

Forschung

Ein Merkmal kommt selten allein

Über die organismische Bedeutung einer mit verschiedenen Züchtungsmethoden in Weizen eingeführten Braunrostresistenz

von Ruth Richter und Johannes Wirz

Ruth Richter,
Dr. Johannes Wirz,
Forschungsinstitut am Goetheanum,
CH-4143 Dornach,
eMail: ruth.l.richter@freeenet.de;
johannes.wirz@goetheanum.ch

„Das Bild, das wir uns vom Organismus machen, ist keine Synthese aus den gewonnenen Einzelercheinungen. Diese weisen auf die Struktur des Organismus wohl hin, aber wir können von ihnen nicht direkt zum Bilde des Organismus kommen.“ (GOLDSTEIN 1934) In diesem Zitat macht der Neurologe und Philosoph Kurt Goldstein auf die Problematik der sogenannten biologischen Tatsachen aufmerksam: Ob Einzelbeobachtung, Messreihe oder experimentelles Ergebnis: ihre Bewertung erfahren sie erst im Bilde des ganzen Organismus, sie erhalten ihren Tatsachencharakter erst im Blick auf den Gesamtzusammenhang. Entsprechend verleiht ein Lebewesen jeder seiner Eigenschaften deren Bedeutung durch die Interaktion mit der Umgebung. Gleichzeitig prägt jedes Einzelmerkmal die ganze Erscheinung. Einzelbeobachtungen können mit Buchstaben verglichen werden: erst einem kontextualen Auffassungsmodus erschließen sich Ausdruck oder Wesen des Orga-

nismus bzw. Bedeutung und Sinn von Worten. Die Darstellung von Ergebnissen, die an zwei Weizensorten mit Untersuchungen von Gestalt und Entwicklungsdynamik aus dem Projekt „Ganzheitliche Untersuchungen an transgenen Pflanzen“ gewonnen wurden, erfolgt auf dem hier skizzierten methodischen Hintergrund.

Ausgangsfrage, Material und Methode

In den Jahren 2004 bis 2006 führten wir mit je zwei Linien zweier Sommerweizensorten, die uns von der Universität Zürich zur Verfügung gestellt wurden, Versuche durch. Es wurde an zwei Sorten verfolgt, ob und wie sich Linien mit einem eingekreuztem, bzw. einem gentechnisch eingeführten Braunrostresistenzgen von der jeweiligen Ausgangssorte unterscheiden. Ob sich aus der Qualität dieser Unterschiede Hinweise auf die Züchtungsverfahren ergeben, war eine offene Frage.

Die Sorte *Thatcher* wurde an der Universität von Minnesota als erster roter Sommerweizen mit guten Backqualitäten und Stängelrostresistenz entwickelt und 1934 erstmals angebaut (ANDERSON). Sie fand vor allem in Australien, Kanada und in den kontinentalen Klimazonen der USA Verbreitung und wurde

züchterisch stark bearbeitet. *Thatcher Lr10* (*ThLr10*) ist eine unter vielen Linien mit Braunrostresistenz, die mit klassischen Züchtungsverfahren hergestellt wurden: Durch Einkreuzung von resistenten diploiden oder tetraploiden Weizenvorfahren bzw. Gräsern und folgende Rückkreuzung über mindestens sieben bis zehn Generationen sollten resistente Linien mit weitgehender genetischer und phänotypischer Ähnlichkeit mit der Ausgangssorte (sogenannte isogene Linien) entstehen (VAN BEUNINGEN & BUSCH 1997).

Bobwhite SH 98 56 ist eine Linie der modernen, phänotypisch sehr vielfältigen Sorte *Bobwhite* (Nachkommen einer Kreuzungszüchtung des non-profit CIMMYT Züchtungsprogrammes in Mexiko aus den frühen 70er Jahren); die sich als besonders geeignet für die genetische Transformation erwiesen hat. In die genetisch transformierte Linie (*BoLr10*) war das aus *Thatcher* isolierte Braunrost-Resistenzgen *Lr10* mit gentechnischen Methoden eingeführt worden. Aus diesem Experiment wurde uns eine Linie (*BoLr10*) zur Verfügung gestellt (PELLEGRINESCHI et al., 2002; FEULLIET et al., 2003). Im Folgenden werden Ergebnisse aus dem Versuchsteil dargestellt, in dem Entwicklungsdynamik und Morphologie der Vari-

Kurz & knapp:

- Unterscheiden sich mit Kreuzung oder transgen gezüchtete Weizenstämme von ihrer Ausgangssorte?
- Anhand einiger Merkmale wurden mittels Einzelbeobachtungsreihen über drei Jahre Abweichungen, u. a. reduzierte Fitness, festgestellt.
- Sowohl die Resistenzeigenschaft als auch der Züchtungsgang – Kreuzung bzw. transgen – drückten sich in Pflanzengestalt und Korneigenschaften aus.

anten untersucht wurden. Außerdem wurden die Pflanzen bzw. Körner von verschiedenen Projektpartnern mit der Methode der Empfindlichen Kupferchloridkristallisation, Steigbildmethode und Rundfilterchromatographie (U. Geier) und mit der Methode der Bildkräfteforschung (Dorian Schmidt) bearbeitet. Die Weizenkörner wurden im Labor Kwalis mittels Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie untersucht (WIRZ/RICHTER 2005, Daten hier nicht gezeigt).

Die vier genetisch unterschiedlichen Varianten wurden im Gewächshaus kultiviert. Insgesamt wurden über die drei Jahre von jeder Variante 25 Töpfe mit 6 bzw. 10 Pflanzen in jeweils zwei unterschiedlichen Kulturführungen angebaut. System I bezeichnet konventionelle Kulturführung in mineralisch gedüngter Erde mit Fungizidanwendung, System II biologisch-dynamische Kulturführung in Erde aus einem Demeter-Betrieb mit Präparateanwendung. Die Pflanzen wurden in Abständen von zehn bis vierzehn Tagen fotografiert und bonitiert. Erfasst wurden die Keimrate, die Anzahl Bestockungstriebe, verschiedene Stadien des Ährenschiebens und der Mehl-

taubefall. Bei der Ernte wurden z. T. die Internodienlänge, die Länge einzelner Halme, die Länge der Ähren und Grannen, die Anzahl Körner pro Ähre, das Gewicht pro Topf und das Tausendkorngewicht ermittelt. 2004 und 2005 wurden Blattreihen erstellt und vermessen. Die Braunrostresistenz wurde in diesem Versuch nicht überprüft. Es erfolgte weder ein natürlicher Befall noch wurde eine Inokulation mit Erregern durchgeführt.

Charakterisierung der Weizenvarianten im Vergleich

Einzelmerkmale Thatcher / Thatcher Lr10:

In allen Merkmalen der vegetativen Phase verhalten sich die beiden Thatchervarianten in den verschiedenen Jahren wechselhaft. Während ThLr10 im Anfang der Bestockungsphase in den Jahren 04 und 06 gegenüber den Thatcher-Pflanzen ohne Resistenzgen weniger Triebe anlegte, bildete die Variante 2005 von Anfang an signifikant mehr Bestockungstriebe als Thatcher. Bei der letzten Zählung Mitte Mai waren 2005 und 2006 bei allen Varianten von ThLr10 deutlich mehr Bestockungstriebe vorhanden (2005: $p < 0,05$ Syst. I und II; 06: $p < 0,05$ in Syst. II), die jedoch nicht alle zu ährentragenden Halmen ausgebildet wurden. So unterschieden sich die beiden Varianten in der Anzahl der Ähren pro Topf schliesslich nur wenig. Kleinere Blattflächen bei längeren Blättern (04, Daten nicht gezeigt) wiesen darauf hin, dass bei ThLr10 die Blätter schmaler



waren als bei der Ausgangssorte Thatcher. Die Halme waren bei allen Messungen bei ThLr10 kürzer (2005: $p < 0,005$; 2006: $p < 0,05$).

Bei ThLr10 war 2005 und 2006 der Gesamtertrag (errechnet aus dem Gewicht der Körner pro Topf) etwas höher – im Gegensatz zu Untersuchungen an Winterweizen, bei denen, wenn kein Braunrostbefall vorlag, der Ertrag isogener Linien mit Resistenzgen durchwegs geringer war als bei der Ausgangssorte (ORTELLI & al.1996). Die anderen den Ährenbereich betreffenden Parameter (Körner pro Ähre, Tausendkorngewicht) erwiesen sich als stabile Unterscheidungsmerkmale zwischen Thatcher und ThLr10: Die Variante mit der Braunrostresistenz hatte durchwegs kleinere (niedrigeres TKG) aber bedeutend mehr Körner pro Ähre (Abb. 3). Die Grannlänge als Eigenschaft,

Abb. 1 (oben): Durch Einkreuzung bzw. Gentransfer verändert sich auch die Gestalt

Je zwei Töpfe von Thatcher (links) und ThLr10 (rechts, mit Resistenzeinkreuzung), oben am 7.6., unten am 7.7.05. Der Bestand ist bei ThLr10 gleichmäßiger, die Halme ragen etwas weniger aus dem Blattbereich heraus als bei Thatcher. Abb. 2 (unten): Je zwei Töpfe von Bobwhite (links) und BoLr10 (rechts, transgene Resistenz), oben am 20.6., unten am 1.7.05. Die Ausgangssorte ist einheitlicher als BoLr10, wo einige Halme weiter aus dem Blattbereich herausstreiben.

Dank

Wir danken Prof. Beat Keller für das Saatgut, Peter Kunz, Berthold Heyden und der Arbeitsgruppe Getreidezüchtung für die fachliche Unterstützung, Louise Lemche und Rahel Flury für ihre tatkräftige Hilfe bei der Pflege der Pflanzen und der Dokumentation, und der Software-AG-Stiftung, Sampo und der Freien Gemeinschaftsbank Basel, für ihr finanzielles Engagement im Projekt.

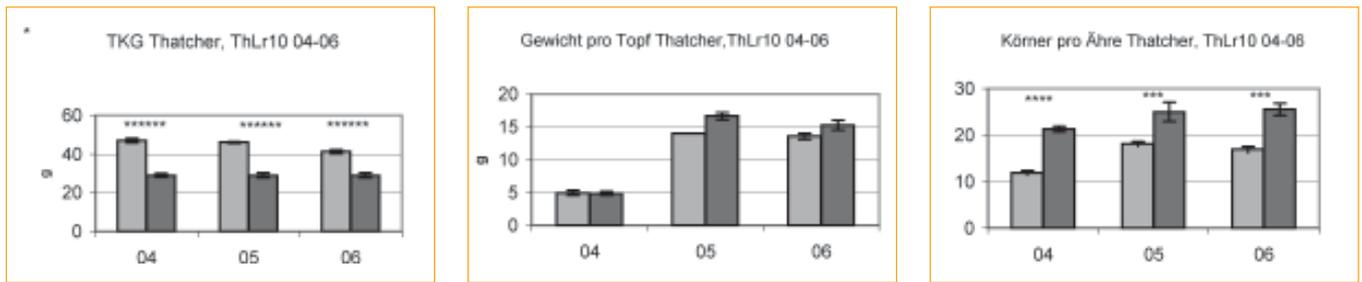


Abb. 3: Resistenzeinkreuzung verändert die Korngröße.

Tausendkorngewicht (TKG), Gewicht pro Topf und Körner pro Ähre der Varianten Thatcher (jeweils linke Säule) und Thatcher Lr10 (rechte Säule) 2004 bis 2006.

Der niedrige Ertrag beider Varianten 2004 ist bedingt durch die große Anzahl Pflanzen pro Topf (10). TKG und die höhere Anzahl Körner pro Ähre zeigen, dass ThLr10 durchgehend kleinere, aber mehr Körner ausgebildet hat, so dass der Ertrag zum Teil sogar etwas höher ausfiel als bei Thatcher. Angegeben sind Mittelwerte und Standardfehler (***** $p < 0,0001$, **** $p < 0,001$, *** $p < 0,005$, Fisher LSD-Test jeweils über beide Kulturführungen).

die vegetative Anteile im Ährenbereich repräsentiert (HEYDEN 2007), zeigte bei allen Messungen in beiden Kulturführungen im Schnitt 1,2 cm kürzere Grannen bei ThLr10 (2006: $p < 0,05$ in System II; sonst bei allen Messungen $p < 0,0005$). Die Mehltauanfälligkeit war im tropisch-feuchten Gewächshausklima besonders unter konventioneller Kulturführung bei ThLr10 höher. Es gab jedoch keinen Befall der Ähren und der Ertrag wurde nicht beeinträchtigt.

Gesamtbild Thatcher-Varianten

Die breitblättrige, mit dicken Stängeln rasch aufwachsende Sorte Thatcher wurde für die flirrende Sommerhitze Australiens bzw. des mittleren Westens der USA gezüchtet. Die anfängliche Frühlingsfeuchte wird ausgenutzt, um die Bildung der Bestockungstribe früh abzuschließen. Früher als ThLr10 beginnt sie mit dem Ährenschieben und treibt die Ähren schnell aus dem Blattbereich heraus. Die Sorte scheint die vegetative Entwicklung möglichst rasch und effizient zu durchlaufen um sie vor der einsetzenden Sommerhitze abzuschließen. Dabei kommt es weniger auf eine einheitliche, als vielmehr auf eine schnelle und kräftige Entwicklung an. Unsere Versuchspflanzen sahen sehr robust und wegen

der unterschiedlichen Halmhöhen etwas unordentlich aus. Der kümmerliche Wuchs der Sorte im Jahr 2006 zeigte, dass der feucht-kühle Sommer auch im unbeheizten Gewächshaus am wenigsten ihren Bedürfnissen entsprach. Eine mangelnde Durchgestaltung zeigte sich in den Ähren, die teils locker, teils dicht mit dickspeligigen Ährchen besetzt und unregelmäßig kümmerlich begrannt waren (Abb. 5a). Dass nur wenige der sehr großen Körner ausgebildet wurden, kann mit den allgemein für Weizen im Gewächshaus ungünstigen Bedingungen zusammenhängen, auf die Thatcher besonders empfindlich reagierte und vorher unbemerkte ungünstige Eigenschaften offenbarte. Möglicherweise stammte das Saatgut aus einem Freilandbestand, der über längere Zeit nicht gepflegt bzw. selektiert worden ist.

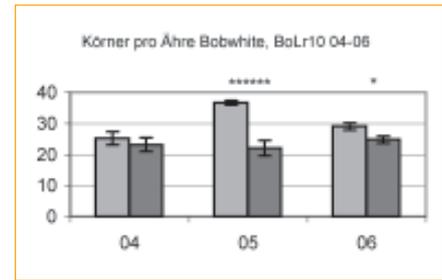
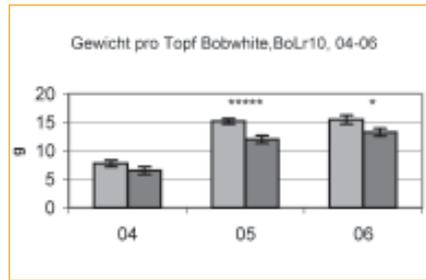
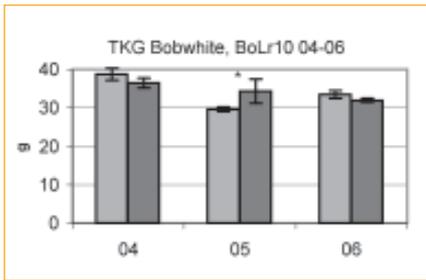
Welche Eigenschaften einer Sorte unter verschiedenen Umgebungsbedingungen phänotypisch stabil sind, und in welchen sie sich variabel anpasst, wird maßgeblich vom Züchter durch die Auswahl der Selektionskriterien bestimmt (KUNZ & KARUTZ 1991). Innerhalb des Thatcherbestandes waren Form und Besatz der Ähren unterschiedlich, was im Zusammenhang mit dem unregelmäßigen Bestandesbild darauf hinweist,

dass die Sorte selbst insgesamt weniger stark durchgezüchtet ist als die Thatchervariante Lr10 mit eingekreuztem Resistenzgen. Diese züchterische Bearbeitung zeigte sich in der Stabilität der Merkmale im Ährenbereich in verschiedenen Umgebungen.

Der größte Unterschied zu Thatcher liegt darin, dass bei der isogenen Linie vegetative Qualitäten länger vorherrschen (spätere und stärkere Bestockung, späteres Ährenschieben, Ähren bleiben näher beim Blattbereich, erhöhte Mehltauanfälligkeit). Die Pflanzen sind aber gleichzeitig bis in die Ähren hinein stärker durchgestaltet (einheitlichere Wuchshöhe, -dichte, regelmäßig mit Körnern besetzte Ähren, siehe Abb. 1). Vegetative und generative Tendenzen greifen stärker ineinander. Allerdings reicht die vegetative Kraft nur noch abgeschwächt in die Grannenbildung hinein, die sortenbedingt ohnehin sehr schwach ausgeprägt ist.

Einzelmerkmale Bobwhite / Bobwhite Lr10

Die transgene Variante Bobwhite Lr10 zeigt im Vergleich mit Bobwhite Unterschiede auch im vegetativen Bereich, die unter allen Umgebungsbedingungen in die gleiche Richtung weisen. In der frühen Bestockungsphase bleibt BoLr10 in den Jahren 2004



und 2005 in der Anlage von Trieben deutlich hinter der Kontrolle Bobwhite zurück ($p < 0,05$). Bei der letzten Bonitur ist dieser Rückstand in allen drei Jahren ausgeglichen, auch gibt es keine Unterschiede bei der Anzahl ährentragender Halme. Wie bei Thatcher sind die Blätter bei der Variante mit Resistenzgen schmäler. Die Halmlänge variiert in allen drei Jahren bei BoLr10 stark – sowohl an der Einzelpflanze wie auch innerhalb der Variante: Die meisten Halme sind länger als bei der sehr einheitlichen Sorte Bobwhite, was vor allem auf das starke Streckungswachstum des letzten Internodiums zurückzuführen ist. Die Reaktion auf die verschiedenen Kulturführungen war 2005 und 2006 unterschiedlich (2005: $p < 0,001$ in Syst. II; 2006: $p < 0,0005$ in Syst. I, siehe Abb. 2)

Die Grannen sind wie bei Thatcher in allen Messungen bei der Variante mit dem Resistenzgen kürzer und unregelmäßiger, was bei der begrannten Sorte Bobwhite stärker auffällt ($p < 0,00005$, siehe auch Abb. 5b). Ebenso sind die Ähren kürzer als bei der Kontrolle (2006 $p < 0,0005$) und weisen am Ansatz häufig leere Ährchen auf. Die Anzahl der Körner pro Ähre und das Gewicht pro Topf lagen bei BoLr10 in allen Jahren niedriger, die Werte konnten aber nur zum Teil statistisch abge-

sichert werden. Die Werte beim Tausendkorngewicht gingen in verschiedene Richtungen: 2004 und 2006 brachte BoLr10 – in Übereinstimmung mit Beobachtungen in Zürich (ROMEIS & al. 2007) – tendenziell kleinere, 2005 teilweise größere Körner hervor (Abb. 4). Die Mehltauanfälligkeit war in allen drei Jahren bei BoLr10 höher als bei der Kontrolle, ausserdem unter konventioneller höher als unter biologisch-dynamischer Kulturführung (Daten hier nicht gezeigt).

Gesamtbild Bobwhite-Varianten

Die Sorte Bobwhite zeigt sich von Anfang an als typische moderne Weizensorte. Die Bestockungsphase wird rasch abgeschlossen, und die Bestockungstrieb sind nicht vom Haupttrieb zu unterscheiden. Die Triebe stehen dicht schließend, straff und aufrecht mit guter Standfestigkeit, nicht zuletzt, weil die Halme relativ kurz bleiben. Sowohl zeitlich – beim Ährenschieben und Reifezeitpunkt –, als auch räumlich (Bestandeshöhe, gleiche Halmlänge innerhalb einer Pflanze, siehe Abb.3) zeigt der Bestand große Einheitlichkeit. Alle diese Eigenschaften sind – neben dem guten Ertragsverhalten – für einen großflächigen Anbau mit einheitlichem Dünge- und Pflanzenschutzregime außerordentlich günstig. Sie scheinen von Anfang an festgelegt.

Innerhalb des Bestandes gibt es kaum eine Pflanze, die von diesem „Programm“ abweicht. Es zeigt sich eine starke Durchdringung von vegetativen und gestaltenden Kräften: von der Jugendentwicklung (straffe Blätter, Standfestigkeit) bis zur Ährenbildung (dichte, gleichmäßig begrannte Ähren, lange Grannen) ist alles straff durchorganisiert. Diese agronomisch günstigen Eigenschaften können je nach Gesichtspunkt auch als Steifheit und mangelnde Umgebungssensitivität angesehen werden.

Wie bei der Sorte Thatcher hat in der frühen Jugendentwicklung auch bei Bobwhite die Variante mit dem Resistenzgen Schwierigkeiten, in Gang zu kommen (zögernde Ausbildung von Bestockungstrieben). Eine Wurzelbeobachtung zeigt, dass mit dem Haupttrieb zunächst eine lange, verzweigte Hauptwurzel gebildet wird, während bei der Kontrolle rasch eine breite Bewurzelung erfolgt. Entsprechend sind bei BoLr10 die Bestockungstrieb dem stärkeren Haupttrieb bis zum Schluss untergeordnet. Die Blätter sind bei BoLr10 von Beginn an schmäler, weicher und ungerichteter als bei Bobwhite, so dass früh ein unruhiges Bild entsteht. Dieses verstärkt sich in der weiteren Entwicklung durch die unterschiedlichen Halmhöhen.

Abb.4: Transgene Resistenz auf Blatterkrankungen wirkt auch auf's Korn

Tausendkorngewicht (TKG), Gewicht pro Topf und Körner pro Ähre der Varianten Bobwhite (jeweils linke Säule) und BoLr10 (rechts) 2004 bis 2006. Zum niedrigen Ertrag im Jahr 2004 siehe Abb.2. Beim Tausendkorngewicht fällt der Vergleich beider Varianten je nach Jahr unterschiedlich aus. Ertrag und Körner pro Ähre liegen bei BoLr10 unter allen Umgebungsbedingungen niedriger als bei der Kontrolle. Angegeben sind Mittelwerte und Standardfehler (* $p < 0,05$, **** $p < 0,0005$, Fisher LSD-Test jeweils über beide Kulturführungen).



Abb.5a: Ähren von Thatcher (links generell nur rudimentär begrannt) und ThLr10 (rechts, mit noch kürzeren und spärlicheren Grannen). Es zeigt sich ein Rückgang der spärlichen Begrannung bei der Variante mit eingekreuztem Resistenzgen.

Von außen gesehen tendiert das Aussehen des Bestandes in Richtung einer alten Land-sortenpopulation, von innen kann eine tastende Geste erlebt werden, als ob die Pflanzen sich nicht so schnell und intensiv mit der Erde verbinden könnten. Die Durchdringung von vegetativen und generativen Kräften ist für Getreide typisch und für eine gute Kornausbildung unerlässlich. Die langsame Bestockung mit Betonung des Haupttriebes, die schmalere schlaffen Blätter und die größere Streckung der Internodien zur Ähre hin können als eine Zurücknahme dieser Durchdringung gesehen werden. So findet auch die unregelmäßige Ausbildung der Ähren und des Grannenbesatzes eine Erklärung (pers. Mitteilung B. HEYDEN).

Braunrostresistenz im Kontext – Fazit

So verschieden die beiden hier besprochenen Weizensorten sind, sei doch ein vergleichender Blick auf die Bedeutung der Anwesenheit des Resistenzgens gewagt. Dass die Blattflächen jeweils in der Variante mit dem Resistenzgen schmalere und kleiner waren, ist beiden Sorten gemeinsam. Bei der Variante ThLr10 lassen die weichen, schmalere, länger grün bleibenden Blätter, die vielen dünnen Halme und die zahl-

reichen relativ kleinen Körner die Frage aufkommen, ob nicht trotz aller Rückkreuzungen Reste von Eigenschaften der resistenten Wildform geblieben sind, die als Kreuzungspartner verwendet wurde.

Der Vorteil, den eine Resistenz in bestimmten Umgebungen bietet, ist häufig verbunden mit Eigenschaften, die dem Züchter nachteilig erscheinen (ORTELLI & al.1996). Dies ist auch bei den hier untersuchten Sorten der Fall: bei beiden erhöhte Mehltauanfälligkeit, kleineres Tausendkorn-gewicht bei ThLr10, durchwegs verzögerte Anfangsentwicklung, uneinheitliche Bestandeshöhe, weniger Körner pro Ähre und geringerer Ertrag bei BoLr10. Ein weniger uniformes Erscheinungsbild und ein Rückgang des Ertrages wurde bei Bobwhite auch nach einer gentechnischen Modifikation zur Erzeugung von transgenem Glutenin festgestellt (BREGITZER & al. 2006).

Die Bedeutung der Resistenz im Gesamtzusammenhang der Pflanze erscheint angesichts der bisher gewonnenen Bilder der Varianten im Vergleich mit ihren Ausgangs-sorten grundverschieden. BoLr10 zeigt sich gegenüber der Sorte Bobwhite in der getreidetypischen Durchdringung von vegetativen und generativen Kräften abgeschwächt und weniger kohärent. Bei Thatcher Lr10 gegenüber Thatcher ist es umgekehrt. Dieser Unterschied könnte im Zusammenhang mit den Züchtungsmethoden gesehen werden. Die Kreuzungszüchtung achtet die Integrität des Genoms. Zwei

Kreuzungspartner werden einander „angeboten“, freilassend, was die Nachkommen daraus machen. Pflanzengenome haben sich als dynamische Strukturen evolutiv entwickelt und haben die Fähigkeit, sich sowohl exakt zu reproduzieren (Stabilität), als auch Änderungen aufzugreifen (Variabilität). Alle Rekombinationsereignisse bei Kreuzungen beruhen auf den so entstandenen Möglichkeiten.

Bei der Einführung eines einzelnen Genkonstruktes wird die Integration in dem Sinne erzwungen, dass Zellen, die es nicht aufgenommen haben, nicht überleben. Bei den überlebenden Zellen gibt es nach heutigem Wissensstand drei Ebenen, auf denen der gentechnische Eingriff Umstrukturierungen im Genom auslösen kann. Transgen integrierte DNS beeinflusst generell die Funktion benachbarter Gene, mit je nach Einbauort – der nach dem aktuellen Stand der Technik zufällig ist – erheblichen Konsequenzen für die Entwicklung der Pflanze. Zweitens wird in den seltensten Fällen nur eine Kopie des Fremdgens integriert. Veränderungen, die im ganzen Genom durch das Einfügen von Kopien oder anderen „überflüssigen“ DNA-Sequenzen auftreten, wurden bisher kaum untersucht. Drittens entstehen viele unbeabsichtigte Effekte dadurch, dass die Pflanze aus einer Einzelzelle regeneriert wird (WILSON et al. 2006).

Alle diese Mechanismen sind aus organismischer Sicht als Werkzeuge oder Strategien zu sehen, die der Pflanze ermöglichen, auf physischer

Ebene auf die Herausforderung des Eingriffs zu reagieren (WIRZ 2008). In der Molekularbiologie werden die meisten von ihnen als „Antworten“ (stress responses) bezeichnet. Die Antwort der Pflanze auf eine Veränderung ihrer Lebensbedingungen ist immer ganzheitlich. So ist es nicht erstaunlich, dass unbeabsichtigte Effekte bei transgenen Pflanzen eher die Regel als die Ausnahme sind. Von einer großflächigen Freisetzung von gentechnisch veränderten Nahrungspflanzen ist daher wegen der Unkenntnis bezüglich ihrer Eigenschaften und Interakti-

onen mit der Umgebung abzurufen, solange die zur Risikoabschätzung vorgeschriebenen Untersuchungen nicht einmal die Wirkungen von bereits bekannten unbeabsichtigten Veränderungen der Genomstruktur erfassen (KUIPER 2001, MOCH 2006).

Forschen im Lebendigen

Gestützt auf zahlreiche Einzelerhebungen, Fotos und Beobachtungsprotokolle, die an vier genetisch unterschiedlichen Weizenvarianten, unter verschiedenen Bedingungen



Abb.5b: Ähren von Bobwhite (links mit deutlich längeren Grannen und BoLr10 (rechts). Beim transgenen BoLr10 sind die Ähren kürzer und unregelmäßiger mit Körnern und Grannen besetzt.

gewonnen wurden, wurde versucht, ein Bild der „konstituierenden inneren Natur“ der jeweiligen Varianten zu entwerfen, aus dem die Einzelheiten stimmig abgeleitet werden können. Der Vergleich von Exemplaren des zu untersuchenden Organismus unter möglichst vielen verschiedenen Bedingungen ermöglicht die Wahrnehmung eines Gesamtbildes, das sich in den sich wandelnden Phänomenen in jeweils modifizierter Form äußert. Das Gesamtbild der Variante kann in der Beschäftigung mit den Einzelheiten gesehen, aber nie endgültig erreicht werden. Somit wird die Bereitschaft wach gehalten, ein Resultat auf Grund weiterer Ergebnisse wieder aufzugeben. Diese Vorgehensweise impliziert in Übereinstimmung mit Goethe einen Verzicht auf Letzterkenntnis (SCHIEREN 1998): Einzelresultate haben lediglich Behelfswert. Die hierbei erforderliche gedankliche Beweglichkeit findet ihre Entsprechung in der permanenten und nie abgeschlossenen Veränderung des Lebendigen. Somit teilt die Erkenntnismethode eine wesentliche Eigenschaft mit ihrem Untersuchungsgegenstand. Dies steht im Einklang mit Goethes Postulat nach einer dem Objekt adäquaten Untersuchungsmethode. ■

Quellen

- ANDERSON, John S., 1888-1996: History of the Department of Biochemistry <http://www.cbs.umn.edu/BMBB/history/Bioc.History-JSA.html>
- BREGITZER, P., BLECHL, A.E., FIEDLER, D., LIN, J. ET AL. (2006): Changes in high molecular Weight Glutenin Subunit Composition can be genetically engineered without affecting Wheat agronomic Performance. *Crop Science*, Vol.46, 1553-1563..
- FEULLIET, C., TRAVELLA, S., STEIN, N., ALBAR, L. UND KELLER, B. (2003): Map-based Isolation of the Leaf Rust Disease Resistance Gene Lr10 from the Hexaploid Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genome. *PNAS*, Vol. 100, 15253–15258.
- GOLDSTEIN, K. (1934): Der Aufbau des Organismus. Martinus Nijhoff, Haag.
- HEYDEN, B. (2007): Das Grannenprojekt. J. und C. Graf Keyserlingk-Institut, Mitteilungen aus der Arbeit 2007, 13-43. Salem.
- KUIPER, H.A., KLETER, G.A., NOTEBORN, H.P., KOK, E.J. (2001): Assessment of food safety issues related to genetically modified foods. *The Plant Journal* Vol. 27, 503-528.
- KUNZ, P. & KARUTZ, C. (1991): Pflanzenzüchtung dynamisch: die Züchtung standortangepasster Weizen- und Dinkelsorten. Domach.
- MOCH, K., BRAUNER, R., OTT, B. (2006) Epigenetische Effekte bei transgenen Pflanzen: Auswirkungen auf die Risikobewertung. Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, BfN-Skripten 187, Bonn-Bad Godesberg
- ORTELLI S., WINZELER H., WINZELER M., FRIED P. M., NÖSBERGER J. (1996): Leaf rust resistance gene Lr9 and winter wheat yield reduction :I. Yield and yield components. *Crop science*, vol. 36, no6, 1590-1595
- bzw. Leaf Rust Resistance Gene Lr9 and Winter Wheat Yield Reduction: II. Leaf Gas Exchange and Root Activity. *Crop Science* Vol. 36:1595-1601
- PELLEGRINESCHI, A., NOGUERA, L.M., SKOVMAND, B., BRITO, R.M., VELASQUEZ, L., SALGADO, M.M., HERNANDEZ, R., WARBURTON, M., & HOSINGTON, D. (2002): Identification of highly transformable Bobwhite Sister Lines for Mass Production of fertile transgenic Plants. *Genome*, Vol.45, 421-430.
- ROMEIS, J., WALDBURGER, M., STRECKEISEN, PH., HOGERVORSTE, P. A. M., KELLER, B., WINZELER, M., BIGLER, F.: Performance of transgenic spring wheat plants and effects on non-target organisms under glasshouse and semi-field conditions. *Journal of Applied Entomology*, Volume 131, Numbers 9-10, December 2007, 593-602(10).
- SCHIEREN, J. (1998): Anschauende Urteilskraft: methodische und philosophische Grundlagen von Goethes naturwissenschaftlichem Erkennen. Parerga Verlag, Düsseldorf und Bonn.
- VAN BEUNINGEN L.T. & BUSCH R.H. (1997): Genetic diversity among North American spring wheat cultivars: II. Ancestor contributions to gene pools of different eras and regions. *Crop Science* vol.37, 580-585.
- WILSON, A.K., LATHAM, J.R., STEINBERGER, R.A. (2006): Transformation-induced mutations in transgenic plants: Analysis and biosafety implications. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* – Vol. 23, December 2006
- WIRZ, J. & RICHTER, R. (2005): Bericht Projekttreffen Weizen 2005, Dornach, erhältlich im Forschungsinstitut am Goetheanum
- WIRZ, J. (2008): Nicht Baukasten, sondern Netzwerk – die Idee des Organismus in Genetik und Epigenetik. *Elemente der Naturwissenschaft* 88, 5-21.