

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz

**„Untersuchungen von Sommerweizengenotypen unterschiedlicher Herkunft
auf Hitze- und Trockenstresstoleranz“**

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

als

Dissertation

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

vorgelegt von

Diplomagraringenieur
Emma Tahiro

geb. am 26.08.1967
in Bale (Äthiopien)

Gutachter: Herr Prof. Dr. W. E. Weber
Herr Prof. Dr. W. Merbach
Herr Prof. Dr. W. Römer

Verteidigung am: 15.04.2002

Halle/Saale 2002

urn:nbn:de:gbv:3-000003565

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Aagbv%3A3-000003565>]

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verzeichnis der Abkürzungen	iii
1 Einleitung	1
2 Literatur	5
2.1 Hitzestress	5
2.2 Trockenstress	13
2.2.1 Allgemein	13
2.2.2 Physiologische Merkmale	14
2.2.3 Morphologische Merkmale	22
2.2.4 Phänologische Merkmale	24
3 Material und Methoden	29
3.1 Material.....	29
3.2 Methoden.....	31
3.2.1 Hitzestress	31
3.2.1.1 Freilandprüfungen	31
3.2.1.2 Klimakammerprüfungen in Bernburg	32
3.2.1.3 Klimakammerprüfungen in Hohenthurm	34
3.2.2 Trockenstress.....	38
3.2.2.1 Freilandprüfungen	38
3.2.2.2 Klimakammerprüfung	40
3.2.3 Keimungstest in einer osmotischen Lösung.....	41
3.2.3.1 Keimungstest in einer PEG-Lösung.....	41
3.2.3.2 Keimungstest in einer Mannitollösung.....	41
3.3 Auswertungsmethoden	42

4	Ergebnisse	43
4.1	Hitzestress	43
4.1.1	Freilandprüfungen in Oberägypten.....	43
4.1.2	Klimakammerprüfungen in Bernburg	57
4.1.3	Klimakammerprüfungen in Hohenthurm	60
4.1.3.1	Physiologische Merkmale	60
4.1.3.2	Ertragsmerkmale.....	64
4.2	Trockenstress.....	71
4.2.1	Freilandprüfung	71
4.2.2	Klimakammerprüfungen.....	74
4.2.3	Keimungstest in einer osmotischen Lösung.....	76
4.2.3.1	Keimungstest in einer PEG-Lösung	76
4.2.3.2	Keimungstest in einer Mannitollösung.....	78
5	Diskussion.....	82
6	Zusammenfassung	94
7	Summary	97
8	Literaturverzeichnis	100
9	Abbildungsverzeichnis	I
10	Tabellenverzeichnis	I
11	Anhangsverzeichnis.....	V

Verzeichnis der Abkürzungen

Δ	Delta
%	Prozent
%M	Masseprozent
μmol	Mikromol
a	absolut
à	je
A	Anhang
Abb.	Abbildung(en)
ABA	Abscisinsäure
C	Kohlenstoff
^{13}C	Kohlenstoffisotop
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
ca.	zirka
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maize y Trigo (International Maize and Wheat Improvement Center)
cm	Zentimeter
cm^2	Quadratcentimeter
DC	decimal code
d.h.	das heißt
EI	Ernteindex
F	Fahnenblatt / F-Test
F ₋₁	nächstfolgend niedrigeres Blatt auf das Fahnenblatt
F ₋₂	zweitfolgend niedrigeres Blatt auf das Fahnenblatt
F _x	x-te Kreuzungsgeneration
FG	Freiheitsgrad
g	Gramm
GD	Grenzdifferenz
h	Stunden
HMW	high molecular weight
HS	Hitzestress (Hitzeschock)
HSP	Hitzeschockproteine
ICARDA	International Center of Agricultural Research in Dry Areas
IRRI	International Rice Research Institute
K ⁺	Kaliumion
kDa	kilo Dalton
kg	Kilogramm
l	Liter
LMW	low molecular weight
m	Meter
m^2	Quadratmeter
mg	Milligramm
MG	Molekulargewicht
min	Minute
WK	Maximalwasserkapazität
ml	Milliliter
mmol	Millimol
MPa	Megapascal
MQ	mittleres Abweichungsquadrat
MRNA	messenger ribonucleic acid (Ribonucleinsäure)

MT	Membranthermostabilität
MW	Mittelwert
n	Anzahl (number)
N	Stickstoff
nm	Nanometer
ns	nicht signifikant
P	Wahrscheinlichkeit (Probability)
PEG	Polyethylenglukol
PWP	permanenter Welkepunkt
r	Korrelationskoeffizient / relativ
RWC	relative water content
s	Sekunde
S-Index	Susceptibility Index
<i>SNK</i>	<i>Student-Newman-Keuls-Test</i>
T.	Triticum
Tab.	Tabelle(n)
TKM (TGW)	Tausendkornmasse (tausend grain weight)
WUE	water use efficiency

1 Einleitung

Pflanzenzüchtung und Pflanzenbau haben wechselseitig zur Steigerung und Stabilisierung des Ertragspotenzials in der Landwirtschaft beigetragen. Dieses wurde züchterisch durch die Verbesserung des genetischen Potenzials erreicht, welches jedoch noch nicht vollständig ausgeschöpft ist. Es ist eine wichtige Aufgabe der Pflanzenzüchtung, bei der Sortenentwicklung die Umweltbedingungen mit einzubeziehen. Überall auf der Erde unterliegen Pflanzen mannigfachen Belastungen, die ihren Entfaltungsspielraum einschränken (Levitt, 1972; Blum, 1985; Larcher, 1994). Bei unter optimalen Bedingungen auf maximale Produktivität gezüchteten Kulturpflanzen können unter Stressbedingungen Erträge und Qualität durch Stressfaktoren abiotischer sowie biotischer Art drastisch vermindert werden (Turner und Begg, 1981).

In der Literatur gibt es viele Definitionen des Begriffs „Stress“ (Levitt, 1972, 1980; Schlee, 1992; Larcher, 1994). Häufig werden alle von der Norm abweichenden Situationen als Stress bezeichnet. Danach löst der Stress Folgeerscheinungen auf verschiedenen Funktionsebenen der Pflanzen aus. Außerdem können diese Folgeerscheinungen weitere Prozesse in der Pflanze beeinflussen und dadurch selbst als Stressoren betrachtet werden (Levitt, 1972; Jones und Jones, 1989). Der Begriff „Stress“ ist damit umstritten. Jones et al. (1989) empfehlen, den Begriff „Stress“ auf kausale Einflüsse zu beschränken. Die stressauslösenden Umweltfaktoren sind von abiotischer und biotischer Natur (Libbert, 1987). In der vorliegenden Arbeit werden als Stressfaktoren nur Trockenheit und Hitze betrachtet. Sie gehören zu den abiotischen Stressfaktoren (Stressoren).

Unter den abiotischen Umweltbelastungen allein gibt es eine Vielzahl von klimatischen Faktoren (Kreeb, 1974). Diese Stressfaktoren treten häufig in der Natur nicht allein, sondern in Kombination auf (Jones et al. 1989). Ein typisches Beispiel dafür ist der Zusammenhang zwischen Trockenheits- und Hitzestress (Austin, 1989). Während der Trockenzeit kommt es zur Senkung der Transpiration, und diese führt zum Anstieg der Temperatur in der Pflanze (Monteith and Elston, 1996). Außerdem können sich im Laufe einer bestimmten Zeit verschiedene Stressarten abwechseln, die in ihrer Intensität und Dauer variieren (Austin, 1989). Dieses macht die Überwindung eines Stressproblems durch die Züchtung komplizierter (Blum, 1988). Der beste Weg ist die Vermeidung von Stress, was jedoch meistens nicht möglich ist.

Das Auftreten eines Schadens durch einen Stress ist nicht nur von der Intensität des Stresses, sondern auch von der Dauer und dem Zeitpunkt der Einwirkung abhängig (Levitt, 1972; Ceccarelli et al., 1991). Ein milder Stress kann förderlich (adaptiv) wirken, über längere Zeit jedoch unumkehrbare Effekte auslösen oder sogar zum Tod führen (Levitt, 1972; Larcher, 1994). Außerdem beeinflusst ein Stressfaktor die Pflanze nicht nur durch den von ihm hervorgerufenen Primärstress, sondern wahrscheinlich auch durch einen Sekundärstress als Folge des Primär-

stresses. Eine hohe Temperatur kann z. B. die Pflanze in Folge eines durch sie ausgelösten Wassermangels schädigen, ohne selbst gefährlich zu sein.

Obwohl durch den Stress das Potenzial des Pflanzenertrags reduziert werden kann, gibt es Pflanzenarten oder -sorten, die in der Lage sind, ihren potenziellen Ertrag zu stabilisieren oder zumindest die Reduktion zu verringern.

Die Pflanzen verfügen über eine Vielzahl von Mechanismen, um Stresseffekten entgegenzuwirken. Die Einteilung dieser Mechanismen ist in der Literatur nicht einheitlich. Die zwei Hauptstrategien, die die höheren Pflanzen benutzen, sind Stressflucht (escape) und Stressresistenz (Ludlow und Muchow, 1990). Im ersten Fall schließen die Pflanzen ihre Reife vor dem Eintritt des gefährlichen Stresses ab (Turner, 1986a; Ludlow und Muchow, 1990). Stressresistenz lässt sich in Stressvermeidung (avoidance) und Stresstoleranz einteilen, die ihrerseits über eigene Komponenten verfügen (Ludlow und Muchow, 1990).

Auf Stress antwortet die Pflanze entweder unspezifisch oder mit ihren spezifischen Möglichkeiten, um die hervorgerufenen Belastungen beseitigen oder mindern zu können (Tietz und Tietz, 1982). Dabei bestimmen innere Faktoren wie genetische Veranlagung und äußere Faktoren wie Klima die Reaktion des Organismus auf den Stressor (Selye, 1977). Jeder Organismus besitzt ein spezifisches Reaktionsvermögen gegenüber den Stressfaktoren, das durch seine genetische Konstitution festgelegt wird (Schlee, 1992). In jeder Belastungssituation treten zwei gegensätzliche Tendenzen auf: Destabilisierung von Strukturen und Funktionen und Stabilisierung als Gegenmaßnahmen des pflanzlichen Systems (Kreeb, 1974). Von der relativen Wirksamkeit dieser negativen und positiven Effekte hängt letztlich die Wirkung der Stressoren ab (Schlee, 1992). Je nach dem Überwiegen einer der beiden Richtungen ist akute Schädigung oder Resistenz die Folge (Kreeb, 1974).

Der Schlüssel zur Erhöhung bzw. Stabilisierung von Erträgen unter ungünstigen Umweltbedingungen liegt in der Züchtung stressangepasster Sorten. Ein Verständnis der Anpassungsmechanismen physiologischer und morphologischer Natur (Jenka, 1985, Richards, 1996) ist jedoch die Voraussetzung, genetische Variabilität für eine Züchtung erfolgreich zu nutzen. Für eine zielgerichtete Anwendung ist eine genaue genetische Analyse, nach Möglichkeit unter Einbeziehung molekularer Methoden, erforderlich. Die Kreuzung von Kulturarten mit resistenten Wildarten könnte in Zukunft eine Alternative zur Nutzung stressangepasster Sorten als Kreuzungspartner darstellen (Quarrie, 1996; Richards, 1996). Gegenwärtig gibt es keine eindeutigen Kriterien für die Züchtung resistenter Sorten. Das bezieht sich zum einen auf die Screeningtechnik (Jenka, 1985). Zum anderen fehlen häufig klare Unterschiede zwischen Genotypen in ihrer Reaktion auf bestimmten Umweltstress (Hanson und Nelsen, 1980).

Es gibt noch keine neue Sorte, die auf der Basis eines physiologischen Verstehens der Reaktion der Pflanzen auf den Stress selektiert und zugelassen ist (Richards, 1996). Jeder Fortschritt in Richtung der Stabilisierung des Ertrags unter Stress ist sehr langsam.

Viele Selektionskriterien, die für die Züchtung auf Stresstoleranz vorgeschlagen wurden, blieben hinter den Erwartungen. Richards (1996) fasst die Gründe wie folgt zusammen:

1. Die Kriterien sind meistens eher auf Überlebensmechanismen gerichtet als auf die Produktivität.
2. Die Kriterien sind nicht unter allen Stressbedingungen geeignet.
3. Die Kriterien gelten meist temporär und haben dadurch wenig Einfluss auf das Wachstum und den Ertrag der Pflanze im gesamten Lebenszyklus.

Die Zurückhaltung von Züchtern bei der Verwendung potenzieller Selektionskriterien für Stressresistenz in ihren Züchtungsprogrammen führt Richards darauf zurück. Auch Ahloowalia und Khush (2001) betonen, dass nur Bruchteile der durch den Einsatz von neuen Techniken gewonnenen Informationen zur genetischen und zytogenetischen Analyse von Züchtern genutzt wurden. Die Züchter bezweifeln den praktischen Nutzen vieler Kriterien, da sie sehr schwer messbar sind. Die meisten bisher erreichten Erfolge der Züchtung wie z. B für Trockenresistenz wurden überraschenderweise unter Umwelten ohne Wassereinschränkung erzielt (Blum, 1988).

Nach Blum (1989) sind die genetische Komplexität des Merkmals Ertrag und die Unvorhersehbarkeit der Stressbedingungen für Selektion auf Stabilität die hauptsächlichen Schwierigkeiten. Die Reduktion der Heritabilität des Ertrages unter ertragvermindernden Bedingungen wie Trockenheit ist seiner Meinung nach ein weiteres Problem. Der in einem Selektionsgang erreichte Selektionsfortschritt ist im nächsten Selektionsgang oft nicht reproduzierbar. Deshalb ist eine Selektion auf Stressresistenz mit Hilfe des Ertrags als Selektionskriterium unter ertragreduzierenden Bedingungen ineffizient, obwohl der Ertrag das Endziel der Züchtung ist. Außerdem soll die Selektion auf Ertrag unter den Umweltbedingungen durchgeführt werden, die der Stresssituation des Zielgebiets entsprechen (Blum, 1989; Ceccareli, 1994). Für die Entwicklung der Stressresistenz muss die Selektion auf Ertrag um weitere physiologische Kriterien ergänzt werden.

In dieser Arbeit geht es um die beiden abiotischen Stressfaktoren Trockenheit und Hitze bei Sommerweizen, die die Weizenproduktivität in vielen Teilen der Welt beeinträchtigen. Um die Eigenschaften der Hitze- und Trockentoleranz über Kreuzungsprogramme in leistungsfähigen Sorten verankern zu können, wurde zunächst eine Prüfung geeigneter Sorten unter Freilandbedingungen in hitzegeprägten Regionen Oberägyptens sowie unter Klimakammer- und Laborbedingungen in Deutschland durchgeführt. Ziel der vorgelegten Arbeit ist:

- (i) die Prüfung von verschiedenen Sommerweizengenotypen auf ihre Ertragsleistung unter Hitze-

und Trockenbedingungen im Vergleich zu Kontrollbedingungen sowie (ii) das Finden von Merkmalen, die Hitze- und Trockenstresstoleranz der Sommerweizengenotypen charakterisieren und eine Selektion aus einem umfangreichen Material in möglichst frühen Entwicklungsstadien erlauben.

2 Literatur

2.1 Hitzestress

Hitzestress gehört zu den bedeutsamsten Umweltstressfaktoren, die eine Nutzung des genetischen Ertragspotenzials der Weizenproduktion einschränken. Ein wichtiges Ziel in der Züchtung ist die Erhöhung der Hitzetoleranz. Kenntnisse über die Genetik und die physiologischen Grundlagen der Hitzetoleranz sind jedoch begrenzt (Nagao, 1989; Nguyen et al., 1989). Obwohl es eine Anzahl an physiologischen Merkmalen gibt, die unter dem Hitzestress mit der Ertragsleistung in Beziehung stehen, fehlt ein systematisches Verstehen der Hitzetoleranz des Weizens (Reynolds et al., 1998). Im Folgenden werden für die Charakterisierung der Hitzestresstoleranz häufig empfohlene Merkmale beschrieben.

Hitzeschockproteine (HSP)

Die Pflanze reagiert bei Hitzeeinwirkung häufig mit der Bildung von Hitzeschockproteinen (Nover und Scharf, 1984). Die Produktion von Hitzeschockproteinen (HSP) als Antwort auf einen Hitzestress ist ein universelles Phänomen (Kruse und Kloppstech, 1992; Lindquist, 1986). Von einigen Autoren wurden genotypische Unterschiede in der Thermotoleranz und in den Hitzeschockproteinmustern gefunden. Es konnten aber noch keine eindeutigen Selektionskriterien nachgewiesen werden.

Die Bildung von HSP erfolgt schnell, ebenso deren Abbau. Eine verstärkte Bildung der HSP geht mit einer Reduktion der vor dem Einsetzen des Hitzestresses vorhandenen Proteine einher (Libbert, 1987; Blumenthal et al., 1990). Dies geschieht parallel durch schnelle Verringerung bzw. Aktivierung der Transkription der entsprechenden Gene sowie durch eine reduzierte bzw. erhöhte Translation ihrer mRNA (Key et al., 1994; Nagao et al., 1990). Bei andauerndem Hitzestress erfolgt eine allmähliche Verringerung der mRNA-Synthese der HSP. Es kommt im weiteren Zeitverlauf zu einer schrittweisen Einstellung der HSP-Produktion und einem Übergang zur normalen Proteinbildung (Nagao et al., 1990).

Einige Hitzeschock-Gene sind während der Evolution hoch konserviert erhalten geblieben (Lindquist, 1986). Die hohe evolutionäre Konserviertheit der Hitzestress (HS)-Antwort zeigt, dass die Produktion der HSP ein grundlegender und wesentlicher Prozess ist (Vierling, 1991). Es erfolgt jedoch keine systemweit koordinierte Antwort, sondern jede Zelle reagiert getrennt auf den Hitzestress (Brodl et al., 1994).

In den Pflanzen werden HSP durch Hitzestress, Schwermetalle und einige wenige andere Stressoren induziert. Viele der gefundenen Stressoren stören die oxidative Phosphorylierung oder den Elektronentransport, so dass eine Beziehung zum Schutz der Zelle vor Atmungsstress bestehen

könnte (Lindquist, 1986).

Die Hitzeschockproteine werden nach der Größe ihrer Molekulargewichte in HSP-Familien geordnet (Kruse und Klopstech, 1992). Heute sind Hitzeschockproteine von 8,5 bis 110 kDa bekannt. Grob werden HSP in "low molecular weight" Hitzeschockproteine (LMW HSP) mit einem Molekulargewicht bis zu 30 kDa, und "high molecular weight" Hitzeschockproteine (HMW HSP) mit einem Molekulargewicht von 68 bis 110 kDa unterteilt (Jakob et al., 1993; Kimpel und Key, 1985; Nguyen et al., 1989; Nover und Scharf, 1984). Während bei anderen Organismen die Hauptmenge der neusynthetisierten HSP im höheren Molekularbereich liegt (Kimpel und Key, 1985), ist für Pflanzen die Synthese von "low molecular weight" HSP (LMW HSP) typisch (Frova und Gorla, 1993; Jorgensen und Nguyen, 1995; Vierling, 1991). Die meisten der LMW HSP werden nur durch Hitzestress induziert (Key et al., 1994; Mansfield und Key, 1987) und sind deshalb ein guter Indikator für hitzestresste Zellen.

Pflanzen bilden in Abhängigkeit von ihrer Art eine große Anzahl an HSP, die zur HSP20-Familie gehören (Kimpel und Key, 1985; Lindquist, 1986; Nagao et al., 1990; Nover und Scharf, 1991). Die Sojabohne bildet zum Beispiel mRNA für 20 verschiedene LMW HSP (Lindquist, 1986). Das Hauptprotein in dieser Region ist das HSP17 (Nover und Scharf, 1991).

In der Fähigkeit zur Bildung von HSP gibt es gewebespezifische Unterschiede (Cooper et al., 1984; Lindquist, 1986). Die induzierte HSP-Synthese ist nur ein kleiner Teil eines komplexen Netzwerks von flüchtigen Veränderungen während des Hitzestresses. Praktisch sind alle Aspekte der Zellaktivitäten einbezogen (Schöffl, 1988; Nover, 1994).

Bei einer allmählichen Temperaturerhöhung, welche den natürlichen Bedingungen entspricht, setzt die Synthese der HSP bei höheren Temperaturen ein als bei einer plötzlichen Erhöhung der Temperatur (Altschuler und Mascarenhas, 1982; Cherry et al., 1989; Key et al., 1987; Nguyen et al., 1994). Ein spätes Einsetzen der HSP-Synthese ist möglich, wenn der Organismus vor dem Hauptstress schon einer erhöhten Temperatur ausgesetzt war. In Blättern von Weizensämlingen beginnt die HSP-Synthese zwischen 28°C und 31°C und in den Fahnenblättern bei 32°C (Hendershot et al., 1992). Bei Sorghum liegt die Induktionstemperatur je nach Genotyp zwischen 37°C und 40°C (Ougham und Howarth, 1988).

Jeder Organismus hat eine „spezifische“ Temperatur, die zur vollen Hitzestress-Antwort führt. Diese Temperatur beeinträchtigt den Organismus nicht signifikant über einen längeren Zeitraum, aber sie führt zur Aktivierung der Transkription der Hitzeschock-Gene, zur Translation der HSP-mRNA und zur Akkumulation der HSP (Key et al., 1994).

Die "optimale" Temperatur ist zwischen den einzelnen Arten sehr unterschiedlich, sie reicht zum Beispiel von 37°C bei Erbsen und Weizen bis zu 46°C bei Hirse (Hendershot et al., 1992; Key et

al., 1985; Kruse und Kloppstech, 1992; Vierling, R.A. und Nguyen, 1990).

Die Temperaturhöhe der maximalen HSP-Synthese ist positiv korreliert mit der Höhe der optimalen Wachstumstemperatur der Art. Pflanzenarten, die an gemäßigte Temperaturen angepasst sind, einschließlich des Weizens, beginnen mit der HSP-Synthese bei 32 bis 33°C (Vierling, E., 1991). Diese Temperatur wird bei im Freiland wachsenden Pflanzen durchaus überschritten. So fanden Nguyen et al. (1994) bei 20 Weizensorten in Texas variierende Blatttemperaturen um 15 Uhr zwischen 32,8°C und 35,4°C. Diese führten zur Induktion von HSP.

Allgemein lässt sich sagen, dass bei Organismen, die in einem breiten Temperaturbereich wachsen, die maximale HSP-Synthese bei 10 bis 15°C über der normalen Wachstumstemperatur zu finden ist (Gurley und Key, 1991; Kruse und Kloppstech, 1992; Lindquist, 1986; Nagao, 1989). Demgegenüber wird bei Organismen, die in einem engen Temperaturbereich wachsen, schon bei 5°C über der optimalen Temperatur ein Maximum an HSP-Synthese erreicht (Lindquist, 1986; Vierling, E., 1991). Eine abrupte Temperaturänderung von 5 bis 7°C über die optimale Wachstumstemperatur kann auch schon letal wirken, da das Hitzeschock-System eine Aktivierungszeit benötigt (Key et al., 1994). Darüber hinaus ist die Auslösetemperatur für verschiedene Zelltypen eines Organismus und für einzelne HSP eines Zelltyps unterschiedlich (Burdon, 1986).

Die Länge der Stresswirkung beeinflusst die Ausprägung der HSP (Basczynski et al., 1982; Nover, 1991). Bei einer HS-Temperatur von 40°C wurde eine zeitliche Veränderung des HSP-Musters an drei Tage alten Getreidesämlingen beobachtet (Necchi et al., 1987). Nach den Autoren spielt dabei auch das Entwicklungsstadium eine Rolle. Die HMW HSP dominieren bei niedrigen Temperaturen zu Beginn der Stresstablierung, während die Synthese der LMW HSP später einsetzt, aber länger anhält (Hwang und Zimmerman, 1989; Jorgensen et al., 1993).

Die Hitzeschock-Antwort hat eine große physiologische Bedeutung. Sie dient dem Schutz der Zellen vor thermischer Zerstörung durch hohe Temperaturen und möglicherweise auch durch andere Stressoren (Cooper und Ho, 1987; Nagao, 1989; Nagao et al., 1990). Das Hitzeschock-System dient dem Erhalt der Zellstruktur und der Stabilisierung der Zellkompartimente (Cherry et al., 1989, 1994). Möglicherweise sind Hitzeschockproteine auch an der Stabilisierung von Membranen beteiligt (Nagao, et al., 1990). Weiterhin beteiligen sich die HSP an der Reparatur und/oder der Entfernung von durch Hitze zerstörten Strukturen (Kruse und Kloppstech, 1992; Nagao et al., 1990). LMW HSP bilden große "Aggregate" in der Zelle (Nover et al., 1983) und schützen als flüchtige Zellmatrix unterschiedliche Zellorganellen und Kompartimente. Verschiedene LMW HSP werden im Zellkern kodiert, im Cytosol synthetisiert und in die Chloroplasten

transportiert. Dort besitzen sie schützende Funktionen für die temperatursensitiven Aktivitäten der Chloroplasten (zum Beispiel Photosystem II) und erleichtern die Erholung vom Hitzestress nach der Beendigung des Stresses (Key et al., 1994; Nagao et al., 1990; Nover et al., 1991).

Temperatur an der Blatt- oder Bestandsoberfläche

Die Transpiration ist temperaturabhängig. Sie verbraucht einen großen Teil der auftreffenden Strahlungsenergie und wirkt einer Erhitzung der Pflanze durch Sonnenstrahlung entgegen (Libbert, 1987). Eine hohe Transpirationsrate kann sich im allgemeinen in einer niedrigen Blatttemperatur widerspiegeln (Blum, 1989). Bei Lufttemperaturen bis zu 40°C ist die Differenz zur Blatttemperatur meistens klein. Bei höheren Temperaturen kann dagegen die Absenkung der Blatttemperatur (überwiegend durch eine Transpirationskühlung) bis zu 15°C betragen (Levitt, 1972). Unter Hitze- bzw. Trockenstress kann die genotypische Variation durch Messung der Blatttemperatur mit einem Infrarot-Thermometer erfasst werden. Die zwischen Genotypen gefundenen Unterschiede in der Blatttemperatur können für eine Selektion genutzt werden, wenn die Pflanzen genug gestresst sind (Blum et al., 1982). Dabei werden Genotypen mit niedriger Blatttemperatur bevorzugt. Hitze- und Trockenstress sind häufig verknüpft. Bei einer Wasserversorgung nur aus dem im Boden gespeicherten Wasser muss darauf geachtet werden, dass die Wasserversorgung der Pflanzen in späteren sensitiven Entwicklungsphasen nicht gesichert werden kann, wenn bei einem Hitzestress in den Anfangsstadien durch eine erhöhte Transpiration der Wasservorrat verbraucht wurde und dadurch eine Wasserknappheit verursacht wurde (Hatfield et al., 1987). Unter solchen Bedingungen würde eine Selektion der Genotypen mit niedriger Blatttemperatur sicherlich keinen kontrollierten Umgang mit dem verfügbaren Wasser bedeuten. Die Methode der Temperaturmessung an der Bestandsoberfläche wurde für die Selektion bei Weizen (Blum et al., 1982) und bei Mais (Fischer et al., 1983) mit Erfolg angewendet. Zusätzliche Beweise für die Nützlichkeit dieser Methode wurden in Untersuchungen bei Sojabohnen (Harris et al., 1984), Sorghum (Chaudhuri et al., 1986) und Baumwolle (Hatfield et al., 1987) gefunden. Eine im Vergleich zur Lufttemperatur niedrige Temperatur an der Bestandsoberfläche führte zu einer Ertragsstabilisierung unter heißen und bewässerten Bedingungen in Mexiko (Amani et al., 1996). Eine vergleichbare Beziehung wurde in verschiedenen Zuchtmaterialien bei Weizen gefunden (Reynolds et al., 1998). Reynolds et al. (1992, 1994) fanden in Mexiko eine bei verschiedenen Weizensorten unterschiedlich starke Absenkung der Temperatur an der Bestandsoberfläche. Das Ausmaß der Absenkung korrelierte positiv mit dem Ertrag unabhängig von dem Entwicklungsstadium und von der Aussaatzeit (Reynolds et al., 1994). Eine große Rolle in dieser Beziehung spielt der Messzeitpunkt am Tag. Die Autoren fanden heraus, dass bei den

Messungen in der Zeit zwischen 12 und 16 Uhr die Beziehung am engsten ist.

Da die Blatttemperatur eine Funktion der Stomataleitfähigkeit ist, kann ein genotypischer Unterschied in der Senkung der Temperatur an der Bestandsoberfläche während des Hitzestresses mit dem Unterschied im CO₂-Gaswechsel des Bestandes in Beziehung stehen (Reynolds et al., 1994). Die Messung der Temperatur an der Bestandsoberfläche ist leicht und schnell durchführbar und mit geringen Versuchsfehlern behaftet.

Membranthermostabilität (MT)

Hitze beschädigt die Pflanzenmembranen. Der Beschädigungsgrad der Membranen kann durch eine Messung von Elektrolyten, die aus den Zellen austreten, geschätzt werden (Sullivan and Ross, 1979; Shanahan et al., 1990; Blum et al., 2001). Nach einer Hitzewirkung weiter funktionsfähige Zellmembranen zeigen eine Adaption der jeweiligen Pflanzen an höhere Temperaturen (Raison et al., 1980). Auf der Basis der Messung der Membranthermostabilität teilten Shanahan et al. (1990) Sommerweizengenotypen in hitzetolerante und -sensitive Gruppen ein. Die hitzetoleranten Sommerweizengenotypen brachten beim Anbau in einer Region mit hohen Temperaturen in der Kornfüllungsphase 21% mehr Kornertrag als hitzesensitive, obwohl die beiden Gruppen in Regionen mit einer niedrigen Durchschnittstemperatur in der Ertragsleistung gleich waren. Auch die mittels Membranthermostabilität von Saadalla et al. (1990a) als hitzetolerant klassifizierten Winterweizengenotypen übertrafen in ihrer Ertragsleistung die hitzesensitiven Typen.

Reynolds et al. (1994) untersuchten die Membranthermostabilität (MT) verschiedener Sommerweizengenotypen an Fahnenblättern im Feld und an den Keimlingen in der Klimakammer und fanden eine positive Korrelation zwischen den Ergebnissen ($r^2 = 0,67$, $n = 16$). Eine positive Beziehung zwischen relativer Hitzebeschädigung in der Jugendentwicklungsphase und in der Blüte wurde auch von Saadalla et al. (1990b) berichtet. Danach war ein signifikanter genotypischer Unterschied in der MT nur dann feststellbar, wenn die Genotypen vor der Testtemperatur bei einer milderen Hitzestresstemperatur akklimatisiert wurden. Je länger diese Abhärtungsphase dauerte, desto kleiner war die Beschädigung von Membranen unter höheren Temperaturen. Die Methode der Keimlingsbehandlung ist in der Züchtung zu bevorzugen (Saadalla et al., 1990b; Reynolds et al., 1994), da sich die Versuchsdurchführung in der Klimakammer besser kontrollieren lässt als im Feld. Außerdem wird die MT im Jugendstadium phänologisch geringer beeinflusst.

Chlorophyllgehalt der Blätter

Der zwei Wochen nach der Blüte an den Fahnenblättern von Weizenpflanzen gemessene Chloro-

phyllgehalt zeigte eine signifikante Korrelation mit dem Ertrag, allerdings nur unter Hitzestressbedingungen (Reynolds et al., 1992). Diesen Autoren zufolge verlieren hitzesensitive Genotypen bei einer Hitzeeinwirkung in der Kornfüllungsphase ihre Photosynthesekapazität durch den vorzeitigen Chlorophyllverlust der synthetisierenden Organe. Der Chlorophyllverlust der Blätter korrelierte negativ mit der Ertragsleistung gleicher Genotypen, (Reynolds et al., 1994). Keine Korrelation des Chlorophyllgehaltes mit dem Ertrag wurde bei einer Untersuchung an fortgeschrittenen Zuchtstämmen (advanced breeding lines) festgestellt (Reynolds et al., 1998). Die Autoren begründen diesen Befund damit, dass die genetische Variabilität im Chlorophyllgehalt durch die Züchtung minimiert wurde, da eine Selektion nach diesem Merkmal relativ einfach visuell oder mit einem Chlorophyllmeter möglich ist.

Photosyntheserate

Bei einer Messung vor, während und nach der Blüte wurde eine positive Korrelation mit dem Ertrag gefunden, wobei die Beziehung während der Kornfüllung am stärksten war (Reynolds et al., 1994). Die Messung der Photosyntheserate ist allerdings sehr zeitaufwendig. Ähnliches wurde bei der Stomataleitfähigkeit festgestellt (Reynolds et al., 1994). Dieses Merkmal ist leichter und schneller messbar als die Photosyntheserate. Nach Al-Khatib und Paulsen (1990) hatten hitzetolerante Genotypen eine stabile Photosyntheserate und/oder eine lange Dauer der Photosyntheseaktivität. Außerdem hatten sie ein hohes Korngewicht und einen hohen Ernteindex. Die Reduktion der Photosyntheserate und der Biomasse war bei einer Hitzebehandlung in der vegetativen Phase höher als bei einer Hitzewirkung in der generativen Phase.

Die Biomasse nach der Blüte korrelierte mit dem Ertrag besser als die Biomasse während der Blüte (Reynolds et al., 1992). Dieses zeigt, wie wichtig die Assimilation nach der Blüte ist.

Kornfüllung

Untersuchungen während der Kornfüllungsphase haben ergeben, dass sehr hohe Temperaturen (33-40°C) mit einer Dauer von weniger als vier Tagen das Einzelkorngewicht um 14-20% reduzieren können (Randall und Moss, 1990; Hawker und Jenner, 1993). Wenige Tage mit sehr hohen Temperaturen, die ca. 5% der Kornfüllungsperiode ausmachen, können spürbare Wirkungen auf den Kornertrag und die Kornqualität des Weizens haben (Stone und Nicolas, 1994; 1995a). Nach diesen Untersuchungen besteht eine Variation in der Hitzetoleranz zwischen den Sorten. Innerhalb einer bestimmten Sorte zeigen verschiedene Ertrags- und Qualitätskomponenten einen unterschiedlichen Grad an Hitzetoleranz (Stone und Nicolas, 1994; 1995a).

Die Akklimatisierung der Pflanzen an sehr hohe Temperaturen kann durch eine Vorbehandlung

mit Hitze bei einer moderaten Temperatur erfolgen. Nach Stone und Nicolas (1995c) mindert eine vorgeschaltete milde Hitzebehandlung den Ertragsverlust bei nachfolgenden hohen Temperaturen. Die Fähigkeit zum Akklimatisieren variiert je nach Genotyp. Bei einer hitzesensitiven Sorte haben die Autoren einen Ertragsverlust von 26% durch plötzlich erhöhte Temperatur beobachtet, während bei einer langsamen Erreichung der gleichen Temperaturhöhe der Verlust bei 13% lag.

Von großer Bedeutung ist nicht nur die Art und Weise des Eintretens einer hohen Temperatur, sondern auch die Entwicklungsphase der Pflanzen. Stone und Nicolas (1995b) untersuchten die Wirkung hoher Temperatur (max. 40°C) auf Weizensorten, wobei die Hitzebehandlung zu verschiedenen Stadien der Kornfüllungsphase stattfand. Bei den ab 15 Tage nach der Blüte begonnenen Hitzebehandlungsversuchen konnten sie keinen signifikanten Einfluss der hohen Temperatur auf die Kornzahl beobachten. Laut Tashiro und Wardlaw (1990b) ist der Kornbesatz in den ersten drei Tagen nach der Blüte am meisten hitzesensitiv. Eine signifikante Reduktion der Kornzahl durch hohe Temperatur findet bis zu sieben Tage nach der Blüte statt (Tashiro und Wardlaw, 1990a). Für die Einzelkornmasse war die Hitzewirkung umso größer, je früher die Behandlung begonnen hatte und nahm ab, wenn die Behandlung später einsetzte (Randall und Moss, 1990; Tashiro und Wardlaw, 1990a; Stone und Nicolas, 1995b). In jeder Phase der Hitzebehandlung während der Kornfüllung bestand ein Unterschied zwischen den Sorten in der Reaktion auf Hitzestresswirkung (Stone und Nicolas, 1995b). Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass ein Sortenunterschied in der Hitzetoleranz in der ganzen Kornfüllungsphase ausgeprägt war. Bei einer Hitzewirkung in der Nachblütezeit ist das Einzelkorngewicht die sensitivste Ertragskomponente und ist daher in dieser Entwicklungsphase das zuverlässigste Merkmal bei einer Bestimmung der Hitzewirkung auf den Ertrag (Wardlaw et al., 1989a; 1989b; Stone und Nicolas, 1994; 1995a). Dagegen fanden Shpiler und Blum (1991), dass die Kornzahl/Ähre als Ertragskomponente die genotypische Variabilität der Sorten im Ertrag unter dem Hitzestress am stärksten bestimmt und daher die Hitzetoleranz von Weizengenotypen besser schätzen lässt.

Die Variation im Einzelkorngewicht kann durch eine Variation in der Kornfüllungsrate und/oder Kornfüllungsdauer zustande kommen (Rijven, 1986; Jenner, 1991a; 1991b; Stone und Nicolas, 1995b). Die Variation zwischen den Sorten in der Kornmasse wird hauptsächlich durch die Variation in der Dauer der Kornfüllung dominiert (Al-Khatib und Paulsen, 1990; Stone und Nicolas 1995b). Eine Verkürzung der Kornfüllungsphase erfolgte bei hitzesensitiven und hitzetoleranten Sorten (Stone und Nicolas 1995b). Dagegen wurde eine signifikante Reduktion der Kornfüllungsrate durch den Hitzestress nur bei hitzesensitiven Sorten festgestellt. Die Variation der Weizensor-

ten in der Kornfüllungsrate unter einer Hitzewirkung könnte mit der unterschiedlichen Empfindlichkeit von Stärkesynthetisierten Enzymen gegenüber hohen Temperaturen im Zusammenhang stehen (Caley et al., 1990; Jenner, 1991a; 1991b; Hawker und Jenner, 1993).

Die effiziente Nutzung des Endosperms als Kohlenstoffquelle zur Bildung von Keimlingsgewebe unter hohen Temperaturen könnte nach Blum und Sinmena (1994) eine Hitzetoleranz darstellen. Bei ihren Untersuchungen an Weizengenotypen stellten sie fest, dass die unter dem Hitzestress untersuchten Weizensorten eine Variation in der Umsetzung der Kohlenstoffreserve des Endosperms zeigten. Dabei wiesen Sorten mit einer niedrigen Effizienz der Endospermnutzung eine stärkere Reduktion in der Wachstumsrate auf. Der Unterschied in der Kornmasse spielte dabei eine untergeordnete Rolle. Die Hitzetoleranz der wachsenden Pflanze korreliert laut dieser Untersuchung mit der Hitzetoleranz auf der Basis der effizienten Endospermnutzung. Die Autoren vermuten, dass einige Gene die Hitzetoleranz unabhängig von der ontogenetischen Entwicklung der Pflanze regulieren können.

Die Phase der Ährenentwicklung ist unter starkem Hitzestress die sensitivste Phase. Wahrscheinlich wird unter Hitzestress die Initiation von Ährchen und Blütchen reduziert bzw. es kommt später zu einer stärkeren Abstoßung (Reynolds et al., 1992).

2.2 Trockenstress

2.2.1 Allgemein

Die Pflanze befindet sich im steilen Wasserpotenzialgefälle Boden - Pflanze - Atmosphäre. Wasserdefizite im Gewebe sind die Folge dieses steilen Potenzialgradienten (Larcher, 1994). Nur bei einer guten Wasserversorgung aus dem Boden und einer effizienten Regulation des Transpirationsstroms durch die Spaltöffnungen kann die Pflanze einen physiologisch tolerierbaren Zustand erhalten. Die meisten höheren Pflanzen (außer Samen und Pollen) sterben bei einem Wasserverlust von 40-90% ab (Levitt, 1972).

Ungünstige Bodenbedingungen tragen zum Stress bei, dem Pflanzen ausgesetzt sind. Die Eigenschaften der bodenbürtigen Stressfaktoren für Wachstum und Entwicklung der Kulturpflanzen sind vielseitig. Man weiß vergleichsweise wenig über vom Boden stammende Stressfaktoren (Szabolcs, 1994). Eine sich veränderte Wasserrelation im Boden beeinflusst alle mit der Nährstoffverfügbarkeit im Zusammenhang stehenden Prozesse, u.a. die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung.

Trockenstress verursacht eine Senkung des Cytokintransportes von den Wurzeln zu den oberirdischen Pflanzenteilen und/oder eine Erhöhung der Abscisinsäure in den Blättern, was Veränderungen in der Ausdehnung der Zellwand und damit im Wachstum mit sich bringt. Außerdem sinkt die Konzentration der photosynthetischen Enzyme durch eine veränderte Bilanz der Phytohormone in der Reaktion auf den Trockenstress (Alam, 1994).

Sinkende Wasserverfügbarkeit hat einen unmittelbaren Einfluss auf das Pflanzenwachstum, wobei je nach Ausmaß des Wassermangels eine Vielzahl von Vorgängen in Mitleidenschaft gezogen werden kann (Turner und Jones, 1980; Pugnaire et al., 1994). Wassermangel verursacht in erster Linie den Stomataschluss und dadurch eine sinkende CO₂-Assimilation und folglich ein reduziertes Pflanzenwachstum (Jenka, 1985; Alam, 1994; Pugnaire et al., 1994), das darüber hinaus durch gehemmte Zellteilung und -streckung sowie durch reduzierten Ionentransport zur Wurzeloberfläche zusätzlich beeinträchtigt werden kann (Pugnaire et al., 1994).

Der Wasseraustritt aus den Zellen infolge der Trockenheitswirkung ist zwar umkehrbar, kann aber beim Überschreiten eines bestimmten Punktes zum Turgorzusammenbruch führen, was einen Stillstand des Gewebewachstums bedeutet (Levitt, 1972).

Der stressbedingte durchschnittliche Ertragsverlust in Trockengebieten kann bei einigen Kulturpflanzen 50-80% ihrer genetisch möglichen Produktivität betragen (Boyer, 1982; Ort und Boyer, 1985). Fischer und Maurer (1978) registrierten bei Weizengenotypen eine durchschnittliche Kornertragreduktion von 37-86% gegenüber der Kontrolle. Weizenerträge liegen in Trockenstressgebieten weit hinter den Erträgen aus den Gebieten ohne diesen Stressfaktor (Turner und

Begg, 1981).

In vielen Gebieten der Welt wird die Wasserversorgung der Pflanzen nur durch eine zusätzliche Bewässerung gesichert. In den meisten Fällen bringt diese Maßnahme andere Nebenwirkungen wie Versalzung, Alkalisierung und Überflutung mit sich (Szabolcs, 1994). Die Selektion und Züchtung auf an Trockenstress angepasste Genotypen kann eine alternative Lösung der Probleme darstellen.

Eine Selektion setzt die Identifizierung der relevanten Selektionsmerkmale voraus (Bruckner und Froberg, 1987). Die potenziellen Selektionsmerkmale schließen phänologische, morphologische und physiologische Eigenschaften ein (Turner, 1986b). Die Erfassung soll messtechnisch schnell und einfach beherrschbar sein, um auch große Populationen bearbeiten zu können. Außerdem sollen die Kosten für die Messungen wirtschaftlich vertretbar sein (Blum, 1989). Diese Anforderungen gelten ganz allgemein für alle Selektionsmerkmale.

Die meisten für Trockentoleranz potenziell geeigneten Selektionsmerkmale werden von den Züchtern nicht genutzt. Bei vielen Screeningverfahren wird ein einziges Merkmal untersucht, obwohl ein einzelnes Merkmal allein die Ursache der Variation im Ertrag unter Trockenstressbedingungen nicht sein kann (Austin, 1989). Die Merkmalausprägung kann sich mit der Stressintensität und -dauer, dem Alter der Pflanze und mit anderen Umweltmerkmalen ändern und ist damit schlecht reproduzierbar. Schließlich soll das potenzielle Merkmal eine Selektion in einem umfangreichen Züchtungsmaterial erlauben, um in Züchtungsprogrammen eine praktische Anwendung zu finden. Im Folgenden werden für die Charakterisierung der Trockenstressresistenz häufig empfohlene Merkmale aufgeführt.

2.2.2 Physiologische Merkmale

Blattwasserstatus

Der Blattwasserstatus wurde meistens als relativer Wassergehalt (RWC) und/oder als Gesamtwasserpotenzial gemessen (Turner, 1986b; Matin et al., 1989; Tahara et al., 1990). Bei Untersuchungen von Tahara et al. (1990) wurde eine positive Beziehung zwischen dem relativen Wassergehalt des Blattes und dem Kornertrag der Winterweizenpflanzen verschiedener Genotypen unter der Trockenheit gefunden, wobei Genotypen mit hohem Ertragspotenzial einen hohen RWC zeigten. Eine signifikante genetische Variation im RWC wurde bei Weizen (Clarke und McCraig, 1982; Schonfeld et al., 1988; Ritchie et al., 1990) und Gerste (Matin et al., 1989) festgestellt. Außerdem registrierten Schonfeld et al. (1988) eine hohe Heritabilität des Merkmals. Eine Messung des RWC vor dem Ährenschieben konnte nach Tahara et al. (1990) die Genotypen sowohl unter normaler als auch unter gestresster Bedingung nicht differenzieren, obwohl Matin et al. (1989)

von einer Selektionsmöglichkeit im Jugendstadium berichtet hatten. Tahara et al. (1990) fanden auch eine Messung in der späten Entwicklung wenig informativ, insbesondere wenn durch den Stress eine schnelle Blattseneszenz erfolgte. Außerdem kann ein Altersunterschied in den zu bestimmenden Geweben die Vergleiche vor allem in Populationen abweichender phänologischer Entwicklung erschweren (Tahara et al., 1990).

Eine genetische Variation in Gesamtwasserpotenzial wurde in Populationen von Sommerweizen (Quarrie und Jones, 1979; Moustafa et al., 1996) und anderen Kulturpflanzen (Matin et al., 1989) gefunden. Danach bedeutet hohes Gesamtwasserpotenzial eines Genotyps eine zunehmende Trockentoleranz des Genotyps. Matin et al. (1989) empfehlen das Gesamtwasserpotenzial als Selektionskriterium für die Züchtung bei der Gerste.

Osmotische Anpassung

Das Gesamtwasserpotenzial einer Pflanze besteht hauptsächlich aus dem osmotischen Potenzial und dem Druckpotenzial (Begg and Turner, 1976; Libbert, 1987; Larcher, 1994). Primär äußert sich das Wasserdefizit im Apoplasten, wo eine Senkung des Gesamtwasserpotenzials ein Ungleichgewicht zwischen äußerem (Apoplasten) und innerem (Zytoplasma und Vakuole) Gesamtwasserpotenzial induziert (Larcher, 1994). Kommt es durch einen Wasserausfluss aus der Zelle zum Ausgleich des externen und internen Wasserpotenzials, so fällt der Turgor ab (Senkung der Druckkomponente) und die Pflanze welkt. Bei langandauerndem Verlust des Turgors ist ihr Überleben gefährdet. Andererseits kann der Potenzialausgleich über die osmotische Komponente des Gesamtwasserpotenzials bei voller Turgoraufrechterhaltung stattfinden. Dieser Vorgang beruht auf Anreicherung zusätzlicher Osmotika (Ionen oder kompatible Synthese- bzw. Abbau-produkte) im gegebenen Zellvolumen und heißt osmotische Anpassung. Natürlich wird bei der Produktion, dem Transport und der Erhaltung der Osmotika Energie verbraucht. Trotz dieses Energieaufwandes werden die osmotische Anpassung und die damit verknüpfte Turgoraufrechterhaltung unter die wichtigsten physiologischen Anpassungsmechanismen bei Trockenheitsstress eingereiht.

Die Anreicherung der Osmotika kann eine aktive Anpassung der Pflanze an Trockenheitsstress darstellen oder sie kann als Resultat des reduzierten Wachstums unter Trockenheitsstress und daraus resultierendem Konzentrationseffekt betrachtet werden. Während nach Amede (1998) beide Phänomene parallel vorliegen, resultiert nach Sharp und Davies (1989) die Akkumulation der Osmotika in den Blättern und im Stängel einer Maispflanze bei niedrigem Wasserpotenzial der wachsenden Regionen aus der Wachstumsreduktion. Nach Jenka (1985) erklärt sich die osmotische Anpassung in adulten Blättern der Weizenpflanzen vorwiegend aus der irreversiblen

Reduktion des Zellvolumens durch verminderte Zellstreckung. Sobrado und Turner (1983) führen die Anreicherung der Osmotika in den vor dem Einsatz der Stressperiode bereits vorhandenen Blättern auf eine aktive osmotische Anpassung zurück. Daraus ist abzuleiten, dass die osmotische Anpassung durch Osmotikaanreicherung vorwiegend im Spiel ist, wenn eine Reduktion der Zellgröße in adulten Blättern nicht mehr möglich ist. Es ist anzunehmen, dass Pflanzen im generativen Stadium zur Aufrechterhaltung des Turgors Osmotika anreichern, dass jedoch Pflanzen im vegetativen Stadium überwiegend die Zellgröße in den unter Stress gebildeten und physiologisch aktivsten Blättern reduzieren. Da diese Reduktion auf Kosten des Wachstums geht, liegt die Bedeutung derartiger osmotischer Anpassung in der Befähigung der Pflanze zum Überleben (Janka, 1985).

Die osmotische Anpassung in beiden (wachsenden und adulten) Pflanzenteilen dient der Erhaltung der Zellfunktionen bei vorhandenem Wassergehalt der Zelle für eine bestimmte Zeitperiode und verzögert dadurch den Tod der Zelle (Flower und Ludlow, 1986). Die osmotische Anpassung in adulten Blättern kann die Photosynthese durch die Anpassung des Blattwassergehaltes an ein reduziertes Wasserpotenzial positiv beeinflussen. Dieser Vorteil wurde für die Selektion der Weizensorten nach ihrer Kapazität der osmotischen Anpassung in adulten Blättern genutzt (Morgan, 1983; Morgan und Condon, 1986; Morgan, 1995). In diesen Versuchen nahm die relative Wirkung der Osmoregulation auf den Korn- und Trockenmasseertrag mit dem Bodenwasserdefizit zu. Morgan (1983) zeigte, dass Genotypen mit hoher Osmoregulation einen höheren Ertrag unter trockenen Feldbedingungen erbringen können als die Genotypen mit niedriger Osmoregulation und meinte, dass auch die Genetik der Osmoregulation relativ einfach sein kann. Auch in anderen Arbeiten mit Weizen (Blum et al., 1983b) wurde festgestellt, dass die an Hand ihrer Ertragsstabilität unter Trockenstress als trockenresistent eingestuft Weizensorten eine größere Kapazität der osmotischen Anpassung aufwiesen als die Sorten mit niedriger Resistenz. Osmoregulation und Turgorerhaltung ermöglichen nicht nur das Weiterwachsen der Wurzel und die damit anhaltende Wasserextraktion aus dem Boden, sondern auch die Erhaltung einer positiven Kohlenstoffbilanz während des Stresses, die unmittelbar nach der Stressaufhebung für das Wachstum zur Verfügung steht (Blum, 1989). Die Rolle der osmotischen Anpassung schließt auch den Schutz der Membranen vor funktionellen bzw. strukturellen Schädigungen ein (Blum et al., 1988). Es sind Fälle bekannt, bei denen die Osmoregulation mit einer Wachstumsreduktion verbunden ist. In Keimlingen von Sorghum (Blum und Sullivan, 1986) wurde festgestellt, dass unter dem Wasserstress mehr Trockenresistenz und Osmoregulation in Sorten mit potenziell kleinwüchsigen Pflanzen vorkommt.

Osmotische Anpassung bei Weizen stabilisiert den Ernteindex unter mildem Wassermangel und

erhöht ihn unter starkem Wassermangel (McGowan et al., 1984; Morgan und Condon, 1986) im Vergleich zur nichtgestressten Variante.

Ohne Turgoraufrechterhaltung findet kein Wachstum unter Trockenheitsstress statt, da der Turgor als treibende Kraft für die Zellstreckung unentbehrlich ist. Die Ergebnisse von Jenka (1985) zeigen jedoch, dass die Turgorregulation und die Regulation des Blattlängenwachstums unter Trockenstress unabhängig verlaufen. Daher meint der Autor, dass andere Faktoren als der Turgor für die Wachstumsreduktion unter Trockenstress verantwortlich sind. Der gleichen Meinung waren Sharp und Davies (1989). Sie fanden in ihren Untersuchungen in Wurzelteilen von Maispflanzen, in denen die Elongation verhindert war, mehr Turgor als in normal wachsenden Wurzelteilen.

Für die Züchtung und Selektion neuer trockenheitsresistenter Sorten wäre eine genotypische Variabilität der osmotischen Anpassung von großer Bedeutung. Diese Variabilität ist jedoch umstritten. Jenka (1985) fand keinen Unterschied im Ausmaß der osmotischen Anpassung bei zwei Weizensorten, die unter Feldbedingungen in ihrer Empfindlichkeit gegen Trockenstress verschieden waren. Jones und Turner (1978) berichteten das gleiche in ihrer Untersuchung zweier Sorten von Sorghum. Keine Unterschiede in der osmotischen Anpassung waren auch zwischen vier Sorten von Sonnenblumen in der Arbeit von Takami et al. (1981) festzustellen. Dagegen zeigten die Arbeiten von Morgan (1980, 1983, 1995) mit aller Deutlichkeit, dass weitere Selektion und Züchtung von Genotypen und Sorten, die sich osmotisch an den Trockenheitsstress anpassen können, sehr vielversprechend sind. Er fand zwischen Weizensorten deutliche Unterschiede in osmotischer Anpassung im generativen Stadium. Darüber hinaus erreichten in seiner Untersuchung Weizenlinien, die in Gewächshausversuchen aufgrund osmotischer Anpassung selektiert wurden, höhere Erträge im Feld unter einem Trockenheitsstress als Linien, die zur osmotischen Anpassung nicht befähigt waren.

Johnson et al. (1984) beobachteten bei ihren Untersuchungen eine signifikant abweichende osmotische Anpassung zwischen den zwei untersuchten Weizengenotypen. Sie fanden eine hohe Aminosäurenkonzentration einschließlich Prolin bei der gestressten trockenresistenten Sorte. Sie meinten aber, dass die gefundene Konzentration der Aminosäuren viel zu niedrig wäre, um die Unterschiede in osmotischer Anpassung zwischen den gestressten Sorten erklären zu können. Bei bestimmten Zuckergehalten wurde kein Unterschied zwischen den gestressten Genotypen festgestellt. Obwohl mit dem Trockenstress keine Veränderung in der K^+ -Konzentration beobachtet wurde, hatte der resistente Genotyp einen höheren K^+ -Gehalt als der anfällige. Die Autoren vermuteten, dass die Unterschiede im osmotischen Potenzial der gestressten Sorten durch die Unterschiede in der K^+ -Konzentration erklärbar sein könnten. Ihre Genotypen unterschieden sich

auch im RWC, im Wassernutzungskoeffizient (WUE, water use efficiency) und in der Gewebeelastizität.

Die direkte Messung der Osmoregulation als ein Selektionsmerkmal ist jedoch in großen Züchtungspopulationen nach Blum (1989) unpraktisch. Auch Amede (1998) berichtete von Nachteilen in den Erfassungsmethoden der osmotischen Anpassung.

Wasserverlust des Gewebes

Trockentoleranz von Weizengenotypen wurde oft an Hand des Wasserverlustes bei abgeschnittenen Geweben (Jaradat und Konzak, 1983) geschätzt. Jaradat und Konzak (1983) fanden bei ihrer Untersuchung der F₈-Population von zwei Sommerweizen unter verschiedenen Wasserregimen mehr Wasserverlust in abgeschnittenen Blättern von nicht resistenten als von resistenten Varianten. Sie fanden zwischen der Fähigkeit der Wasserbeibehaltung und dem Kornertrag eine positive Korrelation. Das Alter und die Position des Blattes beeinflussen den Wasserverlust (Kirkham et al., 1980). Die von Jaradat und Konzak (1983) untersuchten Genotypen unterschieden sich auch in der Größe der Oberfläche des Fahnenblattes. McNeal und Berg (1977) fanden die Blattoberfläche des Fahnenblattes als schlecht vererbbares und die Leistung der Pflanze unzureichend anzeigendes Merkmal.

Abcisinsäure (ABA)

Die Wachstumsregulation der gestressten Pflanzen erfolgt über chemische Signale aus den Wurzeln von Pflanzen in den trocknenden Böden, unter denen ABA eine entscheidende Rolle spielt (Sharp und Davies, 1989; Davies und Zhang, 1991). Allerdings sind solche Signale nicht allein auf den Wassermangel zurückzuführen. Auch mechanische Hindernisse im Boden wie Eindringwiderstand können in Wurzeln chemische Signale induzieren, die ihrerseits eine Reduktion des Sprosswachstum verursachen (Sharp und Davies, 1989). Nährstoffe können die Sensitivität der Stomata gegenüber ABA verändern (Radin et al. 1982). Wenn die Bodentrockenheit die Wurzelaktivität reduziert hat, wird die N- und P-Aufnahme reduziert und die Synthese der Cytoknine in den Wurzelspitzen eingeschränkt.

Alle diese Veränderungen können die Stomatasensitivität zu der in jeder Menge im Blatt vorhandenen ABA erhöhen. Sogar Blätter der gut bewässerten Pflanzen können erhebliche Mengen an ABA enthalten (Radin et al. 1982, Davies und Zhang, 1991). Vergleichsweise wenige mit Wasser nicht ausreichend versorgte Wurzeln einer Pflanze können chemische Signale auslösen und dadurch die Sprossphysiologie beeinflussen, obwohl sich der größte Wurzelteil der Pflanze im Boden mit einem hohen Wassergehalt befindet (Zhang et al., 1987). Bei niedrigem

Wasserpotenzial kann es auch bei einer Beibehaltung des Turgors zur Hemmung des Blatt- und Stängelwachstums kommen (Matsuda und und Riazzi, 1981; Michelena und Boyer, 1982; Thomas et al., 1989; Pritchard et al., 1990). Nach Zhang und Davies (1989) verursacht Bodentrockenheit die Zunahme des Wurzeltrockengewichtes. Eine milde Bodentrockenheit stimulierte in flachgründigen Böden die Akkumulation von ABA in den Wurzeln (Sharp und Davies 1989). Dagegen konnten in der Wurzel in sehr trockenen Böden niedrigere Mengen an ABA festgestellt werden, da viele Wurzeln in solchen Böden abstarben. Daraus leiteten die Autoren her, dass der Wurzel-ABA-Gehalt bei moderatem Trockenstress als ein sensitiver Indikator des Bodenwasserstatus im Wurzelbereich genutzt werden kann.

Kohlenstoffisotop ^{13}C

Pflanzen nehmen die C-Isotope ^{12}C und ^{13}C selektiv auf (Blum, 1983; Clarke und Townley-Smith, 1986; Blum, 1989).. ^{12}C kann besser in das Blatt diffundieren und wird bevorzugt für die Kohlenhydratbildung genutzt. Das nicht genutzte ^{13}C wird über die Spaltöffnungen mit dem Wasser abgegeben (diskriminiert). Dadurch ist im Blattgewebe verglichen mit der Außenluft der ^{13}C -Anteil geringer, die Differenz wird mit Δ (Delta) bezeichnet.

Es wurde in vielen Fällen berichtet, dass Δ ein nutzbarer Indikator des Transpirationskoeffizienten ist (Condon et al., 1987; Farquhar et al., 1989; Richards, 1996), da ^{13}C mit dem Wasser transpiriert wird. Es wurde festgestellt, dass die Variation in Δ mit dem Transpirationskoeffizienten in Zusammenhang steht. Sie kann sowohl genetisch als auch umweltbedingt sein (Farquhar et al., 1989; Condon et al. 1993). Genotypen mit einem niedrigen Wert für Δ verfügen über hohe Biomasse und dadurch über ein großes Ertragspotenzial. Unter den Bedingungen, unter denen Pflanzen hauptsächlich von im Boden gespeichertem Wasser abhängig sind und die Evaporation der Bodenoberfläche niedrig ist, kann eine Selektion auf niedrige Δ -Werte erfolgversprechend sein (Richards und Condon, 1993). Allerdings kann die Beziehung zwischen Δ und dem Ertrag unter bestimmten Bedingungen positiv ausfallen. Bei den Versuchen mit Weizen (Condon et al., 1987; Sayre et al., 1995) und Gerste (Acevedo, 1993) wurden positive Beziehungen zwischen dem Kornertrag und Δ gefunden.

Charakteristisch für Δ ist nicht nur die große genetische Variation, sondern auch die hohe Reproduzierbarkeit und niedrige Genotyp/Umwelt-Interaktion (Condon et al., 1987; Richards, 1996). Dazu kommen die hohe Heritabilität und nichtdestruktive Messverfahren (Richards, 1996). Gemessen wird Δ in frühen Entwicklungsstadien. Ein weiterer Vorteil liegt daran, dass die Pflanzen nicht gestresst werden müssen. Daher könnte Δ in der Pflanzenzüchtung sehr interessant sein, den Transpirationskoeffizienten zu verbessern. Nach Jones (1993) ist Δ dagegen nicht immer

zuverlässig, insbesondere unter wasserlimitierten Bedingungen nicht, und daher für die Züchter von eingeschränkter Bedeutung.

Erholungsphase nach Einwirkung der Trockenheit

Die Fähigkeit zur Erholung bei einer Wiederbewässerung hängt vom Pflanzenalter ab (Blum, 1989). Mit zunehmendem Alter steigt die Sensitivität gegenüber Trockenheit (Blum, 1989), da die Entwicklungsplastizität im höheren Alter abnimmt. Es gibt Unterschiede zwischen spät- und frühreifenden Genotypen. Spätreifende Genotypen erholen sich besser als frühreifende Typen (Blum, 1989). Frühreifende Genotypen haben bei einer eingeschränkten Wasserversorgung und einem Trockenstress in späteren Entwicklungsphasen einen Vorteil, da sie mit einem geringeren Wasserbedarf auskommen (Blum und Arkin, 1984). Dagegen haben spätreifende Typen Vorteile bei starkem Trockenstress in der Mitte der Vegetationsperiode, bei dem zu einem späteren Zeitpunkt eine Normalisierung der Wasserversorgung erfolgt. Ähnliche Ergebnisse erzielten Magrin et al. (1991) bei ihrer Untersuchung von Weizengentypen nach Einwirkung von Trockenstress in frühen Entwicklungsphasen (Bestockung bis Mitte des Schossens). Dabei brachte ein Genotyp mit erhöhter Wasseraufnahme aus tieferen Bodenschichten und verzögerter Halmstreckung einen höheren Kornertrag als Vergleichsgentypen, die nicht beide Merkmale gleichzeitig besaßen. Ein Genotyp mit hoher Wasseraufnahmekapazität aus tieferen Bodenschichten sichert wahrscheinlich die Wasserversorgung der Gewebe und mindert die Reduktion der aktuellen Leistung der Pflanzen in der Zeit der Wasserknappheit. Durch eine Verzögerung der sensitiven Entwicklungsphasen (z. B. Schossen, Blüte) bis in die Zeit der Normalisierung der Wasserversorgung kann dieser Genotyp die Einwirkung des Trockenstresses auf weitere Entwicklungsabschnitte vermeiden oder zumindest eine bessere Voraussetzung für die Entwicklungsplastizität (Restitution) schaffen (Magrin et al., 1991). Die Erholung nach einer Wiederbewässerung kann durch Pflanzenhormone wie ABA beeinflusst werden (Blum, 1989, 1996). Dabei haben Genotypen mit einem hohen ABA-Gehalt eine bessere Erholungsmöglichkeit als solche mit einem niedrigen, da der hohe ABA-Gehalt eine frühe Stomataschließung bei einem hohen Blattwasserpotenzial bewirkt und dadurch wassersparend wirkt. Dieser Effekt der ABA kann hinsichtlich der CO₂-Gewinnung während des Trockenstresses kontraproduktiv sein. Genotypische Unterschiede in der Erholung nach einem Trockenheitsstress können durch eine visuelle Bonitur gut erfasst werden (Blum, 1989).

Ernteindex (EI)

Der Ernteindex (EI), als Relation des Kornertrages zum überirdischen Gesamtbiomassertrag, wird durch die Größe des reproduktiven Sinks sowie durch die Rate und die Dauer des Assimilat-

transportes in diese Sinks beeinflusst (Blum, 1989). Die Stabilität des Ernteindex unter verschiedenen Umweltbedingungen wurde häufig als Selektionskriterium zur Steigerung des Kornertrages vorgeschlagen (Rosielle und Frey, 1975; Nass, 1980; Sharma et al., 1987). Mit zunehmender Stressintensität steigt der Ernteindex (Bansal und Sinha, 1991b), was auf eine Verschiebung der Assimilate zugunsten der Körner unter Trockenstress hinweist. Dieses wird meistens durch eine Mobilisierung der vor der Blüte akkumulierten Kohlenhydrate begünstigt (Bansal und Sinha, 1991b). Dagegen fanden Fischer und Maurer (1978) einen mit zunehmendem Trockenstress sinkenden Ernteindex. Sie argumentierten, dass eine milde Trockenheit die Trockenmasse weniger sinken lässt als den Kornertrag. Die milde Trockenheit ließ auch das Korngewicht mehr sinken als die Kornzahl. Mit starker Trockenheit dagegen war die Kornzahlreduktion stärker.

Die Blattphotosynthese der Getreidepflanzen nimmt bei Trockenheit und Hitzestress meistens ab. Die Kornentwicklung vieler Getreidearten hängt zunehmend von den Reserveassimilaten in vegetativen Teilen (Rawson und Evans, 1971; Davidson und Birch, 1978; Austin et al., 1980) und von der Photosynthese der relativ stresstoleranten Ähren (Blum, 1985; 1986; Gate et al., 1992) ab. Sortenunterschiede in der Mobilisierung von Reserveassimilaten und in der Ährenphotosynthese wurden unter Stressbedingungen (Trocken- und Hitzestress) für Getreidearten festgestellt (Rawson und Evans, 1971; Rawson et al., 1977; Hunt, 1979; Blum et al., 1983a, c; Fokar et al., 1998). Bei Einschränkung der Photosynthese bei Blättern und Ähren durch Wassermangel während der Kornfüllung spielt die Translokation der Stängelreserven für die Kornfüllung eine große Rolle (Palta et al., 1994; Blum, 1998). Große Reserven und eine hohe Kapazität ihrer Mobilisierung lassen den Ernteindex unter Trockenstress steigen (Blum, 1989). Eine direkte Selektion auf die Mobilisierung von Reservestoffen für die Kornfüllung ist in der Praxis nicht möglich (Blum, 1989). Eine indirekte Methode zur Simulierung von Trockenheit nach dem Ährenschieben wurde von Blum et al. (1983a,c) und Nicolas und Turner (1993) verwendet. Pflanzen wurden bei normaler Bewässerung mit bestimmten Chemikalien wie Kaliumjodid, Magnesium- und Natriumchlorid behandelt, um die aktuelle Photosynthese der gewünschten Organe (z. B. Blätter) zu unterbinden. Danach wird die Kornentwicklung und -füllung nur von der Photosynthese der unbehandelten Organe (z. B. Ähren) und von den Reservekohlenhydraten bestimmt. Mit Hilfe dieser Methode wurde bei Sonnenblumen festgestellt, dass Assimilate aus den Stängeln die Kornfüllung stark beeinflussten (Sadras et al., 1993). Bei Untersuchungen von Sommerweizenlinien mit einer ähnlichen Methode (Blum et al., 1983a,c; Nicolas und Turner, 1993) wurde festgestellt, dass die mehr Reservekohlenhydrate mobilisierenden Genotypen ein stabileres Korngewicht unter Austrocknung hatten. Die geringe Reduktion im Korngewicht entsprach einer hohen Assimilatreserve (Nicolas und Turner, 1993). Außerdem wurde festgestellt,

dass die Reduktion des Korngewichtes bei der Anwendung der chemischen Austrocknungsmethode mit der Reduktion unter Trockenheit durch Wassermangel nach dem Ährenschieben korreliert ist (Blum et al., 1983a; Nicolas und Turner, 1993). Nach Nicolas und Turner (1993) simuliert die Kaliumjodid-Behandlung den Trockenstress während der Kornfüllung am besten, wenn kein Wassermangel vor dem Ährenschieben vorhanden ist. Nach Meinung der Autoren ist der hohe Beitrag der Reservestoffe und der Ährenphotosynthese zur Kornfüllung ein wichtiges Merkmal der Trockentoleranz.

Bidinger et al. (1977) beobachteten bei trockengestresstem Weizen, dass bis zu 20% der vor der Blüte gebildeten Assimilate zum Korn mobilisiert werden können. Gebbing (1996) fand bei Sommerweizen bis 24% Beteiligung der Vorblütereserven an der Kornfüllung. Laut dieser Untersuchung variierten aber die akkumulierten Assimilate zwischen den untersuchten Genotypen, Jahren und Stickstoffstufen. Palta et al. (1994) fanden, dass 64% und 81% des gesamten Kohlenstoffs bzw. Stickstoffs des Kornes von der Vorblütereserve beigetragen wurden, wobei die Mobilisierung aus den Halmen der 2. und 3. Ordnung beteiligt war. Auch bei Weizen wurde eine genetische Variation dieses Merkmals beobachtet (Blum et al., 1983a; Gebbing, 1996).

2.2.3 Morphologische Merkmale

Obwohl die Pflanze auf Trockenheitsstress primär zweifellos physiologisch reagiert, führen physiologische Veränderungen über längere Zeiträume zu morphologischen Anpassungen, die für die Pflanzen von sehr großer Bedeutung sind (Schlee, 1992). Unter den Anpassungsmechanismen, die sich auf Wasserkonservierung ausrichten, sind die Reduktion der Blattfläche durch Wachstumsreduktion oder die Seneszenz und die Verlagerung von Trockenmasse in nicht transpirierenden Pflanzenteile zu nennen. Eine vermehrte Trockenmassebildung in den Wurzeln erschließt der Pflanze zusätzliche Wasserreserven.

Obwohl morphologische Anpassungen vermutlich vor allem bei langandauernden Trockenheitsstressperioden wirkungsvoller sind als kurzfristige physiologische Reaktionen, haben sie den Nachteil, dass sie mit beträchtlichen Verlusten durch reduzierte Trockenmasseproduktion verbunden und irreversibel sind (Jenka, 1985).

Wachs und Grannen

Eine Wachsschicht auf Pflanzenorganen kann neben der Steigerung der Lichtreflexion an der Organoberfläche die epidermale Leitung senken (Jordan et al., 1983a). Sie kann den kutikulären und stomatären Wasserverlust mindern und die Wasserkontrolle verbessern (Blum, 1988). Da die Transpiration stärker vermindert wird als die Photosynthese, erhöhten die Genotypen mit Wachs-

bedeckung den Transpirationskoeffizienten in den Weizenähren (Richards et al., 1986). Wahrscheinlich wird durch niedrige epidermale Leitung die nächtliche Transpiration reduziert und dadurch der Wassernutzungskoeffizient gesteigert (Richards et al., 1986). Der Effekt der Wachseinlagerung bei Weizen wurde mit einer reduzierten Blatttemperatur und damit einer Verzögerung der hitzeinduzierten Blattseneszenz in Beziehung gebracht (Johnson et al., 1983). Richards et al. (1986) notierten bei Weizen, dass Blätter mit Wachsüberzug $0,7^{\circ}\text{C}$ kühler waren als Blätter ohne Wachsschicht (Lichtrückstrahlung). Obwohl es bei Weizen einen genetischen Unterschied in der Wachsbdeckung gibt (Jordan et al., 1983a), wird eine Ertragsverbesserung durch eine Erhöhung des Wachsüberzuges als gering eingeschätzt, da die meisten Weizensorten das Merkmal bereits besitzen und der Ertragsvorteil der Typen mit Wachs gegenüber solchen ohne Wachs gering ist (Ludlow und Muchow, 1990). Außerdem können die Umweltfaktoren wie Wassermangel, hohe Temperatur und starke Sonnenstrahlung die Wachseinlagerung beeinflussen (Jordan et al., 1983b). Grannen dienen nicht nur als Taufang, sondern besitzen auch ein weitgehend hohen Anteil an der Assimilation und Transpiration im Vergleich zum Fahnenblatt (Blum, 1986). Lange Grannen wirken deshalb unter Trockenheit bei Getreide adaptierend und erhöhen den Transpirationskoeffizienten nach dem Ährenschieben, weil die Grannen assimilieren und der Wasserverlust durch die Lentizellen der Grannen gering ist. Getreidegenotypen variieren in der Begrannung. Das Merkmal ist einfach vererbbar, und die Selektion kann visuell erfolgen (Ludlow und Muchow, 1990).

Blattverbrennung und -rollen

Unterbrochene Transpiration kann über eine daraus resultierende erhöhte Blatttemperatur Verbrennungen der Blätter verursachen. Für die meisten Kulturpflanzen führt eine Blatttemperatur im Bereich von 45 bis 55°C zum Absterben der Blätter (Blum, 1989). Die Blattverbrennung könnte als ein visuell erfassbares Merkmal der Dürrewirkung für die Selektion genutzt werden. Da die Blattseneszenz ein Phänomen der natürlichen Alterung ist, könnte aber ihre Nutzung in späteren Stadien leicht zur Verwechslungen führen. Beispiele für ihre Nutzung sind die Selektion auf Trockenheitsresistenz bei Mais (Castleberry, 1983; Fischer et al., 1983) und Sorghum (Rosenow et al., 1983).

Ein weiteres Symptom für Stress unter Trockenheitsbedingung ist das Blattrollen. Es ist überwiegend bei Getreide zu beobachten (Hsiao et al., 1984). Obwohl zwischen den Genotypen ein Unterschied in der Bereitschaft zum Blattrollen gefunden wurde, haben auch genotypische Unterschiede in der Blattmorphologie einen Einfluss auf den Grad des Blattrollens (Jones, 1979). Die Osmoregulation (Hsiao et al., 1984) und die Erhaltung des hohen Wasserpotenzials (Jones, 1979) können ein reduziertes Blattrollen der Genotypen ermöglichen. Eine Selektion auf Dürre-resistenz

mit Hilfe visueller Beobachtungen des Blattrollens wurde bei Reis (IRRI, 1982), Sorghum (Rosenow et al., 1983) und Mais (Sobrado, 1987) durchgeführt.

2.2.4 Phänologische Merkmale

Gleichmäßiger Aufgang und schnelle Jugendentwicklung

Sorten mit einem gleichmäßigen Aufgang und schneller Jugendentwicklung bedecken die Bodenoberfläche, vermeiden damit große Evaporation und erhöhen den Transpirationskoeffizienten (Ludlow und Muchow, 1990). Bei Wintergetreide ist Gerste meistens üppiger und bringt bei Trockenstress 25% mehr Ertrag als Weizen (Lopez-Castaneda und Richards, 1994a,b; Lopez-Castaneda et al., 1995). Unterschiede wurden auch zwischen Weizengenotypen gefunden (Richards, 1996). Schneller Aufgang, große Blattoberfläche und starke Bestockung bzw. hohe Trockenmasse der Pflanzen kennzeichnen eine frühe Entwicklung. Über eine gesteigerte Transpiration und einen erhöhten Transpirationskoeffizienten trägt eine schnelle Jugendentwicklung zu einem hohen Biomasse- und Kornertrag bei. Über eine starke Wurzelentwicklung erreichten Winterweizenlinien mit üppigem Jugendwachstum und hohem Biomasseertrag einen gesteigerten Kornertrag beim Anbau auf leichtem Sandboden ohne Reduktion des Ernteindex (Turner und Nicholas, 1988 zitiert in Ludlow und Muchow, 1990). Blum et al. (1992) berichteten hingegen von einem im Vergleich zu frühen Genotypen niedrigeren Ernteindex bei späten Genotypen von Sorghum. Vorsicht ist in den Gebieten geboten, in denen das Wasserangebot der Pflanze nur aus dem in der vergangenen Vegetationsperiode gespeichertem Bodenwasser kommt, wenn dieses durch schnelle Jugendentwicklung viel zu früh erschöpft ist und dadurch für die späteren kritischen Entwicklungsstadien ein starkes Wasserdefizit folgt, das am Ende zur Ertragsreduktion führen kann (Ludlow und Muchow, 1990). In solchen Gebieten bringt eine schnelle Jugendentwicklung Vorteile, wenn sie mit einer Frühreife kombiniert ist (Richards, 1996).

Bedeutend ist für die Ertragsbildung und -stabilität auch die Wachstumsdauer der Genotypen in Gebieten mit Wasserdefizit. Die Transpirationsperiode muss mit der Zeit der Wasserverfügbarkeit übereinstimmen. Die frühblühenden und frühreifenden Weizengenotypen können der Trockenheit zum Teil entkommen (drought escape). Die Bedeutung der Stressflucht ist von der Intensität des Trockenstresses abhängig. Sie ist unter einem milden Trockenstress größer und nimmt mit zunehmender Trockenintensität ab (Fischer und Maurer, 1978), da ein intensiver Trockenstress im Gegensatz zu einem milden Stress zahlreiche Wachstums- und Entwicklungsprozesse vor der Blüte (z. B. den Blühbeginn bei Weizen) verzögert (Angus und Moncur, 1977). Gharti-Chhetri und Lales (1990) klassifizierten ihre frühreifenden Genotypen als trockenresistent und die mittel- und spätreifenden als anfällig. Ihrer Meinung nach haben die frühreifenden eine längere Kornfüllungs-

dauer als andere Gruppen und dementsprechend einen hohen Kornertrag und Ernteindex bei dem Anbau unter einem Wasserdefizit. In Gebieten oder Jahren mit Wassermangel in späteren Vegetationsphasen bringen frühreifende Genotypen eine bessere Ertragsleistung und -stabilität als die spätreifenden Genotypen (Ludlow und Muchow, 1990). Allerdings kann der Anbau von Genotypen mit kürzerer Vegetationsdauer zum Verzicht auf Ertrag führen, wenn Wasser nicht ausgenutzt im Boden zurückbleibt (Jordan et al., 1983a). Dagegen sind spätreifende Typen vorteilhafter wenn ein Wasserdefizit in frühen Entwicklungsstadien (z. B. kurz nach der Aussaat) auftritt, später aber (z. B. kurz vor dem Ährenschieben) aufgehoben werden kann (Fischer und Maurer, 1978).

Je fortgeschrittener die Entwicklungsphase einer Pflanze ist, desto sensitiver ist sie gegenüber Trockenheit, da die Wachstumsplastizität abnimmt (Levitt, 1972; Blum et al., 1990). Arten mit flexibler Entwicklungsplastizität sind bei Leguminosen bekannt (Lawn, 1982; Sinclair und Ludlow, 1986). Sie richten sich nach dem Ausmaß des Wasserdefizits und reifen entsprechend früh oder spät. Dabei besteht die Gefahr der Nichtnutzung des verfügbaren Wassers nicht mehr. Genotypen mit hoher Entwicklungsplastizität sind bei zwischenzeitlich auftretender unvorhersehbarer Trockenheit von Vorteil, erschweren aber durch ihre ungleichmäßige Reife die maschinelle Ernte in der modernen Landwirtschaft (Ludlow und Muchow, 1990).

Blattwachstum

Die Reduktion der Blattoberfläche der Pflanze unter Trockenstress kann über ein gehemmtes Blattwachstum und/oder beschleunigte Blattseneszenz zustande kommen. Die Untersuchungen von Jenka (1985) zeigen, dass das Blattlängenwachstum extrem trockenstressempfindlich ist, und dass auf die Gesamtpflanze bezogen die relative Wachstumsrate der Blattfläche unter Trockenstress stärker reduziert ist als die relative Wachstumsrate der Gesamttrockenmasse. Dadurch entsteht ein für die Ertragsbildung weniger günstiges Blattflächenverhältnis. Angesichts des knappen verfügbaren Wassers ist dies jedoch eine wirksame Maßnahme gegen Wasserverlust durch Transpiration (Ludlow und Muchow, 1990). Es ist deshalb zweifelhaft, ob Sorten, die expansives Blattwachstum unter Trockenheitsstress beibehalten, auch Ertragsvorteile aufweisen, wenn Wasserknappheit in späteren Vegetationsphasen zu erwarten ist.

Expansives Blattwachstum ist eine Charakteristik des vegetativen Stadiums, in dem die Pflanzen über eine große Entwicklungsplastizität verfügen. Durch eine erhöhte relative Wachstumsrate der Blattfläche und eine erhöhte Netto-CO₂-Assimilationsrate erreichen auch zwischenzeitlich trockenstressgeschwächte Pflanzen nach einer Wiederbewässerung die Reife ohne beträchtliche Ertragseinbußen (Rawson und Turner, 1982; Jenka, 1985). Liegt aber der Blattflächenindex unter

drei, wirkt sich die Blattreduktion negativ auf die Produktivität aus (Ludlow und Muchow, 1990). Die Entwicklungsplastizität nach der Stressaufhebung wurde von Jenka (1985) als Selektionskriterium vorgeschlagen. Durch eine veränderte Verteilung der Assimilate nimmt das Verhältnis von Trockenmasse zu Blattfläche zu. Eine relativ größere Einlagerung der Trockenmasse in die Wurzeln kann die Pflanze zur Erschließung zusätzlicher Wasserreserven befähigen und eine Lang-zeitanpassung der Pflanze an Trockenheitsstress teilweise ermöglichen. Die Beibehaltung der Blattoberfläche ist für Trockenstressbedingungen in relativ frühen Stadien zu bevorzugen (Ludlow und Muchow, 1990).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ernährung der Menschen durch die ständig wachsende Weltbevölkerung und die nur begrenzt ausdehnbaren Produktionsmöglichkeiten der Nahrungsmittel problematischer wird. Ein Weg für die Entschärfung dieses Problems ist der Anbau von Kulturpflanzen wie Weizen unter suboptimalen Bedingungen wie Hitze und Trockenheit auf bisher ackerbaulich nicht genutzten Flächen.

Für den Weizenanbau kommen verschiedene Regionen der Welt in Betracht (Behl et al., 1993; Dhanda et al., 1995), die durch permanente Trockenheit und Hitze gekennzeichnet sind. Trocken- bzw. Hitzestress treten aber nicht immer im gleichen Entwicklungsstadium der Pflanzen auf. Allen diesen Umwelten gemeinsam ist die hohe Variabilität sowohl in der Intensität als auch in der Dauer der Stressbedingung. Unvorhersehbare Hitze- und Trockenzeiten können auch außerhalb der oben erwähnten Regionen auftreten, die in ihrem Zeitpunkt, ihrer Intensität und ihrer Dauer innerhalb und zwischen den Anbaujahren und Standorten enorm variieren (Ceccarelli, 1994; Dhanda et al., 1995).

In den letzten Dekaden hat die Züchtung zusammen mit dem Pflanzenbau, dem Pflanzenschutz und der Pflanzenernährung beim Bemühen, die Welternährung zu sichern, enorme Fortschritte gebracht. Diese überwiegend unter optimalen Produktionsbedingungen erzielten Erfolge stellten sich unter suboptimalen Bedingungen leider nicht ein. Ceccarelli (1994) sieht die fehlenden Fortschritte bei der Züchtung für suboptimale Bedingungen darin, dass die etablierten Methoden der Züchtung unter optimalen Bedingungen entwickelt wurden.

In Umwelten, in denen Trockenheit und Hitze herrschen, kann die Produktivität nur durch Entwicklung entsprechend angepasster Sorten erhöht werden. Eine genetische Verbesserung der Kulturpflanzen hinsichtlich der Anpassung an Hitze und Trockenheit erfordert die Suche nach genetischen Komponenten der Hitze- und Trockenresistenz (Dhanda et al., 1995).

In letzten Zeiten wurden die folgenden vier Vorgehensweisen bei der Züchtung für eine verbesserte Trockenstressresistenz angewendet (Turner, 1986b):

1. Züchtung auf maximalen Ertrag unter normalen Bedingungen um unter suboptimalen Bedingungen den Vorteil des hohen Ertrags auszunutzen.
2. Züchtung auf maximalen Ertrag in den Zielgebieten. (Dabei stellen die oben genannten jährlichen Umweltschwankungen sowie die geringe Variabilität des Ertrags und seiner Komponenten Probleme dar).
3. Entwicklung von Sorten für Umwelten mit Wassermangel durch Selektion auf physiologische und morphologische Mechanismen der Trockenresistenz innerhalb der traditionellen Züchtungsprogramme.
4. Entwicklung eines einzigen Merkmals für Trockenresistenz und seine Einbeziehung in die bestehenden Züchtungsprogramme.

In den letzten Jahrzehnten wurde eine Vielzahl von Merkmalen als Parameter für die Selektion auf Hitze- und Trockenresistenz empfohlen. Der erhoffte Erfolg blieb jedoch hinter den Erwartungen. Die Ursachen dafür sind nicht nur die oben erwähnten Variationen der Umweltbedingungen, sondern auch die meist komplizierten Reaktionen der Pflanzen auf einen Stress. In vielen Fällen variiert die Trocken- sowie die Hitzeresistenz mit dem Entwicklungsstadium der Pflanze und mit der Intensität und der Dauer des Stresses. Diese die Stressresistenz beeinflussenden Faktoren sind wiederum von verschiedenen agro-ökologischen Einflüssen abhängig. Eine im frühen Entwicklungsstadium resistente Pflanze ist dies nicht automatisch auch in einem späten Stadium (Blum, 1989). Deshalb muss der Züchter bei der Selektion von Genotypen die Intensität und die Dauer des Stresses und die Anfälligkeit eines Entwicklungsstadiums einer Pflanze in einem Anbaugebiet berücksichtigen.

Bei einer Verbesserung des Ertrages unter Trocken- bzw. Hitzestress muss ein beachtlich hohes Ertragspotenzial mit spezifischen Pflanzenfaktoren kombiniert werden, die den Ertrag gegen hohe Reduktion unter dem Stress abpuffern (Blum, 1989). Viele der Merkmale, die eine Hitze- und Trockenresistenz charakterisieren sollen, wurden im Literaturteil dieser Arbeit aufgeführt. In der Literatur wird gezeigt, dass die Eignung dieser Merkmale umstritten ist. Im Allgemeinen gibt es kein spezifisches Merkmal, dass die Trocken- bzw. Hitzeresistenz zu allen Entwicklungsstadien, bei allen Intensitäten und jeder Dauer des Stresses identifiziert (Passioura, 1996). Die Pflanzen reagieren auf einen Stress mit einer Reihe von Mechanismen (Tardieu, 1996), bei der einzelne Mechanismen im Laufe der Entwicklungszeit nur noch eine untergeordnete Rolle spielen (Passioura, 1996). Das gilt vor allem für die Kurzzeitreaktionen auf zellulärer und subzellulärer Ebene. Die Ausprägung dieser Merkmale ist schwer zu erfassen. Sie können unter Hitze- oder Trockenstress mal ausgeprägt werden, mal auch wieder nicht. Außerdem kann ein Merkmal bei der Bewältigung des Stresses je nach Situation eine positive oder negative Auswirkung haben (Blum, 1996;

Tardieu, 1996). Bei der Bedeutung eines Merkmals für den Ertrag kommt es darauf an, wie die Bilanz ausfällt. Eine klare Beziehung des Ertrages zu einem einzigen Merkmal gibt es meistens nicht. Der Nutzen solcher Merkmale bei der Identifikation der stressresistenten Genotypen ist dadurch eingeschränkt.

Einerseits besteht die Notwendigkeit der Produktionserhöhung unter den Bedingungen des Hitze- und Trockenstresses. Andererseits fehlen immer noch effiziente Selektionsmerkmale die in allen Situationen eines Stresses anwendbar sind. Der Anbau des Weizens in den Gebieten wie Ägypten erfordert aber trotzdem die Suche nach hitze- und trockenresistenten Sommerweizensorten und die Kombination der Resistenzeigenschaften mit einem hohen Ertrag. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, für ein breites Genotypenspektrum Anhaltspunkte zu finden.

3 Material und Methoden

3.1 Material

In der Vegetationszeit 1995 wurden 50 Sommerweizengenotypen (*Triticum aestivum* L.) unterschiedlicher Herkunft in Hohenthurm angebaut, von denen nur die in der Tab. 2 aufgelisteten 34 Genotypen für die weiteren Versuche verwendet worden sind, da die restlichen wegen enormer Differenzen in der phänologischen Entwicklung in die weiteren Untersuchungen nicht einbezogen konnten. Unter diesen 34 Genotypen befand sich eine Reihe von Sorten, die schon vorher auf Hitzestress in anderen Ländern geprüft und demnach als tolerant bzw. weniger tolerant eingestuft waren (Tab. 1). Ziel züchterischer Maßnahmen ist es, aus hitze- und trockentoleranten Sorten diese Eigenschaften über Kreuzungsprogramme in leistungsfähige Sorten einzulagern. Hierzu ist zunächst eine intensive Prüfung geeigneter Sorten erforderlich. Tab. 2 enthält die Liste der verwendeten Sorten, unterteilt in die beiden Programme für Trocken- und Hitzestresstoleranz.

Tab. 1: Sorten mit Vorinformationen aus der Literatur zur Stresstoleranz (S: Sudan; C: CIMMYT; T: Thailand; I: ICARDA)

Sorte	Herkunft	Verhalten	Referenz
Debeira	S	standard	Reynolds et al., 1992
Anza	S	standard	Reynolds et al., 1992
Nacozari76	C	hitzesensitiv	Reynolds et al., 1992 ; 1998
Genaro81	C	standard	Reynolds et al., 1992
Glenson	C	hitzetolerant	Reynolds et al., 1992 ; 1998
Siete-Cerros	C	hitzesensitiv	Reynolds et al., 1998
Fang60	T	hitzesensitiv	Fokar et al., 1998
Seri82	T	hitzetolerant	Reynolds et al., 1992 ; 1998
Pavon76	T	hitzesensitiv	Reynolds et al., 1992
Nesser	I	hitzetolerant	Reynolds et al., 1992 ; 1998

Tab. 2: Herkunft und experimentelle Nutzung von Sommerweizensorten (D: Deutschland; E: Egypt; S: Sudan; C: CIMMYT; In: Indien; T: Thailand; I: ICARDA; B: Bernburg; H: Hohenthurm)

Sorte	Herkunft	Hitzetoleranz			Trockentoleranz		
		Feld (E)	Klimakammer(D)		Keimungstest (D u. E)	Feld/Dach (D)	Klimakammer (D)
			(B)	(H)			
Wadi-Elnile	E		x			x	
Giza160	E	x				x	
Giza164	E	x	x	x	x	x	
Giza165	E	x					
Gemiza1	E	x	x	x		x	
Giza157	E					x	
Sahel1	E				x	x	
Sakha8	E				x	x	x
Debeira	S	x	x	x		x	
El-Neilen	S	x					
Anza	S	x					
Nacozari76	C	x	x	x		x	
Genaro81	C	x	x	x		x	
Glenson	C	x	x	x		x	
Siete-Cerros	C		x			x	
Hendi1	In	x					
Hendi2	In	x					
Hendi3	In	x					
Fang60	T	x					
Condor	T	x					
Seri82	T	x					
Pavon76	T	x					
Baspan	C				x	x	x
Inklab	C				x	x	
WPB926	C				x	x	x
Centennial	C				x	x	x
Penewawa	C				x	x	
Fieldwin	C				x	x	
Achter	C				x	x	
Wakanz	C				x	x	
Nesser	I	x		x	x		x
Munk	D		x	x	x	x	x
Star	D		x	x	x	x	x
Naxos	D		x	x	x	x	x

3.2 Methoden

3.2.1 Hitzestress

3.2.1.1 Freilandprüfungen

Es wurde eine Hitzetoleranzprüfung mit 18 Genotypen in den Vegetationsperioden 1995 und 1996 an drei und 1997 an zwei Zuchtstationen in Oberägypten durchgeführt [Feld (E) in Tab. 2]. Die Zuchtstationen waren Shandweel, Matana und Komombo.

Die Temperaturmaxima und -minima der Monate in der Vegetationszeit an den drei Zuchtstationen enthält die Tab. A1 im Anhang. Die Vegetationsperiode dauerte von Mitte November bis zur ersten Woche im Mai mit einer Lichtdauer von 12-14h täglich. Hitzestress wurde durch unterschiedliche Aussaatzeiten simuliert. Die Aussaat für die Kontrollvariante erfolgte in normalen ortsüblichen Aussaatzeiten, während sie für die Hitzestressvariante drei bis vier Wochen später durchgeführt wurde (Tab. 3). In Komombo wurde 1997 keine Prüfung vorgenommen.

Tab. 3: Aussaattermine der Sommerweizensorten 1994-1996 an verschiedenen Standorten in Oberägypten für die Ernte in 1995-1997.

Jahr	Standort	Normalaussaat	Spätaussaat
1994/95	Shandweel	20. Nov. 1994	20. Dez. 1994
	Matana	22. Nov. 1994	17. Dez. 1994
	Komombo	20. Nov. 1994	20. Dez. 1994
1995/6	Shandweel	20. Nov. 1995	20. Dez. 1995
	Matana	25. Nov. 1995	22. Dez. 1995
	Komombo	20. Nov. 1995	18. Dez. 1995
1996/7	Shandweel	20. Nov. 1996	20. Dez. 1996
	Matana	25. Nov. 1996	17. Dez. 1996

Die Versuche wurden an allen Standorten als vollständig randomisierte Blockversuche mit drei Wiederholungen angelegt, die Parzellengröße betrug 2,8 m². Die Aussaat erfolgte von Hand. Die Bewässerung erfolgte den örtlichen Gegebenheiten entsprechend fünf bis siebenmal während der Vegetationsperiode. Auch die Düngung war ortsüblich.

Erfasst wurden phänologische und morphologische Merkmale sowie der Parzellenertrag und seine Komponenten. Im Einzelnen waren dies der Termin des Ährenschiebens, die Pflanzenhöhe, der Kornertrag/m², die TKM und die Anzahl ährentragender Halme/m².

Beim Ertrag wurde die Auswirkung des Hitzestresses durch Verschiebung der Aussaatzeit über

den Susceptibility-Index (S-Index) nach Fischer und Maurer (1978) erfasst:

$$\text{S-Index} = \frac{\left(1 - \frac{Y_D}{Y_P}\right)}{\left(1 - \frac{Y_d}{Y_p}\right)}$$

Dabei ist Y_D mittlerer Ertrag eines Genotyps unter gestresster Umwelt, während Y_P mittlerer Ertrag des gleichen Genotyps unter der Kontrollvariante ist. $1 - \frac{Y_d}{Y_p}$ gibt die Intensität des Stresses an, bei dem Y_d und Y_p den mittleren Ertrag aller Genotypen mit bzw. ohne Stress bedeuten.

Der S-Index zeigt das Verhalten eines einzelnen Genotyps unter dem Stress im Vergleich zum Genotypendurchschnitt im Bezug auf Ertragsreduktion. Ein Genotyp mit einem S-Index 1 verhält sich wie der Durchschnitt aller Genotypen. Ein S-Index größer als 1 bedeutet, dass die Ertragsreduktion des jeweiligen Genotyps höher liegt als die Ertragsreduktion im Durchschnitt aller Genotypen und zeigt damit unterdurchschnittliche Stresstoleranz des Genotyps. Ein S-Index eines Genotyps der kleiner ist als 1 bedeutet eine höhere Stresstoleranz des Genotyps als im Durchschnitt. Ein S-Index kleiner als 0 zeigt eine höhere Ernte unter dem Stress als unter der Kontrolle.

3.2.1.2 Klimakammerprüfungen in Bernburg

In Ergänzung zu den Freilandversuchen in Oberägypten wurden Klimakammerversuche in Bernburg (Deutschland) durchgeführt [Klimakammer (B) in Tab. 2]. Der Versuch wurde 1995 als zweifaktorieller Versuch mit elf Genotypen (acht subtropische und drei deutsche Sorten) und drei Behandlungsvarianten in Mitscherlichgefäßen mit zwei Wiederholungen vollständig randomisiert angelegt und 1996 in gleicher Weise wiederholt. Beim Einsetzen der Körner in die mit einem Bodenkompostgemisch gefüllten Mitscherlichgefäße erhielten die Pflanzen NPK-Düngung (0,5 g : 1,1 g : 2,1 g/Gefäß). Außerdem wurden 0,5 g N/Gefäß kurz vor der jeweiligen Hitzebehandlung verabreicht. Die Kontrollgefäße bekamen diese zweite Stickstoffdüngung zu Beginn der Blüte. Um das Vernalisationsbedürfnis zu befriedigen, wurden die Genotypen in beiden Versuchsjahren für ca. vier Wochen bei 12°C Tages- bzw. 6°C Nachttemperatur und 10h Lichtdauer kultiviert. Danach ist 1995 eine Tages- und Nachttemperatur von 16°C bzw. 12°C für ca. vier Wochen bei 14h Licht eingestellt worden. Für die weitere Entwicklung wurde anschließend die gleiche Tages- und Nachttemperatur von 16°C bzw. 12°C beibehalten, während die Lichtdauer auf 12h gekürzt wurde. Das Lichtregime von 14h ließ sich 1996 aus technischen Gründen nicht realisieren. Statt

dessen wurden die Genotypen 1996 nach vier Wochen Kultivierung unter 10h Licht bei 12°C Tages- bzw. 6°C Nachttemperatur gleich auf das Lichtregime von 12h umgestellt. Gleichzeitig wurde die Temperatur auf 20°C bzw. 14°C (Tag/Nacht) erhöht, um die Vegetationszeit verkürzen zu können. In der Zeit der Hitzebehandlung herrschten folgende Bedingungen:

Bei der Kontrollvariante wurde eine Temperatur von 20°C/14°C (Tag/Nacht) gewählt, während bei der Hitzevariante die Behandlungstemperaturen von 40°C/25°C für 1995 und 38°C/25°C für 1996 gewählt wurden. Die Lichtdauer betrug jeweils 12h. Die Hitzebehandlung erfolgte mit Beginn des Ährenschiebens (DC 47 = Variante 2) und der Blüte (DC 61 = Variante 3) und dauerte jeweils eine Woche. Da die Sorten sich unterschiedlich schnell entwickelten, wurde mit der Hitzebehandlung nur dann begonnen, wenn die jeweilige Sorte das gewünschte Stadium erreicht hatte. Dadurch wurden die Sorten zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Hitzebehandlung ausgesetzt (Tab. 4). Dagegen waren die Behandlungsdauer und –temperatur (s. oben) gleich.

Tab. 4: Hitzebehandlungsbeginn (Bernburg 1995 und 1996) in Vegetationstagen nach der Aussaat

Sorte	Herkunft	1995		1996	
		DC 47	DC 61	DC 47	DC 61
Wadi-El Nile	Ägypten	86	99	61	69
Giza164	Ägypten	98	110	69	79
Gemiza1	Ägypten	95	104	68	77
Debeira	Sudan	94	103	67	77
Siete-Cerros	CIMMYT	98	109	68	79
Nacozari76	CIMMYT	92	103	66	74
Genaro81	CIMMYT	97	108	70	79
Glenson	CIMMYT	96	106	72	79
Naxos	Deutschland	107	119	103	110
Munk	Deutschland	113	129	114	120
Star	Deutschland	113	125	112	123

Vor dem Beginn der Hitzebehandlung wurde die Hauptähre jeder Pflanze markiert und am Vegetationsende getrennt geerntet. An ihr wurden Kornzahl und Korngewicht/Ähre, Anzahl der Spindelstufen/Ähre, Ährenfertilität und TKM erfasst. Die Fertilität der Ähre ist der Quotient aus der Kornzahl und der Anzahl der Spindelstufen.

3.2.1.3 Klimakammerprüfungen in Hohenthurm

Bei einem Versuch in der Klimakammer in Hohenthurm wurden 10 Genotypen an zwei Entwicklungsstadien (vor und nach der Blüte) mit Hitze bei 45°C behandelt. Alle Versuchspflanzen wurden zuletzt eine Woche vor der ersten Hitzebehandlung mit Nährstoffen versorgt. Außerdem wurde dafür gesorgt, dass die Pflanzen von jeglichem Krankheits- und Insektenbefall frei blieben. Die erste Hitzebehandlung wurde durchgeführt, als die Genotypen ungefähr DC 59 (vollständiges Herausschieben der Blütenstände) erreicht hatten, da dieses Stadium relativ genau erfassbar ist.

Tab. 5: Termine zum Entwicklungsstadium DC 59, zur Hitzebehandlung vor der Blüte, und die Entwicklungsstadien bei der Hitzebehandlung nach der Blüte (Behandlungsdatum: 26.2.99) an Sommerweizensorten verschiedener Herkunft

Sorte	Herkunft	Termin DC 59	Hitzebehandlung vor/zur Blüte	Entwicklungsstadium bei der Hitzebehandlung nach der Blüte
Giza164	Ägypten	3.2.99	4.2.99	DC 78
Debeira	Sudan	8.2.99	11.2.99	DC 73
Nacozari76	CIMMYT	9.2.99	11.2.99	DC 73
Gemiza1	Ägypten	9.2.99	11.2.99	DC 73
Glenson	CIMMYT	12.2.99	13.2.99	DC 71
Genaro81	CIMMYT	12.2.99	13.2.99	DC 71
Naxos	Deutschland	11.2.99	13.2.99	DC 71
Nesser	ICARDA	15.2.99	16.2.99	DC 70
Munk	Deutschland	14.2.99	16.2.99	DC 70
Star	Deutschland	17.2.99	16.2.99	DC 68

Obwohl die Aussaat für alle Genotypen am gleichen Tag erfolgte, zeichneten sich die Genotypen durch eine abweichende phänologische Entwicklung aus. Dadurch war eine gleichzeitige Erreichung der DC 59 und damit auch eine gleichzeitige Hitzebehandlung aller Genotypen im gleichen Stadium nicht realisierbar. So wurde die erste Hitzebehandlung in vier Gruppen durchgeführt (Tab. 5). Während der ersten Hitzebehandlung hatte für einige Genotypen die Blüte teilweise schon begonnen, da sie nach dem Ährenschieben innerhalb von drei bis vier Tagen stattfinden kann. Daher trifft die Bezeichnung "vor der Blüte" nur ungefähr zu, soll hier aber beibehalten werden.

Um einen Hitzeschock der Genotypen zu vermeiden, wurde die Behandlungstemperatur schritt-

weise erreicht. Dabei wurde die Temperatur am Tag vor der Behandlung von 18°C (Aufzuchtregime:18/12°C Tag/Nacht) über Nacht auf 25°C erhöht. Am nächsten Tag wurde gleich beim Umschalten auf die Lichtphase (um 7.00 Uhr) die Tagestemperatur auf 30°C eingestellt und bis zum Erreichen der Behandlungstemperatur von 45°C nach jeder Stunde um 5°C erhöht. Die Behandlung dauerte nach dem Erreichen der Behandlungstemperatur vor der Blüte 5 Stunden und nach der Blüte 10 Stunden (Abb. 1).

Da nur eine Klimakammer zur Verfügung stand, mussten alle nicht zu behandelnden Gefäße in der Zeit der Hitzebehandlung außerhalb der Klimakammer verbleiben. Bei einer gruppenweisen erfolgten Behandlung beider Stadien hätte das für die Kontrollvariante einen Ausfall der Assimilation von insgesamt über 40 Stunden bedeutet. Bei der Hitzebehandlung nach der Blüte erfolgte deshalb

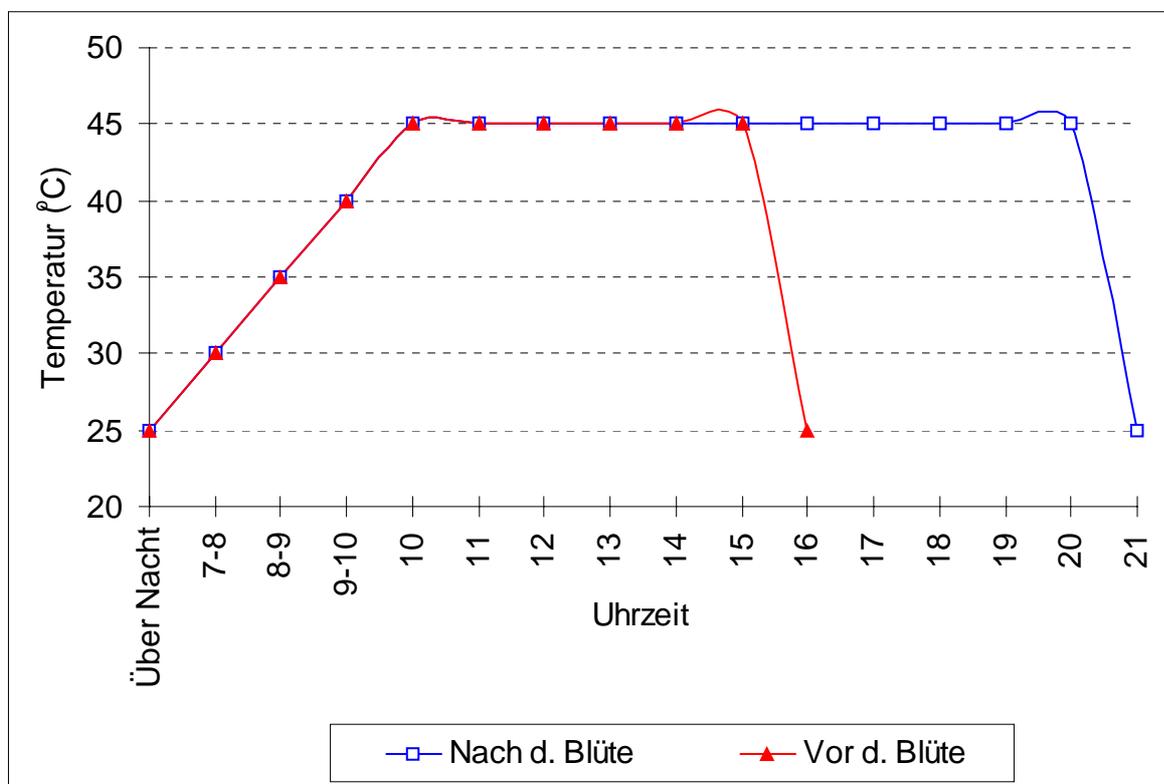


Abb. 1 : Verlauf und Dauer der Behandlung bei einer Prüfung der Sommerweizensorten auf den Hitzestress in der Klimakammer in Hohenthurm.

die Behandlung für alle Sorten am gleichen Tag (Tab. 5). Außerdem war ein Teil der Fragestellung, alle Sorten gleichzeitig dem Hitzestress auszusetzen. Dabei wurde das Entwicklungsstadium jedes Genotyps geschätzt und erfasst (Tab. 5). Nach einer ersten Einschätzung war die Hitzewirkung der Behandlung vor der Blüte auf die meisten Genotypen nur gering. Aus diesem Grund wurde die Dauer der Hitzebehandlung nach der Blüte auf 10 Stunden verlängert. Die Behandlungstemperatur und die Weise ihrer Erreichung war wie bei der Behandlung vor der Blüte. Auch die relative Feuchte von 30% während der Hitzebehandlung war für beide Behandlungstermine

gleich. Die zu behandelnden Gefäße wurden am Tag der Behandlung zu Beginn der Lichtphase mit 500ml Wasser versorgt. Bei der zehnstündigen Behandlung wurden die Pflanzen nach den ersten 5 Stunden wieder aufgegosen. Nach jeder Behandlung ist die Temperatur in der Klimakammer wieder auf das Anzuchtregime umgestellt und die Pflanzen wieder mit Wasser gegossen worden. Am Tag nach der Behandlung wurde nach einem weiteren Aufgießen die Hitzewirkung an Hand der Blattemperatur, der Transpirations- und Nettophotosyntheserate sowie der Stomatalleitfähigkeit des Blattes an intakten Fahnenblättern der Pflanzen erfasst. Dafür kam ein tragbares "Photosynthese-System HCM-1000" (Heinz Walz GmbH, Oktober 1996, Effeltrich) zum Einsatz. Das zu messende Blatt wurde in einer Messküvette eingespannt und damit der dem System durchströmenden Luft ausgesetzt. Dabei wurde der Gasaustausch zwischen der Pflanze und der Umgebung mit Hilfe eines im System integrierten Infrarot-Gasanalytators (IRGA) vom Typ BINOS-100/4PS ermittelt. Die Transpirations- und Nettophotosyntheserate, sowie die Stomatalleitfähigkeit wurden entsprechend der Beschreibung zum Photosynthesesystem HCM-100 erfasst:

Formel zur Berechnung der Transpirationsrate mit Umrechnungsfaktoren für Einheiten

$$E = \frac{u_e (w_o - w_e)}{LA(1 - w_o)}$$

E = Transpirationsrate [$\text{mmol cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]

u_e = molarer Fluss am Messküvetteneingang während eines Messpunktes [mmol s^{-1}]

w_o = H_2O -Stoffmengenanteil am Messküvettenausgang [ppm]

w_e = H_2O -Stoffmengenanteil am Messküvetteneingang [ppm]

LA = Bezugsgröße, gemessene Blattfläche [cm^2]

Die Blattemperatur wurde mit Hilfe eines in der Messküvette eingebrachten Sensors direkt erfasst. Die das System durchströmende Luft, die Temperatur der Messküvette, die Temperatur der Umgebung, der Luftdruck und die photosynthetisch aktive Strahlung wurden mit erfasst und stellten die Messbedingungen dar. Sie sind z. T. in die Berechnung der oben erwähnten Merkmale direkt oder indirekt eingegangen.

Die Messwerte der hitzebehandelten Varianten wurden zu verschiedenen Zeitpunkten (vor und nach der Blüte) erfasst. Dem entsprechend gab es für jede Stressvariante eine andere Kontrollvariante. Eine Erfassung der Merkmale während der Hitzebehandlung aus technischen Gründen war nicht möglich. Die nach der Beendigung der Hitzewirkung ermittelten Werte stellen die bleibenden Schäden dar.

Außerdem wurde der Chlorophyllgehalt der oberen drei Blatttagen mit einem Chlorophyllmeter SPAD-502 der Firma Minolta indirekt an Hand des absorbierten Lichtes geschätzt.

Die vom Chlorophyllmeter erfassten Messwerte sollen der Menge des im Blatt vorhandenen Chlorophylls entsprechen. Die Werte werden auf der Basis der Lichtmenge verrechnet, die das Blatt bei einer Bestrahlung im roten und infraroten Wellenlängenbereich passiert. Der Chlorophyllmeter SPAD-502 enthält LED (Licht emittierende Diode) im roten (Peak: ca. 650nm) und infraroten (Peak: ca. 940nm) Wellenlängenbereich. Diese in den Messkopf des Gerätes eingebauten zwei LED emittieren nacheinander Licht beim Schließen des Messkopfes. Das Licht aus den Dioden verlässt ein Fenster (emittiertes), passiert das Blatt und trifft auf ein anderes Fenster (Empfänger). Danach streift das Licht einen Rezeptor der SPD (silicon photodiode) und wird zu analogen elektrischen Signalen umgewandelt. Daraus wird das Intensitätsverhältnis berechnet. Am Ende wird das mit und ohne Blatt erfasste Licht zu digitalen Signalen konvertiert und verrechnet, um die SPAD-Werte zu erhalten. Hier muss erwähnt werden, dass diese Messwerte keinen direkten Chlorophyllgehalt der Blätter liefern, sondern Indikatoren für den im Blatt vorhandenen Chlorophyllgehalt sind.

Nach der Reife wurden die Einzelpflanzen geerntet und eine Analyse des Biomasse- und Kornertrages bzw. der Ertragskomponente durchgeführt. Die Ernte erfolgte getrennt nach Haupt- und Nebenähren.

3.2.2 Trockenstress

3.2.2.1 Freilandprüfungen

Untersuchungen zur Trockentoleranz im Freiland waren auch in Ägypten geplant, konnten aber wegen organisatorischer Probleme dort nicht durchgeführt werden. Freilandversuche wurden in Hohenthurm (Deutschland) durchgeführt, wobei Trockenstress durch Überdachung eines Teiles der Versuchsfläche induziert wurde (Abb.2).



Abb. 2: Überdachte (oben) und nicht überdachte (unten) Versuchsflächen bei einer Trockenstressprüfung im Freiland

Im Frühjahr 1996 wurde ein zweifaktorieller Versuch mit 23 Genotypen und zwei Varianten des Wasserregimes [Feld/Dach (D) in Tab. 2] angelegt. Die gesamte Versuchsfläche wurde in zwei Teile unterteilt, einen überdachten Teil für den Trockenstress und einen Kontrollteil ohne Dach. Die Stressvariante stand unter einem Foliendach, das gut lichtdurchlässig war (Abb. 2). Durch gute Belüftung konnte die Außentemperatur weitgehend auf dem Niveau der Kontrolle gehalten werden. In der vorliegenden Arbeit ist mit dem Trockenstress unter der Feldbedingung die überdachte Variante gemeint.

Die Stressvariante wurde vom 25.4.96 bis zum 30.5.96 mit jeweils 5mm Wasser versorgt (Tab. 6). Außerdem wurden bei beiden Varianten am 7.06.96 mit dem Düngemittel 10mm Wasser gegeben.

Tab. 6: Niederschlag (mm) und Wassergabe (mm) bei einem Trockenstressversuch unter einem Dach in Hohenthurm 1996 (Aussaat: 11.04.96)

	trocken		feucht			trocken		feucht	
Datum	Wassergabe	Niederschlag	Wassergabe		Datum	Wassergabe	Niederschlag	Wassergabe	
25.04.	5	14			21.06.		-		
29.04.	5	3			24.06.		-	10	
02.05.	5	5			26.06.		-	10	
06.05.	5	4	5		28.06.		-	10	
10.05.	5	25			04.07.		12		
17.05.	5	12			10.07.		56		
24.05.	5	31			16.07.		-		
29.05.	5	9			22.07.		4		
30.05.	5	-			31.07.		15		
05.06.		11			02.08.		-		
07.06.	10	-	10		05.08.		-		
12.06.		7							

Ab dem 29.5.96 erfolgte in beiden Varianten wöchentlich eine Messung der Bodenfeuchte bis zum Ende der Versuchszeit an jeweils drei Stellen und in drei Tiefen (0-15, 15-30, 30-50 cm). Bei sinkenden Bodenfeuchtwerten erhielt die Kontrollvariante eine Wassergabe, um die Bodenfeuchtigkeit im Bereich der Feldkapazität (ca. 22M%) zu halten. Die Stressvariante erhielt bis zum Ende des Versuches keine weitere Wassergabe. Für jede Behandlungsvariante wurde ein Blockversuch mit drei Wiederholungen angelegt. Diese Art der Versuchsdurchführung lässt keinen Test auf die Hauptwirkung des Wasserregimes zu, da jedes Regime nur in einem Großteilstück

geprüft wurde und hierfür keine Wiederholungen vorhanden waren. Die für die Versuchsfrage

wichtige Wechselwirkung zwischen Wasserregime und Genotypen lässt sich dagegen prüfen. Jede Kleinparzelle bestand aus zwei Reihen von 1m Länge mit einem Abstand von 20cm.

Für die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen erfolgte die Düngung zum Beginn der Bestockung und zum Ährenschieben. Je m² Fläche wurde jeweils 50g Wopil (15% N, 6,6% P und 19,9% K) in 10 l Wasser gelöst und verabreicht. Gegen einen Befall durch Mehltau wurde Opustop gespritzt.

An Merkmalen wurden die Zeitspanne von der Aussaat bis zum Ährenschieben, die Ährenlänge, die Spindelstufe, die Anzahl reduzierter Ährchen/Ähre, der Kornertrag, die Kornzahl/Hauptähre und die TKM erfasst. Als reduzierte Ährchen/Ähre wurden die Ährchen an Basis und Spitze der Ähre erfasst, deren Ausbildung durch den Wasserstress ganz ausgeblieben und/oder teilweise reduziert worden war.

Ähnlich wie bei den Hitzestressversuchen in Ägypten wurde auch hier für den Ertrag der S-Index nach Fischer und Maurer (1978) errechnet.

3.2.2.2 Klimakammerprüfung

In der Klimakammer in Hohenthurm wurde ein zweifaktorieller Versuch mit acht Sommerweizen-sorten [Klimakammer (D) in Tab. 2] in zwei Wasserversorgungsstufen (feucht und trocken) in Mitscherlichgefäßen angelegt, und zwar 1996 und 1997. Die verwendete Anzuchtsubstanz bestand aus Boden, Kompost und Sand (2:1:1) mit 5,3 kg Trockenmasse je Gefäß. Sie hatte einen permanenten Welkepunkt (PWP, Bestimmung im Institut für Bodenphysik der Martin-Luther-Universität an gezogenen Bodenproben) von 13M% (Masseprozent) und eine Maximalwasserkapazität (WK) von 29M%. Diese entspricht einem Wassergehalt von ca. 0,7 bzw. 1,53 kg/Gefäß. Als Düngung wurde nach der Aussaat 3,3 g Wopil (0,5 g N, 0,2 g P und 0,7 g K) je Gefäß verabreicht. Zu Beginn des Ährenschiebens wurde noch einmal die gleiche Menge Wopil verwendet. Der Versuch hatte zwei Wiederholungen und in jedem Gefäß standen 16 Pflanzen. Das Anzuchtregime umfasste eine Kurztagsbehandlung (10h Licht) von vier Wochen bei 8°C Tages- und 7°C Nachttemperatur zur Sicherung des Vernalisationsbedürfnisses und daran anschließend die Umstellung auf Langtag (16h Licht) bei 16°C Tages- und 10°C Nachttemperatur. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug 70% im Licht und 80% in der Dunkelheit. Zur Kornfüllung wurde die Temperatur im Licht auf 18°C und in der Dunkelheit auf 14°C erhöht. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf 55% im Licht und auf 65% in der Dunkelheit gesenkt. Das Wasserregime umfasste zwei Varianten, eine sehr gut versorgte Feuchtvariante und eine Trockenvariante. Eine Wasserversorgung von 80% der maximalen WK bei der Feuchtvariante und 55% der maximalen WK bei der Trockenvariante wurde geplant. Diese konnten aber unter

der Bedingung der verwendeten Klimakammer nicht realisiert werden. Da in der Klimakammer eine relativ hohe Luftbewegung vorhanden war, zeigten die Versuchspflanzen bei einem Vorversuch oftmals Welkerscheinungen. Deshalb erfolgte eine höhere Wasserversorgung. 1996 wurde der Wassergehalt des Substrates bei der Feuchtvariante auf 1,4 kg/Gefäß und bei der Trockenvariante auf 1,0 kg/Gefäß eingestellt. Die Pflanzen wurden nach dem Wiegen auf jeweils diesen Wassergehalt gegossen. Die Versorgung erfolgte alle zwei bis drei Tage, wobei der tatsächliche Wassergehalt weit unter das Gießgewicht sank. Da bei der Feuchtvariante die Sorten Sakha8 und Baspan die relativ hohen Wassergaben nicht vertragen hatten, wurde 1997 die Versorgung auf 1,3 kg bei der Feuchtvariante und 0,9 kg bei der Trockenvariante reduziert. Am Ende konnten folgende Merkmale erfasst werden: Pflanzenlänge, Ährenzahl/Pflanze, unproduktive Triebe/Pflanze, oberirdische Biomasse/Gefäß, Ährenlänge, Spindelstufe/Ähre, reduzierte (abotierte) Ährchen/Ähre, Kornzahl und Korngewicht/Ähre sowie TKM und Tage bis zum Ährenschieben. Bei reduzierten (abotierten) Ährchen handelt es sich in dieser Arbeit um Ährchen an der Basis und Spitze der Ähre, die sich gar nicht oder unvollständig entwickelt haben.

3.2.3 Keimungstest in einer osmotischen Lösung

Durch eine Verwendung von Osmotika kann bei den Pflanzen ein osmotischer Stress (bzw. Trockenstress) induziert werden (Williams et al., 1967; Leinhos et al., 1996).

3.2.3.1 Keimungstest in einer PEG-Lösung

Drei deutsche und zwölf subtropische Genotypen [aufgelistet beim Keimungstest (D) in Tab. 2] wurden in einer wässrigen Lösung von Polyethylenglukol-6000 (PEG) in den Konzentrationen 10, 15, 20 und 30% angekeimt und mit der Keimung in Wasser bei 20°C verglichen. Der Test erfolgte in Keimrollen mit vier Wiederholungen à 25 Körner. Nach einer Woche wurden die Keimungsrate, die Keimlingslänge (getrennt nach Spross und Wurzel), das Gesamtrockengewicht aus Spross und Wurzel sowie das Spross/Wurzel-Verhältnis erfasst.

3.2.3.2 Keimungstest in einer Mannitollösung

Neben PEG wurde auch Mannitollösung als Stressor geprüft. 50 Körner jeder Sorte (es handelt sich um die gleichen Sorten wie bei der PEG-Prüfung) wurden auf einem mit destilliertem Wasser bzw. einer Mannitollösung von -0,5 MPa und -1,0 MPa befeuchteten Whatman(II)-Filterpapier verteilt. Das zusammengerollte Papier wurde bei 20°C und 72% relativer Luftfeuchte in einen Klimaschrank gestellt. Der dabei erzeugte osmotische Druck von -0,5 und -1,0 MPa wurde nach Helmrich und Pfeifer (1954) ermittelt. Um einen osmotischen Druck von -

0,5 MPa und $-1,0$ MPa zu erhalten, wurden 35 g bzw. 70 g Mannitol (MG: 182,17) in einem Liter Wasser gelöst. Nach siebentägiger Keimung wurden die gleichen Merkmale wie bei dem PEG-Versuch erfasst. Da die Osmotika teilweise in die Zelle eindringen können, wurden zwei Osmotika mit unterschiedlichem Molekulargewicht verwendet.

3.3 Auswertungsmethoden

Die statistische Analyse wurde mit SAS-Prozeduren (SAS Institute Inc., 1989,1992) durchgeführt. Für die Varianzanalyse wurde die GLM-Prozedur (general linear model) eingesetzt. Für die Mittelwertvergleiche wurden der Tukey-Test, Student-Newman-Keuls-Test (SNK-Test) und t-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,05$ verwendet. Bei der Korrelationsanalyse wurde der Pearsonsche Korrelationskoeffizient verwendet. Das Signifikanzniveau wurde wie folgt gekennzeichnet: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$ und *** = $P < 0,001$.

4 Ergebnisse

4.1 Hitzestress

4.1.1 Freilandprüfungen in Oberägypten

Kornertrag

Die mehrfaktorielle Analyse der Versuche in den Jahren 1995, 1996 und 1997 zeigte, dass für den Ertrag alle Haupt- und Wechselwirkungen mit Ausnahme der Blockvarianz signifikant waren (Tab. 7). Die Versuchsauswertung erfolgte zunächst getrennt nach Jahren, Orten und dem Hitzestressniveau.

Tab. 7: Varianztabelle der Genotypen, Hitzebehandlungen, Umwelten (zwei Jahre mit jeweils drei und ein Jahr mit zwei Anbauorten) sowie deren Interaktionen für das Merkmal Ertrag

Varianzursache	FG	MQ	F	P
Genotyp	17	0,039	13,91	0,0001
Behandlung	1	2,654	941,80	0,0001
Behandlung/Genotyp	17	0,025	8,86	0,0001
Umwelt	7	1,452	515,22	0,0001
Umwelt/Genotyp	119	0,020	7,10	0,0001
Umwelt/Behandlung	7	0,232	82,22	0,0001
Umwelt/Behandlung/Genotyp	119	0,016	5,70	0,0001
Blöcke in Umwelt	16	0,002	0,87	0,6098
Rest	560	0,003		
Gesamt	863			

Ein Mittelwertvergleich im Durchschnitt der Genotypen zeigt, dass sich Orte und Jahre auf den Kornertrag je Fläche sehr unterschiedlich auswirkten (Tab. 8-10). Komombo wies in den beiden geprüften Jahren vergleichsweise gute Erträge auf, Shandweel war 1995 und 1997 schlechter als Matana, 1996 war es umgekehrt. Die Ergebnisse lassen keine standort- oder jahresspezifische Wirkung erkennen, vielmehr bildet jede Orts-Jahres-Kombination eine andere Umwelt, so dass im Folgenden von 8 Umweltbedingungen ausgegangen wird.

Ein Vergleich dieser Umwelten getrennt nach Anbauzeiten zeigt, dass unter dem normalen Anbau die Umwelten Komombo 1995, Matana 1995 und 1997 im Kornertrag/m² im Schnitt etwa den gleichen Ertrag brachten und die anderen Umwelten signifikant übertrafen. Komombo 1996 sowie Shandweel 1996 und 1997 waren Umwelten mit mittlerem Ertrag, während Shandweel 1995 und Matana 1996 Umwelten mit niedrigem Kornertrag darstellten.

Im Kornertrag je Fläche besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der normalen (Kontrolle)

und der späten (Hitzestress) Aussaat. Ein Vergleich der Mittelwerte ergab, dass im Durchschnitt der Genotypen ein beträchtlicher Ertragsrückgang, mit Ausnahme von Matana 1995, vom ersten zum zweiten Aussaattermin besteht. Im Durchschnitt aller Orte geht der Kornertrag der Sorten

Tab. 8: Mittelwerte (kg) des Kornertrages/m² von Sommerweizengentypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Mittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	0,81	0,43	0,92	0,72	0,76	0,62	0,83	0,59
Debeira	0,65	0,58	0,82	0,78	0,83	0,76	0,77	0,71
Condor	0,72	0,60	0,84	0,77	0,79	0,70	0,78	0,69
Giza160	0,66	0,68	0,80	0,76	0,79	0,58	0,75	0,67
Giza164	0,52	0,52	0,81	0,71	0,79	0,48	0,71	0,57
Gemiza1	0,52	0,58	0,81	0,74	0,81	0,47	0,71	0,60
Hendi1	0,46	0,48	0,64	0,75	0,71	0,58	0,60	0,61
Hendi2	0,72	0,46	0,79	0,84	0,77	0,58	0,76	0,63
Hendi3	0,68	0,46	0,65	0,82	0,70	0,53	0,68	0,61
Fang60	0,63	0,45	0,66	0,86	0,78	0,66	0,69	0,66
Genaro81	0,82	0,63	0,89	0,85	0,84	0,64	0,85	0,71
Glenson	0,50	0,57	0,75	0,76	0,72	0,69	0,66	0,67
Pavon76	0,79	0,46	0,73	0,80	0,67	0,56	0,73	0,61
Seri82	0,66	0,57	0,86	0,76	0,90	0,75	0,80	0,69
Nacozari76	0,73	0,49	0,68	0,91	0,87	0,75	0,76	0,71
Anza	0,69	0,50	0,85	0,90	0,89	0,72	0,81	0,71
Giza165	0,65	0,45	0,80	0,87	0,84	0,45	0,76	0,59
Nesser	0,50	0,53	0,76	0,83	0,78	0,48	0,68	0,61
MW	0,65	0,52	0,78	0,80	0,79	0,61	0,74	0,65
GD (0,05)	0,13	0,11	0,13	0,14	0,12	0,11	0,17	0,24

1995 und 1996 jeweils um 0,09 und 1997 um 0,16 kg/m² vom ersten zum zweiten Aussaattermin zurück. In Matana brachten 1995 die meisten Sorten mehr Kornertrag bei spätem als bei normalem Anbauzeitpunkt. Dies könnte zum Teil mit dem im Vergleich zu den anderen Orten um fünf Tage kürzeren Zeitabstand zwischen den beiden Aussaatzeiten (Tab. 3) in Zusammenhang stehen. In allen Jahren und an allen Orten besteht eine signifikante Interaktion zwischen den Genotypen und den Anbauzeiten (Tab. 11).

Die Genotypen wurden getrennt nach Jahren und Anbauorten für jede Anbauzeit verglichen. An allen Standorten und in allen Jahren bestehen signifikante genotypische Unterschiede im Korn-ertrag/m² zu beiden Anbauzeiten. Allerdings ist unter beiden Anbaubedingungen die Rangfolge der Sorten im Korn-ertrag von Umwelt zu Umwelt verschieden.

Tab. 9: Mittelwerte (kg) des Korn-ertrags/m² von Sommerweizengentypen bei einer Hitzestress-prüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Mittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	0,80	0,59	0,49	0,48	0,76	0,54	0,68	0,53
Debeira	0,67	0,52	0,49	0,35	0,70	0,56	0,62	0,48
Condor	0,65	0,39	0,50	0,38	0,68	0,65	0,61	0,47
Giza160	0,68	0,48	0,44	0,40	0,74	0,58	0,62	0,48
Giza164	0,68	0,64	0,34	0,46	0,65	0,71	0,56	0,61
Gemiza1	0,72	0,43	0,52	0,43	0,73	0,63	0,66	0,50
Hendi1	0,63	0,41	0,53	0,40	0,44	0,64	0,53	0,49
Hendi2	0,60	0,55	0,41	0,44	0,65	0,70	0,55	0,56
Hendi3	0,75	0,58	0,40	0,47	0,45	0,60	0,54	0,55
Fang60	0,60	0,49	0,33	0,37	0,68	0,68	0,54	0,51
Genaro81	0,67	0,45	0,49	0,37	0,75	0,70	0,64	0,51
Glenson	0,67	0,43	0,38	0,44	0,68	0,69	0,58	0,52
Pavon76	0,61	0,44	0,40	0,37	0,70	0,56	0,57	0,46
Seri82	0,70	0,41	0,51	0,50	0,81	0,58	0,67	0,50
Nacozari76	0,68	0,49	0,47	0,43	0,68	0,69	0,61	0,54
Anza	0,52	0,38	0,49	0,44	0,74	0,70	0,58	0,51
Giza165	0,69	0,44	0,54	0,39	0,75	0,71	0,66	0,52
Nesser	0,65	0,48	0,38	0,36	0,77	0,67	0,60	0,50
MW	0,67	0,48	0,45	0,42	0,69	0,64	0,60	0,51
GD (0,05)	0,11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,23	0,2

Tab. 10: Mittelwerte (kg) des Kornertrags /m² von Sommerweizengenotypen bei einer Hitze-stressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Mittelwert		Gesamtmittel	
	normal	stress	normal	stress	normal	stress	normal	stress
El-Neilen	0,58	0,50	0,75	0,68	0,67	0,59	0,73	0,57
Debeira	0,62	0,40	0,89	0,68	0,75	0,54	0,71	0,58
Condor	0,75	0,52	0,59	0,77	0,67	0,64	0,69	0,60
Giza160	0,65	0,35	0,91	0,68	0,78	0,51	0,72	0,56
Giza164	0,60	0,29	0,81	0,68	0,70	0,48	0,66	0,55
Gemiza1	0,59	0,29	0,79	0,83	0,69	0,56	0,69	0,55
Hendi1	0,66	0,41	0,74	0,68	0,70	0,55	0,61	0,55
Hendi2	0,74	0,52	0,75	0,81	0,75	0,67	0,69	0,62
Hendi3	0,81	0,71	0,75	0,79	0,78	0,75	0,67	0,63
Fang60	0,70	0,50	0,90	0,57	0,80	0,53	0,68	0,57
Genaro81	0,71	0,29	0,76	0,77	0,73	0,53	0,74	0,58
Glenson	0,58	0,26	0,75	0,68	0,66	0,47	0,63	0,55
Pavon76	0,69	0,47	0,73	0,71	0,71	0,59	0,67	0,55
Seri82	0,77	0,54	0,83	0,68	0,80	0,61	0,76	0,60
Nacozari76	0,79	0,62	0,79	0,83	0,79	0,72	0,72	0,66
Anza	0,67	0,42	0,82	0,63	0,75	0,53	0,71	0,58
Giza165	0,75	0,32	0,75	0,51	0,75	0,41	0,72	0,51
Nesser	0,67	0,36	0,78	0,64	0,73	0,50	0,67	0,54
MW	0,69	0,43	0,78	0,70	0,73	0,57	0,69	0,57
GD (0,05)	0,28	0,24	0,16	0,21	0,22	0,36		

Tab. 11: Varianztabelle (MQ-Werte) getrennt nach Umwelten (n=108)

Ursache	Behandlung	Genotyp	Behandlung/ Genotyp	Block	Rest
FG	1	17	17	2	70
Umwelt1	0,43***	0,02***	0,03***	0,001	0,002
Umwelt2	0,01*	0,01***	0,02****	0,002	0,002
Umwelt3	0,87***	0,03***	0,01***	0,0001	0,001
Umwelt4	0,96***	0,02***	0,01***	0,003	0,002
Umwelt5	0,03***	0,01***	0,01***	0,0005	0,002
Umwelt6	0,05***	0,02***	0,02***	0,000	0,002
Umwelt7	1,70***	0,05***	0,01*	0,006	0,01
Umwelt8	0,18***	0,01***	0,03***	0,01	0,003

In der Tabelle 12 wurden die Veränderungen im Kornertrag für die einzelnen Genotypen am jeweiligen Ort, im Mittel der Orte und im Mittel über alle Umwelten bei Verschiebung der Aussaatzeit über den S-Index (Susceptibility-Index, s. Methode) erfasst. Für Matana 1995 konnte kein S-Index berechnet werden, da hier im Durchschnitt aller Genotypen keine Ertragsreduktion unter Stress eingetreten war.

Nach einer Varianzanalyse wurde festgestellt, dass es keinen gesicherten Unterschied zwischen den Umwelten bzw. den Genotypen für den S-Index gibt (Tab. 13). Eine Trennung der Wechselwirkung zwischen Umwelten und Genotypen vom Rest ist nicht möglich. Da die Versuchsanlage eine direkte Zuordnung zwischen den Parzellen der Anbauzeiten nicht zulässt, können die Wiederholungen nicht genutzt werden.

Nach S-Index des Kornertrags sind die toleranten und die nichttoleranten Typen von Umwelt zu Umwelt verschieden. Im Durchschnitt der Orte sind 1995 Glenson und Hendi1 an Hand des S-Indexes als Beispiele der tolerantesten Genotypen anzusehen, während El-Neilen, Giza165 und Giza164 zu den nichttoleranten Genotypen gehören (Tab. 12). Auch 1996 gehören Glenson und Hendi1 zu den toleranten sowie El-Neilen und Giza165 zu den nichttoleranten Typen. Dagegen verhält sich z. B. Giza164 1996 im Mittel der Orte anders als im Vorjahr. Widersprüchlich sind außerdem die Ergebnisse von 1997, mit Ausnahme des Genotyps Giza165, der in allen Jahren durchschnittlich als nichttolerant einzustufen ist. Im Mittel über Orte und Jahre sind die Sorten Giza165, sowie Giza160, El-Neilen, Genaro81 und Seri82 nichttolerant. Im Gegenzug erscheinen Hendi3, Nacozari76, Hendi2 und Hendi1 im Durchschnitt tolerant gegenüber Hitze zu sein.

Tab. 12: S-Index des Kornertrages von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1995 - 1997 in Shandweel (Sha), Matana (Mat) und Komombo (Kom) bzw. im Mittel der Orte (MW) und der acht Umwelten in Oberägypten (* kein S-Index berechnet, s. Text oben)

Sorte	1995				1996				1997			Gesamt- mittel
	Sha	Mat*	Kom	MW	Sha	Mat	Kom	MW	Sha	Mat	MW	
El-Neilen	2,41	/	0,80	2,23	0,93	0,51	4,83	1,51	0,39	0,87	0,50	1,26
Debeira	0,54	/	0,38	0,61	0,78	3,68	3,30	1,56	0,95	2,18	1,22	1,05
Condor	0,91	/	0,48	0,95	1,42	3,27	0,57	1,53	0,84	-2,82	0,18	0,75
Giza160	-0,11	/	1,17	0,79	1,05	1,40	3,41	1,47	1,25	2,44	1,50	1,28
Giza164	-0,08	/	1,75	1,53	0,21	-4,86	-1,48	-0,58	1,39	1,55	1,37	0,96
Gemiza1	-0,58	/	1,84	1,29	1,45	2,28	2,13	1,67	1,39	-0,42	0,85	1,17
Hendi1	-0,32	/	0,80	-0,04	1,20	3,14	-7,46	0,58	1,02	0,76	0,96	0,59
Hendi2	1,85	/	1,09	1,35	0,32	-1,10	-1,18	-0,11	0,79	-0,70	0,47	0,58
Hendi3	1,66	/	1,07	0,84	0,80	-2,07	-5,13	-0,15	0,35	-0,55	0,17	0,34
Fang60	1,48	/	0,67	0,40	0,66	-1,79	0,00	0,29	0,80	3,45	1,46	0,93
Genaro81	1,22	/	1,02	1,31	1,17	3,23	1,04	1,39	1,59	-0,10	1,22	1,24
Glenson	-0,71	/	0,20	-0,16	1,25	-2,23	-0,29	0,63	1,47	0,92	1,28	0,73
Pavon76	2,14	/	0,75	1,32	0,99	1,08	3,30	1,37	0,85	0,23	0,72	1,03
Seri82	0,68	/	0,72	1,06	1,46	0,12	4,54	1,75	0,80	1,74	1,04	1,21
Nacozari76	1,72	/	0,58	0,44	1,00	0,96	-0,29	0,81	0,59	-0,43	0,38	0,48
Anza	1,43	/	0,85	1,00	0,96	1,31	0,78	0,88	1,01	2,18	1,28	1,05
Giza165	1,58	/	2,04	1,76	1,30	3,54	0,77	1,50	1,55	3,05	1,96	1,68
Nesser	-0,28	/	1,72	0,76	0,95	0,50	2,25	1,12	1,24	1,71	1,35	1,12

Tab. 13: Varianztabelle der Genotypen und Umwelten für den S-Index ohne Matana 1995

Varianzursache	FG	MQ	F	P
Genotyp	17	3,79	1,44	0,1338
Umwelten	6	0,42	0,16	0,9868
Rest	102	2,63		
Gesamt	125			

Tausendkornmasse (TKM)

Das Merkmal Tausendkornmasse wurde im Versuchsjahr 1995 in Matana (Tab. 14) nicht erfasst, daher gab es insgesamt nur sieben Umwelten. Im Durchschnitt der Genotypen ging die TKM an allen Umwelten durch eine Verschiebung der Aussaatzeit zurück. Aber bei einer Betrachtung der Genotypen wurde ersichtlich, dass einige Genotypen unter dem Spätanbau eine ansteigende TKM gegenüber normalem Anbau zeigten (Tab. 14 – 16). Die Differenz zwischen der TKM des

normalen Anbaus und der TKM des Spätanbaus variierte je nach Genotyp. Im Durchschnitt der Orte ging die TKM von Anza und El-Neilen 1995 um 16 bzw. 14% zurück. 1996 verlor Gemiza1 fast 19 % an der TKM, gefolgt von Giza165 mit 17 % Rückgang. 1997 wurde die höchste

Tab. 14: Mittelwerte der TKM von Sommerweizengentypen bei einer Hitzestressprüfung bei Normal- und Stressanbau 1995 an zwei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Komombo		Über aller Orte	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	50,3	41,8	57,3	51,3	53,8	46,6
Debeira	37,2	37,2	47,7	40,0	42,4	38,6
Condor	36,3	37,5	47,3	51,0	41,8	44,3
Giza160	42,8	40,5	54,7	51,0	48,8	45,8
Giza164	43,8	37,8	51,7	50,0	47,8	43,9
Gemiza1	46,2	40,5	49,3	49,3	47,8	44,9
Hendi1	46,2	42,8	48,3	47,0	47,3	44,9
Hendi2	41,3	46,0	58,0	49,3	49,7	47,7
Hendi3	42,7	45,8	47,3	48,5	45,0	47,2
Fang60	38,7	35,0	41,3	40,3	40,0	37,7
Genaro81	35,0	37,2	48,7	40,7	41,8	38,9
Glenson	37,3	42,0	44,7	49,7	41,0	45,8
Pavon76	37,2	36,7	47,7	41,3	42,4	39,0
Seri82	40,5	40,0	46,7	40,7	43,6	40,3
Nacozari76	33,5	36,7	44,7	40,1	39,1	38,4
Anza	41,2	34,5	47,2	39,4	44,2	37,0
Giza165	43,8	39,3	45,3	47,6	44,6	43,5
Nesser	35,0	36,2	43,7	49,3	39,3	42,8
MW	40,5	39,3	48,4	45,9	44,5	42,6
GD (0,05)	8,6	7,9	6,8	5,9	9,5	9,7

Reduktion der TKM um 35% bei Pavon76 festgestellt, gefolgt von Giza165 mit einer Reduktion um 34%. Auch andere Genotypen haben eine viel geringere TKM gebracht. Die Sorten Condor, Hendi3, Glenson und Nesser zeigten 1995 und Anza 1996 einen Anstieg in der TKM bei der Verschiebung der Aussaatzeit. Eine Interaktion zwischen den Genotypen und den Anbauzeiten besteht bei der TKM in allen Umwelten. Die Genotypen wurden getrennt nach der Anbauzeit, den Anbaujahren und den Standorten verglichen. Es wurde eine signifikante Differenzierung der

Genotypen bei allen Varianten gefunden. Die Rangfolge der Genotypen in Abhängigkeit von der TKM ist unter den beiden Anbauvarianten verschieden.

Tab. 15: Mittelwerte der TKM von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung bei Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Über aller Orte	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	43,7	44,8	52,7	44,8	53,3	42,0	49,9	43,9
Debeira	38,0	35,2	43,1	39,7	46,7	40,0	42,6	38,3
Condor	37,2	30,3	40,7	35,5	35,3	36,7	37,7	34,2
Giza160	46,0	37,5	45,2	42,0	49,7	39,0	47,0	39,5
Giza164	42,2	32,8	39,9	42,2	45,0	43,7	42,4	39,6
Gemiza1	38,3	31,5	44,4	37,7	47,0	36,3	43,2	35,2
Hendi1	36,0	37,0	44,2	42,0	43,3	43,7	41,2	40,9
Hendi2	41,2	37,3	48,8	44,3	46,7	41,7	45,6	41,1
Hendi3	36,8	35,3	37,6	38,2	48,3	39,3	40,9	37,6
Fang60	35,0	34,0	40,4	36,4	44,0	36,7	39,8	35,7
Genaro81	34,8	28,3	39,0	39,0	44,0	36,0	39,3	34,4
Glenson	32,5	30,7	41,7	38,9	42,0	42,7	38,7	37,4
Pavon76	38,5	29,2	38,1	38,1	46,0	39,3	40,9	35,5
Seri82	36,5	31,1	41,6	40,6	43,3	38,0	40,5	36,6
Nacozari76	33,7	39,2	42,5	39,7	36,7	33,7	37,6	37,5
Anza	36,8	35,5	47,7	50,2	36,0	37,3	40,2	41,0
Giza165	45,2	33,5	42,1	40,9	50,3	39,7	45,9	38,0
Nesser	34,8	26,8	35,6	37,3	38,0	33,3	36,1	32,5
MW	38,2	33,9	42,5	40,4	44,2	38,8	41,6	37,7
GD (0,05)	10,2	7,3	8,2	8,2	8,6	8,0	7,7	7,5

Tab. 16: Mittelwerte der TKM von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung bei Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Mittelwert		Gesamtmittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	54,8	39,0	49,0	46,1	51,9	42,5	53,1	44,3
Debeira	44,2	33,4	53,7	50,0	48,9	41,7	45,2	39,4
Condor	43,1	37,6	43,0	41,9	43,0	39,7	40,2	38,6
Giza160	50,6	38,9	47,6	33,7	49,1	36,3	47,2	40,4
Giza164	48,7	30,9	50,2	40,1	49,4	35,5	45,9	39,7
Gemiza1	46,9	30,1	48,6	40,1	47,8	35,1	46,8	37,9
Hendi1	50,3	35,2	46,2	47,0	48,2	41,1	44,8	42,1
Hendi2	55,3	38,6	48,6	44,8	51,9	41,7	47,8	43,1
Hendi3	54,1	40,1	48,8	47,6	51,4	43,9	44,8	42,1
Fang60	50,5	34,3	40,2	36,1	45,4	35,2	41,2	36,1
Genaro81	46,7	39,5	42,6	40,9	44,6	40,2	42,0	37,4
Glenson	49,0	32,4	47,3	38,1	48,1	35,2	42,4	39,2
Pavon76	52,6	29,4	48,1	35,7	50,3	32,5	43,9	35,7
Seri82	53,3	34,7	45,6	46,6	49,4	40,7	44,0	38,8
Nacozari76	50,3	31,1	44,8	39,1	47,6	35,1	42,5	37,1
Anza	51,5	34,5	42,3	40,4	46,9	37,4	42,1	38,8
Giza165	55,0	35,6	48,2	32,0	51,6	33,8	47,4	38,4
Nesser	47,0	36,9	45,6	36,8	46,3	36,9	40,0	36,7
MW	50,2	35,1	46,7	41,0	48,4	38,0	44,5	39,2
GD (0,05)	5,6	7,6	7,5	8,0	8,5	10,2		

Bestandsdichte

Bei den ährentragenden Halmen/m² gab es 1995 in Komombo und 1997 in Shandweel zwischen den Anbauzeiten sehr große Unterschiede. Bei später Aussaat war die Halmzahl deutlich geringer. Die Einzelergebnisse sind im Anhang (Tab. A2-A4) zusammengestellt. Im Durchschnitt der Umwelten bestand keine Interaktion der Genotypen mit der Anbauzeit.

Termin des Blühbeginns

Der Vergleich der Hitzestressvariante mit ihrer Kontrolle zeigt, dass im Allgemeinen bei der Verschiebung des Aussattermins auf eine spätere Zeit eine Verkürzung der vegetativen Phase im Mittel der Genotypen erfolgte. Eine Ausnahme war Matana 1997.

Tab. 17: Mittelwerte für die Zeitspanne von Aussaat bis zum Blühbeginn (in Tagen) von Sommerweizengentypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		über aller Orte	
	norma l	Stress	norma l	Stress	norma l	Stress	norma l	Stress
El-Neilen	94	84	87	80	91	83	91	82
Debeira	102	88	93	81	95	89	97	86
Condor	105	89	99	85	97	89	100	87
Giza160	94	80	88	79	88	84	90	81
Giza164	105	93	96	87	95	91	99	91
Gemiza1	109	95	103	84	98	97	103	92
Hendi1	91	81	83	78	89	84	88	81
Hendi2	90	83	81	77	82	83	84	81
Hendi3	93	84	81	82	89	83	88	83
Fang60	102	88	90	82	92	87	95	86
Genaro81	107	91	96	86	98	91	101	89
Glenson	107	90	97	85	97	92	100	89
Pavon76	104	86	94	83	95	90	97	87
Seri82	104	89	96	85	98	89	100	88
Nacozari76	103	87	90	82	94	88	96	85
Anza	106	91	97	87	98	91	100	90
Giza165	108	95	103	90	98	91	103	92
Nesser	105	89	92	87	92	93	96	90
MW	102	88	93	83	94	89	96	87
GD (0,05)	4	4	6	6	5	6	8	5

Tab. 18: Mittelwerte für die Zeitspanne von Aussaat bis zum Blühbeginn (in Tagen) von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		über aller Orte	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	93	85	82	77	77	74	84	79
Debeira	104	93	92	82	82	75	93	84
Condor	105	93	100	86	84	79	96	86
Giza160	92	83	82	79	75	76	83	80
Giza164	104	92	97	84	84	82	95	86
Gemiza1	97	95	103	88	92	86	97	90
Hendi1	91	89	76	77	72	71	79	79
Hendi2	92	88	77	78	73	71	81	79
Hendi3	93	87	78	78	71	73	81	79
Fang60	102	90	88	80	80	77	90	82
Genaro81	106	94	96	85	79	82	94	87
Glenson	102	95	102	85	86	82	97	87
Pavon76	105	93	93	82	83	79	94	85
Seri82	107	94	96	87	81	81	95	87
Nacozari76	104	91	91	84	82	76	92	84
Anza	106	93	99	85	86	78	97	85
Giza165	98	94	103	88	88	86	96	89
Nesser	105	94	102	86	84	78	97	86
MW	100	91	92	83	81	78	91	84
GD (0,05)	5	6	4	5	5	5	15	10

Die Sorten unterschieden sich in allen drei Jahren zu beiden Aussaatterminen und an allen Orten hinsichtlich des Termins des Blühbeginns (Tab. 17 – 19). Im Gegensatz zu anderen Merkmalen sind bei dem Termin des Blühbeginns die Korrelationen zwischen den Aussaatzeiten relativ stark (Tab. 21). Das bedeutet, dass die Verschiebung der Aussaatzeit keine wesentliche Wirkung auf die Rangordnung der untersuchten Genotypen im Termin des Blühbeginns hatte. Dabei sind im Mittel der Umwelten die Hendi-Gruppe bzw. Giza160 sowie El-Neilen die frühesten Typen (Tab. 19). Gemiza1, Giza165, Glenson und Genaro81 vertreten die spätesten Typen. Durch die verspätete Aussaat verkürzte sich die vegetative Phase 1995 im Mittel der Orte und Genotypen um ca. 9 Tage und 1996 um ca. 7 Tage. Dagegen wurde 1997 keine Verkürzung der vegetativen

Phase im Mittel der Orte festgestellt, da am Standort Matana unter der späten Aussaat eine längere vegetative Phase im Durchschnitt der Genotypen ermittelt wurde als unter der normalen Aussaat. Unter beiden Anbausituationen haben die Genotypen eine längere vegetative Phase im nördlicher liegenden Ort Shandweel als in Matana und Komombo.

Tab. 19: Mittelwerte für die Zeitspanne von Aussaat bis zum Blühbeginn (in Tagen) von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Genotyp	Shandweel		Matana		Mittelwert		Gesamtmittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	98	97	84	88	91	93	88	83
Debeira	103	100	88	92	96	96	95	87
Condor	103	97	89	92	96	95	98	88
Giza160	98	94	86	88	92	91	88	83
Giza164	111	102	92	93	102	98	98	90
Gemiza1	113	105	93	96	103	101	101	93
Hendi1	99	95	81	89	90	92	85	83
Hendi2	98	96	81	90	89	93	84	83
Hendi3	98	95	81	88	90	91	86	83
Fang60	103	99	87	91	95	95	93	86
Genaro81	109	100	90	92	100	96	98	90
Glenson	105	102	92	93	99	98	98	90
Pavon76	105	101	89	92	97	96	96	88
Seri82	105	99	89	91	97	95	97	89
Nacozari76	104	97	87	90	96	93	94	86
Anza	111	101	90	91	101	96	99	89
Giza165	113	105	91	97	102	101	100	93
Nesser	104	98	89	91	97	95	97	89
MW	104	99	88	91	96	95	94	87
GD (0,05)	7	7	3	3	20	10		

Pflanzenlänge

An allen Standorten ist beim Übergang vom ersten zum zweiten Aussattermin ein Rückgang der Pflanzenlänge zu beobachten. Ein Unterschied zwischen den Genotypen hinsichtlich der Pflanzen-

länge (Tab. A5 – A7) wurde an allen Orten und zu beiden Aussaatzeiten mit Ausnahme von Shandweel 1996 festgestellt.

Es wurden Korrelationen zwischen den Merkmalen berechnet. Die meisten dieser Korrelationen waren nicht signifikant. Im allgemeinen sind die Korrelationswerte niedrig (Tab.20).

Tab. 20: Korrelationen zwischen den Merkmalen bei einem Hitzestressversuch 1995 - 1997 an Standorten Shandweel (Sha), Matana (Mat) und Komombo (Kom) bzw. über Mittel der Orte in Oberägypten

		a) Normale Aussaat										
		1995				1996				1997		
Merkmal1	Merkmal2	Sha	Mat	Kom	gesamt	Sha	Mat	Kom	gesamt	Sha	Mat	gesamt
Ertrag	Ährenzahl	-0,08	-0,12	0,29	0,13	0,30	-0,31	0,52*	0,30	0,24	0,06	-0,17
Ertrag	Blühbeginn	-0,10	0,46	0,49*	0,28	-0,32	0,10	0,56*	0,36	-0,16	0,05	-0,18
Ertrag	Pflanzenlänge	-0,22	-0,39	-0,49*	-0,27	0,22	-0,07	-0,31	-0,11	-0,05	0,30	0,11
Ertrag	TKM	-0,18	0,25	-0,15	0,19	0,27	0,39	-0,03	0,34	0,30	0,11	0,09
Ährenzahl	Blühbeginn	0,29	-0,24	0,15	0,32	-0,07	0,14	0,67**	0,37	0,09	-0,01	-0,04
Ährenzahl	Pflanzenlänge	-0,36	-0,44	-0,29	-0,62**	-0,21	0,56*	-0,03	-0,54*	-0,19	-0,07	-0,11
Ährenzahl	TKM	0,05	-0,48*	-0,38	-0,66**	0,17	0,13	-0,10	-0,09	-0,34	-0,20	-0,47*
Blühbeginn	Pflanzenlänge	-0,18	-0,21	-0,10	-0,18	-0,06	-0,31	-0,08	-0,21	-0,01	-0,11	-0,03
Blühbeginn	TKM	-0,41	0,05	-0,54*	-0,28	-0,49*	-0,37	-0,28	-0,47*	-0,23	-0,10	-0,32
Pflanzenlänge	TKM	0,60**	0,54*	0,38	0,58**	0,15	0,24	0,59**	0,45	0,39	0,28	0,45
		b) Späte Aussaat										
Ertrag	Ährenzahl	-0,05	-0,21	0,23	0,29	0,37	-0,21	0,04	-0,23	0,14	0,08	0,05
Ertrag	Blühbeginn	0,10	0,19	-0,19	-0,01	-0,48*	-0,09	0,29	-0,15	-0,60**	-0,27	-0,58*
Ertrag	Pflanzenlänge	-0,50*	-0,31	-0,21	-0,51*	0,52*	0,27	-0,21	0,33	0,05	0,17	-0,04
Ertrag	TKM	-0,14	-	-0,58**	-0,57**	0,41	0,44	-0,13	0,38	0,25	0,41	0,47*
Ährenzahl	Blühbeginn	0,02	0,02	0,06	0,14	-0,16	0,00	0,00	-0,04	-0,36	0,22	0,06
Ährenzahl	Pflanzenlänge	-0,38	0,06	-0,42	-0,38	0,17	-0,40	-0,46	-0,49*	-0,30	0,08	-0,11
Ährenzahl	TKM	-0,46	-	-0,22	-0,19	-0,08	-0,21	-0,47*	-0,26	0,45	-0,28	-0,16
Blühbeginn	Pflanzenlänge	-0,15	-0,36	-0,22	-0,28	-0,30	-0,65**	-0,05	-0,44	0,16	-0,07	0,00
Blühbeginn	TKM	-0,47*	-	-0,13	-0,35	-0,75***	-0,24	-0,20	-0,59**	-0,61**	-0,45	-0,59**
Pflanzenlänge	TKM	0,22	-	0,12	0,21	0,45	0,15	0,54*	0,56*	-0,16	0,13	-0,06

Um Veränderungen des Verhaltens von Genotypen unter dem Hitzestress feststellen zu können, wurden für gleiche Merkmale die Korrelationskoeffizienten zwischen beiden Aussaatzeiten berechnet. Diese Korrelationskoeffizienten sollen einen Hinweis geben, inwieweit durch den Hitzestress eine Rangänderung der Genotypen erfolgt. Die Korrelationskoeffizienten für den Kornertrag sind mit einer Ausnahme (Shandweel 1997) an allen Orten niedrig und nicht signifikant (Tab. 21), d.h., dass die Rangfolge unter Stress anders ist als bei normaler Aussaat.

Wie in der Tabelle ersichtlich ist, sind die beiden Aussaatvarianten auch bei der Ährenzahl teilweise schlecht korreliert. Die verschiedenartige Reaktion der Genotypen auf die Anbauzeit

zeigte sich für den Ertrag in niedrigen und teilweise negativen Korrelationskoeffizienten zwischen den Anbauzeiten.

Tab. 21: Korrelation zwischen den Aussaatzeiten bei den Hitzestressversuchen 1995, 1996 und 1997 an drei Standorten in Oberägypten

Jahr	Ort	Ertrag	TKM	Blühbeginn	Anzahl ährentra- gender Halme	Pflanzen- länge
1995	Shandweel	-0,11	0,51*	0,90***	0,39	0,82***
	Matana	-0,27	-	0,81***	0,01	0,70***
	Komombo	0,39	0,48*	0,76***	0,47*	0,33
1996	Shandweel	0,46	0,42	0,76***	0,52*	0,49*
	Matana	0,02	0,72***	0,95***	0,91***	0,90***
	Komombo	-0,02	0,51*	0,84***	0,43	0,87***
1997	Shandweel	0,70**	0,19	0,90***	0,55*	0,42
	Matana	-0,33	0,36	0,78***	0,27	0,36

Es wurde auch ein Korrelationskoeffizient zwischen dem S-Index und den Kornerträgen der Kontroll- bzw. der Stressvariante berechnet (Abb. 3). Aus dem Diagramm ergibt sich, dass der potenzielle Ertrag (Ertrag der Kontrolle) besser mit dem S-Index korreliert als mit dem Ertrag unter dem Stress, auch wenn wegen der geringen Stichprobe (n=18) die Korrelationskoeffizienten nicht signifikant(ns) sind.

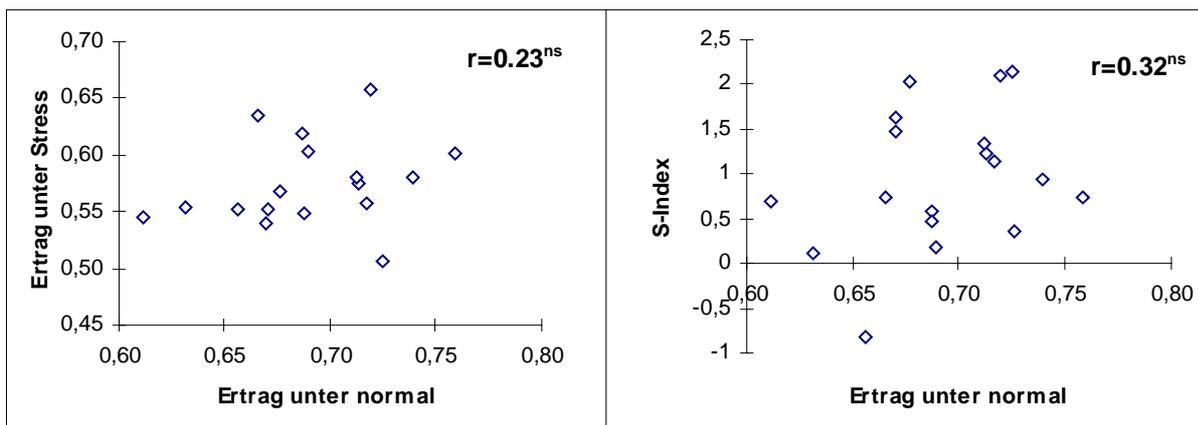


Abb. 3: Beziehungen zwischen den mittleren potenziellen Kornerträgen (kg/m^2) und den mittleren Kornerträgen unter dem Stressanbau (links) sowie dem S-Index von Sommerweizensorten (rechts) nach einem Anbau unter der normalen und der Hitzestressbedingung in Oberägypten (Die Werte stellen Mittelwerte aus acht Umwelten dar.)

4.1.2 Klimakammerprüfungen in Bernburg

Der durchschnittliche Kornertrag der Hauptähre im Versuchsjahr 1995 kann der Tab.22 entnommen werden. Es gab einen Rückgang des Ertrages unter Hitzestress im Vergleich zur Kontrolle.

Tab. 22: Hitzewirkung auf Merkmale von Sommerweizensorten nach einer Behandlung zu zwei Entwicklungsstadien (DC47 und DC61) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (K) 1995 in Bernburg (GD: Tukey-Test; a: ohne Munk, b: ohne Munk, Star und Naxos)

Sorte	Land	Kornertrag (g)/Ähre			Kornzahl/Ähre			Spindelstufe			Fertilität			TKM		
		DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K
Wadi-Elnile	E	0,83	0,13	1,92	12,61	3,25	31,25	19,81	19,69	19,77	0,64	0,17	1,58	67,05	39,37	61,49
Siete-Cerros	C	0,27	0,48	2,69	5,63	10,98	60,29	21,28	22,01	22,18	0,26	0,50	2,72	48,20	43,44	44,53
Debeira	S	0,84	0,31	2,05	17,59	8,66	39,81	22,59	22,75	22,56	0,78	0,38	1,76	47,90	33,35	51,53
Nacozari76	C	0,00	0,05	2,09	0,03	1,41	44,06	21,00	20,94	20,69	0,00	0,07	2,13	17,50	33,10	47,52
Glenson	C	0,48	0,12	1,52	9,84	2,91	29,67	20,19	20,34	20,01	0,49	0,14	1,50	48,61	41,19	51,21
Giza164	E	0,34	0,27	2,46	6,31	6,14	44,09	21,94	21,81	21,47	0,29	0,29	2,06	53,18	44,68	55,83
Genaro81	C	0,47	0,64	1,82	9,66	13,94	40,94	21,16	21,81	21,41	0,46	0,64	1,91	48,72	45,91	44,61
Gemiza1	C	0,89	0,61	1,96	15,37	11,38	36,90	20,76	21,06	21,70	0,74	0,54	1,70	57,70	53,37	53,15
Munk	D	0,55	0,90	1,24	13,47	29,00	43,91	27,68	26,75	26,84	0,49	1,09	1,64	42,36	30,27	28,35
Star	D	0,33	1,27	1,69	6,88	35,63	47,32	24,97	25,03	25,52	0,28	1,42	1,85	46,94	35,83	35,74
Naxos	D	1,23	1,49	1,98	31,81	38,94	52,59	34,81	26,19	26,72	1,00	1,49	1,97	38,64	38,88	37,84
MW		0,57	0,57	1,95	11,75	14,75	42,80	23,29	22,58	22,62	0,49	0,61	1,89	46,98	39,95	46,53
GD (0,05)		0,76	0,76	0,68	17,90	21,30	17,17	14,30	2,20	2,80	0,90	0,87	0,78	32,10	14,60	9,50
GD ^a (0,05)		0,62	0,62	0,70	13,20	19,00	16,70	14,90	2,30	2,60	0,80	0,79	0,74	33,30	14,50	9,80
GD ^b (0,05)		0,44	0,56	0,78	8,80	12,80	16,29	2,80	1,90	2,50	0,45	0,59	0,79	37,20	14,70	9,30

Die Höhe der Ertragsreduktion ist allerdings unterschiedlich, woraus eine signifikante Interaktion zwischen den Genotypen und der Hitzebehandlung resultierte (Tab.23). Ohne Hitzestresswirkung schnitt die Sorte Siete-Cerros am besten ab. Zwei deutsche Sorten lagen unter dem Sortendurchschnitt, was wahrscheinlich auf eine nicht optimale Tageslänge zurückzuführen ist. Unter den Bedingungen des Hitzestresses war die Sorte Naxos die beste. Für die deutschen Genotypen war eine Ertragsreduktion durch Hitzeeinwirkung im Stadium DC 47 höher als im Stadium DC61. Bei den Sorten aus Ägypten und dem Sudan ist das Gegenteil zu beobachten. Ein starker Ertragsrückgang trat bei den CIMMYT-Sorten auf. Vor allem scheint die Sorte Nacozari76 besonders hitzesensitiv zu sein. Sie bildete fast keinen Kornertrag unter Hitzestressbedingungen.

Kornertrag und Kornzahl korrelierten insbesondere unter der Stresssituationen stark positiv (Tab. 24). Daher sind erwartungsgemäß die Ergebnisse beider Merkmale ähnlich. Wieder hatte Siete-Cerros unter Kontrollbedingung die höchsten Kornzahl, während unter Hitzestress die Sorte Naxos am besten abschnitt.

Tab. 23: Zweifaktorielle Analyse für Genotyp und Hitzebehandlung 1995 in Bernburg

Variationsursache	FG	MQ	
		Kornertrag	Kornzahl
Wiederholungen	1	0,27	2,42
Sorten	10	15,53**	17,62**
zwischen Ländern	3	10,39**	25,99**
innerhalb Ägypten	2	38,12**	12,18**
innerhalb CIMMYT	3	12,53**	5,67**
innerhalb Deutschland	2	4,78**	27,96**
Behandlungen	2	357,21**	64,91**
Sorten/Behandlungen	20	6,59**	3,94**
zwischen Gefäßen	32	1,37	0,91
innerhalb der Gefäße	976	0,79	0,66

Tab. 24: Korrelation zwischen den Merkmalen unter verschiedenen Varianten der Hitzebehandlung (n=11)

Merkmal 1	Merkmal 2	DC47	DC61	Kontrolle
Kornertrag	Kornzahl	0,95***	0,98***	0,51
Kornertrag	Fertilität	0,99***	0,99***	0,80**
Kornertrag	TKM	0,42	-0,09	0,44
Kornzahl	Fertilität	0,94***	1,00	0,85***
Kornzahl	TKM	0,18	-0,25	-0,54
Fertilität	TKM	0,41	-0,19	-0,12

Die drei deutschen Sorten hatten unter allen Varianten mehr Spindelstufen als die anderen Sorten. Eine nicht signifikante Genotyp/Behandlung-Interaktion bei der Anzahl der Spindelstufen deutet darauf hin, dass unter dem Stress keine Veränderung bei diesem Merkmal sichtbar ist (Tab. 25). Daraus resultierend sind die Ergebnisse der Fertilität (Kornzahl/Spindelstufe) mit denen der Kornzahl vergleichbar. Höhere Fertilität wurde ohne Hitzestress bei Siete-Cerros und unter Stress bei Naxos gefunden.

Tab. 25: Korrelation der Varianten der Hitzebehandlung bei verschiedenen Merkmalen

Variante1	Variante2	Kornertrag	Kornzahl	TKM	Spindelstufe	Fertilität
DC47	DC61	0,41	0,54	0,51	0,87***	0,33
DC47	Kontrolle	-0,18	0,04	0,47	0,88***	-0,44
DC61	Kontrolle	-0,26	0,49	0,46	0,99***	0,00

Im Versuchsjahr 1996 reichte für die deutschen Sorten die Lichtdauer nicht aus, um Körner bilden zu können. Auch die Anzahl der gebildeten Spindelstufen bei diesen Sorten war gegenüber dem Vorjahr reduziert. Diese Genotypen sind bei der Auswertung daher nicht berücksichtigt worden. Ein direkter Vergleich der beiden Versuche ist nicht möglich, da Veränderungen bei Anzuchtbedingungen die Resultate beeinflussten.

Tab. 26: Hitzewirkung auf Ertragsmerkmale bei Sommerweizensorten nach einer Behandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (K) 1996 in Bernburg (GD: Tukey-Test)

Sorte	Kornertrag (g)/Ähre			Kornzahl/Ähre			Spindelstufe			Fertilität			TKM		
	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K	DC 47	DC 61	K
Wadi-Elnile	0,89	1,66	1,59	21,55	45,85	43,85	20,15	20,50	20,15	1,07	2,24	2,17	44,14	36,15	36,54
Siete-Cerros	-	1,12	0,84	-	52,15	59,70	-	22,00	21,65	-	2,37	2,76	-	21,49	14,05
Debeira	0,56	1,06	0,84	23,25	39,75	42,50	22,95	23,15	23,15	1,01	1,71	1,84	23,89	26,97	19,77
Nacozari76	-	1,32	1,02	-	39,06	45,25	-	21,54	21,35	-	1,81	2,12	-	33,90	22,40
Glenson	0,70	0,78	0,71	32,81	38,62	45,45	21,50	21,17	20,90	1,51	1,82	2,18	21,55	20,37	15,60
Giza164	1,13	1,37	0,92	34,15	46,95	49,30	22,15	22,50	22,80	1,54	2,09	2,16	32,90	29,21	18,65
Genaro81	0,80	0,77	0,57	38,32	41,60	42,85	22,30	21,40	22,65	1,72	1,94	1,89	20,79	18,54	13,29
Gemiza1	0,95	0,97	0,69	34,45	38,05	40,39	21,65	22,10	22,15	1,59	1,72	1,83	27,57	25,34	17,06
MW	0,84	1,13	0,90	30,75	42,75	46,16	21,78	21,80	21,85	1,41	1,96	2,12	28,48	26,50	19,67
GD (0,05)	0,64	0,33	0,45	26,93	10,76	11,40	2,50	2,82	2,52	1,17	0,42	0,63	22,58	7,09	11,47
Wadie-Elnile	0,66		1,59	12,26		43,85	19,88		20,15	0,62		2,17	50,85		36,54
Debeira	0,19		0,84	3,55		42,50	21,00		23,15	0,17		1,84	52,37		19,77
Nacozari76	0,07		1,02	1,25		45,25	20,45		21,35	0,06		2,12	26,70		22,40

Die Werte für die Kornzahl/Ähre (Tab. 26) lagen bei den hitzebehandelten Varianten unter denen der Kontrolle. Dieser Unterschied war besonders bei Hitzewirkung zu DC 47 deutlich. Zu DC 61 war der Unterschied zur Kontrolle gering. Der Kornertrag/Ähre war bei dieser Variante höher als

bei der Kontrollvariante. Der Hitzestress zeigte auf die Anzahl der Spindelstufen keine Wirkung. Dadurch waren die Ergebnisse der Ährenfertilität den Ergebnissen der Kornzahl ähnlich. Die TKM war bei Stressvarianten höher als die Kontrolle. Der Unterschied zwischen beiden Hitzevarianten war in der TKM im Durchschnitt der Genotypen nicht groß. Die Sorte Wadi-Elnile zeigte auffällig hohe TKM bei allen Varianten.

Bei den Sorten Wadi-Elnile, Debeira und Nacozari76 wurde in einer weiteren Variante an DC47 eine Hitzevorbehandlung bei 30°C für 48h vorgenommen. Diese führte bei den Sorten zur einen starken Reduktion in der Kornzahl und dadurch im Kornertrag/Ähre (s. die letzten drei Zeilen der Tab. 26).

4.1.3 Klimakammerprüfungen in Hohenthurm

4.1.3.1 Physiologische Merkmale

Die Reaktion der untersuchten Sorten auf eine kurzzeitige Einwirkung der hohen Temperatur wurde an Hand der Blatttemperatur, der Transpirations- und Nettophotosyntheserate und der Sto-

Tab. 27: Korrelationen der Blatttemperatur, Stomataleitfähigkeit, Transpirations- und Photosyntheserate der Fahrenblätter mit Größen ihrer Messbedingungen bei einer Messung von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte im Vergleich zur ihren Kontrollen (k_1 und k_2)

Messbedingungen	Hitzevarianten	Blatttemperatur	Transpirationsrate	Nettophotosyntheserate	Stomataleitfähigkeit
Temperatur der Umgebung	b_1	0,70*	0,05	-0,10	-0,30
	k_1	0,82**	0,29	-0,47	-0,54
	b_2	-0,30	0,49	0,33	0,48
	k_2	0,46	0,01	-0,77**	-0,15
Photosynthetisch aktive Strahlung	b_1	-0,33	0,51	0,47	0,39
	k_1	-0,17	0,27	0,37	0,35
	b_2	-0,13	0,33	0,24	0,22
	k_2	0,45	-0,09	-0,53	-0,33
Gasdurchflussmenge am Messküvetzeneingang	b_1	-0,52	0,62	0,40	0,66*
	k_1	-0,12	0,00	0,16	0,13
	b_2	-0,36	0,37	0,45	0,33
	k_2	-0,13	-0,33	0,36	-0,13
Barometrischer Luftdruck	b_1	-0,61	0,29	0,68*	0,29
	k_1	-0,70*	0,07	0,78**	0,58
	b_2	0,20	-0,32	-0,20	-0,34
	k_2	-0,14	-0,31	0,68*	-0,10

mataleitfähigkeit der Fahnenblätter des Haupthalmes untersucht. Die Merkmale wurden unter möglichst gleichen Messbedingungen erfasst. Der Einfluss der Messbedingungen auf die Merkmalsausprägung wurde über eine Korrelation ermittelt (Tab. 27).

Eine signifikante Korrelation wurde zwischen der Blatttemperatur und der Umgebungstemperatur bei der Hitzebehandlung vor der Blüte und bei ihrer Kontrolle, sowie zwischen der Umgebungstemperatur und der Nettophotosyntheserate bei der Kontrollvariante der Hitzebehandlung nach der Blüte festgestellt. Die Blatttemperatur korrelierte negativ mit dem Luftdruck, allerdings nur bei den Varianten vor der Blüte. Signifikant war auch die Korrelation zwischen dem Luftdruck und der Nettophotosyntheserate bei der Hitzebehandlung vor der Blüte, ihrer Kontrolle und bei der Kontrolle für die Hitzebehandlung nach der Blüte. Der Zusammenhang zwischen Stomataleitfähigkeit und Gasdurchflussmenge war vor der Blüte für die behandelte Variante signifikant. Die fehlende Konstanz der Messbedingungen bei den Sorten beeinflusste die Bewertung der Hitzeverträglichkeit (Tab. 27).

Die drei Varianten der Hitzebehandlung (s. Material und Methoden) wurden an Hand der Blatttemperatur, der Transpirations- und Nettophotosyntheserate und der Stomataleitfähigkeit der Fahnenblätter miteinander korreliert. Eine signifikante Korrelation ($r = 0,71^*$) wurde bei der Nettophotosyntheserate zwischen der Hitzebehandlung vor der Blüte und ihrer Kontrolle festgestellt. In anderen Merkmalen wurde keine signifikante Korrelation zwischen den Varianten gefunden (Tab. 28).

Tab. 28: Korrelation ausgewählter Parameter bei Hitzebehandlungen vor und nach der Blüte miteinander sowie mit der Kontrolle (k_1 bzw. k_2) bei Sommerweizensorten

	vor-nach	vor- k_1	nach- k_2
Transpirationsrate	0,13	0,52	0,19
Nettophotosyntheserate	0,25	0,71*	0,12
Blatttemperatur	-0,02	0,55	0,24
Stomataleitfähigkeit	0,16	0,21	0,36

Bei dem Genotyp Debeira, bei dem die Transpirationsrate nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte um fast 40% bzw. 80% zurückgegangen war (Tab. 29), wurde ein Anstieg der Blatttemperatur um 2,4 bzw. 4,6°C gegenüber der Kontrolle festgestellt (s. Tab. 30). Demgegenüber zeigte die Sorte Glenison eine unveränderte Transpiration bzw. Blatttemperatur bei der Hitzebehandlung vor der Blüte. Bei der Behandlung nach der Blüte ist die Transpiration dieser Sorte zwar auf 85% der Kontrolle zurückgegangen und die Blatttemperatur um 1,1°C gestiegen, sie hat sich aber im Vergleich zu anderen Genotypen am wenigsten verändert. Die bei der Sorte Naxos

im Vergleich zur Kontrolle angestiegene Transpirationsrate nach einer Hitzebehandlung vor der Blüte ist auf die niedrige Transpirationsrate der Kontrolle zurückzuführen.

Obwohl bei der Hitzebehandlung vor der Blüte die Änderung der Blatttemperatur im Vergleich zur Kontrolle gering ist, beträgt sie bei der Behandlung nach der Blüte im Mittel der Sorten 2,6°C (Tab. 29). Eine Korrelation der Transpirationsrate mit der Blatttemperatur ergab einen negativen Zusammenhang dieser Merkmale ($r = -0,30$ und $r = -0,66^*$ für die Kontroll- bzw. Hitzevariante vor der Blüte, $r = -0,77^{**}$ und $r = -0,94^{***}$ für die Kontroll- bzw. Hitzevariante nach der Blüte).

Tab. 29: Transpirationsrate ($\text{mmol/m}^2\text{s}$) und Blatttemperatur ($^{\circ}\text{C}$) der Fahnblätter von Sommerweizengenotypen nach einer Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (k_1 und k_2) [b in % von k für die Transpirationsrate, GD: Tukey-Test]

Sorte	Transpirationsrate				Blatttemperatur			
	b_1	k_1	b_2	k_2	b_1	k_1	b_2	k_2
Giza164	43,9	4,0	84,2	5,5	28,6	25,0	27,3	25,7
Debeira	62,4	5,6	19,7	5,7	24,5	22,1	29,6	25,0
Nacozari76	83,9	4,9	32,2	5,7	24,3	22,7	29,6	25,1
Gemiza1	85,0	5,7	92,7	6,3	23,1	20,9	25,6	24,3
Glenson	100,3	5,1	85,3	6,1	24,2	24,3	25,8	24,7
Genaro81	94,5	5,4	63,5	6,1	25,7	23,3	27,3	24,7
Naxos	113,7	4,6	58,9	6,0	23,7	25,4	27,5	25,1
Nesser	99,2	5,5	54,5	5,6	23,2	24,6	27,5	24,8
Munk	72,5	5,7	48,4	6,1	27,8	25,6	27,3	23,8
Star	82,9	5,6	89,2	4,9	27,2	25,8	26,7	25,6
MW	84,2	5,2	62,8	5,8	24,6	23,5	27,5	24,9
GD	1,2	1,1	2,0	1,5	1,9	1,5	2,8	2,4

Auch in der Nettophotosyntheserate und der Stomataleitfähigkeit war die Wirkung der Hitzebehandlung bei der Sorte Debeira am stärksten und bei der Sorte Glenson am niedrigsten. Vor allem lag der Rückgang der Nettophotosyntheserate für Debeira nach einer Hitzebehandlung nach der Blüte bei über 90% (Tab. A8).

Bei der Beobachtung der Hitzewirkung wurde festgestellt, dass die Genotypen ein unterschiedliches Schadbild aufwiesen. Die Sorten Glenson, Naxos, Star, Gemiza1 und Genaro81 zeigten optisch zum Teil nur ein geringes Schadbild. Dagegen wurde bei Debeira eine chlorotische Flecken-

bildung auf der ganzen Blattfläche beobachtet. Bei der Behandlung nach der Blüte flossen diese Chlorosen einige Tage nach der Behandlung zu großen Nekrosen zusammen, die teilweise das ganze Blatt bedeckten. Bei der Sorte Munk und teilweise auch bei Star wurden keine Chlorosen, sondern unzählige feine Nekrosen beobachtet, die zur Blattspitze hin zusammenfließen und nekrotische Blattoberanteile aufweisen. Bei Nacozari76 und Nesser wurden zusammenhängende Nekrosen in variierender Größe festgestellt. Die Sorte Giza164 zeigte Blattrollen ohne Bildung von Chlorosen und Nekrosen.

Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurde der relative Chlorophyllgehalt der Blätter an den oberen drei Blattetagen von Genotypen mit und ohne Schadbild gemessen. Da die Messwerte von anderen Faktoren (z. B. Blattdicke) beeinflusst werden könnten, ist es angezeigt, einen Vergleich auf der Basis der prozentualen Veränderung der behandelten Pflanzen gegenüber den Kontrollpflanzen durchzuführen.

Tab. 30: Relativer Chlorophyllgehalt der drei oberen Blätter (F = Fahnenblatt, F₋₁ und F₋₂) verschiedener Sommerweizensorten bei einer Hitzebehandlung (b in % der Kontrolle) vor und nach der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (k), MW = Mittelwert

Sorte	Variante	Hitzebehandlung vor der Blüte				Hitzebehandlung nach der Blüte			
		F	F ₋₁	F ₋₂	MW	F	F ₋₁	F ₋₂	MW
Debeira	k	45,3	42,7	38,9	42,3	45,8	42,4	32,5	40,2
	b %	93,7	85,4	45,5	76,1	46,7	48,8	29,3	42,8
Nacozari76	k	45,1	43,2	40,6	43,0	47,2	45,1	37,0	43,1
	b %	104,6	92,5	55,0	85,0	100,0	97,8	77,7	92,9
Gemiza1	k	49,8	46,0	42,3	46,0	50,8	46,3	39,1	45,4
	b %	101,1	99,2	98,7	99,7	97,2	98,3	92,4	96,2
Naxos	k	44,0	42,1	37,9	41,4	44,4	42,3	30,4	39,1
	b %	106,5	106,1	101,9	104,9	103,5	86,6	61,2	86,4
Nesser	k	45,5	41,2	35,3	40,6	47,2	44,1	30,7	40,7
	b %	88,6	91,1	84,0	88,1	83,8	66,1	74,7	75,1
Munk	k	50,5	45,7	42,7	46,3	52,7	46,5	44,1	47,8
	b %	99,1	102,9	97,2	99,8	95,6	98,5	100,0	97,9

Die Genotypen variierten in der prozentualen Veränderung der absorbierten Lichtmenge, was einer Veränderung des Chlorophyllgehalts der Blätter entsprechen soll. Sie reichte nach der Hitzebehandlung vor der Blüte im Durchschnitt der Blattetagen von unverändert bei Gemiza1, Naxos und Munk bis zu einer Reduktion auf 76% der Kontrolle bei Debeira. In der Variante nach

der Blüte betrug der relative Chlorophyllgehalt für die Sorte Debeira nur 43% der Kontrolle im Durchschnitt der Blättertagen. Dagegen ging er bei Gemiza1 und Munk nur geringfügig zurück (Tab. 30).

Die hohen Messwerte des absorbierten Lichtes bei Munk sind mit dem oben beschriebenen Schadbild nicht vereinbar. Das liegt wahrscheinlich daran, dass das Gerät hohe Werte wie bei unbeschädigten grünen Blättern anzeigt, wenn der Schaden durch Einwirkung der Hitze nicht über einen Abbau des Chlorophylls erfolgt (keine Chlorosen, sondern heufarbig).

4.1.3.2 Ertragsmerkmale

In der Anzahl der Nebenähren, in der Sprossbiomasse, in dem Einzelährenertrag, in der Kornzahl je Ähre, in der Fertilität und in der TKM korrelieren die hitzebehandelten Varianten miteinander bzw. mit der Kontrolle positiv (s. Tab.31).

Tab. 31: Die Korrelation der Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte miteinander und mit der Kontrolle (k) an Hand verschiedener Ertragsmerkmale

Merkmal	b_1-b_2	b_1-k	b_2-k
Sprossbiomasse	0,68*	0,68*	0,37
Einzelährenertrag	0,49	0,74**	0,53
Kornzahl	0,65*	0,81**	0,79**
TKM	0,66*	0,92***	0,64*

Die positive Korrelation resultiert daraus, dass sich die Rangfolge gar nicht oder nur geringfügig mit den Behandlungsvarianten änderte. Die Genotypen, die unter der Kontrolle eine hohe oder niedrige Leistung hatten, zeigten auch unter Hitzebehandlung meistens eine hohe bzw. niedrige Leistung. Aber die Differenz zwischen den Genotypen änderte sich mit der Hitzebehandlung (Abb. 4-7), was die Interaktion zwischen den Genotypen und den Behandlungen signifikant machte. Es bestand bei den meisten Merkmalen eine signifikante Interaktion (Tab. 32).

Tab. 32: Varianztabelle für die Sprossbiomasse, den Ährenertrag, die Kornzahl/Ähre und die TKM nach einer Hitzebehandlung von Sommerweizengenotypen in der Klimakammer

	FG	Mittlere Abweichungsquadrate			
		Biomasse	Ertrag	Kornzahl	TKM
Genotyp	9	7,92***	2,21***	1410,18***	1569,53***
Behandlung	2	6,07***	6,06***	6231,52***	5759,03***
Genotyp/Behandlung	18	1,62**	0,59***	246,43***	296,70***
Rest	270	0,46	0,11	30,64	75,44

Ein direkter Mittelwertvergleich (SNK-Test) der Behandlungsvarianten im Durchschnitt aller untersuchten Genotypen zeigte, dass sich die Hitzebehandlung vor der Blüte von der Hitzebehandlung nach der Blüte sowie von der Kontrolle in den meisten der untersuchten Merkmale signifikant unterschied (Tab. A9). Die Hitzebehandlung nach der Blüte unterscheidet sich kaum von der Kontrolle.

Da die beiden Hitzebehandlungen in der Dauer der Hitzewirkung nicht gleich waren, gehen in den Vergleich zwischen den beiden Behandlungen auch der Zeitpunkt und die Dauer ein.

Einzelährenertrag

Die Ergebnisse des Einzelährenertrags zeigten, dass signifikante Unterschiede zwischen einigen der untersuchten Sorten in allen drei Versuchsvarianten des Versuchs bestanden. Ein deutlicherer Sortenunterschied war nach der Hitzebehandlung vor der Blüte zu beobachten. Die Differenz zwischen der Kontrolle und den hitzebehandelten Varianten war im Kornertrag je nach Sorte unterschiedlich. Dabei ging der Ährenertrag der Sorten Giza164, Debeira, Nacozari76, Munk und Nesser erheblich zurück, während die Sorten Gemiza1, Glenson, Genaro81, Star und Naxos in ihrem Ertrag auf die Hitzewirkung teilweise wenig reagierten.

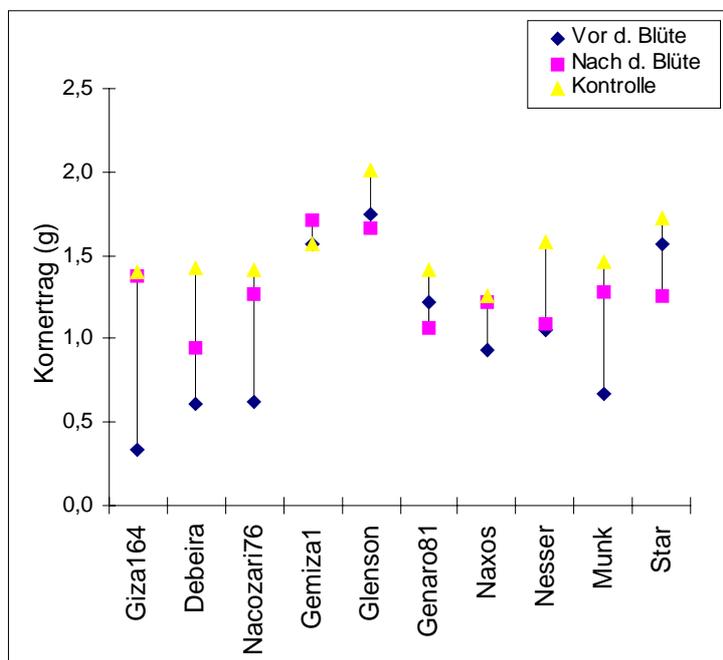


Abb. 4: Einzelährenertrag des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur Kontrolle

Die Reaktion der Sorten auf die Hitzebehandlung nach der Blüte war nicht so groß wie vor der Blüte. In diesem späteren Entwicklungsstadium wurde die Kornzahl/Ähre, die den Ährenertrag

überwiegend beeinflusst, durch die Hitzebehandlung nicht wesentlich beeinträchtigt (Abb. 5). Hiervon war lediglich die Kornfüllung betroffen. Auffällig ist, dass die früh reifende Sorte Giza164 bei Behandlung nach der Blüte, im Gegensatz zur Behandlung vor der Blüte, kaum auf die Hitzebehandlung reagierte. Dagegen zeigten die später blühenden Sorten wie Star und Nesser sowie die mittelfrühen Sorten Glenson und Genaro81 eine deutliche Reduktion des Ährenertrags bei Hitzewirkung nach der Blüte. Obwohl die Sorte Debeira kein Spättyp ist, war ihr Ertragsrückgang nach der Hitzewirkung auch bei der Hitzebehandlung nach der Blüte relativ groß.

Kornzahl und Fertilität

Die Sorten unterschieden sich in der Anzahl der Körner/Ähre unabhängig von der Hitzebehandlung signifikant. Der Sortenunterschied war bei der Variante „vor der Blüte“ größer. Auch die Reduktion des Kornansatzes durch den Hitzestress war bei dieser Variante stärker als bei der Variante „nach der Blüte“, bei der die Kornzahl und die Fertilität kaum oder nur wenig reduziert wurden. Die Fertilität wurde aus dem Quotienten von Kornzahl/Ähre und Spindelstufen/Ähre berechnet. Da die Spindelstufenzahl der Ähre durch die Hitzebehandlung nicht beeinflusst wurde, ist die Fertilitätsänderung wie beim Kornsatz. Die enge Korrelation beider Merkmale (vor der Blüte: $r = 0,99$; nach der Blüte: $r = 0,95$; Kontrolle: $r = 0,90$; $P < 0,001$) zeigt diesen Zusammenhang. Auf Grund der engen Korrelation beider Merkmale wurde auf eine Darstellung der Einzelwerte für die Ährenfertilität verzichtet.

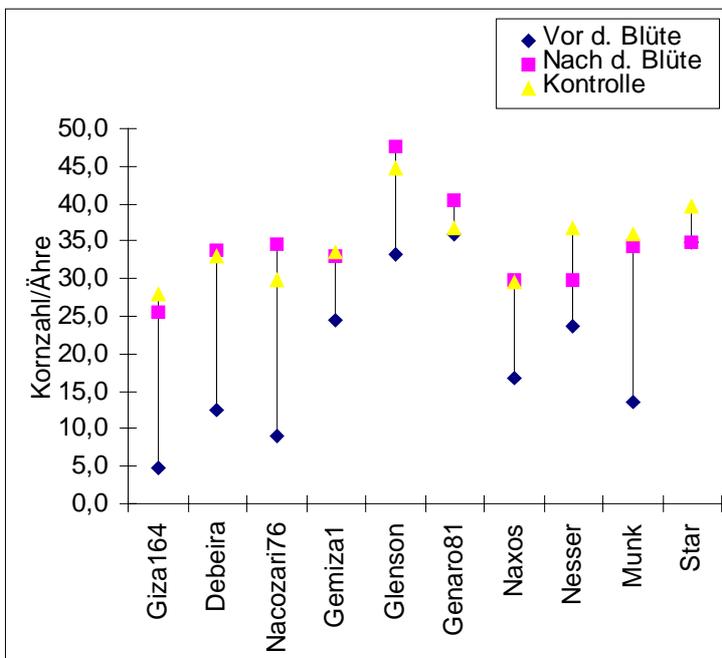


Abb. 5: Kornzahl des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur Kontrolle

Die Korrelation zwischen Kornzahl und Einzelährenertrag war positiv (Tab. 33). Die Sorten verhielten sich in Bezug auf Kornzahl ähnlich wie in Bezug auf den Einzelährenertrag bei den Varianten „Hitzebehandlung vor der Blüte“ und „Kontrolle“. Bei der Hitzebehandlung nach der Blüte war die Korrelation niedrig und nicht gesichert.

Tab.33: Korrelationen zwischen verschiedenen Merkmalen bei Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte bzw. unter der Kontrollbedingung

Merkmal 1	Merkmal 2	vor	nach	Kontrolle
Sprossbiomasse	Nebenähreanzahl	-0,73*	-0,58	-0,47
Sprossbiomasse	Kornzahl	0,81*	0,56	0,76*
Sprossbiomasse	Ertrag	0,93**	0,63*	0,85**
Sprossbiomasse	TKM	-0,31	0,14	-0,10
Nebenähreanzahl	Kornzahl	-0,58	-0,81**	-0,61
Nebenähreanzahl	Ertrag	-0,68*	-0,56	-0,77**
Nebenähreanzahl	TKM	0,07	0,06	-0,15
Kornzahl	Ertrag	0,90***	0,26	0,87***
Kornzahl	TKM	-0,66*	-0,49	-0,48
Ertrag	TKM	-0,36	0,68*	-0,02

Tausendkornmasse (TKM)

Die TKM stieg nach der Einwirkung der Hitze vor der Blüte gegenüber der Kontrolle an (Ausnahme: Genaro81). Diese war offenbar auf die reduzierte Kornzahl zurückzuführen, die eine erhöhte Kornmasse zur Folge hatte. Die Umlagerung des verfügbaren Assimilates in die vorhandenen Körner erhöhte die Kornmasse. Sie reichte aber nicht aus, den Ertragsverlust durch die reduzierte Kornzahl auszugleichen. Nacozari76, Giza164, Naxos und Gemiza1 zeigten einen hohen Anstieg der TKM nach einer Hitzeeinwirkung vor der Blüte, während sich Munk, Star, Glenson und Genaro81 nicht oder nur wenig veränderten (Abb. 6).

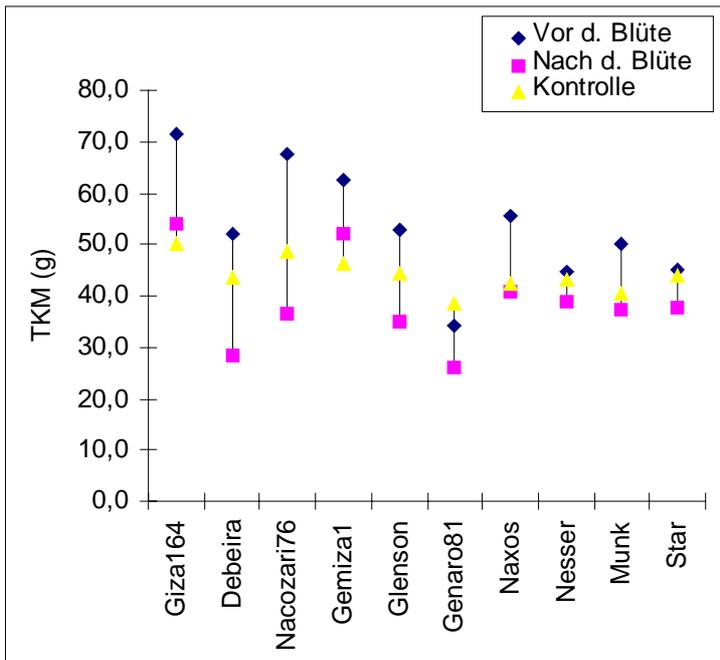


Abb. 6: Die TKM des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur Kontrolle

Bei Hitzewirkung nach der Blüte sank die TKM bei den meisten Genotypen. Die verminderte Kornfüllung konnte das Gewicht der zahlenmäßig gleich gebliebenen Körner auf das Niveau der Kontrolle nicht anheben. Eine verstärkte Reduktion der TKM nach der Blüte wurde bei Debeira, Nacozari76 und Genaro81 festgestellt. Dagegen blieb sie bei Munk, Star, Giza164, Naxos und Nesser relativ stabil.

Die Korrelation der TKM mit dem Einzelährenertrag ist unter Hitzebehandlung vor der Blüte negativ und nicht gesichert (Tab. 33), während sie nach der Blüte positiv und gesichert ist. Die Beziehung zur Kornzahl ist unter beiden Hitzevarianten negativ, sie ist aber nur bei der Hitzebehandlung vor der Blüte signifikant.

Sprossbiomasse und Anzahl der Nebenähren

Unter der Hitzebehandlung vor der Blüte unterschieden sich die untersuchten Genotypen in der Sprossbiomasse (Abb. 7). Die Sorte Glenson zeigte u.a. die höchste Biomasse, während die Sorte Giza164 die niedrigste Biomasse bildete. Auch unter der Hitzebehandlung nach der Blüte wurde eine hohe Biomassebildung der Sorte Glenson festgestellt. Die meisten Genotypen erfuhren eine leichte oder keine Biomassereduktion unter den Stressbedingungen, während die Genotypen Nesser (unter beiden Stressbedingungen), Giza164 und Munk (vor der Blüte) einen stärkeren Rückgang der Sprossbiomasse aufwiesen.

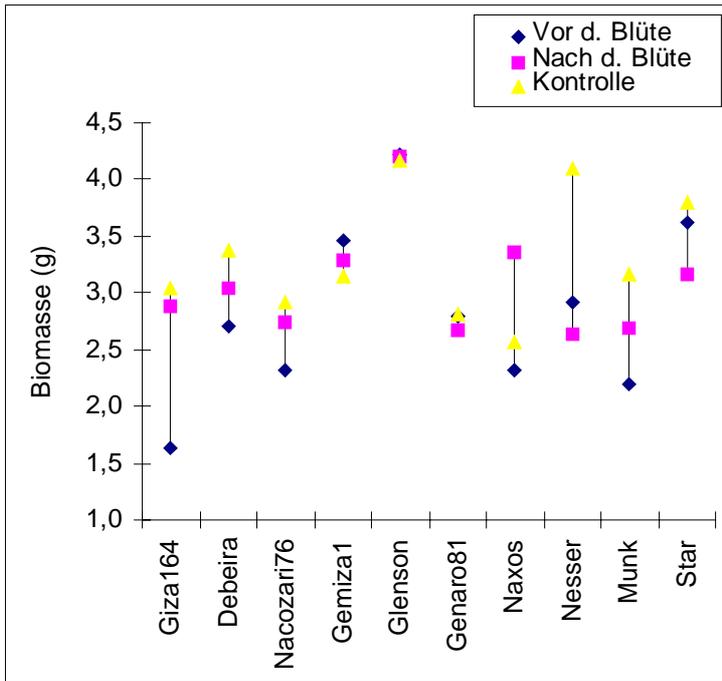


Abb. 7: Die Sprossbiomasse (g) des Hauptstammes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (Ernte zur Endreife)

Tab. 34: Korrelation der physiologischen Merkmale mit den Ertragsmerkmalen unter der Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte und unter der Kontrolle (k_1)

Merkmal 1	Merkmal 2	b_1	b_2	k_1
Transpirationsrate	Ährenertrag	0,70*	0,78**	0,29
Transpirationsrate	Kornzahl	0,70*	0,18	0,53
Transpirationsrate	Sprossbiomasse	0,60	0,51	0,37
Transpirationsrate	TKM	-0,54	0,61	-0,62
Transpirationsrate	Nebenähren	-0,18	-0,63*	-0,29
Blatttemperatur	Ährenertrag	-0,37	-0,73*	0,06
Blatttemperatur	Kornzahl	-0,20	-0,27	0,17
Blatttemperatur	Sprossbiomasse	-0,41	-0,52	0,16
Blatttemperatur	TKM	-0,10	-0,46	-0,21
Blatttemperatur	Nebenähren	0,23	0,65*	0,45

Die Sorten Gemiza1, Glenson, Genaro81 und Star bildeten unter den drei Behandlungsbedingungen eine relativ niedrigere Anzahl der Nebenähren (Tab. A10).

Die Sprossbiomasse des Hauptstammes korrelierte, unabhängig von der Behandlungsvariante,

positiv mit der Kornzahl sowie mit dem Ertrag (Tab. 33). Die Beziehung zum Ertrag war bei allen Varianten gesichert. Die Beziehung zur Kornzahl war nur bei der Hitzebehandlung vor der Blüte und bei der Kontrolle signifikant. Die Korrelation der Sprossbiomasse mit der Anzahl der Nebenähren war unter allen Varianten des Versuchs negativ. Eine gesicherte Beziehung war aber nur unter der Hitzebehandlung vor der Blüte zu finden. Zur TKM bestand unter der Variante vor der Blüte eine nicht gesicherte negative Korrelation der Sprossbiomasse, während sie nach der Blüte und unter der Kontrolle fast null war (Tab.33).

Die Anzahl der Nebenähren korrelierte ohne und mit einer Hitzewirkung negativ mit der Kornzahl und dem Ertrag. Eine signifikante Korrelation zur Kornzahl war allerdings nur bei der Hitzebehandlung nach der Blüte und Kontrolle und zum Ertrag vor der Blüte und unter Kontrolle zu finden.

Es wurde eine Korrelation zwischen den physiologischen und den Ertragsmerkmalen berechnet (Tab.34). Daraus ist ersichtlich, dass die Transpirationsrate mit dem Ährenertrag und mit der Kornzahl bzw. der Sprossbiomasse positiv und mit der Anzahl der Nebenähren dagegen negativ korrelierte. Die Beziehung der Transpirationsrate zur TKM war uneinheitlich. Die Blatttemperatur korrelierte mit der Anzahl der Nebenähren positiv, während sie mit den restlichen Merkmalen überwiegend negativ korrelierte. Die meisten der erwähnten Korrelationen sind aber nicht gesichert. Es ist keine systematische Zuordnung zu den behandelten und nicht behandelten Varianten zu erkennen.

4.2 Trockenstress

4.2.1 Freilandprüfung

Die Ergebnisse des in Hohenthurm durchgeführten Freilandversuches sind in Tab. 36 (Ertrag, TKM, und Kornzahl/Ähre) sowie in Tab. A11 für die anderen Merkmale zusammengestellt.

Tab. 35: Varianztabelle (MQ-Werte) der Freilandprüfung (a: 23 Genotypen mit Wakanz; b: 22 Genotypen ohne Wakanz)

Varianzursache		FG	MQ-Werte						
			Kornertrag	Kornzahl	TKM	Ährenlänge	Anzahl Spindelstufen	Zeitdauer bis Ährenschieben	Anzahl reduzierter Ährchen
Genotyp	a)	22	0,36***	121,08***	92,20***	5,32***	12,47***	94,78***	0,62***
	b)	21	0,28***	107,63***	91,59***	5,24***	12,93***	91,08***	0,64***
Behandlung	a)	1	7,25***	1906,87***	69,41**	16,31***	12,18***	99,36***	4,90***
	b)	1	8,26***	2227,29***	71,90**	15,91***	11,29***	83,68***	4,25***
Genotyp/ Behandlung	a)	22	0,13*	43,22**	10,84	0,16	0,51	4,85	0,17***
	b)	21	0,07	23,24	11,23	0,16	0,53	4,68	0,17***
Block	a)	2	0,05	30,67	24,63*	0,01	0,29	49,09***	0,03
	b)	2	0,09	39,82	17,78	0,01	0,40	49,63***	0,01
Rest	a)	92	0,08	20,16	7,55	0,10	0,42	3,64	0,04
	b)	86	0,08	19,94	7,45	0,10	0,41	3,54	0,04

Bei allen untersuchten Merkmalen bestanden zwischen den Genotypen hochsignifikante Differenzen, sowohl in der Kontroll- als auch in der Stressvariante. Die Interaktion zwischen den Genotypen und dem Wasserregime war bei dem Kornertrag und der Kornzahl/Hauptähre und Anzahl der reduzierten (abotierten) Ährchen signifikant. Bei einer Varianzanalyse ohne Sorte Wakanz (schlechtes Wachstum in der Kontrollvariante) war die Interaktion nur bei der Anzahl der reduzierten Ährchen signifikant (Tab. 35). Der Trockenstress beeinflusste die genannten Merkmale bis auf wenige Ausnahmen ungünstig.

Der Kornertrag betrug bei der Normalvariante im Mittel 2,67 und in der Stressvariante 2,21 g/Ähre (Tab. 36). Genaro81 hatte die niedrigste TKM, aber nicht den niedrigsten Kornertrag für die Hauptähre. Siete -Cerros, Nacozari76 und WPB926 besaßen den höchsten Einzelährenertrag, während Gemiza1, Inklab und WPB926 über eine hohe TKM verfügten.

Bei der Kornzahl je Hauptähre erfolgt bei den meisten Genotypen eine Reduktion von der Normal- zur Stressvariante. Die stärkste Reduktion von ca. 27% der Kontrolle war bei der Sorte Achter zu beobachten. Hinsichtlich des Termins für das Ährenschieben (Tab. A11) war Fieldwin der späteste Genotyp. Nicht ganz so spät waren Giza160, Wakanz, Gemiza1, Munk und Star. In

der Kontrollvariante gehörte darüber hinaus Siete-Cerros zu den spätesten Typen. Die frühesten Typen waren Nacozari76, Sakha8, WPB926, Wadi-Elnile, Inklab und Giza164.

Tab. 36: Mittelwerte und S-Index des Kornertrages/Ähre bzw. Mittelwerte der TKM und der Kornzahl bei einem Trockenstressversuch im Freiland mit einer normalen und einer Stressvariante bei verschiedenen Sommerweizensorten 1996 in Hohenthurm

Sorte	Kornertrag (g)/Ähre			TKM (g)		Kornzahl/Ähre	
	Stress	normal	S-Index	Stress	normal	Stress	normal
Munk	2,46	2,56	0,2	54,2	50,0	45,4	50,8
Star	2,17	2,49	0,7	47,8	53,9	45,7	46,2
Naxos	1,79	2,39	1,5	47,1	47,1	38,1	50,2
Sakha8	2,12	2,69	1,3	47,6	52,4	44,5	51,5
Giza157	2,19	2,79	1,3	55,8	56,6	39,2	49,3
Giza160	2,05	2,74	1,5	47,8	51,9	42,7	52,8
Giza164	1,96	2,72	1,6	54,9	57,3	35,7	47,4
Sahel1	2,42	2,92	1,0	49,3	51,6	48,9	56,6
Wadi-Elnile	2,09	2,68	1,3	54,5	57,5	38,3	46,6
Glenson	2,31	2,62	0,7	51,4	53,0	45,0	49,4
Gemiza1	2,27	2,96	1,4	57,5	61,6	39,4	48,1
Nacozari76	2,70	2,91	0,4	52,3	49,1	51,6	59,2
Debeira	2,18	2,89	1,4	54,1	52,7	40,4	54,7
Genaro81	2,19	2,42	0,5	45,7	44,6	47,9	54,2
Siete-Cerros	2,63	3,11	0,9	49,4	49,2	53,2	63,1
WPB926	2,50	3,10	1,1	55,3	57,7	45,0	53,6
Centennial	2,01	2,75	1,6	49,3	55,1	40,9	50,0
Penewawa	2,58	2,61	0,1	53,1	55,7	48,6	47,2
Fieldwin	1,88	2,52	1,5	48,9	48,6	38,4	51,7
Inklab	2,32	2,81	1,0	59,4	59,7	39,2	47,1
Baspan	1,84	2,21	1,0	46,3	49,4	39,7	44,9
Achter	2,14	2,90	1,5	55,9	55,2	38,5	52,6
Wakanz	2,09	1,63	-1,7	48,1	48,2	43,6	33,9
MW	2,21	2,67		51,6	53,0	43,0	50,5
GD (0,05 Tukey)	0,75	0,95		8,4	9,2	13,9	14,4

Tab. 37: Korrelationen zwischen den Merkmalen und Wasserregimen bei einem Trockenstressversuch im Freiland bei verschiedenen Sommerweizengenotypen (n=23)

		Spindelstufenanzahl	Anzahl reduzierter Ährchen	Kornertrag/Ähre	Zeitdauer bis Ährenschieben	TKM	Kornzahl	Stress/normal
Ährenlänge	Stress	0,55**	0,15	0,51**	0,28	0,05	0,47*	0,94***
	normal	0,60**	0,49*	0,28	0,41	-0,11	0,39	
Spindelstufenanzahl	Stress		0,61***	0,01	0,74***	-0,40	0,27	0,92***
	normal		0,72***	-0,16	0,76***	-0,51**	0,18	
Anzahl reduzierter Ährchen	Stress			-0,42*	0,84***	-0,29	-0,24	0,77***
	normal			-0,08	0,71***	-0,15	0,02	
Kornertrag je Ähre	Stress				-0,27	0,35	0,78***	0,49*
	normal				-0,42*	0,49*	0,76***	
Ährenschieben	Stress					-0,39	-0,01	0,91***
	normal					-0,37	-0,19	
TKM	Stress						-0,31	0,79***
	normal						-0,19	
Kornzahl								0,48*

Bei den reduzierten Ährchen (Tab. A11) verhielt sich Fieldwin unter Stress anders als die übrigen Typen. Auch die Sorte Giza160 reagierte abweichend. Diese Sorten besaßen auch unter der Kontrollvariante mehr reduzierte Ährchen als die meisten Genotypen.

Giza160 und Fieldwin besaßen nicht nur die höchste Zahl an reduzierten Ährchen, sondern auch an den Spindelstufen unter beiden Wasserregimen (Tab. A11). Dagegen hatten Inklab, Giza164, Centennial und Wadi-Elnile die niedrigste Spindelstufenanzahl.

Die längsten Ähren (Tab. A11) wiesen in beiden Varianten Debeira, Star und Giza160 auf. Einen bemerkenswerten Rückgang in der Ährenlänge zeigte die Sorte Fieldwin. Sie fiel vom Rang vier in der Kontrollvariante auf Rang elf in der Stressvariante ab. Typen wie Wadi-Elnile, Giza164, Achter, Centennial und Wakanz besaßen kurze Ähren unter beiden Varianten (Tab. A11).

Die hier dargestellten Merkmale wurden untereinander korreliert. Dabei waren nicht nur Unterschiede in den Beziehungen zwischen den Merkmalen, sondern auch die Veränderungen im Ausmaß der Beziehungen mit dem Wasserregime zu beobachten. Zusätzlich wurde für jedes Merkmal eine Korrelation zwischen den beiden Wasservarianten berechnet (letzte Spalte der Tab. 37). Die Korrelationswerte waren beim Kornertrag und bei der Kornzahl niedriger als bei den anderen Merkmalen, aber trotzdem deutlich positiv. Bei einem Ausschluss der Sorte Wakanz betragen die Korrelationen $r=0.59^{**}$ bzw. $r=0.64^{**}$.

4.2.2 Klimakammerprüfungen

Die Ergebnisse dieses Versuches sind in Tab. 38-41 wiedergegeben. Die Varianzanalyse wurde 1996 ohne Sakha8 und Baspan und 1997 ohne Sakha8 und Naxos durchgeführt, da diese Genotypen bei der Versuchsdurchführung in der Kontrolle die normale Wasserversorgung nicht vertrugen und dadurch wenig oder kaum Körner bildeten.

Es war hier ein Rückgang in Kornertrag und Kornzahl pro Ähre in beiden Versuchsjahren zu beobachten (Tab. 38). Die Sorten Centennial, Star, Munk und Naxos sind die besten unter der Bedingung des Trockenstresses im Jahr 1996. Auch im Jahr 1997 verhielten sich die Sorten Naxos, Star und Centennial ähnlich wie im Jahr davor. Diese Sorten wiesen eine höhere Kornzahl als die anderen auf. Obwohl die Sorte Munk in ihrer Kornzahl zu dieser Gruppe gehörte, fiel sie im Einzelährenertrag sowie in der TKM zurück. Auch andere Typen, die eine höhere Kornzahl und dementsprechend einen hohen Ährenertrag aufwiesen, zeigten bis auf die Sorte Centennial eine niedrige TKM. Centennial gehörte zu den Typen, die eine niedrige Anzahl reduzierter Ährchen unter dem Trockenstress aufwiesen (Tab. A11). Eine Genotyp/Behandlung-Interaktion wurde nur im Versuchsjahr 1996 für den Ährenertrag und die Kornzahl festgestellt (Tab. 39).

Tab. 38: Kornertrag, Kornzahl/Ähre und TKM von Sommerweizensorten unter Klimakammerbedingungen ohne und mit Trockenstress 1996 und 1997 in Hohenthurm (GD: t-Test; 1996 ohne Sakha8 und Baspan und 1997 ohne Sakha8 und Naxos)

Sorte	Kornertrag (g)/Ähre				Kornzahl/Ähre				TKM			
	1996		1997		1996		1997		1996		1997	
	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Star	1,51	0,98	1,59	1,11	40,4	22,7	35,8	29,2	37,4	43,1	44,3	38,0
Munk	1,25	0,92	1,10	0,82	33,8	22,5	33,1	25,6	37,0	41,7	33,2	32,1
Naxos	1,26	0,92	0,76	1,15	30,7	21,6	31,4	30,0	41,1	42,5	22,9	38,3
WPB 926	1,20	0,37	1,29	0,98	28,0	6,9	27,9	19,4	42,9	52,2	45,2	50,5
Sakha 8	0,73	0,74	-	0,88	23,7	17,0	-	23,8	31,1	43,7	-	37,2
Baspan	0,71	0,74	1,19	0,86	30,6	17,0	27,4	22,5	23,2	43,8	43,4	38,5
Centennial	1,33	1,05	1,35	1,04	31,5	22,1	29,1	24,5	42,2	47,6	46,5	42,5
Nesser	0,79	0,68	1,12	0,69	21,8	13,6	24,8	21,0	36,4	50,6	45,1	33,1
MW	1,10	0,80	1,20	0,95	30,0	17,9	29,9	24,6	36,4	45,6	40,1	39,0
GD(0,05)	0,34	0,27	0,82	0,33	4,5	5,6	10,2	2,7	15,7	13,7	16,7	13,9

Tab. 39: Varianztabelle der Trockenstressprüfung in der Klimakammer 1996 (ohne Sakha8 und Baspan) und 1997 (ohne Sakha8 und Naxos)

Varianzursache	FG	1996			1997		
		Korn- ertrag	Kornzahl	TKM	Korn- ertrag	Kornzahl	TKM
Genotyp	5	0,18***	133,6***	37,5	0,11	54,0***	105,9*
Behandlung	1	0,97***	983,0***	275,7*	0,76**	216,0***	87,8
Genotyp/Behandlung	5	0,06*	28,1**	19,9	0,01	3,3	32,4
Wiederholung	1	0,06	0,2	102,1	0,00	0,4	2,6
Fehler	11	0,02	3,8	30,7	0,04	5,7	29,6

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Merkmalen bei den Versuchen in der Klimakammer sind in der Tab. 40 dargestellt. Der Termin des Ährenschiebens korrelierte mit der Kornzahl und dem Ähnerertrag in beiden Versuchsjahren positiv. Eine signifikante Beziehung war aber nur zu der Kornzahl unter der Kontrollvariante zu finden. Die Beziehung zwischen Ährenschieben und TKM war unter dem Trockenstress in beiden Jahren negativ. Sie war in keinem Fall signifikant. Eine positive und relativ enge Beziehung wurde zwischen der Kornzahl und dem Ähnerertrag beobachtet. Die beiden Merkmale hatten 1996 unter dem Trockenstress eine negative Korrelation zur TKM. 1997 wurde aber eine positive Beziehung der TKM zum Kornertrag gefunden.

Tab. 40: Korrelationen zwischen den Merkmalen für die Versuche des Trockenstress in der Klimakammer 1996 und 1997

Merkmale		1996		1997	
Merkmal1	Merkmal2	normal	Stress	normal	Stress
Ährenschieben	Kornzahl	0,76*	0,61	0,65*	0,63
Ährenschieben	TKM	-0,07	-0,38	-0,21	-0,45
Ährenschieben	Ertrag	0,47	0,60	-0,36	-0,35
Kornzahl	TKM	0,14	-0,80**	0,51	0,21
Kornzahl	Ertrag	0,78*	0,98***	0,86**	0,66
TKM	Ertrag	0,73*	-0,66	0,81*	0,46

Vergleiche zwischen den Versuchen in der Klimakammer und im Feld sind in Tab. 41 zusammengefasst. Im Termin des Ährenschiebens wurde eine hohe bis sehr hohe Korrelation zwischen den Klimakammerversuchen bzw. Klimakammer- und Feldversuchen insbesondere unter Trockenstress gefunden. Beim Einzelähnerertrag bestand keine signifikante Beziehung zwischen den Versuchen. Zwischen den beiden Klimakammerversuchen wurde eine positive, dem Feldversuch und den Versuchen in der Klimakammer aber eine negative Beziehung in Kornertrag unter

Trockenstress gefunden. Bei der Kornzahl/Ähre wurde eine signifikante und

Tab. 41: Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimakammerversuchen miteinander bzw. mit dem Feldversuch (Dach)

Versuch 1	Versuch 2	Wasser- stufe	Ähren- schieben	Ertrag	Kornzahl	TKM
Klima- kammer96	Klima- kammer97	normal	0,82**	0,56	0,68*	-0,15
		Stress	0,93**	0,37	0,84**	0,56
Klima- kammer96	Dach	normal	0,91***	0,22	-0,56	0,42
		Stress	0,95***	-0,43	-0,21	0,82*
Klima- kammer97	Dach	normal	0,79*	0,02	0,02	0,79*
		Stress	0,87**	-0,37	-0,37	0,34

positive Beziehung zwischen den Versuchen in der Klimakammer beobachtet. Dagegen wurden nicht signifikante negative Korrelationen zwischen Klimakammerversuchen und dem Feldversuch gefunden, 1997 wurde unter Normalbedingung keine Beziehung festgestellt. In der TKM wurde eine signifikante Beziehung nur bei den Klimakammerversuchen von 1996 unter Stress und von 1997 unter normal zum Feldversuch gefunden. In beiden Fällen war die Beziehung positiv.

4.2.3 Keimungstest in einer osmotischen Lösung

4.2.3.1 Keimungstest in einer PEG-Lösung

Mit zunehmender PEG-Konzentration nahm die Keimungsrate der Körner ab (Tab. 42). Sie betrug bei der Keimung in Wasser 93% im Durchschnitt der Genotypen. In der 10- und 15%igen PEG-Lösung lag die Keimung bei 97 bzw. 57% der Keimung im Wasser. Bei 20- und 30%iger PEG-Lösung fand bei keinem Genotyp eine Keimung statt. Deshalb wurde für diese PEG-Stufen keine Auswertung durchgeführt. Für die PEG-Stufen 10% und 15% wurden die in den Tab. 42-44 und A12 - A13 dargestellten Ergebnisse im Vergleich zur Wasservariante erzielt.

Eine Genotyp/Stress-Interaktion bestand für die Keimungsrate, die Sprosslänge, die Wurzellänge, Trockenmasse und das Spross/Wurzel-Verhältnis (Tab.45).

Bei der Wasservariante unterschieden sich die untersuchten Genotypen in allen Merkmalen bis auf die Keimungsrate. Die durchschnittliche Sprosslänge der Keimlinge (Tab. 43) variierte von 6,7 cm bei der Sorte Naxos zu 2,7 cm bei der Sorte Achter. Während die längste Wurzel (Tab. 44) von 9,2 cm bei der Sorte Star gemessen wurde, wies die Sorte Nesser die kürzeste Wurzel von 4,3 cm

auf. Das Trockengewicht der Keimlinge (Tab.A12) variierte von 128 mg bei der Sorte Star bis 90 mg bei der Sorte Nesser. Das weiteste Spross/Wurzel-Verhältnis (Tab. A13) von 1,3 zeigte die Sorte Sakha8, während die Sorte Achter das engste Spross/Wurzel-Verhältnis von 0,4 aufwies. Die Genotypen bildeten unter der Kontrollvariante im Durchschnitt eine Spross- und Wurzellänge von 4,7 bzw. 6,5 cm. Während bei der Keimung in der PEG-Lösung die Sprosslänge zurückging und mit zunehmender Konzentration weiter abnahm, wurde eine Erhöhung in der Wurzelbildung beobachtet (Tab. 43 und Tab. 44). Es bestanden deutliche Unterschiede zwischen den Genotypen. Bei der 15%igen PEG-Lösung wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Genotypen in dem Trockengewicht der Keimlinge (A12) und dem Spross/Wurzel-Verhältnis (A13) nur selten beobachtet. Dabei wurden die Sorten Munk und Centennial von der Sorte Inklab im Trockengewicht und die Sorten Achter, Baspan, Fieldwin, Star, WPB926 und Munk von den Sorten Naxos, Sakha8 und Giza164 im Spross/Wurzel-Verhältnis übertroffen.

Tab. 42: Durchschnittliche Keimungsrate (%) der Körner von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Mannitollösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test)

Sorte	Herkunft	Wasser	PEG-Lösung		Wasser	Mannitol-Lösung	
			10%	15%		-0,5MPa	-1,0MPa
Achter	C	92	77	47	80	66	13
Wakanz	C	93	91	53	98	73	37
Fieldwin	C	89	95	53	97	65	33
WPB926	C	92	76	60	100	71	26
Inklab	C	91	93	60	92	72	50
Penewawa	C	97	93	63	92	92	19
Baspan	C	98	88	45	96	53	9
Centennial	C	88	95	42	97	76	9
Sakha8	E	96	90	62	77	29	19
Sahel1	E	93	87	43	98	78	85
Giza164	E	82	96	63	99	77	62
Star	G	95	87	58	98	78	39
Munk	G	94	85	33	94	77	77
Naxos	G	99	99	57	93	68	19
Nesser	I	100	98	59	-	-	-
MW		93	90	53	94	70	36
GD (0,05)		20	20	37	14	21	49

Tab. 43: Durchschnittliche Sprosslänge (cm) der Keimlinge von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Mannitollösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test)

Sorten	Herkunft	Wasser	PEG-Lösung		Wasser	Mannitol-Lösung	
			10%	15%		-0,5MPa	-1,0MPa
Achter	C	2,7	1,7	1,2	5,9	2,3	0,8
Wakanz	C	4,8	2,7	2,0	5,1	3,4	0,0
Fieldwin	C	4,2	2,8	1,3	2,8	3,3	1,8
WPB926	C	4,0	1,9	1,9	5,8	3,5	1,3
Inklab	C	4,3	2,1	2,0	5,7	3,5	0,8
Penewawa	C	5,1	2,8	2,3	5,7	3,5	1,4
Baspan	C	4,7	2,7	1,4	6,5	3,6	1,1
Centennial	C	4,8	2,7	1,7	4,6	3,3	1,5
Sakha8	E	5,3	2,8	2,2	5,3	4,4	1,8
Sahel1	E	5,1	2,3	1,6	5,0	3,8	2,2
Giza164	E	5,2	2,7	2,2	6,9	4,0	2,2
Star	G	5,1	3,2	2,0	8,4	4,2	1,6
Munk	G	5,2	2,9	1,9	7,5	4,3	1,8
Naxos	G	6,7	3,5	2,3	9,0	4,9	4,8
Nesser	I	3,6	2,6	2,0	-	-	-
MW		4,7	2,6	1,9	6,0	3,7	1,6
GD (0,05)		1,2	1,1	1,2	2,0	2,3	1,6

4.2.3.2 Keimungstest in einer Mannitollösung

Unter Nutzung der Mannitollösung wurde die durchschnittliche Keimung der Körner mit steigendem Stress stark reduziert (Tab.42). Bei einem osmotischen Druck von $-0,5$ MPa wurde ein längster Spross von 4,9 cm (54,6% der Kontrolle) bei der Sorte Naxos gemessen. Dagegen zeigte die Sorte Achter die kürzeste Sprosslänge von 2,3 cm (39,6%). Ein signifikanter Unterschied war in diesem Merkmal nur zwischen diesen beiden Sorten zu beobachten. Bei einem osmotischen Druck von $-1,0$ MPa war dagegen keine signifikante Differenzierung der Genotypen in der Sprosslänge zu sehen. Die Sorte Munk bildete eine Wurzellänge von 8,1 cm (57%) und 5,8 cm (24%) bei $-0,5$ MPa bzw. $-1,0$ MPa osmotischem Druck und übertraf damit die Sorten Baspan, Penewawa sowie Sakha8 bei $-0,5$ MPa und die Sorten Naxos und Achter bei $-1,0$ MPa osmotischem Druck. Beim Merkmal Trockengewicht schnitten die Sorten Sahel1 (unter beiden Mannitol-Stufen) und Giza164 (nur bei $-1,0$ MPa) besser ab. Im Vergleich dazu bildeten die Genotypen Penewawa, Fieldwin und Sakha8 bei $-0,5$ MPa ein niedrigere Trockenmasse und die Genotypen Achter, Baspan, Cenntennial und Naxos bei $-1,0$ MPa (Tab. A12). Eine niedrige Keimungsrate schon unter $-0,5$ MPa osmotischem Druck wurde bei den Genotypen Baspan und

Sakha8 festgestellt. Bei Achter, Centennial und Baspan war die Keimungsrate unter $-1,0$ MPa besonders niedrig.

Das weiteste Spross/Wurzel-Verhältnis wurde bei der Keimung im Wasser bei der Sorte Inklab gefunden, während es unter der Keimung in Mannitollösung bei Sakha8 am weitesten war.

Eine starke Genotyp/Stress-Interaktion bestand bei allen Merkmalen (Tab. 45).

Tab. 44: Durchschnittliche Wurzellänge (cm) der Keimlinge von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Mannitollösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test)

Sorte	Herkunft	Wasser	PEG-Lösung		Wasser	Mannitol-Lösung	
			10%	15%		-0,5MPa	-1,0MPa
Achter	C	7,7	8,03	7,84	9,3	5,7	1,7
Wakanz	C	4,9	4,7	7,7	8,3	7,0	0,0
Fieldwin	C	6,8	6,4	5,8	7,8	6,2	3,0
WPB926	C	5,5	5,0	7,6	11,9	7,6	3,0
Inklab	C	6,5	6,5	7,5	5,4	5,3	2,5
Penewawa	C	8,1	8,6	8,3	9,5	5,0	3,5
Baspan	C	6,7	6,8	6,7	8,9	5,0	2,4
Centennial	C	8,1	7,2	6,7	8,4	7,2	3,0
Sakha8	E	4,8	5,5	6,5	6,7	2,7	2,6
Sahel1	E	6,8	6,3	6,5	9,4	7,3	5,0
Giza164	E	5,6	5,5	7,5	10,3	7,1	3,3
Star	G	9,2	8,8	8,9	11,9	7,5	4,7
Munk	G	7,6	8,7	8,6	11,9	8,1	5,8
Naxos	G	5,5	5,7	6,1	10,2	7,2	2,0
Nesser	I	4,3	6,2	7,4	-	-	-
MW		6,5	6,7	7,5	9,3	6,3	3,2
GD (0,05)		3,1	2,4	2,7	2,9	3,1	2,9

Eine Korrelationsanalyse von Merkmalen unter Verwendung beider osmotischer Lösungen bzw. der Vergleich der Wirkung dieser Lösungen wurde in Tab. 46 dargestellt. Es ist daraus zu ersehen, dass die beiden Versuche schwer zu vergleichen sind. Die Korrelationen waren positiv, aber in den meisten Fällen nicht signifikant. Die Korrelationen zwischen den Merkmalen innerhalb des jeweiligen Versuches waren zum Teil signifikant, aber nicht konstant.

Bei einer Korrelation zwischen den Behandlungen der jeweiligen Methoden ist zu sehen, dass mit

zunehmendem Stress die Beziehung zur Kontrolle bei den meisten Merkmalen schwächer war (Tab. 47).

Tab. 45: Varianzanalyse der verschiedenen Merkmale von Sommerweizensorten nach einer Keimung in zwei osmotischen Lösungen

		MQ-Werte für PEG				
Ursache	FG	Keimungsrate	Sprosslänge	Wurzellänge	Trocken- masse	Spross/ Wurzel
Behandlung	2	29702,5***	130,4***	10,1***	13231,8***	4,51***
Genotyp	14	256,5**	3,2***	13,8***	782,6***	0,21***
Behandlung/ Genotyp	28	178,2*	0,7***	2,3**	358,0*	0,06***
Block	3	2050,4***	3,1***	20,1***	239,5	0,03
Rest	132	127,0	0,3	1,5	202,5	0,02
		MQ-Werte für Mannitol				
Behandlung	2	47808,4***	276,8***	476,6***	82979,5***	1,36***
Genotyp	13	1822,6***	5,4***	20,2***	4930,1***	0,31***
Behandlung/ Genotyp	26	830,2***	3,8***	4,6***	1769,2***	0,16***
Block	3	85,2	1,2	3,5	874,3	0,05
Rest	123	165,1	0,7	1,6	504,9	0,03

Tab. 46: Korrelationen zwischen den Merkmalen bei den Keimungstests in einer PEG- (oberhalb der schattierten Fläche, n=15) und Mannitol-Lösung (unterhalb der schattierten Fläche , n=14) sowie die Korrelation zwischen den Methoden (schattierte Fläche) [Behandlung: 1 = Wasser; 2 = 10%PEG bzw. -0,5 MPa. Mannitol; 3 = 15%PEG bzw. -1,0 MPa. Mannitol]

Merkmal	Behandlung	Sprosslänge	Wurzellänge	Keimungsrate	Trocken- masse	Spross/ Wurzel- verhältnis
Sprosslänge	1	0,50*	-0,02	0,13	0,29	0,62**
	2	0,83***	0,08	0,66*	-0,18	0,59*
	3	0,3	0,39	0,39	0,38	0,73**
Wurzellänge	1	0,56 *	0,26	-0,14	0,70**	-0,75**
	2	0,16	0,14	-0,17	0,37	-0,74
	3	0,67**	0,48	0,01	0,41	-0,32
Keimungsrate	1	0,05	0,44	-0,30	-0,01	0,24
	2	-0,14	0,66**	0,07	-0,14	0,52*
	3	0,56+	0,76**	-0,25	0,70**	0,40
Trockengewicht	1	0,11	0,56*	0,56*	0,38	-0,39
	2	-0,02	0,84***	0,72**	0,48	-0,44
	3	0,72**	0,74**	0,84***	0,27	0,10
Spross/Wurzel- verhältnis	1	0,53	-0,37	-0,32	-0,43	0,36
	2	0,42	-0,78**	-0,76**	-0,80**	0,54*
	3	0,80**	0,18	0,15	0,39	0,05

Tab. 47: Korrelation zwischen den Behandlungen bei der Keimung von Sommerweizenkörnern in PEG- und Mannitol-Lösungen

Behandlungen		Spross- länge	Wurzel- länge	Keimungs- rate	Trocken- masse	Spross/- Wurzel
Wasser	10%iges PEG	0,84***	0,87***	0,02	0,57*	0,92***
Wasser	15%iges PEG	0,62*	0,42	0,02	0,17	0,83***
10%iges PEG	15%iges PEG	0,46	0,56*	0,28	0,38	0,75***
Wasser	-0,5 MPa Mannitol	0,59*	0,72**	0,60*	0,82***	0,30
Wasser	-1,0 MPa Mannitol	-0,33	0,50	0,35	0,50	-0,28
-0,5 MPa Mannitol	-1,0 MPa Mannitol	0,20	0,51	0,36	0,48	0,59*

5 Diskussion

Hitzestress

Bei den Freilandversuchen in Oberägypten konnte für den Kornertrag der Weizensorten keine Korrelationen zwischen den Jahren und zwischen den Orten für beide Anbauzeiten (normal und spät) getrennt festgestellt werden (Werte nicht gezeigt). Zwischen den Anbauzeiten bestand nur in einer von acht untersuchten Umwelten eine signifikant positive Korrelation (Tab. 21). Die unterschiedlichen Ergebnisse bei den Hitzestressversuchen in Oberägypten zeigen, dass insbesondere unter dem Spätanbau verschiedene Orte und verschiedene Jahre sehr unterschiedliche Umwelten darstellen. Die signifikante Genotyp/Umwelt-Interaktion erschwert die Beurteilung der Genotypen hinsichtlich der Hitzetoleranz auf der Basis des Kornertrages.

Ein ähnliche Situation beschrieben auch Reynolds et al. (1994). Sie korrelierten Kornerträge von 16 Sommerweizensorten aus dem Anbau in hitzegeprägten Ländern (Brasilien, Ägypten, Indien und Sudan) mit den Erträgen der gleichen Sorten in Mexiko in zwei Aussaatzeiten und fanden, dass die Erträge zwischen den Anbaujahren in Mexiko für beide Anbauzeiten sehr stark korrelierten und die Korrelation zwischen den Anbauzeiten dagegen schwächer war. Nach den Autoren korrelierten die Kornerträge aus dem Frühanbau in Mexiko mit den Erträgen in allen zum Vergleich stehenden Ländern signifikant und positiv, während die Kornerträge aus dem Spätanbau nur mit den Erträgen aus zwei von vier zum Vergleich stehenden Ländern korrelierten.

Durch die Verschiebung des Aussattermins von einem standortüblichen (Kontrolle) auf einen späteren (Hitzestress) Zeitpunkt wurde der Kornertrag bei Sommerweizen im Mittel der Genotypen verändert, die Höhe der Veränderung war je nach Umwelt verschieden. So wurde bei den eigenen Versuchen 1997 in Shandweel ein Rückgang des Kornertrages um 37,7% gegenüber der Kontrolle festgestellt, während die Reduktion des Ertrages 1996 in Matana nur 6,7% gegenüber der Kontrolle ausmachte. Dagegen stieg der Kornertrag 1995 in Matana um 2,6% gegenüber der Kontrolle. Mohammadi et al. (1999) berichteten von einem Kornertragsverlust bis zu 45%, wenn die Kornfüllungsphase in den Zeitraum des Hitzestresses fällt.

Durch hohe Temperaturen werden die Wachstums- und Entwicklungsphasen beschleunigt (Midmore et al., 1984; Shpiler and Blum, 1986), führen zu einer Verkürzung der Vegetationsperiode (Fischer, 1985; Shpiler and Blum, 1991; Behl et al., 1993, Sharma und Tandon, 1998) und zur Minderung der Organbildung (Shpiler und Blum, 1986, Acevedo et al. 1991). Die Folge davon ist eine Reduktion des Kornertrags. Die Anzahl der Tage von der Aussaat bis zur Blüte von 50% der Pflanzen der untersuchten Genotypen wurde durch die Verschiebung der Aussaatzeit am stärksten in Shandweel 1995, nämlich um ca. 14%, und am wenigsten 1995 in Komombo, nämlich um ca. 2% relativ zur Kontrolle (Normalaussaatzeit), verkürzt. In Matana

fürte 1997 die Stressvariante sogar zu einer um ca. 3% längeren Vegetationsdauer bis zur Blüte. In vorliegender Arbeit korrelierten die durchschnittlichen Temperaturen mit den mittleren maximalen Temperaturen der gesamten Vegetationsperiode ($r > 0,90^{**}$; $n=8$). Die maximale Temperatur der gesamten Vegetationsperiode korrelierte mit den bis zum Blütezeitpunkt (50% blühende Pflanzen, Ende März) herrschenden maximalen Temperaturen und den maximalen Temperaturen der Kornfüllungsphase jeweils mit $r=0,99^{***}$ ($P < 0,001$; $n=8$). Die Auswirkung des Hitzestresses konnte also mit jedem der Temperaturmaße gut erfasst werden.

Eine Korrelation der mittleren Anzahl der Tage bis zur Blüte (Tab. 17-19, Zeile MW) mit der durchschnittlichen maximalen Temperatur (Tab. A1) während der Kornfüllungsphase in den jeweiligen Umwelten war für die beiden Aussaatzeiten negativ (Normalanbau $r = -0,90^{**}$; Spätanbau $r = -0,72^*$; $n=8$). Dagegen wurde kein Zusammenhang zwischen den maximalen Temperaturen und den durchschnittlichen Kornerträgen bzw. Ertragsverlusten der Weizensorten gefunden, während nach Bruckner und Froberg (1987) der mittlere Kornertrag des Sommerweizens verschiedener Umwelten und die durchschnittlichen maximalen Temperaturen in der Kornfüllungsphase gleicher Umwelten negativ korrelieren. Auch zwischen dem Ertragsverlust und der Verkürzung der Zeit bis zur Blüte bestand keine deutliche Beziehung. Andere Autoren (Shpiler und Blum, 1986; Acevedo et al. 1991) fanden eine deutliche Beziehung. Die fehlenden Zusammenhänge in vorliegender Arbeit sind wahrscheinlich auf folgende Ursachen zurückzuführen:

Der nördlich liegende Standort Shandweel hatte im Vergleich zu den anderen beiden Standorten nicht nur eine niedrigere maximale Temperatur der Vegetationszeit ($24,5 - 25,5^{\circ}\text{C}$), sondern auch niedrigere Erträge unter dem Hitzestress. Die in der Relation zur Kontrolle entstandenen Ertragsverluste durch die Verschiebung der Anbauzeit waren in Shandweel relativ groß (1995=20%, 1996=28% und 1997=37%). Die anderen beiden Standorte liegen südlicher. Sie wiesen höhere maximale Temperaturen auf ($28,0 - 29,6^{\circ}\text{C}$) und ermöglichten bis auf Matana 1996 trotzdem höhere Erträge. Die Ertragsverluste dieser Standorte durch Aussaatverschiebung waren meistens kleiner als in Shandweel ($6,7 - 23,7\%$).

Eine hohe Luftfeuchtigkeit verstärkt die Hitzewirkung (Tashiro und Wardlaw, 1990b) und ist möglicherweise eine Ursache für die Unterschiede zwischen den Standorten. Bei einer Untersuchung der Genotyp/Umwelt-Interaktion für die Kornerträge an mehreren Umwelten warmer Gebiete ist die relative Luftfeuchtigkeit der Hauptfaktor für die Rangfolge der Genotypen (Reynolds et al., 1998). Da Ägypten eine Region mit einer niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit ist (Reynolds, et al. 1998), sollte in diesen Experimenten kein Einfluss erwartet werden.

Eine Blüte von 50% der Pflanzen wurde im Durchschnitt der Genotypen in den meisten Um-

welten vom 20.2. – 4.3. unter dem Normalanbau und vom 10.3. – 29.3. unter dem Spätanbau erreicht. Die in Shandweel im Monat März herrschenden maximalen Temperaturen von 23,4 – 25,1°C ließen bis zum Zeitpunkt der Blüte keinen Hitzestress an diesem Standort vermuten.

In Matana und Komombo herrschten im Monat März maximale Temperaturen von 26,7 – 29,4°C. Es ist davon auszugehen, dass die höheren Temperaturen beim Spätanbau die Wachstums- und Entwicklungsphasen bis zur Blüte verkürzten, aber ohne einen Hitzestresseffekt. Die Ertragsverluste durch die Verkürzung konnten anderweitig ausgeglichen werden. Bei den meisten Pflanzenarten der gemäßigten Klimazone, zu denen auch Weizen gehört, findet die maximale Photosyntheserate in Temperaturbereichen von 20°C bis 30°C statt (Björkman et al., 1980). Die Ertragsverluste durch die Verkürzung der Photosynthesedauer könnten über die verstärkte Photosyntheserate kompensiert werden, was sich auch für die Standorte Matana und Komombo vermuten lässt.

Die Korrelation der maximalen Temperaturen der Versuche (n=8) mit der Ährenzahl/m², der Pflanzenlänge und der TKM zeigt, dass die Ährenzahl schwach mit den maximalen Temperaturen der Vegetationsperiode korreliert war (r = 0,24 unter Normalanbau; r = 0,19 unter Spätanbau). Die Pflanzenlänge korrelierte dagegen stark negativ mit r = -0,95*** bei Normalanbau und mit r = -0,84** unter Stressanbau. Die TKM war mit den maximalen Temperaturen positiv korreliert, wobei die Beziehung unter Stressanbau (r = 0,60) größer war als unter Normalanbau (r = 0,28). Im Mittel der untersuchten Sorten entstanden bei den Versuchen in Oberägypten Verluste auch in der Ährenzahl/m² (bis 36% in Komombo 1995), der Pflanzenlänge (bis 14% in Komombo 1995) und der TKM (bis 30% in Shandweel 1997) durch die Verschiebung der Vegetation in die Zeit des Hitzestresses.

Die Genotypen reagierten auf den Spätanbau anders als auf den Normalanbau, so dass sich eine signifikante Interaktion zwischen Behandlungen und Genotypen im Ertrag ergab (Tab. 7 und 11). Die fehlende Korrelation zwischen den Anbauzeiten (Tab. 21 und Abb. 3) bestätigte diese verschiedenartige Reaktion der Genotypen auf die Verschiebung der Anbauzeit.

Einige Genotypen büßten unter dem Hitzestress sehr stark im Kornertrag ein. Die meisten dieser Typen brachten bei normalem Anbau einen relativ hohen Ertrag. Andere Genotypen konnten dagegen unter dem Stress entweder ihre Leistung stabilisieren, einige von ihnen zeigten sogar mehr Ertrag als unter dem Normalanbau. Die meisten Genotypen aus dieser Gruppe hatten unter Normalanbau einen unter dem Durchschnitt liegenden Kornertrag.

Unabhängig von der Anbauzeit wurden beim Kornertrag Unterschiede zwischen den Sorten in den meisten Umwelten gefunden, allerdings von Umwelt zur Umwelt verschieden. So übertrafen z. B. 1995 in Shandweel unter dem Spätanbau die Sorten Giza160, Genaro81 und Condor die Sorten

El Neilen, Fang60, Giza165, Pavon76, Hendi3 und Hend2 signifikant, während 1996 in Matana eine gesicherte Differenzierung der Sorten nur noch zwischen Seri82 und Debeira bzw. Nesser festzustellen war. Im Kornertrag erwies sich keine der untersuchten Sorten als hitzetolerant oder -anfällig in allen Umwelten. Die Sorten mit einer hohen bzw. niedrigen Ertragsleistung variierten von Umwelt zu Umwelt. Obwohl die Sorte Nacozari76 in fünf der acht Umwelten zu den unter dem Hitzestress leistungsfähigsten Sorten gehörte, unterschied sie sich beim Vergleich im Mittel aller Umwelten von den restlichen Sorten nicht signifikant. Die Sorte Nacozari76 wurde in anderen Arbeiten (Reynolds et al., 1992, 1998; Fokar et al., 1998) als hitzesensitiv angegeben. Die Sorten Seri82, Glenson und Nesser (Reynolds et al., 1992, 1998) sowie die Sorte Fang60 (Fokar et al., 1998) wurden dagegen als hitzetolerant bezeichnet. In der vorliegenden Arbeit zeigten die Ergebnisse aus den Versuchen in Oberägypten, dass Seri82 unter dem Hitzestressanbau nur in drei der acht Untersuchungsumwelten zu den leistungsbesten Sorten zählte. Während Fang60 in den meisten Umwelten über dem Sortendurchschnitt lag, gehörte die Sorte Nesser meistens zu den Sorten mit einem geringeren Kornertrag unter Hitzestress (Tab. 8-10).

Die Ergebnisse aus den Klimakammerversuchen der vorliegenden Arbeit bestätigten die Angaben zur Hitzesensitivität der Sorte Nacozari76 von Reynolds et al. (1992, 1998) nach einer Hitzebehandlung mit kurzer Einwirkungsdauer (Tab. 22 und Abb. 4). Die Hitzetoleranz der Sorte Glenson ließ sich bei dem Klimakammerversuch in Bernburg nicht bestätigen, während sie bei dem Klimakammerversuch in Hohenthurm eher eine Hitzetoleranz zeigte.

Ein Vergleich der unter gemäßigttem Klima im Ertrag und in der Reifezeitdauer gleichen Genotypen zeigte nach Reynolds et al. (1998) einen Rückgang der Tagesleistung im Korn- und Biomasseertrag um 6% für die toleranten und 15% für die hitzesensitiven Sorten unter Stress. Bei einem direkten Vergleich unter Stress brachten hitzetolerante Sorten 14% und 13% mehr Korn- bzw. Biomasseerträge als hitzesensitive Sorten. Nach den Autoren betrug der Unterschied zwischen den hitzetoleranten und -anfälligen Sorten in der Kornfüllungsrate 11%. Sie führen die Hitzetoleranz auf die gute Leistung der Sorten in der Kornfüllungsphase zurück.

Die Genotypen mit relativ guter Ertragsleistung unter Hitzestress können über die Ertragshöhe identifiziert werden. Aber die Ertragshöhe unter Hitzestress erlaubt keine Aussage darüber, ob die hohe Ertragsleistung unter Stress aus einem Ertragspotenzial oder einem Toleranzmechanismus gegenüber Hitze resultiert (Bruckner und Froberg, 1987). Diesen Autoren zufolge schätzt der S-Index (stress susceptibility index) die Stresstoleranz der Genotypen besser als der absolute Ertrag. Die durch den S-Index identifizierten Genotypen sollen Mechanismen der Hitzetoleranz besitzen, die als Toleranzquelle in die ertragsreichen aber anfälligen Genotypen eingelagert werden könnten. Durch den S-Index werden stress-tolerante Genotypen identifiziert, die beim Vergleich des

absoluten Ertrags wegen ihres niedrigen Ertragspotenzials vernachlässigt würden (Bruckner und Froberg, 1987). In vorliegender Arbeit konnte aber ein signifikanter Genotypenunterschied im S-Index des Kornertrags nicht nachgewiesen werden.

Bei einer Betrachtung der Mittelwerte aller Umwelten korrelierte der S-Index schwach positiv mit dem Ertrag des Normalanbaus (Abb. 3). Bei einem nach Umwelten getrennten Vergleich ist die Beziehung des S-Indexes zu dem Potenzialertrag in vier Umwelten positiv und signifikant. In anderen Untersuchungen sind die Sorten mit einem hohen Ertragspotenzial hitzesensitiver als die Sorten mit einem niedrigen Ertragspotenzial (Bansal und Sinha, 1991a; Moustafa et al., 1996). Wie Abb. 3 verdeutlicht, bestand im untersuchten Pflanzenmaterial nur ein schwacher Zusammenhang zwischen den Genotypen mit einer hohen potenziellen Ertragsleistung und einem hohen Ertrag unter Hitzestress.

Auch bei einer Beobachtung der Einzelumwelten traf diese Beziehung nur in zwei Umwelten zu. Hiergegen zeigen die Ergebnisse aus anderen Arbeiten (Richards, 1996; Amede, 1998) eine mögliche Beziehung des potenziellen Ertrags mit dem Ertrag unter Stress.

Eine Abhängigkeit des Ertrages von der Anzahl der Tage bis zur Blüte ist in den Untersuchungen in Oberägypten nicht feststellbar (Tab. 20). Dagegen korrelierten nach Reynolds et al. (1994) die Tage bis zur Blüte unter dem Spätanbau (wärmer) in Mexiko mit den Erträgen positiv. Schwach ist nach Angaben der Autoren die Beziehung zur physiologischen Reife. Die Genotypen mit einer späten Blüte und Reife tendieren zu hohen Erträgen (Reynolds et al., 1992; Reynolds et al. 1994). Aber eine starke Korrelation der Vegetationslänge mit dem Ertrag ist in den meisten Umwelten nicht feststellbar. Ähnlich waren bei den hier dargestellten Versuchen in Oberägypten die Korrelationen der Kornerträge mit der TKM generell niedrig. Auch die Beziehungen der Pflanzenlänge und der Ährenzahl/m² zum Kornertrag waren schwach. Andere Untersuchungen (Reynolds et al. 1992, 1994) fanden eine gesicherte Korrelation der Ährenzahl zum Ertrag unter dem Hitzestress. Diese Autoren beobachteten zwischen den Umwelten große Unterschiede im Ertrag bzw. in der Ausprägung anderer Merkmale.

Die Transpiration ist sehr temperaturabhängig, denn die Verdunstung verbraucht Wärme. Sie verbraucht einen großen Teil der auftreffenden Strahlungsenergie und wirkt einer Erhitzung der Pflanze durch Sonnenstrahlung entgegen (Libbert, 1987). Durch eine hohe Transpirationsrate kann sich im Allgemeinen eine niedrigere Blattoberflächentemperatur einstellen (Blum, 1989). Das ermöglicht der Pflanze bei Lufttemperaturen bis zu 40°C mit Hilfe der Transpiration ihre Blattoberflächentemperatur bis wenige Grade unter der Temperatur der Umgebungsluft sinken zu lassen. Bei höheren Temperaturen ist der Schutzmechanismus nicht mehr wirksam, die Blattoberflächentemperatur kann dann bis zu 15°C höher sein (Levitt, 1972). Ist die Transpiration durch bestimmte Beschädigungen (z. B.

durch Hitze) gehemmt, steigt die Blatttemperatur durch die angestaute Wärme an, wie auch die hier erzielten Untersuchungsergebnisse zeigten (Tab. 29), wobei die Messung nach der Beendigung der Hitzewirkung durchgeführt wurde. Bei der Sorte Debeira, bei der ein starker Rückgang der Transpirationsrate gemessen wurde, stieg die Blatttemperatur um 2,4 bis 4,6°C an (Tab. 29). Dagegen blieben die Transpirationsrate sowie die Blatttemperatur der Sorte Glenison relativ unverändert. Reynolds et al. (1994) ermittelten je nach Genotyp eine mittlere Temperatursenkung der Weizenbestandsoberfläche von 5,7°C bis 8,1°C. Der Kornertrag korrelierte positiv mit der Abkühlung der Bestandsoberfläche (Reynolds et al. 1992; Reynolds et al. 1994; Reynolds et al. 1998). Die negativen Korrelationen der Blatttemperatur mit der Transpirationsrate und die positiven Korrelationen der Transpirationsrate mit dem Ährenenertrag (Tab. 34) bestätigten diese Beziehung. Die Abkühlung der Bestandsoberfläche durch Evapotranspiration zeigt wenig Abhängigkeit von dem Pflanzenalter und Anbaujahr (Reynolds et al., 1994).

Eine unterbrochene Transpiration kann über eine daraus resultierende erhöhte Blatttemperatur Verbrennungen der Blätter verursachen. Für die meisten Kulturpflanzen führt eine Blatttemperatur im Bereich von 45 bis 55°C zum Absterben der Blätter (Blum, 1989).

Bei einer Messung des Chlorophyllgehaltes dieser Genotypen waren Unterschiede zwischen den Genotypen zu sehen, wobei die Sorte Debeira einen Chlorophyllverlust bis zur 24% der Kontrolle zeigte (Tab. 30). Reynolds et al. (1994) berichten von genetischen Variationen in Chlorophyllgehalt und -abbau während der Kornfüllung der Sommerweizensorten und schlagen Chlorosen als Selektionskriterien vor.

Der Chlorophyllgehalt des Fahnenblattes, zwei Wochen nach der Blüte gemessen, korrelierte signifikant mit dem Ertrag beim wärmeren Spätanbau, aber nicht beim Frühanbau in Mexiko (Reynolds et al., 1992). Der während der Kornfüllung in Mexiko gemessene Chlorophyllgehalt korrelierte auch mit den Kornerträgen aus dem Anbau in den anderen warmen Ländern (Reynolds et al., 1998).

Ab der Ährenbildung sind die Temperaturabsenkung an der Bestandsoberfläche und die Photosyntheserate bei hitzesensitiven Sorten milder als bei hitzetoleranten Sorten. Nach Reynolds et al. (1998) sind physiologische Merkmale wie Reduktion der Temperatur der Bestandsoberfläche und Chlorophyllgehalt besser vererbbar als der Ertrag.

In den hier durchgeführten Experimenten zeigten die Weizensorten nach einer kurzen Hitzebehandlung eine Reduktion bei Ertragsmerkmalen gegenüber der Kontrolle (Tab. 22 und Abb. 4). Die Art und das Ausmaß des Hitzeschadens an Weizenkörnern durch hohe Temperaturen ist von dem Entwicklungsstadium der Körner abhängig, an dem die Hitzebehandlung

stattgefunden hat (Tashiro und Wardlaw, 1990b), wobei das Entwicklungsstadium der Pflanzen die Reaktion der Sorten auf eine hohe Temperatur beeinflusst. Sehr hohe Temperaturen (Maximum $>35^{\circ}\text{C}$) in den Entwicklungsphasen nach der Blüte können auch bei kurzer Dauer die Weizenkornenerträge signifikant reduzieren (Randall und Moss, 1990; Stone und Nicolas, 1994).

Das Ausmaß der Reaktion auf hohe Temperatur zu einem bestimmten Entwicklungsstadium variiert mit dem Merkmal und der Sorte (Stone und Nicolas, 1994). Nach Al-Khatib und Paulsen (1990) wurde die durchschnittliche Kornmasse der Sorten bei einer Hitzebehandlung um 20% und der durchschnittliche Kornenertrag um 23% reduziert. Bei einer Hitzebehandlung der verschiedenen Sommerweizensorten an verschiedenen Entwicklungsstadien wurde in der vorliegenden Arbeit festgestellt, dass eine Hitzewirkung von kurzer Dauer vor oder während der Blüte die Kornzahl erheblich senkte (Tab. 22 und Abb. 5). Dagegen stieg die TKM an, insbesondere nach einer Hitzebehandlung vor der Blüte (Tab. 22 und Abb. 6). Trotz der angestiegenen TKM sank der Einzelährenertrag im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 4 und Tab. 22), da die Zunahme in der TKM den Verlust durch die sinkende Kornzahl nicht kompensieren konnte. Unter der Hitzewirkung vor und während der Blüte war der Ährenertrag der Sommerweizensorten maßgeblich von der Kornzahl abhängig (Abschnitt 4.1.2. und Tab. 33). Bei einer Hitzebehandlung nach der Blüte wurde die Kornzahl und damit auch der Kornenertrag der Ähre nicht beeinflusst (Abb. 5).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung unterstützen die Beobachtung von Tashiro und Wardlaw (1990b). Nach Auffassung der Autoren ist der Kornsatz in den ersten drei Tagen nach der Blüte gegen Hitze am sensitivsten. Eine Wirkung der hohen Temperatur bis zu sieben Tage nach der Blüte kann die Kornzahl beeinflussen (Tashiro und Wardlaw, 1990a). Bei den eigenen Versuchen erfolgte die Hitzebehandlung der Sorten vor und/oder während der Blüte bzw. durchschnittlich 10 Tage nach der Blüte. Hohe Temperaturen ab 10 Tage nach der Blüte senken den Kornenertrag des Weizens über die Reduzierung des Einzelkorngewichtes (Kolderup, 1979; Bhullar und Jenner, 1985) und die Reaktion nimmt unabhängig von der Sorte mit der Verspätung der Einwirkung ab (Randall und Moss, 1990; Tashiro und Wardlaw, 1990a). Nach der Untersuchung von Stone und Nicolas (1995b) vermindert jede Verzögerung der Hitzebehandlung um zwei Tage die durch Hitze induzierte Abnahme des Einzelkorngewichtes der Sorten um jeweils 1%.

Wie die Untersuchungen in den Klimakammern zeigen, können die hitzetoleranten und hitzeanfälligen Sorten schon nach einer kurzen Hitzebehandlung unterschieden werden. Dabei bildete die Sorte Nacozari76 z. B. bei einer 24-stündigen Hitzebehandlung vor der Blüte (DC 47) und während der Blüte (DC 61) einen sehr geringen Kornenertrag, während Naxos 62% bzw. 75% der Kontrolle erbringen konnte. Wardlaw et al. (1989b) registrierten bei einer Untersuchung von 66 Weizensorten eine 10-60% Reduktion des Einzelkorngewichtes unter hoher Temperatur.

Stone und Nicolas (1995b) untersuchten zwei Sommerweizensorten mit unterschiedlicher Hitzetoleranz. Ihren Ergebnissen zufolge ist das Einzelkorngewicht am sensitivsten gegen Hitze, wenn die Hitzebehandlung früh erfolgt. Die Sensitivität nimmt bei einer später einsetzenden Behandlung ab. Bei hitzesensitiven Sorten war auch die Kornfüllungsrate reduziert.

Akklimatisierung an höhere Temperaturen verringert die Ertragsverluste durch Hitze bei Weizen. Die Weizengenotypen unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit zur Akklimatisierung (Stone und Nicolas, 1995c). Vergleiche von Weizengenotypen auf Hitzetoleranz an Hand des Ertrages sollten nach Ansicht dieser Autoren deshalb nach langsamer Akklimatisierung an steigende Temperaturen erfolgen. Eine Hitzevorbehandlung der Sorten Wadi-Elnile, Debeira und Nacozari76 bei 30°C für 48h brachte offenbar keine Anpassungsvorteile gegenüber nicht vorbehandelten Varianten gleicher Sorte. Das Temperaturregime, unter denen eine Pflanze aufgezogen wurde, hat Einfluss auf die Reaktion dieser Pflanze auf die nachfolgend herrschenden höheren Temperaturen (Björkman et al., 1980).

Untersuchungen zur Hitzetoleranz werden erleichtert, wenn Genotypen mit gleichem Ertragspotenzial und gleicher phänologischer Entwicklung herangezogen werden (Reynolds et al., 1998). Das in dieser Arbeit geprüfte Pflanzenmaterial war in Bezug auf Ertragspotenzial und phänologische Entwicklung sehr heterogen. Das erschwert den Vergleich der Sorten hinsichtlich ihres Verhaltens unter Hitzestress.

Trockenstress

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich der starke Einfluss der Versuchsbedingung auf den Ertrag in der geringen Korrelation zwischen drei Versuchen zum Trockenstress unabhängig von der Wasserversorgung (Tab. 41). Auch für die Kornzahl/Ähre bestand keine gesicherte Beziehung zwischen dem Versuch unter dem Dach und den Versuchen in der Klimakammer. Dagegen wurden gesicherte Korrelationen zwischen drei Versuchen für die Anzahl der Tage bis zum Ährenschieben gefunden. Sie waren unter der Trockenstressvariante enger als unter der Kontrollvariante.

Unter Trockenstress wird die Ertragsbildung durch die Reduktion der Assimilationsrate und der produktiven Blattfläche sowie durch die Verschiebung des assimilierten Kohlenstoffs in photosynthetisch inaktive Pflanzenteile beeinflusst (Jenka, 1985).

Der Trockenstress wirkt sich auch auf verschiedene Komponenten des Ertrags unterschiedlich aus. Daher sind die einzelnen Ertragskomponenten getrennt zu betrachten. Bansal und Sinha (1991a) fanden bei ihren Untersuchungen verschiedener Weizenarten (darunter Sorten von *Triticum aestivum*) eine hohe Kornertragstabilität von hexaploiden Weizengenotypen mit einer

stabilen Ährenzahl/m². Auch Ehdaie et al. (1988) berichteten, dass die Zahl der Ähren je Pflanze unter Stressbedingungen stabil blieb. Sie führten das entweder auf die Stabilität des Merkmals im Allgemeinen oder auf die Stressflucht der Entwicklungsphase zurück. Die Ährenzahl als erste phänologische Ertragskomponente kann durch den später auftretenden Stress nicht beeinflusst werden. Dagegen stellten sie signifikante Unterschiede zwischen den Wasserregimen in Kornzahl/Ähre, Korngewicht, Ernteindex und Kornertrag fest, wobei mit zunehmender Stressintensität die Kornzahl/Ähre am stärksten betroffen wurde. Das gleiche fanden auch Fischer und Mauerer (1978), Gharti-Chhetri und Lales (1990) und Denčić et al. (2000). Die Kornzahl wird durch Ereignisse vor dem Blühbeginn, das Korngewicht aber nach dem Blühbeginn beeinflusst (Gharti-Chhetri und Lales, 1990). In der vorliegenden Arbeit wurde eine höhere Zahl an reduzierten Ährchen unter dem Trockenstress gezählt, überwiegend an der Ährenbasis, wobei auch Unterschiede zwischen den Genotypen in der Anzahl der reduzierten Ährchen bestanden (A11). Nach Denčić et al. (2000) hatte die Anzahl steriler Ährchen/Ähre einen signifikanten negativen Effekt auf den Ertrag. Trockenstress kurz vor der Anlage der Ähren beeinflusst die Zahl der fertilen Blütchen/Ähre. Wassermangel während der späten Internodienelongation vor dem Ährenschieben bewirkt ein Absterben von Blütchen und Ährchen an der Basis und Spitze der Ähren (Oosterhuis und Cartwright, 1983).

Wie in Tab. 38 und 40 ersichtlich ist, wurde der Kornertrag/Ähre stark von der Kornzahl je Ähre beeinflusst. Aggarwal und Sinha (1987) untersuchten bei Weizen und Triticale die Kornzahl und ihre Beziehung zum Kornertrag unter verschiedenen Bedingungen für den Bodenwassergehalt. Sie fanden eine positive Korrelation der Gesamttrockenmasse und der Kornzahl/m² mit dem Kornertrag. Dagegen wurde keine Korrelation des TKM mit dem Ertrag gefunden. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde keine gesicherte Korrelation der TKM mit dem Ertrag unter dem Wassermangel gefunden. Bei der Kontrollvariante wurde dagegen eine gesicherte positive Korrelation gefunden (Tab. 38 und 40). Eine sinkende Kornzahl/m² sowie reduzierte Kornzahl/Ähre können durch eine mit dem Stress zunehmende TKM teilweise kompensiert werden (Bansal und Sinha, 1991b).

Das Korngewicht ist vom Sink/Source-Verhältnis abhängig (Ehdaie et al., 1988). Sinkt z.B. die Kornzahl/Ähre durch einen starken Stress, können die vorhandenen Assimilate (Source) ausreichen, die wenigen Einzelkörner zu füllen. Die Folge sind schwerere Einzelkörner und eine hohe TKM. Die negative Korrelation zwischen der Kornzahl und der TKM der Stressvarianten 1996 in der Klimakammer und im Feld (überdachte Variante) bestätigten diese Aussage. Die Sorten mit einer hohen TKM bei dem Trockenstress im Feld wie z. B. Inklab, Gemiza1, Achter und Giza157 wiesen meistens eine niedrige Kornzahl/Ähre auf. Parallel dazu gab es Sorten wie

Nacozari76, Penewawa, WPB926 und Munk, die eine hohe Kornzahl und eine hohe TKM besaßen. Eine signifikante positive Korrelation des Korngewichtes mit der Dauer der Kornfüllung wurde von Gharti-Chhetri und Lales (1990) registriert. Die Kompensationswirkung der Ertragskomponenten erschwert die Differenzierung der Genotypen bei Trockenstress. Unter den Stressbedingungen wird der Kornertrag von dem Ertragspotenzial und der Stressresistenz des Genotyps bestimmt (Edhaie et al. 1988; Blum, 1989; Moustafa et al., 1996; van Ginkel et al., 1998). Die Stressresistenz wird in vielen Arbeiten mit dem S-Index geschätzt (Fischer und Wood, 1979; Edhaie et al., 1988). Ein S-Index < 1 bedeutet dabei hohe Stressresistenz. In Untersuchungen von Edhaie et al. (1988) wurde keine Korrelation zwischen S-Index und Ertragspotenzial festgestellt. Eine Selektion unter der günstigen Bedingung ist nach Richards (1996) vorteilhafter als eine Selektion unter der weniger günstigen Bedingung wegen der maximalen genetischen Variation und minimalen Genotyp/Umwelt-Interaktion unter der stressfreien Bedingung. Aber der Vorteil des Ertragspotenzials ist hauptsächlich nur dann ausgeprägt, wenn der Niederschlag der Saison sowohl mengenmäßig wie auch in der zeitlichen Verteilung im optimalen bis moderaten Bereich liegt (Blum, 1996). Eine Korrelation des potenziellen Ertrags mit dem S-Index wurde in der vorliegenden Arbeit nicht gefunden ($r= 0,18$; ns bei $P=0,05$; $n=23$).

Eine hohe Ertragsstabilität ist unter strengen Stressbedingungen häufig mit einem niedrigen Ertragspotenzial verbunden (Bansal und Sinha, 1991a). Auch andere Autoren bestätigen dieses Ergebnis (Laing und Fischer, 1977; Sinha et al., 1986; Bruckner und Froberg, 1987). Bei den Untersuchungen von Sommerweizengenotypen unter Kontroll- und Stressvarianten stellten Moustafa et al. (1996) eine signifikante Senkung des Kornertrages bei zwei von vier untersuchten Genotypen fest, wenn die Genotypen in dem Stadium des Blühbeginns dem Trockenstress ausgesetzt wurden. Dagegen fanden sie bei einem Trockenstress in der Bestockung keine signifikante Senkung des Kornertrags bei allen Genotypen.

Aggarwal und Sinha (1987) gruppierten Weizengenotypen nach dem S-Index und Ertragspotenzial und fanden Unterschiede in der Ausprägung der Ertragskomponenten in verschiedenen Gruppen. Eine Genotypengruppe mit niedrigem S-Index und mittlerem Ertragspotenzial produzierte unabhängig von der Wasserverfügbarkeit mehr Ähren/m² als andere Gruppen. Die gleiche Gruppe hatte unter Trockenstress eine erhöhte Kornzahl/Ähre, die die Ertragsverluste durch eine Reduktion der Ähren/m² unter Trockenheit zum Teil kompensieren konnte. Eine Genotypengruppe mit einem hohen Ertragspotenzial und niedrigem S-Index hatte durch mehr Ähren/m² und mehr Körner/Ähre den höchsten Kornertrag unter bewässerten Bedingungen sowie unter mäßigem Trockenstress. Eine Gruppe mit hohem Ertragspotenzial und hohem S-Index hatte

eine hohe Kornzahl/Ähre, aber eine niedrige Ährenzahl/m². Wieder eine andere Gruppe von Genotypen mit niedrigem Ertragspotenzial und niedrigem S-Index hatte die geringste Ährenzahl/m², Kornzahl/Ähre und Trockenmasse. In der eigenen Arbeit war eine Gruppierung der Genotypen nach diesen Kriterien nicht möglich.

Nach Fischer und Maurer (1978) besteht ein signifikanter Unterschied im Ertragspotenzial und S-Index auch zwischen den Genotypen mit langem Halm und kurzem Halm. Wenn die Trockenheit eine bestimmte Intensität überschritten hat, übertreffen die Genotypen mit langem Halm diejenigen mit kurzem Halm im durchschnittlichen Kornertrag. Ist die Trockenintensität schwächer, dann haben die kurzen Typen die Möglichkeit, die Vorteile ihres hohen Ertragspotenzials auszunutzen und im Ertrag die längeren zu übertreffen. Welche Gruppe als trockentolerant zu bezeichnen ist, ist abhängig von der Intensität der Trockenheit.

Mit steigendem osmotischen Stress durch PEG- und Mannitollösungen sanken die Keimungsrate und die Sprosslänge der Genotypen im Vergleich zur Wasservariante. Dagegen nahm die Wurzellänge mit der PEG-Konzentration zu, während sie beim Mannitol reduziert wurde. Eine Reduktion der Keimungsrate, Spross- und Wurzellänge wurde nach einer Keimung von Maiskörnern in Mannitollösung gefunden (Elemery et al., 1995). Nach einer Keimung in einer PEG- und Mannitollösung ist eine Differenzierung der Genotypen möglich. Allerdings ändert sich aber mit der Änderung der Stressintensität auch die Rangfolge der Genotypen. Damit ist die Bedeutung der Methode eingeschränkt (Winter et al., 1988; Elemery et al., 1995).

Durch Wassermangel wird offenbar das Sprosswachstum mehr gehemmt als das Wurzelwachstum (Tab. 43 und 44). Hierbei zeigen Genotypen Unterschiede im Spross/Wurzelverhältnis, was darauf hindeuten kann, dass die Genotypen ihre Assimilate unterschiedlich in die photosynthetisch nichtaktiven Teile verlagern (Jenka, 1985). Auch Magrin et al. (1991) berichten von steigenden Wurzel/Sprossverhältnissen der Weizensorten unter dem Trockenstress. In vielen Fällen kann die absolute Wurzelbiomasse der Pflanzen in einem trockenen Boden sogar größer sein als in der gut bewässerten Kontrolle (Sharp und Davies, 1989). Auch der Wurzelgang kann unter Wassermangel tiefer sein als bei bewässerten Pflanzen (Sharp und Davies, 1985). Über die Bewurzelungsdichte und Bewurzelungstiefe kann eine erhöhte Wasseraufnahme aus großen Tiefen des trockenen Bodens ermöglicht werden (Sharp und Davies, 1985), und dies kann in trockenen Jahren eine relative Ertragsverbesserung bringen (Jordan et al., 1983a). Eine stärkere Verlagerung der Assimilate in die Wurzel ist nach Pugnaire et al. (1994) charakteristisch für die stressvermeidenden Pflanzen.

Ein zunehmender Widerstand der Wassereinströmung in die Wurzeln (geringe Wasserleitfähigkeit) kann bei dem Anbau von Weizen auf den Böden mit knappem Vorrat an gespeichertem

Bodenwasser konservierend (sparend) wirken und der Pflanze in den kritischen Perioden wie Blüte und Kornfüllung zugute kommen (Richards und Passioura, 1981).

Eine Verbesserung des Wurzelwachstums durch Züchtung wird in Kulturpflanzen wie Reis (IRRI, 1982), Sorghum (Jordan et al. 1983b), Sojabohne (Boyer et al. 1980) und Weizen (Richards und Passioura, 1981; Morgan und Condon, 1986) als möglich angesehen. Nach Richards und Passioura (1981) ist z. B. eine Selektion der Weizengenotypen mit hohem axialem Widerstand auch unter Normalbedingung möglich, da keine Genotyp/Umweltinteraktion besteht. Pflanzeninterne, von der Wurzel nicht kontrollierbare genetische Einflussfaktoren (Blum und Arkin, 1984; McGowan et al. 1984; Morgan und Condon, 1986) und Bodeneigenschaften (IRRI, 1982; Blum und Ritchie, 1984) verhindern die praktische Nutzung der Wurzel in der Selektion für Trockenresistenz im Freiland.

6 Zusammenfassung

Der Anbau von Weizen, einer Kulturpflanze der gemäßigten Klima, in warmen und trockenen Gebieten der Welt nimmt immer weiter zu. Hitze und Trockenheit begrenzen jedoch die Ertragsfähigkeit der Weizensorten beim Anbau unter suboptimalen Bedingungen. Auch in den gemäßigten Klimazonen treten Probleme durch Hitze- und Trockenstress auf. Um die Eigenschaften der Hitze- und Trockenresistenz über Kreuzungsprogramme in leistungsfähige Sorten einlagern zu können, wurde zunächst eine Prüfung eines breiten Sortimentes unter Freilandbedingungen in hitzegeprägten Regionen Oberägyptens und unter Klimakammer- und Laborbedingungen in Deutschland durchgeführt. Ziel der vorgelegten Arbeit war es:

verschiedene Sommerweizengenotypen auf ihre Ertragsleistung unter Hitze- und Trockenbedingungen im Vergleich zu Kontrollbedingungen zu prüfen und Merkmale zu finden, die Hitze- und Trockentoleranz der Sommerweizengenotypen charakterisieren und eine Selektion an einem umfangreichen Material in möglichst frühen Entwicklungsstadien erlauben.

Die Ergebnisse der Versuche sind im Folgenden zusammengefasst:

Hitzestress

Die Freilandversuche in Oberägypten verdeutlichen die Schwierigkeiten in der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse beim Anbau unter suboptimalen Bedingungen. Die signifikante Genotyp/Umweltinteraktion erschwert die Beurteilung der Genotypen hinsichtlich der Hitzetoleranz auf der Basis des Kornertrages. Durch die Verschiebung des Aussaattermins von einem normalen (Kontrolle) auf einen späteren (Hitzestress) Zeitpunkt wurde der Kornertrag/m² der Sommerweizen im Mittel der Genotypen reduziert, die Höhe der Reduktion war jedoch von der Umwelt abhängig. Die Verschiebung des Aussaattermins verkürzte in Abhängigkeit von der Umwelt die Tage bis zu dem Zeitpunkt, an dem 50% der Pflanzen blühen. Diese Zeitspanne ist mit der durchschnittlichen maximalen Temperatur der Vegetation negativ korreliert. Es wurde kein Zusammenhang zwischen den maximalen Temperaturen und den durchschnittlichen Kornerträgen bzw. Ertragsverlusten der Weizensorten gefunden. Auch zwischen der Verkürzung der Zeit bis zur Blüte und dem Ertragsverlust bestand keine deutliche Beziehung. Im Mittel der untersuchten Sorten entstanden bei den Versuchen in Oberägypten durch die Verschiebung der Vegetation in die Zeit des Hitzestresses Verluste auch in der Ährenzahl/m², der Pflanzenlänge und der TKM. Die Genotypen reagierten auf den Spätanbau anders als auf den Normalanbau, sodass sich eine signifikante Interaktion zwischen den Behandlungen und Genotypen im Ertrag ergab. Einige Genotypen büßten unter dem Hitzestress sehr stark an Kornertrag ein. Die meisten von diesen

Typen brachten unter dem normalen Anbau einen relativ hohen Ertrag. Andere Genotypen konnten dagegen unter dem Stress ihre Leistung stabilisieren. Einige von ihnen zeigten sogar mehr Ertrag als unter dem Normalanbau. Die meisten von dieser Gruppe hatten unter Normalanbau ein unter dem Durchschnitt liegendes Ertragspotenzial. Im Kornertrag erwies sich keine der untersuchten Sorten als hitzetolerant oder –anfällig in allen Umwelten. Die Sorten mit einer hohen bzw. niedrigen Ertragsleistung variierten mit der Umwelt. Die von den anderen Autoren angegebene Hitzesensitivität der Sorte Nacozari76 und die Hitzetoleranz der Sorten Seri82, Glenson sowie Nesser wurden nur teilweise oder kaum bestätigt. Die Genotypen mit relativ guter Ertragsleistung unter Hitzestress können über die Ertragshöhe und über den S-Index identifiziert werden. In vorliegender Arbeit konnte aber ein signifikanter Genotypenunterschied im S-Index des Kornertrags nicht nachgewiesen werden. Es wurde eine schwache Korrelation des Kornertrages mit der Pflanzenlänge, der Ährenzahl und der TKM in Ägypten festgestellt.

Nach einer Hitzebehandlung der verschiedenen Sommerweizensorten in den Klimakammern sank die Transpirationsrate bei einem gleichzeitigen Anstieg der Blatttemperatur an der Bestandsoberfläche, wobei die Messungen nach der Beendigung der Hitzewirkung durchgeführt wurden. Hierbei unterschieden sich die untersuchten Sorten. Bei der Sorte Debeira, bei der ein starker Rückgang der Transpirationsrate gemessen wurde, stieg die Blatttemperatur um 2,4 bis 4,6°C an. Dagegen blieben die Transpirationsrate sowie die Blatttemperatur der Sorte Glenson relativ unverändert. Der Kornertrag korrelierte positiv mit der Abkühlung der Blattoberfläche. Bei einer Messung des Chlorophyllgehaltes der hitzebehandelten Genotypen waren Unterschiede zwischen den Genotypen zu sehen, wobei die Sorte Debeira einen Chlorophyllverlust bis zur 24% der Kontrolle zeigte. Bei einer Hitzebehandlung der verschiedenen Sommerweizensorten zu verschiedenen Entwicklungsstadien wurde in der vorliegenden Arbeit festgestellt, dass eine Hitzewirkung von kurzer Dauer vor oder während der Blüte die Kornzahl erheblich senkte. Dagegen stieg die TKM an, insbesondere nach einer Hitzebehandlung vor der Blüte. Trotz der angestiegenen TKM, sank der Einzelährenertrag im Vergleich zur Kontrolle ab, da die Zunahme in der TKM den Verlust durch die geringe Kornzahl nicht kompensieren konnte. Unter der Hitzewirkung vor und während der Blüte war der Ährenertrag der Sommerweizensorten maßgeblich von der Kornzahl abhängig. Bei einer Hitzebehandlung nach der Blüte wurde die Kornzahl und damit auch der Kornertrag der Ähre nicht beeinflusst. Eine Hitzevorbehandlung der Sorten Wadi-Elnile, Debeira und Nacozari76 bei 30°C für 48h brachte offenbar keine Anpassungsvorteile gegenüber nicht vorbehandelten Varianten gleicher Sorte.

Trockenstress

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich der starke Einfluss der Versuchsbedingungen auf den Ertrag in der nicht vorhandenen Korrelation zwischen drei verschiedenen Versuchen zum Trockenstress bei Kontrolle und Stressbehandlung. Auch für die Kornzahl/Ähre bestand keine gesicherte Beziehung zwischen dem Versuch unter dem Dach und den Versuchen in der Klimakammer. Dagegen wurden gesicherte Korrelationen zwischen den Versuchen für den Termin des Ährenschiebens gefunden. Sie sind unter der Trockenstressvariante höher als unter der Kontrollvariante. In der vorliegenden Arbeit wurde unter dem Trockenstress eine höhere Zahl an reduzierten Ährchen überwiegend an der Ährenbasis gezählt, wobei auch Unterschiede zwischen den Genotypen in der Anzahl der reduzierten Ährchen bestanden.

Der Kornertag/Ähre wurde stark von der Kornzahl/Ähre beeinflusst. In der vorliegenden Arbeit wurde keine gesicherte Korrelation der TKM mit dem Ertrag unter dem Wassermangel gefunden. Bei der Kontrollvariante wurde dagegen eine gesicherte positive Korrelation gefunden. Sinkt z. B. die Kornzahl/Ähre durch einen heftigen Trockenstress, kann das vorhandene Assimilat (Source) ausreichen, die wenigen Einzelkörner zu füllen. Die Folge sind schwere Einzelkörner und eine hohe TKM. Die negative Korrelation zwischen der Kornzahl und der TKM der Stressvariante 1996 in der Klimakammer und im Freiland unter dem Dach bestätigten diese Aussage. Die Sorten mit einer hohen TKM bei dem Trockenstress unter dem Dach wie z. B. Inklab, Gemiza1, Achter und Giza157 wiesen meistens eine niedrige Kornzahl/Ähre auf. Parallel dazu gibt es Sorten wie Nacozari76, Penewawa, WPB926 und Munk, die eine hohe Kornzahl und eine hohe TKM besaßen. Die Kompensationswirkung der Ertragskomponenten erschwert die Differenzierung der Genotypen unter dem Wasserstress. Eine Korrelation des potenziellen Ertrags mit dem S-Index wurde in der vorliegenden Arbeit nicht gefunden ($r=0,18$; ns bei $P=0,05$; $n=23$).

Unter Wassermangel wurde das Sprosswachstum mehr gehemmt als das Wurzelwachstum. Hierbei zeigten Genotypen Unterschiede im Spross/Wurzelverhältnis, was daraufhin deuten kann, dass die Genotypen ihre Assimilate unterschiedlich in photosynthetisch nichtaktive Teile verlagern.

7 Summary

Wheat, normally a crop of temperate zone, is increasingly being cultivated in warm and dry areas of the world. However, the prevailing high temperatures and drought periods are suboptimal conditions limiting the productivity of wheat genotypes. Even in temperate zones problems with heat and drought can occur. The integration of resistance to heat and drought into high yielding varieties by crossing needs to search for appropriate parental varieties. Therefore experiments with a wide spectrum of spring wheat varieties have been conducted under field conditions in upper Egypt and under growth chamber and laboratory conditions in Germany. The objectives were:

- to test different spring wheat varieties for their yield performance under heat and drought conditions in comparison to control conditions.
- to find traits which characterise heat and drought resistance of spring wheat genotypes and permit a selection on a large scale in early stages of development.

The results are summarized as follows:

Heat stress

The field experiments in upper Egypt showed how difficult it is to obtain reproducible results when spring wheat varieties have been cultivated under heat stress conditions at different sites in different years. There was a significant genotype/environment interaction for grain yield. The shifting of sowing time from normal (control) to late (heat stress) reduced the grain yield/m² of spring wheat varieties on average, the amount of reduction depending on the environment. The delayed sowing time has also shortened the time required to reach 50% anthesis, again depending on the environment. Time to 50% anthesis correlated negatively with average maximal temperature of the vegetation period. No relationship was found between this maximal temperature and the average grain yield as well as the grain yield reduction of spring wheat genotypes. Time to 50% anthesis was not clearly related to the grain yield reduction. For most of the varieties used in upper Egypt, reduction was recorded also in number of spikes/m², plant length, and thousand grain weight (TGW) with delayed sowing. The significant interaction between treatments and genotypes on the grain yield indicated that the response of genotypes to late sowing is different from normal sowing. Some genotypes significantly reduced their grain yield under heat stress conditions. Most of these genotypes showed a relatively high grain yield under normal conditions. Other genotypes stabilized their yield under heat stress, while a few genotypes even showed increased grain yield under stress in comparison to the control. Under normal conditions, most of the genotypes from the latter two groups possessed a grain yield lower than

the average of all genotypes. No genotype could be proved to be resistant to heat stress in all tested environments. The susceptibility of variety Nacozari76 and the tolerance of varieties Seri82 and Glenson, as indicated in other works, could only partially be confirmed, whereas no confirmation in this study was possible for the tolerance of Nesser. The genotypes with a relatively high grain yield performance under heat stress could be identified either through an absolute grain yield level or through its S-index. In present work, no significant difference between genotypes could be observed concerning the S-index of the grain yield. The correlation of grain yield with plant height, spike number/m², and TGW was weak under the Egyptian field conditions.

After a short-term treatment of different spring wheat genotypes with heat at high temperatures in growth chambers, the transpiration rate of flag leaves had decreased with an increase in leaf temperatures when measured after the end of the treatment. The variety Debeira which showed a large reduction in its transpiration rate increased its leaf temperature by 2.4 and 4.6°C after its exposure to high temperatures before and after flowering respectively. In contrast, the transpiration rate and leaf temperature of variety Glenson remained relatively unchanged, indicating a variation between genotypes. The grain yield was positively correlated with leaf temperature depression. An indirect measurement of chlorophyll content in the leaves of some varieties indicated differences, the variety Debeira showing the highest loss of chlorophyll content up to 24% of the control.

The short-term treatment with heat of different genotypes of spring wheat before and after flowering greatly decreased the number of kernels/spike, while the TGW was increased, especially due to heat treatment prior to flowering. The reduction of the grain yield could not be fully compensated by an increase in TGW. The heat exposed before and during flowering influenced the grain yield by its strong effect on kernels/spike. Heat exposed after flowering did not influence the kernel number and consequently the grain yield.

The acclimatization of Wadi-Elnile, Debeira, and Nacozari76 at 30°C for 48 hours gave no advantages over the same varieties without acclimatization.

Drought stress

The absence of a correlation between the three drought experiments indicated the strong influence of experimental conditions on grain yield under control and under stress conditions. Also for kernel number/spike there was no significant correlation between the experiment in the field and in the growth chamber. For time to anthesis a strong correlation was found between experiments. The higher correlation coefficients were found under drought stress. Under drought

conditions, an increased number of aborted spikelets has been recorded especially at the base of a spike, the number varying between genotypes. The grain yield was highly influenced by the grain number. No significant correlation of TGW with the grain yield was found under drought stress. But under the control condition, the relationship was positive and significant. The decrease of grain numbers/spike by drought has the consequence, that the available assimilate (source) have to fill only a few grains leading to heavy grains and a high TGW. The negative correlation of TGW with the grain number/spike under drought stress in 1996 both under the growth chamber and the field condition confirmed this relationship. Varieties with a high TGW under drought conditions in the field (e.g. Inklab, Gemiza1, Achter, and Giza157) mostly showed a low number of grains/spike. Besides this, there were varieties like Nacozari76, Penewawa, WPB926, and Munk possessing both a high number of grains and a high TGW. The compensation effect of yield components made the differentiation of genotypes under drought stress difficult. No correlation of potential yields with the S-index was found ($r = 0.18$; not significant at $P=0.05$; $n=23$). Under drought stress, shoot growth had significantly declined in comparison to root growth. The genotypes showed also different shoot/root ratios indicating that genotypes allocated their assimilate differently to photosynthetic inactive parts.

8 Literaturverzeichnis

Acevedo E., 1993. Potential of carbon isotope discrimination as a selection criterion in barley breeding. pp.399-417. In: J.R. Ehleringer, A.E. Hall, and G.D. Farquhar (eds.) Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations. Academic Press, San Diego.

Acevedo E., M. Nachit, and G.O. Ferrara, 1991. Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance. pp.401-420. In: D.A. Saunders (ed.) Wheat for Non-Traditional Warm Areas. CIMMYT, Mexico DF.

Aggarwal P. K., and S. K. Sinha, 1987. Performance of wheat and triticle varieties in a variable soil water environment. IV. Yield components and their association with grain yield. Field Crops Res. 17: 45-53.

Ahloowalia B. S., and G. S. Khush, 2001. Renaissance in genetics and its impact on plant breeding. Euphytica. 118: 99-102.

Alam S. M., 1994. Nutrient uptake by plants under stress conditions. pp.227-246. In: M. Pessarakli (ed.) Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong.

Al-Khatib K., and G.M. Paulsen, 1990. Photosynthesis and productivity during high-temperature stress of wheat genotypes from major world regions. Crop Sci. 30: 1127-1132.

Altschuler M., and J.P. Mascarenhas, 1982. Heat shock proteins and effects of heat shock in plants. Plant Molec. Biol. 1: 103-115.

Amani I., R.A. Fischer, and M.P. Reynolds, 1996. Canopy temperature depression associated with yield of irrigated spring wheat cultivars in a hot climate. J. Agron. Crop Sci. 176: 119 - 129.

Amede T., 1998. Analysis of drought resistance in grain legumes: The case of *Vicia faba* L., *Pisum sativum* L., *Phaseolus vulgaris* L. and *Cicer arietinum* L. Dissertation, Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung, Germany.

Angus F.J., and M.W. Moncur, 1977. Waterstress and phenology in wheat. Aust. J. Agric. Res. 28: 177-181.

Austin R.B., 1989. Prospects for improving crop production in stressful environments. pp.235-248. In: H. G. Jones, T.J. Flowers, and M.B. Jones (eds.) Plants under Stress. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Austin R.B., C.L. Morgan, M.A. Ford, and R.D. Blackwell, 1980. Contributions to the grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. Ann. Bot. 45: 309-319.

Bansal K.C., and S.K. Sinha, 1991a. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* L. and related species. I. Total dry matter and grain yield stability. Euphytica. 56: 7-14.

Bansal K.C., and S.K. Sinha, 1991b. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* L. and related species. II. Stability in yield components. Euphytica. 56: 15-26.

- Baszczynski C.L., D.B. Walden and B.G. Atkinson, 1982. Regulation of gene expression in corn (*Zea mays* L.) by heat shock. *Can. J. Biochem.* 60: 569-579.
- Begg J.E., and N.C Turner. 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28:161-217.
- Behl R.K., H.S. Nainawatee, and K.P. Singh, 1993. High temperature tolerance in wheat. *International Crop Science I. Chapter 45*, pp.349-355.
- Bhuller S.S., and C.F. Jenner, 1985. Differential responses to high temperature of starch and nitrogen accumulation in grain of four cultivars of wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 12: 363-375.
- Bidinger F., R. B. Musgrave, and R. A. Fischer, 1977. Contribution of stored preanthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature* 270: 431-433.
- Björkman O., M.R. Badger, and P.A. Armond, 1980. Response and adaptation of photosynthesis to high temperatures. Chapter 15, pp.233-249. In: Turner N.C., and P.J. Kramer (eds.): *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. New York (Wiley Interscience).
- Blum A., 1983. Breeding programs for improving crop resistance to water stress. 263-76. In: Jr. C.D. Raper, and P.J. Kramer(eds.): *Crop Reactions to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperate Climates*. Boulder Colorado, Westview Press.
- Blum A., 1985. Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *J. Exp. Bot.* 36: 432-440.
- Blum A., 1986. The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 37: 111-118.
- Blum A., 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. Boca Raton: CRC Press.
- Blum A. 1989. Breeding methods for drought resistance. pp.197-215. In: H. G. Jones, T.J. Flowers, and M.B. Jones (eds.): *Plants under stress*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Blum A., 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: E. Belhassen (ed.), 1997: *Drought Tolerance in Higher Plants. Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis*, pp57-70. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Blum A., 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. *Euphytica* 100: 77-83.
- Blum A., and G.F. Arkin, 1984. Sorghum root growth and water-use as affected by water supply and growth duration. *Field Crops Res.* 9: 131-142.
- Blum A., G. Golan, and J. Mayer, 1983a. Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of post-anthesis stress. II. Relations to drought stress. *Field Crops Res.* 6: 149-155.
- Blum A., G. Golan, J. Mayer, B. Sinmena, and T. Obilana, 1992. The comparative productivity and drought response of semitropical hybrids and open-pollinated varieties of Sorghum. *J.Agric. Sci. Camb.* 118: 29-36.
- Blum A., N. Klueva, and H.T. Nguyen, 2001. Wheat cellular thermotolerance is related to yield

under heat stress. *Euphytica* 117: 117-123.

Blum A., J. Mayer, and G. Golan, 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Field Crops Res.* 57: 137-146.

Blum A., J. Mayer, and G. Golan, 1983b. Associations between plant production and some physiological components of drought resistance. *Plant Cell and Environment*, 6: 219-225.

Blum A., J. Mayer, and G. Golan, 1988. The effect of grain number per ear (sink size) on source activity and its water-relations in wheat. *J. Exp. Bot.* 39: 106-114.

Blum A., H. Poiarkova, G. Golan, and J. Mayer, 1983c. Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of post-anthesis stress. I. Effects on translocation and kernel growth. *Field Crops Res.* 6: 51-58.

Blum A., S. Ramaiah, E.T. Kanemasu, and G.M. Paulsen, 1990. Recovery of wheat from drought stress at the tillering developmental stage. *Field Crops Res.* 24: 67-85.

Blum A., and J.T. Ritchie, 1984. Effect of soil surface water content on sorghum root distribution in the soil. *Field Crops Res.* 8: 169-176.

Blum A., and B. Sinmena, 1994. Wheat seed endosperm utilization under heat stress and its relation to thermotolerance in the autotrophic plant. *Field Crops Res.* 37: 185-191.

Blum A., and C.Y. Sullivan, 1986. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid regions. *Ann. of Bot.* 57: 835-846.

Blumenthal C.S., I.L. Batey, C.W. Wrigley, and E.W.R. Barlow, 1990. Involvement of novel peptide in the heat shock response of Australian wheats. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 441-449.

Boyer J.S., 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218: 443-448.

Boyer J.S., R.R. Johnson, and S.G. Saupe, 1980. Afternoon water deficits and grain yields in old and new soybean cultivars. *Agron. J.* 72: 981-986.

Brodl M.R., J.D. Campbell, K.K. Grindstaff, and L. Fielding, 1994. Normal cellular protein synthesis and heat shock. In: J.H. Cherry (ed.) *Biochemical and Cellular Mechanisms of Stress Tolerance in Plants*. pp.61-76. NATO ASI Series H-Cell Biology 86, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Bruckner, P. L., and R. C. Frohberg, 1987. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. *Crop. Sci.* 27: 31-36.

Burdon R.H., 1986. Heat shock and heat shock proteins. *Biochem. J.* 240: 313-324.

Caley C.Y., C.M. Duffus, and B. Jeffcoat, 1990. Effects of elevated temperature and reduced water uptake on enzymes of starch synthesis in developing wheat grains. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 431-439.

Castleberry R.M., 1983. Breeding programs for stress tolerance in corn. In: C.D. Raper, Jr and P.J. Kramer (eds.): *Crop Reactions to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperature Climates*, pp.277-288. Boulder, Colorado: Westview Press.

- Ceccarelli S., E. Acevedo, and S. Grando, 1991. Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. *Euphytica* 56: 169-185.
- Ceccarelli S., 1994. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77: 205-219.
- Chaudhuri U.N., M.L. Deaton, E.T. Kanemasu, G.W. Wall, V. Marcarian, and A.K. Dobrenz, 1986. A procedure to select drought-tolerant sorghum and millet genotypes using canopy temperature and vapor pressure deficit. *Agron. J.* 78: 490-494
- Cherry J.H., K. Heuss-Larosa, and R.R. Mayer, 1989. Adaption of thermotolerance in cowpea suspension cultures. In: J.H. Cherry (Ed.) *Environmental Stress in Plants*, pp.355-369. NATO ASI Series G-Ecological Sciences 19, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Cherry J.H., R.R. Mayer, K. Heuss-Larosa, P.M. Reddy, and N.K. Singh, 1994. Altered gene expression in thermoadapted cultured cells of cowpea. In: J.H. Cherry (ed.) *Biochemical and Cellular Mechanisms of Stress Tolerance in Plants*. pp.229-242. NATO ASI Series H-Cell Biology 86, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Clarke M. J., and T. M. McCraig, 1982. Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of triticum genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 62: 571-578.
- Clarke M. J., and T.F. Townley-Smith, 1986. Heritability and relationship to yield of excised-leaf water retention in durum wheat. *Crop Sci.* 26: 289-292.
- Condon A.G., R.A. Richards, and G.D. Farquhar, 1987. Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field-grown wheat. *Crop Sci.* 27: 996-1001.
- Condon A.G., R.A. Richards, and G.D. Farquhar, 1993. Relationships between carbon isotope discrimination, water use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 1693-1711.
- Cooper P., and T-H.D. Ho, 1987. Intracellular localization of heat shock proteins in maize. *Plant Physiology* 84: 1197- 1203.
- Cooper P., T-H.D. Ho, and R.M. Hauptmann, 1984. Tissue specificity of the heat-shock response in maize. *Plant Physiol.* 75: 431- 441.
- Davidson J.L., and J.W. Birch, 1978. Responses of a standard Australian and Mexican wheat to temperature and water stress. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 1091-1106.
- Davies W. J, and J. Zhang, 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bio.* 42: 55-76.
- Denčić S., R. Kastori, B. Kobiljski, and B. Duggan, 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113: 43-52.
- Dhanda S.S., R.K. Behl and N. EL Bassam, 1995. Breeding wheat genotypes for water deficit

environments. *Landbauforschung Völkenrode*, 45. Jahrgang, Heft 4: 159-167.

Ehdaie B., J.G. Waines, and A. E. Hall, 1988. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress environments. *Crop Sci.* 28: 838-842.

Elemery M.I., A.Sh.A. Gouda, and M.A. Kalifa, 1995. Seed germination and seedling vigour for measuring drought tolerance of some maize Genotypes. *Ann. Agric. Sci.* 40: 639-655.

Farquhar G.D., S.C. Wong, J.R. Evans, and K.T. Hubick, 1989. Photosynthesis and gas exchange. pp.47-69. In: H. G. Jones, T.J. Flowers, and M.B. Jones (eds.) *Plants under Stress*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Fischer K.S., E.C. Johnson, and G.O. Edmeades, 1983. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center.

Fischer R.A., 1985. Physiological limitations to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selection criteria. pp.209-230. In : *Wheats for more tropical environments*. Ann. Proc. Int. Symp. CIMMYT, Mexico DF.

Fischer R.A., and R. Maurer, 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.

Fischer R.A., and J. T. Wood, 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III: Yield associations with morpho-physiological traits. *Aust. J. Agric. Res.* 30: 1001-1011.

Flower D.J., and M.M. Ludlow, 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water-stressed pigeon pea leaves. *Plant Cell Environ.* 9: 33-40.

Fokar M., Henry T. Nguyen, and A. Blum, 1998. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. *Euphytica* 104: 1-8.

Frova C., and M.S. Gorla, 1993. Quantitative expression of maize HSPs: genetic dissection and association with thermotolerance. *Theor. Appl. Genet.* 86: 213-220.

Gate P., A. Bouthier, H. Casabianca, and E. Deleens, 1992. Physiological characters describing drought tolerance in *Triticum*: interpretation of the correlation between yield and carbon isotope composition of seeds. In: A. Scaife (ed.). *Proceedings Second Congress of the European Society for Agronomy*, Warwick University 23-28 August 1992. Wellesbourne (United Kingdom). European Society for Agronomy. 1992. p. 70-71.

Gebbing T., 1996. The contribution of pre-anthesis reserves to grain filling of wheat. Dissertation, Juni, 1996 Bonn. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Gharti-Chhetri G.B., and J.S. Lales, 1990. Effect of drought on yield and yield components of nine spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars at reproductive stage under tropical environmental conditions. *Belg. J. of Bot.* 123: 19-26.

Gurley W.B., and J.L. Key, 1991. Transcriptional regulation of the heat-shock response: A plant perspective. *Biochem.* 30: 1-12.

Hanson A.D., and C.H.E. Nelsen, 1980. Water: adaptation of crops to drought-prone

environments. pp.77-152. In: P.S. Carlson (ed.): *The Biology of Crop Productivity*. New York (Academic press).

Harris D.S., W.T. Schapaugh, and E.T. Kanemasu, 1984. Genetic diversity in soybeans for leaf canopy temperature and the association of leaf canopy temperature and yield. *Crop Sci.* 24:839-42.

Hatfield J.L., J.E. Quisenberry, and R.E. Dilbeck, 1987. Use of canopy temperature to identify water conservation in cotton germplasm. *Crop Sci.* 26: 269-73.

Hawker J.S., and C.F. Jenner, 1993. High temperature affects the activity of enzymes in the committed pathway of starch synthesis in developing wheat endosperm. *Aust. J. Plant Physiol.* 20: 197-209.

Helmrich R.H., and R.P. Pfeifer, 1954. Differential varietal response of winter wheat germination and early growth to controlled limited moisture conditions. *Agron. J.* 46: 560-562.

Hendershot K.L., J. Weng, and H.T. Nguyen, 1992. Introduction temperature of heat-shock protein synthesis in wheat. *Crop Sci.* 32: 256- 261.

Hsiao T.C., J.C. O'Toole, E.B. Yambao, and N.C. Turner, 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.) *Plant physiol.* 75: 338-341.

Hunt L.A., 1979. Stem weight changes during grain filling in wheat from diverse sources. In: *Proc. 5th Int. Wheat Genetics Symp. IARI, New Delhi*, pp. 923-929.

Hwang C.H., and J.L. Zimmerman, 1989. The heat shock response of carrot. *Plant Physiol.* 91: 552- 558.

IRRI, International Rice Research Institute, 1982. *Drought resistance in crop plants with emphasis on rice*. Philippines.

Jakob U., M. Gaestel, K. Engel, and J. Buchner, 1993. Small heat shock proteins are molecular chaperones. *J. Biol. Chem.* 268: 1517- 1520.

Jaradat A., and C.F. Konzak, 1983. Screening of wheat genotypes for drought tolerance: 1. Excised-leaf water retention. *Cereal Res. Commun.* 1: 179-186.

Jenka B., 1985. *Osmotische Anpassung und Wachstum von Weizen unter Trockenheitsstress*. Dissertation, Zürich.

Jenner C.F., 1991a. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in the grain of two cultivars. I. Immediate responses. *Aust. J. Plant Physiol.* 18: 165-77.

Jenner C.F., 1991b. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in the grain of two cultivars. II. Carry-over effects. *Aust. J. Plant Physiol.* 18: 179-190.

Johnson D.A., R.A. Richards, and N.C. Turner, 1983. Yield water relations, gas exchange, and surface reflectances of near-isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Sci.* 23: 318-325.

- Johnson R.C., G.T. Nguyen, and L.I. Croy. 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 24: 957-961
- Jones H.G., 1979. Visual estimation of plant water status in cereals. *J. Agric. Sci.* 92: 83-89.
- Jones H.G., 1993. Drought tolerance and water-use efficiency. In: J.A.C. Smith and H. Griffiths (eds.) *Water Deficits: Plant Responses from Cell to Community*. Bios Scientific Publishers, Oxford, UK.
- Jones H. G., T.J. Flowers, and M.B. Jones (eds.): 1989. *Plants under Stress*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Jones H.G. and M.B. Jones, 1989. Introduction: some terminology and common mechanisms. pp.1-10. In: H. G. Jones, T.J. Flowers, and M.B. Jones (eds.) *Plants under Stress*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Jones M.M., and N.C. Turner, 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response of water deficits. *Plant Physiol.* 61: 122-126.
- Jordan W.R., W.A. Dugas., and P.J. Shouse, 1983a. Strategies for crop improvement for drought-prone regions. In: *Plant Production and anagement under Drought Conditions*, J.F. Stone, and W.O. Willis (eds.), pp. 281-299. Amsterdam: Elsevier.
- Jordan W.R., R.L. Monk., F.R. Miller, D.T. Rosenow, R.E. Clark, and P.J. Shouse, 1983b. Environmental physiology of sorghum. I. Environmental and genetic control of epicuticular wax load. *Crop Sci.* 23: 552-556.
- Jorgensen J.A., and H.T. Nguyen, 1995. Genetic analysis of heat shock proteins in maize. *Theor. Appl. Genet.* 91: 38- 46.
- Jorgensen J.A., D.T. Rosenow, and H.T. Nguyen, 1993. Genotypic comparison of heat shock protein synthesis in sorghum. *Crop Sci.* 33: 638- 641.
- Key J.L., J. Kimpel, and R.T. Nagao, 1987. Heat shock gene families of soybean and the regulation of their expression. In: Key J.L. and L. McIntosh (eds.), *Plant Gene Systems and their Biology*. Proceedings of a CIBA-Geigy-UCLA symposium, 87- 97. UCLA Symposia on Molecular and Cell Biology, New Series 62, Alan R. Liss, New York.
- Key J.L., J. Kimpel, E.Vierling, C.J. Lin, R.T. Nagao, E. Czarnecka, and F. Schöffl, 1985. Physiological and molecular analyses of the heat shock response in plants. In: B.G. Atkinson, and D.B. Walden (eds.) *Changes in Eukaryotic Gene Expression in Response to Environmental Stress*, pp.327- 348. Academic Press, Orlando. San Diego, New York.
- Key J. L., Y.R.J. Lee, V. Goekjian, and R.T. Nagao, 1994. The low molecular weight heat shock proteins of soybean seedlings. In: J.H. Cherry (ed.) *Biochemical and Cellular Mechanisms of Stress Tolerance in Plants*, pp.115- 140. NATO ASI Series H-Cell Biology 86, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Kimpel J.A., and J.L. Key, 1985. Heat shock in plants. *Trends Biochem. Sci.* 10: 353- 357.
- Kirkham M.B., E.L. Smith, C. Dhanasobhon, and T.I. Drake, 1980. Resistance to water loss of

winter wheat flag leaves. *Cereal Res. Commun.* 8:393-399.

Kolderup F., 1979. Application of different temperatures in three growth phases of wheat. I. Effects on grain and straw yields. *Acta Agriculturae Scandinavia* 29: 6-10.

Kreeb K., 1974. *Ökophysiologie der Pflanzen*. Fischer Verlag, Jena.

Kruse E., and K. Kloppstech, 1992. Heat shock proteins in plants: an approach to understanding the function of plastid heat shock proteins. In: J. Barber (ed.) *The Photosystem: Structure, Function and Molecular Biology*, pp.409- 442. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Laing D.R. and R.A. Fischer, 1977. Adaptation of semidwarf wheat cultivars to rainfed conditions. *Euphytica* 26: 129-139.

Larcher W., 1994. *Ökophysiologie der Pflanzen*. 5. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart.

Lawn R.J., 1982. Response of four grain legumes to water stress in south-eastern Queensland. I. Physiological response mechanisms. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 481-496.

Leinhos V., S. Troke, and H. Bergmann, 1996. Influence of osmotic stress and amino alcohol treatment on protein content, protein patterns and growth of germinating barley. *J. App. Bot.* 70: 199-204.

Levitt J., 1972. *Response of plants to environmental stress*. Academic Press, New York.

Levitt J., 1980. Stress terminology. pp. 437-443. In: N.C. Turner and P.J. Kramer (eds.) *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. New York (Wiley).

Libbert E., 1987. *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie* 4. Auflage, Fischer Verlag Jena.

Lindquist S., 1986. The heat-shock response. *Ann. Rev. Biochem.* 55: 1151- 1191.

Lopez-Castaneda C., and R.A. Richards, 1994a. Variation in temperate cereals in rainfed environments. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Res.* 37: 51-62.

Lopez-Castaneda C., and R.A. Richards, 1994b. Variation in temperate cereals in rainfed environments. II. Phasic development and growth. *Field Crops Res.* 37: 63-75.

Lopez-Castaneda C., R.A. Richards, and G.D. Farquhar, 1995. Variation in early vigour between barley and wheat. *Crop Sci.* 35: 472-479.

Ludlow M.M., and R.C. Muchow, 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.

Magrin G.O, A.J. Hall, S. Castellano, and S.G. Meira., 1991. Rooting depth, growth cycle duration, and timing of the jointing stage in wheat: traits that can contribute to early drought tolerance pp. 509-515. In: D.A. Saunders (ed.) *Wheat for The Nontraditional Warm Areas*. Mexico; CIMMYT.

Mansfield M.A., and J.L. Key, 1987. Synthesis of the low molecular weight heat shock proteins in plants. *Plant Physiol.* 84: 1007-1017.

- Matin M. A., J. H. Brown, and H. Ferguson, 1989. Leaf water potencial, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agron. J.* 8: 100-105
- Matsuda K., and A. Riazi, 1981. Stress-induced osmotic adjustment in growing regions of barley leaves. *Plant Physiol.* 68: 571-576.
- McGowan M., P. Blanch, P.J. Gregory, and D. Haycock, 1984. Water relations of winter wheat. 5. The root system and osmotic adjustment in relation to crop evaporation. *J. Agric. Sci.* 102: 415-425.
- McNeal F.H., and M.A. Berg, 1977. Flag leaf area in five spring wheat crosses and the relationship to grain yield. *Euphytica* 26: 739-744.
- Michelena V. A., and J.S. Boyer, 1982. Complete turgor maintenance and low water potenzials in the elongating regions of maize leaves. *Plant Physiol.* 69: 1145-1149.
- Midmore D.J., P.M. Cartwright, and R.A. Fischer, 1984. Wheat in tropical environments. II. Crop growth and grain yield. *Field Crops Res.* 8: 207-227.
- Mohammadi M., M. Tahir, A. Amir,i and H. Ketata, 1999. Prospects of breeding Wheat for heat tolerance. In: Proc. 9th Intern. Wheat Genet. Symp., Volume 4: pp. 57.
- Monteith J.L., and J. Elston, 1996. Climatic constraints on crop production. pp.3-18. In: L. Fowden, T. Mansfield, and J. Stoddart (eds.) *Plant Adaptation to Environmental Stress*.
- Morgan J.M., 1980. Osmotic adgustment in the spiklets and leaves of wheat. *J. Exp. Bot.* 31: 655-665.
- Morgan J.M., 1983. Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 34: 607-615.
- Morgan J.M., 1995. Growth and yield of wheat lines with differing osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. *Field Crops Res.* 40: 143-152.
- Morgan J.M., and A.G. Condon, 1986. Water use, grain yield, and osmoregulation in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 523-532.
- Moustafa M.A., L. Boersma, and W.E. Kronstad, 1996. Response of four spring wheat cultivars to drought stress. *Crop Sci.* 36: 982-986.
- Nagao R.T., 1989. The heat shock response in plants: short-term heat treatment regimes and thermotolerance. In: J.H. Cherry (ed.) *Environmental Stress in Plants*, pp331- 342. NATO ASI Series G - Ecological Sciences 19, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Nagao R.T., J.A. Kimpel, and J.L. Key, 1990. Molecular and cellular biology of the heat shock response. *Adv. in Gen.* 28: 235- 274.
- Nass H. G., 1980. Harvestindex as a selection criterion for grain yield in two spring wheat crosses grown at two population densities. *Can. J. Plant Sci.* 60: 1141-1146.

- Necchi A., N.E. Pogna, and S. Mapelli, 1987. Early and late heat shock proteins in wheats and other cereal species. *Plant Physiol.* 84: 1378-1384.
- Nguyen H.T., C.P. Joshi, N. Klueva, J. Weng, K.L. Hendershot, and A. Blum, 1994. The heat shock response and expression of heat-shock proteins in wheat under diurnal heat stress and field conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 857-867.
- Nguyen H.T., M. Krishnan, J.J. Burke, D.R. Porter, and R. A. Vierling, 1989. Genetic diversity of heat shock protein synthesis in cereal plants. In: J.H. Cherry (ed.) *Environmental Stress in Plants*, 319- 330. NATO ASI Series G-Ecological Sciences 19, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Nicolas M: E., and N. C. Turner, 1993. Use of chemical desiccants and senescing agents to select wheat lines maintaining stable grain size during post-anthesis drought. *Field Crops Res.* 31:155-171.
- Nover L., 1991. Inducers of HSP synthesis: heat shock and chemical stressors. In: L. Nover (ed.) *Heat Shock Response*, pp5-40. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Nover L., 1994. The heat stress responses as part of the plant stress network: An overview with six tables. In: J.H. Cherry (ed.) *Biochemical and Cellular Mechanisms of Stress Tolerance in Plants*. pp. 229-242. NATO ASI Series H-Cell Biology 86, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Nover L., L. Neumann, and K.D. Scharf, 1991. Intracellular localization and related functions of heat shock proteins. In: L. Nover (ed.), *Heat Shock Response*, pp373-408. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Nover L., and K.D. Scharf, 1984. Synthesis, modification and structural binding of heat-shock proteins in tomato cell cultures. *Europ. J. Biochem.* 139: 303-313.
- Nover L., and K.D. Scharf, 1991. Heat shock proteins. In: L. Nover (ed.), *Heat Shock Response*, pp41-127. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Nover L., K.D. Scharf, and L. Neumann, 1983. Formation of cytoplasmic heat shock granules in tomato cell cultures and leaves. *Molec. Cell. Biol.* 3: 1648-1655.
- Oosterhuis D.M., and P.M. Cartwright, 1983. Spike differentiation and floret survival in semidwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. *Crop Sci.* 23: 711-717.
- Ort D.R., and J.S. Boyer, 1985. Plant productivity, photosynthesis and environmental stress. In: B.G. Atkinson, and D.B. Walden (eds.) *Change in Eukaryotic Gene Expression in Response to Environmental Stress*. Acad. Press. New York.
- Ougham H.J., and C.J. Howarth, 1988. Temperature shock proteins in plants. In: S.P. Long, and F.I. Woodward (eds.) *Symposia of the Society for Experimental Biology No.42 - Plants and Temperature*, pp259- 280. The Company of Biologists Limited, Cambridge.
- Palta J. A., T. Kobata, N. C. Turner, and I. R. Fillery, 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. *Crop Sci.* 34: 118-124.
- Passioura J.B., 1996. Drought and drought tolerance. In: E. Belhassen (ed.), 1997: *Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis*, pp1-5.

Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Pritchard J., R.G. Wyn Jones, and A.D. Tomos, 1990. Measurement of yield threshold and cell wall extensibility of intact wheat roots under different ionic, osmotic and temperature treatments. *J. Exp. Bot.* 41: 669-675.

Pugnaire F.I., L.S. Endolz, and J. Pardos, 1994. Constraints by water stress on plant growth. pp247-259. In: M. Pessaraki (ed.) *Handbook of Plant and Crop Stress*, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong.

Quarrie S.A., 1996. New molecular tools to improve the efficiency of breeding for increased drought resistance. In: E. Belhassen (ed.), 1997. *Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Quarrie S. A., and H. G. Jones, 1979. Genotype variation in leaf water potential, stomatal conductance, and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. *Ann. Bot.* 44: 323-332.

Radin J.W., L.L. Parker, and G. Guinn, 1982. Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. V. Environmental control of abscisic acid accumulation and stomatal sensitivity to abscisic acid. *Plant Physiol.* 70: 1066-1070.

Raison J.K., J.A. Berry, P.A. Armond, and C.S. Pike, 1980. Membrane properties in relation to the adaptation of plants to temperature stress. pp261-273. In: N.C. Turner and P.J. Kramer (eds.) *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley & Sons, New York.

Randall P.J., and H.J. Moss, 1990. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 603-617.

Rawson H.M., A.K. Bagga, and P.M. Bremner, 1977. Aspects of adaptation by wheat and barley to soil moisture deficits. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 389-401.

Rawson H.M., and L.T. Evans, 1971. The contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different height. *Aust. J. Agric. Res.* 22:851-863.

Rawson H.M., and N.C. Turner, 1982. Recovery from water stress in five sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars. II. The development of leaf area. *Aust. J. Plant Physiol.* 9: 449-460.

Reynolds M.P., E. Acevedo, O.A.A. Ageeb, S. Ahmed, M. Balota, L.J.B. Carvalho, R.A. Fischer, E. Ghanem, R.R. Hanchinal, C. Mann, L. Okuyama, L.B. Olugbemi, G. Ortiz-Ferrara, M.A. Razaque, and J.P. Tandon, 1992. Results of the first international heat stress genotypes Experiment. Wheat Special Report No. 14. CIMMYT, Mexico, DF.

Reynolds M.P., M. Balota, M.I.B. Delgado, I. Amani und R.A. Fischer, 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, dry irrigated conditions. *Aus. J. Plant Physiol.* 21: 717-730.

Reynolds M.P., R.P. Singh, A. Ibrahim, O.A.A. Ageeb, A. Larqué-Saavedra und J.S. Quick, 1998. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica* 100: 85-94.

- Richards R.A., 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. In: E. Belhassen (ed.), 1997: Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis, pp79-88. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
- Richards R.A., and A.G. Condon, 1993. Challenges ahead in using carbon isotope discrimination in plant breeding programs. In: J.R. Ehlinger AEH, and G.D. Farquhar (eds.) Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations, pp451-462. Academic Press, San Diego
- Richards R.A., and J.B. Passioura, 1981. Seminal root morphology and water use of wheat. II. Genetic Variation. *Crop Sci.* 21: 253-255.
- Richards R.A., H.M. Rawson, and D.A. Johnson, 1986. Glauconsness in wheat: Its development and effects on water-use-efficiency, gas exchange and photosynthetic tissue temperatures. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 465-473.
- Rijven A.H.G.C., 1986. Heat inactivation of starch synthase in wheat endosperm tissue. *Plant Physiol.* 81: 448-453.
- Ritchie S.W., H.N. Nguyen, and A. S. Holaday, 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 30: 105-111.
- Rosenow D.T., J.E. Quisenberry, and C.W. Wendt, 1983. Drought tolerant sorghum and cotton germplasm. *Agric. Water Man.* 7: 207-222.
- Rosielle A. A., and K. J. Frey, 1975. Estimates of selection parameters associated with harvest index in oat lines derived from a bulk population. *Euphytica* 24: 121-131.
- Saadalla M.M., J.S. Quick, and J.F. Shanahan, 1990a. Heat tolerance in winter wheat: II. Membrane thermostability and field performance. *Crop Sci.* 30: 1248-1251.
- Saadalla M.M., J.F. Shanahan, and J.S. Quick, 1990b. Heat tolerance in winter wheat: I. Hardening and genetic effects on membrane thermostability. *Crop Sci.* 30: 1243-1247.
- Sadras V.O., D.J. Connor, and D.M. Whitfield, 1993. Yield, yield coponents and source-sink relationships in water-stressed sunflower. *Field Crops Res.* 31: 27-39.
- Sayre K.D., E. Acevedo, and R.B. Austin, 1995. Carbon isotope discrimination and grain yield for three bread wheat germplasm groups grown at different levels of water stress. *Field Crops Res.* 41: 45-54.
- Schlee D., 1992 (Hrg.). *Ökologische Biochemie*. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, 1992; Stuttgart, New York.
- Schöffl F., 1988. Genetic engineering strategies for manipulation of the heat shock response. *Plant Cell Environ.* 11: 339-343.
- Schonfeld M. H., R. C. Johnson, B. F. Carver, and D. W. Mornhinweg, 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.* 28: 526-531.
- Selye H., 1977. *Stress*. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg.

- Shanahan J.F., I.B. Edwards, J.S. Quick, and J.R. Fenwick, 1990. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. *Crop Sci.* 30: 247-251.
- Sharma R. C., E. L. Smith, and R. W. McNew, 1987. Stability of harvest index and grain yield in winter wheat. *Crop Sci.* 27: 104-108.
- Sharma R.K., and J.P. Tandon, 1998. Cell membrane thermostability: I. A measure of heat tolerance in wheat. *Agric. Sci. Digest (Karnal)* 18: 178-180.
- Sharp R.E., and W.J. Davies, 1985. Root growth and water uptake by maize plants in dry soil. *Journal of Exp. Bot.* 36: 1441-1456.
- Sharp R.E., and W.J. Davies, 1989. Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. pp71-93. In: H. G. Jones, T.J. Flowers, and M.B. Jones (eds.) *Plants under Stress*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Shpiler L., and A. Blum, 1986. Differential reactions of wheat cultivars to hot environments. *Euphytica* 35: 483-492.
- Shpiler C., and A. Blum, 1991. Heat tolerance for yield and its components in different wheat cultivars. *Euphytica*. 51: 257-263.
- Sinclair T.R., and M.M. Ludlow, 1986. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 329-341.
- Sinha S. K., P. K. Aggarwal, G.S. Chaturvedi, and A.K. Singh, 1986. Performance of wheat cultivars in a variable water environment. I. Grain yield stability. *Field Crops Res.* 13:289-299.
- Sobrado M.A., 1987. Leaf rolling – a visual estimate of water deficit in corn (*Zea mays* L.). *Maydica* 32: 9-18.
- Sobrado M.A., and N.C. Turner, 1983. A comparison of water relations characteristics of *Helianthus annuus* and *Helianthus petiolaris* when subjected to water deficits. *Oecologia* 58: 309-313.
- Stone P.J., and M.E. Nicolas, 1994. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 887-900.
- Stone P.J., and M.E. Nicolas, 1995a. A survey of the effects of high temperature during grain filling on yield and quality of 75 wheat cultivars. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 475-492.
- Stone P.J., and M.E. Nicolas, 1995b. Effect of timing of heat stress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance. I. Grain growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 927-934.
- Stone P.J., and M.E. Nicolas, 1995c. Comparison of sudden heat stress with gradual exposure to high temperature during grain filling in two wheat varieties differing in heat tolerance. I. Grain growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 935-944.
- Sullivan C.Y., and W.M. Ross, 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. pp263-281. In: H. Mussel, and R. Staples (eds.) *Stress Physiology in Crop Plants*. John Wiley & Sons, New York.
- Szabolcs I., 1994. Soils and salinization. pp. 3-11. In: M. Pessarakli (ed.) *Handbook of Plant and*

Crop Stress. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong.

Tahara M., B.F. Carver, R.C. Johnson, and E.L. Smith, 1990. Relationship between relative water content during reproductive development and winter wheat grain yield. *Euphytica*. 49: 255-262.

Takami S., N.C. Turner, and H.M. Rawson, 1981. Leaf expansion of four sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars in relation to water deficits. I. Patterns during plant development. *Plant Cell Environ.* 4: 399-407.

Tardieu F., 1996. Drought perception by plants. Do cells of droughted plants experience water stress? In: E. Belhassen (ed.), 1997: *Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis*, pp15-26. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Tashiro T., and I.F. Wardlaw, 1990a. The effect of high temperature at different stages of ripening on grain set, grain weight and grain dimensions in the semi-dwarf wheat "Banks". *Ann. Bot.* 65: 51-61.

Tashiro T., and I.F. Wardlaw, 1990b. The response to high temperature shock and humidity changes prior to and during the early stages of grain development in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 551-561.

Thomas A., A.D. Tomos, J.L. Stoddart, H. Thomas, and C.J. Pollock, 1989. Cell expansion rate, temperature and turgor pressure in growing *Lolium temulentum* leaves. *New Phytol.* 112, 1-5.

Tietz D., and A. Tietz, 1982. Stress im Pflanzenreich. *Biol. i. u. Zeit*, 12: 113-119.

Turner N. C., 1986a. Adaptation to water deficit: a changing perspective . *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 175-190.

Turner N.C., 1986b. Crop water deficits: a decade of progress. *Adv. Agron.* 39: 1-51.

Turner N.C., and J.E. Begg, 1981. Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant and Soil* 58: 97-131.

Turner N.C., and M.M. Jones, 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. pp87-103. In: N.C. Turner, and P.J. Kramer (eds.): *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. New York, Wiley Interscience.

Van Ginkel M., D.S. Calhoun, G. Gebeyehu, A. Miranda, C. Tian-you, R. Pargas Lara, R.M. Trethowan, K. Sayre, J. Crossa, and S. Rajaram, 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica* 100: 109-121.

Vierling E., 1991. The roles of heat shock proteins in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 579- 620.

Vierling R.A., and H.T. Nguyen, 1990. Heat-shock protein synthesis and accumulation in diploid wheat. *Crop Sci.* 30: 1337-1342.

Wardlaw I.F., I.A. Dawson, and P. Munibi, 1989a. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II. Grain development. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 15-24.

Wardlaw I.F., I.A. Dawson, P. Munibi, and R. Fewster, 1989b. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. I. Survey procedures and general response patterns. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 1-13.

Williams T.V., R.S. Snell, and J.F. Ellis, 1967. Methods of measuring drought tolerance in corn. *Crop Sci.* 7: 179-182.

Winter S.R., J.T. Musick, and K.B. Porter, 1988. Evaluation of screening techniques for breeding drought-resistant winter wheat. *Crop Sci.* 28: 512-516.

Zhang, J, and W. J. Davies, 1989. Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell Environ.* 12: 73-81.

Zhang, J, U. Schurr, and W. J. Davies, 1987. Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in roots. *J. Exp. Bot.* 38: 1174-1181.

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verlauf und Dauer der Behandlung bei einer Prüfung der Sommerweizensorten auf den Hitzestress in der Klimakammer in Hohenthurm.	35
Abb. 2: Überdachte (oben) und nicht überdachte (unten) Versuchsflächen bei einer Trockenstressprüfung im Freiland.....	38
Abb. 3: Beziehungen zwischen den mittleren potenziellen Kornerträgen (kg/m^2) und den mittleren Kornerträgen unter dem Stressanbau (links) sowie dem S-Index von Sommerweizensorten (rechts) nach einem Anbau unter der normalen und der Hitzestressbedingung in Oberägypten (Die Werte stellen Mittelwerte aus acht Umwelten dar.).....	56
Abb. 4: Einzelährenertrag des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur Kontrolle.....	65
Abb. 5: Kornzahl des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur Kontrolle.....	66
Abb. 6: Die TKM des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur Kontrolle.....	68
Abb. 7: Die Sprossbiomasse (g) des Haupthalmes von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (Ernte zur Endreife).....	69

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Sorten mit Vorinformationen aus der Literatur zur Stresstoleranz (S: Sudan; C: CIMMYT; T: Thailand; I: ICARDA).....	29
Tab. 2: Herkunft und experimentelle Nutzung von Sommerweizensorten (D: Deutschland; E: Egypt; S: Sudan; C: CIMMYT; In: Indien; T: Thailand; I: ICARDA; B: Bernburg; H: Hohenthurm).....	30
Tab. 3: Aussaattermine der Sommerweizensorten 1994-1996 an verschiedenen Standorten in Oberägypten für die Ernte in 1995-1997.....	31
Tab. 4: Hitzebehandlungsbeginn (Bernburg 1995 und 1996) in Vegetationstagen nach der Aussaat.....	33
Tab. 5: Termine zum Entwicklungsstadium DC 59, zur Hitzebehandlung vor der Blüte, und die Entwicklungsstadien bei der Hitzebehandlung nach der Blüte (Behandlungsdatum: 26.2.99) an Sommerweizensorten verschiedener Herkunft....	34
Tab. 6: Niederschlag (mm) und Wassergabe (mm) bei einem Trockenstressversuch unter einem Dach in Hohenthurm 1996 (Aussaat: 11.04.96)	39

Tab. 7: Varianztabelle der Genotypen, Hitzebehandlungen, Umwelten (zwei Jahre mit jeweils drei und ein Jahr mit zwei Anbauorten) sowie deren Interaktionen für das Merkmal Ertrag.....	43
Tab. 8: Mittelwerte (kg) des Kornertrages/m ² von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test).....	44
Tab. 9: Mittelwerte (kg) des Kornertrags/m ² von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test).....	45
Tab. 10: Mittelwerte (kg) des Kornertrags /m ² von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test).....	46
Tab. 11: Varianztabelle (MQ-Werte) getrennt nach Umwelten (n=108)	47
Tab. 12: S-Index des Kornertrages von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1995 - 1997 in Shandweel (Sha), Matana (Mat) und Komombo (Kom) bzw. im Mittel der Orte (MW) und der acht Umwelten in Oberägypten (* kein S-Index berechnet, s. Text oben).....	48
Tab. 13: Varianztabelle der Genotypen und Umwelten für den S-Index ohne Matana 1995.	48
Tab. 14: Mittelwerte der TKM von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung bei Normal- und Stressanbau 1995 an zwei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)	49
Tab. 15: Mittelwerte der TKM von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung bei Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)	50
Tab. 16: Mittelwerte der TKM von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung bei Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test).....	51
Tab. 17: Mittelwerte für die Zeitspanne von Aussaat bis zum Blühbeginn (in Tagen) von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)	52
Tab. 18: Mittelwerte für die Zeitspanne von Aussaat bis zum Blühbeginn (in Tagen) von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)	53
Tab. 19: Mittelwerte für die Zeitspanne von Aussaat bis zum Blühbeginn (in Tagen) von Sommerweizengenotypen bei einer Hitzestressprüfung unter einem Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test).....	54

III

Tab. 20: Korrelationen zwischen den Merkmalen bei einem Hitzestressversuch 1995 - 1997 an Standorten Shandweel (Sha), Matana (Mat) und Komombo (Kom) bzw. über Mittel der Orte in Oberägypten.....	55
Tab. 21: Korrelation zwischen den Aussaatzeiten bei den Hitzestressversuchen 1995, 1996 und 1997 an drei Standorten in Oberägypten	56
Tab. 22: Hitzewirkung auf Merkmale von Sommerweizensorten nach einer Behandlung zu zwei Entwicklungsstadien (DC47 und DC61) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (K) 1995 in Bernburg (GD: Tukey-Test; a: ohne Munk, b: ohne Munk, Star und Naxos)	57
Tab. 23: Zweifaktorielle Analyse für Genotyp und Hitzebehandlung 1995 in Bernburg	58
Tab. 24: Korrelation zwischen den Merkmalen unter verschiedenen Varianten der Hitzebehandlung (n=11)	58
Tab. 25: Korrelation der Varianten der Hitzebehandlung bei verschiedenen Merkmalen	59
Tab. 26: Hitzewirkung auf Ertragsmerkmale bei Sommerweizensorten nach einer Behandlung zu zwei Entwicklungsstadien im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (K) 1996 in Bernburg (GD: Tukey-Test)	59
Tab. 27: Korrelationen der Blattemperatur, Stomataleitfähigkeit, Transpirations- und Photosyntheserate der Fahnenblätter mit Größen ihrer Messbedingungen bei einer Messung von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte im Vergleich zur ihren Kontrollen (k_1 und k_2)	60
Tab. 28: Korrelation ausgewählter Parameter bei Hitzebehandlungen vor und nach der Blüte miteinander sowie mit der Kontrolle (k_1 bzw. k_2) bei Sommerweizensorten	61
Tab. 29: Transpirationsrate ($\text{mmol/m}^2\text{s}$) und Blattemperatur ($^{\circ}\text{C}$) der Fahnenblätter von Sommerweizengenotypen nach einer Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (k_1 und k_2) [b in % von k für die Transpirationsrate, GD: Tukey-Test]	62
Tab. 30: Relativer Chlorophyllgehalt der drei oberen Blätter (F = Fahnenblatt, F_{-1} und F_{-2}) verschiedener Sommerweizensorten bei einer Hitzebehandlung (b in % der Kontrolle) vor und nach der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (k), MW = Mittelwert	63
Tab. 31: Die Korrelation der Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte miteinander und mit der Kontrolle (k) an Hand verschiedener Ertragsmerkmale.....	64
Tab. 32: Varianztabelle für die Sprossbiomasse, den Ährenenertrag, die Kornzahl/Ähre und die TKM nach einer Hitzebehandlung von Sommerweizengenotypen in der Klimakammer	64
Tab.33: Korrelationen zwischen verschiedenen Merkmalen bei Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte bzw. unter der Kontrollbedingung.	67

Tab. 35: Varianztabelle (MQ-Werte) der Freilandprüfung (a: 23 Genotypen mit Wakanz; b: 22 Genotypen ohne Wakanz).....	71
Tab. 36: Mittelwerte und S-Index des Kornertrages/Ähre bzw. Mittelwerte der TKM und der Kornzahl bei einem Trockenstressversuch im Freiland mit einer normalen und einer Stressvariante bei verschiedenen Sommerweizensorten 1996 in Hohenthurm	72
Tab. 37: Korrelationen zwischen den Merkmalen und Wasserregimen bei einem Trockenstressversuch im Freiland bei verschiedenen Sommerweizengenotypen (n=23)	73
Tab. 38: Kornertrag, Kornzahl/Ähre und TKM von Sommerweizensorten unter Klimakammerbedingungen ohne und mit Trockenstress 1996 und 1997 in Hohenthurm (GD: t-Test; 1996 ohne Sakha8 und Baspan und 1997 ohne Sakha8 und Naxos).....	74
Tab. 39: Varianztabelle der Trockenstressprüfung in der Klimakammer 1996 (ohne Sakha8 und Baspan) und 1997 (ohne Sakha8 und Naxos).....	75
Tab. 40: Korrelationen zwischen den Merkmalen für die Versuche des Trockenstress in der Klimakammer 1996 und 1997	75
Tab. 41: Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimakammerversuchen miteinander bzw. mit dem Feldversuch (Dach)	76
Tab. 42: Durchschnittliche Keimungsrate (%) der Körner von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Mannitollösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test).....	77
Tab. 43: Durchschnittliche Sprosslänge (cm) der Keimlinge von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Mannitollösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test).....	78
Tab. 44: Durchschnittliche Wurzellänge (cm) der Keimlinge von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Mannitollösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test).....	79
Tab. 45: Varianzanalyse der verschiedenen Merkmale von Sommerweizensorten nach einer Keimung in zwei osmotischen Lösungen	80
Tab. 46: Korrelationen zwischen den Merkmalen bei den Keimungstests in einer PEG- (oberhalb der schattierten Fläche, n=15) und Mannitol-Lösung (unterhalb der schattierten Fläche , n=14) sowie die Korrelation zwischen den Methoden (schattierte Fläche).....	81
Tab. 47: Korrelation zwischen den Behandlungen bei der Keimung von Sommerweizenkörnern in PEG- und Mannitol-Lösungen.....	81

11 Anhangsverzeichnis

- Tab. A1 Minimale und maximale Monatstemperaturen ($^{\circ}\text{C}$) der Vegetationszeiten 1995-1997 an den Standorten Shandweel, Matana und Komombo in Oberägypten
- Tab. A2 Mittelwerte von ährentragenden Halmen/ m^2 von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten
- Tab. A3 Mittelwerte von ährentragenden Halmen/ m^2 von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten
- Tab. A4 Mittelwerte von ährentragenden Halmen/ m^2 von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten in Oberägypten
- Tab. A5 Mittelwerte der Pflanzenlänge (cm) von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten
- Tab. A6 Mittelwerte der Pflanzenlänge (cm) von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten
- Tab. A7 Mittelwerte der Pflanzenlänge (cm) von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten in Oberägypten
- Tab. A8 Nettophotosyntheserate ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) und Wasserleitfähigkeit ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$) der Fahnenblätter von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte im Vergleich zur Kontrolle
- Tab. A9 Mittelwertvergleich von Hitzevarianten miteinander und mit der Kontrolle
- Tab. A10 Die Anzahl der Nebenähren von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte im Vergleich zur Kontrolle
- Tab. A11 Mittelwerte der Tage bis zum Ährenschieben, der Pflanzenlänge (cm), der Spindelstufe und der reduzierten Ährchen bei einem Trockenstressversuch im Freiland mit einer normalen und einer Stressvariante bei verschiedenen Sommerweizengentypen 1996 in Hohenthurm
- Tab. A12 Durchschnittliche Trockenmasse (mg) der Keimlinge von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Manitollösung abgestufter Konzentrationen
- Tab. A13 Durchschnittliches Spross/Wurzelverhältnis der Keimlingen von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Manitollösung abgestufter Konzentrationen

Tab. A1: Minimale und maximale Monatstemperaturen (°C) der Vegetationszeiten 1995-1997 an den Standorten Shandweel, Matana und Komombo in Oberägypten

Jahr	Monat	Shandweel		Matana		Komombo	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
1995	November	13,2	25,0	13,0	28,3	16,6	29,0
	Dezember	6,1	19,1	4,9	22,2	8,6	22,1
	Januar	5,5	18,1	5,7	22,4	9,2	23,0
	Februar	8,2	21,4	8,1	24,4	11,0	24,5
	März	11,7	25,1	11,8	29,3	15,5	29,4
	April	14,2	29,5	15,2	31,2	18,9	34,3
	Mai	17,7	33,4	20,7	38,0	23,5	38,3
	Mittel	10,9	24,5	11,3	28,0	14,8	28,7
1996	November	10,1	23,2	9,9	26,8	13,3	27,3
	Dezember	6,7	20,1	7,1	23,9	10,4	24,0
	Januar	6,4	20,9	6,7	23,7	9,4	24,2
	Februar	8,6	22,9	8,4	25,9	11,5	26,6
	März	11,0	24,7	12,2	28,1	15,0	29,1
	April	13,7	29,7	15,1	33,9	18,0	33,7
	Mai	20,4	37,1	22,4	41,0	26,5	42,0
	Mittel	11,0	25,5	11,7	29,0	14,9	29,6
1997	November	12,4	26,4	13,7	28,9	16,8	29,0
	Dezember	6,9	22,0	7,8	25,1	11,6	25,4
	Januar	6,7	21,6	7,4	24,3	11,5	25,0
	Februar	4,7	18,9	5,5	22,1	8,6	21,9
	März	8,9	23,4	10,1	26,7	13,6	26,9
	April	13,2	29,1	16	33,6	18,6	34,6
	Mai	18,7	35,8	21	39,0	24,3	39,2
	Mittel	10,2	25,3	11,6	28,5	15,0	28,9

VII

Tab. A2: Mittelwerte von ährentragenden Halmen/m² von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Mittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	503	547	478	490	640	487	541	508
Debeira	428	510	460	448	753	503	547	487
Condor	514	618	528	452	797	483	613	518
Giza160	541	518	495	550	860	470	632	513
Giza164	412	475	477	505	803	507	564	496
Gemiza1	508	438	435	475	753	480	565	464
Hendi1	500	419	498	467	623	407	541	431
Hendi2	431	525	457	458	790	500	559	494
Hendi3	408	500	525	497	783	573	572	523
Fang60	542	538	453	528	837	537	611	534
Genaro81	453	505	468	497	833	520	585	507
Glenson	461	511	482	522	787	500	576	511
Pavon76	490	573	507	492	850	403	616	489
Seri82	517	526	492	502	820	587	609	538
Nacozari76	477	528	462	480	890	580	609	529
Anza	583	581	502	420	790	507	625	503
Giza165	568	512	463	458	783	510	605	493
Nesser	572	588	485	567	890	563	649	573
MW	495	523	481	489	794	506	590	506
GD(0,05)	156	88	110	95	221	130	280	82

VIII

Tab. A3: Mittelwerte von ährentragenden Halmen/m² von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Mittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	331	297	565	512	420	340	439	383
Debeira	327	288	493	448	382	377	401	371
Condor	313	249	600	568	455	430	456	416
Giza160	317	280	515	537	356	348	396	388
Giza164	286	277	405	455	381	349	358	360
Gemiza1	280	270	397	428	420	278	366	325
Hendi1	276	257	331	371	320	288	309	305
Hendi2	291	263	520	465	253	281	355	336
Hendi3	344	329	365	423	306	322	339	358
Fang60	327	262	544	519	403	413	425	398
Genaro81	280	255	439	464	375	352	365	357
Glenson	267	257	533	519	392	295	397	357
Pavon76	322	312	477	496	405	361	401	390
Seri82	292	282	448	447	383	359	374	363
Nacozari76	335	255	459	469	307	369	367	365
Anza	289	275	480	475	398	472	389	407
Giza165	317	256	376	369	394	311	362	312
Nesser	324	329	579	529	386	371	430	410
MW	307	277	468	472	374	351	383	367
GD(0,05)	65	75	90	82	81	67	146	159

Tab. A4: Mittelwerte von ährentragenden Halmen/m² von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1997 an zwei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Mittelwert		Gesamtmittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	393	368	467	490	430	429	475	441
Debeira	387	324	402	423	394	374	454	415
Condor	548	400	490	580	519	490	529	473
Giza160	457	395	540	548	499	471	510	456
Giza164	383	325	395	542	389	434	443	429
Gemiza1	511	360	478	573	495	467	473	413
Hendi1	472	381	482	360	477	371	438	369
Hendi2	420	348	375	370	398	359	442	401
Hendi3	429	368	392	502	411	435	444	439
Fang60	401	367	457	522	429	444	495	461
Genaro81	428	357	443	465	436	411	465	427
Glenson	435	349	423	433	429	391	473	423
Pavon76	421	344	370	457	396	400	480	430
Seri82	464	395	458	497	461	446	484	449
Nacozari76	448	341	413	487	431	414	474	439
Anza	436	404	358	507	397	455	480	455
Giza165	449	349	410	467	429	408	470	404
Nesser	452	409	497	428	474	419	523	473
MW	441	366	436	481	438	423	475	433
GD(0,05)	66	83	86	95	69	159		

Tab. A5: Mittelwerte der Pflanzenlänge (cm) von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1995 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Mittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	126,7	127,7	117,0	115,3	119,3	104,3	121,0	115,8
Debeira	119,3	119,7	112,7	105,3	105,0	99,0	112,3	108,0
Condor	114,0	113,0	100,7	97,3	103,0	88,3	105,9	99,6
Giza160	118,0	117,7	110,7	99,7	107,0	92,7	111,9	103,3
Giza164	128,3	125,0	113,3	110,3	120,7	88,0	120,8	107,8
Gemiza1	125,3	120,3	118,7	107,0	112,0	101,0	118,7	109,4
Hendi1	124,0	120,3	116,3	105,0	107,0	96,7	115,8	107,3
Hendi2	122,0	116,3	114,7	107,7	109,0	94,7	115,2	106,2
Hendi3	123,0	122,3	117,3	102,3	114,0	96,7	118,1	107,1
Fang60	127,0	126,7	119,0	119,3	109,0	99,0	118,3	115,0
Genaro81	115,0	112,7	111,7	99,7	109,0	88,7	111,9	100,3
Glenson	125,0	116,3	115,0	109,7	115,3	93,3	118,4	106,4
Pavon76	118,3	120,0	117,0	106,7	116,3	97,0	117,2	107,9
Seri82	120,0	116,0	108,7	97,3	109,3	88,0	112,7	100,4
Nacozari76	120,0	115,0	115,0	101,3	105,0	86,3	113,3	100,9
Anza	112,3	113,0	99,7	96,3	98,7	93,7	103,6	101,0
Giza165	126,0	120,7	119,0	101,0	106,0	97,7	117,0	106,4
Nesser	108,0	112,3	103,0	92,3	99,0	87,7	103,3	97,4
Mw	120,7	118,6	112,7	104,1	109,1	94,0	114,2	105,6
GD(0,05)	11,1	13,0	9,3	13,5	10,3	16,0	11,0	19,8

Tab. A6: Mittelwerte der Pflanzenlänge (cm) von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1996 an drei Standorten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Komombo		Mittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	114,0	116,3	110,7	112,7	110,3	113,0	111,7	114,0
Debeira	113,3	116,7	107,3	100,3	105,3	101,7	108,7	106,2
Condor	110,0	98,3	89,3	80,7	96,0	87,3	98,4	88,8
Giza160	111,7	106,7	107,3	102,3	106,0	107,3	108,3	105,4
Giza164	128,7	113,3	112,0	105,7	111,0	110,0	117,2	109,7
Gemiza1	120,0	109,3	113,7	101,0	110,0	107,0	114,6	105,8
Hendi1	120,0	114,3	109,3	109,3	113,7	107,0	114,3	110,2
Hendi2	109,7	111,7	107,3	102,3	101,3	100,3	106,1	104,8
Hendi3	120,0	115,0	112,0	110,3	106,7	106,3	112,9	110,6
Fang60	118,3	111,7	113,0	108,3	111,3	112,0	114,2	110,7
Genaro81	117,7	106,7	103,3	91,7	106,7	96,7	109,2	98,3
Glenson	116,7	108,3	109,3	101,3	105,7	102,7	110,6	104,1
Pavon76	116,7	115,0	107,0	100,7	107,0	103,3	110,2	106,3
Seri82	113,3	110,3	104,7	90,7	102,3	96,7	106,8	99,2
Nacozari76	115,0	107,3	103,7	96,7	105,0	99,0	107,9	101,0
Anza	113,3	103,3	99,3	88,7	103,7	94,7	105,4	95,6
Giza165	123,3	111,0	114,3	103,7	112,3	108,7	116,7	107,8
Nesser	108,3	99,0	90,7	82,7	93,3	92,0	97,4	91,2
MW	116,1	109,7	106,4	99,4	106,0	102,5	109,5	103,9
GD(0,05)	22,5	25,5	4,3	6,7	11,1	10,5	11,7	11,8

Tab. A7: Mittelwerte der Pflanzenlänge (cm) von Sommerweizensorten bei einer Hitzestressprüfung unter Normal- und Stressanbau 1997 an drei Standorten, deren Mittelwert und Gesamtmittel über acht Umwelten in Oberägypten (GD: Tukey-Test)

Sorte	Shandweel		Matana		Mittelwert		Gesamtmittelwert	
	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress
El-Neilen	115,3	114,7	115,7	103,3	115,5	109,0	116,1	113,4
Debeira	105,0	99,0	103,3	104,0	104,2	101,5	108,9	105,7
Condor	105,0	94,7	97,3	97,3	101,2	96,0	101,9	94,6
Giza160	121,7	105,0	112,3	103,7	117,0	104,3	111,8	104,4
Giza164	121,0	108,3	115,3	105,3	118,2	106,8	118,8	108,3
Gemiza1	114,7	110,0	116,3	106,0	115,5	108,0	116,3	107,7
Hendi1	119,3	106,3	112,0	99,0	115,7	102,7	115,2	107,3
Hendi2	110,0	109,7	106,7	101,7	108,3	105,7	110,1	105,5
Hendi3	119,7	106,7	114,3	103,0	117,0	104,8	115,9	107,8
Fang60	115,0	114,0	111,0	104,7	113,0	109,3	115,5	112,0
Genaro81	118,3	103,0	107,0	98,3	112,7	100,7	111,1	99,7
Glenson	114,3	106,0	108,7	100,7	111,5	103,3	113,8	104,8
Pavon76	114,3	107,7	110,7	101,3	112,5	104,5	113,4	106,5
Seri82	117,3	102,7	109,3	96,3	113,3	99,5	110,6	99,8
Nacozari76	114,0	107,3	107,7	92,0	110,8	99,7	110,7	100,6
Anza	113,0	108,0	108,0	84,7	110,5	96,3	106,0	97,8
Giza165	113,3	108,7	111,3	94,3	112,3	101,5	115,7	105,7
Nesser	112,0	99,3	101,0	98,3	106,5	98,8	101,9	95,5
MW	114,6	106,2	109,3	99,7	112,0	102,9	111,9	104,3
GD(0,05)	8,6	8,1	11,8	9,1	9,6	12,1		

Tab.A8 : Nettophotosyntheserate ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) und Wasserleitfähigkeit ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$) der Fahnenblätter von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor (b_1) und nach (b_2) der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (k_1 und k_2). [b in % von k; GD: Tukey-Test]

Sorte	Nettophotosyntheserate				Wasserleitfähigkeit			
	b_1	k_1	b_2	k_2	b_1	k_1	b_2	k_2
Giza164	38,2	14,3	79,5	17,3	29,7	192,0	69,2	294,3
Debeira	62,2	23,3	8,5	18,4	41,5	395,9	10,6	328,8
Nacozari76	84,0	20,5	32,8	18,3	63,9	314,0	22,2	315,1
Gemiza1	83,5	25,1	90,6	19,1	58,8	447,6	71,3	427,3
Glenson	103,6	22,2	87,5	18,9	103,8	244,0	71,9	382,7
Genaro81	100,1	22,5	65,7	17,8	73,5	296,7	48,4	369,6
Naxos	116,7	19,4	65,4	20,0	129,1	219,2	43,4	346,9
Nesser	88,8	18,9	55,5	18,9	121,4	272,8	39,8	340,0
Munk	71,4	19,4	49,6	22,4	60,1	258,0	33,2	411,3
Star	82,3	18,7	74,5	19,5	78,2	242,5	78,4	256,9
MW	84,3	20,4	60,9	19,1	73,4	288,3	48,7	347,3
GD(0,05)	5,1	4,6	6,2	4,6	96,1	106,1	138,9	200,1

Tab. A9: Mittelwertvergleich von Hitzevarianten miteinander und mit der Kontrolle (GD: SNK)

Merkmal	Hitzestress vor der Blüte	Hitzestress nach der Blüte	Kontrolle	GD(0,05)
Sprossbiomasse (g)	2,82	3,06	3,31	0,46
Kornzahl	20,90	34,41	34,73	5,66
Einzelährenertrag (g)	1,03	1,29	1,52	0,28
TKM	53,61	38,62	44,05	6,22
Fertilität	1,12	1,87	1,93	0,10
Anzahl der Nebenähre	2,06	2,30	2,20	0,30

Tab. A10: Die Anzahl der Nebenähren von Sommerweizensorten nach einer Hitzebehandlung vor und nach der Blüte im Vergleich zur Kontrolle (GD: Tukey-Test)

Genotyp	vor der Blüte	nach der Blüte	Kontrolle
Giza164	2,40	2,70	2,70
Debeira	1,90	2,70	2,20
Nacozari76	2,10	2,80	2,30
Gemiza1	1,30	1,70	1,20
Glenson	1,40	0,80	0,70
Genaro81	1,60	1,50	2,20
Naxos	2,70	2,90	3,00
Nesser	2,60	3,10	2,60
Munk	2,70	2,40	2,70
Star	1,70	2,10	2,00
MW	2,04	2,27	2,16
GD	1,30	0,87	1,02

Tab. A11: Mittelwerte der Tage bis zum Ährenschieben, der Pflanzenlänge (cm) sowie der Anzahl der Spindelstufen und der reduzierten Ährchen bei einem Trockenstressversuch im Freiland mit einer normalen und einer Stressvariante bei verschiedenen Sommerweizensorten 1996 in Hohenthurm (GD: Tukey-Test)

Sorte	Tage zum Ährenschieben		Ährenlänge (cm)		Anzahl der Spindelstufen		Anzahl reduzierter Ährchen	
	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal	Stress	normal
Munk	68,3	68,5	10,3	10,5	17,8	17,7	0,40	0,17
Star	68,2	72,7	10,6	11,4	17,0	17,7	0,53	0,33
Naxos	63,7	62,9	8,5	9,5	15,2	16,8	0,00	0,03
Sakha8	59,9	62,7	8,7	9,6	15,3	15,6	0,13	0,00
Giza157	63,1	66,5	9,0	9,1	15,7	16,3	0,13	0,03
Giza160	69,2	74,6	10,2	11,1	19,7	20,3	1,30	0,80
Giza164	61,6	61,5	7,8	8,1	14,6	15,6	0,23	0,00
Sahel1	65,7	67,1	9,6	10,3	18,4	18,3	0,20	0,03
Wadi-Elnile	60,4	62,6	7,5	7,9	15,2	15,2	0,10	0,03
Glenson	66,9	68,2	9,8	10,1	17,5	18,2	0,73	0,23
Gemiza1	68,3	66,7	9,6	10,5	17,5	17,4	0,57	0,13
Nacozari76	59,7	62,3	10,1	10,6	16,5	17,3	0,10	0,00
Debeira	64,7	65,6	10,4	11,5	17,8	18,8	0,70	0,03
Genaro81	66,3	67,6	9,0	9,5	17,8	17,9	0,40	0,07
Siete-Cerros	66,0	68,9	9,2	10,0	16,1	17,1	0,33	0,00
WPB926	60,2	60,7	10,0	10,5	15,5	16,0	0,07	0,10
Centennial	65,9	68,1	7,9	9,0	15,0	16,4	0,80	0,07
Penewawa	64,2	67,6	9,6	10,3	16,3	16,9	0,23	0,00
Fieldwin	75,9	75,7	9,5	11,0	18,8	20,5	2,13	0,60
Inklab	60,9	63,2	9,5	10,1	14,1	14,1	0,30	0,00
Baspan	65,7	66,4	8,5	9,1	17,1	16,6	0,73	0,10
Achter	62,7	62,3	7,9	8,9	15,6	16,7	0,53	0,07
Wakanz	69,2	73,2	8,2	8,7	17,2	18,0	0,80	0,03
MW	65,1	66,8	9,2	9,9	16,6	17,2	0,50	0,12
GD(0,05)	8,4	4,6	1,1	0,9	1,9	2,1	0,77	0,47

Tab.A12: Durchschnittliche Trockenmasse (mg) der Keimlinge von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Manitolösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test)

Sorte	Herkunft	Wasser	PEG-Lösung		Wasser	Manitol-lösung	
			10%	15%		-0,5 MPa	-1,0 MPa
Achter	C	105,0	89,5	84,2	131,5	92,7	13,5
Wakanz	C	109,0	95,3	83,5	47,0	93,2	0,0
Fieldwin	C	103,3	85,5	58,6	138,8	79,5	40,8
WPB926	C	107,3	95,8	90,2	127,8	106,3	61,9
Inklab	C	114,3	110,1	106,3	104,8	99,6	38,6
Penewawa	C	108,8	106,5	88,8	123,8	84,8	38,7
Baspan	C	103,3	94,5	61,2	118,3	88,0	11,5
Centennial	C	110,3	95,3	51,7	108,5	91,2	11,0
Sakha8	E	94,5	87,8	72,3	71,3	36,8	33,3
Sahel1	E	113,3	105,2	75,6	171,0	127,6	91,5
Giza164	E	97,5	88,2	88,0	133,8	96,1	77,1
Star	G	128,3	99,3	91,1	130,5	103,2	66,0
Munk	G	113,5	99,5	56,3	143,5	118,2	61,7
Naxos	G	111,3	88,3	78,6	136,5	96,8	9,6
Nesser	I	89,5	91,5	80,3	-	-	-
MW		107,3	95,8	78,1	120,5	89,6	40,7
GD(0,05)		32,2	23,7	48,7	56,6	46,2	56,7

Tab.A13: Durchschnittliches Spross/Wurzelverhältnis der Keimlingen von Sommerweizensorten nach der Keimung in einer PEG- und Manitolösung abgestufter Konzentrationen (GD: Tukey-Test)

Sorte	Herkunft	PEG-Lösung			Manitol-lösung		
		Wasser	10%	15%	Wasser	-5 MPa	-10 MPa
Achter	C	0,353	0,217	0,152	0,63	0,41	0,24
Wakanz	C	0,998	0,583	0,258	0,62	0,49	0,00
Fieldwin	C	0,649	0,434	0,218	0,36	0,55	0,43
WPB926	C	0,728	0,393	0,235	0,49	0,46	0,33
Inklab	C	0,681	0,333	0,260	1,07	0,60	0,22
Penewawa	C	0,635	0,325	0,269	0,59	0,71	0,40
Baspan	C	0,713	0,400	0,211	0,73	0,71	0,34
Centennial	C	0,605	0,367	0,258	0,56	0,46	0,39
Sakha8	E	1,312	0,563	0,332	0,78	1,70	0,71
Sahel1	E	0,772	0,398	0,246	0,53	0,57	0,45
Giza164	E	0,955	0,511	0,286	0,67	0,57	0,64
Star	G	0,559	0,367	0,229	0,71	0,56	0,35
Munk	G	0,699	0,343	0,213	0,63	0,53	0,31
Naxos	G	1,276	0,608	0,375	0,88	0,68	0,11
Nesser	I	0,896	0,438	0,257	-	-	-
MW		0,789	0,419	0,253	0,66	0,64	0,35
GD(0,05)		0,560	0,150	0,130	0,31	0,50	0,45

Wissenschaftliche Entwicklung

Schulbildung

- 09.1973 – 06.1976 Grundschule in Hebeno (Äthiopien)
 09.1976 – 06.1978 Oberschule in Kokossa (Äthiopien)
 09.1978 – 04.1982 Gymnasium in Dodolla (Äthiopien), Abschluss: äthiopisches Abitur

Berufsausbildung

- 09.1982 – 07.1984 Landwirtschaftliche Fachschulausbildung an einer Außenstelle der Addis-Ababa-Universität in Awassa (Äthiopien), Abschluss: äthiopisches Diplom

Berufserfahrung

- 08.1984 – 08.1987 Technischer Assistent an der landwirtschaftlichen Fachschule der Addis-Ababa-Universität in Awassa (Äthiopien). Arbeitsschwerpunkt: Betreuung von Labor- und Feldversuchen
 09.1987 – 07.1988 Sprachvorbereitung (deutsch) am Herder-Institut der Universität Leipzig

Studium

- 09.1988 – 09.1993 Direktstudium an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg im Fachbereich Landwirtschaft mit den Schwerpunkten Agrochemie und Pflanzenschutz
 Anfertigung einer Diplomarbeit am Institut für Pflanzenernährung und Düngung mit dem Thema: Verbesserung des Phosphatnährungsstatus von Mais- und Hirsepflanzen durch eine Phosphat-Blattapplikation

Promotionsstudium

- 10.1993 – 12.1994 Beginn des Promotionsstudiums an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg am Institut für Pflanzenernährung
 01. 1995 – 2. 1997 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg im DFG Projekt mit dem Thema: Untersuchungen von Sommerweizensorten auf Hitze- und Trockenstresstoleranz
 03.1997 – 05.1998 Promotionsförderung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 06.1998 – 07.2000 Stipendiat des evangelischen Studienwerkes

Selbständigkeitserklärung

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

Halle/Saale, 23.11.2001

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Weber, Direktor des Instituts für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, möchte ich für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit am Institut zu arbeiten danken.

Bei der Durchführung der Untersuchungen und bei der Auswertung der Ergebnisse standen mir Herr Prof. Dr. Weber und Frau Dr. Leithold uneingeschränkt mit zahlreichen Hinweisen und Anregungen zu Seite, für die ich ihnen herzlich danke. Für die wertvollen Hinweise bei der Abfassung der Arbeit danke ich Herrn Dr. Wittenmayer. Mein Dank gilt auch Frau Schröder, Frau Schröck, Herrn Kollmorgen und Herrn Dr. Ilse für deren ständige Hilfe. Weiterhin möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz bedanken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben, sowie bei Herrn Dr. Müller und seinen Mitarbeitern für die Möglichkeit der Durchführung der Versuche in Bernburg.

Für die Möglichkeit der Durchführung der Teilversuche in Ägypten möchte ich Herrn Prof. Shafi und Herrn Prof. Sherif herzlich danken.

Nicht zuletzt möchte ich mich für die unendliche Geduld und Hilfe bei meiner Frau bedanken.

Ohne die Hilfe der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) durch Projektfinanzierung sowie der Martin-Luther-Universität und des evangelischen Studienwerkes mit anschließender finanzieller Unterstützung wäre ich nicht in der Lage gewesen, die vorliegende Arbeit fertigzustellen.