6	5	5	939	22,55	24,01	582	14,43	24,79
319/66/3	1	100	mittel	4	4	4	4	764	24,74	32,38	628	19,60	31,21
319/67/8	1	108	spät	4	4	3	4	738	26,00	35,23	818	26,15	31,97
319/68/3	5	105	spät	3	5	4	4	1028	25,66	24,96	548	12,77	23,30
319/68/6	5	98	spät	3	5	4	4	1203	29,09	24,18	625	15,13	24,21
319/68/8	5	103	spät	2	4	4	4	836	21,27	25,44	699	21,27	30,43
319/69/1	5	100	spät	3	5	5	5	939	22,69	24,16	515	14,36	27,88
319/69/4	5	93	spät	5	5	4	4	836	20,61	24,65	531	11,65	21,94
319/70/3	5	94	früh	3	4	5	5	815	19,18	23,53	585	12,84	21,95
319/70/5	5	98	mittel	3	5	5	5	1081	27,20	25,16	800	18,45	23,06
319/71/4	5	97	spät	4	6	5	5	946	25,30	26,74	490	13,49	27,53
319/71/7	5	104	spät	4	5	5	5	709	17,72	24,99	591	14,80	25,04
319/72/2	5	94	spät	3	5	5	5	1300	29,44	22,65	631	15,88	25,17
319/72/6	5	98	mittel	3	5	4	4	1042	26,83	25,75	725	18,39	25,37
319/73/3	5	102	mittel	4	4	4	4	909	22,26	24,49	604	14,31	23,69
319/73/7	5	95	spät	4	5	4	4	879	19,47	22,15	823	20,21	24,56
319/74/3	5	95	mittel	3	6	3	3	1153	28,14	24,41	530	12,25	23,11
319/74/4	5	102	mittel	3	4	4	4	1103	25,63	23,24	798	16,01	20,06
319/76/2	5	100	mittel	3	3	2	2	999	26,60	26,63	545	12,61	23,14
319/76/4	5	93	mittel	3	4	2	2	747	19,66	26,32	571	16,01	28,04
319/77/6	5	102	spät	3	3	3	3	828	21,49	25,95	593	14,21	23,96
319/78/1	5	100	früh	3	3	3	3	894	23,48	26,26	594	17,15	28,87
319/79/6	5	105	mittel	3	3	3	3	810	23,53	29,05	699	18,83	26,94
319/80/2	1	105	spät	4	3	3	3	682	23,91	35,06	595	18,80	31,60
319/80/4	1	92	mittel	3	3	3	3	754	26,70	35,41	579	17,69	30,55

Die Varianzanalyse für Population 13 zeigt, dass zwischen den Rispentypen für die Kornzahl, das Korngewicht und das Tausendkorngewicht signifikante Unterschiede bestehen. Es unterscheiden sich aber auch bespelzte und nackte Linien innerhalb eines Rispentyps signifikant voneinander (Tab. 21). Für das Korngewicht und das TKG wurde keine signifikante Interaktion zwischen Rispentyp und Ort gefunden.

Tabelle 21: Varianzanalyse für Ertragskomponenten der Population 13 (n = 41) in der F₄

Variationsursache	FG	KZ			KG			TKG		
		MQ	F		MQ	F		MQ	F	
Rispentyp	1	393956	25,37	s	232,76	19,36	s	1591,55	318	s
Ort	1	2145856	138,2	s	1495,87	124,45	s	0,63	0,13	ns
Ort x Rispentyp	1	169939	10,94	s	18,49	1,54	ns	6,38	1,28	ns
Linien inn. Rispentyp	39	50117	3,23	s	21,33	1,77	s	18,37	3,67	s
Rest	39	15527			12,02			5,01		
Gesamt	81									

Die Population 14 weist ebenfalls einen signifikanten Unterschied auf, der durch den Rispentyp hervorgerufen wird (Tab. 22). Hier unterscheiden sich die Linien innerhalb eines Rispentyps nicht signifikant voneinander für die Kornzahl und das Korngewicht, während für das Tausendkorngewicht der Unterschied signifikant ist. Die Varianzanalyse zeigt keine signifikante Interaktion Rispentyp x Ort für alle gemessenen Merkmale.

Tabelle 22: Varianzanalyse für Ertragskomponenten der Population 14 (n = 37) in der F₄

Variationsursache	FG	KZ			KG			TKG		
		MQ	F		MQ	F		MQ	F	
Rispentyp	1	241569	17,64	s	608,72	38,31	s	2294,67	627,43	s
Ort	1	1986370	145,09	s	1628,09	102,45	s	6,41	1,75	ns
Ort x Rispentyp	1	25981	1,90	ns	28,66	1,80	ns	13,17	3,60	ns
Linien inn. Rispentyp	35	21355	1,56	ns	18,64	1,17	ns	8,23	2,25	s
Rest	35	13691			15,89			3,66		
Gesamt	73									

In der Population 19 gibt es signifikante Unterschiede für den Rispentyp und für die Linien innerhalb eines Rispentyps bei allen Merkmalen (Tab. 23). Die Interaktion zwischen Rispentyp und Ort ist für das Korngewicht nicht signifikant.

Tabelle 23: Varianzanalyse für Ertragskomponenten der Population 19 (n = 87) in der F₄

Variationsursache	FG	KZ			KG			TKG		
		MQ	F		MQ	F		MQ	F	
Rispenotyp	1	124970	11,46	s	471,39	56,38	s	1670,75	749,34	s
Ort	1	3996722	366,53	s	3377,62	403,95	s	64,33	28,85	s
Ort x Rispenotyp	1	138447	12,70	s	3,93	0,47	ns	79,99	35,88	s
Linien inn. Rispenotyp	85	17368	1,59	s	12,13	1,45	s	8,99	4,03	s
Rest	85	10904			8,36			2,23		
Gesamt	173									

Der Unterschied zwischen den Spelz- und Nackthaferlinien in den drei Populationen wird durch den Mittelwertvergleich deutlich (Tab. 24). Die Angaben für die Kornzahl und das Korngewicht wurden an fünf Rispen erfasst. Bei den Nacktformen war die Kornzahl deutlich höher, das Korngewicht aber trotzdem niedriger, woraus resultiert, dass das TKG dann sehr viel niedriger liegen muss.

Tabelle 24: Mittelwerte und Variationskoeffizienten (bespelzt und nackt) in der F₄-Generation der Populationen 13, 14 und 19 für die Kornzahl, das Korngewicht und das TKG von fünf Rispen

		KZ	KG	TKG
Population 13 n = 41	Mittelwert bespelzt	752,36	24,88	33,35
	Mittelwert nackt	896,27	21,39	24,20
	Variationskoeffizient	14,77	15,29	8,12
Population 14 n = 37	Mittelwert bespelzt	743,82	26,07	34,86
	Mittelwert nackt	861,63	20,15	23,37
	Variationskoeffizient	14,32	17,80	6,90
Population 19 n = 87	Mittelwert bespelzt	711,87	22,40	31,26
	Mittelwert nackt	767,83	18,96	24,78
	Variationskoeffizient	13,96	14,32	5,51

Wenn man die drei Populationen vergleicht, lag das TKG bei den bespelzten Linien zwischen 31 g und 35 g und bei den nackten Linien zwischen 23 g und 25 g. Der Unterschied zwischen beiden beträgt etwa 10 g. Der Variationskoeffizient für die Kornzahl in den drei Populationen lag zwischen 14 % und 15 % und für das Korngewicht zwischen 14 % und 18 %. Für das Tausendkorngewicht lag der Variationskoeffizient bei 5 % bis 8 % und damit in der für Parzellenversuche üblichen Höhe und zeigt, dass selbst bei

einer Probenahme von nur 5 Rispen eine gute Selektion durchgeführt werden kann, während der Variationskoeffizient für Kornzahl und Korngewicht für eine Selektion deutlich zu hoch war.

Die Korrelation zwischen Kornzahl (KZ) und Korngewicht (KG) war am gleichen Ort bei allen Populationen und beiden Rispentypen sehr eng und signifikant (Tab. 25). Die Korrelation zwischen Orten für das gleiche Merkmal war in allen Fällen erwartungsgemäß positiv, aber nur zum Teil signifikant.

Tabelle 25: Korrelation zwischen Kornzahl (KZ), Korngewicht (KG) und Tausendkorngewicht (TKG) von bespelzten und nackten Hafernachkommenschaften in der F₄-Generation an zwei Orten (Hohenthurm = Ho, Salzmünde = Sal)

bespelzt	n	KZ Ho	KG Ho	TKG Ho	KZ Ho	KZ Ho	KG Ho	KZ Sal	KZ Sal	KG Sal
		KZ Sal	KG Sal	TKG Sal	KG Ho	TKG Ho	TKG Ho	KG Sal	TKG Sal	TKG Sal
13	15	0,499*	0,024	0,516*	0,710**	-0,517*	0,255	0,855**	-0,609*	-0,111
14	14	0,420	0,123	0,303	0,696**	0,049	0,749**	0,908**	0,115	0,517
19	31	0,304**	0,251	0,419*	0,916**	-0,181	0,224	0,888**	0,024	0,477**

nackt	n	KZ Ho	KG Ho	TKG Ho	KZ Ho	KZ Ho	KG Ho	KZ Sal	KZ Sal	KG Sal
		KZ Sal	KG Sal	TKG Sal	KG Ho	TKG Ho	TKG Ho	KG Sal	TKG Sal	TKG Sal
13	26	0,624*	0,484*	0,655**	0,819**	-0,375	0,212	0,802**	-0,582**	0,002
14	23	0,209	0,074	0,536**	0,913**	0,212	0,589**	0,891**	-0,263	0,199
19	56	0,228**	0,158	0,677**	0,835**	-0,456**	0,095	0,815**	-0,086	0,499**

*, ** signifikant bei $p = 0,05$ bzw. $p = 0,01$

Bei Population 13 war die Korrelation zwischen KZ und TKG an beiden Orten und für die nackten und bespelzten Formen einheitlich negativ und signifikant. Die Korrelation bei den anderen Populationen fiel unterschiedlich aus. Zwischen KG und TKG wurde bei den Populationen 14 und 19 immer eine positive Korrelation gefunden, sie war aber nicht in allen Fällen signifikant.

Abb. 7 zeigt für Population 19 eine signifikant positive Korrelation von $r = 0,81$ zwischen Hohenthurm und Salzmünde für das Tausendkorngewicht. Das TKG des Nackthafers (●) lag im Mittel unter dem des Spelzhafers (Δ). Es gab jedoch mehrere nackte Linien, die im TKG einige Linien des Spelzhafers übertrafen.

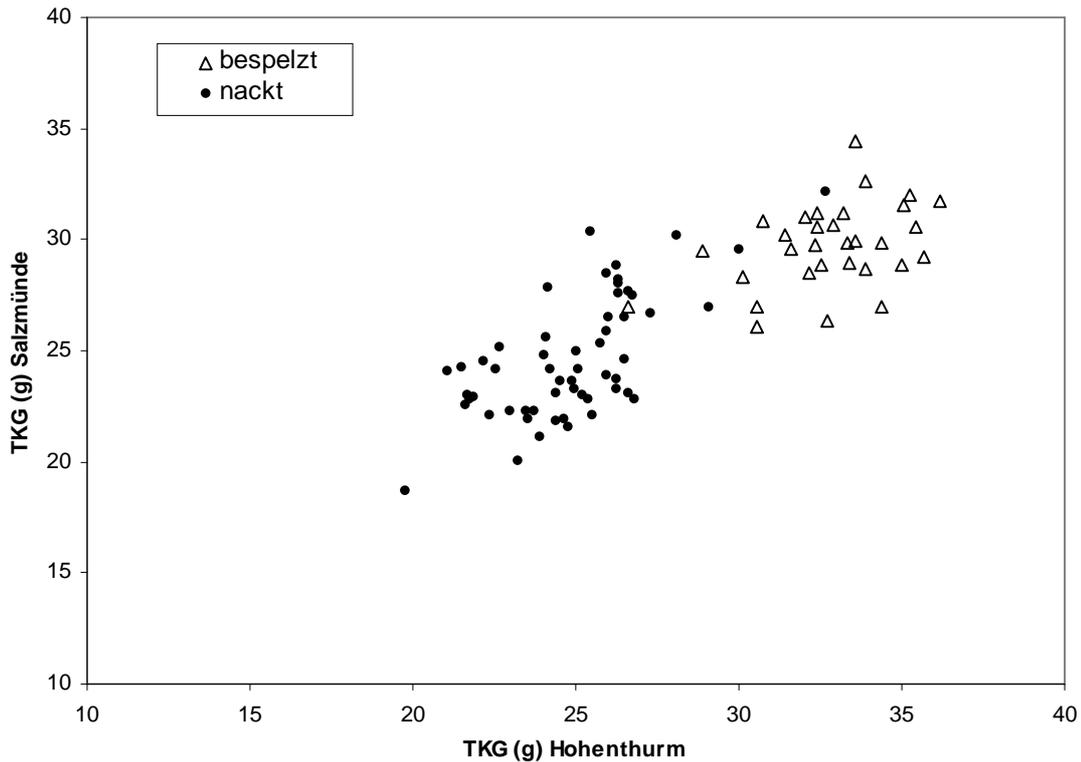


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen dem Tausendkorngewicht der Standorte Hohenthurm und Salzmünde der F₄-Generation der Population 19

In der F₄-Generation gab es einen unterschiedlichen Krankheitsbefall in Salzmünde und Hohenthurm (Tab. 18 – 20). In Hohenthurm wurde der Hafer von Kronenrost befallen, in Salzmünde nicht, dafür trat dort hauptsächlich Mehltau auf. Somit erfolgten auch die Bonituren nur an dem jeweiligen Ort des Auftretens.

Die Mehлтаubonitur der Population 13 lag zwischen 2 und 7, es gab 26 resistente Linien (Bonitur 2 – 5) und 15 anfällige Linien (Bonitur 6 – 7). Beim Kronenrostbefall reichten die Boniturnoten von 3 bis 6, diese teilten sich in 30 resistente Linien (Bonitur 3 – 5) und 11 anfällige Linien (Bonitur 6) auf (Tab. 18).

In der Population 14 wurde der Mehлтаubefall mit den Boniturnoten 2 bis 7 beurteilt (Tab. 19). Der Kronenrostbefall bei Population 14 variierte von Boniturstufe 4 bis 7, die Ausprägung war stärker als bei Population 13.

Der Mehлтаubefall der Population 19 variierte von 2 bis 5 und wies im Vergleich zu Population 13 und 14 eine höhere Resistenz auf. Jedoch wiesen 46 % der Linien einen Kronenrostbefall der Boniturstufe 6 auf.

Die Verteilung des Mehлтаub- und Kronenrostbefalls der F₄-Generation soll in Abb. 8 noch einmal graphisch verdeutlicht werden. Diese Art der Darstellung wurde gewählt,

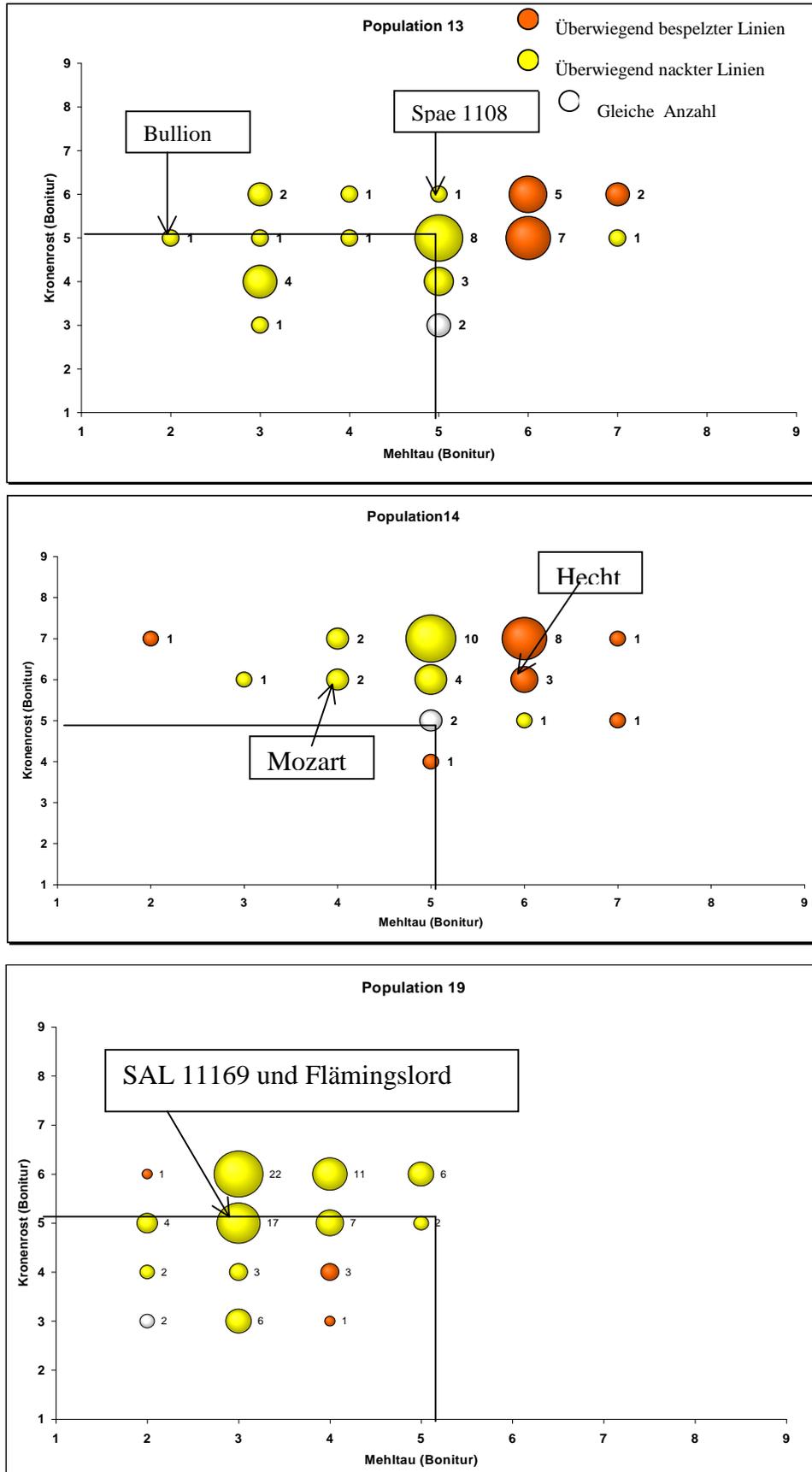


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung von Mehltau- und Kronenrostbefall der drei Populationen in der F₄-Generation

um die Resistenzeigenschaften der Linien innerhalb der Populationen besser zum Ausdruck zu bringen. Eine Beurteilung der Populationen hinsichtlich der Resistenz wird damit erleichtert.

Die Linien der Population 13 zeigten eine weite Streuung für beide Krankheiten mit einer Konzentration im Übergangsbereich zwischen Resistenz und Anfälligkeit. Über die Hälfte hatten jedoch eine Resistenz gegenüber Mehltau bzw. Kronenrost. In der Population 14 zeigte der überwiegende Teil der Linien für Mehltau eine Bonitur im Übergang zwischen Resistenz und Anfälligkeit. Die Zahl der Linien mit einer Anfälligkeit gegenüber Kronenrost ist beachtlich hoch. Nur drei Linien besitzen eine Resistenz für beide Krankheiten. Die besten Eigenschaften im Bezug auf die Resistenz sind in der Population 19 zu finden. Hier sind alle Linien mehltaresistent und über die Hälfte zeigen eine zusätzliche Kronenrostresistenz.

4.1.4 F₅-Generation

Die F₅-Prüfung bestand aus 80 Versuchsgliedern. Diese setzten sich aus 36 nackten und 32 bespelzten Linien der drei Populationen sowie den dazugehörigen Eltern und sechs Vergleichssorten vom Nackt- und Spelzhafer zusammen.

Die Prüfung stand in Halle im Zuchtgarten des Institutes und in Salzmünde in zwei Wiederholungen (siehe Tab. 8).

Für jedes Versuchsglied erfolgte eine Beurteilung des Rispentyps dreimal unabhängig voneinander, einmal 2001 in Hohenthurm an der F₄ und in den beiden Wiederholungen in Halle 2002 an der F₅ (Tab. 26). Bespelzte Linien hatten eine Bonitur für den Rispentyp von 1 oder 2, nackte Linien eine Bonitur von 4 oder 5. Innerhalb der Prüfung ließen sich Geschwisterpaare (bespelzte – nackte Linien) vergleichen, die auf die gleiche F₂-Pflanze zurückgehen.

Bei der varianzanalytischen Auswertung wird zuerst die Analyse der F₅-Prüfung über die Populationen hinweg für die Merkmale Ertrag und Tausendkorngewicht aus dem Druschgut der Parzellen vorgenommen. Danach erfolgt eine nach Populationen getrennte Darstellung der Ergebnisse.

Tabelle 26: F₅-Generation; Erfassung der Rispenbonitur, der Pflanzenlänge, des Rispenschiebens, der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Qualitätsmerkmale; TM = Trockenmasse

Linien	Feldnummer 2001	Rispen- typ (2001)	Rispen- typ (2002) Wdh. A	Rispen- typ (2002) Wdh. B	Pflanzenlänge (cm) Mittel der Wdh.	Rispen- schieben	Anfälligkeit zu			Neigung zu			Qualität		
							Mehltau-24.6. Mittel der Wdh. (Sal)	Mehltau-17.6. Mittel der Wdh. (Hal)	Mehltau-26.6. Mittel der Wdh. (Hal)	Lager 21.6. Mittel der Wdh. (Hal)	Lager 9.7. Mittel der Wdh. (Hal)	Lager 11.7. Mittel der Wdh. (Hal)	Keimfähigkeit (%)	Proteingehalt % (TM) 2003	Ölgehalt % (TM) 2003
1	Spae 1108	1	1	1	104,25	mittel	6,0	5,0	6,0	3,0	5,5	8,5	100,0	13,68	4,63
2	Bullion	5	5	5	103,50	mittel	2,5	3,0	3,0	3,0	1,0	6,5	93,0	19,79	7,02
3	313/9/3	5	4	4	100,50	früh	6,0	6,0	8,0	5,0	3,0	7,5	95,0	16,00	6,55
4	313/9/4	1	2	2	103,25	früh	7,5	6,0	8,5	5,5	5,0	7,5	100,0	12,46	4,59
5	313/41/6	5	5	5	111,00	früh	3,5	5,0	5,5	2,5	2,0	6,5	92,5	15,87	7,42
6	313/41/5	1	1	1	103,75	früh	5,5	5,0	6,0	7,0	7,5	8,5	98,5	13,58	4,76
7	313/48/9	5	5	4	106,25	früh	5,0	5,0	6,0	1,0	2,0	8,5	99,0	17,16	7,31
8	313/48/8	1	2	1	106,00	früh	5,5	4,0	5,5	3,0	2,0	7,0	98,0	13,51	3,74
9	313/55/8	5	5	5	112,00	früh	4,5	6,0	6,0	5,0	3,0	7,0	97,0	15,77	7,49
10	313/55/10	1	1	1	105,00	früh	6,0	5,0	5,5	3,5	2,5	6,0	95,5	14,47	4,06
11	313/11/5	5	5	5	110,50	mittel	3,5	5,0	6,0	1,5	1,0	8,0	97,5	15,07	8,85
12	313/11/3	5	5	5	109,75	früh	5,0	5,0	5,5	1,0	1,0	8,0	97,0	15,54	8,32
13	313/13/9	5	5	5	115,25	früh	3,0	4,0	6,5	1,0	1,0	7,0	97,0	16,05	8,40
14	313/36/8	5	5	5	116,25	früh	3,5	6,0	6,0	1,5	1,0	7,0	97,5	15,55	8,38
15	313/46/7	5	5	4	112,50	mittel	4,5	5,0	6,5	1,5	5,5	9,0	97,0	16,25	8,30
16	313/51/9	5	4	4	109,00	mittel	6,0	5,0	7,0	2,0	3,5	6,5	98,0	15,86	7,42
17	313/4/4	1	1	1	104,00	früh	6,0	4,0	6,0	7,5	7,5	9,0	96,5	13,69	4,90
18	313/7/5	1	1	1	109,50	mittel	6,5	5,0	6,5	5,0	6,5	9,0	97,0	13,85	5,79
19	313/8/2	1	2	1	108,75	früh	4,0	4,0	5,5	8,5	8,5	8,5	100,0	13,68	4,64
20	313/35/5	1	1	1	104,25	früh	5,5	5,0	5,5	8,5	8,5	9,0	100,0	13,42	5,52
21	313/35/10	1	1	1	109,00	früh	5,5	4,0	6,5	6,5	8,5	8,5	99,5	13,41	5,00
22	313/43/5	1	1	1	102,50	früh	5,5	4,0	4,5	6,5	8,5	9,0	97,5	14,07	5,73
23	Mozart	5	5	5	112,00	spät	5,5	5,5	6,5	4,0	8,0	8,5	93,0	17,66	8,00
24	Hecht	1	1	1	102,25	spät	6,5	5,0	6,5	7,0	7,5	9,0	100,0	13,56	4,79
25	314/4/3	5	5	4	105,50	spät	5,0	6,0	7,0	1,0	1,0	8,0	99,0	16,09	8,23
26	314/4/8	1	1	1	107,00	spät	6,5	7,0	7,5	1,0	1,0	5,5	100,0	12,69	5,41
27	314/44/6	5	4	5	107,50	spät	6,0	8,0	7,5	2,5	1,5	5,5	100,0	17,86	7,65
28	314/44/8	1	1	1	100,00	spät	7,0	6,0	7,0	9,0	9,0	9,0	100,0	13,19	5,09
29	314/47/4	5	5	4	103,75	spät	4,5	6,0	7,0	1,0	5,0	9,0	99,0	17,02	7,61
30	314/47/1	1	1	1	104,00	spät	6,0	6,0	6,5	8,5	8,5	8,5	98,5	13,59	5,80
31	314/6/3	5	5	5	107,75	spät	6,0	6,0	7,0	6,5	5,0	7,0	100,0	16,77	7,57
32	314/20/1	5	4	4	109,50	spät	5,0	7,5	7,5	2,0	3,5	6,5	96,0	16,72	8,51
33	314/33/10	5	5	4	104,50	spät	6,5	6,0	7,5	2,0	1,5	6,5	94,0	16,83	7,57
34	314/40/5	5	4	5	108,75	spät	5,0	5,5	6,0	4,0	3,0	7,0	94,0	17,31	8,39
35	314/40/7	5	5	5	110,75	spät	6,5	6,5	7,0	2,5	6,5	9,0	91,5	16,69	7,41
36	314/52/1	5	5	4	106,75	spät	6,5	4,5	6,0	4,5	4,0	9,0	98,0	17,31	7,95
37	314/54/5	5	5	4	104,25	spät	3,5	4,5	5,5	1,0	6,5	9,0	92,0	16,38	8,34
38	314/5/5	1	1	1	104,00	spät	7,0	5,0	6,5	9,0	8,5	9,0	98,0	14,15	4,88
39	314/7/3	1	1	1	101,75	mittel	6,0	6,0	7,0	9,0	9,0	9,0	96,0	13,71	6,31

Linien	Feldnummer 2001	Rispen			Pflanzenlänge (cm) Mittel der Wdh.	Rispenstadien	Anfälligkeit zu			Neigung zu			Qualität		
		Rispenzahl (2001)	Rispenzahl (2002) Wdh. A	Rispenzahl (2002) Wdh. B			Mehltau-24.6. Mittel der Wdh. (Sal)	Mehltau-17.6. Mittel der Wdh. (Hal)	Mehltau-26.6. Mittel der Wdh. (Hal)	Lager 21.6. Mittel der Wdh. (Hal)	Lager 9.7. Mittel der Wdh. (Hal)	Lager 11.7. Mittel der Wdh. (Hal)	Keimfähigkeit (%)	Proteingehalt % (TM) 2003	Ölgehalt % (TM) 2003
40	314/8/1	1	1	1	101,25	spät	6,5	7,0	7,5	9,0	8,5	8,5	97,5	13,29	5,18
41	314/13/2	1	1	1	105,00	spät	5,0	5,5	5,5	7,0	8,0	8,5	94,5	14,15	5,62
42	314/19/2	1	1	1	108,50	spät	6,0	5,0	6,5	9,0	8,5	9,0	92,0	14,08	5,07
43	314/43/1	1	1	1	104,00	spät	7,0	6,5	6,0	6,0	6,5	8,5	94,0	12,84	5,01
44	314/43/6	1	1	1	102,50	spät	7,0	5,0	7,0	6,5	8,0	9,0	98,5	14,03	4,80
45	SAL 11169	5	5	5	115,75	spät	2,5	4,0	4,5	1,0	1,5	7,0	97,0	17,48	6,57
46	Flämingslord	1	1	1	106,00	mittel	3,0	4,0	6,0	4,5	2,0	8,5	95,0	14,13	4,64
47	319/1/4	5	5	4	111,00	spät	3,0	4,0	5,0	1,0	1,0	7,5	97,0	17,04	6,57
48	319/1/1	1	1	1	111,25	mittel	4,0	3,0	4,5	4,0	1,5	8,5	95,5	13,82	4,79
49	319/12/5	5	4	4	109,50	spät	3,0	4,0	6,0	1,0	1,5	8,5	99,0	17,07	7,34
50	319/12/3	1	1	2	110,50	mittel	3,5	5,0	6,0	4,0	4,0	9,0	94,5	14,03	5,35
51	319/16/4	5	5	5	104,75	spät	3,5	6,0	6,0	1,0	3,0	9,0	98,5	17,17	7,00
52	319/16/6	1	1	1	106,75	mittel	5,0	5,0	7,0	4,0	3,5	8,0	95,5	14,45	5,23
53	319/22/8	5	5	5	111,25	spät	4,0	6,0	7,0	1,0	1,0	3,0	99,0	17,70	6,77
54	319/22/1	1	1	1	108,75	spät	5,5	7,0	7,5	1,5	1,0	6,5	93,5	14,00	5,04
55	319/23/1	5	5	4	108,50	spät	3,5	5,0	6,0	1,0	1,0	5,5	93,5	17,40	7,52
56	319/23/3	1	1	1	102,00	spät	3,0	5,0	6,0	3,5	2,5	7,5	96,0	14,20	5,26
57	319/31/2	5	4	5	104,00	spät	3,5	6,0	7,5	1,0	1,5	8,0	97,5	16,08	6,67
58	319/31/6	1	1	1	110,00	spät	5,0	5,0	7,0	2,5	1,5	7,5	96,0	13,42	4,68
59	319/34/1	5	3	3	104,50	spät	5,0	5,0	7,0	1,0	2,0	6,0	96,0	16,08	6,43
60	319/34/6	1	1	1	105,00	mittel	4,5	5,0	6,5	6,0	5,0	8,5	94,0	13,35	5,12
61	319/38/5	5	4	3	107,25	mittel	3,0	4,0	5,0	1,5	8,0	9,0	98,5	16,06	8,13
62	319/38/9	1	1	1	108,25	mittel	3,5	4,0	5,0	5,5	6,5	9,0	98,5	13,63	5,05
63	319/50/5	5	5	5	107,75	spät	3,5	5,0	6,5	1,0	3,0	8,5	93,5	16,36	7,01
64	319/50/3	1	1	1	106,50	mittel	5,0	5,0	6,5	3,0	2,5	8,5	99,0	13,48	4,88
65	319/58/8	5	4	4	103,25	spät	3,5	6,0	7,5	1,0	1,0	9,0	96,5	16,95	8,22
66	319/58/4	1	1	1	104,25	mittel	4,0	6,0	7,5	3,5	2,0	9,0	98,5	13,70	5,22
67	319/64/1	5	5	4	109,75	spät	4,0	6,0	6,5	1,0	1,0	5,5	95,5	17,10	6,89
68	319/64/3	1	1	1	107,50	mittel	5,5	5,0	7,0	3,5	3,0	8,0	96,5	13,76	5,05
69	319/66/2	5	5	5	107,00	spät	2,5	5,0	6,5	1,0	2,0	9,0	97,5	16,91	7,17
70	319/66/3	1	1	1	107,50	mittel	3,0	4,0	5,5	2,5	2,0	9,0	98,0	13,94	5,21
71	319/11/2	5	5	4	117,00	spät	5,0	8,0	8,0	1,0	1,0	6,5	98,0	16,09	7,30
72	319/36/3	5	5	4	112,25	spät	3,5	5,0	5,5	1,0	1,0	6,0	95,5	18,34	6,72
73	319/68/8	5	4	4	113,00	spät	3,5	5,0	7,0	1,0	1,5	8,0	90,0	15,55	6,59
74	319/69/1	5	5	5	109,00	spät	4,5	6,0	7,0	1,0	3,0	7,0	96,5	17,23	6,73
75	Aragon	1	1	1	97,50	spät	7,5	6,0	7,5	4,5	5,5	8,5	100,0	13,45	5,11
76	Jumbo	1	1	1	98,00	spät	6,0	6,0	7,5	3,0	3,5	8,0	99,0	13,37	5,77
77	Revisor	1	1	1	108,25	mittel	6,0	7,0	8,0	3,0	5,5	9,0	99,5	13,16	5,10
78	Salomon	5	5	5	120,75	spät	4,5	7,0	7,5	3,0	3,0	8,0	97,0	17,16	8,67
79	Samuel	5	5	5	109,75	spät	4,0	4,5	5,5	1,5	1,5	7,0	96,5	16,47	8,06
80	Sandokan	5	5	5	108,25	spät	4,0	6,5	7,0	1,5	2,0	6,0	98,5	15,83	7,29

Wie aus Tab. 27 hervorgeht, unterscheiden sich Spelz- und Nackthafer signifikant für den Ertrag und das TKG. Auch innerhalb der bespelzten Linien und innerhalb der nackten Linien sind die Ertragsunterschiede und die Differenzen im TKG signifikant. Der Ortseinfluss auf den Unterschied zwischen bespelzten und nackten Linien ist nur beim Ertrag statistisch gesichert, nicht aber beim TKG.

Tabelle 27: Varianzanalyse der F_5 -Prüfung (n = 80) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F		MQ	F	
bespelzt-nackt	1	23869,51	143,30	s	3579,66	1496,17	s
Linien innerhalb bespelzt	37	45,28	2,28	s	28,60	9,50	s
Linien innerhalb nackt	41	32,72	1,97	s	11,922	4,99	s
Orte	1	722,19	43,40	s	2,67	1,12	ns
(bespelzt-nackt) x Orte	1	747,20	44,90	s	3,47	1,45	ns
(Linien innerhalb bespelzt) x Orte	37	33,78	1,70	s	4,99	1,66	s
(Linien innerhalb nackt) x Orte	41	14,23	0,86	ns	2,15	0,89	ns
Blöcke innerhalb Orte	2	203,13	12,21	s	19,33	8,08	s
Rest	158	16,64			2,39		
Gesamt	319						

Es erfolgte eine detaillierte Auswertung der Linien getrennt nach Populationen. In der Population 13 (Tab. 28) besteht ein Unterschied zwischen den bespelzten und nackten Linien im Ertrag und im TKG. Auch innerhalb der bespelzten und nackten Linien konnten für das TKG Unterschiede nachgewiesen werden. Innerhalb der nackten Linien konnte auch ein signifikanter Unterschied im Ertrag ermittelt werden.

Tabelle 28: Varianzanalyse der Population 13 in der F_5 -Prüfung (n = 20) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F		MQ	F	
bespelzt-nackt	1	5983,72	340,13	s	1280,40	452,06	s
Linien innerhalb bespelzt	9	31,36	1,78	ns	10,13	3,58	s
Linien innerhalb nackt	9	11,60	0,66	s	11,60	4,09	s
Orte	1	250,63	14,25	s	6,93	2,45	ns
(bespelzt-nackt) x Orte	1	483,73	27,50	s	13,16	4,65	s
(Linien innerhalb bespelzt) x Orte	9	25,31	1,44	ns	4,68	1,65	ns
(Linien innerhalb nackt) x Orte	9	27,15	1,54	ns	27,15	9,59	s
Blöcke innerhalb Orte	2	432,30	24,57	s	53,91	19,03	s
Rest	38	17,59			2,83		
Gesamt	79						

Die Interaktion bespelzt-nackt x Ort erwies sich als signifikant. Die Wechselwirkung zwischen bespelzten Linien und Orten war im Ertrag und im TKG nicht signifikant. Die Interaktion zwischen nackten Linien und Orten wies lediglich im TKG Signifikanz auf. Die Populationen 14 und 19 (Tab. 29 und 30) zeigten ähnliche Ergebnisse. Bei beiden Populationen unterschieden sich die Linien innerhalb bespelzt und auch innerhalb nackt für beide Merkmale signifikant voneinander. Die Interaktion zwischen bespelzt-nackt und Orten ist signifikant.

Tabelle 29: Varianzanalyse der Population 14 in der F₅-Prüfung (n = 20) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F		MQ	F	
bespelzt-nackt	1	5318,37	440,10	s	1581,09	1265,32	s
Linien innerhalb bespelzt	9	31,21	2,58	s	31,34	25,07	s
Linien innerhalb nackt	9	54,53	4,51	s	12,06	9,65	s
Orte	1	9,67	0,80	ns	1,31	1,05	ns
(bespelzt-nackt) x Orte	1	566,26	46,86	s	92,99	74,42	s
(Linien innerhalb bespelzt) x Orte	9	20,96	1,76	s	1,44	1,15	ns
(Linien innerhalb nackt) x Orte	9	4,31	0,36	ns	1,83	1,46	ns
Blöcke innerhalb Orte	2	18,39	1,52	ns	1,76	1,41	ns
Rest	38	12,08			1,25		
Gesamt	79						

Zwischen den Orten bestanden für Population 19 signifikante Unterschiede für den Ertrag und das TKG (Tab. 30). Die Linien innerhalb des Rispentyps (bespelzt bzw. nackt) unterschieden sich wie auch bei Population 14 signifikant in beiden Merkmalen.

Tabelle 30: Varianzanalyse der Population 19 in der F₅-Prüfung (n = 28) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F		MQ	F	
bespelzt-nackt	1	8835,10	1239,15	s	585,46	350,08	s
Linien innerhalb bespelzt	11	31,64	4,44	s	3,84	2,30	s
Linien innerhalb nackt	15	21,54	3,02	s	10,68	6,40	s
Orte	1	376,70	52,83	s	4,80	2,87	s
(bespelzt-nackt) x Orte	1	83,38	11,70	s	7,88	4,72	s
(Linien innerhalb bespelzt) x Orte	11	28,96	4,06	s	2,60	1,56	ns
(Linien innerhalb nackt) x Orte	15	8,07	1,13	ns	1,50	0,90	ns
Blöcke innerhalb Orte	2	20,35	2,85	ns	2,82	1,69	ns
Rest	54	7,13			1,67		
Gesamt	111						

Tab. 31 zeigt die Mittelwerte von Ertrag und TKG der bespelzten und nackten Linien der Populationen 13, 14 und 19. In der Varianzanalyse wurde für alle drei Populationen eine signifikante Interaktion der bespelzten sowie der nackten Linien mit den Orten festgestellt. Bei Population 19 lag der mittlere Ertrag für bespelzte und nackte Linien in Halle über dem in Salzmünde. In den Populationen 13 und 14 drehte sich dieses Verhältnis bei den bespelzten Linien um. Das TKG zeigte bei allen drei Populationen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den beiden Orten.

Tabelle 31: Mittelwerte in der F₅-Generation bei den Rispentypen bespelzt und nackt für die Merkmale Ertrag und TKG in Halle und Salzmünde

Population 13

Ort	Ertrag (dt/ha)		TKG (g)	
	bespelzt	nackt	bespelzt	nackt
Halle	54,37	41,99	30,46	21,87
Salzmünde	55,74	33,53	29,06	21,65

Population 14

Ort	Ertrag (dt/ha)		TKG (g)	
	bespelzt	nackt	bespelzt	nackt
Halle	49,49	38,50	29,39	20,75
Salzmünde	54,11	32,49	31,80	22,65

Population 19

Ort	Ertrag (dt/ha)		TKG (g)	
	bespelzt	nackt	bespelzt	nackt
Halle	57,44	41,23	26,59	21,44
Salzmünde	55,76	36,07	25,57	21,48

Der Vergleich zwischen den Geschwisterlinien innerhalb der drei Populationen wird in den Tab. 32 bis 34 dargestellt. Innerhalb jeder der drei Populationen gab es Geschwisterlinien (Pärchen: eine Linie bespelzt und eine Linie nackt), die jeweils auf eine F₂-Einzelpflanze zurückgehen. Es galt herauszufinden, ob es einen Unterschied zwischen

den Geschwisterlinien gab. Die Population 13 hatte vier Pärchen, die Population 14 hatte drei Pärchen und die Population 19 umfasste zwölf Pärchen.

In den Populationen 13 und 14 (Tab. 32 und Tab. 33) gab es zwischen den Pärchen, den Ertrag betreffend, keine signifikanten Unterschiede. Bei dem Vergleich des Rispentyps zwischen nackten und bespelzten Linien konnte für den Ertrag immer ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Das gilt auch für die Population 19.

Tabelle 32: Varianzanalyse der Geschwisterlinien der Population 13 in der F₅-Prüfung (n = 4) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F		MQ	F	
Pärchen	3	58,34	3,12	ns	20,83	7,29	s
Rispentyp	1	2362,42	126,41	s	612,50	214,28	s
Pärchen x Rispentyp	3	22,45	1,20	ns	3,47	1,21	ns
Orte	1	169,14	9,05	s	4,88	1,71	ns
Pärchen x Orte	3	59,15	3,17	ns	0,99	0,35	ns
Rispentyp x Orte	1	39,01	2,09	ns	9,03	3,16	ns
(Pärchen x Rispentyp) x Orte	3	0,85	0,05	ns	4,05	1,42	ns
Blöcke innerhalb Orte	2	105,05	5,62	s	29,96	10,48	s
Rest	14	18,69			2,86		
Gesamt	31						

Tabelle 33: Varianzanalyse der Geschwisterlinien der Population 14 in der F₅-Prüfung (n = 3) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F		MQ	F	
Pärchen	2	11,46	0,63	ns	30,66	23,14	s
Rispentyp	1	2369,50	129,91	s	556,81	420,28	s
Pärchen x Rispentyp	2	17,80	0,98	ns	14,51	10,95	s
Orte	1	19,24	1,05	ns	41,08	31,01	s
Pärchen x Orte	2	4,83	0,26	ns	2,76	2,08	ns
Rispentyp x Orte	1	43,77	2,40	ns	0,14	0,10	ns
(Pärchen x Rispentyp) x Orte	2	1,11	0,06	ns	1,43	1,08	ns
Blöcke innerhalb Orte	2	8,05	0,44	ns	2,18	1,65	ns
Rest	10	18,24			1,33		
Gesamt	23						

Im Ertrag unterschieden sich bei Population 19 die Pärchen wesentlich voneinander (Tab. 34). Die Interaktion Pärchen x Rispentyp war für das Merkmal Ertrag nur bei der Population 19 signifikant. Für das Tausendkorngewicht konnten in allen drei Populationen Unterschiede zwischen den Pärchen statistisch gesichert werden.

Tabelle 34: Varianzanalyse der Geschwisterlinien der Population 19 in der F₅-Prüfung (n = 12) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g

Variationsursache	FG	Ertrag (dt/ha)			TKG (g)		
		MQ	F	s	MQ	F	s
Pärchen	11	29,40	4,94	s	6,01	3,27	s
Rispentyp	1	7775,60	1307,58	s	579,18	315,43	s
Pärchen x Rispentyp	11	21,74	3,66	s	6,80	3,72	s
Orte	1	268,30	45,11	s	7,59	4,14	s
Pärchen x Orte	11	27,13	4,56	s	2,95	1,61	ns
Rispentyp x Orte	1	66,80	11,23	s	5,18	2,82	ns
(Pärchen x Rispentyp) x Orte	11	9,90	1,67	ns	1,55	0,84	ns
Blöcke innerhalb Orte	2	39,80	6,70	s	1,17	0,64	ns
Rest	46	5,90			1,84		
Gesamt	95						

Die Abb. 9 zeigt die Ertragsdifferenz zwischen bespelzten und nackten Geschwisterlinien. Die Differenzen im Ertrag unterscheiden sich alle signifikant (siehe Tab. 32 – 34). Zur Selektion nackter Formen eignen sich Nachkommen, welche bei hohen Erträgen nur eine geringere Ertragsdifferenz aufweisen. Bei der Population 13 und 14 wurde kein entsprechendes Geschwisterpaar zur Selektion gefunden. In der Population 19 bieten sich mehrere Möglichkeiten. Die Geschwisterpaare 31912, 31922, 31923, 31934 und 31964 zeigen die geringste Differenz und sind unter den Nacktformen im Ertrag trotzdem relativ gut.

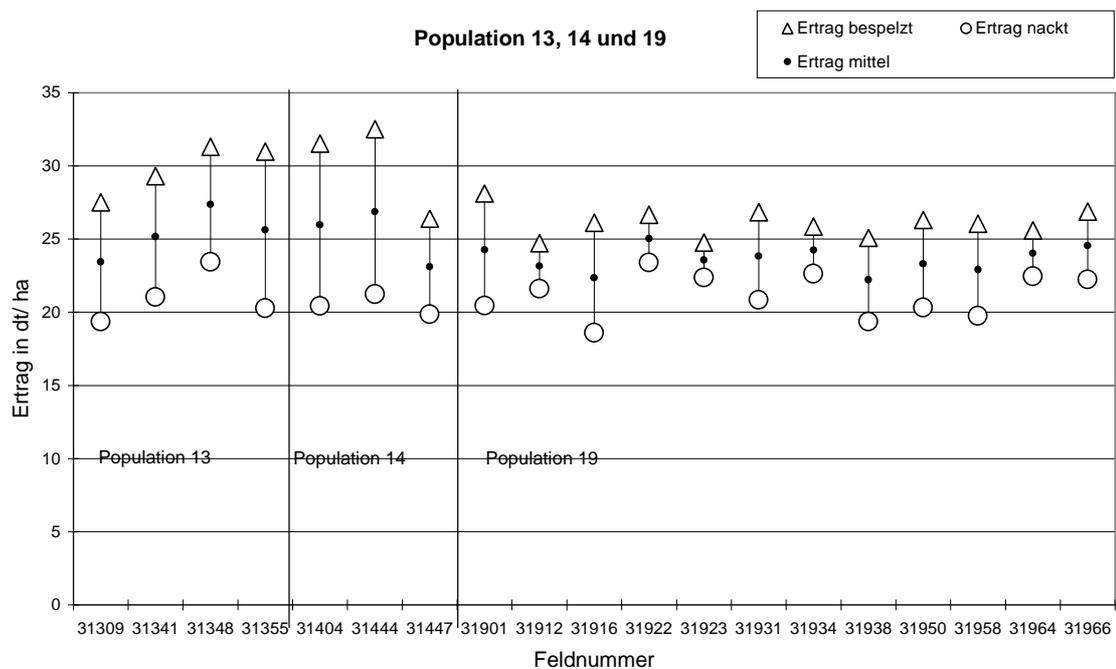


Abbildung 9: Differenz des Ertrages bespelzter und nackter Geschwisterlinien

Für das TKG sind die Ergebnisse in Abb. 10 dargestellt. Es unterscheiden sich alle Differenzen zwischen nackten und bespelzten Geschwisterlinien signifikant. Auch hier ist eine geringe Differenz der Pärchen ein Selektionskriterium. Danach zeigen die folgenden Geschwisterpaare für das TKG die geringste Differenz: Geschwisterpaar 31309 für Population 13 und die Paare 31912, 31934 und 31938 für Population 19. Wie die folgenden Tabellen 35 und 37 ausweisen, ist für 31309, 31934 und 31938 das TKG bei nackt keineswegs hoch.

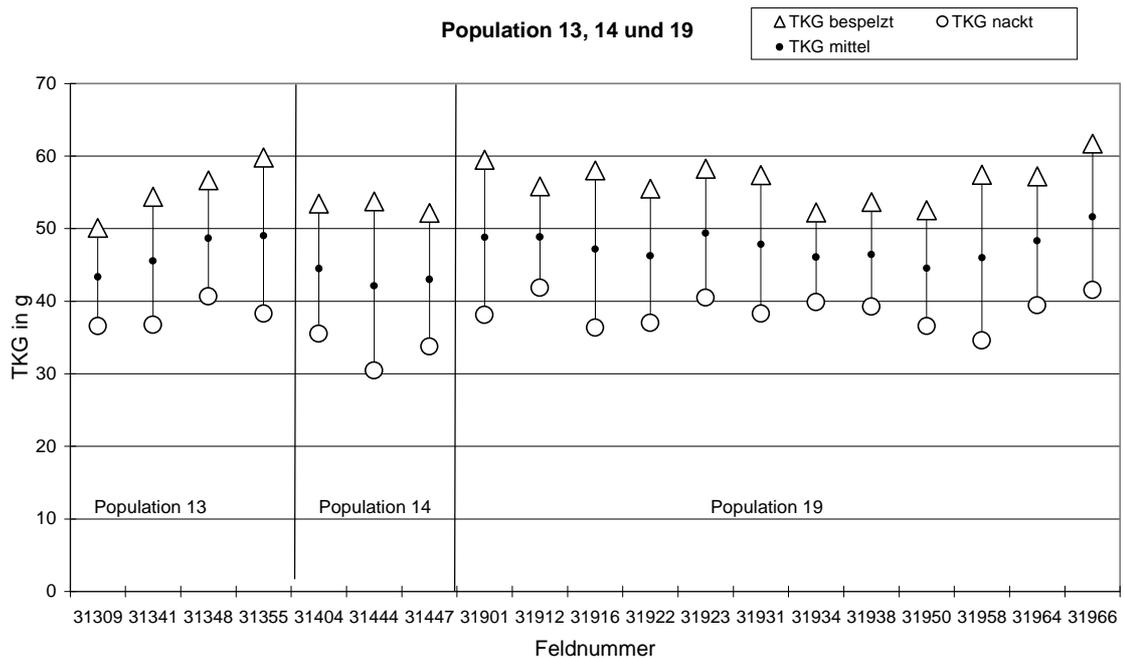


Abbildung 10: Differenz des TKGs bespelzter und nackter Geschwisterlinien

In den Tab. 35 bis 37 wird ein Mittelwertvergleich zwischen bespelzten und nackten Geschwisterpaaren, die aus einer F_2 -Nachkommenschaft hervorgingen, dargestellt. Die Signifikanz wird durch den Buchstabenunterschied kenntlich gemacht.

Der Vergleich zwischen bespelzten und nackten Geschwisterlinien in der Population 13 (Tab. 35) war für alle Merkmale (Ertrag und TKG) signifikant und in der erwarteten Richtung. Die Nummer 31355 zeigte in Population 13 die größten Differenzen für beide Merkmale zwischen bespelzten und nackten Nachkommen. Die Differenz für den Ertrag lag in der Population 13 zwischen 8 und 11 dt/ha und für das TKG zwischen 13 und 22 g.

Tabelle 35: Mittelwertvergleich (multipler t-Test) zwischen Geschwisterlinien in der F₅-Generation für die Merkmale Ertrag und TKG der Population 13

Pop. 13	Ertrag (dt/ha)					TKG (g)				
	bespelzt		nackt		Diff.	bespelzt		nackt		Diff.
31309	27,51	b	19,36	d	8,14	50,10	b	36,56	c	13,54
31341	29,30	ab	21,04	cd	8,26	54,38	ab	36,73	c	17,65
31348	31,31	a	23,43	c	7,89	56,65	ab	40,63	c	16,03
31355	30,99	a	20,28	d	10,71	59,79	a	38,27	c	21,52

Die größten Ertrags- und TKG-Differenzen in Population 14 besitzt die Nummer 31444 (Tab. 36). Die Differenz beim Ertrag lag zwischen 6 und 12 dt/ha. Bei dem TKG lag die Differenz zwischen 17 und 24 g.

Tabelle 36: Mittelwertvergleich (multipler t-Test) zwischen Geschwisterlinien in der F₅-Generation für die Merkmale Ertrag und TKG der Population 14

Pop. 14	Ertrag (dt/ha)					TKG (g)				
	bespelzt		nackt		Diff.	bespelzt		nackt		Diff.
31404	31,53	a	20,43	c	11,10	53,43	a	35,52	b	17,90
31444	32,51	a	21,24	c	11,28	53,76	a	30,46	b	23,31
31447	26,39	b	19,86	c	6,53	52,17	a	33,76	b	18,41

Wie aus Tab. 37 zu ersehen ist, bestehen auch bei Population 19 deutliche Unterschiede zwischen allen Linien in den Merkmalen TKG und Ertrag. Die Nummer 31958 von Population 19 zeigt für das TKG die größte Differenz, bei dem Ertrag ist es die Nummer 31901. Für den Ertrag zeigt das Pärchen 31922 mit 26,66 dt/ha (bespelzt) und 23,39 dt/ha (nackt) einen hohen Mittelwert und eine kleine Differenz. Die Geschwisterlinien mit hohem Mittelwert für die Nacktform und kleiner Differenz für das TKG wurden in der Population 19 beim Pärchen 31912 mit 55,82 g (bespelzt) und 41,83 g (nackt) gefunden.

Tabelle 37: Mittelwertvergleich (multipler t-Test) zwischen Geschwisterlinien in der F₅-Generation für die Merkmale Ertrag und TKG der Population 19

Pop. 19	Ertrag (dt/ha)					TKG (g)				
	bespelzt		nackt		Diff.	bespelzt		nackt		Diff.
31901	28,11	a	20,44	hijkl	7,68	59,49	ab	38,10	ghi	21,39
31912	24,73	de	21,61	fghij	3,11	55,82	cd	41,83	f	13,96
31916	26,11	bcd	18,60	l	7,51	58,02	bc	36,32	ij	21,69
31922	26,66	abc	23,39	ef	3,27	55,51	cde	36,99	hij	18,51
31923	24,76	cde	22,36	fgh	2,40	58,25	abc	40,49	fg	17,76
31931	26,83	ab	20,84	ghijk	5,99	57,38	bc	38,27	ghi	19,11
31934	25,86	bcd	22,64	fg	3,23	52,24	e	39,85	fgh	12,39
31938	25,08	bcde	19,35	kl	5,73	53,65	de	39,23	fghi	14,42
31950	26,30	abcd	20,33	ijkl	5,98	52,53	de	36,57	hij	15,96
31958	26,06	bcd	19,76	jkl	6,30	57,42	bc	34,58	j	22,84
31964	25,59	bcd	22,46	fg	3,13	57,20	bc	39,44	fghi	17,76
31966	26,88	ab	22,24	fghi	4,64	61,71	a	41,53	fg	20,19

Ähnlich wie für die F₄-Generation wurden auch für die F₅-Generation Korrelationen berechnet (Tab. 38).

Tabelle 38: Korrelation zwischen Kornzahl (KZ), Korngewicht (KG) und Tausendkorngewicht (TKG) von bespelzten und nackten Hafernachkommenschaften in der F₅-Generation an zwei Orten (Halle = Hal, Salzmünde = Sal)

bespelzt	n	KZ Hal	KG Hal	TKG Hal	KZ Hal	KZ Hal	KG Hal	KZ Sal	KZ Sal	KG Sal
		KZ Sal	KG Sal	TKG Sal	KG Hal	TKG Hal	TKG Hal	KG Sal	TKG Sal	TKG Sal
13	10	0,525	-0,243	-0,246	0,783**	-0,233	0,419	0,798*	0,027	0,619*
14	10	-0,568	-0,522	0,210	0,896**	0,273	0,671*	0,892**	0,197	0,617*
19	12	0,375	0,151	-0,173	0,840**	0,296	0,764**	0,965**	0,747**	0,887**

nackt	n	KZ Hal	KG Hal	TKG Hal	KZ Hal	KZ Hal	KG Hal	KZ Sal	KZ Sal	KG Sal
		KZ Sal	KG Sal	TKG Sal	KG Hal	TKG Hal	TKG Hal	KG Sal	TKG Sal	TKG Sal
13	10	-0,386	0,232	0,211	0,656*	-0,389	0,439	0,370	0,558*	0,560*
14	10	0,739*	0,621	0,053	0,285	-0,794**	0,343	0,737**	-0,179	0,530
19	16	0,246	0,383	-0,220	0,893**	-0,238	0,208	0,766**	0,092	0,706**

*,** signifikant bei $p = 0,05$ bzw. $p = 0,01$

Zwischen Kornzahl (KZ) und Korngewicht (KG) besteht in Halle und Salzmünde die engste Korrelation, die auch bis auf zwei Ausnahmen statistisch gesichert werden konnte. Zwischen Korngewicht und TKG ist die Korrelation an beiden Orten positiv.

Während der Vegetation der F₅-Generation (Tab. 26) wurde der Mehltaubefall als Mittel aus zwei Wiederholungen erfasst. Dies erfolgte in Halle zweimal und zwar am 17.6.2002 und 26.6.2002, in Salzmünde nur einmal am 24.6.2002. Der Krankheitsbefall variierte in den 80 Versuchsgliedern von den Boniturstufen 3 bis 8. Pflanzen, deren Boniturnoten kleiner bzw. gleich 5 waren, wurden als resistent betrachtet. Boniturnoten über 5 stellten anfällige Genotypen dar.

Es traten beim ersten Termin in Halle 40 resistente Linien (Boniturnote ≤ 5) auf. Unter den Verrechnungssorten erwies sich die Sorte Samuel als resistent. Im Allgemeinen zeigte sich an dem späteren Termin in Halle ein stärkerer Befall. Es konnten nur noch bei 5 Linien Resistenz gefunden werden.

In Abb. 11 wird die Entwicklung des Mehltaubefalls in der Populationen 13, 14 und 19 sowie deren Eltern an zwei Terminen verdeutlicht.

Die Daten des ersten Boniturtermins zeigen deutlich, dass die Populationen 13 und 19 gegenüber Population 14 eine erhöhte Resistenz, Boniturnote 1 bis 5, gegenüber Mehltau aufweisen. Die Eltern der Populationen 13 und 19 zeigten jeweils beide Resistenz. Bei Population 14 hingegen wies der Elter Mozart eine geringe Anfälligkeit (Boniturnote 5,5) auf.

In der zweiten Bonitur wiesen lediglich die Populationen 13 und 19 noch Nachkommenschaften mit Resistenzeigenschaften auf. Bei beiden war jedoch ein Elter anfällig. Die Linien der Population 14 wiesen vollständige Anfälligkeit auf, wobei auch der zum ersten Termin als resistent eingestufte Elter nun als anfällig eingestuft wurde.

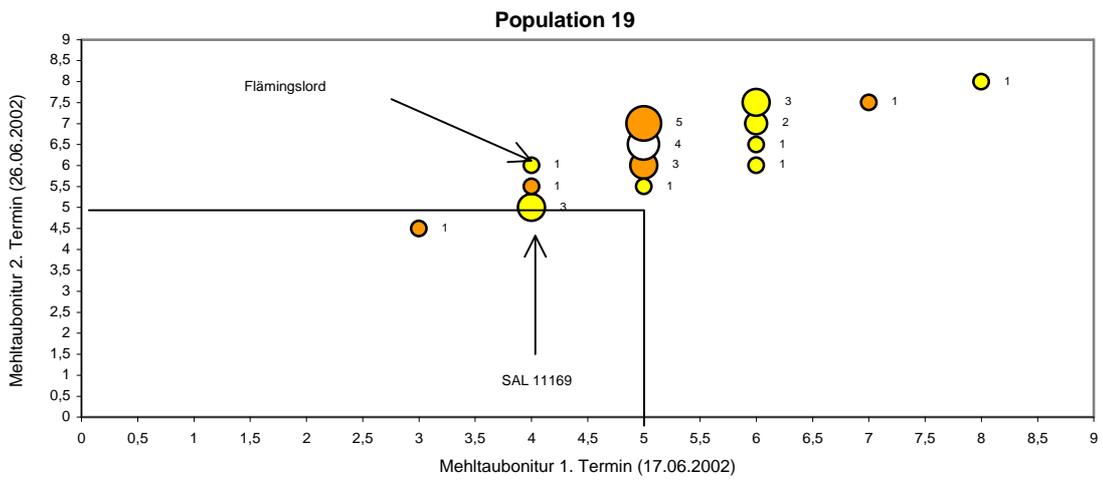
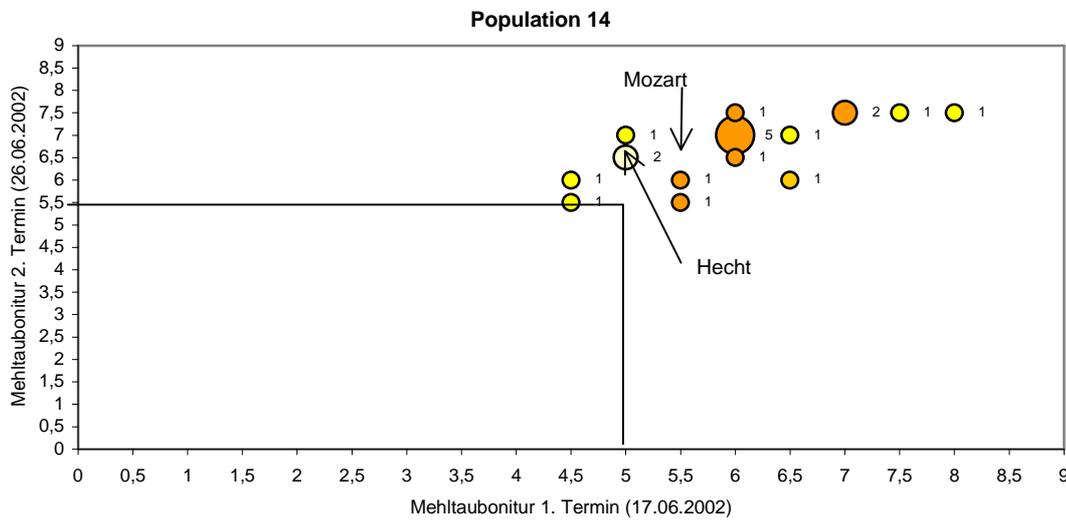
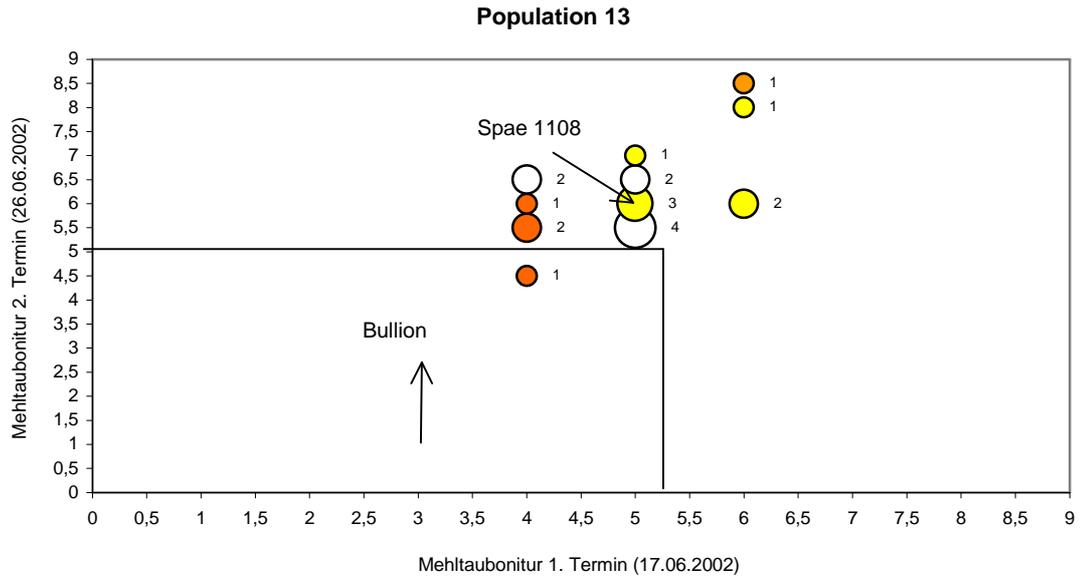


Abbildung 11: Mehлтаубонитур zweier Termine in der F₅-Generation in Halle

Ein weiteres wesentliches Merkmal zur Beurteilung der Linien ist die Standfestigkeit. Abb. 12 stellt drei Termine der Lagerbonitur in der F₅-Generation dar. Beim ersten Termin (21.6.) wurden die meisten Parzellen als standfest bonitiert. Beim zweiten Termin (9.7.) war eine gute Differenzierung der Linien erkennbar. Die dritte Bonitur wurde nach einem Sturm erfasst. Aus der Darstellung ist zuerkennen, dass der größte Teil der Linien sehr stark lagerte, wodurch die Erntearbeiten erschwert wurden.

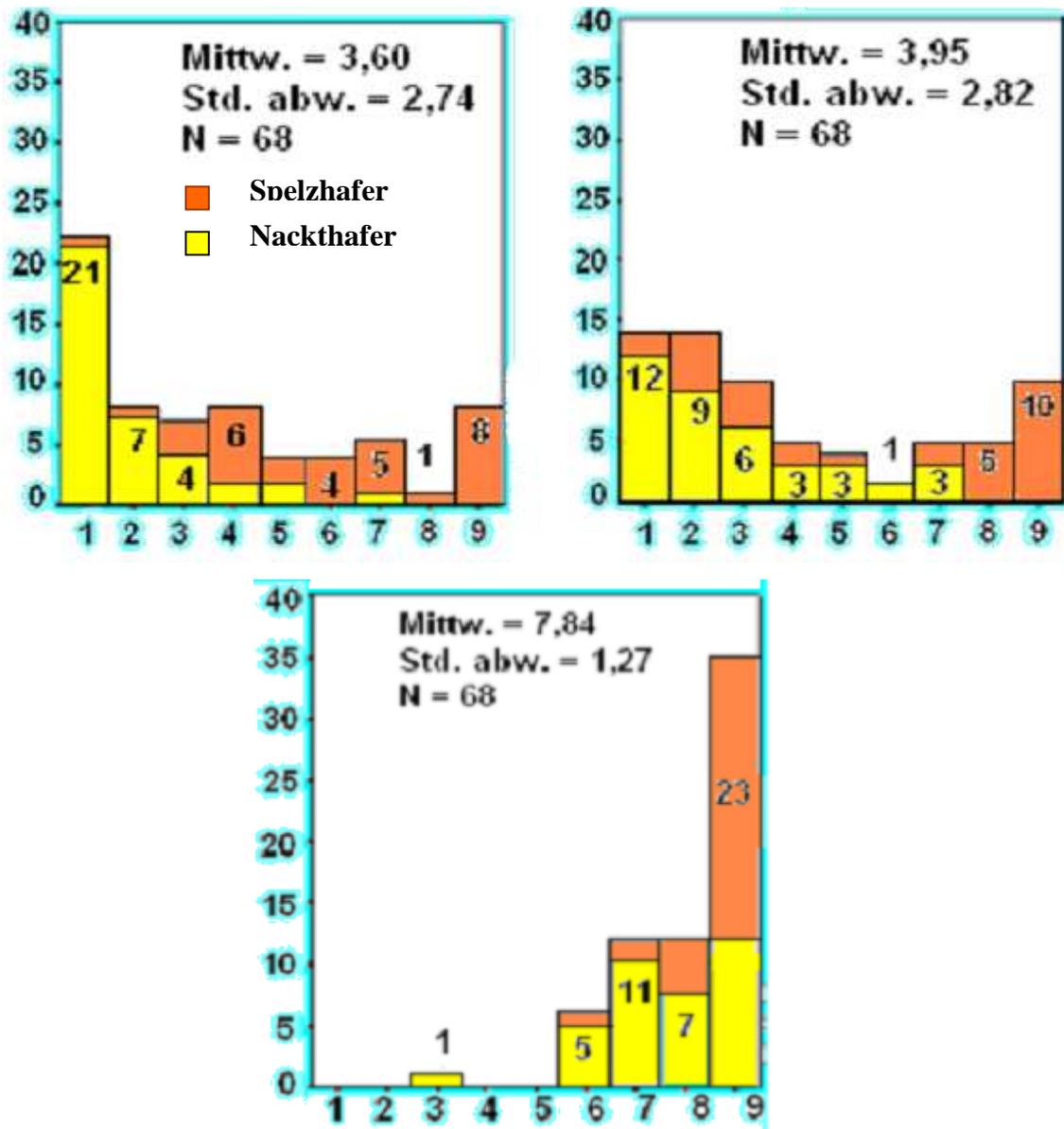


Abbildung 12: Vergleich der Lagerbonituren zu drei Terminen in der F₅-Generation

In Abb. 13 erfolgte eine prozentuale Einteilung der F₅-Nachkommenschaften der jeweiligen Population sowie deren Eltern nach dem Zeitpunkt des Rispschiebens.

Die Auftrennung in früh, mittel und spät erfolgte aufgrund einer Häufigkeitsverteilung der Genotypen innerhalb des Zeitraumes vom 3.6.2002 bis zum 12.6.2002. Da 56 % der Nachkommen am 7.6. und 8.6. die Rispen schoben, wurde dieser Zeitraum als „mittel“ eingeteilt. Demzufolge wurden alle Termine vom 3.6. bis zum 6.6. als „früh“ und alle Termine vom 9.6. bis zum 12.6. als „spät“ eingestuft.

In Population 13 ist die Mehrzahl der Nachkommenschaften aus einem frühen und einem mittleren Elter als mittel eingestuft worden. Bei den Nachkommenschaften der Population 14 schoben bei einem mittleren und spätem Elter 80 % ihre Rispen spät. In Population 19 hingegen fand bei zwei mittleren Eltern eine Spaltung der Linien in 75 % mittlere und 25 % späte statt.

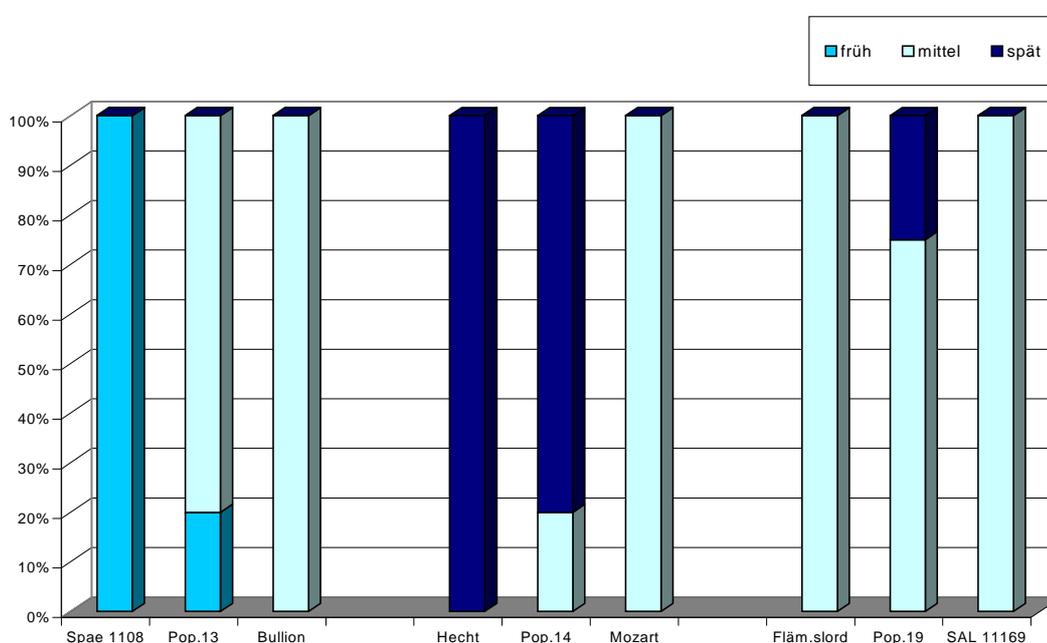


Abbildung 13: Zeitpunkt des Rispschiebens der Populationen im Verhältnis zu den Eltern (in %)

4.2 Versuche zur Keimfähigkeit und Qualität

4.2.1 Keimfähigkeit

Keimfähigkeit der Sorten und Stämme

Keimproben wurden bei Sorten und Stämmen für die Ernten 2000, 2001 und 2002 durchgeführt (Tab. 39). Nackthafer wies in 2001 eine große Spannweite auf (Lexicon: 52 % und SAL 947: 97 %). Bei bespelztem Hafer lag die minimale Keimfähigkeit im Mittel der Jahre bei 79 % (Sorte Wibke). Der maximale Wert (97 %) konnte Flämings-

lord zugeordnet werden. Im Mittel wurde eine Keimfähigkeit von 86 % bei Nackthafer und von 90 % bei Spelzhafer erzielt.

Tabelle 39: Ergebnisse der Keimfähigkeitsproben von Sorten und Stämmen; Keimf. = Keimfähigkeit

Sorte/Stamm	Genotyp	2000 Keimf. (%)	2001 Keimf. (%)	2002 Keimf. (%)	Mittelwert
Revisor	Spelzhafer	87,75	91,75	91,25	90,25
Lutz	Spelzhafer	86,25	91,00	79,56	85,60
Hecht	Spelzhafer	86,25	95,50	90,42	90,72
Jumbo	Spelzhafer	90,00	96,25	91,52	92,59
Flämingslord	Spelzhafer	97,17	95,50	97,17	96,61
Flämingsstern	Spelzhafer	87,00	94,00	89,00	90,00
Bruno	Spelzhafer	88,75	95,50	90,17	91,47
Tikal	Spelzhafer	87,00	94,25	96,75	92,67
Wiesel	Spelzhafer	86,00	92,00	95,67	91,22
Nord 1100	Spelzhafer	84,00	89,25	89,42	87,56
Spae 1108	Spelzhafer	87,75	90,25	89,75	89,25
Peniarth	Spelzhafer	71,75	91,50	97,75	87,00
Wibke	Spelzhafer	81,50	73,75	81,50	78,92
Aragon	Spelzhafer	90,00	90,50	90,92	90,47
Freddy	Spelzhafer	91,75	92,50	94,83	93,03
Kanton	Spelzhafer	88,75	97,25	93,75	93,25
Bullion	Nackthafer	80,00	93,50	91,92	88,47
Rhiannon	Nackthafer	78,75	84,75	91,33	84,94
Ripon	Nackthafer	82,25	87,50	95,50	88,42
Samuel	Nackthafer	87,75	90,00	95,42	91,06
SAL 947	Nackthafer	86,00	97,25	95,50	92,92
SAL 1228	Nackthafer	82,50	95,00	94,33	90,61
SAL 15	Nackthafer	90,50	85,50	93,50	89,83
SAL 40	Nackthafer	85,75	91,25	85,58	87,53
Mozart	Nackthafer	92,75	73,25	90,83	85,61
SAL 11169	Nackthafer	87,25	96,50	89,00	90,92
Salomon	Nackthafer	89,25	88,00	89,98	89,08
Sandokan	Nackthafer	85,25	94,00	40,25	73,17
SAL 1322	Nackthafer	88,00	91,00	84,92	87,97
SAL 02	Nackthafer	84,00	91,00	93,06	89,35
SAL 25	Nackthafer	88,00	90,75	75,58	84,78
Lexicon	Nackthafer	79,00	51,75	90,50	73,75
Icon	Nackthafer	74,50	81,50	93,17	83,06

In Tab. 40 wird die Keimfähigkeit zwischen bespelzten und nackten Sorten beziehungsweise Stämmen mit dem t-Test verglichen. Aus der statistischen Verrechnung wurden bei den Proben der drei Versuchsjahre keine signifikanten Unterschiede zwischen Spelz- und Nackthafer nachgewiesen. In allen drei Jahren war aber die Keimfähigkeit der Spelzhafer höher.

Tabelle 40: Keimfähigkeit von Sorten und Stämmen bespelzter und nackter Formen der Erntejahre 2000 – 2002

Versuch	Ernte-jahr	bespelzt		nackt		t-Wert	p
		n	Mittw. \pm Std. abw.	n	Mittw. \pm Std. abw.		
Sortiment	2000	16	86,97 \pm 5,32	17	84,79 \pm 4,78	1,24	0,223
Sortiment	2001	16	91,92 \pm 5,41	17	87,21 \pm 10,88	1,56	0,129
Sortiment	2002	16	91,21 \pm 5,10	17	87,67 \pm 13,19	1,01	0,322

Keimfähigkeit der F₄-Generation.

Zur Ermittlung der Keimfähigkeit der Kreuzungsnachkommenschaften wurde das gleiche Verfahren wie bei der Keimfähigkeitsuntersuchung der Sorten und Stämme benutzt. Untersucht wurden im Jahr 2001 alle drei Populationen der F₄-Generation. Die durchschnittliche Keimfähigkeit für bespelzte und nackte Linien der Population 13 lag bei 90 % und die der Population 14 bei 92 %. Bei Population 19 lag die durchschnittliche Keimfähigkeit bei 92 % für bespelzte und bei 88 % für nackte Linien. Der t-Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen Spelz- und Nackthafer nur bei Population 19 (Tab. 41).

Tabelle 41: Keimfähigkeit der F₄-Generation bespelzter und nackter Linien der Ernte 2001

Population	Genotyp	n	Mittw.	Std. abw.	t-Wert	p
13	bespelzt	10	90,80	5,42	0,01	0,991
	nackt	9	90,77	2,97		
14	bespelzt	11	92,36	2,93	0,23	0,824
	nackt	10	92,80	5,62		
19	bespelzt	13	92,00	2,45	2,90	0,007
	nackt	22	87,59	5,13		

Keimfähigkeit der F₅-Generation

Die niedrigste Keimfähigkeit der F₅-Generation lag bei 91,5 % (Nackthafer) und die höchste Keimfähigkeit von 100 % hatten 5 Spelzhaferlinien und 2 Nackthaferlinien (Tab. 26). Bei Population 13 war die Keimfähigkeit der Nacktformen höher als die der Spelzformen. Bei den Populationen 14 und 19 lag die Keimfähigkeit beider Formen bei 96 %. Die Unterschiede zwischen den bespelzten und nackten Linien sind nach dem t-Test nicht signifikant (Tab. 42).

Tabelle 42: Keimfähigkeit der F₅-Generation bespelzter und nackter Linien der Ernte 2002

Population	Genotyp	n	Mittw.	St. abw.	t-Wert	p
13	bespelzt	10	96,75	1,62	1,96	0,066
	nackt	10	98,25	1,79		
14	bespelzt	10	96,35	2,69	0,41	0,687
	nackt	10	96,90	3,28		
19	bespelzt	16	96,38	1,85	0,10	0,922
	nackt	12	96,29	2,41		

4.2.2 Spelzengehalt und Anteil bespelzter Körner

Spelzengehalt der F₅-Generation bei Spelzhafer

In Tab. 43 sind die Ergebnisse für die bespelzten Linien der F₅-Generation der Populationen 13, 14 und 19 dargestellt. Es wurde von dem bespelzten Elter und den Nachkommenschaften jeder Population sowie von drei Vergleichssorten der Spelzengehalt bestimmt.

Im Mittel der Nachkommenschaften aller Populationen lag der Spelzengehalt mit 29 % über dem der Vergleichssorten Aragon, Jumbo und Revisor.

Bei Population 13 bewegen sich die Nachkommenschaften beim Spelzengehalt im Bereich des Elters. Die Linien 18 und 21 liegen hierbei unter dem des Elters und sind wie die Vergleichssorten Aragon und Revisor als Linien mit einem geringen Spelzengehalt zu beurteilen, liegen aber über Jumbo.

In Population 14 ist deutlich zu sehen, dass schon die Sorte Hecht als Elter mit 34,5 % einen hohen Spelzengehalt aufweist. Ähnlich reagieren auch die Nachkommenschaften, und es wird ein Gehalt bestimmt, der über den Gehalt der Vergleichssorten liegt. Jedoch liegen alle Werte unter den Gehalt des Elters. Die Linien 30 und 42 besitzen einen ca. 5 % niedrigeren Spelzengehalt als der Eltern Hecht.

Bei Population 19, die mit Flämingslord einen Elter mit geringem Spelzengehalt (27,5 %) aufweist, liegen die Nachkommenschaften im Spelzengehalt fast immer unter dieser Sorte. Die Linie 66 liegt hier sogar unter Jumbo, der als eine Sorte mit nur sehr niedrigen Spelzengehalt eingestuft wird.

Tabelle 43: Spelzengehalt der F₅-Generation bei Spelzhafer

	Linien 2002	Feld.nr 2001	Genotyp	Spelzengehalt (%)
Population 13	1	Spae 1108	Spelzhafer	29,90
	4	313/9/4	Spelzhafer	31,50
	6	313/41/5	Spelzhafer	31,30
	8	313/48/8	Spelzhafer	30,20
	10	313/55/10	Spelzhafer	29,60
	17	313/4/4	Spelzhafer	30,40
	18	313/7/5	Spelzhafer	28,20
	19	313/8/2	Spelzhafer	29,60
	20	313/35/5	Spelzhafer	29,80
	21	313/35/10	Spelzhafer	28,80
	22	313/43/5	Spelzhafer	29,20
Population 14	24	Hecht	Spelzhafer	34,50
	26	314/4/8	Spelzhafer	32,00
	28	314/44/8	Spelzhafer	33,00
	30	314/47/1	Spelzhafer	29,00
	38	314/5/5	Spelzhafer	31,30
	39	314/7/3	Spelzhafer	32,30
	40	314/8/1	Spelzhafer	34,00
	41	314/13/2	Spelzhafer	32,00
	42	314/19/2	Spelzhafer	29,00
	43	314/43/1	Spelzhafer	32,90
	44	314/43/6	Spelzhafer	32,90
Population 19	46	Flämingslord	Spelzhafer	27,50
	48	319/1/1	Spelzhafer	26,90
	50	319/12/3	Spelzhafer	27,40
	52	319/16/6	Spelzhafer	26,70
	54	319/22/1	Spelzhafer	27,00
	56	319/23/3	Spelzhafer	27,80
	58	319/31/6	Spelzhafer	25,80
	60	319/34/6	Spelzhafer	26,00
	62	319/38/9	Spelzhafer	25,90
	64	319/50/3	Spelzhafer	25,70
	66	319/58/4	Spelzhafer	25,30
68	319/64/3	Spelzhafer	27,20	
70	319/66/3	Spelzhafer	26,10	
	75	Aragon	Spelzhafer	28,30
	76	Jumbo	Spelzhafer	25,80
	77	Revisor	Spelzhafer	28,40

Abb.14 stellt die Verhältnisse graphisch dar. Es ist ersichtlich, dass Population 19 einen geringeren Spelzengehalt als die beiden anderen Populationen aufweist. Die Population 13 wiederum besitzt einen geringeren Spelzengehalt als die Mehrzahl der Nachkommen der Population 14. Aus dem Spelzengehalt der Eltern lässt sich ein erblicher Zusammenhang von bespelzten Elter und Nachkommen ableiten.

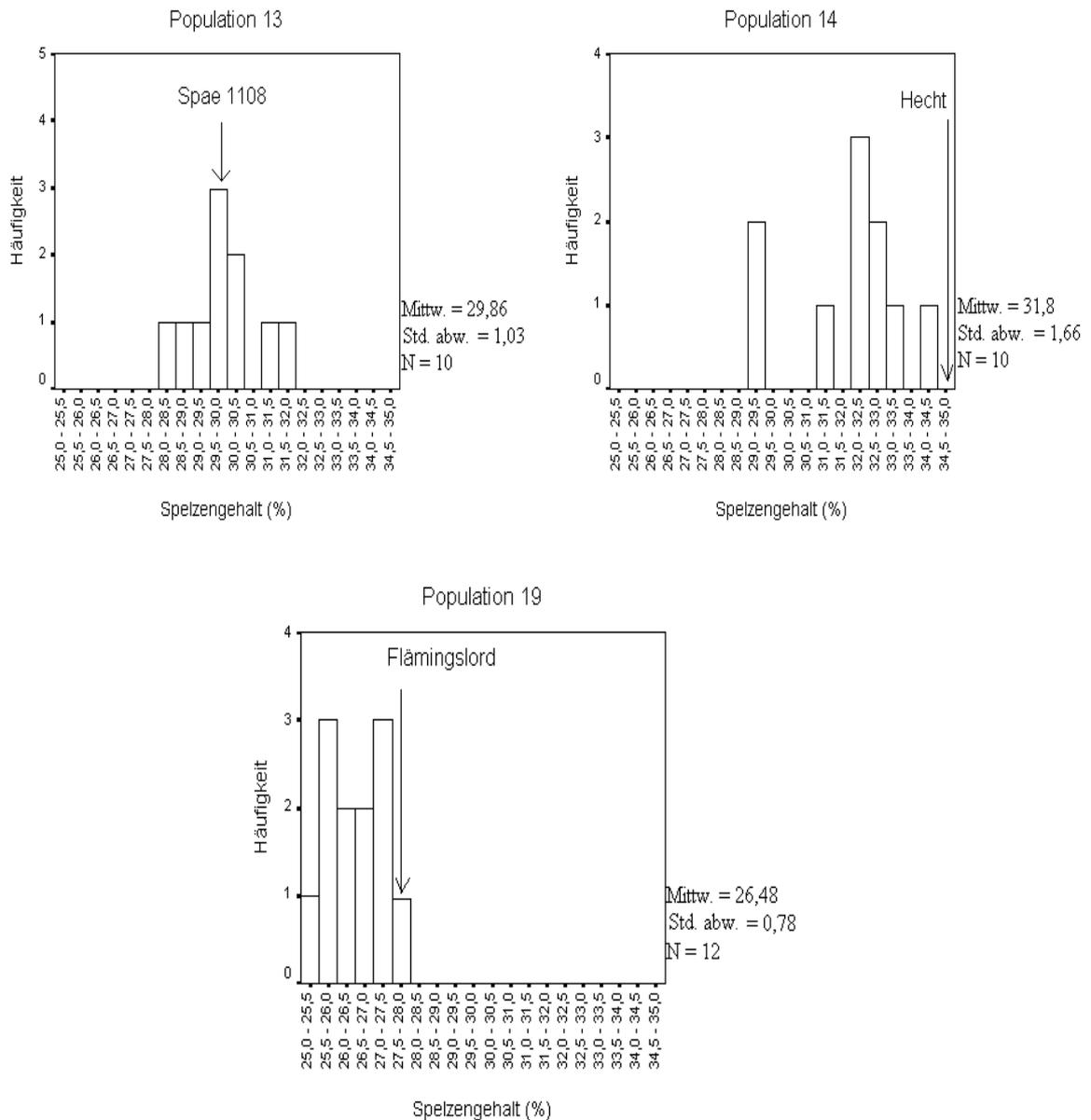


Abbildung 14: Verteilung des Spelzengehaltes (%) der bespelzten Linien in der F₅-Generation in den Populationen 13, 14 und 19

Anteil bespelzter Körner der F₅-Generation bei Nackthafer

Der Anteil bespelzter Körner bei Nackthafer in der F₅-Generation der Population 13, 14 und 19 ist aus Tab. 44 zu ersehen. Wie bei den Spelzformen wurden bei den Nacktformen dieser Populationen der Elter, die Nachkommenschaften und drei Vergleichssorten betrachtet. Es liegt eine breite Variation des Anteils bespelzter Körner in den Populationen vor.

In Population 13 weist der Elter Bullion nur einen Anteil von 3,2 % bespelzter Körner auf. Alle Nachkommenschaften liegen wesentlich höher, manche Linien überschreiten Bullion um das zehnfache bis nahezu zwanzigfache.

Tabelle 44: Anteil bespelzter Körnern der F₅-Generation bei Nackthafer

	Linien 2002	Feld nr. 2001	Genotyp	Anteil bespelzte Körner (%)
Population 13	2	Bullion	Nackthafer	3,16
	3	313/9/3	Nackthafer	31,06
	5	313/41/6	Nackthafer	41,50
	7	313/48/9	Nackthafer	24,38
	9	313/55/8	Nackthafer	14,52
	11	313/11/5	Nackthafer	19,35
	12	313/11/3	Nackthafer	19,82
	13	313/13/9	Nackthafer	11,63
	14	313/36/8	Nackthafer	32,64
	15	313/46/7	Nackthafer	21,20
	16	313/51/9	Nackthafer	53,48
Population 14	23	Mozart	Nackthafer	10,94
	25	314/4/3	Nackthafer	13,46
	27	314/44/6	Nackthafer	25,16
	29	314/47/4	Nackthafer	27,70
	31	314/6/3	Nackthafer	45,40
	32	314/20/1	Nackthafer	32,88
	33	314/33/10	Nackthafer	37,44
	34	314/40/5	Nackthafer	45,52
	35	314/40/7	Nackthafer	45,94
	36	314/52/1	Nackthafer	12,81
	37	314/54/5	Nackthafer	28,88
Population 19	45	SAL 11169	Nackthafer	2,43
	47	319/1/4	Nackthafer	2,36
	49	319/12/5	Nackthafer	16,08
	51	319/16/4	Nackthafer	7,74
	53	319/22/8	Nackthafer	6,07
	55	319/23/1	Nackthafer	11,45
	57	319/31/2	Nackthafer	5,76
	59	319/34/1	Nackthafer	15,97
	61	319/38/5	Nackthafer	27,74
	63	319/50/5	Nackthafer	5,42
	65	319/58/8	Nackthafer	8,28
	67	319/64/1	Nackthafer	14,49
	69	319/66/2	Nackthafer	5,42
71	319/11/2	Nackthafer	25,05	
72	319/36/3	Nackthafer	8,73	
73	319/68/8	Nackthafer	21,84	
	74	319/69/1	Nackthafer	11,24
	78	Salomon	Nackthafer	7,12
	79	Samuel	Nackthafer	4,42
	80	Sandokan	Nackthafer	14,38

Die Linien 9 und 13 weisen allerdings nur einen Prozentsatz von 14,5 % bzw. von 11,6 % auf. Diese liegen im Anteil bespelzter Körner im Bereich der Vergleichssorte Sandokan, die 2002 für Nackthafersorten mit 14,4 % einen sehr hohen Wert aufwies.

Mozart, als Elter der Population 14, hat einen hohen Anteil bespelzter Körner im Jahr 2002. Die Werte der Nachkommenschaften überschreiten den Elter zwar auch, aber die Unterschiede sind nicht so gravierend wie in Population 13. So liegen die Linien 25 und 36 im Anteil bespelzter Körner unter der Vergleichssorte Sandokan.

Die Linie 47 in der Population 19 hat einen sehr niedrigen Anteil bespelzter Körner, der noch unter dem Wert von SAL 11169 und unter allen drei Vergleichssorten lag. Des weiteren traten Linien auf, die geringere Werte als die Vergleichssorten Sandokan und Salomon zeigten.

In Abb. 15 ist zu sehen, dass die Hälfte der Nachkommen der Population 19 einen Anteil bespelzter Körner von unter zehn Prozent aufweist. Die Linien der Population 13 und 14 hingegen zeigen eine breite Verteilung.

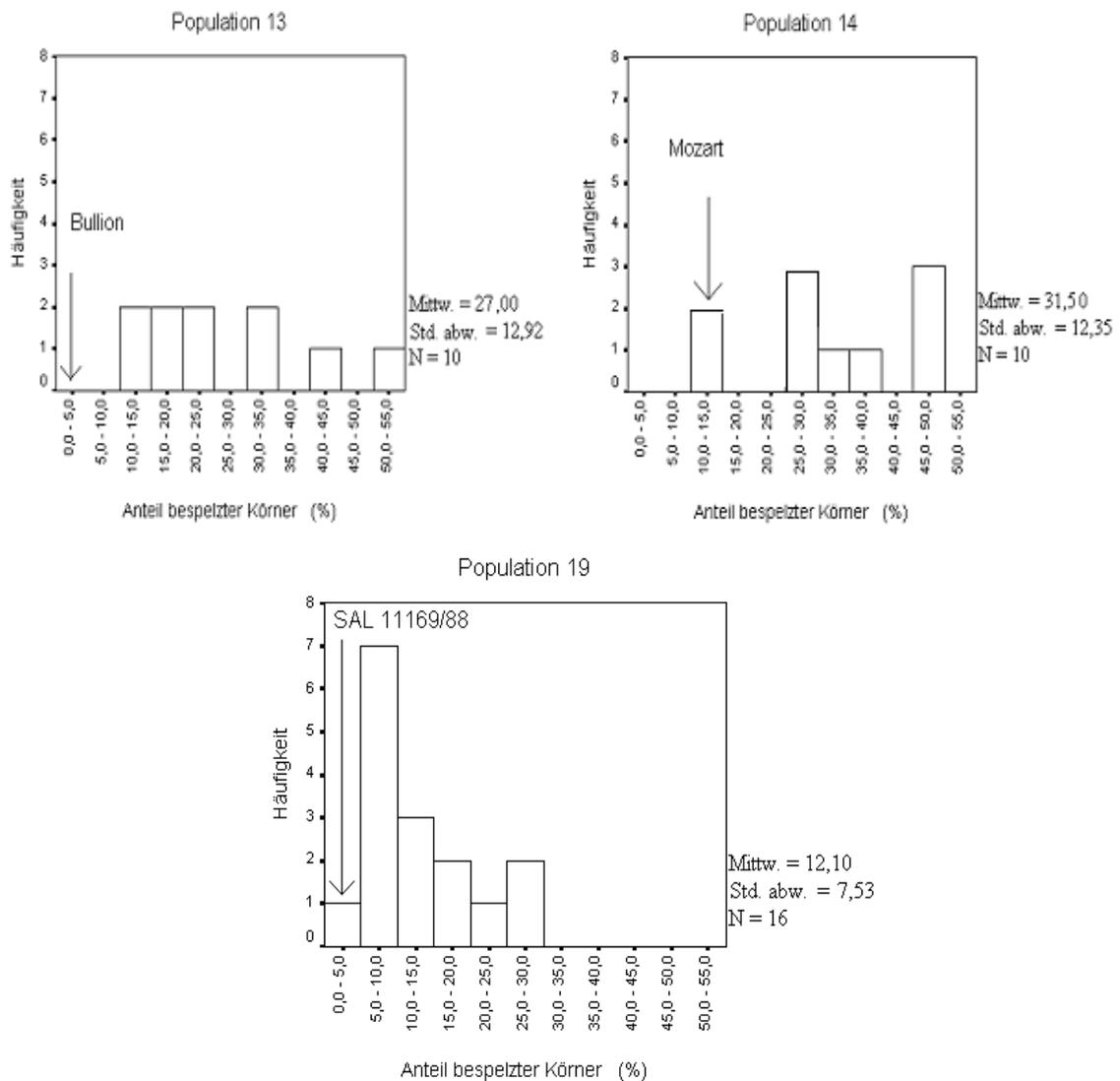


Abbildung 15: Anteil bespelzter Körner (in %) der nackten Linien in den Populationen 13, 14 und 19

4.2.3 Qualität

Rohprotein- und Ölgehalt

Untersucht wurde der Rohprotein- und Ölgehalt von Sorten, Stämmen, Gaterslebener Akzessionen und von F₄- und F₅-Nachkommenschaften der Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer. Die Analyse des Rohproteingehaltes der Sorten und Stämme erfolgte 2000, 2001 und 2002 (Tab. 45), die der Gaterslebener Akzessionen nur 2001 und 2002 (Tab. 46) mit dem NIT-Gerät INFRATEC 1255, während der Ölgehalt nur im Versuchsjahr 2002 bestimmt wurde.

Tabelle 45: Rohprotein- und Ölgehalt von Sorten und Stämmen (W.spelzhafer = Winterspelzhafer)

Sorte/Stamm	Herkunft	Genotyp	RP % 2000	RP % 2001	RP % 2002	Öl % 2002
Tomba	Deutschland	Spelzhafer	14,50	13,11	13,77	
Iltis	Deutschland	Spelzhafer	15,09	13,90	13,87	
Revisor	Deutschland	Spelzhafer	13,80	12,95	12,81	4,97
Adler	Deutschland	Spelzhafer	13,86	12,68	13,80	
Bonus	Deutschland	Spelzhafer	14,20	13,25	12,78	
Fuchs	Deutschland	Spelzhafer	14,04	13,64	13,52	
Lutz	Deutschland	Spelzhafer	14,09	12,99	12,71	5,92
Heinrich	Deutschland	Spelzhafer	13,86	13,75	12,91	3,86
Nordstern	Deutschland	Spelzhafer	13,89	13,38	14,43	
Gramena	Deutschland	Spelzhafer	13,88	13,18	13,75	5,64
Hecht	Deutschland	Spelzhafer	13,68	13,44	13,25	
Jumbo	Deutschland	Spelzhafer	14,15	13,28	13,54	5,37
Coach	Deutschland	Spelzhafer	14,27	13,66	14,08	
Alf	Deutschland	Spelzhafer	14,64	14,19	13,21	3,46
Flämingslord	Deutschland	Spelzhafer	14,71	14,14	13,17	5,15
Flämingsplus	Deutschland	Spelzhafer	14,09	13,10	12,60	
Flämingsstern	Deutschland	Spelzhafer	14,73	13,63	13,90	
Flämingsstip	Deutschland	Spelzhafer	14,02	13,54	14,03	4,74
Flämingsnova	Deutschland	Spelzhafer	14,04	13,70	14,01	
Expander	Deutschland	Spelzhafer	13,63	12,98	13,92	
Radius	Deutschland	Spelzhafer	14,33	12,92	13,18	
Neklan	Deutschland	Spelzhafer	14,10	13,01	13,37	5,16
Flipper	Deutschland	Spelzhafer	13,00	13,02	12,59	
Taiko	unbekannt	Spelzhafer	14,27		14,19	
Finley	unbekannt	Spelzhafer	12,74		14,99	
Autieul	unbekannt	Spelzhafer	11,57		12,50	
Sirene	Deutschland	Spelzhafer	18,16		14,07	
Bruno	Deutschland	Spelzhafer	14,67	13,53	14,12	
Caracas	Deutschland	Spelzhafer	14,83	13,67	14,21	
Conny	Deutschland	Spelzhafer	14,73	12,57	13,57	
Tikal	Deutschland	Spelzhafer	14,42	13,74	11,80	

Sorte/Stamm	Herkunft	Genotyp	RP % 2000	RP % 2001	RP % 2002	ÖI % 2002
Wiesel	Deutschland	Spelzhafer	14,20	12,86	13,29	
Nord 1100	Deutschland	Spelzhafer	13,94	13,90		
Spae 1108	Deutschland	Spelzhafer	13,49	13,03		
Peniarth	Großbritannien	Spelzhafer	15,14	14,72	14,68	5,46
Viscount	Großbritannien	Spelzhafer	15,42	14,38	14,14	
Gerald	Großbritannien	Spelzhafer	14,00	13,80	12,91	
Millenium	Großbritannien	Spelzhafer	15,08	13,70	13,75	
Widder	Deutschland	W.spelzhafer	15,67	14,58	14,38	
Wibke	Deutschland	W.spelzhafer	13,74	14,76	13,80	5,91
Silwi	Deutschland	W.spelzhafer	15,13	15,01	14,80	
Aragon	Deutschland	Spelzhafer	14,37	13,61	13,30	5,11
Freddy	Deutschland	Spelzhafer	13,62	12,98	13,45	
Kanton	Deutschland	Spelzhafer	13,99	13,48	13,55	
Bullion	Großbritannien	Nackthafer	21,77	18,00	18,49	7,57
Rhiannon	Großbritannien	Nackthafer	19,81	16,95	15,64	8,35
Ripon	Großbritannien	Nackthafer	17,50	17,07	17,16	
Samuel	Deutschland	Nackthafer	18,01	16,06	16,67	
SAL 947	Deutschland	Nackthafer	19,72	16,29		
SAL 1228	Deutschland	Nackthafer	17,06	15,77		
SAL 15	Deutschland	Nackthafer	17,09	15,09		
SAL 40	Deutschland	Nackthafer	17,97	16,61		
Mozart	Deutschland	Nackthafer	19,23	17,05	17,36	8,12
SAL 11169	Deutschland	Nackthafer	18,54	16,17		
Salomon	Deutschland	Nackthafer	18,81	16,93	17,81	8,42
Sallust	Deutschland	Nackthafer	19,42	16,80	17,67	7,53
Sandokan	Deutschland	Nackthafer	17,63	16,21		
SAL 1322	Deutschland	Nackthafer	17,76	16,44		
SAL 02	Deutschland	Nackthafer	18,46	16,27		
SAL 25	Deutschland	Nackthafer	17,62	16,29		
Lexicon	Großbritannien	Nackthafer	16,76	16,76	15,73	8,63
Icon	Großbritannien	Nackthafer	18,19	18,70	15,75	
Adam	Tschechien	Nackthafer	14,50	18,04	17,25	
Abel	Tschechien	Nackthafer	15,09	17,88	17,19	
Izak	Tschechien	Nackthafer	13,80	17,96	16,95	

Wenn man Tab. 45 und 46 vergleicht, kann man den Unterschied hinsichtlich Rohproteingehalt zwischen nackten Formen der Gaterslebener Genbank und nackten Sorten und Stämmen in den Jahren 2001 und 2002 sehen. Bei den nackten Gaterslebener Akzessionen lag der Rohproteingehalt zwischen 16 % und 24 % in der Trockenmasse (TM). Die bespelzten Sorten bzw. Stämme wiesen deutlich niedrigere Rohproteinwerte von 12 bis 16 % auf, während die nackten Sorten bzw. Stämme Werte von 14 bis 22 % zeigten. Die Ertragsfähigkeit der Gaterslebener Akzessionen ist allerdings auch wesentlich niedriger als die der Sorten. Die Sorten Kleiner Nackthafer (AVE 508) und Weißer Nackter Fahnen (AVE 674), beide aus Deutschland, hatten in beiden Probejahren einen höheren Rohproteingehalt als die Mehrzahl der Akzessionen.

Tabelle 46. Qualität der Gaterslebener Akzessionen; RP = Rohprotein, CAN = Kanada, CHN = China, CZ = Tschechien, FIN = Finnland, GER = Deutschland, GBR = Großbritannien, FRA = Frankreich, POL = Polen, ROM = Rumänien, SWE = Schweden, SOV = Sowjetunion, unb = unbekannt, USA = Vereinigte Staaten von Amerika

Sortimentsnr.	Botanischer Name	Herkunft	Sorte	RP in % 2001	RP in % 2002	OI % 2002
AVE 329	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	SWE		20,43	21,33	8,85
AVE 351	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER		21,11	22,92	
AVE 378	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	USA		22,09	20,25	
AVE 382	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER		21,12	22,89	8,42
AVE 396	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER		20,40	21,66	
AVE 411	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CAN	Laurel	19,43	22,01	
AVE 420	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	ROM		20,43	21,50	
AVE 472	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER		20,37	22,09	
AVE 477	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER		20,29	23,50	
AVE 502	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CAN	Brighton	17,91	19,04	
AVE 580	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	POL	Nagi Purawski	20,32	21,40	5,40
AVE 687	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CAN	Vicar	20,95	19,91	7,87
AVE 742	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	unb.	Hoejer	19,01	22,12	6,92
AVE 782	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER	N.O.S Nackthafer	18,16	18,82	
AVE 822	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	USA	James	22,84	20,23	
AVE 1016	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CZ	Cinsky Nahy	15,92	20,27	6,54
AVE 1112	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CHN	U-zaj-ju-maj	19,41	22,42	
AVE 1138	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CHN	Ju-maj	19,98	22,99	7,57
AVE 1190	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CHN		18,54	21,71	
AVE 1191	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	SOV		18,22	19,61	
AVE 1287	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	FIN		17,73	18,27	
AVE 1296	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER	Caesar	19,90	18,25	9,05
AVE 1357	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	FRA	Nuprime	18,85	16,25	
AVE 1582	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CAN	Terra	17,23	15,95	
AVE 1922	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CHN		18,47	22,48	
AVE 2061	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	CAN	Torch	19,04	18,91	
AVE 2218	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	SOV	Uspeh	18,63	17,67	7,95
AVE 2593	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GBR	Rhiannow	17,27	17,44	
AVE 2841	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	FRA		18,14	18,91	7,20
AVE 2842	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i> Korn	GER	Konradin	16,44	15,69	8,58
AVE 2002	<i>A. sativa</i> var. <i>chinensis</i>	GBR		19,41	22,01	
AVE 2725	<i>A. sativa</i> var. <i>chinensis</i>	GBR	Rhiannon	17,71	16,74	
AVE 2728	<i>A. sativa</i> var. <i>chinensis</i>	GER	Magda	18,26	17,01	8,61
AVE 508	<i>A. nuda</i> subsp. <i>nuda</i>	GER	Kleiner Nackthafer	23,78	22,75	
AVE 674	<i>A. nuda</i>	GER	Weißer Nackter Fahnen	22,91	23,38	

In der Abb. 16 werden die Populationen 13, 14 und 19 (F₄-Generation) im Proteingehalt verglichen. Bei allen drei Populationen lag der Rohproteingehalt des Nackthafer über dem des Spelzhafer. Besonders deutlich war die Differenz bei Population 13.

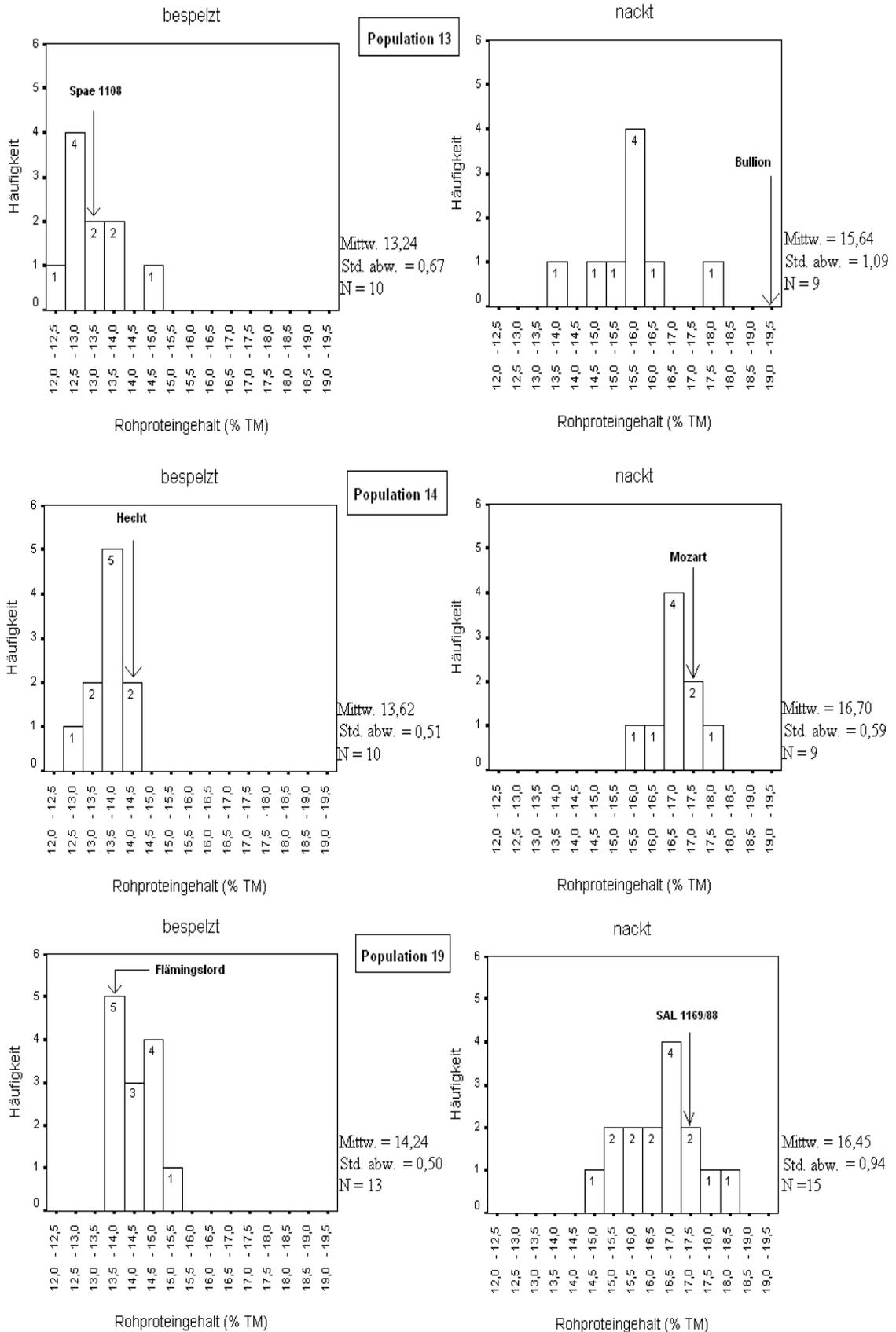


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung des Rohproteingehaltes in der F₄-Generation der drei Populationen im Vergleich zu Eltern

Bei der Betrachtung der Verteilung des Rohproteingehaltes zeigen sich unterschiedliche Verteilungsmuster und Spannweiten der Eltern und Linien.

In der Population 13 lagen die Rohproteingehalte der bespelzten und nackten Nachkommenschaften in der überwiegenden Mehrzahl zwischen denen der Eltern. Bei Population 14 lagen die bespelzten Nachkommen unter dem bespelzten Elter und die Mehrzahl der nackten Nachkommenschaften im Rohproteingehalt unter dem nackten Elter Mozart. In der Population 19 lag die Mehrzahl der Linien im Rohproteingehalt zwischen den Kreuzungseltern.

Die Abb. 17 zeigt den Zusammenhang zwischen TKG und Rohproteingehalt. Die Korrelation bei den bespelzten und nackten Formen erwies sich als nicht signifikant.

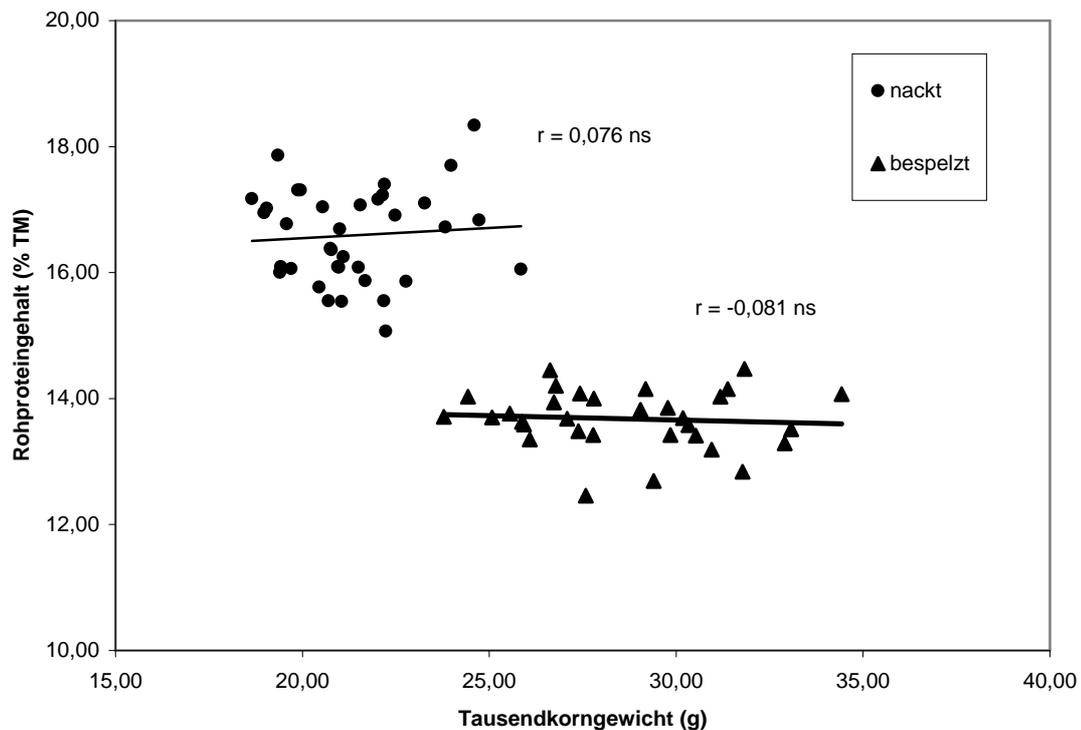


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen dem TKG und Rohproteingehalt der bespelzten und nackten Linien der Populationen 13, 14 und 19 in der F₅-Generation

Tab. 47 zeigt den Ölgehalt bei Spelzhafersorten und Nachkommenschaften in der F₅-Generation. Dabei ist zwischen dem Ölgehalt der Körner und dem Ölgehalt im entspelzten Kern zu unterscheiden. Der Unterschied zwischen Ölgehalt im Korn und in den Kernen wird durch den unterschiedlich hohen Spelzgehalt der untersuchten Genoty-

pen hervorgerufen. Die Spelzen besitzen einen vernachlässigbaren Ölanteil und wurden entfernt, um einen Vergleich mit Nackthaferkörnern zu ermöglichen.

Bei Population 14 und 19 besitzt der bespelzte Elter den niedrigsten Ölgehalt im Korn. Bei den drei Verrechnungssorten liegen die Werte für den Ölgehalt im Kern niedriger als bei den meisten untersuchten Nachkommenschaften. In allen Populationen treten Linien auf, die den bespelzten Elter und die Verrechnungssorten im Ölgehalt der Kerne übertreffen.

Tabelle 47: Mittelwertdifferenzen zwischen Ölgehalt in den Körnern und Ölgehalt in den Kernen der F₅-Generation

Population	Linien	Feldnummer	Ölgehalt im Korn % der TM	Ölgehalt im Kern % der TM	Differenz in %
13	1	Spae 1108	4,63	7,17	35,43
	4	313/9/4	4,59	7,49	38,72
	6	313/41/5	4,76	7,81	39,05
	8	313/48/8	3,74	7,96	53,02
	10	313/55/10	4,06	6,98	41,83
Mittelwert			4,29	7,56	43,16
14	24	Hecht	4,79	7,51	36,22
	26	314/4/8	5,41	8,00	32,38
	28	314/44/8	5,09	7,21	29,40
	30	314/47/1	5,80	8,97	35,34
Mittelwert			5,43	8,06	32,37
19	46	Flämingslord	4,64	6,65	30,23
	48	319/1/1	4,79	7,06	32,15
	50	319/12/3	5,35	7,38	27,51
	52	319/16/6	5,23	6,60	20,76
	54	319/22/1	5,04	7,06	28,61
	56	319/23/3	5,26	6,67	21,14
	58	319/31/6	4,68	6,96	32,76
	60	319/34/6	5,12	7,18	28,69
	62	319/38/9	5,00	7,20	30,56
	64	319/50/3	4,88	6,79	28,13
	66	319/58/4	5,22	6,94	24,78
68	319/64/3	5,05	6,77	25,41	
70	319/66/3	5,21	6,53	20,21	
Mittelwert			5,07	6,93	26,73
Sorten	75	Aragon	5,11	6,59	22,46
	76	Jumbo	5,77	6,88	16,13
	77	Revisor	5,10	6,55	22,14
Mittelwert			5,33	6,67	20,24

Abb. 18 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Rohprotein- und Ölgehalt bei den bespelzten und nackten Formen. Die Rohproteinbestimmung erfolgte mit dem NIT-Gerät. Dazu wurden ca. 25 – 30 g Saatgut benötigt. Da von Spelzhafer nicht ausreichend Haferkerne zur Verfügung standen, wurde die Rohproteinbestimmung bei Spelzhafer an Körnern durchgeführt. Für die Ölgehaltbestimmung der bespelzten Formen wurden dagegen die Kerne genutzt. Es zeigte sich, dass der Ölgehalt des Nackthafers und des Spelzhafers im Bereich von 6 % bis 9 % in der TM lag. Ein Unterschied zwischen beiden Formen konnte für den Ölgehalt nicht festgestellt werden. Bei Spelz- und Nackthafer war eine schwach negative Korrelation zwischen Rohprotein- und Ölgehalt zu beobachten. In der Abb. 18 lag der Rohproteingehalt des Spelzhafers unter dem des Nackthafers, das geht im wesentlichen auf den Spelzenanteil zurück.

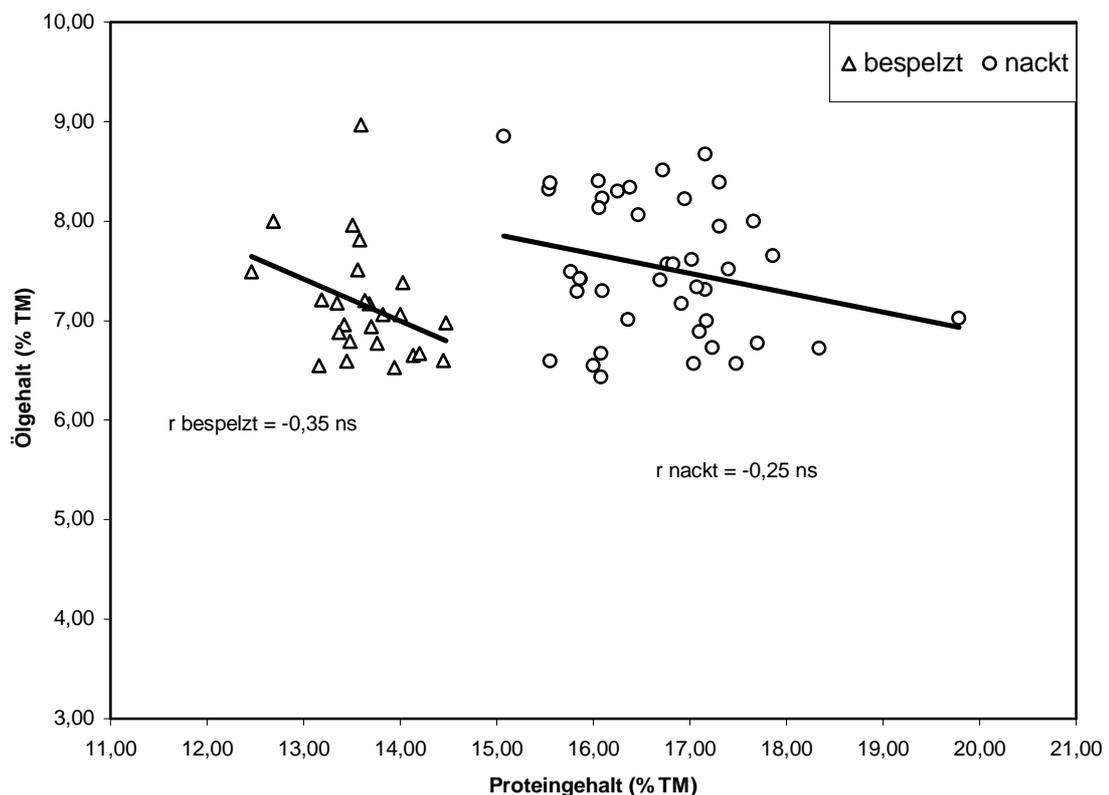


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Rohproteingehalt von Spelzhafer- und Nackthaferkörnern und Ölgehalt von Spelzhaferkernen und Nackthaferkörnern in der F₅-Generation

4.3 Kreuzungen zwischen Nackthaferformen

Im Jahr 2002 standen in der F₂-Generation 41 Kombinationen auf dem Feld (siehe Tab. 5). Insgesamt wurden 36 der 41 Kombinationen geerntet. Bei fünf Kombinationen wurde bereits auf dem Feld erkannt, dass diese nicht spaltend, sondern einheitlich nackt waren. Somit erfolgte keine Ernte.

In Abb. 19 ist eine Pflanze einer spaltenden Kreuzungsnachkommenschaft abgebildet. Hier ist das typische Merkmal der Zwei- bis Dreiblütigkeit des Spelzhafers zu erkennen.



Abbildung 19: Spelzhafertyp in einer spaltenden F₂-Nachkommenschaft aus der Kreuzung Nackthafer x Nackthafer

Zur Untersuchung der Variation innerhalb der Nachkommenschaften der Kreuzung von Nackthafer x Nackthafer wurden die Rispenbonitur und die Kornbonitur benutzt. Die Ergebnisse der sechs spaltenden Nachkommenschaften sind in Tab. 48 dargestellt. Bei den übrigen Kombinationen wurde keine Aufspaltung gefunden. Kleine Buchstaben stellen die Kornbonitur nach dem Drusch dar, große Buchstaben zeigen die Ergebnisse für die Blütchenzahl (siehe Material und Methoden). Die beiden letzten Zeilen geben jeweils die Eltern der Kreuzung an. Bei einigen Eltern gab es eine geringe Variation in der Bonitur der Nacktkörnigkeit, wie bei den Kreuzungen NK8, NK16, NK43 und NK47 zu erkennen ist. Im Endeffekt wurden jedoch alle Eltern als einheitlich nackt oder fast nackt (n bzw. n+) eingestuft. In den Kreuzungsnachkommenschaften gab es jedoch

eine breite Variation der Rispen- und Kornbonituren. Es traten hier deutlich bespelzte Typen auf.

Tabelle 48: Verteilung der spaltenden Kreuzungsnachkommenschaften aus Nackthafer x Nackthafer in der F₂-Generation

NK1 AVE 2842 (Deutschland) x AVE 1357 (Frankreich)

	b	b+	$\frac{1}{2}$	n+	n	Σ
B		1				1
B+			1	6	8	15
N			1	41	52	94
Σ		1	2	47	60	110
AVE 2842				5		
AVE 1357					5	

NK8 AVE 1296 (Deutschland) x AVE 2841 (Frankreich)

	b	b+	$\frac{1}{2}$	n+	n	Σ
B		12	2	1		15
B+		8	5	34	61	108
N		36	65	350	134	585
Σ		56	72	385	195	708
AVE 1296					5	
AVE 2841				2	3	

NK16 AVE 1582 (Kanada) x AVE 2841 (Frankreich)

	b	b+	$\frac{1}{2}$	n+	n	Σ
B		7	4	3		14
B+		7	7	16	4	34
N		11	20	100	26	157
Σ		25	31	119	30	205
AVE 1582				1	4	
AVE 2841				2	3	

NK32 AVE 1287 (Finnland) x AVE 2842 (Deutschland)

	b	b+	$\frac{1}{2}$	n+	n	Σ
B		1		3	3	7
B+		1	3	34	51	89
N		8	5	154	320	487
Σ		10	8	191	374	583
AVE 1287					5	
AVE 2842				5		

NK43 Salomon (Deutschland) x AVE 1287 (Finnland)

	b	b+	$\frac{1}{2}$	n+	n	Σ
B		1		5		6
B+		1		4	39	44
N		4	8	141	388	541
Σ		6	8	150	427	591
Salomon				2	3	
AVE 1287					5	

NK47 AVE 1190 (China) x AVE 2728 (Deutschland)

	b	b+	$\frac{1}{2}$	n+	n	Σ
B		1		2		3
B+				2	12	14
N			1	22	30	53
Σ		1	1	26	42	70
AVE 1190				2	3	
AVE 2728					5	

Obwohl es Kreuzungen zwischen vielblütigen Formen waren, spalteten einzelne Typen mit wenig Blüten (2-3) heraus. In der Kombination NK8 zwischen AVE 1296 aus Deutschland und AVE 2841 aus Frankreich traten von 708 untersuchten F₂-Pflanzen 15 mit 2-3 blütigen Ährchen und 108 Pflanzen mit überwiegend 2-3 blütigen Ährchen auf. Diese Pflanzen variierten in der Kornbonitur mit dem Auftreten von fast ausschließlich bespelzten bis rein nackten Körnern.

Die Kombination NK16 aus der kanadischen Akzession AVE 1582, gekreuzt mit dem französischen Eltern AVE 2841, zeigte eine ähnlich starke Aufspaltung. Hierbei wurden 14 Pflanzen mit 2-3 blütigen Ährchen und 34 Pflanzen mit überwiegend 2-3 blütigen

Ährchen beobachtet. Auch diese spalteten nach dem Drusch in Nachkommenschaften mit vollständig bespelzten bis hin zu vollständig nackten Körnern.

Fasst man die Stufen B und B+ der Rispenbonitur zu einer Klasse, sowie die Kornboniturstufen b, b+, ½ einerseits und die Stufen n+, n andererseits, zu zwei Klassen zusammen, ergeben sich die in Tab. 49 dargestellten Aufspaltungen.

Tabelle 49: Aufspaltung der Rispen- und Kornbonituren bei sechs Nachkommenschaften von Kreuzungen Nackthafer x Nackthafer in der F₂-Generation

	Rispenbonitur			
	2-3 blütig		vielblütig	
	Kornbonitur		Kornbonitur	
	bespelzt	nackt	bespelzt	nackt
NK1	2	14	1	93
NK8	27	96	101	484
NK16	25	23	31	126
NK32	5	91	13	474
NK43	2	48	12	529
NK47	1	16	1	52

In der F₃-Generation (siehe Abb. 6; Material und Methoden) wurden rein bespelzte Formen und Aufspaltungen gefunden. Diese Formen wurden auf dem Feld mit Stäben markiert (Abb. 20). Es erfolgte die Ernte von 27 Rispen aus drei Nachkommenschaften (NK8, NK43, NK47), die dem Spelzhafertyp entsprachen. In der Abb. 21 ist eine dieser Rispen mit 2-3 blütigen Ährchen zu sehen. Auf dem Feld wurde die Mehrzahl der Rispen mit 2-3 blütigen Ährchen bei der Kombination NK8 gefunden. Detaillierte Ergebnisse sind in Tab. 50 zu entnehmen.

Die in der F₃-Generation geernteten Rispen wurden gedroschen, um die Körner zu zählen und zu bonitieren. Alle geernteten Rispen entsprachen im Rispentyp dem Spelzhafer. Nach dem Drusch der Rispen zeigte sich bei 12 Rispen ein geringer Anteil an nackten Körnern. Die Ergebnisse der Rispen- und Kornbonitur der F₂- und F₃-Generation sind in Tab. 50 dargestellt.



Abbildung 20: Rein bespelzte und spaltende Formen der F₃-Generation; markiert mit Stäben



Abbildung 21: Spelzhafertyp der F₃-Generation, gefunden in NK8

Tabelle 50: Bonitur der rein bespelzten F₃-Einzelpflanzen von Kreuzungsnachkommenschaften (nackt x nackt) in der F₂- bzw. F₃-Generation (Rispenotyp, Kornbonitur, % nackte Körner)

Feldnr. 2002 F ₂	Feldnr. 2003 F ₃	Bonitur (2002)		Bonitur (2003)		
		Rispenotyp	Kornbonitur	Rispenotyp	Kornbonitur	% nackte
NK8/1	081/05/1	B+	b+	B	b	
NK8/1	081/15/1	N	n	B	b+	4 %
NK8/1	081/15/2	N	n	B	b	
NK8/1	081/15/3	N	n	B	b	
NK8/2	082/02/4	B	b+	B	b+	11 %
NK8/2	082/11/4	N	n	B	b+	3 %
NK8/4	084/02/3	B	b+	B	b	
NK8/4	084/02/5	B	b+	B	b	
NK8/4	084/02/6	B	b+	B	b	
NK8/4	084/02/7	B	b+	B	b	
NK8/4	084/04/1	B+	b+	B	b	
NK8/4	084/04/4	B+	b+	B	b	
NK8/4	084/05/1	B+	½	B	b+	21 %
NK8/7	087/03/1	B	b+	B	b	
NK8/7	087/03/3	B	b+	B	b	
NK8/7	087/03/4	B	b+	B	b	
NK8/7	087/03/6	b	b+	B	b+	4 %
NK8/7	087/03/8	B	b+	B	b+	9 %
NK8/7	087/03/9	B	b+	B	b+	2 %
NK32/2	322/18/2	N	b+	B	b	
NK32/2	322/18/3	N	b+	B	b+	3 %
NK32/2	322/20/1	N	b+	B	b+	3 %
NK32/2	322/20/2	N	b+	B	b	
NK32/2	322/20/4	N	b+	B	b+	4 %
NK32/2	322/20/6	N	b+	B	b	
NK47/1	471/15/2	B+	n	B	b+	10 %
NK47/1	471/18/1	N	½	B	b+	4 %

Die Mehrzahl der rein bespelzten Formen in der F₃-Generation wurde auch bei der Beurteilung der Rispen in der F₂-Generation mit B+ bzw. B bonitiert. Bei zum Vergleich angebauten rein nackten F₂-Einzelpflanzennachkommenschaften (siehe Abb. 6, Kapitel

3.3.3) wurden ebenfalls vollständig bespelzte Einzelpflanzen gefunden, was auf eine weitere Aufspaltung hinweist und eine genauere genetische Analyse erfordert. Die Mehrzahl der rein bespelzten Formen wurde in der NK8 gefunden.

In Abb. 22 ist eine in der F₃-Generation geerntete bespelzte Rispe im Vergleich zu den nackten Eltern zu sehen. Die beide Kreuzungspartner zeigen Vielblütigkeit, während die Nachkommenschaft 2-3 blütig ist.



Abbildung 22: Vergleich einer Nachkommenschaft der Kreuzung zwischen Nacktformen (NK8) in der F₃-Generation mit den Eltern

5 Diskussion

5.1 Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer

Wird Spelzhafer mit Nackthafer gekreuzt, ist die F₁-Generation vorwiegend vom vielblütigen Nackthafertyp. Schon in der älteren Literatur (Zinn und Surface, 1917) wurden vielblütige F₁-Nachkommenschaften beobachtet. Allerdings besaßen Nachkommenschaften kurzgestielte Ährchen im Vergleich zu ihren Eltern. Für die Nacktkörnigkeit ist ein Majorgen verantwortlich (Jenkins und Hanson, 1976), das von Simons et al. (1978) später mit N-1 bezeichnet wurde. Auch in eigenen Untersuchungen entsprachen die Pflanzen aus den Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer diesem Typ. Ähnlich wie in der Literatur berichtet (Lawes und Boland, 1974), ist das Merkmal Nacktkörnigkeit nicht vollständig dominant.

Alle Einzelpflanzen der F₁-Generation wiesen Vielblütigkeit des sich an der Spitze der Rispe befindenden Endährchens auf. Dieses Merkmal dient der Unterscheidung zwischen Spelz- und Nackthafer. Jenkins und Hanson (1976) fanden auch nacktkörnige F₁-Pflanzen, die zwar vielblütige Ährchen in der oberen Rispe aufwiesen, aber im unteren Rispenbereich auch 2-3 blütige Ährchen zeigten. Daher ist eine klare Trennung zwischen bespelzten und nackten Formen nicht möglich. Um für eine Bonitur ein einigermaßen objektives Kriterium zu haben, ist es erforderlich, sich innerhalb einer Rispe auf eine spezifische Position zu beziehen. In dieser Arbeit wurde in dieser Hinsicht der Literatur gefolgt und die Bonitur an den Ährchen im Bereich der Rispenspitze durchgeführt.

Spelz- und Nackthafer unterscheiden sich im Spelzenanteil und in der Anzahl der Blütchen je Ährchen. Nackthafer besitzt vielblütige Ährchen, während Spelzhafer nur 2-3 blütige Ährchen aufweist. Die Anzahl der Blütchen je Ährchen ist eng an die Ausbildung der Bespelzung bzw. Nacktkörnigkeit gebunden, eine Brechung dieser Beziehung wurde bisher nicht gefunden.

Die Untersuchungen von Ougham et al. (1996) ergaben, dass die Festlegung der Zwei- bis Dreiblütigkeit schon früh in der Entwicklung getroffen wird. Zu Beginn der Ährchenentwicklung gibt es noch keine Unterschiede zwischen Spelz- und Nackthafer. Ab einem bestimmten Entwicklungsstadium baut sich die Rachilla der Spelzformen weiter auf, während das meristematische Gewebe in seiner Entwicklung gestört ist. Somit bilden sich keine weiteren Blütchen. Das verkümmerte meristematische Gewebe ist an der

Spitze der untersten Rachilla als lichtdurchlässige Struktur noch auffindbar. Bei Nackthafer entwickelt sich dieses Gewebe und es werden weitere Blüten gebildet.

In der Arbeit wurden die nackten Eltern Bullion, Mozart und SAL 11169 für die Kreuzungen verwendet. Diese zeigten die typische Vielblütigkeit und Nacktkörnigkeit. Nacktkörnigen Sorten werden erst als nacktkörnig definiert, wenn sie einen Anteil bespelzter Körner von unter fünf Prozent aufweisen. Die bespelzten Eltern waren Spae 1108, später als Sorte Neklan zugelassen, Hecht und Flämingslord. Eine Abhängigkeit der Ausprägung der F₁-Generation vom Genotyp der Eltern wurde nicht beobachtet.

Die in Hohenthurm angebaute F₂-Generation brachte wie erwartet eine Spaltung zwischen vielblütigen Nackthaferformen und 2-3 blütigen Spelzhaferformen hervor. In der Literatur werden die Formen, die das Merkmal Nacktkörnigkeit nicht vollständig ausprägen, besonders im unteren Bereich der Rispe, als Mosaik (Jenkins und Hanson, 1976; Hoekstra et al., 2003) bezeichnet. Boland und Lawes (1973) teilten die Nachkommenschaft in drei Gruppen ein: (1) alle Körner bespelzt, (2) bespelzte und nackte Körner, (3) alle Körner nackt.

Die in dieser Arbeit untersuchten drei Kreuzungspopulationen wurden nach dem Rispentyp in fünf Stufen eingeteilt (Tab. 10). Die Vielblütigkeit wurde mit N, die Zwei- bis Dreiblütigkeit mit B bezeichnet. Die nicht vollständig ausgeprägten Formen der Vielblütigkeit nehmen hierbei die Stufen N+, ½ und B+ ein. Auch bei der Kornbonitur wurde eine Variation zwischen bespelzten und nackten Körnern gefunden. Die Formen, die ausschließlich nackte Körner zeigen, wurden mit n und die mit ausschließlich bespelzten mit b bezeichnet. Die Zwischenformen der Nacktkörnigkeit wurden in n+, ½ und b+ gruppiert. Bei der Mehrzahl der F₂-Einzelpflanzen zeigte sich in allen drei Kreuzungen eine unvollständige Ausprägung des Rispentyps und der Kornbonitur. Diese trat mehr als doppelt so häufig auf wie die der reinen Formen. Das Vorhandensein von Zwischentypen zeigt, dass die Nacktkörnigkeit nicht vollständig dominant ist. Der Zusammenhang zwischen Rispen- und Kornbonitur war in allen Kreuzungen ähnlich. Es gab nur wenige Abweicher, am meisten noch in der Population 19 (Flämingslord x SAL 11169).

Ähnliche Ergebnisse traten bei den Untersuchungen von Cabral et al. (2000) an Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer auf. Sie zeigten, dass der Korrelationskoeffizient von Nacktkörnigkeit und Vielblütigkeit nicht gleich eins war. Es wurde eine Variation von 0,58 bis 0,88 beobachtet. Die Ursache dafür war, dass in den 2-3 blütigen Ähr-

chen nach dem Dreschen nackte Körner gefunden wurden. Auf der anderen Seite besaßen Rispen mit nackten Körnern auch mindestens ein vielblütiges Ährchen.

In der F₃-Generation konnte überprüft werden, ob die Bonitur der F₂ Rückschlüsse auf die weiteren Generationen zulässt. Die in der F₂-Generation als bespelzt bzw. 2-3 blütig bonitierten Pflanzen führten fast ausschließlich zu einheitlichen Nachkommenschaften vom Typ bespelzt mit zwei bis drei Blüten. Nach Hoekstra et al. (2003) kann angenommen werden, dass der Spelzhafertyp rezessiv vererbt wird (Moule, 1972, zit. bei Jenkins und Hanson, 1976).

Weniger eindeutig war dagegen die F₂-Bonitur auf Vielblütigkeit und Nacktform (Tab. 14 und 15). Dies entspricht der züchterischen Erfahrung, dass eine mehrfache Selektion erforderlich ist, um zu konstanten Nacktformen zu gelangen. Die Mehrzahl der Zwischentypen in der F₂-Generation spaltete in der F₃-Generation auf und erwies sich als vermutlich heterozygot für das Hauptgen N-1. Diese Typen wurden in dieser Arbeit nicht weitergeführt. Ab der F₄-Generation, in der Ertrags- und Qualitätsuntersuchungen im Vordergrund standen, wurden nur Linien weitergeführt, die sich als weitgehend homogen bespelzt bzw. homogen nacktkörnig erwiesen.

Moule (1972, zit. bei Jenkins und Hanson, 1976) benannte neben dem schon bekannten N-1 Hauptgen (bei Moule noch N) noch zwei modifizierende Gene N₁ und N₂. Nacktformen sollten NN N₁N₁ N₂N₂ bzw. NN N₁N₁ n₂n₂ und Zwischentypen NN n₁n₁ N₂N₂ bzw. NN n₁n₁ n₂n₂ haben. Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Ergebnisse reichen nicht aus, das Drei-Genmodell von Moule (1972, zit. bei Jenkins und Hanson, 1976) zu testen. Boland und Lawes (1973) untersuchten nackte Genotypen und fanden heraus, dass die Mehrzahl nackte sowie auch bespelzte Körner aufwies. Sie führten Untersuchungen von Nackttypen unter Gewächshaus- und unter Freilandbedingungen durch. Dabei beobachteten sie, dass die Ausprägung der Nacktkörnigkeit unter ständig warmen Temperaturen (25 °C) 100 % betrug.

Die Unterschiede zwischen den Spelz- und Nacktformen in der F₄-Generation wurde durch eine Varianzanalyse (Tab. 21 – 23) erfasst. Es traten in allen drei Populationen zwischen beiden Formen signifikante Unterschiede bei der Kornzahl (KZ), dem Korngewicht (KG) und dem Tausendkorngewicht (TKG) auf.

Die Kornzahl liegt bei Nackthafer aufgrund der Vielblütigkeit zwar über dem des Spelzhafers, aber das Korngewicht und das Tausendkorngewicht liegen deutlich niedriger (Tab. 24). Dieser Sachverhalt trifft auf alle drei Populationen zu.

Dies entspricht den Versuchsergebnisse aus der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1999), bei denen das TKG der Spelzhaferarten höher war als das TKG der Nackthaferarten.

Kittlitz (1968) verringerte in seinen Arbeiten die Blütenanzahl des Nackthafers, indem er mittels einer Schere zum Zeitpunkt des Rispschiebens alle Blüten bis auf drei von der Ährchenbasis entfernte. Er stellte signifikante Unterschiede im Tausendkorngewicht zwischen der unbehandelten Kontrolle und den behandelten Rispen fest. Das TKG lag bei den behandelten Rispen um ca. 4 g höher. Bisher gibt es aber noch keine Möglichkeit, bei Nackthafer die Vielblütigkeit zu unterdrücken.

Zwischen Hohenthurm und Salzmünde gab es signifikante Unterschiede in Bezug auf die Kornzahl und das Korngewicht, für das TKG aber nur bei Population 19 (Flämingslord x SAL 11169). Die Kornzahl und das Korngewicht in Hohenthurm waren höher als in Salzmünde (Tab. 18 – 20). Bei Population 19 war das TKG in Hohenthurm im Mittel höher, aber nicht gleichmäßig für alle Linien.

Coffman und Mackey (1959) vermuteten einen großen Umwelteinfluss auf die phänotypische Ausbildung der Blütenanzahl pro Ährchen. Dadurch ändere sich deren Ausprägung von Jahr zu Jahr, von Ort zu Ort, von Parzelle zu Parzelle sowie von Pflanze zu Pflanze. In der vorliegenden Arbeit ließen sich für Kornzahl und Korngewicht deutliche Unterschiede zwischen zwei Orten feststellen.

Dagegen war bei dem Korngewicht bei keiner Population eine Wechselwirkung zwischen Rispentyp und Ort feststellbar. Bei den Populationen 13 und 14 war auch für das TKG diese Wechselwirkung nicht signifikant. Anders verhielt sich Population 19. Hier war die Wechselwirkung signifikant (Tab. 23).

In Abb. 7 sind als Beispiel für die Beziehung zwischen dem TKG in Hohenthurm und Salzmünde die Linien der Population 19 in der F₄-Generation graphisch dargestellt. Wie sich auf dem ersten Blick erkennen lässt, liegt das TKG der nackten Linien unter dem der bespelzten Linien. Es traten jedoch ein paar nackte Linien auf, die mit dem TKG der bespelzten Linien gleichzusetzen sind oder die sich sogar im oberen Bereich der bespelzten Linien befanden. Die Korrelationsanalyse in Tab. 25 zeigt aber, dass die erwartete positive Korrelation zwischen den Orten bei beiden Rispentypen für das TKG bei Population 19 deutlich war.

Die Tab. 27 bis 30 enthalten die Ergebnisse der Varianzanalyse in der F₅-Generation. In der F₅-Generation wurden Parzellenerträge in dt/ha und das TKG der Parzellen als Ertragskomponenten erfasst. Die nackten Linien unterschieden sich im Ertrag und im

TKG signifikant von den bespelzten Linien. Auch innerhalb nackter bzw. bespelzter Linien gab es signifikante Unterschiede.

In allen Populationen waren an beiden Orten die bespelzten Typen den nackten Typen überlegen. Die signifikante Wechselwirkung zwischen Rispeotyp und Orten zeigt für den Ertrag eine größere Differenz in Salzmünde (Tab. 31), beim TKG sind trotz Signifikanz die Unterschiede marginal. Die Wechselwirkung zwischen Linien innerhalb eines Rispeotyps und den Orten war nur vereinzelt signifikant (Tab. 28 - 30).

Deutliche Wechselwirkungen zwischen Genotypen und Umwelten fanden Doehlert et al. (2001) bei ihren Versuchen mit Spelzhafersorten und einer Nackthafersorte in zwölf Umwelten. Doehlert et al. (2001) führten den starken Umwelteinfluss auf einen unterschiedlich hohen Kronenrostbefall der einzelnen Umwelten zurück.

Peltonen-Sainio (1997) beobachtete einen Ertrag des Nackthafers, der um 30 % niedriger lag als der des Spelzhafers. Nach der Entspelzung war der Ertrag des Spelzhafers immer noch um 10 % höher als der des Nackthafers. Er sieht die Ursache des niedrigeren Ertrages des Nackthafers in der geringeren Anzahl der Ährchen pro Rispe und in der Vielblütigkeit der Ährchen. Die Endblütchen von Nackthafer haben, wenn sie fruchtbar sind, fortschreitend kleiner werdende Körner, so dass besonders bei hoher Vielblütigkeit der Anteil von kleinen Körnern besonders hoch sein kann (Valentine, 1995).

Die varianzanalytische Auswertung von Geschwisterlinien der drei Populationen wird in den Tab. 32 bis 34 dargestellt. Die genetische Basis der jeweiligen Pärchen ist ähnlich, da sie von F₂-Einzelpflanzen abgeleitet wurden. Wird der Abstammungskoeffizient zwischen zwei F₂-Pflanzen Null gesetzt, so ist er für Geschwisterlinien der gleichen F₂-Pflanze gleich 0,5 (Wricke und Weber, 1986).

Bei den drei Populationen gibt es signifikante Unterschiede zwischen den bespelzten und den nackten Linien der jeweiligen Pärchen. Die bespelzten Formen der Pärchen sind den nackten Formen im Ertrag und auch im TKG überlegen (Abb. 9 und 10). Bei Betrachtung des TKGs sind bei allen Geschwisterlinien relativ hohe Differenzen zwischen den bespelzten und nackten Linien erkennbar. Beim Ertrag treten bei Geschwisterlinien der Population 19, die gleichzeitig auch die meisten Linien umfasste, die geringsten Differenzen auf. Solche Pärchen, die nur geringe Differenzen zwischen den beiden Linien zeigen und bei denen das Ertragsniveau hoch ist, sind für die Züchtung von Nackthafer besonders wünschenswert (Abb. 9).

In den Tab. 35 bis 37 ist der Mittelwertvergleich der Geschwisterlinien dargestellt. Alle Differenzen zwischen bespelzt und nackt waren signifikant.

Burrows et al. (2001) führten Ertragsversuche mit nahisogenen Linien durch und kamen zu ähnlichen Ergebnissen. In der Auswertung der Untersuchungen stellten sie einen signifikanten Unterschied fest, wobei die bespelzten Linien die nackten Linien im Ertrag übertrafen.

Tab. 38 zeigt die Auswertung der Korrelation zwischen den Ertragskomponenten KZ, KG und TKG der F₅-Generation, erfasst an fünf Rispen. Zwischen Kornzahl und Korngewicht konnte in Halle wie auch in Salzmünde eine signifikant positive Korrelation bei den nackten und bespelzten Linien ermittelt werden. Die Korrelation zwischen Kornzahl und Tausendkorngewicht ist sehr uneinheitlich zwischen Populationen, Rispen und Orten. In der F₄-Generation wurden ähnlich uneinheitliche Ergebnisse gefunden (Tab. 25).

Plarre (1970) weist darauf hin, dass die morphologisch erfassbaren Ertragskomponenten als Auslesekriterium unterschiedlich zu bewerten sind. Beim Fehlen von hochgradiger Sterilität ist die Ährchenanzahl mit dem Korngewicht je Pflanze stark positiv und mit dem TKG negativ korreliert.

Fischbeck (1985) hat die Standfestigkeit des Hafers mit der von anderen Getreidearten verglichen. Er stuft die Halmstabilität des Hafers gegenüber den anderen Getreidearten als gering ein. Es gibt aber auch Hafersorten, die sehr kräftige Halme bilden. Der langsame Verlauf der Halm lignifizierung spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Er hat vorgeschlagen, kurzstrohige Sorten zu züchten, um die Standfestigkeit zu verbessern. Aber das Problem von kurzstrohigen Sorten ist, dass der Ertrag niedriger ist (Mäkelä et al., 1996). Diese Aussage entspricht den Versuchen von Kibite und Clayton (2000), die nach der Einkreuzung des Verzweigungsgens Dw6 bei kurzstrohigen Linien mit verbesserter Standfestigkeit eine Reduktion des Ertrages von bis zu 25 % fanden. In diesen Untersuchungen an 7 nahisogenen Linienpaaren verlängerte sich die Zeit bis zur Blüte um bis zu 8 Tage und bis zur Reife um bis zu 5 Tage. Dieser Effekt des Verzweigungsgens Dw6 war abhängig vom genetischen Hintergrund und von Umwelteinflüssen. Es kam zu einer Reduktion des Tausendkorngewichtes zwischen 4 und 7 g bei den untersuchten nahisogenen Linien. Der Einfluss des Verzweigungsgens auf den Proteingehalt war nicht einheitlich. Die Autoren fanden bei sieben nahisogenen Linienpaaren in drei Paaren eine Absenkung des Proteingehaltes durch das Verzweigungsgen, eine Linie hatte einen signifikant höheren Gehalt, während drei Linien keinen signifikanten Unterschied zeigten.

Das Ergebnis der Standfestigkeit der F₅-Linien in Halle ist in Abb. 12 zu sehen. Die an drei Terminen durchgeführten Lagerbonituren zeigen eine Zunahme der Lagerneigung mit fortschreitendem Termin. Zum zweiten Termin am 9. Juli 2002, an dem die Entwicklung noch nicht durch einem Sturm kurze Zeit später gestört worden war, konnten die genotypischen Unterschiede zwischen den Haferlinien sehr gut beobachtet werden, d.h., die bespelzten Linien hatten eine höhere Lagerneigung als die nackten Linien. Nach dem Sturm lagerte fast die gesamte F₅-Prüfung (Abb. 12). Das Ergebnis zeigt, dass die Standfestigkeit des Hafers stark durch Witterungsereignisse wie Sturm und plötzliche starke Regengüsse beeinflusst wird und die genetische Veranlagung bei starkem Sturm nicht ausreichte. Das hier geprüfte Material enthielt kein Verzweigungsgen. In der landwirtschaftlichen Praxis wird immer wieder behauptet, der Nackthafer hätte eine geringere Keimfähigkeit als der Spelzhafer. Dieses Argument wird von der ungeschützten Lage des Haferkeimlings beim Nackthafer abgeleitet. Durch zu scharfen Drusch kommt es zum Abschlagen des Keimlings und damit zur Minderung der Keimfähigkeit.

Kittlitz und Uhlig (1974) untersuchten die Keimfähigkeit von Nackthaferlinien in F₈ nach verschiedenen Erntezeitpunkten, Drusch- und Trocknungsverfahren. Sie konnten bei den angewendeten maschinellen Verfahren keine genetischen Unterschiede zwischen den Linien nachweisen, während beim Handausreiben Unterschiede vorhanden waren. Es wurden für Nackthafer noch tolerierbare Keimfähigkeitswerte von 85 bis 89 % gefunden.

Die vorliegenden Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfungen der Erntejahre 2000 bis 2002 zeigen im allgemeinen keinen signifikanten Unterschied zwischen Spelzformen und Nacktformen. Untersucht wurde ein umfangreiches Sortiment an Sorten in- und ausländischer Züchter (Tab. 39 und 40), die F₄-Generation (Tab. 41) und die F₅-Generation (Tab. 42). Obwohl die Keimfähigkeit des Nackthafers der des Spelzhafers im gesamten Versuch unterlegen war, konnten mit Ausnahme der F₄-Generation von Population 19 keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Die Keimfähigkeit im Sortiment lag beim Nackthafer zwischen 85 und 88 %, beim Spelzhafer zwischen 87 und 91 %. Die bespelzten und nackten Linien in der F₄-Generation der Population 13 und 14 unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Bei den nackten Linien betrug der Wert zwischen 88 und 93 % und bei den bespelzten Linien zwischen 90 und 92 %. In der F₅-Prüfung des Erntejahres 2002 wurden Werte zwischen 96 und 98 % festgestellt. Das verwendete Material für die Keimfähigkeitsprüfungen wurde mit dem

Parzellenmähdrescher mit einer Einstellung, die für Hafer typisch ist, gedroschen. Kittlitz und Uhlig (1974) ernteten die Haferformen für die Keimfähigkeitsprüfung mit Einstellungen für Weizen und Roggen, bei denen der Drehzahlbereich der Dreschtrommel über den Hafereinstellungen liegt.

Peltonen-Sainio et al. (2001) untersuchten die Abhängigkeit der Keimfähigkeit von der Feuchtigkeit des Kornes bei der Ernte. Sie stellten fest, dass Nackthafersorten schlechtere Keimfähigkeiten als Spelzhafersorten besitzen. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 20 – 25 % bei der Ernte, wie es in Finnland üblich ist, wurde die Keimfähigkeit bei Nackthafer um 6 % und bei Spelzhafer um 1 % gegenüber trockenen Erntebedingungen verringert.

Die physiologisch günstige Fett- und Proteinzusammensetzung des Hafers sind seit längerer Zeit bekannt, ebenso der hohe Anteil wertvoller Vitamine und Mineralstoffe. Ein weiterer interessanter Inhaltsstoff, das sogenannte Beta-Glucan, wird zunehmend diskutiert. Es handelt sich hierbei um einen extrem quellfähigen Mehrfachzucker, der ernährungsphysiologisch als löslicher Ballaststoff wirkt. Er nimmt etwa vier bis fünf Prozent des Korngewichts ein.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Rohproteingehalt und der Fettgehalt an einem Spektrum von Hafersorten, den Gaterslebener Akzessionen und F₄- bzw. F₅-Linien aus Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer geprüft. Das Spelzhafersortiment zeigte in den Erntejahren 2000, 2001 und 2002 Rohproteinwerte zwischen 12 und 16 %, während die in- und ausländischen Nackthafersorten Rohproteingehalte von 14 bis 22 % in den drei Jahren aufwiesen (Tab. 45). Die Untersuchungen wurden an Haferkörnern durchgeführt, weil der aufwendige Schälvorgang nicht im nötigen Umfang durchgeführt werden konnte. Für die Messung mit dem NIT-Gerät INFRATEC 1255 wurden ca. 30 g Probenmaterial gebraucht.

Bei den Gaterslebener nackten Akzessionen ergab die Messung des Rohproteingehaltes mit dem NIT-Gerät im Jahr 2001 Rohproteinwerte zwischen 17 und 24 % und im Jahr 2002 zwischen 16 und 24 %. Aus den Ergebnissen ist auf genetische Variation im Merkmal zwischen den Akzessionen zu schließen. Das unterschiedliche TKG findet bei dieser Betrachtung keine Berücksichtigung. Es wird oft vermutet, dass zwischen dem TKG und dem Rohproteingehalt eine negative Korrelation besteht. In diesen Untersuchungen konnte das nicht bestätigt werden (Abb. 17).

Der Vergleich zwischen den Populationen zeigt, dass die bespelzten Nachkommen bei der Population 19 einen höheren Rohproteingehalt als der bespelzte Elter

aufwiesen. Bei der Population 13 und 14 lagen die bespelzten Linien noch unter denen der bespelzten Eltern. Die nackten Nachkommenschaften zeigten in der Regel Rohproteingehalte, die unter dem nackten Elter lagen.

In den Arbeiten von Zarkadas et al. (1995a, b) werden Untersuchungen zur Proteinqualität und Aminosäurezusammensetzung von zwei kanadischen Spelz- und zwei Nackthaferarten dargestellt. Die untersuchten Nackthaferarten hatten einen Proteingehalt von 13,75 und 14,40 %. Die Proteingehalte der Spelzhaferarten lagen ungeschält bei 10,75 und 11,93 %, geschält bei 13,27 und 12,62 %. In der Arbeit wird vor allem die gute Balance der essentiellen Aminosäuren für zwei- bis fünfjährige Kinder (FAO Referenz EAA₉) ausgewiesen. Nackthafer sind besonders durch ihren hohen Proteingehalt und trotzdem vorhandenen hohen Lysingehalt in der menschlichen und tierischen Ernährung ernährungsphysiologisch wertvoll.

Hafer besitzt gegenüber allen anderen Getreiden den höchsten Ölgehalt und eine äußerst günstige Fettsäurezusammensetzung. In der Literatur sind Angaben über den Ölgehalt im bespelzten Korn von vier bis sechs Prozent zu finden. Dieser Gehalt kann nach Welch (1995) allerdings auch unter zwei bzw. bei sieben bis acht Prozent liegen. Im entspelzten Haferkorn liegen die Werte zwischen fünf und neun Prozent. Der Ölgehalt wird durch den Genotyp und durch die Umwelt beeinflusst. Bei niedrigen Wachstumstemperaturen kann der Ölgehalt höher liegen und auch die Fettsäurezusammensetzung kann beeinflusst werden. Das Öl setzt sich zum größten Teil aus langkettigen Fettsäuren wie Linol- (18:2), Öl- (18:1) und Palmitinsäure (16:0) zusammen (Welch, 1995). Auch Groh et al. (2001) betonten den Ölgehalt und die chemische Komposition des Korns als wichtige zusätzliche Qualitätsfaktoren für Nahrungsmittel. Die Ölgehaltsbestimmung für die eigenen Untersuchungen wurde an entspelzten Haferkernen der F₅-Generation durchgeführt, um einen direkten Vergleich mit Nackthaferkörnern zu erreichen. Die Analyse wurde mit einer Soxhlet-Apparatur durchgeführt. Durch Zunahme des Ölgehaltes von Hafer wird der Energiewert des Korns gesteigert und die Extraktion von Haferöl zur Verwendung als ein Gemüseöl verbessert (Holland et al., 2001). Diesen Autoren gelang es, durch wiederholte Selektion aus Kreuzungen zwischen *A. sterilis* und *A. sativa* Linien mit einem Ölgehalt von über 17 % zu finden. Die Selektion nach hohen Ölgehalten verbesserte sogar die Ölqualität, verschlechterte aber allerdings die Kornqualität und die agronomischen Eigenschaften. Da der Fettgehalt als Qualitätsmerkmal züchterisch beeinflussbar ist, ergeben sich für beide Selektionsrichtungen sinnvolle Möglichkeiten. Für die Extrusion werden fettarme Haferpartien gewünscht und für die Flok-

kenproduktion fettreiche. Ein aktuelles Beispiel ist die fettreiche Hafersorte Matilda aus Schweden mit über 10 % Rohfett.

Die unterschiedlich große Differenz zwischen Ölgehalt im Spelzhaferkorn und im Kern wird durch den Spelzenanteil bedingt (Tab. 47). In Abb. 18 ist zu sehen, dass der Ölgehalt in entspelzten Haferkernen und Nackthaferkörnern im Bereich von 6,5 bis 9 % liegt. Dieses Ergebnis lässt sich durch den sehr geringen Ölgehalt in den Spelzen erklären. Die Darstellung zeigt, dass sich Linien mit einem hohen Öl- und Proteingehalt selektieren lassen.

Die Beziehung zwischen Rohprotein- und Ölgehalt wird in Abb. 18 dargestellt. Es ist eine negative, wenn auch nicht signifikante Korrelation zwischen diesen beiden Qualitätsmerkmalen zu erkennen. Diese Korrelation wurde bei Spelzhaferkernen ($r = -0,35$) und bei Nackthaferkörnern ($r = -0,25$) festgestellt und ist im Stoffwechsel der Pflanze begründet. Welch (1995) fand eine signifikant negative Korrelation zwischen Protein- und Ölgehalt bei 129 Sommerhafersorten und 40 Winterhafersorten.

Welch (1995) berichtete, dass bei Winterhafer der Ölgehalt höher und der Proteingehalt niedriger ist, ganz im Gegensatz zu Sommerhafer. Die oben erläuterte negative Korrelation kann durch eine Stickstoffdüngung noch verstärkt werden. Auf den Einfluss der Düngung und der Aussaatzeit auf den Gehalt an Protein, Öl und Beta-Glucan weisen auch Humphreys et al. (1994) hin.

Der Spelzengehalt von Haferkörnern hängt im wesentlichen von der Umwelt und genetischen Faktoren ab. Er variierte von 20 % bis 36 % (Welch, 1995). Auch Evans (2000) beschrieb erhebliche Unterschiede im Spelzengehalt zwischen den Sorten. Die eigentliche Spelze setzt sich aus Deck- (Lemma) und Hüllspelze (Palea) des Blütchens zusammen. Sie besteht zum größten Teil aus Zellwandmaterial (Zellulose, Hemizellulose), aber auch Lignin und Mineralstoffe bilden einen bedeutenden Anteil. Die Funktion der Spelze besteht darin, den Kern, welchen sie umhüllt, vor äußeren Einflüssen zu schützen. Die Schälmaschinen fordern einen möglichst geringen Spelzengehalt bzw. hohen Kernanteil. Auch die Schälbarkeit (möglichst wenig ungeschälte Körner, hohe Ausbeute an verwertbaren Kernen, geringer Kornbruch) der Haferkörner ist ein wichtiges Kriterium für die Industrie. Bei besonders festsitzender Spelze ist die Schälbarkeit eingeschränkt und der Anteil ungeschälter Körner steigt. Die Ursache der Variabilität in der Schälbarkeit wird auf die Spelzenfarbe zurückgeführt. So sollen Weißhafersorten besser schälbar sein und einen niedrigeren Spelzengehalt besitzen als Gelbhafersorten. Dies konnte durch den Vergleich von Gelb- und Weißhafersorten der beschreibenden Sor-

tenliste des BSA (1999), den Spelzengehalt betreffend, von Herrmann und Stiewe (1999) nicht bestätigt werden. Für die züchterische Verbesserung des Spelzengehaltes bietet die Reduktion der Größendifferenz zwischen Körner erster, zweiter und dritter Ordnung einen Ansatz. Die kleineren Innenkörner wiesen einen deutlich geringeren Spelzenanteil auf. Damit ergibt sich ein geringer Spelzengehalt. Eine Züchtung auf niedrigen Spelzengehalt kann mitunter durch die negative Korrelation zum Ertrag erschwert werden (Herrmann und Stiewe, 1999). Ertragsdefizite sind aber auch häufig die Ursache von Umwelteinflüssen wie spät auftretenden Pilzkrankheiten (z.B. Kronenrost) oder hitzebedingter vorzeitiger Abreife. Die Folgen sind ein höherer Spelzengehalt und schlechtere Entspelzbarkeit.

Die in der Arbeit verwendeten Sorten wiesen Unterschiede im Spelzengehalt auf. In der beschreibenden Sortenliste des BSA (2003) erwiesen sich die Sorten Flämingslord und Spae 1108 (Neklan) als Sorten mit einem niedrigen Spelzengehalt, sie erhielten in der Bonitur des Spelzenanteils die Note drei. Die Sorte Hecht wies einen deutlich höheren Spelzengehalt mit der Boniturnote sieben auf.

Der Spelzengehalt der F₅-Nachkommenschaften variierte in den drei Populationen erheblich (Abb. 14). Die Linien der Population 19 lagen im Spelzengehalt unter dem bespelzten Elter (Flämingslord). Im Vergleich zu den anderen Populationen wies die Population 19 den geringsten Spelzengehalt auf. Auch die Nachkommenschaften der Population 14 lagen im Spelzengehalt unter dem Elter (Hecht), wiesen aber immer noch einen relativ hohen Spelzengehalt auf. Bei Population 13 nahm der bespelzte Elter (Spae 1108) eine Stellung zwischen den Linien ein.

Der Anteil bespelzter Körner wurde nur an Nackthaferformen der F₅-Generation durch Auszählung der bespelzten Körner einer Probe bestimmt. Die Nachkommenschaften aller Populationen zeigten häufig einen höheren Anteil bespelzter Körner als der nackte Elter (Abb. 15). Dies ist auf den Einfluss des bespelzten Elters zurückzuführen, aber auch auf Umwelteinflüsse. Die F₅-Linien spiegeln die genetische Konstitution der F₂-Einzelpflanzen wider und wurden ohne Selektion weitergeführt. Deshalb variiert der Anteil bespelzter Körner zwischen den F₅-Linien einer Population erheblich (Abb. 15).

Lignin und Ligninvorstufen werden bei beiden Formen erst eingelagert, wenn die Vorspelze ihr maximales Wachstum erreicht hat. Der Beginn der Lignifizierung findet sowohl in den bespelzten als auch in den nackten Formen im gleichen Entwicklungsstadium statt. Bei den nackten Formen ist die Einlagerung von Lignin allerdings auf den Bereich um das Gefäßbündelsystem begrenzt. Nackthafer behalten demzufolge die Fähig-

keit, Lignin zu synthetisieren und zu verlagern. Sie besitzen aber gegenüber dem Spelzhafer die Eigenschaft, die Menge als auch die Verteilung des Lignins genauer zu steuern (Ougham et al., 1996).

5.2 Genetik der Nacktkörnigkeit

Im Zentrum stand die Frage, ob die Nacktkörnigkeit in den Nacktformen auf verschiedene genetische Quellen zurückgeht. Dann sind in Nachkommenschaften von Kreuzungen zwischen Nacktformen (vielblütig und nackte Körner) auch reine Spelzhafertypen (2-3 blütig und bespelzte Körner) zu erwarten. Dazu wurden Kreuzungen zwischen allen im Gaterslebener Sortiment vorhandenen Nacktformen und einer Vielzahl Nacktformen von in- und ausländischen Züchtern durchgeführt. Aus den Beschreibungen zu den Gaterslebener Nackthaferakzessionen ist die Quelle für die Nacktkörnigkeit nicht in allen Fällen eindeutig identifizierbar (Tab. 4). Die beim Bundessortenamt zugelassenen Nackthaferarten gehen aber alle auf die gleiche Nackthaferquelle zurück.

Nach Valentine (1995) geht die Herkunft der Nacktkörnigkeit bei Hafer auf das von Vavilov postulierte Genzentrum in China zurück und ist seit dem fünften Jahrhundert in Europa eingeführt.

Er berichtet über den Beginn der Nackthaferneuzüchtung in Aberystwyth im Jahre 1971. Dabei wurde als Quelle für die Nacktkörnigkeit die französische Sorte Nuprime benutzt, die als Basis für hohe Expression der Nacktkörnigkeit beschrieben wurde. Valentine (1995) berichtet auch über die langjährige Nackthaferzüchtung in Salzmünde (Sorten: Magda, Salomon) und in Tschechien (Adam).

In Kanada wurde in den achtziger Jahren die Züchtung von Nackthafer und die Selektion auf hohe Ausprägung des Merkmals Nacktkörnigkeit in den Sorten Tibor und Lotta, Hill, Percy und Terra vorangetrieben. In den USA wurde 1987 die Sorte Pennuda gezüchtet, und es wurde 1991 ein gemeinsames Programm mit den kanadischen Züchtern begonnen. In Adelaide in Australien begannen die Arbeiten 1977 mit der Nackthaferquelle der kanadischen Sorte Terra. Sie verwendeten für ihre Züchtung auch Semi-dwarfstypen (Dolphin, Dw6) und ölreiche Typen (CI 4492).

Aus den weltweiten Anstrengungen in der Nackthaferzüchtung und dem Austausch von Genquellen zwischen den Züchtern ist nicht zu ersehen, inwieweit bei der Züchtung tatsächlich auf unabhängige Genquellen zurückgegriffen wurde.

Jenkins und Hanson (1976) führten Kreuzungen zwischen fünf Nacktformen durch. In ihrer Arbeit zeigten alle F₁-Nachkommenschaften typische Nacktkörnigkeit. Bei jeder

F₂-Population wurden in mehreren hundert Pflanzen je Kreuzung keine bespelzten Phänotypen gefunden. Er vermutet, dass bei den fünf verwendeten nackten Genotypen (As 78, Manu, Caesar, Nuprime, AJ 86/2/1) die Nacktkörnigkeit auf die gleiche Genquelle zurückgeht.

In der vorliegenden Arbeit waren alle F₁-Pflanzen der 41 gelungenen Kreuzungen vielblütig. Von allen F₁-Einzelpflanzen (133 Pflanzen) wurde die F₂-Generation angebaut. Nach eingehender Suche während der Vegetation nach spaltenden Nachkommenschaften für das Merkmal Vielblütigkeit wurden 36 Kreuzungen geerntet. Bei der Analyse der Ernte zeigten sechs Kreuzungskombinationen Aufspaltung für das Merkmal Vielblütigkeit und Kornbonitur. Dies waren :

NK1	AVE 2842 Konradin (deutsch)	x AVE 1357 Nuprime (französisch)
NK8	AVE 1296 Caesar (deutsch)	x AVE 2841 (französisch)
NK16	AVE 1582 Terra (kanadisch)	x AVE 2841 (französisch)
NK32	AVE 1287 (finnisch)	x AVE 2842 Konradin (deutsch)
NK43	Salomon (deutsch)	x AVE 1287 (finnisch)
NK47	AVE 1190 (chinesisch)	x AVE 2728 (deutsch)

In der Kreuzung NK8 mit den Eltern AVE 1296 (Deutschland) und AVE 2841 (Frankreich) wurde der größte Anteil (27 Pflanzen) an 2-3 blütigen und bespelzten Pflanzen gefunden (Tab. 49). In der Kreuzungsnachkommenschaft NK16 mit den Eltern AVE 1582 (Kanada) und ebenfalls AVE 2841 (Frankreich) traten in der F₂-Generation 25 2-3 blütige und bespelzte Pflanzen auf. In vier weiteren Kreuzungen (NK1, NK32, NK43 und NK47) wurden eine bis fünf 2-3 blütige bespelzte Pflanzen gefunden.

In der F₃-Generation der Nachkommenschaften von F₂-Pflanzen mit Spelzhafermerkmalen (B, B+, b, b+ sowie Zwischenstufen) und zum Vergleich angebaute Nachkommenschaften von nackten F₂-Pflanzen (N, n) wurden während der Vegetation rein bespelzte Einzelpflanzen beobachtet. In Tab. 50 werden die Ergebnisse der Bonitur der F₂- und F₃-Generation der geernteten rein bespelzten Kreuzungsnachkommenschaften dargestellt. Auch die zum Vergleich angebauten nacktkörnigen F₂-Nachkommenschaften wiesen in der F₃ bespelzte Typen auf.

Diese Aufspaltungen weisen auf unterschiedliche Gene in den verwendeten Gaterslebener Akzessionen hin. Deutlich wird das Vorhandensein einer anderen genetischen Grundlage für Nacktkörnigkeit in den Kreuzungen mit der Akzession AVE 2841 französischer Abstammung.

Genauere Aufschlüsse über die Vererbung der Nacktform können aber nur weitere genetische Untersuchungen geben. Beim Selbstbefruchter Hafer bieten sich hier die Prüfung von Einzelpflanzennachkommenschaften und gezielte Kreuzungen zwischen den herauspaltenden Spelzhafertypen und den Spelzhafersorten an. Bei unterschiedlicher genetischer Basis der Nacktkörnigkeit ist dann mit dem Herausspalten seltener Typen zu rechnen, die zu homogenen Linien entwickelt werden können. Schließlich kommt auch der Markierung der für Nacktkörnigkeit verantwortlichen Gene große Bedeutung zu. So konnte Kibite (2002) einen Isozymmarker identifizieren. Da jedoch mindestens weitere modifizierende Gene an der Nacktkörnigkeit beteiligt sind, ist die Suche nach weiteren Markern fortzusetzen. Hier bieten sich insbesondere molekulare Marker wie Mikrosatelliten oder AFLP-Marker an.

6 Zusammenfassung

Die durchgeführten Experimente dienen der Analyse des Ertragspotentials von Nackthafer. Bei besserer Ertragsleistung lässt sich der Anbauumfang erhöhen. Damit können seine ernährungsphysiologischen Vorteile gegenüber der bespelzten Form mehr in den Vordergrund gerückt werden. Dabei spielt die Ausprägung des Ährchentyps, 2-3 blütig bzw. vielblütig, eine wesentliche Rolle, da sie eng mit der Ausbildung der Bespelzung bzw. Nacktkörnigkeit verbunden ist. Eine Brechung dieser Beziehung wurde bisher nicht beobachtet. Weder im Gaterslebener Sortiment noch in in- und ausländischen Nackthaferarten sind Formen mit 2-3 blütigen Ährchen und nackten Körnern vorhanden. Die Kornausbildung ist bei Ährchen mit wenig Blüten gleichmäßiger und das TKG bzw. der Ertrag höher. Das ist für die Verarbeitung wünschenswert.

Zunächst wurden drei Populationen aus Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthaferarten von der F₂- bis zur F₅-Generation auf ihre Spaltungsverhältnisse hinsichtlich Rispentyp und Kernbespelzung untersucht. Die Bedeutung der Ertragskomponenten bei Spelz- und Nackthafer wie Korngewicht, Kornzahl je Rispe und TKG sowie deren Wechselbeziehungen wurde über eine Ertragsanalyse in der F₄- und F₅-Generation erfasst.

Kreuzungen innerhalb von Nackthaferformen sollten außerdem die noch nicht vollständig geklärte Genetik der Nacktkörnigkeit näher untersuchen.

Die Ergebnisse der Versuche sind im Folgenden zusammengefasst:

Kreuzungen zwischen Spelz- und Nackthafer

Detaillierte Auswertungen erfolgten an den Kreuzungspopulationen Spae 1108 x Bullion (Population 13), Hecht x Mozart (Population 14) und Flämingslord x SAL 11169 (Population 19). Die F₁-Einzelpflanzen waren alle vielblütig und nacktkörnig. Bei der Mehrzahl der F₂-Einzelpflanzen wurde in allen drei Kreuzungen eine unvollständige Ausprägung des Rispentyps und der Kornbonitur gefunden. Diese trat mehr als doppelt so häufig auf wie die der reinen Formen. Das Vorhandensein von Zwischentypen zeigt, dass die Nacktkörnigkeit nicht vollständig dominant ist. Der Zusammenhang zwischen Rispen- und Kornbonitur war in allen Kreuzungen ähnlich. Bei den aus F₂-Einzelpflanzen entwickelten Geschwisterlinien in der F₅-Generation zeigten die nackten Linien eine höhere Kornzahl, ein niedrigeres Korngewicht und ein niedrigeres Tausendkorngewicht als die bespelzten Linien. Es wurden aber auch Geschwisterlinien gefunden, die ein relativ hohes Ertragspotential und eine geringe Differenz zwischen nackten

und bespelzten Linien zeigten. In der vorliegenden Arbeit ließen sich für Kornzahl und Korngewicht deutliche Unterschiede nicht nur zwischen den beiden Haferformen, sondern auch zwischen zwei Orten feststellen.

Bei Untersuchungen zum Öl- und Proteingehalt übertraf der Nackthafer den Spelzhafer. Nach Entspelzung der Körner konnte kein Unterschied im Ölgehalt zwischen Spelz- und Nackthaferformen nachgewiesen werden. Die Nachkommenschaften zeigten einen unterschiedlichen Proteingehalt im Vergleich zu ihren Eltern. Im Allgemeinen lag der Proteingehalt der Nachkommenschaft höher als der des bespelzten Elters und niedriger als der des nackten Elters. Es konnten aber auch in der Population 19 nackte Linien gefunden werden, die einen höheren Proteingehalt als der nackte Elter aufwiesen. Die Keimfähigkeit des Nackthafers war kaum niedriger als die des Spelzthafers. Es konnten bei Sorten und Stämmen sowie der F₄-Generation (mit Ausnahme der Population aus der Kreuzung Flämingslord x SAL 11169) und der F₅-Generation keine signifikanten Unterschiede gefunden werden.

Kreuzungen zwischen Nackthaferformen

Die Frage nach genetischer Variabilität der Nacktkörnigkeit sollte durch Kreuzungen von Nackthaferformen untereinander geklärt werden. Das Vorkommen rein bespelzter Nachkommenschaften in der F₂- und F₃-Generation von Kreuzungen zwischen Gaterslebener Akzessionen und Nackthafersorten zeigte, dass es mehr als nur ein Gen für die Ausprägung der Nacktkörnigkeit geben muss. Die Aufspaltungen wiesen auf unterschiedliche Gene in den verwendeten Gaterslebener Akzessionen hin. Eine besonders hohe Anzahl von hinsichtlich Nacktform abweichender Typen wurde in den beiden Kreuzungen mit der französischen Akzession AVE 2841 gefunden.

7 Summary

This experimental work was done to explore the yield potential of naked oat. Higher yield is necessary to increase acreage of naked oat. Then the advantage of its nutritional value in comparison with the husked oat form can be promoted. The husked form is closely linked with 2–3 florets per spikelet and the hull-less form with up to 8 florets. Neither in the gene bank collection of Gatersleben nor in domestic and in foreign naked oat varieties forms with 2-3 florets and naked grain are available. With few florets the kernels are more uniform, have higher TGW (thousand grain weight) and a higher yield is expected. This is preferred in the processing.

In the first experiment three populations from crosses between husked and naked oat varieties were used to observe the segregation ratio concerning panicle type (number of florets per spikelet) and husky grain from the F₂- to the F₅-generation. The importance of yield components like grain weight, grain number per panicle and TGW as well as their relationship were recorded for husked and naked oats by yield analysis in the F₄- and F₅-generation.

In a second experiment crosses between different naked oat forms were made to investigate the still not completely understood genetics of hull-less.

The results of the experiments are summarized as follows:

Husked oat x naked oat

The crosses Spae 1108 x Bullion (population 13), Hecht x Mozart (population 14), and Flämingslord x SAL 11169 (population 19) were evaluated in detail. All F₁ individual plants were multiflorous and had naked grains. Most of the F₂ plants showed an incomplete expression of panicle type and grain form in all three populations. Intermediate types were observed more than twice as frequently as pure forms. The existence of intermediate types shows that the character hull-less is not completely dominant. The relationship of panicle type to grain type was similar in all crosses. For sib lines at the F₅-generation, which were derived from individual F₂-plants, the naked lines showed a higher grain number, a lower grain weight and a lower TGW than the husked lines. There were also sib lines, which showed relatively high yield potential and a low difference between naked and husked lines. In the present work clear differences can be seen for grain number and grain weight, not only between the two oat forms, but also between the two locations used for testing.

Concerning analysis of oil and protein content, the naked oat exceeded the husked form. But after hulling of the grain the husked forms cannot be differentiated from naked forms regarding their oil content. Generally, the protein content of progenies was higher than that of

the husked parent and lower than that of the naked parent. In the cross between Flämingslord x SAL 11169 naked lines were found which showed higher protein content than the naked parent. The germination ability of naked oat was not remarkably lower than that of husked oat. The differences were not significant in the F₄-generation with the exception of population 19 and the F₅-generation.

Naked oat x naked oat

Genetic variability of nakedness was investigated with the analysis of crosses between naked forms of oat. The existence of pure husked plants in the F₂- and F₃-generation from crosses between gene bank accessions (IPK Gatersleben) and naked oat varieties indicates that there should be more than one gene for expression of nakedness. The segregation indicated different genes in the accessions used. Especially the two crosses with the French accession AVE 2841 contained several plants with a habitus different from the pure naked type.

8 Literaturverzeichnis

Ahmad, S. T., 1973: Breeding oats for high yield and for resistance to crown rust in India. *Euphytica* 22: 351 – 356.

Aichele D., H. W. Schwegler, 1991: Unsere Gräser. 10. Auflage, Franckh – Kosmos Verlag, Stuttgart, 114 – 115.

Anonym, 2001: 2002 Cereal guide to cultivar and pesticide selection. Agriculture and Forestry, Farm Extension Services, Publication No. 100B Agdex No. 110.32.

Baldanzi, M., 1998: Oat production and cultivars in Italy. *Oat Newsletter* 44.

Ball, R., 1999: Naked oats versus oat groats in weaner diets. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 1 – 2.

Banas, A., A. Dahlqvist, H. Debski, P.-O. Gummesson and S. Stymne, 2000: Accumulation of storage products in oat during kernel development. *Biochemical Society Transactions* 28: 705 – 707.

Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), 1999: Versuchsergebnisse aus Bayern, Hafer Qualitätsergebnisse. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Behall, K. M., D. J. Scholfield and J. Hallfrisch, 1997: Effect of beta-glucan level in oat fiber extracts on blood lipids in men and women. *J. Am. Coll. Nutr.* 16: 46 – 51.

BMELF, 2000: Stat. Jahrbuch des BMELF (und frühere Jahrgänge), Bonn.

BMELF, 2002: Stat. Jahrbuch des BMELF (und frühere Jahrgänge), Bonn.

Boland, P. and D. A. Lawes, 1973: The inheritance of the naked grain character in oats studied in a cross between the naked variety Caesar and the husked variety BO 1/11. *Euphytica* 22: 582 – 591.

BSA, 1999: Beschreibende Sortenliste 1999 Getreide, Mais, Leguminosen, Hülsenfrüchte. Bundessortenamt (Hrsg.), Landbuch – Verlag, Hannover.

BSA, 2000a: Beschreibende Sortenliste 2000 Getreide, Mais, Leguminosen, Hülsenfrüchte. Bundessortenamt (Hrsg.), Landbuch – Verlag, Hannover.

BSA, 2000b: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Bundessortenamt (Hrsg.), Landbuch – Verlag, Hannover.

BSA, 2002: Beschreibende Sortenliste 2002 Getreide, Mais, Leguminosen, Hülsenfrüchte. Bundessortenamt (Hrsg.), Landbuch – Verlag, Hannover.

- BSA, 2003: Beschreibende Sortenliste 2003 Getreide, Mais, Leguminosen, Hülsenfrüchte. Bundessortenamt (Hrsg.), Landbuch – Verlag, Hannover.
- Burrows, V. D., S. J. Molnar, N. A. Tinker, T. Marder, G. Butler and A. Lybaert, 2001: Groat yield of naked and covered oat. *Can. J. Plant Sci.* 81: 727 – 729.
- Cabral, C. B., S. C. K. Milach, L. C. Federizzi, C. A. Bothona, I. Taderka, L. M. Tisian and E. Limberger, 2000: Genetics of naked grain oats in crosses with Brazilian genotypes. *Genetics and Molecular Biology* 23: 851 – 854.
- Clifford, B. C., 1995: Disease, pest and disorders of oats. In: R. W. Welch (ed.): *The oat crop. production and utilization*. Chapman and Hall, London, 252 – 278.
- Coffman, F. A. and J. Mackey, 1959: Hafer (*Avena sativa* L.). In: T. H. Roemer und W. Rudolf (Hrsg.): *Handbuch der Pflanzenzüchtung*. Bd. II, 2. Aufl., Paul Parey Verlag, Berlin – Hamburg, 427 – 531.
- Cuddeford, D., 1995: Oats for animal feed. In: R. W. Welch (ed.): *The oat crop. production and utilization*. Chapman and Hall, London, 321 – 358.
- Danert, S., 1972: Zur Systematik von *Avena sativa* L. und zur Beurteilung von *Avena nuda* Höj. *Kulturpflanze* 19: 45 – 51.
- Doehlert, D. C., M. S. McMullen and J. J. Hammond, 2001: Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *Crop Sci.* 41: 1066 – 1072.
- Evans, E. J., 2000: Current practice in cereal production. In: P. C. Morris and J. H. Bryce (eds.): *Cereal biotechnology*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge – England, 1 – 15.
- Fischbeck, G., 1985: Hafer. In: W. Hoffman, A. Mudra und W. Plarre (Hrsg.): *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*. Paul Parey Verlag, Berlin – Hamburg, 97 – 109.
- Frensham, A. B., A. R. Barr, B. R. Cullis and S. D. Pelham, 1998: A mixed model analysis of 10 years of oat evaluation data: use of agronomic information to explain genotype by environment interaction. *Euphytica* 99: 43 – 56.
- Ganßmann, W. and K. Vorwerck, 1995: Oat milling, processing and storage. In: R. W. Welch (ed.): *The oat crop. production and utilization*. Chapman and Hall, London, 369 – 405.
- Groh, S., S. F. Kianian, R. L. Phillips, H. W. Rines, D. D. Stuthman, D. M. Wesenberg and R. G. Fulcher, 2001: Analysis of factors influencing milling yield and their association to other traits by QTL in two hexaploid oat populations. *Theor. Appl. Genet.* 103: 9 – 18.

Haas, M., 2000: The usage of NIT – (Near-Infrared-Transmission) technology in the breeding of quality oats. Oats Newsletter 46.

Hardin, B., 2000: Oat oil gives bread a soft touch. ARS News & Information, USDA.

Herrmann, M. und G. Stiewe, 1999: Züchterische Optimierung von Industriehafer. Vortrag der 12. Internationalen Tagung zu Problemen der Getreideverarbeitung und Getreidechemie: Funktionelle Getreidelebensmittel am 20.09.1999, Bergholz-Rehbrücke.

Hoekstra, G. J., V. D. Burrows and D. E. Mather, 2003: Inheritance and expression of the naked-grained and fatuoid characters in oat. Crop Sci. 43: 57 – 62.

Hoffman, L. A., 1995: World production and use of oats. In: R. W. Welch (ed.): The oat crop. production and utilization. Chapman and Hall, London, 34 – 60.

Holland, J. B., K. J. Frey and E. G. Hammond, 2001: Correlated responses of fatty acid composition, grain quality and agronomic traits to nine cycles of recurrent selection for increased oil content in oat. Euphytica 122: 69 – 79.

Humphreys, D. G., D. L. Smith and D. E. Mather, (1994): Nitrogen fertilizer and seedling date induced changes in protein, oil and β -glucan contents of four oat cultivars. J. Cereal Sci. 20: 283 – 290, zit. in: Doehlert, D. C., M. S. McMullen and J. J. Hammond, (2001): Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. Crop Sci. 41: 1066 – 1072.

Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, 2003: Standort Julius-Kühn-Versuchsfeld. Landwirtschaftliche Fakultät, Martin-Luther-Universität Halle (Saale).

Jenkins, G. and P. R. Hanson, 1976: The genetics of naked oats (*Avena nuda* L.). Euphytica 25: 167 – 174.

Karmohova, G., 1998: Oat breeding in the Priamury region of Russia. Oat Newsletter 44.

Katz, D. L., 2001: A scientific review of the health benefits of oats. The Quaker Oats Company, 1 – 11.

Kestin, M., R. Moss, P. M. Clifton and P. Nestel, 1990: Comparative effects of three cereal brans on plasma lipids, blood pressure, and glucose metabolism in mildly hypercholesterolemic men. Am. J. Clin. Nutr. 52: 661 – 666.

Kibite, S., 2002: An isozyme marker linked to the N-1 gene governing nakedness in oat. Oat Newsletter 48.

Kibite, S. and G. Clayton, 2000: Effects of the *DW6* dwarfing gene on agronomic and grain quality features of oats. Poster from Lacombe Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada.

- Kittlitz, E. v., 1968: Ertrag und Ertragsbildung bei Nackthafer (*Avena nuda* L.) und einige Hinweise auf seine züchterische Bearbeitung. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 128, 325 – 334.
- Kittlitz, E. v. und M. Uhlig, 1974: Untersuchungen zur Keimfähigkeit und zur Selektion druschfester Formen bei Nackthafer (*Avena nuda* L.). Z. Pflanzenzüchtung 72: 305 – 316.
- Land und Forst, 2003: Haferfläche 2002 konstant. Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben, Ausgabe 6 / 2003.
- Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG), 2000: Anbauempfehlungen für Sommergetreide, LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg, 2 – 3.
- Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG), 2003: Ergebnisse Landessortenversuche Sommerhafer, LLG Sachsen – Anhalt, Bernburg.
- Lawes, D. A. and P. Boland, 1974: Effect of temperature on the expression of the naked grain character in oats. Euphytica 23: 101 – 104.
- Leggett, J. M. and G. S. Markhand, 1995: The genomic identification of some monosomics of *Avena sativa* L. cv. Sun II using genomic in situ hybridization. Genome 38: 747 – 751.
- Leggett, J. M. and H. Thomas, 1995: Oat evolution and cytogenetics. In: R. W. Welch (ed.): The oat crop. production and utilization. Chapman and Hall, London, 120 – 144.
- Li, C. D., B. G. Rossnagel and G. J. Scoles, 2000: The development of oat microsatellite markers and their use in identifying relationships among *Avena* species and oat cultivars. Theor. Appl. Genet. 101: 1259 – 1268.
- Linares, C., E. Ferrer and A. Fominaya, 1998: Discrimination of the closely related A and D genomes of the hexaploid oat *Avena sativa* L. Proc. Natl. Acad. Sci. 95: 12450 – 12455.
- Linares, C., M. L. Irigoyen and A. Fominaya, 2000: Identification of C-genome chromosomes involved in intergenomic translocations in *Avena sativa* L., using cloned repetitive DNA sequences. Theor. Appl. Genet. 100: 353 – 360.
- Linnert, G., 1997: Gesetzmäßigkeiten und Anomalien der Chiasmabildung. In: Werner Odenbach (Hrsg.): Biologische Grundlagen der Pflanzenzüchtung. Parey Buchverlag, Berlin, 182 – 194.
- Magness, J. R., G. M. Markle and C. C. Compton, 1971: Oats. food and feed crops of the United States, Bulletin 828.
- Maier, S. M., N. D. Turner and J. R. Lupton, 2000: Serum lipids in hypercholesterolemic men and women consuming oat bran and amaranth products. Cereal Chem. 77: 297 – 302.

- Mäkelä, P., L. Väärälä and P. Peltonen-Sainio, 1996: Agronomic comparison of Minnesota-adapted dwarf oat with semi-dwarf, intermediate, and tall oat lines adapted to northern growing conditions. *Can. J. Plant Sci.* 76: 727 – 734.
- Menke, K.–H. und W. Huss, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. 3. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 217.
- Meyer, D., 1993: Anbau und Züchtung. In: W. Seibel und W. Steller (Hrsg.): Spelz- und Schälgetreide. Behr's Verlag, Hamburg, 25 – 28.
- Milach, S. C. K., H. W. Rines and R. L. Phillips, 1997: Molecular genetic mapping of dwarfing genes in oat. *Theor. Appl. Genet.* 95: 783 – 790.
- Mlinar, R., 1998: Oat performance in the Republic of Croatia. *Oat Newsletter* 44.
- Molfese, E. R., 1998: Advances in determination of the groat content in the oats kernels through NIRS. *Oat Newsletter* 44.
- Morris, P. C. and J. H. Bryce, 2000: Cereals. In: P. C. Morris and J. H. Bryce (eds.): *Cereal biotechnology*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge – England, 1 – 15.
- Moule, C., 1972: Contribution a l'étude de l'hérédité du caractère 'grain nu' chez l'avoine cultivée. *Ann. Amélior. Plant* 22: 335-361, zit. in: Jenkins, G. and P. R. Hanson, 1976: The genetics of naked oats (*Avena nuda* L.). *Euphytica* 25: 167 – 174.
- Ougham, H. J., G. Latipova and J. Valentine, 1996: Morphological and biochemical characterization of spikelet development in naked oats (*Avena sativa*). *New Phytol.* 134: 5 – 12.
- Paas, E. and G. Pierce, 2002: Oats; Introduction. National Centre for AGRI-Food Research in Medicine, Canada.
- Peltonen-Sainio, P., 1994: Yield component differences between naked and conventional oat. *Agronomy Journal* 86: 510 – 513.
- Peltonen-Sainio, P., 1997: Groat yield and plant stand structure of naked and hulled oat under different nitrogen fertilizer and seeding rates. *Agronomy Journal* 89: 140 – 147.
- Peltonen-Sainio, P., S. Muurinen, M. Vilppu, A. Rajala, F. Gates and A.-M. Kirkkari, 2001: Germination and grain vigour of naked oat in response to grain moisture at harvest. *Journal of Agricultural Science* 137: 147 – 156.
- Plarre, W., 1970: Hafer, In: W. Hoffman, A. Mudra und W. Plarre (Hrsg.): *Lehrbuch der Züchtung landw. Kulturpflanzen*, Band 2, Verlag Paul Parey, Berlin, 134 – 156.
- Rabe, E., 1993: Hafer. In: W. Seibel und W. Steller (Hrsg.): *Spelz- und Schälgetreide*, Behr's Verlag, Hamburg, 256 – 263.

- Ranhotra, G. S. and J. A. Gelroth, 1995: Food uses of oats. In: R. W. Welch (ed.): The oat crop, production and utilization, Chapman and Hall, London. 409 – 430.
- Romero, A. L., J. E. Romero, S. Galaviz and M. L. Fernandez, 1998: Cookies enriched with psyllium or oat bran lower plasma LDL cholesterol in normal and hypercholesterolemic men from northern Mexico. *J. Am. Coll. Nutr.* 17: 601 – 608.
- Schönberger, H. und U. Kropf, 2000: Hafer. In: Entrup, N. L. und J. Oehmichen (Hrsg.): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 2, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 387 – 397.
- Simons, M. D., J. W. Martens, R. I. H. McKenzie, I. Nishiyama, K. Sadanaga, J. Sebesta and H. Thomas, 1978: Oats: A standardized system of nomenclature for genes and chromosomes and catalog of genes governing characters. USDA-SEA Agric. Handb. 509. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C., zit. in: S. Kibite, 2002: An isozyme marker linked to the N-1 gene governing nakedness in oat. *Oat Newsletter* 48.
- Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, 2002: Daten zur Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt.
- Stevens, E. J., K. W. Armstrong, H. J. Bezar, W. E. Griffin and J. G. Hampton, 2002: Fodder oats: an overview. *Crop and Food Research Confidential Report* 596: 1 – 9.
- Tschermak, E. V., 1910: Allgemeines über die Bastardierungs- und die Vererbungsgesetze beim Getreide, zit. in: J. Zinn and F. M. Surface, 1917: Studies on oat breeding-V: The F₁- and F₂-generations on a cross between a naked and hulled oat. *Journal of Agricultural Research* 10: 293 – 312.
- Valentine, J., 1995: Naked oat. In: R. W. Welch (ed.): The oat crop. production and utilization. Chapman and Hall, London, 504 – 527.
- Vanacker, H., C. H. Foyer and T. L. W. Carver, 1998: Change in apoplastic antioxidants induced by powdery mildew attack in oat genotypes with race non-specific resistance. *Planta* 208: 444 – 452.
- Walker, D., 2002: World and EU Oats Update. HGCA's MI Prospect 4, 15.
- Welch, R. W, 1995: The chemical composition of oats. In: R. W. Welch (ed.): The oat crop. production and utilization. Chapman and Hall, London, 279 – 312.
- White, E. M., 1995: Structure and development of oats. In: R. W. Welch (ed.): The oat crop. production and utilization. Chapman and Hall, London, 88 – 118.
- Wricke, G. and W. E. Weber, 1986: Quantitative genetics and selection in plant breeding. Walter de Gruyter und Co., Berlin.

Zarkadas, C. G., Z. Yu and V. D. Burrows, 1995a: Protein quality of three new Canadian-developed naked oat cultivars using amino acid compositional data. *J. Agric. Food Chem.* 43: 415 - 421.

Zarkadas, C. G., Z. Yu and V. D. Burrows, 1995b: Assessment of the protein quality of two new Canadian-developed oat cultivars by amino acid analysis. *J. Agric. Food Chem.* 43: 422 - 428.

Zinn, J. and F. M. Surface, 1917: Studies on oat breeding-V: The F₁- and F₂-generations on a cross between a naked and hulled oat. *Journal of Agricultural Research* 10 : 293 - 312.

9 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Entwicklung der Getreideanbauflächen in Sachsen-Anhalt	5
Abb. 2: Entwicklung der Hektarerträge wichtiger Getreidearten in Sachsen-Anhalt.....	5
Abb. 3: Aufspaltung der Nachkommenschaften der Kreuzung zwischen Spelz- und Nackthafer für den Rispentyp	26
Abb. 4: Untersuchungen zur Keimfähigkeit des Hafers	28
Abb. 5: Kastrierte Rispen und Pollenspenderrispen unter Isolierungstüten	30
Abb. 6: Anbau der F ₃ -Generation Nackthafer x Nackthafer	32
Abb. 7: Zusammenhang zwischen dem Tausendkorngewicht der Standorte Hohenthurm und Salzmünde der F ₄ -Generation der Population 19.....	48
Abb. 8: Häufigkeitsverteilung von Mehltau- und Kronenrostbefall der drei Populationen in der F ₄ -Generation	49
Abb. 9: Differenz des Ertrages bespelzter und nackter Geschwisterlinien	57
Abb. 10: Differenz des TKGs bespelzter und nackter Geschwisterlinien	58
Abb. 11: Mehлтаubonitur zweier Termine in der F ₅ -Generation	62
Abb. 12: Vergleich der Lagerbonituren zu drei Terminen in der F ₅ -Generation.....	63
Abb. 13: Zeitpunkt des Rispenschiebens der Populationen im Verhältnis zu den Eltern (in %)	64
Abb. 14: Verteilung des Spelzengehaltes (%) der bespelzten Linien in der F ₅ -Generation in den Populationen 13, 14 und 19	69
Abb. 15: Anteil bespelzter Körner (in %) der nackten Linien in den Populationen 13, 14 und 19	71
Abb. 16: Häufigkeitsverteilung des Rohproteingehaltes in der F ₄ -Generation der drei Populationen im Vergleich zu Eltern	75
Abb. 17: Zusammenhang zwischen dem TKG und Rohproteingehalt der bespelzten und nackten Linien der Populationen 13, 14 und 19 in der F ₅ -Generation	76
Abb. 18: Zusammenhang zwischen Rohproteingehalt von Spelzhafer- und Nackthaferkörnern und Ölgehalt von Spelzhaferkernen und Nackthaferkörnern in der F ₅ -Generation	78
Abb. 19: Spelzhaferfertiyp in einer spaltenden F ₂ -Nachkommenschaft aus der Kreuzung	

II

Nackthafer x Nackthafer.....	79
Abb. 20: Rein bespelzte und spaltende Formen der F ₃ -Generation; markiert mit Stäben	82
Abb. 21: Spelzhafertyp der F ₃ -Generation, gefunden in NK8	82
Abb. 22: Vergleich einer Nachkommenschaft der Kreuzung zwischen Nacktformen (NK8) in der F ₃ -Generation mit den Eltern	84

10 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Chemische Zusammensetzung (g/kg TM).....	6
Tab. 2: Ergebnisse LSV Sommerhafer Sachsen-Anhalt.....	14
Tab. 3: Sorten und Stämme in den Versuchen	15
Tab. 4: Gaterslebener Akzessionen	17
Tab. 5: Kreuzungsnachkommenschaften Nackt- x Nackthafer	18
Tab. 6: Übersicht der Eltern der Kreuzungen von Spelz- und Nackthafer	19
Tab. 7: Entwicklung der Kreuzungspopulationen von der F ₂ - bis zur F ₅ -Generation, aufbauend auf F ₂ -EP	20
Tab. 8: Versuchsumfänge in den einzelnen Jahren und Orten	21
Tab. 9: Übersicht der erfassten Merkmale	23
Tab. 10: Verteilung der Rispen- und Kornbonituren in der F ₂ -Generation	33
Tab. 11: Verteilung der Rispen- und Kornbonituren in der F ₃ -Generation	34
Tab. 12: Aufspaltung der F ₂ -Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der F ₂ -Nachkommenschaften in der F ₃ -Generation (Abkürzung Tab. 10 für F ₂ und Tab. 11 für F ₃) der Population 13, 14 und 19 für den Rispentyp	35
Tab. 13: Aufspaltung der F ₂ -Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der F ₂ -Nachkommenschaften in der F ₃ -Generation (Abkürzung Tab. 10 für F ₂ und Tab. 11 für F ₃) der Population 13, 14 und 19 für die Kornbonitur	36
Tab. 14: Vergleich der Aufspaltungen für den Rispentyp in der F ₂ - und F ₃ -Generation für drei Populationen	37
Tab. 15: Vergleich der Aufspaltungen für die Kornbonitur in der F ₂ - und F ₃ -Generation für drei Populationen	38

III

Tab. 16:	Aufspaltung der F ₂ -Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der Nachkommenschaften in F ₃ (Abkürzung Tab. 11) für die Merkmale Rispenbonitur und Kornbonitur in den Populationen 13 und 14	39
Tab. 17:	Aufspaltung der F ₂ -Einzelpflanzen (Abkürzung Tab. 10) und der Nachkommenschaften in F ₃ (Abkürzung Tab. 11) für die Merkmale Rispenbonitur und Kornbonitur in der Population 19	40
Tab. 18:	F ₄ -Generation der Population 13; Erfassung der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Ertragskomponenten.....	41
Tab. 19:	F ₄ -Generation der Population 14; Erfassung der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Ertragskomponenten	42
Tab. 20:	F ₄ -Generation der Population 19; Erfassung der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Ertragskomponenten	43
Tab. 21:	Varianzanalyse für Ertragskomponenten der Population 13 (n = 41) in der F ₄	45
Tab. 22:	Varianzanalyse für Ertragskomponenten der Population 14 (n = 37) in der F ₄	45
Tab. 23:	Varianzanalyse für Ertragskomponenten der Population 19 (n = 87) in der F ₄	46
Tab. 24:	Mittelwerte und Variationskoeffizienten (bespelzt und nackt) in der F ₄ -Generation der Populationen 13, 14 und 19 für die Kornzahl, das Korngewicht und das TKG von fünf Rispen	46
Tab. 25:	Korrelation zwischen Kornzahl (KZ), Korngewicht (KG) und Tausendkorngewicht (TKG) von bespelzten und nackten Hafernachkommenschaften in der F ₄ -Generation an zwei Orten	47
Tab. 26:	F ₅ -Generation: Erfassung der Rispenbonitur, der Pflanzenlänge, des Rispen-schiebens, der Krankheits- und Lagerbonituren sowie der Qualitätsmerkmale	51
Tab. 27:	Varianzanalyse der F ₅ -Prüfung (n = 80) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	53
Tab. 28:	Varianzanalyse der Population 13 in der F ₅ -Prüfung (n = 20) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	53
Tab. 29:	Varianzanalyse der Population 14 in der F ₅ -Prüfung (n = 20) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	54
Tab. 30:	Varianzanalyse der Population 19 in der F ₅ -Prüfung (n = 28) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	54

Tab. 31:	Mittelwerte in der F ₅ -Generation bei den Risipentypen bespelzt und nackt für die Merkmale Ertrag und TKG in Halle und Salzmünde	55
Tab. 32:	Varianzanalyse der Geschwisterlinien der Population 13 in der F ₅ -Prüfung (n = 4) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	56
Tab. 33:	Varianzanalyse der Geschwisterlinien der Population 14 in der F ₅ -Prüfung (n = 3) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	56
Tab. 34:	Varianzanalyse der Geschwisterlinien der Population 19 in der F ₅ -Prüfung (n = 12) an zwei Orten mit zwei Wiederholungen für den Ertrag in dt/ha und das Tausendkorngewicht in g	57
Tab. 35:	Mittelwertvergleich (multipler t-Test) zwischen Geschwisterlinien in der F ₅ -Generation für die Merkmale Ertrag und TKG der Population 13	59
Tab. 36:	Mittelwertvergleich (multipler t-Test) zwischen Geschwisterlinien in der F ₅ -Generation für die Merkmale Ertrag und TKG der Population 14	59
Tab. 37:	Mittelwertvergleich (multipler t-Test) zwischen Geschwisterlinien in der F ₅ -Generation für die Merkmale Ertrag und TKG der Population 19	60
Tab. 38:	Korrelation zwischen Kornzahl (KZ), Korngewicht (KG) und Tausendkorngewicht (TKG) von bespelzten und nackten Hafernachkommenschaften in der F ₅ -Generation an zwei Orten	60
Tab. 39:	Ergebnisse der Keimfähigkeitsprobe von Sorten und Stämmen	65
Tab. 40:	Keimfähigkeit von Sorten und Stämmen bespelzter und nackter Formen der Erntejahre 2000 – 2002	66
Tab. 41:	Keimfähigkeit der F ₄ -Generation bespelzter und nackter Linien der Ernte 2001	66
Tab. 42:	Keimfähigkeit der F ₅ -Generation bespelzter und nackter Linien der Ernte 2002	67
Tab. 43:	Spelzengehalt der F ₅ -Generation bei Spelzhafer.....	68
Tab. 44:	Anteil bespelzter Körnern der F ₅ -Generation bei Nackthafer.....	70
Tab. 45:	Rohprotein- und Ölgehalt von Sorten und Stämmen	72
Tab. 46:	Qualität der Gaterslebener Akzessionen.....	74
Tab. 47:	Mittelwertdifferenzen zwischen Ölgehalt in den Körnern und Ölgehalt in den Kernen der F ₅ -Generation	77

Tab. 48:	Verteilung der spaltenden Kreuzungsnachkommenschaften aus Nackthafer x Nackthafer in der F ₂ -Generation	80
Tab. 49:	Aufspaltung der Rispen- und Kornbonituren bei sechs Nachkommenschaften von Kreuzungen Nackthafer x Nackthafer in der F ₂ -Generation	81
Tab. 50:	Bonitur der rein bespelzten F ₃ -Einzelpflanzen von Kreuzungsnachkommenschaften (nackt x nackt) in der F ₂ - bzw. F ₃ -Generation (Rispentyp, Kornbonitur, % nackte Körner)	83

LEBENS LAUF

Vor- und Zunahme:	Asep Ginanjar Arip	
Geburtsdatum:	07.07.1968	
Geburtsort:	Garut	
Staatsbürgerschaft:	Indonesisch	
Schulbildung:	1975 – 1981	Grundschule in Paseh (Indonesien)
	1981 – 1984	Oberschule in Legok (Indonesien)
	1984 – 1987	Gymnasium in Sumedang (Indonesien)
Studium:	1987 – 1991	IKIP Bandung im Fachbereich biologische Bildung, Mathematische und naturwissenschaftliche Fakultät, Bandung Indonesien
	1994 – 1997	ITB Bandung im Fachbereich Pflanzenphysiologie, Mathematische und naturwissenschaftliche Fakultät Anfertigung einer Magisterarbeit (Biologie) zum Thema: Der Einfluss von Neem-Rindenextrakt (<i>Azadirachta indica</i>) auf das Wachstum von <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Pseudomonas solanacearum</i> sowie auf das Wachstum und die Produktion von Tomaten
Berufstätigkeit	1998 – 2000	Lehrer der Pflanzenphysiologie an der Halu-oleo Universität, Mathematische und naturwissenschaftliche Fakultät
Promotion	ab 2000	seit September 2000 Doktorand am Institut für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin Luther Universität Halle-Wittenberg

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Halle/Saale, 24. 11. 2003

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Weber, Direktor des Institutes für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, möchte ich für die Bereitstellung des Themas und die hervorragende wissenschaftliche Betreuung, für seine umsichtige und gütige Art der Anleitung und die wertvollen Hinweise bei der Anfertigung der vorliegenden Dissertation danken.

Besonderen Dank schulde ich Frau Dr. Leithold für die konzeptionelle und fachliche Betreuung der Arbeit. Mit ihrem Fundus an Wissen und Erfahrung stand sie mir immer hilfreich zur Seite und motivierte mich stets, den eigenen Horizont zu erweitern.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Ilse, Frau Schröder, Herrn Kollmorgen, Frau Beutel, Frau Sängerlaub und Herrn Dimitri Hyrb und allen Mitarbeitern des Institutes für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz für deren ständige Hilfe. Darüber hinaus möchte ich mich bei Frau Christiane Kelm und Herrn Dr. Tahiro für ihre Hilfe und bei Frau Dr. Schumann für die kritischen Hinweise bei der Schrifftlegung dieser Dissertation bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Frau für die unendliche Geduld und meiner Familie in Indonesien bedanken.

Ohne finanzielle Unterstützung in Form eines Stipendiums vom DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst) wäre ich nicht in der Lage gewesen, die vorliegende Arbeit fertigzustellen.