

Aus dem Institut für
Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik
Universität Hohenheim
Fachgebiet: Populationsgenetik
Prof. Dr. Dr. h.c. H.H. Geiger

**Methodenvergleich
zur Entwicklung von Maissorten
für den Ökologischen Landbau**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften
vorgelegt
der Fakultät Agrarwissenschaften

von
Diplom-Agrarbiologin
Henriette Burger
aus Tübingen

Stuttgart-Hohenheim
2008

Die vorliegende Arbeit wurde am 10.10.2008 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als "Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften" angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung:

21. November 2008

1. Prodekan:
Berichterstatter,
Mitberichterstatter,

1. Prüfer:
2. Prüfer:
3. Prüfer:

Prof. Dr. W. Bessei
Prof. Dr. Dr. h.c. H.H. Geiger
Prof. Dr. W. Link
Prof. Dr. W. Claupein

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ziele	1
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
1.2.1	Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“	4
1.2.2	Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“	5
1.3	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes	8
2	Material und Methoden	10
2.1	Feldversuche	10
2.1.1	Standorte und Merkmalerfassung	10
2.1.2	Versuche zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“	12
2.1.3	Versuche zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“	16
2.1.4	Versuche zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“	18
2.2	Arbeiten in den Zuchtgärten	20
2.2.1	Arbeiten zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“	20
2.2.2	Arbeiten zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“	20
2.2.2.1	Hybriden	20
2.2.2.2	Synthetics	21
2.2.3	Arbeiten zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“	21
2.3	Statistische Auswertung	22
3	Ergebnisse	29
3.1	Ergebnisse zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“	29
3.1.1	Mittelwerte	29
3.1.2	Varianzen und Heritabilitätskoeffizienten	33
3.1.3	Korrelationen zwischen einzelnen Standorten	42
3.1.4	Merkmalskorrelationen	42
3.1.5	Korrelationen zwischen Wirtschaftsweisen	47
3.1.6	Effizienz der indirekten im Vergleich zur direkten Selektion	50
3.1.7	Erwarteter direkter Selektionserfolg im Vergleich zum realisierten Selektionserfolg	51
3.1.8	Ertragsstabilität	54

3.2	Ergebnisse zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“	55
3.2.1	Mittelwerte	55
3.2.2	Ertragsstabilität	55
3.3	Ergebnisse zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“	56
3.3.1	Mittelwerte	56
3.3.2	Varianzen und Heritabilitäten	60
3.3.3	Korrelationen zwischen Wirtschaftsweisen	64
3.3.4	Ertragsstabilität	65
4	Diskussion	66
4.1	Bemerkungen zum Versuch	66
4.2	Was bedeutet „Züchtung für den Ökologischen Landbau“	67
4.3	Statistische Besonderheiten der Auswertung vergleichender Versuche bei ökologischer vs. konventioneller Wirtschaftsweise	69
4.4	Von der Variation zur Adaptation	73
4.4.1	Zuchtmethodische Vorbemerkungen	73
4.4.2	Schaffung genetischer Ausgangsvariation	73
4.4.3	Selektion und Bildung von Sorteneltern	75
4.4.3.1	Selektion	75
4.4.3.2	Bildung von Sorteneltern	78
4.4.4	Prüfung von Experimentalsorten	79
4.4.4.1	Effekte der Selektion	79
4.4.4.2	Einfluss der Sortenstruktur	80
4.4.4.3	Landrassen als Genetische Ressourcen	83
4.4.4.4	Phänotypische Stabilität	86
4.5	Züchterische Konsequenzen	87
5	Zusammenfassung	89
5.1.	Zusammenfassung	89
5.2	Summary	92
6	Literatur	95
7	Anhang	99

1 Einleitung

1.1 Ziele

Weltweit hat der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzflächen, die nach IFOAM¹-Standards ökologisch bewirtschaftet werden, zugenommen (WILLER und YUSSEFI, 2005). Auch in Deutschland hat der Ökologische Landbau in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Während bis in die 1980er Jahre die Entscheidung von Landwirten, ihre Betriebe ökologisch zu bewirtschaften, hauptsächlich Ergebnis umweltpolitischer oder ethisch-philosophischer Weltanschauungen war, sind heutzutage auch betriebswirtschaftliche Überlegungen ausschlaggebend. Auf dem deutschen Lebensmittelmarkt ist derzeit die Nachfrage nach ökologisch erzeugten Produkten größer als das von deutschen Betrieben bereitgestellte Angebot (DIE ZEIT, 18.01.2007). Im Zusammenhang mit einer stärker werdenden betriebswirtschaftlichen Orientierung im Ökologischen Landbau wird die Sortenwahl auch hier zunehmend mehr unter den Aspekten einer gezielten Betriebsmittelwahl gesehen.

Für die kommerzielle Pflanzenzüchtung stellt sich deshalb die Frage, ob die Zuchtziele und der Sortentyp auf die spezifischen Anforderungen der ökologischen Wirtschaftsweise abgestimmt werden müssen. Aus züchterischer Sicht unmittelbar hiermit verknüpft sind die Fragen nach der effektivsten Selektionsstrategie und der Wahl des am besten geeigneten züchterischen Ausgangsmaterials.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde von der Universität Hohenheim und der KWS SAAT AG von 2004 bis 2006 ein Forschungsprojekt durchgeführt, das vom "Bundesprogramm Ökologischer Landbau" gefördert wurde. In diesem Projekt diente die Fruchtart Mais als Beispiel. Beim Anbau unter ökologischen Bedingungen müssen Maissorten neben pflanzenbaulichen Standardkriterien eine Reihe zusätzlicher Anforderungen erfüllen. Es lässt sich hierbei ein Zusammenspiel verschiedener genetisch bedingter Wuchs- und Entwicklungseigenschaften beobachten, die eine wichtige Bedeutung für den ökologischen Anbau haben: Da das Saatgut im Ökologischen Landbau nicht chemisch gebeizt wird, ist eine genetisch verankerte gute Keimfähigkeit entscheidend für den Feldaufgang. Eine daran anschließende rasche Jugendentwicklung führt zu einer

¹ IFOAM = International Federation of Organic Agriculture Movements

erhöhten Konkurrenzkraft gegenüber Beikräutern. Diese Eigenschaft ist neben der Toleranz gegen mechanische Beikrautbekämpfung eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Pflanzenentwicklung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus, da dort gemäß den geltenden Richtlinien keine chemischen Herbizide verwendet werden dürfen. Da außerdem keine synthetischen Düngemittel eingesetzt werden dürfen, ist eine optimierte Nährstoffeffizienz eine maßgebliche Sorteneigenschaft im Ökologischen Landbau.

Neben der Verbesserung einzelner Eigenschaften ist aber vor allem eine hohe Ertragsstabilität zentrales Ziel bei der Sortenentwicklung für den Ökologischen Landbau. Hier sollte deshalb zum einen geprüft werden, ob beim Anbau unter ökologischen Bedingungen genetisch bedingte Unterschiede in der phänotypischen Stabilität von Sorten festzustellen sind. Zum anderen sollte untersucht werden, ob durch eine Erhöhung der genetischen Variabilität innerhalb von Sorten das Puffervermögen gegen unterschiedliche Umwelteinflüsse verbessert werden kann. Zusätzlich wurde berücksichtigt, dass im Ökologischen Landbau bevorzugt solche Sorten angebaut werden, die ein Landwirt selbst nachbauen kann, um auf diese Weise das Prinzip des geschlossenen Hofkreislaufs zu gewährleisten. Die handelsüblichen Hybridmaissorten bieten weder die Möglichkeit des Nachbaus noch weisen sie eine hohe genetische Variabilität auf. Besser geeignet in dieser Hinsicht sind sogenannte Synthetische Sorten, das sind aus vorgeprüften Erbkomponenten (Elternformen) aufgebaute Populationssorten. Allerdings weisen Populationssorten gegenüber Hybriden ein geringeres Leistungspotential auf. Es war daher zu klären, inwieweit dies gegenüber den obigen Vorteilen wirtschaftlich ins Gewicht fällt. Zu diesem Zweck sollten für die Bedingungen des Ökologischen Landbaus optimierte Synthetics mit ebenfalls hierfür optimierten Hybriden verglichen werden. Da das Leistungspotential von Synthetischen Sorten maßgeblich bestimmt wird durch die Anzahl und Herkunft ihrer Komponenten sowie durch die Anzahl der Generationen, in denen bereits ein freies Abblühen erfolgen konnte (Syn-Generationen), sollte untersucht werden, in welchem Umfang sich Leistungsunterschiede zwischen unterschiedlich strukturierten Synthetics ergeben.

Da man beim Maisanbau unter ökologischen Bedingungen in vielen Fällen zumindest zeitweise mit einer verringerten Stickstoffverfügbarkeit rechnen muss, spielt - wie oben angesprochen - die genetisch bedingte Nährstoffeffizienz eine große Rolle. Um sie zu

verbessern, hoffte man, genetische Ressourcen aus alten Mais-Landrassen nutzbar machen zu können. Besonders geeignet hierfür erschienen aus Landrassen entwickelte homozygote Linien, da diese die größte genetische Differenzierung erwarten ließen.

Im Hinblick auf vorstehende Problemstellungen verfolgte das vorliegende Forschungsvorhaben am Beispiel der Fruchtart Mais folgende Ziele:

(1) Optimierung der Selektionsstrategie zur Entwicklung von Maissorten mit spezieller Anpassung an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus.

Als zentrale Frage war hierbei zu klären, ob für die Entwicklung von Sorten mit spezieller Anpassung an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus eigenständige, von konventionellen Programmen unabhängige Zuchtgänge erforderlich sind oder ob integrierte Ansätze effizienter sind.

(2) Entwicklung neuer Sorten (Populations- und Hybridsorten) für den Ökologischen Landbau.

Dabei sollten in einem zweijährigen Zuchtverfahren ein Set spezifisch an den Ökolandbau angepasster Experimentalhybriden sowie unterschiedlich strukturierte Synthetics entwickelt werden, die in einem abschließenden Experiment im dritten Versuchsjahr geprüft werden sollten.

(3) Erschließung genetischer Ressourcen für den Ökologischen Landbau, insbesondere aus Landsorten, die auf Low-Input-Eignung vorgeprüft wurden.

Im Focus der hierzu vorgesehenen Experimente stand die Frage, ob Zuchtmaterialien, die aus den oben genannten vorgeprüften Landrassen entwickelt wurden, eine spezifische Anpassung an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus aufweisen und somit bei der Züchtung von Öko-Sorten einsetzbar sind.

Auf diese drei Ziele wird im Folgenden unter den Stichworten „Anpassung und Selektionsstrategie“, „Entwicklung neuer Sorten“ und „Genetische Ressourcen“ Bezug genommen.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

1.2.1 Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“

Nach derzeitigem Kenntnisstand liegen bisher keine wissenschaftlichen Arbeiten zur züchterischen Anpassung von Mais an den Ökologischen Landbau vor. Durch Arbeiten zur Zuchtmethodik stickstoffeffizienter Maissorten (PRESTERL et al., 2002; PRESTERL et al., 2003) stehen aber bereits wertvolle Informationen zu einem maßgeblichem Teilaspekt der Problematik zur Verfügung.

Unabhängig von Pflanzenart und Stressfaktor wird seit vielen Jahren theoretisch diskutiert, ob die Entwicklung spezifisch angepasster Sorten ausschließlich unter den Umweltbedingungen der späteren Verwendung erfolgen muss oder ob ggf. auch unter anderen Umweltbedingungen erfolgreich selektiert werden kann. Aus selektions-theoretischer Sicht geht es hierbei um die Abwägung zwischen einer sogenannten direkten Selektion, die immer in der Umwelt der späteren Sortenverwendung erfolgt, und einer indirekten Selektion, die nicht in der für die Sorte vorgesehenen Zielumwelt durchführt wird. FALCONER und MACKAY (1996) stellen in ihrem Lehrbuch ein seit mehreren Jahrzehnten verwendetes quantitativ-genetisches Beurteilungsschema vor, das es erlaubt, den erwarteten Erfolg einer direkten Selektion mit dem einer indirekten Selektion zu vergleichen. Anhand der dort gegebenen Formeln können mit Hilfe verschiedener statistischer Einzelparameter Schätzwerte für den erwarteten direkten bzw. indirekten Selektionserfolg ermittelt werden, die die Abwägung verschiedener Handlungsalternativen erlauben. Die hierbei maßgeblichen Einzelparameter sind die genotypische Varianz, die Heritabilität sowie der genotypische Korrelationskoeffizient zwischen verschiedenen Selektionsumwelten. (Formeln und weitere Erläuterungen zu den statistischen Parametern siehe Abschnitt Material und Methoden).

Aufbauend auf diesem Beurteilungsschema vergleichen HARRER und UTZ (1990) in einer Modellstudie drei Handlungsalternativen zur Züchtung Low-Input-geeigneter Maissorten. Als Alternativen stellen sie gegenüber:

- (i) Gemeinsame Selektion von Low-Input- und High-Input-geeigneten Genotypen ausschließlich auf einer der beiden Input-Stufen.

- (ii) Kombinierte Selektion sowohl unter High- als auch unter Low-Input-Bedingungen. Durchführung der Selektion mit Hilfe eines Selektionsindexes.
- (iii) Getrennte Selektion von Low-Input- und High-Input-geeigneten Genotypen unter den Bedingungen der jeweils später angestrebten Verwendung.

Unter der Annahme gleicher Heritabilitäten bei High- und Low-Input-Bedingungen empfehlen die Autoren bei genotypischen Korrelationskoeffizienten im Bereich von $r_g = 0,7$ bis $r_g = 1,0$ eine kombinierte Selektion. Bei kleineren Korrelationskoeffizienten geben sie dagegen einer getrennten Selektion den Vorzug. Nur bei sehr unterschiedlichen Heritabilitäten auf den beiden verschiedenen Input-Stufen sehen sie einen Vorteil in einer indirekten Selektion auf der Stufe mit der höheren Heritabilität. Die von HARRER und UTZ (1990) am Beispiel der Low-Input-Sorten aufgezeigten Handlungsalternativen und die von ihnen aus der Modellstudie abgeleiteten Empfehlungen können direkt auf die Züchtung von Sorten für den Ökologischen Landbau übertragen werden.

In der Literatur zum Ökologischen Landbau liegen bisher keine Angaben zu statistischen Einzelparametern vor, die eine Schätzung von direktem bzw. indirektem Selektionserfolg ermöglichen und damit eine vergleichende Beurteilung züchterischer Handlungsalternativen erlauben.

1.2.2 Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“

Nach derzeitigem Kenntnisstand wurden in Deutschland bis zum Jahr 2003 keine Maissorten mit einer spezifischen Anpassung an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus gezüchtet. Weder für Hybriden noch für Synthetics wurden derartige Bemühungen unternommen. Nahezu 100 % der heutzutage kommerziell vertriebenen Maissorten sind Hybridsorten. Synthetische Sorten dagegen spielen in der praktischen Maiszüchtung keine Rolle, obwohl in der Züchtungsforschung immer wieder die Möglichkeit diskutiert wurde, Synthetische Sorten als alternative Sortenstruktur zu Hybriden zu etablieren. Die Arbeiten von BECKER und SCHNELL (1988) sowie TRETTER et al. (1997) geben Anhaltspunkte zum Stand der Forschung, an den mit dem vorliegenden Projekt angeknüpft werden konnte. Arbeiten wie die von SATTLER (1985)

belegen die Bedeutung, die von biologisch-dynamischer Seite der Vermehrbarkeit von Sorten im Hofkreislauf zugemessen wird. Die aktuelle Bedeutung Synthetischer Sorten ist bei verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich hoch. Bei Pflanzenarten, bei denen Hybriden und Synthetics in Konkurrenz zueinander stehen, ist die Bedeutung der Synthetics grundsätzlich geringer. Der Grund hierfür liegt im niedrigeren Leistungspotential von Populationssorten (Synthetics) beruhend auf ihrem geringeren Heterozygotiegrad (BECKER 1988). Dagegen weisen Populationssorten auf Grund ihrer heterogenen Sortenstruktur in Kombination mit einer immer partiell vorhandenen Heterozygotie maximale Ertragsstabilität auf (SCHNELL und BECKER 1986).

1.2.3 Themenkreis „Genetische Ressourcen“

Die Integration Genetischer Ressourcen in aktuelle Zuchtprogramme hat für den Ökologischen Landbau besondere Bedeutung, da man davon ausgeht, dass während der züchterischen Selektionsprozesse der letzten fünfzig Jahre durch eine einseitige Ausrichtung auf die Bedürfnisse der konventionellen Landwirtschaft Allele verloren gegangen sind, die für den Ökologischen Landbau nützlich sein könnten. Von der Integration Genetischer Ressourcen ins Zuchtmaterial erhofft man sich die Wiedergewinnung dieser Allele.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Aspekten, die den Einsatz von Genetischen Ressourcen unabhängig von der gewählten Wirtschaftsweise interessant machen. Diese Aspekte werden von ALBRECHT and DUDLEY (1987) im Zusammenhang mit der Einkreuzung von exotischem Maismaterial in amerikanisches Elite-Zuchtmaterial folgendermaßen zusammengefasst:

- Eine durch den Einsatz Genetischer Ressourcen gesteigerte genetische Diversität bietet eine Absicherung gegen unvorhersagbare biologische und umweltbedingte Einflüsse.
- Genetische Ressourcen stellen eine Quelle für spezifische Eigenschaften dar.
- Der Einsatz Genetischer Ressourcen kann sich auf den Ertrag günstig auswirken, indem durch die neu eingebrachten Allele die genetische Variation und die Heterosis gesteigert werden.

Trotz dieser unbestrittenen Vorteile wurde der Einsatz Genetischer Ressourcen in kommerziellen Maiszuchtprogrammen bisher nur sehr zögerlich betrieben. Der Grund war das Fehlen einer effektiven Technik, die es ermöglicht, günstige Allele schnell in modernes Zuchtmaterial einzuführen, ohne langwierige rekurrente Rückkreuzungs- und Selektionsverfahren durchlaufen zu müssen. Das Hauptproblem bestand darin, dass nach Kreuzung von Landrassen mit Elitematerial ein starker Abfall der Linieneigenleistung auftrat und viele Linien nicht lebensfähig waren. Aufgrund maskierender Dominanzeffekte an zunächst nicht homozygoten Loci bedurfte es in der Regel mehrerer Züchtungszyklen, um die Frequenz nicht lebensfähiger Linien hinreichend reduzieren zu können. Im Gegensatz zu herkömmlich entwickelten Inzuchtlinien sind DH-Linien von der ersten Generation an vollständig homozygot. Ungünstige rezessive Allele können deshalb in einem einzigen Selektionsschritt erkannt und eliminiert werden. Mit der in der Arbeitsgruppe Geiger zur Praxisreife entwickelten DH-Technik (RÖBER et al., 2005) steht damit seit einigen Jahren ein Werkzeug zur Verfügung, das es ermöglicht, günstige Allele aus Landrassen schnell und effizient für moderne Zuchtprogramme nutzbar machen zu können. Mit der DH-Methode können vitale homozygote Linien nicht nur aus Kreuzungen der Landrassen mit Elitematerial, sondern auch direkt aus Landrassen gewonnen werden.

Schon vor der Planung des vorliegenden Projekts waren in einem anderen gemeinsamen Forschungsprojekt der Arbeitsgruppe Geiger und der KWS SAAT AG hundert alte Landrassen unter Low-Input-Bedingungen auf ihre Kombinationsfähigkeit zu aktuellem Elitezuchtmaterial getestet worden. Von den damals erfolgreichsten Landrassen wurden vier als Ausgangspopulationen für die Gewinnung der im vorliegenden Projekt benötigten Landrassen-DH-Linien ausgewählt.

1.3 Planung und Ablauf des Forschungsprojektes

Als zentrale Elemente des Projektes waren drei mehrortige Leistungsprüfungen in den Jahren 2004 und 2005 vorgesehen (Tab. 1.1). Dabei sollten neben Testkreuzungen einer breiten Stichprobe von modernem Elite-Zuchtmaterial auch Testkreuzungen mit Landrassen-Linien geprüft werden („GCA-Tests“). Es sollten hieraus zum einen zuchttheoretische Informationen zur Sortenentwicklung unter ökologischen Anbaubedingungen gewonnen werden (Themenkreise „Anpassung und Selektionsstrategie“, „Entwicklung neuer Sorten“). Zum anderen sollten erste Erkenntnisse zur Brauchbarkeit von Landrassen als Genetische Ressourcen für den Ökologischen Landbau gesammelt werden. (Themenkreis „Genetische Ressourcen“). Aufbauend auf den gewonnenen Informationen sollten weitere Schritte in den Zuchtgärten der KWS durchgeführt werden. Als Erfolgskontrolle waren zwei abschließende Leistungsprüfungen („Abschluss-LPs“) im Jahr 2006 geplant. Im Einzelnen waren folgende Arbeitsschritte vorgesehen (Tab. 1.1), die im Kapitel 2 „Material und Methoden“ näher beschrieben werden.

Tab. 1.1: Arbeitsschritte im Projekt „Methodenvergleich zur Entwicklung von optimalen Maissorten (Populations- und Hybridsorten) für den Ökologischen Landbau“

Projektabschnitt	Vegetationsperiode				
	2004	04/05	2005	05/06	2006
Arbeitschritt					
Anpassung und Selektionsstrategie					
Leistungsprüfung (1. GCA-Test)	■				
Saatguterzeugung für 2. GCA-Test		■			
Leistungsprüfung (2. GCA-Test)			■		
Abschließende Versuchsergebnisse siehe Leistungsprüfung zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“					
Entwicklung neuer Sorten					
Faktorielle Kreuzungen 176 F ₁ en als Basis für Synthetics		■			
Saatguterzeugung Syn-2 (44/44) + Syn-3 (44/44)			■	■	
Saatguterzeugung Syn-2 (22/22)+ Syn-3 (22/22)				■ ■	
Saatguterzeugung Syn-2 (11/11) + Syn-3 (11/11)				■ ■	
Saatguterzeugung von zwei Sets spezifisch entwickelter Experimentalhybriden (ÖKO-Hybriden, KON-Hybriden)				■	
Leistungsprüfung (Abschluss-LP)					■
Genetische Ressourcen					
Linienvermehrung	■				
Saatguterzeugung für GCA-Test		■			
Leistungsprüfung (GCA-Test)			■		
Saatguterzeugung faktorielle Kreuzungen				■	
Leistungsprüfung (Abschluss-LP)					■

2 Material und Methoden

2.1 Feldversuche

2.1.1 Standorte und Merkmalerfassung

Während der gesamten Projektlaufzeit (2004-2006) war die Möglichkeit gegeben, die Leistung von Testkreuzungen und Experimentalsorten in Feldversuchen in drei Regionen Deutschlands (Stuttgart/Baden-Württemberg, Erding/Bayern und Einbeck/Niedersachsen) unter ökologischen (ÖKO) und konventionellen (KON) Bedingungen zu prüfen (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Versuchsflächen im Projekt „Methodenvergleich zur Entwicklung von optimalen Maissorten (Populations- und Hybridsorten) für den Ökologischen Landbau“ 2004-2006

Wirtschafts- weise	Region	Standort	Standort- kürzel
Ökologisch	Grucking bei Erding/Bayern	Grafring	GRO
	Stuttgart/Baden-Württemberg	Kleinhohenheim	HOO
	Einbeck/Niedersachsen	Wiebrechtshausen	EIO
Konventionell	Grucking bei Erding/Bayern	Grucking	GRK
	Stuttgart/Baden-Württemberg	Hohenheim	HOK
	Einbeck/Niedersachsen	Einbeck	EIK

Alle ökologisch bewirtschafteten Versuchsflächen gehörten Betrieben an, die nach der EU-Richtlinie 2092/91 als ökologische wirtschaftende Betriebe zertifiziert sind. Die Entfernung zwischen den unterschiedlichen Standorten der gleichen Region betrug zwischen 2 und 15 km. Standortbedingungen, pflanzenbauliche Maßnahmen sowie Aussaat und Erntetermine in den verschiedenen Versuchsjahren sind im Anhang (Tab. 7.1) dargestellt. Die im Jahr 2004 in Wiebrechtshausen genutzte Fläche war zum damaligen Zeitpunkt noch als „Umstellungsfläche auf Ökologischen Landbau“ klassifiziert.

An allen Standorten wurde zweireihig mit einem Reihenabstand von 75 cm ausgesät und dabei die ortsübliche Bestandesdichte angestrebt (9-12 Pflanzen/m²). An den Standorten der KWS SAAT AG (GRK, GRO, EIK, EIO) wurde bei einer Parzellengröße von 9 m² direkt auf Endabstand ausgesät. An den Standorten der Universität Hohenheim (HOK,

HOO) dagegen betrug die Parzellengröße 6 m². Wegen der zu Verschlämmung neigenden Böden wurde dort zunächst dichter ausgesät und anschließend von Hand vereinzelt.

Kombinationen von Region und Jahr werden im Folgenden auch als „Prüfumwelten“ oder „Umwelten“ bezeichnet. Diese werden folgendermaßen abgekürzt (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Prüfumwelten im Projekt „Methodenvergleich zur Entwicklung von optimalen Maissorten (Populations- und Hybridsorten) für den Ökologischen Landbau“ 2004-2006

Versuchsjahr	Region	Umwelt	Umweltkürzel
2004	Grucking bei Erding/Bayern	Grucking 04	GRU 04
	Stuttgart/Baden-Württemberg	Hohenheim 04	HOH 04
	Einbeck/Niedersachsen	Einbeck 04	EIN 04
2005	Grucking bei Erding/Bayern	Grucking 05	GRU 05
	Stuttgart/Baden-Württemberg	Hohenheim 05	HOH 05
	Einbeck/Niedersachsen	Einbeck 05	EIN 05
2006	Grucking bei Erding/Bayern	Grucking 06	GRU 06
	Stuttgart/Baden-Württemberg	Hohenheim 06	HOH 06
	Einbeck/Niedersachsen	Einbeck 06	EIN 06

In die Merkmalerfassung wurden neben den üblichen Leistungseigenschaften auch die für den Ökologischen Landbau wichtig erscheinenden Charakteristika der frühen Pflanzenentwicklung einbezogen (Tab. 2.3).

Tab. 2.3: Erfasste Merkmale an je drei ökologisch und konventionell bewirtschafteten Standorten (ÖKO bzw. KON) in den Leistungsprüfungen im Projekt „Methodenvergleich zur Entwicklung von optimalen Maissorten (Populations- und Hybridsorten) für den Ökologischen Landbau“ 2004-2006

Merkmal	ÖKO			KON		
	GRO	HOO	EIO	GRK	HOK	EIK
Feldaufgang (Bonitur 1-9)		×			×	
Jugendentwicklung (Bonitur 1-9)	×	×	×	×†	×	×‡
Datum der weiblichen Blüte	×	×	×	×	×	×
Anz. Pflanzen/Parz. zu Ende der veg. Phase	×	×		×	×	
Anz. Pflanzen m. Stengelbruch ('Green-snapping') oder Sommerlager	×	×		×	×	
Anz. Pflanzen mit Zünsler-Befall	×	×		×	×	
Anz. lagernde Pflanzen vor der Ernte§	×	×	×	×	×	×
Wuchshöhe [cm]	×	×	×	×	×	×
Kornfrischmasse [kg/Parzelle]	×	×	×	×	×	×
Trockensubstanz (Korn-TS-Gehalt) [%]	×	×	×	×	×	×

† Merkmal wurde nur in 2006 erfasst.

‡ Merkmal wurde nur in 2005 erfasst.

§ In die Anzahl lagernder Pflanzen vor der Ernte gehen die Anzahl Pflanzen mit Lager und Stengelbruch mit ein.

Das rechnerisch zu ermittelnde Merkmal Kornertrag (Korn trockenmasse) wurde für einen Korn-TS-Gehalt von 86 % berechnet.

2.1.2 Versuche zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“

Ausgehend von zwei breiten Stichproben züchterischen Ausgangsmaterials, die aus 178 Flint- bzw. Dentlinien bestanden, sollten für jede Wirtschaftsweise die 11 besten Flint- und die 11 besten Dentlinien in einem zweistufigen Verfahren selektiert werden, um daraus im Winter 2005/2006 zwei Gruppen spezifisch angepasster Hybriden (ÖKO-Hybriden, KON-Hybriden) zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurde in den Jahren 2004 und 2005 die Leistung von Testkreuzungen, Standards und Vergleichsprüfgliedern in drei Regionen Deutschlands (Stuttgart/Baden-Württemberg, Erding/Bayern, Einbeck/Niedersachsen) unter ökologischen (ÖKO) und konventionellen (KON) Bedingungen geprüft (Tab. 2.1).

Das 2004 und 2005 untersuchte Zuchtmaterial war jeweils in vier verschiedene Materialsätze aufgeteilt (Tab. 2.4). Alle getesteten Linien stammten aus dem 2004 aktuellen Linienprogramm der KWS SAAT AG und waren mittels DH-Technik entwickelt worden. Der Reifebereich der Materialstichproben war repräsentativ für das in Deutschland eingesetzte Zuchtmaterial (Reifebereich K 210 bis K 260 mit einem Schwerpunkt bei K 240). Die Flintlinien waren aus 43 Dreiweg-Kreuzungen mit 20 verschiedenen Elternlinien, die Dentlinien aus 110 Einfachkreuzungen mit 30 Elternlinien abgeleitet worden. Im Allgemeinen waren bei den Flintlinien ca. 3-5 und bei den Dentlinien ca. 1-2 Linien einer Ausgangskreuzung in den Materialstichproben enthalten.

Im Herbst 2004 wurden anhand der Testkreuzungsleistung unter Berücksichtigung einer Ertrag-Reife-Indexbeziehung (s. Kap. 2.3) für jede der beiden Wirtschaftsweisen die 44 besten Flint- und 44 besten Dentlinien selektiert. Bei den Flintlinien ergab sich hierbei eine Überlappung von 21 Linien zwischen den für die unterschiedlichen Wirtschaftsweisen selektierten Fraktionen. Hieraus resultierte eine Gesamtzahl von 67 selektierten Flintlinien ($88 - 21 = 67$). Bei den Dentlinien lag eine Überlappung von 17 Linien vor, woraus eine Gesamtzahl von 71 selektierten Dentlinien resultierte ($88 - 17 = 71$). Die selektierten Linien wurden im Winter 2004/2005 mit jeweils zwei verschiedenen Testern angepaart (s. Kap. 2.2). Auf Grund von Saatgutmangel fielen in jeder Gruppe einzelne Testkreuzungen aus, die in der Folge nicht in den Leistungsprüfungen 2005 geprüft werden konnten. Als Tester wurden im Jahr 2004 jeweils eine Einfachkreuzung (Single-Cross) und im Jahr 2005 je zwei verschiedene Linien eingesetzt. Die Flintlinien wurden mit Denttestern und die Dentlinien mit Flinttestern gekreuzt. Die eingesetzten Flinttester waren untereinander nicht verwandt. Bei den Denttestern stammten die beiden Linientester aus der gleichen Single-Cross-Ausgangskreuzung und waren außerdem mit dem Single-Cross-Tester des Vorjahres verwandt ($f = 0,25$).

In jedem Materialsatz waren mindestens 3 Standards enthalten, die einen Vergleich mit Materialsätzen in anderen Jahren zuließen (Tab. 2.5).

Die Leistungsprüfungen wurden 2004 und 2005 unterschiedlich jeweils in Form von vier 10×10 bzw. 10×8 Gittern mit je zwei Wiederholungen angelegt.

Tabelle 2.4: Zusammensetzung des genetischen Materials in den 2004 und 2005 unter ökologischen (ÖKO) und konventionellen (KON) Bedingungen durchgeführten Feldversuchen zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“

Material- satz	Prüf- jahr	Anzahl Prüfgl.	Materialzusammensetzung	Selektionsstadium	Materialkürzel
1	2004	89 7	DH-Flint-Linien I × Dent-Single-Cross-Tester Standards (davon 2 doppelt, 1 dreifach geprüft)†	unselektiert	(F × SC-T _D) I
2	2004	89 7	DH-Flint-Linien II × Dent-Single-Cross-Tester Standards (davon 2 doppelt, 1 dreifach geprüft)	unselektiert	(F × SC-T _D) II
3	2004	89 7	DH-Dent-Linien I × Flint-Single-Cross-Tester Standards (davon 4 doppelt geprüft)	unselektiert	(D × SC-T _F) I
4	2004	89 7	DH-Dent-Linien II × Flint-Single-Cross-Tester Standards (davon 4 doppelt geprüft)	unselektiert	(D × SC-T _F) II
5	2005	64 9 5	DH-Flint-Linien × Dent-Linien-Tester 1 Standards (davon 2 doppelt geprüft) Vergleichsprüfglieder	vorselektiert unter ÖKO bzw. KON	F × L-T1 _D
6	2005	57 9 12	DH-Flint-Linien × Dent-Linien-Tester 2 Standards (davon 2 doppelt geprüft) Vergleichsprüfglieder	vorselektiert unter ÖKO bzw. KON	F × L-T2 _D
7	2005	69 9	DH-Dent-Linien × Flint-Linien-Tester 1 Standards (davon 2 doppelt geprüft)	vorselektiert unter ÖKO bzw. KON	D × L-T1 _F
8	2005	69 9	DH-Dent-Linien × Flint-Linien-Tester 2 Standards (davon 2 doppelt geprüft)	vorselektiert unter ÖKO bzw. KON	D × L-T2 _F

† Standards: zugelassene und angemeldete Hybridsorten sowie Testkreuzungen von KWS-Erbkomponenten.

Tabelle 2.5: Anzahl und Art der Standards, die als Bezugsbasis für mehrjährige Leistungsvergleiche in Feldversuchen zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“ dienten.

Material- satz	Prüf- jahr	Anzahl Prüfgl.	Art des Standards	Standardkürzel
1	2004	2 1	Flint-Standardlinie × Dent-Single-Cross-Tester (davon 1 doppelt, 1 dreifach geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	FC-SC-T _D SCH
2	2004	2 1	Flint-Standardlinie × Dent-Single-Cross-Tester (davon 1 doppelt, 1 dreifach geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	FC-SC-T _D SCH
3	2004	2 1	Dent-Standardlinie × Flint-Single-Cross-Tester (davon 1 doppelt geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	DC-SC-T _F SCH
4	2004	2 1	Dent-Standardlinie × Flint-Single-Cross-Tester (davon 1 doppelt geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	DC-SC-T _F SCH
5	2005	2 1	Flint-Standardlinie × Dent-Linien-Tester 1 Standardsorte ‘Vitalina’	FC-L-T _D † SCH
6	2005	2 1	Flint-Standardlinie × Dent-Linien-Tester 2 (beide doppelt geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	FC-L-T _D † SCH
7	2005	2 1	Dent-Standardlinie × Flint-Linien-Tester 1 (davon 1 doppelt geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	DC-L-T _F † SCH
8	2005	2 1	Dent-Standardlinie × Flint-Linien-Tester 2 (davon 1 doppelt geprüft) Standardsorte ‘Vitalina’	DC-L-T _F † SCH

† Bei den Standardkürzeln wird nicht in Tester 1 und 2 differenziert.

2.1.3 Versuche zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“

Die zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“ durchgeführten Feldversuche stellten die Vorstufe für einen abschließenden Feldversuch zur „Entwicklung neuer Sorten“ dar. Anhand der 2004 und 2005 erzielten Testkreuzungsleistung waren überlegene Linien (bzw. F₁en) für den Aufbau von Experimentalhybriden und Synthetics selektiert worden. Im Winterzuchtgarten der KWS SAAT AG in Puerto Rico wurden aus den selektierten Linien Synthetics und Experimentalhybriden entwickelt (s. Kap. 2.2), die im Sommer 2006 in einem abschließenden Feldversuch zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“ geprüft werden sollten. In Folge von Saatgutknappheit konnte dieser Feldversuch (Tab. 2.6) aber nur in den beiden süddeutschen Regionen Erding und Stuttgart durchgeführt werden. Die beiden Sets spezifisch entwickelter Experimental-hybriden wiesen außerdem mit 44 bzw. 46 Prüfgliedern geringere Prüfgliedzahlen auf als ursprünglich mit je 77 vorgesehen (s. Kap. 2.2.2 und Anhang, Abb. 7.1).

Die Leistungsprüfung wurde als 15×10-Gitter mit zwei Wiederholungen angelegt. Die Einzelheiten der Aussaat und Merkmalerfassung entsprachen der unter 2.1.1 gegebenen Beschreibung.

Tab. 2.6: Zusammensetzung des Zuchtmaterials im Feldversuch 2006 zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“

Anzahl Prüfl.	Materialzusammensetzung	Materialkürzel
Experimentalhybriden		
46	unter ökologischen Bedingungen entwickelte Experimentalhybriden	ÖKO-Hyb
44	unter konventionellen Bedingungen entwickelte Experimentalhybriden	KON-Hyb
Synthetische Sorten ('Synthetics')		
1	6-fach geprüfter Synthetic 3 (44/44) †	Syn-3 (44/44)
1	6-fach geprüfter Synthetic 2 (44/44)	Syn-2 (44/44)
1	6-fach geprüfter Synthetic 2 (22/22)	Syn-2 (22/22)
1	6-fach geprüfter Synthetic 2 (11/11)	Syn-2 (11/11)
Referenzhybriden		
11	Flint × Dent-Experimentalhybriden, die genetisch identisch waren mit den 11 Ausgangs-Flen des Syn-2 (11/11). Drei Hybriden waren außerdem identisch mit Experimentalhybriden der Materialgruppe ÖKO-Hyb.	RH
Standards		
16	Standards („Checks“), hierin enthalten waren: 2 Flint-Standardlinien × Dent-Single-Cross-Tester, 2 Dent-Standardlinie × Flint-Single-Cross-Tester, 1 Standardsorte 'Vitalina'	CH FC-SC-T _D DC-SC-T _F SCH
Sonstige Vergleichsprüfglieder		
12	12 Experimentalhybriden	-

† Die erste Ziffer nach der Strukturangabe 'Synthetic' gibt an, in der wievielten Generation freien Abblühens die Sorte steht. Die Ziffern in Klammern geben an, aus wie vielen Flint bzw. Dent-Komponenten die Sorte zusammengesetzt ist.

2.1.4 Versuche zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“

In den Versuchsjahren 2005 und 2006 wurde jeweils ein Feldversuch zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“ durchgeführt. Dabei wurde die Leistung von je 100 Prüfgliedern in den drei Regionen Erding, Stuttgart und Einbeck vergleichend unter ökologischen und konventionellen Bedingungen geprüft.

Der 2005 geprüfte Materialsatz zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“ bestand hauptsächlich aus Testkreuzungen von Landrassen-Linien, die per Doppelhaploidentechnik aus den beiden Landrassen ‘Gelber Badischer Landmais’ (GB) und ‘Schindelmeiser’ (SM) entwickelt worden waren. Als Tester wurde ein aktueller Dent-Single-Cross-Tester eingesetzt (Tab. 2.7).

Im Gegensatz zum ursprünglichen Arbeitsplan (Kapitel 1.3) wurde im Winter 2005/2006 keine faktorielle Anpaarung von Landrassen-Linien mit im Projekt erfolgreichen Elite-Dentlinien vorgenommen, da bei diesen das Saatgut knapp war. Stattdessen wurden anhand der 2005 unter ÖKO-Bedingungen erzielten Testkreuzungsergebnisse jeweils die 20 erfolgreichsten GB- bzw. SM-Landrassen-Linien selektiert und im Winter 2005/2006 mit einem Dent-Linien-Tester angepaart. Aufgrund der relativ schlechten Eigenleistung der Landrassen-Linien verlief die Anpaarung nicht in allen Fällen erfolgreich, so dass im Frühjahr nur das Testkreuzungssaatgut von 11 GB-Landrassen-Linien und 16 SM-Landrassen-Linien zur Verfügung stand. Um die Leistung dieser selektierten Landrassen-Linien-Fractionen angemessen beurteilen zu können, wurde eine Leistungsprüfung konzipiert, die nicht nur den Vergleich mit Testkreuzungen moderner Elite-Flintlinien zuließ, sondern auch eine Einordnung in Bezug auf bekannte, in bestimmten Epochen erfolgreiche First- und Multi-Cycle-Linien erlaubte (Tab. 2.7).

Die Leistungsprüfungen wurden in beiden Versuchsjahren als 10×10 Gitter mit zwei Wiederholungen angelegt. Die Einzelheiten der Aussaat und Merkmalerfassung entsprachen der unter 2.1.1 gegebenen Beschreibung.

Tabelle 2.7. Zusammensetzung des genetischen Materials in den Feldversuchen 2005 und 2006 zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“

Prüf-jahr	Anzahl Prüfl.	Materialgruppe	Gruppenkürzel
2005	25	Testkreuzungen des Typs ‘DH-Linie aus Gelber Badischer Landmais × Tester’	GB-DHL × SC-T _D
	44	Testkreuzungen des Typs ‘DH-Linie aus Schindelmeiser × Tester’	SM-DHL × SC-T _D
	1	doppelt geprüfte Testkreuzung ‘Gelber Badischer Landmais-Population × Tester’	GB-Pop × SC-T _D
	1	doppelt geprüfte Testkreuzung ‘Schindelmeiser-Population × Tester’	SM-Pop × SC-T _D
	5	doppelt geprüfte Sortenstandards („CHECKS“)	CH
	17	Sonstige Vergleichsprüfglieder (KWS-Zuchtmaterial)	-
2006	11	Testkreuzungen des Typs ‘2005 vorselektierte DH-Linie aus Gelber Badischer Landmais × Tester’	GB-sDHL × L-T _D
	16	Testkreuzungen des Typs ‘2005 vorselektierte DH-Linie aus Schindelmeiser × Tester’	SM-sDHL × L-T _D
	1	dreifach geprüfte Testkreuzung ‘Gelber Badischer Landmais-Population × Tester’	GB-Pop × L-T _D
	1	dreifach geprüfte Testkreuzung ‘Schindelmeiser-Population × Tester’	SM-Pop × L-T _D
	5	Testkreuzungen des Typs ‘First-Cycle-Linie × Tester’	FCL × L-T _D
	3	Testkreuzungen des Typs ‘Multi-Cycle-Linie × Tester’	MCL × L-T _D
	26	Testkreuzungen des Typs ‘Moderne Elite-Linie × Tester’	ELL × L-T _D
	9	Sortenstandards, davon 5 wie in 2005 („CHECKS“)	Standards, CH
24	Sonstige Vergleichsprüfglieder (KWS-Zuchtmaterial)	-	

2.2 Arbeiten in den Zuchtgärten

2.2.1 Arbeiten zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie

Nachdem im Sommer 2004 die Leistung von 356 Mais-Testkreuzungen vergleichend unter ökologischen und konventionellen Bedingungen geprüft worden war, wurden im November 2004 die ca. 25 % besten Prüfglieder für jede der beiden Wirtschaftsweisen nach einem Index (s. Kapitel 2.3) selektiert. Direkt im Anschluss wurden die selektierten Linien im Winterzuchtgarten der KWS SAAT AG in Puerto Rico zur Aussaat gebracht, um dort im Winter 2004/2005 das Saatgut für die im Jahr 2005 zu prüfenden Testkreuzungen zu erzeugen. Die Linien wurden dabei jeweils mit zwei verschiedenen Linien-Testern in Topcross-Parzellen angepaart. Das produzierte Saatgut war Voraussetzung für die Leistungsprüfung 2005 zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“.

2.2.2 Arbeiten zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“

2.2.2.1 Hybriden

Aufgrund der Leistungsergebnisse 2005 von Flint- und Dent-Testkreuzungen wurden anhand der Ertragswertzahl (EWZ, s. Kap. 2.3) die 11 besten Flint- und die 11 besten Dent-Prüfglieder für jede der beiden Wirtschaftsweisen selektiert. Direkt im Anschluss wurden die selektierten Linien im Winterzuchtgarten der KWS SAAT AG in Puerto Rico zur Aussaat gebracht, um dort das Saatgut für die im Jahr 2006 zu prüfenden Hybriden zu erzeugen. Um einen repräsentativen Querschnitt aller theoretisch denkbaren 121 Hybriden je Wirtschaftsweise zu erhalten, wurden jeweils die 11 besten Flint- und die 11 besten Dentlinien nach einem partiell balancierten faktoriellen Kreuzungsplan zu je 77 Hybriden kombiniert (Anhang, Abb. 7.1). In Folge technischer und blühbiologischer Probleme konnte aber nur von 46 ÖKO- bzw. 44 KON-Hybriden genügend Saatgut für die Durchführung einer Leistungsprüfung in zwei Regionen produziert werden. Die Untersuchung der entwickelten Hybriden war Gegenstand der Leistungsprüfung 2006 zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“.

2.2.2.2 Synthetics

Um einen Überblick über das Verhalten von Synthetics unterschiedlicher Breite (Komponentenzahl) und unterschiedlicher Anzahl von Syn-Generationen zu gewinnen, war die Herstellung von sechs Synthetics ins Auge gefasst worden: Syn-2 (44/44), Syn-3 (44/44), Syn-2 (22/22), Syn-3 (22/22), Syn-2 (11/11), Syn-3 (11/11). Als Basis dieser Synthetics dienten 176 F₁en, die nach einem partiell balancierten Kreuzungsplan (s. Anhang, Abb. 7.2) aus den im Herbst 2004 unter ökologischen Anbaubedingungen selektierten 44 Flint- und 44 Dentlinien hergestellt worden waren (Generation: Syn-1, Bezeichnung: Syn-1-(44/44). Im Frühjahr 2005 wurde das Syn-1-Saatgut in Deutschland (Gondelsheim) ausgesät. Durch paarweises Kreuzen von 600-900 F₁-Pflanzen wurde das Syn-2 (44/44)-Saatgut erzeugt. Nach den Ergebnissen der Leistungsprüfung 2005 wurden aus obigen 176 F₁en die für den Aufbau der Synthetics Syn-1 (22/22) und Syn-1 (11/11) benötigten 44 bzw. 11 F₁en zusammengestellt, wobei gleichmäßig auf jedes der elf 4 × 4 Teilfactorials des Grundplans zurückgegriffen wurde (s. Anhang, Abb. 7.3 und 7.4). Mit diesen F₁en wurde in Chile im Winter 2005/06 das Saatgut für die Generationen Syn-2 (22/22) und Syn-2 (11/11) produziert. Außerdem wurde in Chile das zuvor in Gondelsheim erzeugte Syn-2-Saatgut des Synthetics Syn-2 (44/44) ausgesät, um durch weiteres Durchkreuzen das Saatgut für die Generation Syn-3 (44/44) zu erzeugen. Die Herstellung der Synthetics Syn-3 (11/11) und Syn-3 (22/22) konnte nicht mehr termingerecht vor der Aussaat in Deutschland realisiert werden. Die Evaluierung der entwickelten Synthetics erfolgte in der Leistungsprüfung 2006 zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“ (s. 2.1.3).

2.2.3 Arbeiten zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“

Im Sommer 2004 wurden die aus Landrassen entwickelten DH-Linien in Gondelsheim vermehrt. Anschließend wurden diese Linien im Winterzuchtgarten der KWS in Chile zur Aussaat gebracht, um dort das Testkreuzungssaatgut für die 2005 anzulegende erste Leistungsprüfung zum Themenkreis Genetische Ressourcen zu erzeugen. Im Herbst 2005 wurden 40 Landrassen-Linien aufgrund ihrer Testkreuzungsergebnisse selektiert und im Winterzuchtgarten in Puerto Rico in einer Topcross-Parzelle zur Aussaat gebracht, wo sie mit einem Linientester angepaart wurden. Mit dem gleichen Tester wurden außerdem ein Satz moderner Elite-Linien sowie eine Auswahl bekannter First- und Second-Cycle-Linien

angepaart. Das produzierte Saatgut war Voraussetzung für die zweite Leistungsprüfung zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“.

2.3 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mit dem Programmpaket PLABSTAT (UTZ, 2004) verrechnet. Die einzelnen Gitteranlagen wurden zunächst getrennt nach COCHRAN und COX (1957) ausgewertet. Dabei erfolgte nach der Methode von ANSCOMBE und TUKEY (1963) ein Ausreißertest auf Basis der Parzellenwerte. Extreme Werte wurden überprüft und gegebenenfalls in den weiteren Berechnungen wie fehlende Werte behandelt. Für fehlende Werte wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate iterativ Ersatzwerte berechnet (YATES, 1933; HEALY und WESTMACOTT, 1956). Anschließend wurde basierend auf den gitteradjustierten Prüfglied-Mittelwerten eine Serienverrechnung getrennt nach den beiden Wirtschaftsweisen durchgeführt. Die in den Gitterananalysen ermittelten effektiven Fehlervarianzen gingen als gepoolter Fehler in die Serienverrechnung ein. Es lag folgendes statistisches Modell zugrunde:

$$x_{ij} = \mu + g_i + o_j + (go)_{ij} + e_{ij}$$

Darin sind:

- x_{ik} der adjustierten Mittelwert des Genotyps i am Ort j,
- μ der allgemeine Mittelwert,
- g_i der Effekt des i-ten Genotyps,
- o_j der Effekt des j-ten Ortes,
- $(go)_{ij}$ der Effekt der Interaktion des i-ten Genotyps mit dem j-ten Ort,
- e_{ij} der Effekt des Fehlers.

Aus den in der Serienverrechnung ermittelten Varianzkomponenten wurde der Heritabilitätskoeffizient der Prüfgliedmittelwerte geschätzt. Der Koeffizient gibt an, welcher Anteil der Variation der Prüfgliedmittelwerte genetisch bedingt ist.

Die Formel für die Heritabilitätsschätzung lautet:

$$h^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_{go}^2/O + \sigma_e^2/OR)$$

Darin sind:

σ_g^2	die genotypische Varianz,
σ_{go}^2	die Genotyp \times Ort-Interaktions-Varianz,
σ_e^2	die Fehlervarianz der Parzellenwerte,
O	die Anzahl der Orte,
R	die Anzahl der Wiederholungen.

Der Heritabilitätskoeffizient ist eine maßgebliche Komponente der Formel für den zu erwartenden Selektionsgewinn (s.u.). Er ist grundsätzlich abhängig vom Material, vom Umweltbereich, von der versuchstechnischen Präzision und vom Merkmal.

Die Konfidenzintervalle für die Heritabilitätskoeffizienten wurden nach dem bei KNAPP und BRIDGES (1987) beschriebenen Verfahren ermittelt.

Im Rahmen der statistischen Auswertung wurden außerdem für alle quantitativen Merkmale phänotypische und genotypische Korrelationen zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise berechnet. Die Korrelationskoeffizienten erlauben Aussagen zur spezifischen Anpassung der Genotypen an die jeweilige Wirtschaftsweise. Der genotypische Korrelationskoeffizient (r_g) ist eine zentrale Komponente des zu erwartenden indirekten Selektionsgewinns (s.u.).

Die allgemeine Formel für den genotypischen Korrelationskoeffizienten lautet:

$$r_g = \text{cov}_g xy / (\sigma_{gx} \sigma_{gy})$$

Darin sind:

$\text{cov}_g xy$	die genotypische Kovarianz zwischen Merkmal x und Merkmal y,
σ_{gx}	die genotypische Standardabweichung des Merkmals x,
σ_{gy}	die genotypische Standardabweichung des Merkmals y.

Die Berechnung der genotypischen Korrelationskoeffizienten und ihrer Standardfehler wurde mit dem Programm PLABSTAT nach der Methode von MODE und ROBINSON (1959) durchgeführt.

Zusätzlich wurden für die genotypischen und phänotypischen Korrelationskoeffizienten mit Hilfe des Bootstrap-Verfahrens Vertrauensintervalle geschätzt. Es wurde hierbei auf eine im Internet von SARLE (2000) für das Programmpaket SAS zur Verfügung gestellte allgemeine Prozedur für Bootstrapping zurückgegriffen, die sich an theoretischen Arbeiten von EFRON und TIBSHIRANI (1993) orientiert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde diese Prozedur für die Korrelationsanalyse angepasst (siehe Anhang).

Um eine vergleichende Beurteilung selektionsstrategischer Handlungsalternativen zu ermöglichen, wurden die zu erwartenden direkten und indirekten Selektionsgewinne sowie die Effizienz der indirekten im Vergleich zur direkten Selektion bei gleicher Selektionsintensität geschätzt. Der Schätzung liegen folgende Beziehungen zugrunde:

Direkter Selektionsgewinn:

$$R = i h \sigma_g$$

Darin sind:

- | | |
|------------|---|
| R | der erwartete direkte Selektionsgewinn, |
| i | die Selektionsintensität, |
| h | die Wurzel aus der Heritabilität der
Prüfgliedmittelwerte, |
| σ_g | die genotypische Standardabweichung. |

Alternativ kann der direkte Selektionsgewinn auch berechnet werden als:

$$R = h^2 S$$

Darin sind:

R der erwartete direkte Selektionsgewinn,
h² die Heritabilität der Prügliedmittelwerte,
S das Selektionsdifferential.

Indirekter Selektionsgewinn:

$$CR = i' h' r_g \sigma_g$$

Darin sind:

CR der erwartete indirekte Selektionsgewinn,
i' die Selektionsintensität in der Selektionsumwelt,
h' die Wurzel aus der Heritabilität der Prüglied-
 mittelwerte in der Selektionsumwelt,
r_g die genotypische Korrelation zwischen Selektions-
 und Zielumwelt,
σ_g die genotypische Standardabweichung in der
 Zielumwelt.

Die Effizienz der indirekten im Vergleich zur direkten Selektion bei gleicher Selektionsintensität ist gleichbedeutend mit dem Quotienten

$$CR / R = h' r_g / h .$$

Zusätzlich zu den nach Wirtschaftsweisen getrennten Verrechnungen wurden zusammenfassende statistische Analysen über beide Wirtschaftsweisen durchgeführt. Bei der Auswertung der Leistungsprüfungen zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“ wurde ein gemischtes statistisches Modell angewandt, bei welchem

der Effekt der Wirtschaftsweise als fixiert und die Effekte von Genotyp und Region als zufällig angenommen wurden.

$$x_{ijk} = \mu + g_i + r_j + w_k + (gr)_{ij} + (gw)_{ik} + (rw)_{kj} + (grw)_{ijk} + e_{ijk}$$

Darin sind:

- x_{ijk} der adjustierte Mittelwert des Genotyps i am Ort j unter der Wirtschaftsweise k ,
- μ der allgemeine Mittelwert,
- g_i der Effekt des i -ten Genotyps,
- r_j der Effekt der j -ten Region,
- w_k der Effekt der k -ten Wirtschaftsweise,
- $(gr)_{ij}$, $(gw)_{ik}$, $(rw)_{kj}$ die Zweifachinteraktionen und
- $(grw)_{ijk}$ die Dreifachinteraktion zwischen den o.g. Faktoren,
- e_{ijk} der Fehlereffekt.

Die zusammenfassende Verrechnung der Leistungsprüfungen zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“ wurde als unbalancierte Varianzanalyse durchgeführt, bei welcher der Effekt des Genotyps dem Effekt der Materialgruppe hierarchisch untergeordnet wurde. Die Auswertung erfolgte mit der im Rahmen des Statistikpakets SAS (SAS INSTITUTE, 1999) zur Verfügung stehenden Auswertungsprozedur PROC GLM. Die Effekte von Wirtschaftsweise und Materialgruppe wurden hierbei als fixiert, die des Genotyps und der Region als zufällig angenommen.

Für alle drei Themenkreise wurden außerdem mit dem Programm PLABSTAT (UTZ, 2004) Stabilitätsanalysen nach EBERHART und RUSSEL (1966) erstellt.

Die statistische Überprüfung von Mittelwertsunterschieden zwischen Materialgruppen erfolgte mit Hilfe des Statistikpakets SAS (SAS INSTITUTE, 1999) nach der Methode des Scheffé-Tests (SCHEFFÉ, 1953).

In allen Selektionsstadien wurde anhand von Mittelwerte der nach Wirtschaftsweisen getrennten Verrechnung selektiert. Um die beim Mais vorliegende negativ korrelierte Ertrag-Reife-Beziehung hinreichend berücksichtigen zu können, wird der Selektion bei der KWS grundsätzlich folgender Index-Zusammenhang (I) zugrunde gelegt:

$$I = KTM + 2,5 KTS$$

Darin sind:

KTM	Korn trockenmasse in 100 kg/ha,
KTS	Korn-TS-Gehalt in %.

Hierdurch wird sichergestellt, dass frühreife Genotypen, die naturgemäß ertragsschwächer sind als spätreife, auf Grund ihrer höheren Trockensubstanz eine mit spätreifen Genotypen vergleichbare Selektionschance erhalten.

Bei den Selektionsentscheidungen zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“ wurde im Einzelnen folgendermaßen vorgegangen:

Im ersten Selektionsstadium (2004) wurde die obige Beziehung einer grafischen Selektion zugrundegelegt, die mit Hilfe von Regressionsdiagrammen der Korntrockenmasse auf den Korn-TS-Gehalt ausgeführt wurde.

Im zweiten Selektionsstadium (2005) wurde die Selektion mit Hilfe der sogenannten Ertragswertzahl (EWZ) durchgeführt. Hier wird als zusätzliches Merkmal die unterschiedliche Lageranfälligkeit von Genotypen berücksichtigt. Diese Wertzahl lässt sich aus den Mittelwerten von Kornertrag, Korn-TS-Gehalt und Anzahl lagernder Pflanzen vor der Ernte nach einer Formel des Bundessortenamts berechnen. Die Formel lautet:

$$EWZ = KTM + 2,5 (KTS_P - KTS_{VRS}) + 1,0 (\%AP_P - \%AP_{VRS})$$

Darin sind:

KTM	Korntrockenmasse (relativ zu den Verrechnungssorten),
KTS	Korn-TS-Gehalt,
%AP	Aufrechte Pflanzen in %,
P	Prüfkandidat,
VRS	Verrechnungssorten.

Da es im Rahmen der Hybridzüchtung besonders wichtig ist, solche Linien als überlegen zu identifizieren, die in Kombination mit unterschiedlichen Testern gute Ergebnisse zeigen, wurde für jede Linie eine mittlere Ertragswertzahl über die beiden Materialsätze gebildet, in denen die betreffende Linie vorkam. Linien die aufgrund von Problemen bei der Saatgutproduktion nur in einem Materialsatz vorhanden waren, wurden nicht selektiert. Aus jeder der beiden Materialgruppen wurden so die 11 besten Prüfglieder für jede der beiden Wirtschaftsweisen selektiert.

Für die Selektionsentscheidungen zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“ wurde in Anlehnung an die Ertragswertzahl des Bundessortenamts eine vereinfachte Ertragswertzahl (EWZ') verwendet. Gegenüber der regulären Ertragswertzahl (EWZ, s.o) läßt EWZ' den Anteil aufrechter Pflanzen unberücksichtigt. Die Selektionentscheidungen zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“ erfolgten ausschließlich anhand von Leistungsprüfungsergebnissen bei ökologischer Wirtschaftsweise.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“

3.1.1 Mittelwerte

In allen Umwelten wurden bei ökologischer Wirtschaftsweise geringere Kornerträge erzielt als bei konventioneller (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Umweltmittelwerte für Korntrockenmasse (KTM), Korn-TS-Gehalt (KTS), weibliche Blüte (BLW) und Wuchshöhe (WUH) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; jeweils gemittelt über alle Testkreuzungen† bzw. Experimentalhybriden

Umwelt‡	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]		BLW [d]		WUH [cm]	
	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON
EIN 04	983	1068	59,7	60,7	89,0	86,9	276	266
HOH 04	1159	1277	62,6	63,6	90,5	91,9	247	262
GRU 04	1030	1242	65,5	66,9	93,9	94,3	282	308
Mittel 04	1057	1196	62,9	63,7	91,1	91,0	268	279
EIN 05	1053	1227	62,8	64,1	94,6	96,0	257	247
HOH 05	1086	1131	63,6	69,1	79,2	85,1	282	301
GRU 05	733	1205	69,7	68,0	79,1	85,8	231	300
Mittel 05	957	1188	65,3	67,1	84,3	89,0	257	283
HOH 06	1015	1118	68,0	68,9	84,1	87,7	236	268
GRU 06	764	1040	73,0	72,2	85,7	87,5	253	258
Mittel 06	890	1079	70,5	70,6	84,9	87,6	245	263

† Mittel über jeweils 4 Materialsätze, wobei im Jahr 2005 geringfügig unterschiedliche Prüfgliedzahlen vorlagen, siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

Die Ertragsreduktion variierte zwischen den Umwelten von 4-39 %. Die deutlichste Reduktion war in Grucking im Jahr 2005, die geringste in Hohenheim im gleichen Jahr zu verzeichnen. Im Durchschnitt war im Jahr 2004 eine geringere Ertragsreduktion (ca.12 %) festzustellen als in den beiden anderen Jahren (19 bzw. 18 %). Im Allgemeinen unterschieden sich die Kornerträge der verschiedenen Umwelten unter konventionellen Bedingungen weniger als unter ökologischen. In Grucking wurden unter ökologischen Bedingungen grundsätzlich geringere Erträge erzielt als in Hohenheim.

Der Korn-TS-Gehalt war im Allgemeinen unter ökologischen Anbaubedingungen geringer. Eine Ausnahme hiervon bildete Grucking in den Jahren 2005 und 2006. Die weibliche Blüte setzte bei ökologischer Wirtschaftsweise in der Regel etwas früher ein als bei konventioneller, eine Abweichung davon war nur in Einbeck im Jahr 2004 festzustellen. Die Wuchshöhen waren unter ökologischen Anbaubedingungen durchschnittlich geringer als unter konventionellen. Nur in der Region Einbeck trat hier sowohl im Jahr 2004 als auch 2005 eine Umkehrung ein.

Bezogen auf die geprüften Materialsätze waren die Durchschnittserträge bei ökologischer Wirtschaftsweise ebenfalls durchgehend geringer als unter konventioneller (Tab. 3.2). Die Ertragsreduktion bewegte sich zwischen 8 und 16 % im Jahr 2004 und zwischen 17 und 21 % im Jahr 2005. Das durchschnittliche Ertragsniveau unterschied sich bei konventioneller Wirtschaftsweise nur wenig zwischen den verschiedenen Jahren, bei ökologischer Wirtschaftsweise war dagegen ein Rückgang zu verzeichnen. Beim Korn-TS-Gehalt wurden im Jahr 2004 niedrige bis mittlere, im Jahr 2005 mittlere bis hohe und im Jahr 2006 sehr hohe Gehalte festgestellt. Die Zeitspanne von der Aussaat bis zur Blüte war im Jahr 2004 mit durchschnittlich etwas mehr als 90 Tagen länger als in den beiden folgenden Jahren, wobei im Jahr 2005 die höchsten Differenzen zwischen den Blühzeitpunkten bei ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise zu beobachten waren. Die durchschnittliche Wuchshöhe befand sich in den Jahren 2004 und 2005 in der gleichen Größenordnung, im Jahr 2006 fiel sie dagegen etwas ab. Wie bei den zuvor beschriebenen Merkmalen war auch bei der Wuchshöhe die Differenz zwischen den beiden Wirtschaftsweisen im Jahr 2005 am höchsten.

Tab. 3.2: Mittelwerte von neun Materialsätzen für Korntrockenmasse (KTM), Korn-TS-Gehalt (KTS), weibliche Blüte (BLW) und Wuchshöhe (WUH); jeweils gemittelt über drei bzw. zwei Umwelten†

Materialsatz‡	Jahr	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]		BLW [d]		WUH [cm]	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON
(F × SC-T _D) I	04	1007	1193	62,5	63,7	91,9	91,5	261	274
(F × SC-T _D) II	04	1018	1176	63,0	64,0	91,2	91,0	264	274
(D × SC-T _F) I	04	1093	1193	62,2	63,5	91,0	91,0	273	282
(D × SC-T _F) II	04	1111	1222	62,6	63,8	90,3	90,6	275	286
Mittel	04	1057	1196	62,6	63,7	91,1	91,0	268	279
F × L-T1 _D	05	1045	1262	65,7	67,1	83,6	88,1	250	270
F × L-T2 _D	05	909	1157	65,1	66,8	85,8	90,7	264	290
D × L-T1 _F	05	914	1134	66,1	68,0	84,4	88,9	268	299
D × L-T2 _F	05	962	1198	64,4	66,4	83,4	88,3	245	271
Mittel	05	957	1188	65,3	67,1	84,3	89,0	257	283
EXP-Hyb	06	890	1079	70,5	70,6	84,9	87,6	245	263

† Umwelten 2004: EIN 04, HOH 04, GRU 04; Umwelten 2005: EIN 05, HOH 05, GRU 05; Umwelten 2006: HOH 06, GRU 06; Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Materialsätze und Anzahl Prüfglieder je Materialsatz siehe Kap. 2.1.

Weder bei ökologischer noch bei konventioneller Wirtschaftsweise ließen sich 2005 in den einzelnen Materialsätzen signifikante Ertragsunterschiede zwischen den spezifisch selektierten Liniengruppen feststellen (Tab.3.3). Lediglich im Materialsatz D × L-T2_F deutete sich unter konventionellen Bedingungen eine Überlegenheit der unter konventionellen Bedingungen selektierten Fraktion an.

Tab. 3.3: Mittlere Testkreuzungsleistung der 2004 selektierten Liniengruppen (ÖKO-L, KON-L) im Prüfwahl 2005 für Kornrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; jeweils gemittelt über drei Umwelten

Materialsatz†	KTM [g m ⁻²]				KTS [%]			
	ÖKO		KON		ÖKO		KON	
	ÖKO-L	KON-L ‡	ÖKO-L	KON-L	ÖKO-L	KON-L	ÖKO-L	KON-L
F × L-T1 _D	1043	1045	1258	1266	65,7	65,8	67,1	67,3
F × L-T2 _D	914	908	1157	1154	65,1	65,2	66,8	67,0
D × L-T1 _F	913	914	1139	1140	66,3	66,1	68,2	67,9
D × L-T2 _F	966	959	1188	1209	64,7	64,4	66,6	66,4

† Abkürzungen der Materialsätze und Anzahl Prüfglieder je Materialsatz siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Liniengruppen: ÖKO-L = unter ökologischen Bedingungen selektierte Liniengruppe; KON-L = unter konventionellen Bedingungen selektierte Liniengruppe. Anzahl Linien N pro Liniengruppe ≥ 36 und ≤ 44.

Anders dagegen verhielt es sich im Jahr 2006 beim Vergleich der beiden Gruppen spezifisch entwickelter Hybriden (Tab. 3.4). Bei ökologischer Wirtschaftsweise erzielten die spezifisch hierfür entwickelten Hybriden (ÖKO-Hybriden) einen um durchschnittlich 2,2 % höheren Kornertrag als die unter konventionellen Bedingungen entwickelten Hybriden (KON-Hybriden).

Tab. 3.4: Mittlere Leistung von zwei Gruppen von Experimentalhybriden (ÖKO-Hyb, KON-Hyb†) für Kornrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; jeweils gemittelt über 2 Umwelten 2006‡

KTM [g m ⁻²]				KTS [%]			
ÖKO		KON		ÖKO		KON	
ÖKO-Hyb	KON-Hyb	ÖKO-Hyb	KON-Hyb	ÖKO-Hyb	KON-Hyb	ÖKO-Hyb	KON-Hyb
899	880	1071	1088	70,3	70,7	70,1	71,1 **

** Signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bei $\alpha = 0,01$ (Scheffé-Test).

† Abkürzungen der Gruppen: ÖKO-Hyb = unter ökologischen Bedingungen entwickelte Hybriden (N=46); KON-Hyb = unter konventionellen Bedingungen entwickelte Hybriden (N=44).

‡ Umwelten: HOH 06, GRU 06; Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

Umgekehrt waren die KON-Hybriden den ÖKO-Hybriden unter konventionellen Anbaubedingungen um durchschnittlich 1,6 % überlegen. Im Gegensatz dazu ergaben sich beim Korn-TS-Gehalt keine derartigen Tendenzen. Der Unterschied im Korn-TS-Gehalt der beiden Gruppen unter konventionellen Bedingungen war hochsignifikant.

3.1.2 Varianzen und Heritabilitätskoeffizienten

Die Schätzwerte der Varianzkomponenten für den Kornertrag unterschieden sich im Jahr 2004 im Allgemeinen nur wenig zwischen den beiden Wirtschaftsweisen (Tab. 3.5).

Bei drei der vier geprüften Materialsätze wurden für beide Wirtschaftsweisen deutlich ausgeprägte genotypische Varianzkomponenten geschätzt. Eine Ausnahme bildete der Materialsatz ($D \times SC-T_F$) I. Hier wurde bei konventioneller Wirtschaftsweise nur ein sehr geringer, nicht signifikanter Schätzwert genotypischer Varianz festgestellt. Da auch aufgrund der Auswertungen an den Einzelstandorten ein Fehler bei der Versuchsdurchführung nicht vollständig ausgeschlossen werden konnte, wurde dieser Materialsatz nicht in die weitere quantitativ-genetische Analyse einbezogen. Die Schätzwerte der Fehlervarianz des Kornertrags bewegen sich für beide Wirtschaftsweisen in der gleichen Größenordnung.

Im Jahr 2005 bot sich für die Varianzkomponenten des Kornertrags ein ähnliches Bild:

Die Schätzwerte der Varianzkomponenten für den Kornertrag unterschieden sich im Allgemeinen ebenfalls nur wenig zwischen den beiden Wirtschaftsweisen. Eine Ausnahme bildete die genotypische Varianzkomponente beim Materialsatz $F \times L-T1_D$, bei der sich ein auffallend niedriger, nicht signifikanter Schätzwert bei ökologischer im Vergleich zu konventioneller Wirtschaftsweise ergab. Den höchsten Schätzwert genotypischer Varianz zeigte jeweils bei beiden Wirtschaftsweisen der Materialsatz $D \times L-T1_F$.

Bei beiden Wirtschaftsweisen waren außerdem in allen vier Materialsätzen hochsignifikante Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianzen zu verzeichnen, die in drei von vier Fällen sogar das Doppelte der genotypischen Varianzkomponente ausmachten. Beim Materialsatz $D \times L-T2_F$ zeigte sich unter konventionellen Bedingungen eine extrem hohe Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianz. Wie im Vorjahr bewegten sich die Schätzwerte der Fehlervarianz bei beiden Wirtschaftsweisen in der gleichen Größenordnung.

Tab. 3.5: Varianzkomponentenschätzwerte von acht Testkreuzungs-Materialsätzen für Kornrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise in 2004 und 2005

Variations- ursache	Materialsatz†	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON
-----2004-----					
Genotyp (G)	(F × SC-T _D) I	1299 **	1970 **	0,90 **	0,77 **
	(F × SC-T _D) II	1108 **	941 **	0,69 **	0,79 **
	(D × SC-T _F) I	946 *	127	1,18 **	0,94 **
	(D × SC-T _F) II	2178 **	716 *	1,08 **	1,08 **
G × Ort- Interaktion	(F × SC-T _D) I	2162 **	2459 **	0,38 **	0,22 **
	(F × SC-T _D) II	1856 **	1459 **	0,58 **	0,19 **
	(D × SC-T _F) I	3311 **	3410 **	0,29 **	0,27 **
	(D × SC-T _F) II	2786 **	2581 **	0,35 **	0,25 **
Fehler	(F × SC-T _D) I	5213	4000	0,29	0,31
	(F × SC-T _D) II	4188	4792	0,39	0,31
	(D × SC-T _F) I	5551	5994	0,32	0,30
	(D × SC-T _F) II	5547	4827	0,34	0,34
-----2005-----					
Genotyp (G)	F × L-T1 _D	421	2338 **	1,05 **	1,66 **
	F × L-T2 _D	1358 **	1281 *	0,96 **	1,99 **
	D × L-T1 _F	1997 **	3750 **	0,90 **	1,16 **
	D × L-T2 _F	1185 *	1635 *	1,52 **	1,47 **
G × Ort- Interaktion	F × L-T1 _D	4215 **	4614 **	0,65 **	0,54 **
	F × L-T2 _D	3627 **	4572 **	0,43 **	0,44 **
	D × L-T1 _F	2418 **	2514 **	0,34 **	0,17 **
	D × L-T2 _F	4209 **	8845 **	0,32 **	0,67 **
Fehler	F × L-T1 _D	5124	4950	0,31	0,30
	F × L-T2 _D	4045	5496	0,29	0,26
	D × L-T1 _F	4451	5041	0,31	0,32
	D × L-T2 _F	5181	6444	0,32	0,32

+, *, ** Signifikanz des entsprechenden MQs für $\alpha = 0,1$ bzw. $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$ (F-Test).

† Abkürzungen der Materialsätze und Anzahl Prüfglieder je Materialsatz siehe Kap. 2.1.

Die Varianzkomponentenschätzwerte für den Korn-TS-Gehalt unterschieden sich in beiden Jahren ebenfalls kaum zwischen den beiden Wirtschaftsweisen.

Der höchste Schätzwert genotypischer Varianz wurde 2005 beim Materialsatz $F \times L-T2_D$ bei Anbau unter konventionellen Bedingungen gefunden. Er war dabei fast doppelt so hoch wie der entsprechende Schätzwert bei ökologischer Wirtschaftsweise, der wie alle anderen Schätzwerte der genotypischen Varianz hochsignifikant war.

Im Jahr 2004 zeigten sich zum Teil leicht erhöhte Schätzwerte für die Genotyp \times Ort-Interaktion bei ökologischer im Vergleich mit konventioneller Wirtschaftsweise, was aber durch die Ergebnisse von 2005 nicht bestätigt wurde.

Die Varianzkomponentenschätzwerte für den Zeitpunkt der weiblichen Blüte (Tab. 3.6) verhielten sich in den beiden betrachteten Jahren übereinstimmend. Für die genetische Varianz wurden bei konventioneller Wirtschaftsweise jeweils etwas höhere Schätzwerte gefunden als bei ökologischer, wobei die Schätzwerte in beiden Fällen hochsignifikant waren.

Bei der Wuchshöhe zeigten sich bei beiden Wirtschaftsweisen in beiden Jahren hochsignifikante genotypische Varianzkomponenten, die durchschnittlich 2004 etwas höher waren als 2005. Unterschiedlich zwischen den Wirtschaftsweisen waren dagegen die Schätzwerte für die Genotyp \times Ort-Interaktions- und die Fehlervarianz. Während die Genotyp \times Orts-Interaktionsvarianzen 2004 unter ökologischen Bedingungen mit zum Teil negativen Schätzwerten durchschnittlich kleiner waren als unter konventionellen Bedingungen, waren sie 2005 bei allen Materialsätzen höher. Übereinstimmend bei beiden Jahren waren die Schätzwerte der Fehlervarianz unter ökologischen Bedingungen größer als unter konventionellen.

Tab. 3.6: Varianzkomponentenschätzwerte von acht Testkreuzungs-Materialsätzen für weibliche Blüte (BLW) und Wuchshöhe (WUH) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise

Variations- ursache	Materialsatz	BLW [d]		WUH [cm]	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON
-----2004-----					
Genotyp (G)	(F × SC-T _D) I	0,92 **	1,14 **	105,0 **	108,6 **
	(F × SC-T _D) II	0,89 **	1,19 **	58,1 **	64,9 **
	(D × SC-T _F) I	0,75 **	0,99 **	91,5 **	90,2 **
	(D × SC-T _F) II	1,16 **	1,15 **	99,9 **	88,8 **
G × Ort- Interaktion	(F × SC-T _D) I	0,15 *	0,06	11,8 **	5,7 +
	(F × SC-T _D) II	0,23 **	0,01	7,4 *	10,9 **
	(D × SC-T _F) I	0,06	0,11 *	-1,7	16,5 **
	(D × SC-T _F) II	0,11 +	0,09 +	-10,4	9,2 *
Fehler	(F × SC-T _D) I	0,94	0,85	60,0	46,9
	(F × SC-T _D) II	0,73	0,80	49,6	35,0
	(D × SC-T _F) I	0,92	0,71	79,3	47,9
	(D × SC-T _F) II	0,92	0,72	98,3	50,9
-----2005-----					
Genotyp (G)	F × L-T1 _D	1,13 **	2,84 **	58,7 **	72,9 **
	F × L-T2 _D	0,76 **	1,45 **	40,9 **	24,8 **
	D × L-T1 _F	0,89 **	1,25 **	59,4 **	53,5 **
	D × L-T2 _F	1,25 **	1,31 **	73,3 **	101,8 **
G × Ort- Interaktion	F × L-T1 _D	0,06	0,35 **	9,2	0,1
	F × L-T2 _D	0,37 **	0,28 **	27,2 *	10,5 +
	D × L-T1 _F	0,21 **	0,39 **	16,8 **	10,7 *
	D × L-T2 _F	0,27 **	0,46 **	25,7 *	19,4 **
Fehler	F × L-T1 _D	0,76	0,95	82,7	65,2
	F × L-T2 _D	1,02	0,75	141,2	78,3
	D × L-T1 _F	0,78	0,79	73,8	59,9
	D × L-T2 _F	0,89	0,93	144,0	56,6

+, *, ** Signifikanz des entsprechenden MQs für $\alpha = 0,1$ bzw. $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$ (F-Test).

† Abkürzungen der Materialsätze und Anzahl Prüfglieder je Materialsatz siehe Kap. 2.1.

Der im Jahr 2006 in nur zwei Umwelten geprüfte Satz von Experimentalhybriden bestätigte die Befunde der beiden Vorjahre nur teilweise (Tab. 3.7). Die Größenordnungen der genotypischen und der Fehlervarianzkomponenten unterschieden sich bei Kornertrag und Korn-TS-Gehalt nur wenig zwischen den Wirtschaftsweisen.

Tab. 3.7: Varianzkomponentenschätzwerte eines Materialsatzes von Experimentalhybriden (EXP-Hyb) und seiner beiden Teilgruppen (ÖKO-Hyb, KON-Hyb†) für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise 2006

Variations- ursache	Materialsatz bzw. -gruppe	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON
Genotyp (G)	EXP-Hyb	2181 *	1722	0,84 **	0,84 *
	ÖKO-Hyb	-1692	1460	1,16 **	1,17 +
	KON-Hyb	6126 **	2680 *	0,60 **	0,47 *
G × Ort- Interaktion	EXP-Hyb	6038 **	11643 **	1,06 **	2,51 **
	ÖKO-Hyb	8714 **	18661 **	1,49 **	3,37 **
	KON-Hyb	3412 **	3099 *	0,32 *	0,81 **
Fehler	EXP-Hyb	7176	9406	0,99	0,95

*, ** Signifikanz des entsprechenden MQs für $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$ (F-Test).

† Abkürzungen der Teilgruppen: ÖKO-Hyb = unter ökologischen Bedingungen entwickelte Experimentalhybriden (N=46); KON-Hyb = unter konventionellen Bedingungen entwickelte Hybriden (N=44).

Anders verhielten sich die jeweiligen Schätzwerte der Genotyp × Ort-Interaktionsvarianz. Diese waren bei beiden Merkmalen bei konventioneller Wirtschaftsweise etwa doppelt so hoch wie bei ökologischer. Dies hatte zur Folge, dass bei konventioneller Wirtschaftsweise die genotypische Varianzkomponente des Kornertrags nicht und die des Korn-TS-Gehalts nur bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ signifikant wurde. Interessanterweise verhielten sich die beiden Teilgruppen offenbar nicht gleichsinnig. Während die ÖKO-Hybriden offensichtlich stark zu den hohen Genotyp × Ort-Interaktionsvarianzen des Kornertrags unter beiden Wirtschaftsweisen beitrugen, zeigten die KON-Hybriden signifikante bzw. hochsignifikante genotypische Varianzkomponenten. Beim Korn-TS-

Gehalt dagegen waren unter beiden Anbaubedingungen die ÖKO-Hybriden sowohl für die hohen genotypischen als auch für die hohen Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianzen verantwortlich.

Die Varianzkomponentenschätzwerte für den Zeitpunkt der weiblichen Blüte entsprachen denen der beiden Vorjahre. Für die Wuchshöhe ergab sich 2006 so wie im Jahr 2004 eine negative Varianzkomponente für die Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianz bei ökologischer Wirtschaftsweise (Daten nicht gezeigt).

Die Heritabilitätskoeffizienten für den Kornertrag bewegten sich im Jahr 2004 bei beiden Wirtschaftsweisen im mittleren Bereich (Tab. 3.8). Im Folgejahr lagen die Koeffizienten unter beiden Anbaubedingungen im mittleren bis niedrigen Bereich mit Ausnahme des Materialsatzes $F \times L-T1_D$, bei dem unter ökologischen Bedingungen ein sehr niedriger Schätzwert gefunden wurde. Im abschließenden Versuchsjahr 2006 wurde bei ökologischer Wirtschaftsweise ein niedriger und bei konventioneller Wirtschaftsweise ein sehr niedriger Heritabilitätskoeffizient gefunden. Unter Berücksichtigung der angegebenen Vertrauensintervalle konnte nur bei den Materialsätzen $(D \times SC-T_F)$ II und $F \times L-T1_D$ ein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den bei ökologischer bzw. konventioneller Wirtschaftsweise erzielten Koeffizienten festgestellt werden. Im ersten Fall wurde hierbei ein höherer Schätzwert unter ökologischer, im zweiten ein höherer unter konventioneller Wirtschaftsweise festgestellt.

Für den Korn-TS-Gehalt wurden in den Jahren 2004 und 2005 bei beiden Wirtschaftsweisen hohe bis sehr hohe Heritabilitätskoeffizienten gefunden. Es konnten in fünf Fällen statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den beiden Wirtschaftsweisen festgestellt werden, wobei in vier Fällen der unter konventionellen gefundene und nur in einem Fall der unter ökologischen Bedingungen gefundene Koeffizient größer war. Im Abschlussjahr 2006 wurden für den Korn-TS-Gehalt ungewöhnlich niedrige Heritabilitätskoeffizienten gefunden, die sich statistisch nicht unterschieden.

Tab. 3.8: Geschätzte Koeffizienten der Heritabilität (h^2) und zugehörige 95 %-Konfidenzintervalle (CI 95) von neun Materialsätzen für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise

Materialsatz†	Jahr	KTM [g m^{-2}]				KTS [%]			
		ÖKO		KON		ÖKO		KON	
		h^2	CI 95	h^2	CI 95	h^2	CI 95	h^2	CI 95
(F × SC-T _D) I	04	0,45	0,20-0,61	0,57	0,37-0,70	0,84	0,76-0,89	0,86	0,80-0,90
(F × SC-T _D) II	04	0,46	0,21-0,62	0,42	0,16-0,59	0,73	0,60-0,81	0,87	0,81-0,91
(D × SC-T _F) I	04	0,32	0,01-0,52	(0,06)	-	0,89	0,84-0,92	0,87	0,81-0,91
(D × SC-T _F) II	04	0,54	0,33-0,68	0,30	-0,02-0,51	0,86	0,80-0,90	0,89	0,83-0,92
F × L-T1 _D	05	0,16	-0,32-0,44	0,50	0,21-0,67	0,80	0,68-0,87	0,88	0,81-0,92
F × L-T2 _D	05	0,42	0,07-0,63	0,34	-0,05-0,58	0,83	0,73-0,89	0,91	0,86-0,94
D × L-T1 _F	05	0,56	0,33-0,71	0,69	0,53-0,79	0,85	0,76-0,90	0,91	0,87-0,94
D × L-T2 _F	05	0,34	-0,01-0,56	0,29	-0,09-0,52	0,91	0,85-0,94	0,84	0,76-0,89
EXP-Hyb	06	0,31	-0,05-0,55	0,17	-0,25-0,46	0,52	0,27-0,68	0,36	0,03-0,58

() = Ergebnis des Materialsatzes wird wegen eines vermuteten Versuchsfehlers nicht gewertet.

† Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1.

Bei zusammenfassender Verrechnung über Genotypen, Regionen und Wirtschaftsweisen nach einem gemischten Modell kristallisierte sich eine charakteristische Zusammensetzung der Varianzkomponenten heraus (Tab. 3.9). Die Regel waren sehr hohe Varianzkomponenten für die Region \times Wirtschaftsweise-Interaktion in Kombination mit hohen Varianzkomponenten für die Genotyp \times Region \times Wirtschaftsweise-Interaktion. Nur selten wurden signifikante Genotyp \times Wirtschaftsweise-Interaktionen gefunden und fast nie ein signifikanter Haupteffekt der Wirtschaftsweise, obwohl sich am Beispiel des Materialsatzes D \times L-T1F einfach zeigen ließ, dass bei Verrechnung innerhalb der einzelnen Regionen in jeder der drei Regionen ein hochsignifikanter Effekt der Wirtschaftsweise und in zwei der Regionen (Grucking und Hohenheim) zusätzlich eine hochsignifikante Varianzkomponente für die Interaktion von Genotyp und Wirtschaftsweise gefunden wurde (Daten nicht gezeigt).

Tab. 3.9: Varianzkomponentenschätzwerte von zwei repräsentativen Testkreuzungs-Materialsätzen für Korn trockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) 2005 bei zusammenfassender Verrechnung über je 69 Genotypen, 3 Regionen und zwei Wirtschaftsweisen§ nach einem gemischten Modell

Variationsursache	Materialsatz†	KTM [g m ⁻²]‡	KTS [%]
Wirtschaftsweise (W)	D × L-T1 _F	(2072)¶	(-0,24)
	D × L-T2 _F	(2153)	(-0,24)
Region (R)	D × L-T1 _F	441 **	7,95 **
	D × L-T2 _F	317 **	8,11 **
Genotyp (G)	D × L-T1 _F	268 **	1,00 **
	D × L-T2 _F	82 *	1,47 **
R × W-Interaktion	D × L-T1 _F	1116 **	5,70 **
	D × L-T2 _F	1924 **	6,49 **
G × R-Interaktion	D × L-T1 _F	152 **	0,20 **
	D × L-T2 _F	467 **	0,36 **
G × W-Interaktion	D × L-T1 _F	30	0,06 **
	D × L-T2 _F	118 *	0,06 *
G × R × W-Interaktion	D × L-T1 _F	201 **	0,10 **
	D × L-T2 _F	372 **	0,28 **
Fehler	D × L-T1 _F	475	0,32
	D × L-T2 _F	581	0,32

*, ** Signifikanz des entsprechenden MQs für $\alpha = 0,1$ bzw. $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$ (F-Test).

† Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1.

‡ Varianzkomponentenschätzwert $\times 10^{-1}$.

§ Wirtschaftsweisen: ökologisch, konventionell.

¶ Wirtschaftsweise wird als fixer Effekt angenommen.

3.1.3 Korrelationen zwischen einzelnen Standorten

Ein weiteres Charakteristikum der vergleichenden Versuchsanstellung unter ökologischen vs. konventionellen Bedingungen lässt sich ebenfalls anhand der Kornerträge des Materialsatzes D × L-T1_F erläutern (Tab. 3.10). Die Versuchsstandorte innerhalb einer Wirtschaftsweise korrelierten zum Teil weniger eng miteinander als mit Standorten der entgegengesetzten Wirtschaftsweise. Beispielsweise ließ sich eine straffere Beziehungen feststellen zwischen dem in Einbeck unter ökologischen und dem in Hohenheim unter konventionellen Bedingungen erwirtschafteten Kornertrag, als zwischen den in Einbeck und Hohenheim gleichermaßen bei ökologischer Wirtschaftsweise erzielten Erträgen.

Tab. 3.10: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen Korrelation zwischen den einzelnen Versuchsstandorten für die Korntrockenmasse des Testkreuzungs-Materialsatzes D × L-T1_F 2005

Standort†	HOO	GRO	EIK	HOK	GRK
EIO	0,27 *	0,28 *	0,67 **	0,49 **	0,39 **
HOO		0,39 **	0,39 **	0,20	0,13
GRO			0,36 **	0,33 **	0,36 **
EIK				0,56 **	0,38 **
HOK					0,45 **

*, ** Signifikanz für $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$.

† Abkürzungen der Versuchsstandorte siehe Kap. 2.1.

3.1.4 Merkmalskorrelationen

Die geschätzten phänotypischen Korrelationen zwischen den Hauptmerkmalen Korntrockenmasse, Korn-TS-Gehalt, Zeitpunkt der weiblichen Blüte und Wuchshöhe in den vier Ausgangsmaterialsätzen 2004 unterschieden sich im allgemeinen nur geringfügig zwischen den beiden Wirtschaftsweisen (Tab. 3.11) Auffallend ist eine unter beiden Wirtschaftsweisen nur sehr schwach negative bzw. bei zwei der Materialsätzen unter ÖKO-Bedingungen sogar leicht positive Beziehung zwischen Korn-TS-Gehalt und Kornertrag.

Tab. 3.11: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen Korrelation zwischen Korn trockenmasse (KTM), Korn-TS-Gehalt (KTS), weibliche Blüte (BLW), Wuchshöhe (WUH) und Bonitur Jugendentwicklung (JE) von vier Materialsätzen bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise im Jahr 2004

Merkmal	Materialsatz†	KTS		BLW		WUH		JE‡
		ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO
KTM	(F × SC-T _D) I	0,05	-0,01	-0,05	0,25 *	0,11	0,42 **	-0,36 **
	(F × SC-T _D) II	0,10	-0,12	-0,17	0,08	0,21 *	0,33 **	-0,21 *
	(D × SC-T _F) I	-0,18	(-0,23 *)	0,15	(-0,07)	0,42 **	(-0,02)	-0,39 **
	(D × SC-T _F) II	-0,10	-0,14	0,17	0,18	0,40 **	0,35 **	-0,41 **
KTS	(F × SC-T _D) I			-0,41 **	-0,49 **	0,04	-0,06	-0,19
	(F × SC-T _D) II			-0,46 **	-0,46 **	-0,29 **	-0,31 **	-0,03
	(D × SC-T _F) I			-0,16	-0,23 *	-0,07	-0,17	0,04
	(D × SC-T _F) II			-0,51 **	-0,50 **	-0,38 **	-0,38 **	-0,03
BLW	(F × SC-T _D) I					0,38 **	0,32 **	0,30 **
	(F × SC-T _D) II					0,46 **	0,42 **	0,38 **
	(D × SC-T _F) I					0,58 **	0,68 **	-0,20
	(D × SC-T _F) II					0,42 **	0,56 **	0,04
WUH	(F × SC-T _D) I							-0,11
	(F × SC-T _D) II							0,09
	(D × SC-T _F) I							-0,21 *
	(D × SC-T _F) II							-0,13

Zu Tab. 3.11

- † Abkürzungen der Materialsätze siehe Abkürzungsverzeichnis.
‡ Bonitur Jugendentwicklung: Skala: 1=optimale Jugendentwicklung bis 9=extrem schlechte Jugendentwicklung. Eine zusammenfassende Verrechnung der Bonitur Jugendentwicklung unter konventionellen Bedingungen entfiel, da für den in Einbeck ausgesäten Ersatzversuch (vgl. Tab. 7.1) keine mit den anderen Standorten vergleichbare Jugendentwicklungsbonitur durchgeführt worden war.
() = Ergebnis des Materialsatzes im Merkmal KTM wurde wegen eines vermuteten Fehlers bei der Versuchsdurchführung nicht gewertet.
-

Interessanterweise zeigen die gleichen Materialsätze bei ökologischer Wirtschaftsweise außerdem leicht negative Korrelationen zwischen der Korntrockenmasse und dem Zeitpunkt der weiblichen Blüte und nur sehr schwache positive Korrelationen zwischen Wuchshöhe und Korntrockenmasse.

Die Beziehung der Jugendentwicklungsbonitur zum Kornertrag bewegte sich aufgrund des verwendeten Boniturschlüssel erwartungsgemäß im negativen Bereich und erwies sich als schwach bis mittelstraff, wobei der Zusammenhang in allen vier Fällen statistisch signifikant bzw. hochsignifikant war. Zum Korn-TS-Gehalt bestand keine Beziehung. Mit dem Zeitpunkt der weiblichen Blüte war die Jugendentwicklung teils positiv, teils nicht und teils sogar schwach negativ korreliert. Durch die Ergebnisse der Folgejahre wurden hiervon die positiven Schätzwerte bestätigt. Für die Korrelation von Jugendentwicklungsbonitur und Korn-TS-Gehalt wurden in den Folgejahren häufig schwach negative Schätzwerte gefunden (Daten nicht gezeigt).

Wird die Beziehung der Jugendentwicklungsbonitur zum Kornertrag in einzelnen Umwelten betrachtet (Tab. 3.12), so deutet sich eine etwas straffere Beziehung unter ökologischen im Vergleich mit konventionellen Bedingungen an. Allerdings war die Wiederholbarkeit der Jugendentwicklungsbonitur tendenziell höher bei konventioneller Wirtschaftsweise. Außerdem zeigte sich, dass bei einer zusammenfassenden Verrechnung über mehrere Orte bezüglich der Korrelationskoeffizienten eine Umkehrung der Verhältnisse eintreten kann. Im Jahr 2006 ergab sich für die Korrelation zwischen Jugendentwicklungsbonitur und Kornertrag in der zusammenfassenden Verrechnungen ein Schätzwert von -0,13 für ökologische und von -0,21* für konventionelle Wirtschaftsweise.

Tab. 3.12: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen Korrelation (r_p) zwischen der Bonitur der Jugendentwicklung (JE) und der Korntrockenmasse (KTM) sowie die geschätzte Wiederholbarkeit der Jugendentwicklungsbonitur (Wdh % JE) von unterschiedlichen Materialsätzen in verschiedenen Umwelten bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise

Umwelt†	Materialsatz‡	r_p (JE§-KTM)		Wdh % JE	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON
HOH 04	(F × SC-T _D) I	-0,47 **	-0,34 **	26,7	31,9
	(F × SC-T _D) II	-0,18	-0,29 **	4,9	25,0
	(D × SC-T _F) I	-0,44 **	(-0,07)	25,8	17,5
	(D × SC-T _F) II	-0,36 **	-0,08	15,0	30,8
HOH 06	EXP-Hyb + Syn	-0,49 **	-0,38 **	29,5	45,8
GRU 06	EXP-Hyb + Syn	-0,49 **	-0,50 **	48,9	28,5

*, ** Signifikanz für $\alpha=0,05$ bzw. $\alpha=0,01$.

† Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1. **Nota bene:** Die vorliegenden Ergebnisse stammen aus der Gitterverrechnung von Einzelorten. Deshalb schließen die Materialsätze hier Standard- und Vergleichssorten mit ein.

§ Skala Bonitur Jugendentwicklung (JE): 1 = sehr gut bis 9 = sehr schwach.

() = Ergebnis des Materialsatzes wird wegen eines vermuteten Versuchsfehlers nicht gewertet.

Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Merkmalsbeziehungen, zeigten sich bei vergleichenden Korrelationsanalysen mit Ertrags- und Lagermerkmalen deutliche Unterschiede zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise. So ergaben sich beim Materialsatz F × L-T_{2D} in Grucking 2005 (Tab. 3.13) zwischen den Wirtschaftsweisen stark unterschiedliche Beziehungen von Korntrockenmasse und Green-snapping, von Lager vor Ernte und Korntrockenmasse sowie von Lager vor Ernte und Korn-TS-Gehalt, wobei hier sogar das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten wechselte.

Tab. 3.13: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen Korrelation zwischen Korntrockenmasse (KTM), Korn-TS-Gehalt (KTS) und der Anzahl der Pflanzen mit Lager vor Ernte (LE) bzw. Sommerlager (SL) oder Green-snapping (GS) für den Testkreuzungs-Materialsatz F × L-T2_D† bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise in Grucking 2005

Merkmal	KTS		LE		SL		GS	
	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON
KTM	-0,02	0,18	-0,10	-0,57 **	0,15	-0,33 **	-0,03	-0,47 **
KTS			0,35 **	-0,24 *	-0,01	-0,07	-0,11	-0,01
LE					0,14	0,43 **	0,22	0,31 **
SL							0,07	-0,12

*, ** Signifikanz für $\alpha=0,05$ bzw. $\alpha=0,01$.

† **Nota bene:** Die vorliegenden Ergebnisse stammen aus der Gitterverrechnung von Einzelorten, deshalb hier Materialsatz incl. Standard- und Vergleichssorten.

3.1.5 Korrelationen zwischen Wirtschaftsweisen

Die Schätzwerte der phänotypischen Korrelation zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise für die Korntrockenmasse differierten erheblich. Insgesamt ergab sich nur eine mäßige Übereinstimmung zwischen den bei ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise erzielten Leistungen. Im Jahr 2005 variierten die phänotypischen Korrelationen zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise zwischen den Materialgruppen stärker als im Vorjahr und waren insgesamt schwächer als in dem 2004 geprüften unselektierten Material. Dieser Trend setzte sich fort im Jahr 2006, in dem bei den Experimentalhybriden mit $r_p = 0,26^*$ nur noch ein schwacher phänotypischer Zusammenhang zwischen den Wirtschaftsweisen festzustellen war. Die zugehörigen Bootstrap-Vertrauensintervalle waren unterschiedlich breit, schlossen aber in keinem Fall den Wert 1 mit ein.

Die gefundenen Schätzwerte für die genotypischen Korrelation zwischen den Wirtschaftsweisen variierten noch stärker als die der phänotypischen Korrelation. Sie wiesen durchweg sehr große Bootstrap-Vertrauensintervalle auf, die alle den Wert 1 einschlossen.

Für den Korn-TS-Gehalt war der Zusammenhang zwischen den beiden Wirtschaftsweisen durchgehend straff, allerdings ließ sich auch hier eine Abnahme der Schätzwerte zwischen 2004 und 2006 feststellen. Die korrespondierenden genotypischen Korrelationskoeffizienten waren durchweg etwas höher als die phänotypischen und variierten in ähnlichem Umfang. Die Bootstrap-Vertrauensintervalle für phänotypische und genotypische Korrelationskoeffizienten waren gleichermaßen schmal und überschritten nur im Fall der Experimentalhybriden eine Spanne von 0,13.

Tab. 3.14: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen (r_p) und genotypischen (r_g) Korrelation zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise und zugehörige 95 %-Bootstrap Konfidenzintervalle (B-CI 95) für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) von 9 Materialsätzen

Materialsatz†	Jahr	KTM				KTS			
		r_p	<i>B-CI 95</i>	r_g	<i>B-CI 95</i>	r_p	<i>B-CI 95</i>	r_g	<i>B-CI 95</i>
(F × SC-T _D) I	04	0,63 **	0,52-0,73	1,11 ++	0,71-1,43	0,91 **	0,87-0,96	1,01 ++	0,96-1,05
(F × SC-T _D) II	04	0,55 **	0,39-0,72	1,12 ++	0,61-1,53	0,92 **	0,89-0,95	1,06 ++	1,01-1,11
(D × SC-T _F) I	04	(0,22 *)	-	(0,90)	-	0,93 **	0,90-0,96	0,99 ++	0,97-1,02
(D × SC-T _F) II	04	0,37 **	0,19-0,55	0,60 ++	-0,21-1,30	0,93 **	0,91-0,96	1,01 ++	0,98-1,03
F × L-T1 _D	05	(0,50 **)	(0,24-0,80)	(1,66 +)	(-0,45-4,61)	0,89 **	0,84-0,94	0,98 ++	0,93-1,03
F × L-T2 _D	05	0,08	-0,15-0,31	0,07	-1,01-1,14	0,87 **	0,81-0,94	0,96 ++	0,90-1,03
D × L-T1 _F ‡	05	0,62 **	0,42-0,85	0,95 ++	0,64-1,22	0,85 **	0,83-0,93	0,91 ++	0,91-1,00
D × L-T2 _F	05	0,26 *	0,07-0,46	0,16	-1,46-2,00	0,88 **	0,83-0,94	0,96 ++	0,92-1,01
EXP-Hyb	06	0,26 *	-0,04-0,53	0,57 +	-1,20-2,37	0,77 **	0,66-0,88	0,98 ++	0,51-1,42

*, ** Signifikanz für $\alpha=0,05$ bzw. $\alpha=0,01$.

+, ++ Schätzwert ist größer als das Einfache oder Doppelte seines Standardfehlers.

() = Ergebnis wird wegen eines vermuteten Versuchsfehlers bzw. wegen einer nicht signifikanten genotypischen Varianzkomponente nicht gewertet.

† Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1.

‡ Aufgrund minimaler Unterschiede zwischen PLABSTAT und SAS-PROC GLM bei der Berücksichtigung von Ersatzwerten in der Kovarianzanalyse kommt SAS- PROC GLM zu folgenden teilweise leicht abweichenden Schätzwerten für den Materialsatz D × L-T1 : KTM $r_p = 0,62$; $r_g = 0,94$ KTS: $r_p = 0,88$; $r_g = 0,95$.

Eine Aufteilung von Testkreuzungen bzw. Experimentalhybriden in Teilgruppen gemäß der vorangegangenen spezifischen Selektion war nur beim Materialsatz $D \times L-T2_F$ 2005 und bei den Experimentalhybriden 2006 erkennbar (Abb. 3.1).

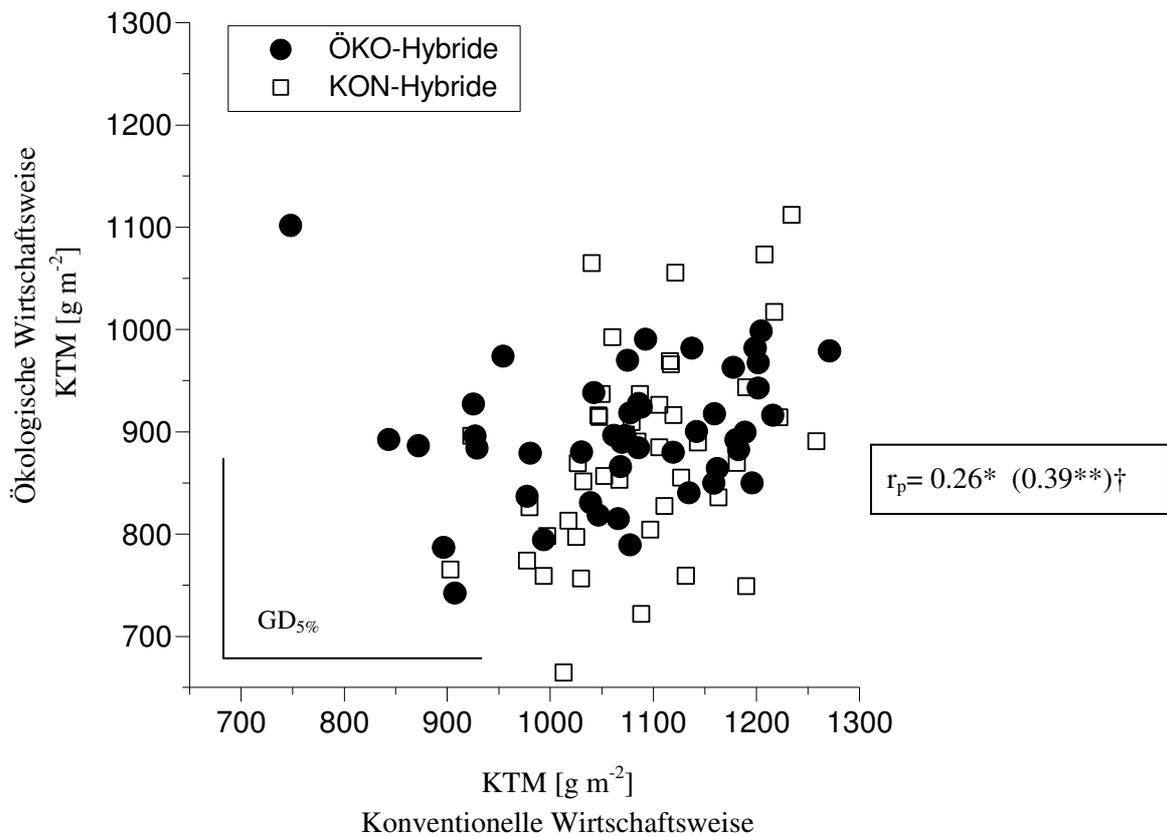


Abb. 3.1: Beziehungen zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise für die Korntrockenmasse [g m⁻²] von spezifisch für die beiden Wirtschaftsweisen entwickelten Experimentalhybriden 2006 (GD_{5%} = Grenzdifferenz bei $\alpha = 0,05$; r_p = Koeffizient der phänotypischen Korrelation, *, ** = signifikant von Null verschieden für $\alpha = 0,05$ bzw. $0,01$; † = ohne Extremwert links oben)

3.1.6 Effizienz der indirekten im Vergleich zur direkten Selektion

Die erwartete Effizienz der indirekten im Vergleich zur direkten Selektion nach FALCONER und MACKAY (1996) variierte stark zwischen den einzelnen Materialsätzen (Tab. 3.15). Im Durchschnitt ergab sich für die ökologische Wirtschaftsweise eine Effizienz der indirekten Selektion von $> 0,7$ während für die konventionelle Wirtschaftsweise eine geringerer Schätzwert gefunden wurde.

Tab. 3.15: Erwartete Effizienz der indirekten im Vergleich zur direkten Selektion (CR/R) und zugrundeliegende statistische Einzelparameter von neun Materialsätzen für die Korntrockenmasse bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; Berechnung nach FALCONER und MACKAY (1996) unter Verwendung des genotypischen Korrelationskoeffizienten (r_g) im Vergleich mit einer Berechnung unter Verwendung des phänotypischen Korrelationskoeffizienten (r_p)

Materialsatz†	Jahr	$r_{g‡}$	$r_{p‡}$	$h‡$		CR/R mit r_g		CR/R mit r_p	
				ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON
(F × SC-T _D) I	04	1,00§	0,63	0,67	0,75	1,12	0,89	0,71	0,56
(F × SC-T _D) II	04	1,00§	0,55	0,68	0,65	0,96	1,05	0,53	0,58
(D × SC-T _F) I	04	(0,90)	(0,22)	0,57	(0,24)	(0,38)	(2,14)	(0,09)	(0,52)
(D × SC-T _F) II	04	0,60	0,37	0,73	0,55	0,45	0,80	0,28	0,49
F × L-T1 _D	05	1,00§	0,50	0,40	0,71	1,78	0,56	0,89	0,28
F × L-T2 _D	05	0,07	0,08	0,65	0,58	0,06	0,08	0,07	0,09
D × L-T1 _F	05	0,95	0,62	0,75	0,83	1,05	0,86	0,69	0,56
D × L-T2 _F	05	0,16	0,26	0,58	0,54	0,15	0,17	0,24	0,28
EXP-Hyb	06	0,57	0,26	0,56	0,41	0,42	0,78	0,19	0,36

() = Ergebnisse des Materialsatzes werden wegen vermuteten Versuchsfehlers nicht gewertet.

† Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1.

‡ **Nota bene:** In allen drei Jahren wurden jeweils die statistischen Parameter h und r für die gesamten Materialsätze zugrunde gelegt. Angaben zu den entsprechenden Parametern der Prüfglied-Teilgruppen in 2005 und 2006 finden sich in Tab. 3.16 bzw. in Tab. 7.2 im Anhang.

§ Schätzwerte für $r_g > 1$ wurden für die Berechnung von CR/R auf $r_g = 1,00$ gesetzt.

Legt man der Berechnung von CR/R den phänotypischen Korrelationskoeffizienten zugrunde anstelle des genotypischen, ergibt sich auch hier bei ökologischer Wirtschaftsweise eine größere Effizienz der indirekten Selektion als bei konventioneller. Jedoch ergibt sich bei keiner der beiden Wirtschaftsweisen eine höhere Effizienz der indirekten im Vergleich mit der direkten Selektion.

3.1.7 Erwarteter direkter Selektionserfolg im Vergleich zum realisierten Selektionserfolg

Die erwarteten direkten Selektionserfolge waren im Jahr 2004 im Durchschnitt unter ökologischen Bedingungen etwas höher als unter konventionellen Bedingungen (Tab. 3.16) während es sich im Jahr 2005 genau umgekehrt verhielt.

Da das Ausgangsmaterial (2004) und das selektierte Material (2005) in unterschiedlichen Jahren und mit unterschiedlichen Testern evaluiert wurden, konnte auf Grund der vorliegenden Daten nur eine ungefähre Abschätzung des realisierten Selektionserfolgs gegeben werden (Tab. 3.17). Um einen Vergleich zwischen der Testkreuzungsleistung der unselektierten Fraktionen 2004 und der der selektierten Fraktionen 2005 zu ermöglichen, wurden die jeweiligen Fraktionsmittelwerte auf die Testkreuzungsleistung von zwei Standardlinien bezogen, die in beiden Jahren mit den jeweiligen Testern angepaart worden waren. Für die Flintlinien-Fraktionen ergab sich beim Vergleich der beiden ersten Versuchsjahre ein durchschnittlicher realisierter Selektionserfolge von ca. 3 % bei konventioneller Wirtschaftsweise und fast 6 % bei Ökologischer Wirtschaftsweise. Für die Dentlinien-Fraktionen ließen sich keine entsprechenden Aussagen treffen, da dort durch testerbedingtes Green-snapping eine Verzerrung der Versuchsergebnisse im Hinblick auf den realisierten Selektionserfolg vorlag.

Auch bei den im dritten Versuchsjahr geprüften Experimentalhybriden war der Selektionserfolg nur relativ zu mitgeprüften Standards zu ermitteln. Die auf Standardgruppen bezogenen Erträge der im Projekt entwickelten Experimentalhybriden waren im Allgemeinen geringer als die der Ausgangsmaterialsätze. Nur beim Vergleich der Top-Fraktionen (=Fraktion der jeweils 5 leistungsstärksten Hybriden) mit den jeweiligen Ausgangsmaterialsätzen ließ sich durchschnittlich eine Steigerung der relativen Leistung

feststellen. Besonders deutlich fiel diese Leistungssteigerung bei der Top-Fraktion der KON-Hybriden unter konventionellen Bedingungen aus.

Tab. 3.16: Erwarteter direkter Selektionserfolg (R) und zu Grunde liegende statistische Einzelparameter (h^2 , S) für die Korntrockenmasse von acht Testkreuzungs-Materialsätzen bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise unter Berücksichtigung einer Materialsatzunterteilung gemäß zweistufigem Selektionsschema

Materialsatz† bzw. -gruppe‡	Jahr	h^2		S [g m ⁻²]		R [g m ⁻²]		R [%]§	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON	ÖKO	KON
(F × SC-T _D) I	04	0,45	0,57	67	62	30	35	3,0	3,0
(F × SC-T _D) II	04	0,46	0,42	58	51	27	21	2,6	1,8
(D × SC-T _F) I	04	0,32	(0,06)	60	(57)	19	(3)	1,8	(0,3)
(D × SC-T _F) II	04	0,54	0,30	59	52	32	16	2,9	1,3
F × L-T1 _D - ÖKO-L	05	0,25	-	24	-	6	-	0,6	-
F × L-T1 _D - KON-L	05	-	0,41	-	5	-	2	-	0,2
F × L-T2 _D - ÖKO-L	05	0,23	-	49	-	11	-	1,2	-
F × L-T2 _D - KON-L	05	-	0,35	-	52	-	18	-	1,6
D × L-T1 _F - ÖKO-L	05	0,39	-	24	-	9	-	1,0	-
D × L-T1 _F - KON-L	05	-	0,73	-	60	-	44	-	3,8
D × L-T2 _F - ÖKO-L	05	0,36	-	37	-	13	-	1,4	-
D × L-T2 _F - KON-L	05	-	0,36	-	60	-	22	-	1,8

() = Ergebnisse des Materialsatzes werden wegen vermuteten Versuchsfehlers nicht gewertet.

† Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Liniengruppen: ÖKO-L = unter ökologischen Bedingungen selektierte Liniengruppe; KON-L = unter konventionellen Bedingungen selektierte Liniengruppe. Anzahl Linien N pro Liniengruppe ≥ 36 und ≤ 44 .

§ R [%] = $100 * R [g m^{-2}] / \text{Mittelwert des Materialsatz bzw. gruppe } [g m^{-2}]$

Tab. 3.17: Relative Leistung von 8 Testkreuzungs-Materialsätzen im Vergleich mit der Leistung von Experimentalhybriden (EXP-Hyb), den Teilgruppen (ÖKO-Hyb, KON-Hyb) und den jeweiligen Top-Fraktionen (Top-ÖKO-Hyb, Top-KON-Hyb) für die Korntrockenmasse bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; Angaben bezogen auf verschiedene Vergleichsstandards (FC-SC-T_D, DC-SC-T_F, FC-L-T_D, DC-L-T_F, SCH)[†]

Materialsatz bzw. - gruppe‡	Jahr	ÖKO			KON		
		% <i>FC-SC-T_D</i>	% <i>DC-SC-T_F</i>	% <i>SCH</i>	% <i>FC-SC-T_D</i>	% <i>DC-SC-T_F</i>	% <i>SCH</i>
(F × SC-T _D) I	04	93,3	-	94,6	96,7	-	96,2
(F × SC-T _D) II	04	94,4	-	94,0	95,3	-	97,5
(D × SC-T _F) I	04	-	99,8	106,7	-	96,9	105,0
(D × SC-T _F) II	04	-	102,5	99,7	-	102,6	105,3
		% <i>FC-L-T_D</i>	% <i>DC-L-T_F</i>	% <i>SCH</i>	% <i>FC-L-T_D</i>	% <i>DC-L-T_F</i>	% <i>SCH</i>
F × L-T1 _D	05	97,5	-	102,7	99,3	-	104,0
F × L-T2 _D	05	101,7	-	105,9	99,2	-	104,0
D × L-T1 _F	05	-	96,6	100,3	-	95,4	107,3
D × L-T2 _F	05	-	101,1	99,7	-	96,1	108,3
		% <i>FC-SC-T_D</i>	% <i>DC-SC-T_F</i>	% <i>SCH</i>	% <i>FC-SCT_D</i>	% <i>DC-SC-T_F</i>	% <i>SCH</i>
EXP-Hyb	06	87,6	86,9	98,5	95,4	91,0	96,7
ÖKO-Hyb	06	88,5	87,8	99,6	94,7	90,3	96,0
KON-Hyb	06	86,6	86,0	97,5	96,2	91,8	97,5
Top-ÖKO-Hyb§	06	99,5	98,8	112,0	95,2	90,8	96,5
Top-KON-Hyb#	06	98,6	97,8	110,9	108,6	103,6	110,1

[†] Abkürzungen u. Erläuterungen zu den Vergleichsstandards siehe Kap. 2.1.

[‡] Abkürzungen der Materialsätze und -gruppen siehe Kap. 2.1.

[§] Top-ÖKO-Hyb: Fraktion der fünf besten ÖKO-Hybriden unter ökologischen Anbaubedingungen.

[#] Top-KON-Hyb: Fraktion der fünf besten KON-Hybriden unter konventionellen Anbaubedingungen.

3.1.8 Ertragsstabilität

Eine Stabilitätsanalyse nach EBERHART und RUSSEL (1966) über alle vier Versuchsstandorte ergab für die Gruppe der ÖKO-Hybriden einen mittleren Regressionskoeffizienten <1 im Gegensatz zur Gruppe der KON-Hybriden, deren mittlerer Regressionskoeffizient genau bei 1 lag (Tab. 3.18). Die mittlere Abweichungsvarianz der ÖKO-Hybriden war mehr als doppelt groß wie die der KON-Hybriden. Weder die mittleren Regressionskoeffizienten noch die mittleren Abweichungsvarianzen unterschieden sich signifikant.

Tab. 3.18: Mittlere Schätzwerte für den Regressionskoeffizienten b und die Abweichungsvarianz s_d^2 der beiden spezifisch entwickelten Gruppen von Experimentalhybriden (ÖKO-Hyb, KON-Hyb) für die Korntrockenmasse in einer Stabilitätsanalyse nach EBERHART und RUSSEL (1966) über alle Versuchsstandorte 2006†

Materialgruppe‡	N	Regressionskoeffizient b		Abweichungsvarianz s_d^2 §	
		Mittelwert¶	Spannweite	Mittelwert¶	Spannweite
ÖKO-Hyb	46	0,89	2,4	171	2995#
KON-Hyb	44	1,00	1,6	83	324

† Versuchsstandorte 2006: HOK, GRK, HOO, GRO. Abkürzungen siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

§ Schätzwert $\times 10^{-2}$.

¶ Für die Parametermittelwerte bestanden zwischen den Materialgruppen keine signifikanten ($\alpha = 0,05$; Scheffé-Test) Unterschiede.

ÖKO-Hyb ohne Extremwert, $N=45$, vgl. Abb. 3.1:

Regr.koeff.: Mittelw.: 0,9; Spannw.: 2,1; Abweichungsvar.: Mittelw.: 106; Spannw.: 349.

3.2 Ergebnisse zum Themenkreis „Entwicklung neuer Sorten“

Da die Ergebnisse zur Entwicklung neuer Hybriden im Kapitel 3.1 bereits ausführlich dargestellt wurden, wird im Folgenden nur auf die Ergebnisse der neu entwickelten Populationssorten (Synthetics) eingegangen.

3.2.1 Mittelwerte

Die im Projekt entwickelten Synthetics erzielten einen durchschnittlichen Kornertrag von 729 g m⁻² bei ökologischer bzw. 794 g m⁻² bei konventioneller Wirtschaftsweise (Tab. 3.19) Die durchschnittlichen Korn-TS-Gehalte beliefen sich dabei auf durchschnittlich 69,3 % bzw. 69,0 %. Unter ökologischen Bedingungen erzielte hierbei der Synthetic 2 (44/44) einen etwas höheren Korn-TS-Gehalt als die übrigen drei Synthetics.

Tab. 3.19: Mittlere Leistung von vier verschiedenen Synthetics für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; jeweils gemittelt über zwei Umwelten 2006†

Synthetic‡	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]	
	ÖKO	KON	ÖKO	KON
Syn-3 (44/44)	728 a§	792 a	69,0 a	68,9 a
Syn-2 (44/44)	740 a	791 a	69,9 b	69,1 a
Syn-2 (22/22)	735 a	800 a	68,9 a	68,8 a
Syn-2 (11/11)	712 a	793 a	69,3 ab	69,1 a

† Umwelten: HOH 06, GRU 06; Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Synthetics siehe Kap. 2.1.

§ Gleiche Buchstaben innerhalb einer Spalte zeigen an, dass bei $\alpha=0,05$ keine signifikanten Mittelwertsdifferenzen zwischen den Gruppen vorliegen (Scheffé-Test).

3.2.2 Ertragsstabilität

In einer Stabilitätsanalyse nach EBERHART und RUSSEL (1966) ergaben sich für die Synthetics 3 (44/44) und 2 (44/44) mittlere Regressionskoeffizienten <1 und für die Synthetics 2 (22/22) und 2(11/11) mittlere Regressionskoeffizienten von 1 bzw. geringfügig über 1 (Tab. 3.20). Die mittleren Abweichungsvarianzen bewegten sich für

alle vier Synthetics im gleichen Bereich. Weder die mittleren Regressionskoeffizienten noch die mittleren Abweichungsvarianzen unterschieden sich signifikant.

Tab. 3.20: Mittlere Schätzwerte für den Regressionskoeffizienten b und die Abweichungsvarianz s_d^2 von vier verschiedenen Synthetics für die Korntrockenmasse in einer Stabilitätsanalyse nach EBERHART und RUSSEL (1966) über alle Versuchsstandorte 2006†

Synthetic‡	N	Regressionskoeffizient b		Abweichungsvarianz s_d^2 §	
		Mittelwert¶	Spannweite	Mittelwert¶	Spannweite
Syn-3 (44/44)	1 [#]	0,94	0,48	109	195
Syn-2 (44/44)	1 [#]	0,93	0,58	124	225
Syn-2 (22/22)	1 [#]	1,00	0,38	105	129
Syn-2 (11/11)	1 [#]	1,04	0,56	114	237

†Versuchsstandorte 2006: HOK, GRK, HOO, GRO; Abkürzungen siehe Kap. 2.1.

‡Abkürzungen der Synthetics siehe Kap. 2.1.

§Schätzwert $\times 10^{-2}$.

¶Für die Parametermittelwerte bestanden zwischen den Materialgruppen keine signifikanten ($\alpha = 0,05$; Scheffé-Test) Unterschiede.

#Synthetic wurde 6-fach geprüft.

3.3 Ergebnisse zum Themenkreis „Genetische Ressourcen“

3.3.1 Mittelwerte

Die mittlere Testkreuzungsleistung für den Kornertrag der aus Landrassen abgeleiteten Liniengruppen entsprach 2005 bei beiden Wirtschaftsweisen ungefähr derjenigen der Ursprungspopulationen (Tab. 3.21). Bei ökologischer Wirtschaftsweise wurden keine signifikanten Leistungsunterschiede zwischen den verschiedenen Landrassenmaterialgruppen gefunden, von denen sich jede einzelne allerdings signifikant von der Gruppe der CHECKS unterschied. Bei konventioneller Wirtschaftsweise dagegen war ein signifikanter Unterschied zwischen der mittleren Testkreuzungsleistung der aus dem Gelben Badischen Landmais und der aus Schindelmeiser abgeleiteten Linien festzustellen. Auch unter konventionellen Anbaubedingungen unterschied sich die Gruppe der CHECKS signifikant von allen Landrassenmaterialien.

Für den Korn-TS-Gehalt waren bei ökologischer Wirtschaftsweise ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Landrassenmaterialien festzustellen, nur im Vergleich zu den CHECKS ergab sich jeweils eine signifikante Mittelwertsdifferenz. Im Hinblick auf den Korn-TS-Gehalt unter konventionellen Bedingungen erzielte die Population Gelber Badischer Landmais und die aus ihr abgeleitete Liniengruppe nur eine relativ geringe Testkreuzungsleistung und unterschied sich damit signifikant von allen anderen Zuchtmaterialien. Im Gegensatz dazu erzielten die Population Schindelmeiser und die Gruppe der aus ihr abgeleiteten Linien etwas höhere Korn-TS-Gehalte.

Tab. 3.21: Mittlere Testkreuzungsleistung von zwei Gruppen aus Landrassen abgeleiteter, unselektierter DH-Linien (GB-DHL, SM-DHL) im Vergleich mit der Testkreuzungsleistung der Ursprungspopulationen (GB-Pop, SM-Pop) und der Leistung einer Gruppe von Vergleichshybriden (CHECKS) für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; jeweils gemittelt über drei Umwelten 2005†

Materialgruppe‡	N	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON
GB-DHL × SC-T _D	25	783 a§	1000 a	64,0 a	65,0 ab
SM-DHL × SC-T _D	44	812 a	1058 b	63,9 a	65,6 bc
GB-Pop × SC-T _D	1 [#]	781 a	1022 ab	63,0 a	64,4 a
SM-Pop × SC-T _D	1 [#]	806 a	1045 ab	63,9 a	65,5 bc
CHECKS	5 [#]	1021 b	1320 c	64,8 b	66,1 c

† Umwelten: EIN 05, HOH 05, GRU 05; Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

§ Gleiche Buchstaben innerhalb einer Spalte zeigen an, dass bei $\alpha=0,05$ keine signifikanten Mittelwertsdifferenzen zwischen den Gruppen vorliegen (Scheffé-Test).

#Materialgruppe wurde doppelt geprüft.

Im Jahr 2006 zeigte sich für die im Jahr 2005 selektierten Fraktionen im Allgemeinen ein ähnliches Bild (Tab. 3.22). Die Landrassenmaterialien setzten sich im Kornertrag deutlich nach unten ab von den CHECKS sowie von den Testkreuzungen der Multi-Cycle- und Elitelinien. Sie lagen auf dem gleichen Niveau wie die Testkreuzungen von First-Cycle-Linien. Interessanterweise war unter ökologischen Bedingungen der Abstand zwischen Landrassen- und anderen Zuchtmaterialien geringer als unter konventionellen und auch

geringer als unter den ökologischen Bedingungen des Vorjahres. Besonders auffallend war die relativ hohe Testkreuzungsleistung der Population Gelber Badischer Landmais unter ökologischen Bedingungen.

Auch im Hinblick auf den Korn-TS-Gehalt waren die modernen den Landrassenzuchtmaterialien überlegen. Die CHECKS erzielten allerdings unter konventionellen Bedingungen einen relativ geringen Korn-TS-Gehalt.

Tab. 3.22: Mittlere Testkreuzungsleistung von zwei Gruppen aus Landrassen abgeleiteter und auf ÖKO-Leistung vorselektierter DH-Linien (GB-sDHL, SM-sDHL) für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) im Vergleich mit der Leistung sechs anderer Materialgruppen bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise; jeweils gemittelt über drei Umwelten 2006†

Materialgruppe‡	N	KTM [g m ⁻²]		KTS [%]	
		ÖKO	KON	ÖKO	KON
GB-sDHL × L-T _D	11	910 a§	979 ab	68,5 ab	69,8 ab
SM-sDHL × L-T _D	16	909 a	958 ab	68,9 ab	70,1 b
GB-Pop × L-T _D	1 [#]	966 ab	949 a	67,5 a	68,6 ab
SM-Pop × L-T _D	1 [#]	903 a	982 b	68,4 a	70,2 abc
FCL × L-T _D	5	899 a	998 ab	70,5 abc	70,9 abc
MCL × L-T _D	3	1071 bc	1205 c	69,6 abc	70,3 abc
ELL × L-T _D	26	1102 c	1253 c	70,6 c	71,5 c
CHECKS	5	1152 c	1328 d	69,1 b	68,7 a

† Umwelten: EIN 06, HOH 06, GRU 06; Abkürzungen der Umwelten siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

§ Gleiche Buchstaben innerhalb einer Spalte zeigen an, dass bei $\alpha=0,05$ keine signifikanten Mittelwertsdifferenzen zwischen den Gruppen vorliegen (Scheffé-Test).

#Materialgruppe wurde 3-fach geprüft.

Die beachtliche Leistung einzelner Genotypen aus den beiden Landrassen-Materialgruppen wird anhand einer Grafik deutlich (Abb. 3.2). Mehrere DH-Linien aus der Landrasse Schindelmeiser übertrafen die Ausgangspopulation in der Testkreuzungsleistung für den Kornertrag oder Korn-TS-Gehalt oder beides (Abb. 3.2). Unter den DH-Linien aus dem Gelben Badischen Landmais wies eine Linie eine überragende Ertrag-Reife-Kombination

auf. Diese und mehrere Linien aus Schindelmeiser übertrafen auch die bekannten First-Cycle-Linien F2 und F7.

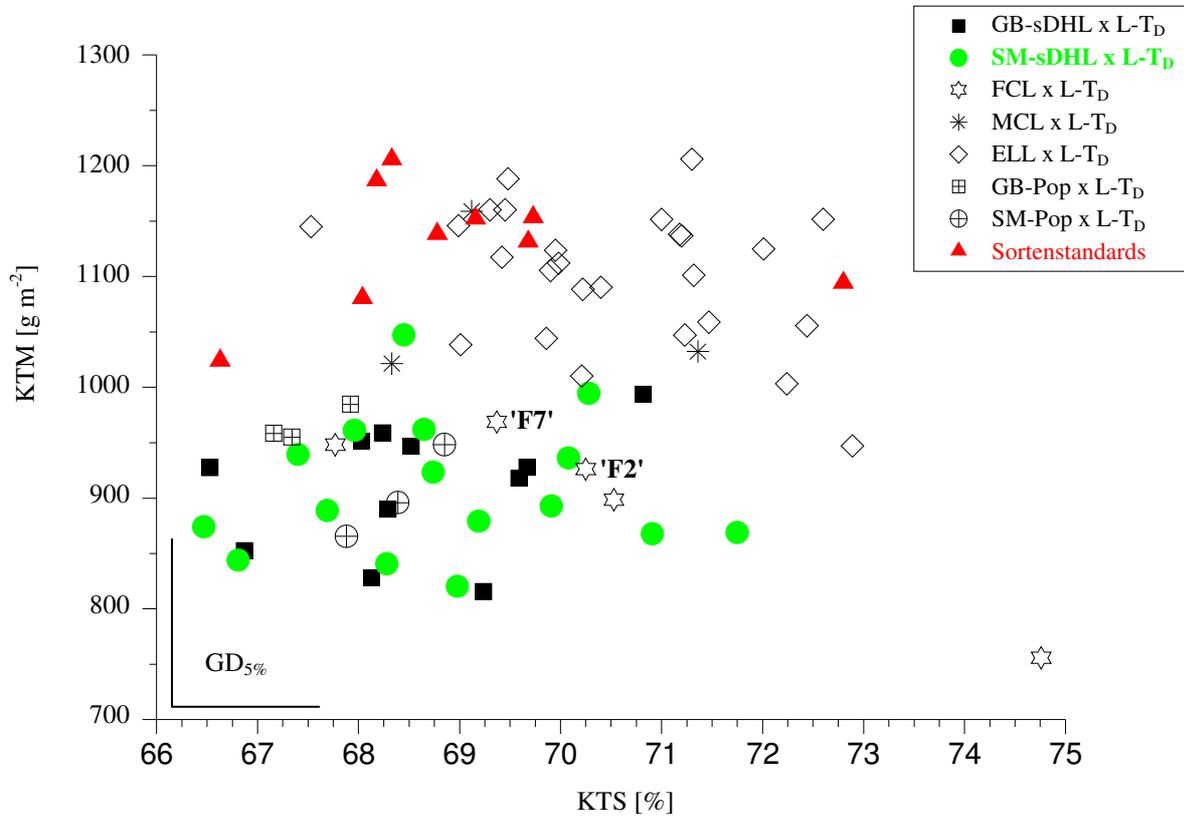


Abb. 3.2: Beziehung zwischen Kornrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) in einer Testkreuzungsserie mit zwei Landrassenpopulationen, selektierten DH-Linien aus diesen Populationen sowie Inzuchtlinien verschiedener Züchtungs-epochen; Prüfgliedmittelwerte über drei ökologisch bewirtschaftete Orte 2006 mit neun KWS-Hybriden als Sortenstandards ($GD_{5\%}$ = Grenzdifferenz bei $\alpha = 0,05$)

(Abkürzungen: GB = Gelber Badischer Landmais, SM = Schindelmeiser, sDHL = vorselektierte DH-Linie, FCL = First-Cycle-Linie, MCL = Multi-Cycle-Linie, ELL = Elite-Linie, Pop = Landrassenpopulation, L-T_D = Dent-Linientester)

Die durchschnittliche Testkreuzungsleistung der Landrassenmaterialgruppen für den Kornertrag unterschied sich außerdem stark zwischen den verschiedenen Versuchsstandorten (Tab. 3.23). Besonders auffallend war der verringerte Leistungsabstand zwischen den Landrassenmaterialgruppen und den CHECKS an den Öko-Standorten in Einbeck und Hohenheim.

Tab. 3.23: Mittlere Testkreuzungsleistung von zwei Gruppen aus Landrassen abgeleiteter und auf ÖKO-Leistung vorselektierter DH-Linien (GB-sDHL, SM-sDHL) für die Korntrockenmasse (KTM) im Vergleich mit der Leistung von vier anderen Materialgruppen bei ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise an sechs verschiedenen Versuchsstandorten 2006

Materialgruppe†	N	KTM [g m ⁻²]					
		EIO‡	EIK	HOO	HOK	GRO	GRK
GB-sDHL × L-T _D	11	958	989	1079	1025	693	924
SM-sDHL × L-T _D	16	1005	993	1060	983	662	897
GB-Pop × L-T _D	1 [#]	1025	974	1169	976	704	897
SM-Pop × L-T _D	1 [#]	1018	950	1028	1067	663	929
FCL × L-T _D	5	931	1044	1037	1027	730	923
CHECKS	5	1200	1418	1303	1404	954	1163

† Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Versuchsstandorte siehe Kap. 2.1.

#Materialgruppe wurde 3-fach geprüft.

3.3.2 Varianzen und Heritabilitäten

Die Schätzwerte für die Varianzkomponenten der Testkreuzungen mit den aus Landrassen abgeleiteten Linien unterschieden sich zum Teil deutlich zwischen den beiden Wirtschaftsweisen (Tab. 3.24). Die aus den Schätzwerten beider Testkreuzungsgruppen gepoolte genotypische Varianz für den Kornertrag bewegte sie bei ökologischer Wirtschaftsweise in der gleichen Größenordnung wie bei konventioneller. Bei konventioneller Wirtschaftsweise ging hierbei ein auffallend kleiner, nicht signifikanter Schätzwert genotypischer Varianz für die Testkreuzungen der aus dem Badischen Landmais abgeleiteten Linien mit ein. Die für die Interaktionsvarianz von Genotyp und Ort gefundenen Varianzkomponenten unterschieden sich am stärksten zwischen den beiden Wirtschaftsweisen: Sie waren fast doppelt so groß für konventionelle wie für ökologische Wirtschaftsweise. Umgekehrt dagegen waren die Varianzkomponentenschätzwerte für den Fehler bei ökologischer Wirtschaftsweise deutlich höher als bei konventioneller.

Tab. 3.24: Varianzkomponentenschätzwerte (Var.) und ihre Standardfehler (SE) von Testkreuzungen mit zwei Gruppen aus Landrassen abgeleiteter, unselektierter DH-Linien (GB-DHL, N=25 und SM-DHL, N=44) für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise 2005

Variations- ursache	Materialgruppe†	KTM [g m ⁻²]				KTS [%]			
		ÖKO		KON		ÖKO		KON	
		Var.	SE	Var.	SE	Var..	SE	Var.	SE
Genotyp (G)	GB-DHL × SC-T _D	1957 *	1298	438	1362	1,35 **	0,42	1,42 **	0,46
	SM-DHL × SC-T _D	2710 **	1082	3710 **	1549	1,41 **	0,34	1,57 **	0,41
	Gepoolt	2440 **	845	2538 **	1095	1,39 **	0,27	1,51 **	0,32
G × Ort- Interaktion	GB-DHL × SC-T _D	3841 **	1469	8752 **	2223	0,33 **	0,11	0,46 **	0,14
	SM-DHL × SC-T _D	3193 **	1037	7466 **	1490	0,34 **	0,08	0,90 **	0,17
	Gepoolt	3426 **	879	7927 **	1260	0,34 **	0,07	0,74 **	0,12
Fehler		6679	307	4628	211	0,42	0,02	0,48	0,02

*, ** Signifikanz des entsprechenden MQs für $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$ (F-Test).

† Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

Ähnliche Tendenzen ließen sich auch anhand der Varianzkomponentenschätzwerte für den Korn-TS-Gehalt beobachten. Während die gepoolte genotypische Varianz bei beiden Wirtschaftsweisen etwa gleich groß war, übertraf der Schätzwert der Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianz bei konventioneller Wirtschaftsweise den bei ökologischer um mehr als das doppelte. Die Fehlervarianzen des Korn-TS-Gehaltes waren für beide Wirtschaftsweisen ähnlich.

Die geschätzten Heritabilitätskoeffizienten lagen bei beiden Wirtschaftsweisen für den Kornertrag im mittleren und für den Korn-TS-Gehalt im hohen Bereich, wobei die bei konventioneller Wirtschaftsweise gefundenen jeweils etwas niedriger waren als die bei ökologischer Wirtschaftsweise (Tab. 3.25).

Bei einer zusammenfassenden Verrechnung über Materialgruppen, Umwelten und Wirtschaftsweisen für die Korntrockenmasse (Tab. 3.26) wurde neben einem hochsignifikanten MQ für die Dreifach-Interaktion von Wirtschaftsweise, Umwelt und Materialgruppe ein immerhin bei $\alpha = 0,10$ signifikanter MQ für die Interaktion von Wirtschaftsweise und Materialgruppe gefunden.

Tab. 3.25: Geschätzte Koeffizienten der Heritabilität (h^2) und zugehörige 95 % Konfidenzintervalle (CI 95) von zwei Gruppen aus Landrassen abgeleiteter, unselektierter DH-Linien (GB-DHL, N=25 und SM-DHL, N=44) für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise 2005

Materialsatz†	KTM [g m^{-2}]				KTS [%]			
	ÖKO		KON		ÖKO		KON	
	h^2	CI 95	h^2	CI 95	h^2	CI 95	h^2	CI 95
GB-DHL \times SC-T _D	0,45	-0,16-0,72	0,11	-0,89-0,54	0,88	0,75-0,94	0,86	0,70-0,93
SM-DHL \times SC-T _D	0,55	0,23-0,73	0,53	0,19-0,72	0,88	0,80-0,93	0,80	0,66-0,88
Gepoolt	0,52	0,26-0,68	0,43	0,12-0,62	0,88	0,82-0,92	0,82	0,73-0,88

† Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

Tab. 3.26: Mittelquadrate (MQ) und zugehörige Freiheitsgrade (FG) für die Korntrockenmasse 2006 bei zusammenfassender Verrechnung über acht Materialgruppen†, drei Regionen und zwei Wirtschaftsweisen‡ nach einem gemischten Modell

Variationsursache	FG	MQ§
Materialgruppe (M)	7	9217 **
Genotyp (G) innerh. M	64	201 **
Wirtschaftsweise (W) × M	7	413 +
Region (R) × M	14	182
R × GM	128	74
W × GM	64	42
W × R × M	14	188 **
Fehler	128	66

+, *, ** Signifikanz des entsprechenden MQs für $\alpha = 0,1$ bzw. $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$ (F-Test).

† Materialgruppen: GB-sDHL × L-T_D, SM-sDHL × L-T_D, GB-Pop × L-T_D, SM-Pop × L-T_D, FCL × L-T_D, MCL × L-T_D, ELL × L-T_D, CHECKS, Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

‡ Wirtschaftsweisen: ökologisch vs. konventionell.

§ Schätzwert × 10⁻².

3.3.3 Korrelationen zwischen Wirtschaftsweisen

Für beide Landrassen-Materialgruppen war die Beziehung zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise für den Kornertrag als mittelstraff und für den Korn-TS-Gehalt als straff anzusprechen (Tab. 3.27).

Tab. 3.27: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen Korrelation (r_p) zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise für Korntrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) von Testkreuzungen zweier Gruppen unselektierter, aus Landrassen abgeleiteter DH-Linien (GB-DHL, SM-DHL)

Materialgruppe†	N	KTM	KTS
GB-DHL × SC-T _D	25	0,64 **	0,91 **
SM-DHL × SC-T _D	44	0,67 **	0,88 **

*, ** Signifikanz für $\alpha = 0,05$ bzw. $\alpha = 0,01$.

† Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

3.3.4. Ertragsstabilität

Eine Stabilitätsanalyse nach EBERHART und RUSSEL (1966) über alle sechs Versuchsstandorte 2006 ergab für die Testkreuzungen der aus Landrassen abgeleiteten Linien einen relativ niedrigen mittleren Regressionskoeffizienten im Bereich von $\leq 0,9$ (Tab. 3.28). Die Regressionskoeffizienten der anderen Materialgruppen lagen im allgemeinen etwas höher. Der mittlere Regressionskoeffizient der CHECKS lag hierbei sogar über 1 und war damit signifikant verschieden von den mittleren Koeffizienten der Testkreuzungen mit First-Cycle- und Landrassenlinien. Die mittleren Abweichungsvarianzen der verschiedenen Materialgruppen unterschieden sich nicht signifikant.

Tab. 3.28: Mittlere Schätzwerte des Regressionskoeffizienten b und der Abweichungsvarianz sd^2 von verschiedenen Materialgruppen für die Korntrockenmasse in einer Stabilitätsanalyse nach EBERHART und RUSSEL (1996) über alle Versuchsstandorte 2006†

Materialgruppe‡	N	Regressionskoeffizient b		Abweichungsvarianz sd^2 §	
		Mittelwert	Spannweite	Mittelwert	Spannweite
GB-sDHL × L-T _D	11	0,90 a¶	0,62	79,8 a	235
SM-sDHL × L-T _D	16	0,95 ab	0,86	88,5 a	297
GB-Pop × L-T _D	1 [#]	0,91 a	0,22	100,9 a	95
SM-Pop × L-T _D	1 [#]	0,91 ab	0,40	150,1 a	144
FCL × L-T _D	5	0,83 a	0,48	65,3 a	193
MCL × L-T _D	3	0,94 ab	0,36	97,1 a	44
ELL × L-T _D	26	0,99 ab	1,06	89,0 a	357
CHECKS	5	1,17 b	0,36	62,5 a	131

†Versuchsstandorte 2006: EIK, HOK, GRK, EIO, HOO, GRO; Abkürzungen siehe Kap. 2.1.

‡Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

§Schätzwert $\times 10^{-2}$.

¶Gleiche Buchstaben innerhalb einer Spalte zeigen an, dass bei $\alpha=0,05$ keine signifikanten Mittelwertsdifferenzen zwischen den Gruppen vorliegen (Scheffé-Test).

#Materialgruppe wurde 3-fach geprüft.

4 Diskussion

4.1 Bemerkungen zum Versuch

Die im vorliegenden Versuch erzielten Durchschnittserträge bei ökologischer Wirtschaftsweise entsprechen ungefähr denen, die MEYERCORDT und MÜCKE (2006) mit 121 dt/ha und 94,8 dt/ha bei niedersächsischen Landessortenversuchen mit Körnermais 2004 und 2006 auf zwei unterschiedlichen Standorten bei ökologischer Wirtschaftsweise ermittelten. Ergebnisse wirtschaftsweisenvergleichender Versuche bei Mais sind in der Literatur kaum zu finden. In einer amerikanischen Untersuchung mit Zuchtmaterial von Körnermais unter ökologischen vs. konventionellen Bedingungen wurden nur 5 % höhere Erträge bei konventioneller Wirtschaftsweise gefunden (LORENZANA und BERNARDO, 2007). Die relativ geringen Ertragsreduktionen bei ökologischer vs. konventioneller Wirtschaftsweise decken sich mit den Erfahrungen von POUDEL (2002). Sie werden außerdem durch Ausführungen von LAMPKIN (2002) in seinem Standardwerk zum Ökologischen Landbau bestätigt, wonach die landläufig angenommenen Ertragsreduktionen bei ökologischer im Vergleich mit konventioneller Wirtschaftsweise im Allgemeinen überschätzt sind. Er bezieht sich hierbei auch auf verschiedene Vergleichsstudien, wonach die Erträge unter ökologischen Bedingungen in der Regel um 10 bis 30 % geringer sind. Die vorliegenden Versuchsergebnisse können daher im Hinblick auf das erzielte Ertragsniveau durchaus als repräsentativ angesehen werden.

Bei der Beurteilung anderer Merkmale, insbesondere der Dauer von der Aussaat bis zur weiblichen Blüte, ist in Betracht zu ziehen, dass in einigen Fällen die korrespondierenden ökologischen und konventionellen Versuche einer Region nicht am gleichen Tag ausgesät werden konnten (Anhang, Tab. 7.1). Dadurch ergab sich für die später ausgesäten Versuche, bei denen es sich in der Mehrzahl um Experimente unter ÖKO-Bedingungen handelte, möglicherweise eine Verkürzung des untersuchten Zeitintervalls auf Grund plötzlich aufgetretener Temperaturanstiege im Juli.

In Einzelfällen standen die Erfordernisse des Feldversuchswesen im Gegensatz zu den Gepflogenheiten eines praxisüblichen Maisanbau. Beispielsweise wurde in Hohenheim an beiden Standorten aufgrund des zur Verschlämmung neigenden Bodens vereinzelt. Diese Maßnahme wurde ergriffen, um in Anbetracht der dort relativ geringen Parzellengröße (6

m²) den Versuchsfehler möglichst gering zu halten. Für die Region Stuttgart hatte das zur Folge, dass sich hier genotypisch unterschiedliche Keimfähigkeiten, die für die Ertragsausbildung bei ökologischer Wirtschaftsweise eine wichtige Rolle spielen, nur unvollständig im Ertrag manifestieren konnten.

Unter der Voraussetzung einer ganzheitlichen Betrachtungsweise wird häufig die Frage gestellt, ob die Aussagekraft des vorliegenden Versuchs nicht dadurch beeinträchtigt ist, dass die Saatguterzeugung in den Winterzuchtgärten der KWS ausschließlich unter konventionellen Bedingungen erfolgte. Bei der Beantwortung dieser Frage können verschiedene Aspekte in Betracht gezogen werden, aus züchterischer Sicht aber ist nicht von einer Beeinträchtigung der Aussage auszugehen, da im vorliegenden Projekt alle Selektionsentscheidungen ausschließlich aufgrund der in Deutschland erzielten Leistungsprüfungsergebnisse getroffen wurden.

4.2 Was bedeutet „Züchtung für den Ökologischen Landbau“

Um erfolgreich neue Pflanzensorten entwickeln zu können, müssen zu Beginn eines Zuchtprozesses die Zuchtziele klar definiert werden. Zu diesem Zweck muss zunächst geklärt werden, unter welchen Bedingungen eine künftige Pflanzensorte wachsen soll und welche Ansprüche an sie gestellt werden. Bevor Zuchtprogramme für den Ökologischen Landbau konzipiert werden können, muss dementsprechend definiert werden, durch welche Bedingungen dieser charakterisiert ist. Bei der Suche nach einer Definition für den Ökologischen Landbau, stößt man hierbei zunächst auf eine Reihe von Negativdefinitionen, die vor allem erklären, was im Ökologischen Landbau *nicht* zugelassen ist, z.B. der Einsatz von synthetischen Düngern und chemischem Pflanzenschutz. Darüber hinaus finden sich in den Richtlinien von Anbauverbänden organisch wirtschaftender Betriebe in der Regel Empfehlungen und Hinweise, die die Bedeutung von Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit sowie weiter Fruchtfolgen unterstreichen. Je nach Quelle werden derartige Mindestdefinitionen ergänzt durch Erläuterungen wie “a whole system approach based upon a set of processes resulting in a sustainable ecosystem, safe food, good nutrition, animal welfare and social justice. (IFOAM 2002)“ oder durch eher naturwissenschaftliche Zielvorstellungen, wonach

ökologisch wirtschaftende Landwirte die Pufferkapazität von Agrar-Ökosystemen durch die Stimulierung selbstregulierende Prozesse erhöhen können (MÄDER et al., 2002).

LAMMERTS VAN BUEREN et al. (2007) vertreten die Ansicht, dass bei ökologischer Wirtschaftsweise in Folge eines vergleichsweise geringen Niveaus organischer Düngung und durch den Verzicht auf chemische Pflanzenschutz- und Unkrautbekämpfungsmittel eine deutliche Variation der Anbaubedingungen auftritt, die bei konventioneller Wirtschaftsweise durch die ausgleichende Wirkung von Pflanzenschutzmitteln und Synthetischer Düngung überdeckt ist. Die Autoren folgern deshalb, dass abiotischem und biotischem Stress unter ökologischen Anbaubedingungen am besten durch die Kultivierung ertragsstabiler Sorten begegnet werden kann. Als Zuchtziele für geeignete Sorten leiten sie im Einzelnen Fähigkeiten zur Anpassung an das Bodenfruchtbarkeits-, Unkraut-, Pflanzenschutz-, Saatgutproduktions- und Qualitätsmanagement im Ökologischen Landbau ab. Anhand der dort gegebenen Beispiele wird deutlich, dass die genannten Komponenten der Ertragsstabilität je nach Pflanzenart und Standort in unterschiedlichem Umfang Bedeutung haben. Außerdem ist erkennbar, dass nicht alle dort aufgeführten Merkmale auf einfache Weise versuchstechnisch erfassbar sind. Während beispielsweise Merkmale der Backqualität von Weizen für den Ökologischen Landbau noch relativ klar definiert und erfasst werden können (KUNZ, 2000), ist die Erfassung eines genotypspezifischen Unkrautunterdrückungsvermögens bei den meisten Pflanzenarten schwierig. Darüber hinaus ergibt sich das Problem, dass nicht für alle Pflanzenarten ein „Ideotyp für den Ökologischen Landbau“ (LAMMERTS VAN BUEREN, 2006) definiert werden kann, der sich deutlich von den Leitbildern konventioneller Züchter absetzt. Ein einleuchtendes Beispiel für unterschiedliche Leitbilder findet man in der Züchtung von kleinkörnigem Getreide. Während im Ökologischen Landbau langstrohige Sorten im Hinblick auf die Unkrautunterdrückung und die Eindämmung von Pilzbefall erwünscht sind, wird in konventionell ausgerichteten Zuchtfirmen gezielt auf kurzstrohige Genotypen selektiert, um den Harvest-Index weiter in Richtung Kornertrag verschieben zu können. Für den Mais und viele andere Kulturpflanzenarten lässt sich allerdings keine derartig deutliche Abgrenzung von züchterischen Leitbildern treffen.

Eine weitere Erschwernis für die Züchtung und Sortenprüfung im Ökologischen Landbau liegt darin, dass in Feldversuchen unter ÖKO-Bedingungen bestimmte Input-Leistungen

wie synthetische Düngung oder chemischer Pflanzenschutz zwar grundsätzlich ausgeschlossen sind, andere zugelassene Input-Leistungen aber - wie z.B. Stallmistgaben oder mechanische Unkrautbekämpfung - je nach Landwirt und Betriebsstruktur in sehr unterschiedlichem Umfang appliziert werden können (Anhang, Tab. 7.1). Es ergibt sich damit unter dem Begriff „Ökologische Wirtschaftsweise“ eine Vielzahl unterschiedlicher Anbaubedingungen, die nicht nur auf unterschiedliche topographische und geologische Ausgangsbedingungen, sondern auch auf individuell unterschiedliche Landwirtschaftskonzepte an verschiedenen Versuchsstandorten zurückgeführt werden können. Das Auftreten widersprüchlicher Versuchsergebnisse bei ökologischer Wirtschaftsweise kann deshalb bis zu einem gewissen Grad als systemimmanent betrachtet werden und spiegelt sich in den Korrelationen zwischen den einzelnen Versuchsstandorten (Tab. 3.10) wider. Darüber hinaus beeinflusst es die Schätzung statistischer Parameter, die zur Beurteilung der Effizienz indirekter im Vergleich zu direkter Selektion herangezogen werden.

4.3 Statistische Besonderheiten der Auswertung vergleichender Versuche bei ökologischer vs. konventioneller Wirtschaftsweise

Ein grundsätzliches Problem bei der Durchführung vergleichender Untersuchungen unter ökologischen vs. konventionellen Versuchsbedingungen liegt darin, dass die korrespondierenden Versuche nie direkt nebeneinander liegen können. Der Grund hierfür ist, dass die Durchführung von Versuchen unter ökologischen Bedingungen eine möglichst langjährige, von einem Anbauverband anerkannte ökologische Bewirtschaftung voraussetzt und damit eine konventionelle Versuchsdurchführung auf der gleichen Fläche ausschließt. Es ergibt sich deshalb die Notwendigkeit, Versuche unter gegensätzlichen Anbaubedingungen an zwei verschiedenen Standorten einer Region durchzuführen. Hieraus resultiert zwangsläufig eine Unterteilung des Ortseffekts in zwei Teil-Effekte, von denen der eine der Region bzw. dem „Groß-Ort“ und der andere dem Standort bzw. dem „Klein-Ort“ zuzurechnen ist. Das Auftreten von „Klein-Ort“-Effekten ist in Folge der immer leicht unterschiedlichen topographischen und geologischen Grundausstattungen zweier Standorte unvermeidbar und zieht automatisch eine Verletzung der im Versuchswesen vorausgesetzten *ceteris paribus*-Bedingung nach sich. Bei zusammenfassender Verrechnung über verschiedene Wirtschaftsweisen ergibt sich eine

Vermengung von „Klein-Ort“- mit Region \times Wirtschaftsweise-Interaktionseffekten, was vor allem eine Fehleinschätzung der Region \times Wirtschaftsweise-Interaktionsvarianz zur Folge hat. Aus züchterischer Sicht bedeutender sind aber diejenigen statistischen Parameter, die sich auf die Unterschiedlichkeit von Genotypen bzw. auf die Reaktion von Genotypen auf unterschiedliche Anbaubedingungen beziehen. Im Falle einer zusammenfassenden Verrechnung über beide Wirtschaftsweisen sind das die genotypische Varianz, die Interaktionsvarianz von Genotyp und Wirtschaftsweise sowie die Genotyp \times Region \times Wirtschaftsweise-Interaktionsvarianz. Im vorliegenden Versuch wurde die Schätzung dieser Parameter durch das Vorhandensein unterschiedlicher Landwirtschaftskonzepte bei ökologischer sowie durch das regional unterschiedliche Auftreten von Lager und Green-Snapping bei konventioneller Wirtschaftsweise stark beeinflusst. Innerhalb der ökologisch bewirtschafteten Standorte war in allen drei Versuchsjahren eine deutliche Variation im Hinblick auf Unkrautdruck und Nährstoffversorgung festzustellen, wodurch sich je nach Standort unterschiedliche Ansprüche an die geprüften Genotypen ergaben. Innerhalb der konventionell bewirtschafteten Standorte waren erwartungsgemäß keine wesentlichen Unterschiede im Hinblick auf die Nährstoffversorgung und den Unkrautdruck zu verzeichnen. Hier führte aber das witterungsbedingte und regional unterschiedliche Auftreten von Lager bzw. Green-Snapping zu einer unerwarteten Variation der Standfestigkeitsansprüche. Beide Sachverhalte führten zu einem unterschiedlichen Ranking der Genotypen an den verschiedenen Versuchsstandorten. Dies hatte hohe Schätzwerte für die Dreifachinteraktion von Genotyp \times Region \times Wirtschaftsweise bei zusammenfassender Verrechnung über beide Wirtschaftsweisen (Tab. 3.9.) bzw. eine überdurchschnittliche Ausprägung der Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianz bei nach Wirtschaftsweisen getrennter Verrechnung (Tab. 3.5, Tab. 3.7) zur Folge.

Aus züchterischer Sicht wird das Vorliegen signifikanter Genotyp \times Wirtschaftsweise-Interaktionsvarianzen als Indiz für unterschiedliche Rangreihenfolgen von Genotypen unter verschiedenen Anbaubedingungen und als ein Hinweis auf die Möglichkeit getrennter Zuchtprogramme angesehen. In der vorliegenden Studie wurden nur in wenigen Fällen signifikante Genotyp \times Wirtschaftsweise Interaktionen gefunden, dagegen aber aus den oben ausgeführten Gründen fast immer hochsignifikante Genotyp \times Region \times Wirtschaftsweise-Interaktionen. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Dreifachinteraktion einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis des F-Tests für die

Genotyp \times Wirtschaftsweise-Interaktion ausübt, da die beiden Größen nach folgender Rechenvorschrift miteinander verknüpft sind:

$$F_{GW} = MQ_{GW} / MQ_{GRW}.$$

Es ist leicht ersichtlich, dass ein großer MQ-Wert der Dreifachinteraktion im Nenner des Ausdrucks zu einem kleinen F-Wert für die Genotyp \times Wirtschaftsweise-Interaktion führt, der in der Folge kaum signifikant wird. Darüber hinaus ist in Betracht zu ziehen, dass bei einer geringen Anzahl von Versuchsstandorten bzw. -regionen die Schätzwerte für Genotyp \times Region \times Wirtschaftsweise-Interaktionsvarianzen grundsätzlich relativ hoch sind.

Die in der vorliegenden Studie gefundenen Interaktionsvarianzen von Genotyp \times Ort bei nach Wirtschaftsweisen getrennten Verrechnung (Tab. 3.5, Tab. 3.7) betragen etwa das 1,5- bis 3-fache der genotypischen Varianzkomponente. Dies erscheint hoch, allerdings fehlen passende Vergleichsstudien. In der Literatur finden sich zwar zuverlässige Varianzkomponentenschätzwerte für Mais, z.B. bei GORDILLO und GEIGER (2004). Diese gehen allerdings in der Regel auf mehrjährige Untersuchungen mit vielen Standorten zurück. Die dort gefundenen Interaktionsvarianzen von Genotyp \times Ort sind nicht vergleichbar mit denen, die in einjährigen Untersuchungen gefunden werden. Zum Vergleich mit der vorliegenden Studie wurden deshalb Ergebnisse von HALLAUER und MIRANDA (1988) herangezogen. Im Zusammenhang mit der Darstellung langjähriger Selektionsexperimente werden von diesen Autoren auch Auswertungen einjähriger Versuche wiedergegeben, deren Dimensionierung in etwa der unserer Versuche entspricht. Es zeigte sich, dass auch hier teilweise Interaktionsvarianzen von Genotyp \times Ort gefunden wurden, die etwa doppelt so groß waren wie die genotypische Varianzkomponente.

Die Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise für die Korntrockenmasse (Tab. 3.14) sind offensichtlich mit hohen Schätzfehlern behaftet, die vermutlich ebenfalls dadurch bedingt sind, dass die korrespondierenden Versuche einer Region nicht direkt nebeneinander liegen und die Anzahl der Versuchsorte gering ist. Es wurden Schätzwerte gefunden, die deutlich über 1 und weit entfernt von den korrespondierenden phänotypischen Korrelationen lagen. Die mit Bootstrap-Verfahren ermittelten Vertrauensintervalle bestätigten die Vermutung großer

Schätzfehler. Es ist daher schwierig, aus den gefundenen Schätzwerten angemessene Schlussfolgerungen zu ziehen. Im vorliegenden Falle führte das insbesondere dazu, dass das auf FALCONER (1952) zurückgehende Beurteilungssystem für den Effizienzvergleich direkter und indirekter Selektion beim Vergleich von Selektionsalternativen unter konventioneller vs. ökologischer Wirtschaftsweise nur eingeschränkt anwendbar war.

Unabhängig vom Vorliegen von Schätzfehlern ist bei der Betrachtung genotypischer Korrelationskoeffizienten allerdings immer auch die Materialabhängigkeit dieses Parameters in Betracht zu ziehen. Insbesondere das Vorliegen unterschiedlicher Genfrequenzen übt einen starken Einfluss auf das Schätzergebnis des genotypischen Korrelationskoeffizienten aus (FALCONER und MACKAY 1996). Verallgemeinerungen auf Grund gefundener Schätzwerte sind deshalb in jedem Falle schwierig.

Ob die geschilderten statistischen Problem eines Tages eine andere Art statistischer Auswertung notwendig machen (VAN EEUWIJK et al., 2001) oder ob sich die züchterische Betrachtung wie von CECCARELLI (1996) im Zusammenhang mit der Züchtung von Gerste unter Stressbedingungen gefordert stärker auf einzelne Umwelten konzentrieren muss, lässt sich im Zusammenhang der vorliegenden Studie nicht abschließend klären. Für die Durchführung vergleichbarer Versuche ist aber in jedem Falle eine Erhöhung der Anzahl Regionen bzw. Versuchsorte anzuraten, um verlässliche Schätzwerte für die Interaktionsvarianzen von Genotyp und Wirtschaftsweise sowie für die genotypischen Korrelationskoeffizienten zu erhalten.

4.4 Von der Variation zur Adaptation

4.4.1 Zuchtmethodische Vorbemerkungen

Plant breeding is the genetic adjustment of plants to the service of man.

(FRANKEL, 1958)

Seit dem Neolithikum betreiben Menschen Ackerbau. Untrennbar damit verbunden ist die Selektionstätigkeit der Bauern. Um den Menschen sinnvoll dienen zu können, muss diese Tätigkeit immer wieder auf die sich ändernden Ansprüche der Menschen abgestimmt werden. Das bedeutet, dass neben einer klaren Definition dessen, was unter den jeweiligen Lebensumständen als dienlich anzusehen ist, immer auch eine Überprüfung des verwendeten Instrumentariums stattfinden muss. Wichtige Anhaltspunkte hierfür können Vergleiche von etablierten mit anderen, bis dahin weniger erprobten Zuchtmethoden liefern. SCHNELL (1982) entwickelte für zuchtmethodische Vergleiche ein allgemeines Beurteilungsraster, auf das im Folgenden Bezug genommen wird. Darin unterteilte er Züchtungsprozesse grundsätzlich in die Phasen „Schaffung genetischer Ausgangsvariation“, „Selektion und Bildung von Sorteneltern“ und „Prüfung von Experimentalsorten“.

4.4.2 Schaffung genetischer Ausgangsvariation

Im Hinblick auf die Schaffung genetischer Ausgangsvariation lassen sich im vorliegenden Projekt zwei verschiedene Methoden miteinander vergleichen: Die Gewinnung genetischen Ausgangsmaterials aus Landrassen setzt sich deutlich ab von der züchterischen Standardmethode, bei welcher das Ausgangsmaterial nach Durchkreuzung von Elitematerial gewonnen wird. Wenn man die in Landrassenmaterial gefundene genotypische Variation (Tab. 3.24) in Form des genetischen Variationskoeffizienten ausdrückt, so ergeben sich beim Kornertag für das Landrassenmaterial fast doppelt so große Koeffizienten wie für das Elite-Zuchtmaterials. Insbesondere bei ökologischer Wirtschaftsweise wurden hohe Schätzwerte gefunden (Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Genotypische Variationskoeffizienten [%] von Testkreuzungen unselektierten Landrassenmaterials 2005 im Vergleich mit Testkreuzungen unselektierten Elite-Zuchtmaterials 2004 für Kornrockenmasse (KTM) und Korn-TS-Gehalt (KTS) bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise

Materialgruppe bzw. -satz [†]	Jahr	N	KTM		KTS	
			ÖKO	KON	ÖKO	KON
DHL aus Landrassen						
GB-DHL × SC-T _D	05	25	5,7 *	2,1	1,8 **	1,8 **
SM-DHL × SC-T _D	05	44	6,4 **	5,8 **	1,9 **	1,9 **
DHL aus Elite-Zuchtmaterial						
(F × SC-T _D) I	04	89	3,6 **	3,7 **	1,5 **	1,4 **
(F × SC-T _D) II	04	89	3,3 **	2,6 **	1,3 **	1,4 **
(D × SC-T _F) I	04	89	2,8 *	(0,9)	1,7 **	1,5 **
(D × SC-T _F) II	04	89	4,2 **	2,2 *	1,7 **	1,6 **

*, ** Signifikanz des korrespondierenden MQ_G für α= 0,05 bzw. α = 0,01 (F-Test).

() = Ergebnis des Materialsatzes wegen eines vermuteten Versuchsfehlers nicht gewertet.

[†] Abkürzungen der Materialgruppen bzw. -sätze siehe Kap. 2.1.

Inwieweit diese große Variation als ein erhöhtes Anpassungspotential im Sinne von SIMMONDS (1962) „adaptability“ werden kann, soll erst im Abschnitt „Prüfung von Experimentalsorten“ diskutiert werden. Schon an dieser Stelle wird aber deutlich, dass das verwendete Elite-Zuchtmaterial aufgrund seiner Züchtungsgeschichte nicht die notwendige „adaptability“ besitzt, um rasche Selektionserfolge unter ökologischen Anbaubedingungen zu ermöglichen. Die in der vorliegenden Studie für Elite-Zuchtmaterial gefundenen genotypischen Variationskoeffizienten sind in Übereinstimmung mit denen, die aus einer statistischen Untersuchung von GORDILLO und GEIGER (2004) bei umfangreichen Testkreuzungsserien von F₂-Populationen aus Kreuzungen aktueller Inzuchtlinien abgeleitet werden konnten. (G.A. GORDILLO (2007), Pers. Mitt.). Dort wurden genotypische Variationskoeffizienten von 3,5% für den Kornertrag und 1,6 % für den Korn-TS-Gehalt gefunden. Die im vorliegenden Fall ermittelten Koeffizienten (Tab. 4.1) können damit als repräsentativ für modernes Elite-Zuchtmaterial angesehen werden.

4.4.3 Selektion und Bildung von Sorteneltern

4.4.3.1 Selektion

Im Hinblick auf die Selektion ist grundsätzlich eine methodische Abwägung zu treffen zwischen den drei von HARRER und UTZ (1990) aufgezeigten Handlungsalternativen. Bezogen auf die Züchtung von Sorten für den Ökologischen Landbau ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- (1) Gemeinsame Selektion von Genotypen, die für ÖKO- bzw. KON-Bedingungen geeignet sind, ausschließlich unter einer der beiden Wirtschaftsweisen.
- (2) Kombinierte Selektion sowohl unter KON- als auch unter ÖKO-Bedingungen, wobei die Durchführung der Selektion mit Hilfe eines Selektionsindex erfolgt.
- (3) Getrennte Selektion von ÖKO- und KON-geeigneten Genotypen unter den Bedingungen der jeweils später angestrebten Verwendung.

Unter der Annahme gleicher Heritabilitäten bei verschiedenen Wirtschaftsweisen ist gemäß den Ausführungen der Autoren bei genotypischen Korrelationskoeffizienten im Bereich von $r_g = 0,7$ bis $r_g = 1,0$ eine kombinierte Selektion empfehlenswert. Bei kleineren Korrelationskoeffizienten dagegen ist einer getrennten Selektion der Vorzug zu geben. Nur bei sehr unterschiedlichen Heritabilitäten ist ein Vorteil in einer indirekten Selektion unter den Anbaubedingungen mit der höheren Heritabilität zu sehen.

Die Ergebnisse der ersten beiden Versuchsjahre zeigten, dass unter ÖKO-Bedingungen sowohl eine für züchterische Zwecke ausreichende genetische Differenzierung (Tab. 3.5) als auch eine ähnlich hohe versuchstechnische Präzision wie unter konventionellen Bedingungen erreichbar ist (Tab. 3.8). Darüber hinaus deutete sich für die selektierte Flintlinienfraktion 2005 bei Bezug auf mehrjährig mitgeprüfte Flint-Standardlinien ein allgemeiner nicht spezifischer Selektionserfolg im Bereich von 3-6 % an (Tab. 3.17). Die Ergebnisse lieferten aber keine Hinweise auf eine spezifische Anpassung an die unterschiedlichen Wirtschaftsweisen als Folge der Selektion unter den jeweiligen Anbaubedingungen. Weder bei ökologischer noch bei konventioneller Wirtschaftsweise

ließen sich in den Testkreuzungs-Materialsätzen 2005 signifikante Ertragsunterschiede zwischen den spezifisch selektierten Liniengruppen feststellen (Tab. 3.3). Lediglich im Materialsatz $D \times L-T2_F$ deutete sich unter konventionellen Bedingungen eine Überlegenheit der unter konventionellen Bedingungen selektierten Fraktion an. Einen maßgeblichen Einfluss auf die Versuchsergebnisse 2005 hatten sicherlich auch die eingesetzten Linientester, von denen insbesondere der Tester $L-T1_D$ als ertragsverstärkend einerseits und sehr dominant andererseits angesprochen werden kann. Dies zog besonders unter ökologischer Wirtschaftsweise einen relativ hohen Ertrag bei gleichzeitig geringer genetischer Varianz nach sich (Tab. 3.2, Tab. 3.5). Auffallend sind außerdem die bei beiden Wirtschaftsweisen relativ hohen Genotyp \times Ort-Interaktionen im Jahr 2005, die zu einer Verringerung der Heritabilität und entsprechend reduziertem Selektionserfolg führten. Im Vorjahr dagegen waren durchgehend Single-Tester eingesetzt worden. Möglicherweise war die durch die Single-Tester verursachte genetische Heterogenität der Prüfglieder ein Grund für die geringeren Genotyp \times Ort-Interaktionsvarianzen 2004.

Anhand der erwarteten Selektionserfolge bei zweistufiger Selektion (Tab. 3.16) wird deutlich, dass bei der Selektion unter ÖKO-Bedingungen im ersten Versuchsjahr größere Selektionserfolge zu erwarten waren als im zweiten, während es sich bei der Selektion unter KON-Bedingungen genau umgekehrt verhielt.

Die Ursache hierfür liegt vermutlich in den genotypisch unterschiedlichen Keimfähigkeiten. Diese Tatsache schlug sich im ersten Versuchsjahr unter ÖKO-Bedingungen deutlich in den Testkreuzungsleistungen nieder und war vermutlich die wichtigste Ursache relativ hoher Schätzwerte für die Heritabilität und die genotypische Varianz. Die am Ende des ersten Versuchsjahres unter konventionellen Bedingungen selektierten Liniengruppen zeigten dagegen im zweiten Jahr unter KON-Bedingungen höhere Schätzwerte für die Heritabilität (bzw. h) und die genotypische Varianz (bzw. σ_g) als die entsprechenden bei ökologischer Wirtschaftsweise selektierten Liniengruppen unter ÖKO-Bedingungen (Anhang, Tab. 7.2)

Die ermittelten Effizienzen der indirekten gegenüber der direkten Selektion (Tab. 3.15) bestätigen bei beiden Berechnungsweisen im Hinblick auf die *erwarteten* Selektionserfolge eine leichte Überlegenheit der Selektion unter konventionellen Bedingungen, lassen aber

keine Aussage zu einer relativen Vorzüglichkeit von indirekter gegenüber direkter Selektion zu. Eine Entscheidung für eine der drei von HARRER und UTZ (1990) aufgezeigten Alternativen ist insbesondere deshalb schwierig, da die in der vorliegenden Studie ermittelten genotypischen Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung stark schwankten und offensichtlich mit hohen Schätzfehlern behaftet waren (Tab. 3.14). Da die korrespondierenden phänotypischen Korrelationskoeffizienten durchgehend nur mäßig straffe bis lose Beziehungen anzeigten, liegt die Vermutung nahe, dass die „wahren“ genotypischen Korrelationskoeffizienten deutlich unter 1 liegen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die für die beiden unterschiedlichen Wirtschaftsweisen gefundenen Heritabilitätskoeffizienten in der gleichen Größenordnung lagen, könnte damit zumindest eine relative Vorzüglichkeit der indirekten Selektion gegenüber den beiden anderen Alternativen ausgeschlossen werden.

Zu einem gegensätzlichen Ergebnis kamen LORENZANA und BERNARDO (2007) anhand einer einjährigen Untersuchung von US-amerikanischem Maiszuchtmaterial unter ökologischen vs. konventionellen Anbaubedingungen. Sie fanden in ihrer Studie für den Kornertrag eine höhere Heritabilität unter konventionellen Bedingungen und eine genotypische Korrelation von $r_g \geq 0,8$ zwischen den beiden Wirtschaftsweisen. Die Autoren zogen dementsprechend den Schluss, dass direkte und indirekte Selektion ähnlich effektiv seien. Mögliche Gründe für die Abweichungen zwischen den beiden Studien sind eine unterschiedliche Zusammensetzung des genetischen Materials (eng in der amerikanischen und relativ breit in der vorliegenden Studie), Unterschiede in der Nährstoffversorgung (die Ertragsreduktion unter ÖKO-Bedingungen waren in der amerikanischen Studie geringer) und Unterschiede zwischen den Makro-Umwelten, in denen die Experimente durchgeführt wurden.

Die Hoffnung, mit Hilfe einer Jugendentwicklungsbonitur schon frühzeitig eindeutige Selektions-Informationen zur Eignung von Genotypen für ÖKO-Bedingungen zu erhalten, verwirklichte sich nicht (Tab. 3.11 und Tab. 3.12) und deckt sich mit Erfahrungen von PETER et al. (2006) mit Maislandrassen in der Schweiz. Auffallend war außerdem, dass offenbar auch dieses Merkmal einer deutlichen Genotyp \times Ort-Interaktion unterliegt. Im Jahr 2006 war das bei Betrachtung der Schläge allerdings auch unmittelbar verständlich. Am Standort Kleinhohenheim waren die Leistungsprüfungen in einer Ost-Nord-Ost-

Hangexposition angebaut worden, in Grafing dagegen auf einem zu Trockenheit neigendem Flurstück, das den Namen „Sonnenfeld“ trug.

4.4.3.2 Bildung von Sorteneltern

Als Sorteneltern wurden in allen drei Teilprojekten Inzuchtlinien eingesetzt, die mittels DH-Technik entwickelt worden waren. Eine direkte Gegenüberstellung mit der klassischen Methode der Inzuchtlinien-Entwicklung ist anhand der vorliegenden Projektergebnisse nicht möglich. Bei einem Vergleich mit Arbeiten von ŠIMIĆ et al. (2003) wird allerdings deutlich, dass insbesondere beim Teilprojekt „Genetische Ressourcen“ durch den Einsatz der DH-Technik nicht nur große Zeitgewinne bei der Linienentwicklung erzielt wurden sondern auch, dass die Selektion auf Testkreuzungsebene durch die vollständige Homogenität der Linien sehr erleichtert wurde.

Ein weiterer Vorteil der DH-Technik für die Linienentwicklung aus Landrassen besteht darin, dass Leistungsabfälle in Folge epistatischer Effekte, wie sie bei klassischer Linienentwicklung aus Landrassen zu beobachten sind, vermieden werden. Mittels DH-Technik können koadaptierte Genkomplexe (GEIGER 1988) vollständig in neu entwickelten Linien fixiert werden. Da vermutet werden kann, dass das vielschichtige Phänomen der genetischen Anpassung an ÖKO-Bedingungen durch koadaptierte Genkomplexe bedingt ist, bietet die DH-Technik hier eine interessante züchtungstechnische Perspektive für den Ökologischen Landbau.

Andererseits ist die Anwendung der DH-Technik aus Sicht maßgeblicher meinungsbildender Institutionen des Ökologischen Landbaus (z.B. IFOAM) bisher nicht wünschenswert, da bei der derzeit praktizierten DH-Technik Colchizin oder andere Mitosehemmstoffe zur Verdoppelung des Genoms eingesetzt werden. Dies widerspricht dem im Ökologischen Landbau wesentlichen Grundsatz der Ablehnung von Agrarchemikalien. (LAMMERTS VAN BUEREN et al. 2003).

Je nach züchterischer Auffassung können die bei der Synthetic-Entwicklung als Basis eingesetzten F_1 en auch als Sorteneltern verstanden werden. Die Leistungen der im Projekt entwickelten Synthetics (Tab. 3.19) blieben aus unterschiedlichen Gründen weit hinter den Erwartungen zurück (vgl. Abschnitt 4.4.4.2). Der entscheidende Grund aber war

vermutlich, dass bei der Zusammenstellung der F₁en nicht genügend darauf geachtet wurde, dass durch gegenseitige Bestäubung von F₁en, die miteinander verwandt sind, das Faktum einer sogenannten Intra-Pool-Inzucht geschaffen wurde.

4.4.4 Prüfung von Experimentalsorten

4.4.4.1 Effekte der Selektion

Beim Kornertag zeigte sich 2006 im Durchschnitt eine deutliche Anpassung der spezifisch entwickelten Experimentalhybriden (Tab. 3.4), die damit im Gegensatz standen zu den 2005 geprüften Testkreuzungen spezifisch selektierter Liniengruppen (Tab. 3.3). Ursache hierfür ist vermutlich die Tatsache, dass bei den Experimentalhybriden im Gegensatz zu den Testkreuzungen sowohl die Mutter- als auch die Vaterseite spezifisch selektiert wurden.

Zieht man in Betracht, dass derzeit der durchschnittliche jährliche Zuchtfortschritt bei Körnermais mit 1-2 % veranschlagt wird, so ist eine Ertragsüberlegenheit von 2,2 % in Folge spezifischer Anpassung als sehr hoch einzuschätzen. Relativiert wird diese Tatsache allerdings dadurch, dass der Selektionserfolg des gesamten Zyklus' als gering einzuschätzen ist (Tab. 3.17). Kritisch zu bewerten ist auch die Tatsache, dass die ÖKO-Hybriden geringere Korn-TS-Gehalte aufweisen als die KON-Hybriden. Legt man weiteren Überlegungen die Faustregel "1 % KTS entspricht 2,5 dt Kornertag" zugrunde, so ist der Vorsprung der ÖKO-Hybriden durch spezifische Selektion zwar noch nicht vollständig aufgehoben, aber doch deutlich reduziert. Auf der Seite der KON-Hybriden dagegen ergibt sich unter KON-Bedingungen ein noch größerer Vorsprung. Die geringeren Korn-TS-Gehalte der unter ÖKO-Bedingungen entwickelten Hybriden hängen vermutlich mit Dürrezusammenbrüchen auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort in Grucking 2005 zusammen (Tab. 3.13). Vor allem für frühreife Genotypen ergaben sich dort plötzlich unerwartet hohe Zahlen für das Lager vor Ernte, welche sich dann bei der Selektion gemäß Ertragswertzahl negativ niederschlugen.

Die aus den Mittelwerten (Tab. 3.4) ersichtliche Anpassung an die ökologische bzw. konventionelle Wirtschaftsweise zeigte sich noch deutlicher am Beispiel einzelner Hybriden (Abb. 3.1). Besonders auffallend ist das Ergebnis einer ÖKO-Hybride, die bei

ökologischer Wirtschaftsweise einen Durchschnittsertrag von ca. 1100 g/m² verwirklichen konnte und unter konventionellen Bedingungen nur einen Durchschnittsertrag von knapp 750 g/m² aufwies. Diese stark voneinander abweichenden Durchschnittserträge lassen sich durch starkes Green-snapping erklären, von dem dieser Genotyp am konventionell bewirtschafteten Standort Hohenheim betroffen war. Umgekehrt gibt es eine Reihe von KON-Hybriden, die sehr spezifisch nur an die konventionelle Wirtschaftsweise angepasst sind, woraus sich eine mangelnde Ertragsstabilität dieser Genotypen ableiten lässt. Daneben gibt es aber sowohl in der Gruppe der ÖKO- als auch der KON-Hybriden mehrere Genotypen, die eine breite Anpassung an beide Wirtschaftsweisen zeigen. Besonders erfolgreich in dieser Gruppe sind zwei unter konventionellen Bedingungen selektierte Hybriden.

Wie anhand der großen Grenzdifferenzen (Abb. 3.1) leicht zu erkennen ist, war die Belastbarkeit der 2006 gefundenen Ergebnisse zur spezifischen Anpassung von Genotypen nur mäßig hoch. Eine Wiederholung des Versuchs bzw. die Durchführung eines ähnlichen Experiments mit einer höheren Anzahl von Standorten und balancierten, umfangreicheren Sets von Genotypen wäre zur Verifikation der gefundenen Ergebnisse in jedem Falle wünschenswert.

4.4.4.2 Einfluss der Sortenstruktur

Ausgehend von dem bei SCHNELL und BECKER (1986) belegten Zusammenhang zwischen Sorten-Heterogenität und Ertragsstabilität, war erwartet worden, dass Synthetics eine strukturbedingte Anpassung an den Ökologischen Landbau aufweisen.

Die erwartungsgemäß höheren Relativerträge der Synthetics unter ökologischen im Vergleich mit konventionellen Anbaubedingungen lassen erkennen, dass die Synthetics offenbar tatsächlich eine bessere Anpassung an die ökologische Wirtschaftsweise zeigen als die Hybriden (Tab. 4.2).

Tab. 4.2: Mittlere Leistung von vier verschiedenen sechsfach geprüften Synthetics für Kornrockenmasse bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise bezogen auf die Leistung von zwei Referenzgruppen

Synthetic† bzw. Referenzgruppe‡	ÖKO			KON		
	[g m ⁻²]	[% v. RH]	[% v. CH]	[g m ⁻²]	[% v. RH]	[% v. CH]
Synthetic						
Syn-3 (44/44)	728	79,1	73,0	792	73,4§	67,3
Syn-2 (44/44)	740	80,4	74,2	791	73,3§	67,2
Syn-2 (22/22)	735	79,8	73,7	800	74,1§	68,0
Syn-2 (11/11)	712	77,4	71,4	793	73,5§	67,4
Referenzgruppe						
Referenzhybriden (=RH)	921			1079		
Sortenstandards (=CH)	997			1177		

† Abkürzungen der Synthetics siehe Kap. 2.1.

‡ Erläuterungen zu den Referenzgruppen siehe Kap. 2.1.

§ Wegen Saatgutmangels konnten unter konventionellen Bedingungen nur 9 von 11 Referenzhybriden angebaut werden.

Ebenso deutlich ist dies am Ertragsrückgang von konventioneller zu ökologischer Wirtschaftsweise zu erkennen, der für die Populationssorten durchschnittlich nur 8 %, für die Vergleichshybriden hingegen 15 % betrug.

Allerdings war die Ertragsfähigkeit der Synthetics deutlich geringer als die der Hybriden. Bezogen auf die durchschnittliche Leistung der Referenzhybriden erzielten die Synthetics ein Ertragsniveau von 77 bis 80 % unter ökologischen und von 73 bis 74 % unter konventionellen Bedingungen. Prognostiziert war jedoch lediglich ein Rückgang auf 85-90 %. Grundlage dieser Leistungsprognose war die Überlegung, dass beim Übergang von Generation Syn-1 zu Syn-2 eine Halbierung des Interpool-Heterosiszuwachses stattfindet. Da in der Maiszüchtung dieser Zuwachs mit ca. 25 % veranschlagt wird (SCHMIDT, 2006, mündliche Mitteilung), war bei einer Halbierung dieses Betrags mit einem Ertragsrückgang von 12,5 % zu rechnen.

Als mögliche Ursachen für die Diskrepanz kommen in Betracht:

- (1) eine Unterschätzung des Flint × Dent-Interpool-Heterosiszuwachses,
- (2) Verwandtschaft zwischen selektierten Elternlinien (vgl. Abschn. 4.4.3.2),
- (3) auf Epistasie beruhende Rekombinationsverluste in Syn-2 und
- (4) Selbstung bzw. Inzucht durch assortative Paarung in Bezug auf den Blühzeitpunkt, unabsichtlich herbeigeführt beim Durchkreuzen der F₁-Pflanzen zur Produktion des Syn-2-Saatguts.

Auf Epistasie beruhende Rekombinationsverluste sind ein Phänomen, das insbesondere bei Inter-Pool-Synthetics erwartet werden kann. GEIGER (1988) erklärt dieses Phänomen, das bei Inter-Pool-Kreuzungen ab der Generation F₂ bzw. Syn-2 beobachtet werden kann, durch eine Zerstörung von koadaptierten Genkomplexen. Hierbei werden nach hohen Verlusten in der F₂- bzw. Syn-2-Generation zunehmend geringere Verluste in den Folgegenerationen festgestellt.

Erstaunlicherweise hatten in der vorliegenden Studie weder die Vermehrungsgeneration noch die Zahl der Komponenten einen nachweisbaren Einfluss auf die Synthetic-Erträge. Nach BECKER (1993) ist zu erwarten, dass die Leistung synthetischer Sorten ab der Syn-2 konstant bleibt, wenn einerseits Diploidie und strikte Zufallspaarung vorliegen und andererseits natürliche Selektion und epistatische Effekte ausgeschlossen sind. Die zuletzt genannte Bedingung ist bei Inter-Pool-Synthetics allerdings aufgrund der oben genannten Rekombinationsverluste kaum einhaltbar.

Die von BECKER und SCHNELL (1988) in einer Untersuchung bei Inter-Pool-Synthetics mit Mais beobachteten Ertragsrückgänge zwischen Syn-2 und Syn-3 entsprachen den erwarteten Rekombinationsverlusten. In der vorliegenden Studie dagegen ließen sich keine signifikanten Ertragsrückgänge zwischen Syn-2 und Syn-3 feststellen, wobei in Betracht zu ziehen ist, dass hier nur ein Syn-3-Synthetic geprüft werden konnte.

Der fehlende Einfluss der Komponentenzahl auf die Synthetic-Erträge der aktuellen Untersuchung könnte mit unbeabsichtigt hohen Selbstungsanteilen zusammenhängen. GEIGER (1982) führte anhand einer Vorhersageformel von BUSBICE (1970) Modellrechnungen zur Leistungsvorhersage von Synthetics durch. Anhand dieser Berechnungen konnte er belegen, dass der Anzahl Eltern eine geringere Bedeutung für den Synthetic-Ertrag zukommt als dem Selbstungsanteil. Er zeigte außerdem grafisch, dass mit zunehmendem Selbstungsanteil, die Bedeutung der Komponentenzahl abnimmt. Allerdings

wäre auch auf Grund seiner Berechnungen ein Einfluss der Vermehrungsgeneration auf den Ertrag zu erwarten gewesen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die vorliegende Studie im Hinblick auf die Befunde zur Entwicklung von Synthetics eine Reihe von Fragen offen lassen muss.

4.4.4.3 Landrassen als Genetische Ressourcen

Bei Bezug der Testkreuzungsleistungen 2006 von Landrassenmaterial auf die Leistung der CHECKS wird eine spezifische Anpassung der beiden Landrassen 'Gelber Badischer Landmais' und 'Schindelmeiser' an die Ökologische Wirtschaftsweise deutlich (Tab. 4.3). Die mitgeprüften CHECKS erreichten Kornerträge von 1152 g m⁻² unter ökologischen bzw. 1328 g m⁻² unter konventionellen Anbaubedingungen. Der relative Ertragsrückgang unter ÖKO-Bedingungen war hier deutlich größer als beim Landrassenmaterial und das MQ der Interaktion zwischen Wirtschaftsweise und Materialgruppe erreichte ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,1$ (Tab. 3.26). Anhand der Leistungsergebnisse 2006 der Landrassenmaterialgruppen an einzelnen Versuchsstandorten (Tab. 3.23) wird allerdings deutlich, dass sich die Erscheinung der Anpassung vor allem an den beiden ÖKO-Standorten mit den höheren Durchschnittserträgen (Kleinhohenheim und Wiebrechtshausen) manifestierte. Es kann spekuliert werden, ob die aus Landrassen entwickelten Genotypen in der Lage sind, von einer Symbiose mit Mykorrhiza zu profitieren. Nach Erfahrungen von WATZKE (2006) ist die Population 'Gelber Badischer Landmais' stärker als andere Maissorten in der Lage, eine solche Symbiose einzugehen.

Interessanterweise zeigte sich der oben beschriebene Effekt der Anpassung an die ökologische Wirtschaftsweise erst im Jahr 2006. Bei Bezug der Testkreuzungsleistungen 2005 von unselektiertem Landrassenmaterial auf die Leistung der CHECKS (Tab. 3.21) war keine Anpassung an die ökologische Wirtschaftsweise zu erkennen. Es deutet sich damit an, dass der für das Landrassenmaterial im Jahr 2006 gefundene Anpassungseffekt durch die Selektion unter ÖKO-Bedingungen herbeigeführt wurde.

Tab. 4.3: Leistung verschiedener Materialgruppen für Korntrockenmasse bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise bezogen auf die Leistung von zwei Referenzgruppen; Mittelwerte über 3 Regionen 2006

Materialgruppe†	Jahr	N	ÖKO			KON		
			[g m ⁻²]	[% v. CH]	[% v. FC]	[g m ⁻²]	[% v. CH]	[% v. FC]
GB-sDHL × L-T _D	06	11	910	79,0	101,2	979	73,7	98,1
SM-sDHL × L-T _D	06	16	909	78,9	101,1	958	72,1	96,0
GB-Pop × L-T _D	06	1 [#]	966	83,8	107,4	949	71,4	95,1
SM-Pop × L-T _D	06	1 [#]	903	78,4	100,4	982	73,9	98,4
Mittel Landrassen-Material	06	(33)	914	79,3	101,6	966	72,7	96,8
FCL × L-T _D (= FC)	06	5	899	78,0	-	998	75,1	-
MCL × L-T _D	06	3	1071	92,9	119,1	1205	90,7	120,8
ELL × L-T _D	06	26	1102	95,6	122,5	1253	94,3	125,5
CHECKS (= CH)	06	5	1152	-	128,2	1328	-	133,1

† Abkürzungen der Materialgruppen siehe Kap. 2.1.

#Materialgruppe wurde 3-fach geprüft.

Durch Vergleich der Landrassen-Linien mit den First-Cycle-Linien 'F2' und 'F7', die in den 50er Jahren mittels klassischer Pedigreemethode aus der Französischen Landrasse 'Lacaune' entwickelt worden waren (Abb. 3.2), lässt sich belegen, dass die Landrassen 'Gelber Badischer Landmais' und 'Schindelmeiser' ähnlich gute Nutzungsperspektiven bieten wie die Französische Landrasse 'Lacaune'. Die Linie 'F2' hat bis Anfang der 90er Jahre eine maßgebliche Rolle in der europäischen Maiszüchtung nördlich der Loire gespielt. Bezugnehmend auf den nachhaltigen Beitrag dieser Linie zum europäischen Mais-Zuchtmaterials, betonen GALLAIS et al. (1992) die Unerlässlichkeit der Sammlung und Nutzung von Landrassen als genetische Ressourcen.

Die Tatsache, dass 2006 die Testkreuzungsleistung der Landrassen-Populationen, insbesondere die des Gelben Badischen Landmaises, die mittlere Testkreuzungsleistung der Landrassen-Linien übertraf, ist möglicherweise auf einen sogenannten maternalen Saatguteffekt zurückzuführen. Im vorliegenden Experiment wurde das Testkreuzungssaatgut der Landrassen-Populationen auf heterozygoten, vitalen Populationspflanzen und das der Landrassen-Linien auf homozygoten, weniger wüchsigen Linienpflanzen produziert. Die resultierenden Unterschiede in der Saatgutqualität bewirkten während des kühlen Frühjahrs 2006 insbesondere unter ÖKO-Bedingungen einen nicht mehr auszugleichenden Entwicklungsvorteil für die Testkreuzungen der Landrassen-Populationen.

Beim Vergleich der Testkreuzungsleistung von Landrassen- und Elite-Linien fällt neben einem Vorsprung der letzteren im Kornertrag auch ein durchschnittlich höherer Korn-TS-Gehalt auf. Im Hinblick auf dieses für die Körnermaiszüchtung maßgebliche Kriterium wird man bei der Nutzung europäischer Landrassen kurzfristig sicher an Grenzen stoßen. Trotz der in Kapitel 4.4.2 aufgezeigten hohen genetischen Variation der Landrassen-Linien, kann nicht mit einem raschen, unmittelbar kommerziell umsetzbaren Zuchtfortschritt bei Verwendung von Landrassen-Linien gerechnet werden. Diese Erfahrung deckt sich mit den Beobachtungen von WARBURTON et al. (2008) bei einem Vergleich von Landrassen, Populationssorten und Inzuchtlinien bei tropischem Maiszuchtmaterial. Auch in dieser Studie wird Landrassen eine hohe genetische Variation bescheinigt, die aber „unglücklicherweise maskiert ist in armen agronomischen Hintergründen“.

Wenn man in Betracht zieht, dass die europäischen Landrassen häufig mehr der Grünnutzung als der Körnernutzung dienen (SCHLIPF, 1950), wäre es naheliegend, deren Eignung als Genetische Ressourcen vor allem für die Silo- und/oder Energiemaiszüchtung zu überprüfen.

4.4.4.4 Phänotypische Stabilität

Der für alle drei Themenkreise durchgeführten Stabilitätsanalyse (Tab. 3.18, 3.20, 3.28) ist vorauszuschicken, dass die hier erzielten Ergebnisse nur wenig belastbar sind, da sie jeweils nur anhand von 4 bzw. 6 Standorten ermittelt wurden.

In der Regel ergaben sich für die Materialgruppen, die als angepasst an die Ökologische Wirtschaftsweise angesehen werden, niedrigere mittlere Regressionskoeffizienten als für die anderen Materialgruppen. In den meisten Fällen unterschieden sich diese Koeffizienten allerdings nicht signifikant. Es deutet sich damit an, dass Genotypen, die eine Anpassung an die Ökologische Wirtschaftsweise zeigen, tendenziell vor allem an weniger produktive Standorte gut angepasst sind. Als widersprüchliches Ergebnis muss allerdings die relativ hohe Abweichungsvarianz der ÖKO-Hybriden (Tab. 3.18) gewertet werden. Dies steht im Gegensatz zu Befunden von CECCARELLI und GRANDO (1991), wonach Genotypen, die in Stress-Umwelten selektiert wurden, nicht nur eine bessere Anpassung an geringer produktive Standorte zeigen, sondern auch eine geringere Abweichung von der Regression zeigen. Teilweise kann die hohe Abweichungsvarianz der ÖKO-Hybriden damit erklärt werden, dass sich die Stabilitätsanalyse auf ökologisch und konventionell bewirtschaftete Orte gleichermaßen bezog. Die unter ökologisch Bedingungen selektierten Hybriden waren in einigen Fällen an den konventionell bewirtschafteten Standorten stark von Green-snapping betroffen, welches unter ÖKO-Bedingungen nicht selektionsrelevant war. Zum anderen aber schienen die ÖKO-Hybriden auch von sich aus unter ÖKO-Bedingungen zu deutlichen Genotyp \times Ort-Interaktionen zu neigen (Tab. 3.7). Über eine Ursache dieser Erscheinung kann nur spekuliert werden.

4.5 Züchterische Konsequenzen

Aus den Befunden zum Themenkreis „Anpassung und Selektionsstrategie“ lässt sich als wichtigstes Ergebnis festhalten, dass Hybriden mit einer spezifischen Anpassung nur dann identifiziert werden können, wenn unter den entsprechenden Bedingungen geprüft wird. Zur Sicherstellung eines Zuchtfortschritts für den Ökologischen Landbau sind deshalb Leistungsprüfungen unter ÖKO-Bedingungen unabdingbar. Darüber hinaus legten im Abschlussexperiment 2006 die höhere Heritabilität des Kornertrags bei ökologischer Wirtschaftsweise und die nur mittelstarke genotypischen Korrelation zwischen den beiden Wirtschaftsweisen nach HARRER und UTZ (1990) sogar ein eigenständiges Zuchtprogramm für die Ökologische Wirtschaftsweise nahe. Um abschließende Aussagen hierzu treffen zu können, müssten allerdings die oben genannten Parameterschätzwerte durch Versuchsserien mit einer größeren Anzahl Orte überprüft werden. Aus der Sicht kommerzieller Pflanzenzuchtbetriebe ist außerdem abzuwägen, ob die zusätzlichen Kosten für ein getrenntes Zuchtprogramm durch die zu erwartenden Mehrerlöse gedeckt werden können.

Zu einer abschließenden Beurteilung der Frage, ob ein direktes oder ein kombiniertes Selektionsverfahren bei der Züchtung von Sorten für den Ökologischen Landbau zu bevorzugen ist, sollten allerdings auch in Zukunft nicht nur Berechnungen erwarteter Selektionserfolge herangezogen werden, sondern auch die Erfahrung, dass offenbar je nach Wirtschaftsweise, Genotypen mit unterschiedlichem Stabilitätsverhalten selektiert werden.

Im Hinblick auf das Vorliegen unterschiedlicher Stressfaktoren im Ökologischen Landbau (Unkrautdruck, Krankheits- und Schädlingsdruck, temporäre Nährstoffdefizite) ist die Erlangung einer allgemeinen Stressresistenz als wichtiges Ziel zukünftiger Mais-Zuchtprogramme für den Ökologischen Landbau anzusehen. Ein solches Ziel kann allerdings nur sukzessive erreicht werden und erfordert daher langfristig angelegte Selektionsprogramme. Gleichwohl wäre es interessant, wenn klar definierte Merkmale gefunden werden könnten, die eine Anpassung an den Ökologischen Landbau direkt erkennbar machen. Beispielsweise könnte der Nachweis der Fähigkeit von Pflanzen zur Interaktion mit Mikroorganismen ein solches Merkmal sein.

Über das Leistungsniveau synthetischer Sorten im Vergleich zu Hybriden lassen sich anhand der vorliegenden Daten keine fundierten Aussagen treffen. Wie aufgrund ihrer Struktur erwartet, zeigten die entwickelten Synthetics eine überdurchschnittliche Anpassung an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Als ein wichtiges Ergebnis der vorliegenden Studie ist festzuhalten, dass es arbeitstechnisch effektiv ist, bei der Entwicklung von Inter-Pool-Synthetics Leistungsinformationen aus Testkreuzungsserien eines Hybridzüchtungsprogrammes zu nutzen. Allerdings muss bei der Synthetic-Entwicklung stärker als bei der Hybridzüchtung auf Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der genutzten heterotischen Gruppen geachtet werden, um Leistungsabfälle in Folge von Intra-Pool-Inzucht zu vermeiden.

Die Testkreuzungsergebnisse unselektierter Fraktionen von Landrassen-Linien demonstrieren, dass zwischen DH-Linien aus Landrassen ein hoher Grad an genetischer Differenzierung besteht. Der Einsatz von Landrassen-Linien zur Erweiterung der genetischen Basis von Maiszüchtpopulationen erscheint deshalb prinzipiell lohnend. Darüber hinaus ließ sich anhand der Testkreuzungsleistung vorselektierter Landrassenlinien belegen, dass dieses Material ein hohes Potential zur Anpassung an den Ökologischen Landbau besitzt und deshalb eine wertvolle genetische Ressource für die Züchtung von Öko-Sorten darstellt. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass mit der DH-Technik die genetische Diversität von Landrassen besonders effektiv für die Pflanzenzüchtung nutzbar gemacht werden kann.

5 Zusammenfassung

5.1 Zusammenfassung

Der Ökologische Landbau hat in den letzten Jahren in Deutschland stetig an Bedeutung gewonnen. Die Entwicklung hierfür geeigneter Sorten stellt daher eine wichtige Aufgabe der Pflanzenzüchtung dar. In diesem Zusammenhang ist zu überprüfen, ob die Zuchtziele, der Sortentyp und die Züchtungsstrategie auf die Anforderungen der ökologischen Wirtschaftsweise abgestimmt werden müssen. Dazu wurde von der Universität Hohenheim und der KWS SAAT AG von 2004 bis 2006 bei Mais ein Forschungsprojekt durchgeführt, in dessen Rahmen die vorliegende Arbeit entstand. Die wichtigsten Fragestellungen hierbei waren:

- (1) Können durch züchterische Selektion spezifisch an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus angepasste Sorten entwickelt werden und welche Selektionsstrategie ist hierfür am besten geeignet?
- (2) Trägt die Sortenstruktur zur Eignung für die ökologische Wirtschaftsweise bei?
- (3) Besitzt aus Landrassen entwickeltes Zuchtmaterial ein erhöhtes Anpassungspotential und eignet es sich deshalb besonders gut als genetische Basis für die Züchtung von Sorten für den Ökologischen Landbau?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurden Feldversuche mit modernem Elite- sowie mit Landrassenzuchtmaterial in drei Regionen Deutschlands (Einbeck/Niedersachsen, Stuttgart/Baden-Württemberg und Erding/Bayern) vergleichend unter ökologischen und konventionellen Anbaubedingungen durchgeführt.

Ausgehend von zwei breiten Stichproben modernen Elitezuchtmaterials, die aus 178 Flint- bzw. Dentlinien bestanden, wurden für jede Wirtschaftsweise die 11 besten Flint- und die 11 besten Dentlinien in einem zweistufigen Verfahren selektiert, um daraus im Winter 2005/2006 zwei Sets spezifisch angepasster Hybriden (ÖKO-Hybriden, KON-Hybriden) aufzubauen. Aus dem gleichen züchterischen Ausgangsmaterial wurden vier im Hinblick auf Komponentenzahl (22, 44, 88) und Vermehrungsgeneration (Syn-2, Syn-3) unterschiedliche Synthetics entwickelt.

Die Selektion der für den Aufbau von Experimentalhybriden und Synthetics geeigneten Linien erfolgte nach deren Testkreuzungsleistung in den Jahren 2004 und 2005. Zu diesem Zweck wurden in den Jahren 2004 und 2005 jeweils vier Materialsätze gebildet, von denen jeweils zwei aus Testkreuzungen der Flint- bzw. Dentlinien bestanden. Im Jahr 2004 wurden alle Linien der beiden Ausgangsstichproben getestet, 2005 dagegen nur die im Vorjahr unter den jeweiligen Anbaubedingungen etwa 25 % besten. Das Testen der Flintlinien erfolgte mit Denttestern und das der Dentlinien mit Flinttestern. Im ersten Versuchsjahr wurden jeweils eine Einfachkreuzung, im zweiten je zwei verschiedene Linien als Tester eingesetzt. Die Leistungsprüfungen wurden als 10×10- bzw. 10×8 Gitter mit zwei Wiederholungen in allen drei Regionen angelegt. In einer abschließenden Leistungsprüfung 2006 wurden die beiden Sets spezifisch entwickelter Hybriden (ÖKO-Hybriden, KON-Hybriden) zusammen mit den vier Synthetics getestet.

Zwei weitere Feldversuche in den Jahren 2005 und 2006 dienten der Untersuchung des natürlichen Anpassungspotentials von aus Landrassen entwickeltem Zuchtmaterial an die ökologische Wirtschaftsweise. Anhand einer Testkreuzungsserie mit Linien, die mittels *in-vivo*-Haploidentechnik aus Landrassen entwickelt worden waren, sollten 2005 erste Kombinationsfähigkeitsdaten gewonnen werden. In einem abschließenden Versuch 2006 wurde die Testkreuzungsleistung von Linien, die aus den Populationssorten (Landrassen) 'Gelber Badischer Landmais' und 'Schindelmeiser' entwickelt worden waren, mit derjenigen von veralteten und modernen Elite-Linien verglichen. Die Versuche wurden in beiden Jahren in allen drei Regionen als 10×10 Gitter angelegt.

Anhand der 2006 geprüften Sets spezifisch entwickelter Hybriden (ÖKO-Hybriden, KON-Hybriden) konnte gezeigt werden, dass durch gezielte Selektion eine Anpassung an die ökologische Wirtschaftsweise erreicht werden kann. Bei ökologischer Wirtschaftsweise erreichten die ÖKO-Hybriden einen um durchschnittlich 2,2 % höheren Kornertag als die KON-Hybriden. Umgekehrt waren die KON-Hybriden den ÖKO-Hybriden unter konventionellen Anbaubedingungen um durchschnittlich 1,6 % überlegen.

Im Hinblick auf die Wahl der optimalen Selektionsstrategie lässt sich anhand der vorliegenden quantitativ-genetischen Parameter keine abschließende Aussage treffen. Die für die ökologische Wirtschaftsweise ermittelten Varianzkomponenten- und

Heritabilitätsschätzwerte waren den unter konventionellen Bedingungen ähnlich. Die geschätzten phänotypischen Korrelationen zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise waren mäßig straff für den Kornertrag und straff für den Korn-TS-Gehalt. Für die entsprechenden genotypischen Korrelationskoeffizienten ergaben sich keine konsistenten Schätzwerte.

Wie aufgrund ihrer Struktur erwartet, zeigten die neu entwickelten Populationsorten (Synthetics) eine überdurchschnittliche Anpassung an die ökologische Wirtschaftsweise. Der Ertragsrückgang von konventioneller zu ökologischer Wirtschaftsweise betrug hier durchschnittlich nur 8 %, hingegen 15 % für die Vergleichshybriden. Allerdings war die Ertragsfähigkeit der Synthetics deutlich (ca. 23 %) geringer als die der Hybriden.

Mittels DH-Technik aus den Landrassen 'Gelber Badischer Landmais' und 'Schindelmeiser' entwickelte Linien lagen in der Testkreuzungsleistung bei 73 bzw. 79 % der Leistung moderner Elitesorten. Bezogen auf die Leistung von Linien aus der Anfangsphase der Hybridzüchtung (First-Cycle-Linien) erzielten die aus Landrassen entwickelten DH-Linien eine um durchschnittlich 4 % bessere Testkreuzungsleistung bei ökologischer im Vergleich zu konventioneller Wirtschaftsweise. Diese Ergebnisse bestätigten, dass aus Landrassen entwickeltes Zuchtmaterial eine wertvolle genetische Ressource für die Züchtung von Öko-Sorten darstellt. Die aus den Landrassen 'Gelber Badischer Landmais' und 'Schindelmeiser' entwickelten Linien befanden sich in der Testkreuzungsleistung auf einem ähnlichen Ertragsniveau wie die berühmte First-Cycle-Linie 'F2', die auf die Französische Population 'Lacaune' zurückgeht. Die Landrassen 'Gelber Badischer Landmais' und 'Schindelmeiser' bieten somit ähnlich gute Nutzungsperspektiven wie 'Lacaune'. Außerdem konnte gezeigt werden, dass mit der DH-Technik ein Werkzeug zur Verfügung steht, das es erlaubt, Landrassen effektiv als genetische Ressource für die Pflanzenzüchtung einzusetzen.

5.2 Summary

In Germany, organic farming has continuously gained in importance during the last few years. Therefore, the development of varieties being suitable for organic farming poses an important challenge to plant breeding. In this context, it becomes necessary to investigate whether breeding goals, type of variety and selection strategy have to be harmonized with the specific requirements of organic farming. For this purpose a research project on maize was conducted by the University of Hohenheim and KWS SAAT AG between 2004 and 2006, which provided the base for the present thesis. The major questions were:

- (1) Does targeted selection generate varieties being specifically adapted to the conditions of organic farming and which selection strategy is most appropriate?
- (2) Does the genetic structure of a variety contribute to its suitability for organic farming?
- (3) Are landrace-derived breeding materials particularly suited as genetic base for developing varieties for organic farming?

To find answers to these questions, field experiments were carried out with modern elite and landrace-derived germplasm in three regions of Germany (Einbeck/Niedersachsen, Stuttgart/Baden-Württemberg, and Erding/Bayern) under organic *versus* conventional farming conditions.

Starting from two broad samples of modern elite germplasm, consisting of 178 flint and 178 dent lines respectively, 11 flint and 11 dent lines were selected for each farming system, using a two-stage selection procedure. From these lines, two sets of specifically selected hybrids (ORG hybrids, CON hybrids) were developed in winter 2005/2006. From the same genetic materials four interpool synthetics being different with regard to the number of components (22, 44, 88) and the generation of multiplication (Syn-2, Syn-3) were built up.

Superior lines for build-up of experimental hybrids and synthetics were selected according to their testcross performance in 2004 and 2005. In 2004 all lines of the two starting

samples were evaluated whereas in 2005 only selected fractions of approx. 25 % were tested. Flint lines were tested using dent testers and likewise dent lines were tested using flint testers. In 2004 one single cross and in 2005 two inbred lines were used as testers in each line sample. The yield trials were laid out as 10×10 or 10×8 lattices with two replicates in all regions. The two sets of specifically developed hybrids (ORG hybrids, CON hybrids) were tested in a final performance test 2006 together with the four synthetics.

Two additional field trials were carried out in 2005 and 2006 to investigate the potential of landrace-derived breeding materials for adaptation to organic farming. In 2005 first data about combining ability were obtained from a testcross series with double haploid (DH) lines derived from the open pollinated varieties (landraces) 'Gelber Badischer Landmais' and 'Schindelmeiser' by *in-vivo* haploid induction. In a final trial 2006 the testcross performance of these lines were compared to that of out-dated and modern elite lines. The trials were laid out as 10×10 lattices in all of the three regions in both years.

Test results of the two sets of specifically developed hybrids (ORG hybrids, CON hybrids) in 2006 demonstrated that specific adaptation to organic farming can be achieved through targeted selection. The ORG hybrids performed better than the CON hybrids under organic farming conditions. Likewise the CON hybrids performed better than the ORG hybrids under conventional farming. The respective differences in grain yield amounted to 2.2 % and 1.6 %, respectively. No final conclusion can be drawn from the quantitative genetic parameter estimates with regard to the choice of the optimal selection strategy. Variance components and heritability coefficients obtained under organic farming resembled those obtained under conventional conditions. Phenotypic correlations between organic and conventional farming were moderate for grain yield and strong for grain dry matter content. No consistent estimates were obtained for the corresponding genotypic correlation for grain yield.

The newly developed open-pollinated populations (synthetics) displayed superior adaptation to organic farming. The yield reduction from conventional to organic farming on average amounted to only 8 % for the open-pollinated varieties and 15 % for the reference hybrids. However, the yielding level of the synthetics was much (about 23 %) lower than that of the hybrids.

Testcross performance of lines derived from 'Gelber Badischer Landmais' and 'Schindelmeiser' amounted to 73 and 79 %, respectively, of the performance of modern elite varieties. Compared with the performance of lines from the initial phase of hybrid breeding (first-cycle-lines), testcrosses with landrace-derived lines performed better (4%) under organic farming than under conventional farming. These results confirmed that breeding materials derived from landraces are valuable resources for the development of Eco-varieties (varieties with specific adaptation to organic farming). Testcross yields of lines derived from 'Gelber Badischer Landmais' and 'Schindelmeiser' were of similar magnitude as those of the well known first-cycle-line 'F2', originating from the French open-pollinated variety 'Lacaune'. Hence the landraces 'Gelber Badischer Landmais' and 'Schindelmeiser' proved to be similarly useful as 'Lacaune'. Furthermore, our results demonstrate that *in-vivo* haploid induction is a valuable tool for exploiting landraces as genetic resources for plant breeding.

6 Literatur

- Albrecht, B., and J.W. Dudley. 1987. Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germplasm. *Crop Sci.* 27:480-486.
- Anscombe, F.J., and J.W. Tukey. 1963. The examination and analysis of residuals. *Technometrics* 5:141-160.
- Becker, H.C. 1993. *Pflanzenzüchtung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Becker, H.C., and F.W. Schnell. 1988. Performance of advanced generations of eight maize synthetics differing in number and genetic diversity of constituent lines. *Maydica* 33:151-162.
- Busbice, T.H. 1970: Predicting yield of synthetic varieties. *Crop Sci.* 10:265-269.
- Ceccarelli, S. 1996. Positive interpretation of genotype by environment interactions in relation to sustainability and biodiversity. *In: Cooper M. and G.L. Hammers (eds.). Plant Adaptation and Crop Improvement. – CAB International, Wallingford U.K., Icrisat, Andra Pradesh, India, IRRI, Manila, Philippines. Pp 467-486.*
- Ceccarelli, S., and S. Grando. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica* 57:157-167.
- Cochran, W.G., and G.M. Cox. 1957. *Experimental Designs* (2. ed). John Wiley & Sons Inc., London, New York.
- Eberhart, S.A., and W.A. Russel. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Efron, B., and R.J. Tibshirani. 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall, New York.
- Falconer, D.S. 1952. The problem of environment and selection. *American Naturalist* 86:293-298.
- Falconer, D.S., and T.F.C. Mackay. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics* (4. ed). Longman Group Ltd, Essex.
- Frankel, O.H. 1958. *J. Australian Inst. Agr. Sci.* 24:112.
- Gallais, A., H. Duval, P. Garnier, and A. Charcosset. 1992. Un exemple de gestion des ressources génétiques en vue de la sélection. *En: Actes du colloque en hommage à Jean Pernes. BRG, Paris. Pp. 477-490.*
- Geiger, H.H. 1982. Züchtung synthetischer Sorten. III. Einfluß der Vermehrungsgeneration und des Selbstungsanteils. *Votr. Pflanzenzüchtg.* 1:41-72.

- Geiger, H.H. 1988. Epistasis and heterosis. *In*: Weir, S., E.J. Eisen, M.M. Goodman, and G. Namkong (eds.). *Quantitative Genetics*. Sinauer Associates, Inc., Publ., Sunderland, MA, USA. Pp. 395-399.
- Gordillo, G.A. 2007. Pers. Mitteilung, Mai 2007. Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Stuttgart.
- Gordillo, G.A., and H.H. Geiger. 2004. Estimating quantitative genetic parameters of European maize populations to optimize hybrid maize breeding methods by model calculations. *In*: *Proceedings of the 17th EUCARPIA General Congress*, 8-11 September 2004, Tulln, Österreich.
- Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding* (2. ed). Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Harrer, S. und H.F. Utz. 1990. Modellstudie zur Züchtung von Low-Input-Sorten am Beispiel des Mais. *In*: Bericht über die 41. Arbeitstagung 1990 der „Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter“ innerhalb der „Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter“. BAL Gumpenstein, Österreich. Pp. 9-19.
- Healy, M.J.R., and M.H. Westmacott. 1956. Missing values in experiments analyzed on automatic computers. *Appl. Statist.* 5:203-206.
- IFOAM 2002. *Basic standards for organic production and processing*. International Federation of Organic Agricultural Movements, Tholey-Theley, Germany.
- Knapp, S.J., and W.L. Bridges (Jr.). 1987. Confidence interval estimates for heritability for several mating and experimental designs. *Theor. Appl. Genet.* 73:759-763.
- Kunz, P. 2000. Backqualität und / oder Brotqualität? *Lebendige Erde* 5/2000:38-41.
- Lammerts van Bueren, E.T. 2006. Organic plant breeding: a challenge for practice and science. *In*: *Proceedings of the European joint organic congress*, Odense, Denmark, 30-31 May, 2006. – Odense: DARCOF, 2006. Pp. 186-187.
- Lammerts van Bueren, E.T., P.C. Struik, M. Tiemens-Hulscher, and E. Jacobsen. 2003. Concepts of intrinsic value and integrity of plants in organic plant breeding and propagation. *Crop Sci.* 43:1922-1929.
- Lammerts van Bueren, E.T, K.-P. Wilbois, and H. Østergård. 2007. European perspectives of organic plant breeding and seed production in a genomics era. *In*: Hülsebusch, C., F. Wichern, H. Hemann und P. Wolff (eds.). 2007. *Organic agriculture in the Tropics and Subtropics – Current status and perspectives*. Supplement No. 89 to the *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, kassel university press GmbH.
- Lampkin, Nicolas. 2002. *Organic Farming*. Old pond publishing, Ipswich, UK.

- Lorenzana, R.E., and R. Bernardo. 2007. Genetic correlation between corn performance in organic and conventional production systems. North Central Regional Corn Breeding Research Meeting, St. Charles, IL, March 21-22, 2007. <http://corn2.agron.iastate.edu/NCR167/Abstracts/Default.html>. Cited 01 December 2007.
- Mäder, P., D. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697.
- Meyercordt, A. und M. Mücke. 2006. Ergebnisse der Sortenversuche Öko-Silomais und -Körnermais 2006 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. <http://basis.zadi.de/VIPDOKVOLLPLANZEN/DDD/4c788.pdf>. Cited 01 December 2007.
- Mode, C.J., and H.F. Robinson. 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics* 15:518-537.
- Peter, R., T. Eschholz, M. Liedgens, and P. Stamp. 2006. Swiss maize landraces – early vigour adaptation to cool conditions. P. 35. *In: XXth International Conference of the EUCARPIA Maize and Sorghum Section. 20-24 June 2006. Budapest, Hungary.*
- Poudel, D.D., W.R. Horwath, W.T. Lanini, S.R. Temple, and A.H.C. van Bruggen. 2002. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90:125-137.
- Presterl, T., G. Seitz, W. Schmidt, and H.H. Geiger. 2002. Improving nitrogen-use efficiency in European maize - comparison between line per se and testcross performance under high and low soil nitrogen. *Maydica* 47:83-91.
- Presterl, T., G. Seitz, M. Landbeck, E.M. Thiemt, W. Schmidt, and H.H. Geiger. 2003. Improving nitrogen-use efficiency in European maize - estimation of quantitative genetic parameters. *Crop Science* 43:1259-1265.
- Röber, F.K., G.A. Gordillo, and H.H. Geiger. 2005. In vivo haploid induction in maize – performance of new inducers and significance of doubled haploid lines in hybrid breeding. *Maydica* 50:275-283.
- Sarle, W.S. 2000. Jackknife and Bootstrap Analyses. <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/jackboot.sas>. Cited 03 March 2005.
- SAS Institute 1999. SAS/STAT Users Guide. Release 8.2 edn. SAS Cary, NC.
- Sattler, F. 1985. Hinweise zur Saatguterzeugung von Futterpflanzen. *Lebendige Erde* 2/85:84-88.
- Scheffé, H. 1953. A method for judging all contrasts in the analysis of variance. *Biometrika* 40:87-110.
- Schlipf, J.A. 1950. *Handbuch der Landwirtschaft*. Parey Verlag, Berlin.

- Schmidt, W. 2006. Pers. Mitteilung, Dezember 2006. KWS SAAT AG, Einbeck.
- Šimić, D., T. Presterl, G. Seitz, and H.H. Geiger. 2003. Comparing methods for integrating exotic germplasm into European forage maize breeding programs. *Crop Sci.* 43:1952-1959.
- Simmonds, N.W. (1962): Variability in crop plants: its use and conservation. *Biological Reviews* 37:422-465
- Schnell, F.W. 1982. A synoptic study of the methods and categories of plant breeding. *Z.Pflanzenzüchtg.* 89:1-18.
- Schnell F.W., and H.C. Becker. 1986. Yield and yield stability in a balanced system of widely differing population structures in *Zea mays*. *Plant Breeding* 97:30-38.
- Tretter, R.N.; G. Seitz und H.H. Geiger. 1997. Untersuchung zur Bedeutung von Rekombinationsverlusten in Intrapool- versus Interpool- Populationen bei Mais. *Votr. Pflanzenzüchtg.* 36:65-68.
- Utz, H.F. 2004. PLABSTAT. Version 3Awin. Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Stuttgart.
- Van Eeuwijk, F.A., M. Cooper, I.H., DeLacy, S. Ceccarelli, and S. Grando. 2001. Some vocabulary and grammar for the analysis of multi-environment trials, as applied to the analysis of FPB and PPB trials. *Euphytica* 122:477-490.
- Warburton, M.L., J.C. Reif, M. Frisch, M. Bohn, C. Bedoya, S.C. Xia, J. Crossa, J. Franco, D. Hoisington, K. Pixley, S. Taba, and A.E. Melchinger. 2008. Genetic diversity in CIMMYT nontemperate maize germplasm: Landraces, open pollinated varieties, and inbred lines. *Crop Sci.* 48:617-624.
- Watzke, R. 2006. Vortrag 27. Januar 2006, AMYKOR, Wolfen.
- Willer, H., and M. Yussefi. 2005. The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2005. IFOAM, Bonn, Germany.
- Wricke, G. und W.E. Weber. 1986. *Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding.* Walter de Gruyter, Berlin.
- Yates, F. 1933. The analysis of replicated experiments when field results are incomplete. *Emp. J. Exp. Agric.* 1:129-142.
- DIE ZEIT, 18. Januar 2007. Bauernopfer. Schade, viele deutsche Höfe verpassen den Öko-Boom.

7 Anhang

Tab. 7.1: Beschreibung der Versuchsstandorte und der pflanzenbaulichen Maßnahmen in den Jahren 2004 bis 2006

	Region					
	Erding/Bayern (BY)		Stuttgart/Baden-Württ. (BW)		Einbeck/Niedersachsen (NS)	
	Grafring	Grucking	Kleinhohenh.	Hohenheim	Wiebrechtsh.	Einbeck
Niederschlag, langj. Apr. - Okt [mm]	567		478		410	
Temperatur, langj. Apr. - Okt. [°C]	13,0		13,6		13,5	
Höhe über NN [m]	450	468	430	400	165	150
Bodenart†	sL	sL	utL	utL	sL	L
Wirtschaftsweise	Ökologisch	Konventionell	Ökologisch	Konventionell	Ökologisch	Konventionell
Parzellengröße [m ²]	9	9	6	6	9	9
Saatgutbehandlung	—	Fungizid, Insektizid	—	Fungizid, Insektizid	—	Fungizid, Insektizid
Unkrautbekämpfung	Mechanisch (Hacken, ein- oder zweimal)	Chemisch (Nachauflauf)	Mechanisch (Hacken, zweimal)	Chemisch (Nachauflauf)	Mechanisch (Hacken, zweimal)	Chemisch (Nachauflauf)

Forts. Tab. 7.1: Beschreibung der Versuchsstandorte und der pflanzenbaulichen Maßnahmen in den Jahren 2004 bis 2006

	Region					
	Erding/Bayern (BY)		Stuttgart/Baden-Württ. (BW)		Einbeck/Niedersachsen (NS)	
	Grafring	Grucking	Kleinhohenh.	Hohenheim	Wiebrechtsh.	Einbeck
Aussaatdatum 2004	26.04.	28.04	03/04.05	30.04	12.05	14.05§
Erntedatum 2004	15.11	12.11	21/22.10	20/21.10.	03.11	05.11
Vorfrucht 2004	Kleegras	Zuckerrübe	Hafer	Weizen	Kleegras	Weizen
Düngung 2004 pro ha						
- mineralisch‡	—	0,4 t Volldünger	—	450 l AHL	—	170 kg Unterfußdüngung
- organisch	—	30 m ³ Gülle	1,8 t Organischer Handelsdünger 'Bioilsa 11'	—	15 t Mistkom- post („Champ. kompost“)	x m ³ Gülle¶
Approx. Nährstoffzuf. durch Düngung 2004 [N/P ₂ O ₅ /K ₂ O kg ha ⁻¹]	—	52/52/80 75/52/40	200/22/9 (150 kg N anrechenbar)	160/-/-	75/75/150	17/58/- x/x/x¶

Forts. Tab. 7.1: Beschreibung der Versuchsstandorte und der pflanzenbaulichen Maßnahmen in den Jahren 2004 bis 2006

	Region					
	Erding/Bayern (BY)		Stuttgart/Baden-Württ. (BW)		Einbeck/Niedersachsen (NS)	
	Grafring	Grucking	Kleinhohenh.	Hohenheim	Wiebrechtsh.	Einbeck
Aussaatdatum 2005	12.05	04.05	12.05	01.05	29.04	26.04
Erntedatum 2005	09.11	04.11	18.10	16.10	03.11	01.11
Vorfrucht 2005	Mais	Mais	Dinkel, Leguminosenmisch. als Zwischenfrucht	Futtererbse	Klee gras	Gerste
Düngung 2005 pro ha						
- mineralisch‡	—	260 kg Harnstoff	—	450 l AHL	—	170 kg Unterfußdüngung
- organisch	—	20 m ³ Gülle	30 t Stallmist (Schaf)	—	—	x m ³ Gülle¶
Approx. Nährstoffzuf. durch Düngung 2005 [N/P ₂ O ₅ /K ₂ O kg ha ⁻¹]	—	120/60/90 50/35/30	190/200/510	160/-/-	—	17/58/- x/x/x¶

Forts. Tab. 7.1: Beschreibung der Versuchsstandorte und der pflanzenbaulichen Maßnahmen in den Jahren 2004 bis 2006

	Region					
	Erding/Bayern (BY)		Stuttgart/Baden-Württ. (BW)		Einbeck/Niedersachsen (NS)	
	Grafring	Grucking#	Kleinhohenh.	Hohenheim	Wiebrechtsh.	Einbeck
Aussaatdatum 2006	28.04	25.04	02.05	24.04	27.04	29.04
Erntedatum 2006	17.10	20.10	16/17.10	13.10	25.10	26.10
Vorfrucht 2006	Weizen	Mais	Dinkel, Leguminosenmisch. als Zwischenfrucht	Perserklee- und Phacelia-Misch.	Sommerweizen	Mais
Düngung 2006 pro ha						
- mineralisch‡	—	350 kg Amm. sulf. salpeter, 150 kg Harn- stoff	—	540 l AHL	—	170 kg Unterfußdüngung
- organisch	—	—	30 t Stallmist (Schaf)	—	2000 kg Potato Protein Liquid	x m ³ Gülle¶
Approx. Nährstoffzuf. durch Düngung 2006 [N/P ₂ O ₅ /K ₂ O kg ha ⁻¹]	—	91/-/ 69/-/	190/200/510	195/-/	60/20/180	17/58/- x/x/x¶

Zu Tab. 7.1:

† sL = sandiger Lehm, utL = schluffig-toniger Lehm, L= Lehm

‡ Ohne mineralische P_2O_5 -, K_2O - Grunddüngung.

§ Versuch wurde als Ersatz für einen durch Starkregen stark beeinträchtigten, früher ausgesäten Versuch angelegt.

¶ Genaue Menge der ausgebrachten Gülle ist nicht bekannt.

Versuch zu den Genetischen Ressourcen befand sich 2006 auf einem anderen konventionell bewirtschafteten Feld:

Aussaat: 02.05.06, Düngung: 2 × Rindergülle a 25 m³/ha im Nov 05 und April 06, 125 kg stickstoffbetonter Volldünger.

Tab. 7.2: Geschätzte Koeffizienten der phänotypischen (r_p) und genotypischen (r_g) Korrelation zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise sowie die statistischen Parameter h und σ_g für den Kornertrag der Teilgruppen der geprüften Materialsätze bei ökologischer (ÖKO) und konventioneller (KON) Wirtschaftsweise 2005 und 2006

Materialsatz† bzw. -gruppe‡	Jahr	N	r_p	r_g	h		σ_g [g m ⁻²]	
					ÖKO	KON	ÖKO	KON
F × L-T1 _D - ÖKO-L	05	41	0,52 **	1,43 ++	0,50	-	27,6	-
F × L-T1 _D - KON-L	05	44	0,47 **	0,00 §	-	0,64	-	36,0
F × L-T2 _D - ÖKO-L	05	36	0,07	0,17	0,48	-	23,6	-
F × L-T2 _D - KON-L	05	40	0,08	-0,05	-	0,59	-	38,3
D × L-T1 _F - ÖKO-L	05	43	0,58 **	1,06 ++	0,63	-	32,0	-
D × L-T1 _F - KON-L	05	43	0,59 **	0,88 ++	-	0,86	-	64,9
D × L-T2 _F - ÖKO-L	05	43	0,31 *	0,22	0,60	-	33,6	-
D × L-T2 _F - KON-L	05	43	0,29	0,29	-	0,60	-	44,7
Exp.-Hyb: ÖKO-Hyb	06	46	0,13	0,00 §	0,00§		0,0§	
Exp.-Hyb: KON-Hyb	06	44	0,44 **	0,71 ++		0,64		51,8

*, ** Signifikanz für $\alpha=0,05$ bzw. $\alpha=0,01$.

† Abkürzungen der Materialsätze siehe Kap. 2.1.

‡ Abkürzungen der Liniengruppen: ÖKO-L = unter ökologischen Bedingungen selektierte Liniengruppe; KON-L = unter konventionellen Bedingungen selektierte Liniengruppe.

§ Schätzwert wurde auf 0 gesetzt, da die zu Grunde liegende genotypische Varianzkomponente negativ ist.

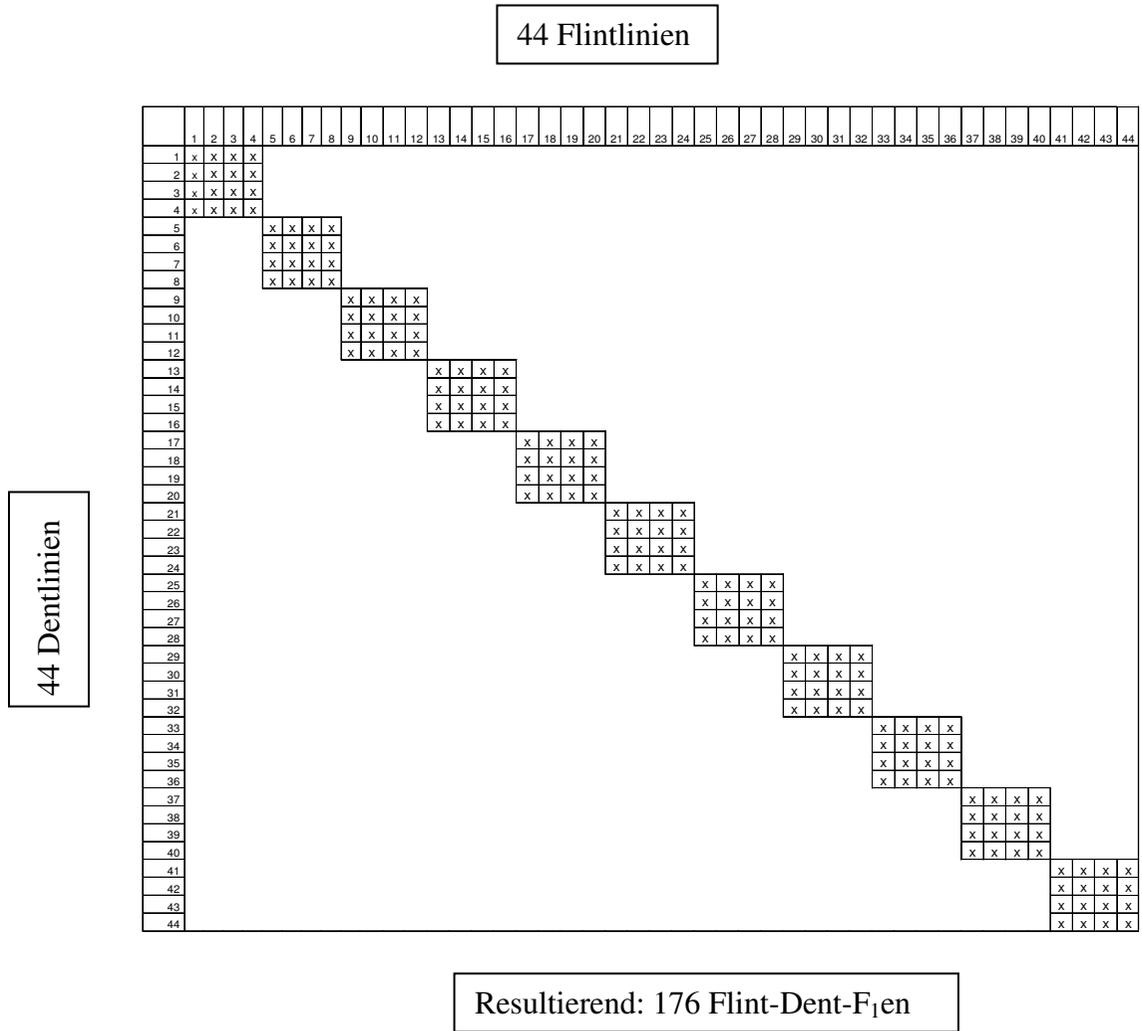
Abb. 7.1: Partiell balancierter Kreuzungsplan zur Herstellung von 77 Flint-Dent-F₁-Hybriden (Beispiel: ÖKO-Hyb)

11 Flintlinien mit den besten Ergebnissen
bei ökologischer Wirtschaftsweise 2005

11 Dentlinien mit den besten Ergebnissen
bei ökologischer Wirtschaftsweise 2005

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	x	x	x	x	x	x	x				
2		x	x	x	x	x	x	x			
3			x	x	x	x	x	x	x		
4				x	x	x	x	x	x	x	
5					x	x	x	x	x	x	x
6	x					x	x	x	x	x	x
7	x	x					x	x	x	x	x
8	x	x	x					x	x	x	x
9	x	x	x	x					x	x	x
10	x	x	x	x	x					x	x
11	x	x	x	x	x	x					x

Abb. 7.2: Kreuzungsplan zur Produktion des Syn-1 (44/44), Grundplan zur Synthetic-Erzeugung, bestehend aus elf 4 × 4 Teilfactorials



44 Dentlinien

SAS-Source-Code zur Berechnung von Bootstrap-Vertrauensintervallen für phänotypische und genotypische Korrelationskoeffizienten, aufbauend auf einer allgemeinen SAS-Bootstrap-Prozedur von SARLE (2000):

.....
.....

%mend bootout;

```
/*Versuchsdatensatz mit den Regionen Hohenheim und Grucking*/  
DATA BOOTRAW;  
INPUT PLACE $ TREATMENT BLW WUH FMha TS KTMha [weitere  
Variable...]TSOE KTMOE [...];
```

```
CARDS;  
H 001 86.00 273.37 123.67 67.46 97.04 .....
```

```
[Datenzeilen]  
...
```

```
;  
DATA BOOTSERIE;  
SET BOOTRAW;  
RUN;
```

```
DATA HOHENHEIM;  
SET BOOTSERIE (WHERE=(PLACE='H'));  
HKTMha=KTMha;  
HKTMOE=KTMOE;  
DROP PLACE KTMha KTMOE;  
PROC SORT;  
BY TREATMENT;  
RUN;
```

```
DATA GRUCKING;  
SET BOOTSERIE (WHERE=(PLACE='G'));  
GKTMha=KTMha;  
GKTMOE=KTMOE;  
DROP PLACE KTMha KTMOE;  
PROC SORT;  
BY TREATMENT;  
RUN;
```

```
DATA MERGESERIE;  
MERGE HOHENHEIM GRUCKING;  
BY TREATMENT;  
RUN;
```

```
/*ab hier soll das analyze-Makro beginnen*,  
MERGESERIE soll &data werden, am Ende soll parameterlaengs &out  
werden*/
```

```
%macro analyze (data=, out=);

DATA HOHREMAKE;
SET &data;
PLACE='HOH';
KTMha=HKTMha;
KTMOE=HKTMOE;

run;

DATA GRUREMAKE;
SET &data;
PLACE='GRU';
KTMha=GKTMha;
KTMOE=GKTMOE;

run;

DATA SERREMAKE;
SET HOHREMAKE GRUREMAKE;
DROP HKTMha HKTMOE GKTMha GKTMOE;
%bystmt;
RUN;

data zaehldatei;
do k=1 to 1000; /*Zahl der Samples*/
  do j=1 to 2; /*Zahl der Orte*/
    do i=1 to 90; /*Zahl der Prüfglieder*/
      new_treat=i;
      output;
    end;
  end;
end;
run;

data new_treat;
set zaehldatei;
drop i j k;
run;

data serremake2;
merge serremake new_treat;
if PLACE = ' ' then delete;
run;

PROC GLM DATA=SERREMAKE2 NOPRINT OUTSTAT=SERSTAT;
CLASS PLACE new_treat;
MODEL KTMha KTMOE = PLACE new_treat PLACE*new_treat;
MANOVA h=new_treat PLACE e=PLACE*new_treat/ printh printe htype=1
etype=1;
RANDOM PLACE new_treat;
%bystmt;
RUN; QUIT;

DATA SQSP;
set SERSTAT (WHERE=( _TYPE_='SS1' ));
```

```
run;
```

```
DATA MQKTMha;  
set SQSP (WHERE =(_NAME_='KTMha'));  
SQ1 =SS;  
MQ1=SS/DF;  
DROP _NAME_ _TYPE_ KTMha KTMOE DF SS F PROB ;  
run;
```

```
DATA MQKTMOE;  
set SQSP (WHERE =(_NAME_='KTMOE'));  
SQ2 =SS;  
MQ2=SS/DF;  
DROP _NAME_ _TYPE_ KTMha KTMOE DF SS F PROB;  
run;
```

```
DATA MPKTM;  
set SQSP (WHERE =(_NAME_='KTMOE'));  
SP =KTMha;  
MP=SP/DF;  
DROP _NAME_ _TYPE_ KTMha KTMOE DF SS F PROB;  
run;
```

```
DATA MQ1;  
set MQKTMha (WHERE=( _SOURCE_='new_treat'));  
DROP _SOURCE_ SQ1;  
run;
```

```
DATA MQ2;  
set MQKTMOE (WHERE=( _SOURCE_='new_treat'));  
DROP _SOURCE_ SQ2;  
run;
```

```
DATA MP;  
set MPKTM (WHERE=( _SOURCE_='new_treat'));  
DROP _SOURCE_ SP;  
run;
```

```
DATA MQE1;  
set MQKTMha (WHERE=( _SOURCE_='PLACE*new_treat'));  
MQE1=MQ1;  
DROP _SOURCE_ SQ1 MQ1;  
run;
```

```
DATA MQE2;  
set MQKTMOE (WHERE=( _SOURCE_='PLACE*new_treat'));  
MQE2=MQ2;  
DROP _SOURCE_ SQ2 MQ2;  
run;
```

```
DATA MPE;  
set MPKTM (WHERE=( _SOURCE_='PLACE*new_treat'));  
MPE=MP;  
DROP _SOURCE_ SP MP;  
run;
```

```
DATA PARAMETERQUER;
```

```
MERGE MQ1 MQ2 MQE1 MQE2 MP MPE;
RPHAENO=MP/(sqrt(MQ1))/(sqrt(MQ2));
if MQ1<=MQE1 or MQ2<=MQE2 then RGENO=0;
else RGENO=(MP-MPE)/(sqrt(MQ1-MQE1))/(sqrt(MQ2-MQE2));
DROP MQ1 MQ2 MQE1 MQE2 MP MPE;
run;

DATA RPHAENO;
  SET PARAMETERQUER;
  STAT='RPHAENO';
  CORREL=RPHAENO;
  DROP RPHAENO RGENO;
RUN;

DATA RGENO;
  SET PARAMETERQUER;
  STAT='RGENO';
  CORREL=RGENO;
  DROP RPHAENO RGENO;
RUN;

DATA PARAMETERLAENGS;
  SET RPHAENO RGENO;
run;

data &out;
set parameterlaengs;
run;

;

%mend;

title2 'Bootstrap Analyse Normal im Überblick - KTM';
%boot (data=mergeserie, samples=1000, id=stat, random=123)
```


Danksagung

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. H.H. Geiger danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas und für die wissenschaftliche Betreuung bei der Durchführung des Forschungsprojektes sowie bei der Erstellung dieser Arbeit. Ganz besonders möchte ich mich für die vielen intensiven und für mich sehr wichtigen Gespräche bedanken.

Herrn Dr. W. Schmidt gilt mein besonderer Dank für die große Unterstützung, die er mir als immer erreichbarer Ansprechpartner, durch seine ermunternde fachliche Beratung und durch die kontinuierliche Projektbegleitung gewährt hat.

Jochen Jesse und Silvia Koch möchte ich sehr herzlich danken für die freundschaftliche Zusammenarbeit bei der Durchführung der Feldversuche und für die vielen erlebnisreichen Gruppen-Aktionen mit zahlreichen HIWIs, LTA-Schülern und Praktikanten, die ebenfalls zum Gelingen des Projektes beitrugen. Namentlich bedanken möchte ich mich in diesem Zusammenhang bei Justus v. Kittlitz, Kai Schweitzer und Melanie Braun.

Frau U. Mund danke ich herzlich für die Durchführung umfangreicher Kreuzungsarbeiten in Puerto Rico, die für die Herstellung von Synthetics und Experimentalhybriden notwendig waren.

Frau Egelhaaf möchte ich meinen ganz speziellen Dank aussprechen für die nicht immer einfache Verwaltung und Finanzorganisation des „Öko-Projekts“.

Herrn Prof. Dr. Utz danke ich für interessante Statistik-Gespräche über Resampling-Methoden und Nearest-Neighbour-Analysen.

Den Master-Studentinnen Marie Schloen, Susanne Kohls und Vanessa Prigge möchte ich für ihre Mitarbeit bei der Durchführung der Versuche, ihre freundliche Begleitung auf Reisen zu den unterschiedlichen Versuchsstandorten sowie für ihre Mithilfe bei der Datenanalyse danken.

Frau Meyer danke ich für die Bewältigung der recht umfangreichen „Reise-Bürokratie“, die im Zusammenhang mit dem „Öko-Projekt“ entstand.

An den verschiedenen Leistungsprüfungs-Standorten sowie in den Zuchtgärten haben zahlreiche Personen zum Gelingen des Projektes beigetragen. Stellvertretend möchte ich mich hier bedanken bei A. Altenweger, H. Hilscher, O. Hübner, Herrn und Frau Lanzinger E. Löhnhardt, H. Meyer, N. Morath, Herrn Pfanzelt, D. Seyfang, A. Wasem und G. Wegener.

Das dieser Dissertation zu Grunde liegende Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des „Bundesprogramm Ökologischer Landbau“ (Kenn-Nr. 03OE651) sowie mit Mitteln der KWS SAAT AG gefördert.