



Sicherung des Ertrags und optimale Qualität von Lebensmitteln – das sind die Kernziele der heutigen Agrar- und Verbraucherschutzpolitik. Doch wie lassen sich diese Ziele unter Einhaltung moderner Umweltschutzbestimmungen und der Prämisse der „Nachhaltigkeit“ erreichen? Die einzig praktikable Lösung scheint in der Entwicklung von Nutzpflanzen zu liegen, die Krankheiten und ungünstigen Umwelteinflüssen trotzen. Die klassische Pflanzenzüchtung stößt hier an ihre Grenzen, da es nicht möglich ist, alle Gene, die an der Ausprägung einer solch komplexen Widerstandsfähigkeit beteiligt sind, durch Kreuzung in einer Sorte zu vereinen. Doch was tun, wenn die klassische Züchtung nicht zum Erfolg führt? Aus Sicht der Wissenschaft liegt die Antwort in der „Grünen Gentechnik“, das heißt in der gezielten Herstellung von Pflanzen, die den modernen Produktionsanforderungen, wie hohe Erträge bei reduziertem Pestizideinsatz und möglichst geringer Belastung des Ernteguts mit toxischen mikrobiellen Stoffwechselprodukten, entsprechen. Die große Herausforderung besteht heute darin, den Verbraucher über die Notwendigkeit dieser Vorgehensweise aufzuklären und so die gesellschaftliche Akzeptanz für eine neue Generation von Nutzpflanzen zu verbessern.

Das nationale Verbundprojekt GABI-Agrotec

Sicherung der Nahrungsmittelqualität von Getreideprodukten durch Grüne Gentechnik

Von Carin Jansen und Karl-Heinz Kogel

Der hohe Versorgungsgrad der europäischen Bevölkerung mit Lebensmitteln, aber auch „Lebensmittelkrisen“ – reichend vom BSE-Rindfleisch bis zum Nitrofen in Babynahrung – haben in den letzten Jahren die öffentliche Diskussion um die Sicherung der Nahrungsmittelqualität angefacht. Im Januar 2003 startete das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) ein Lebensmittel-Monitoring, in dem 4830 Lebensmittel tierischer und pflanzlicher Herkunft unter anderem auf Schwermetalle, Nitrat und Rückstände von Pflanzenschutzmitteln wie Nitrofen untersucht

werden. Nicht ohne Grund bilden Lebensmittel, die mit bestimmten Schimmelpilzgiften (Mykotoxinen) belastet sein können, wie Hartweizengrieß, Vollkornserzeugnisse, Maismehl und Cornflakes, einen Schwerpunkt des Programms.

Mykotoxine in Lebensmitteln – ein nicht zu unterschätzendes Problem

Wie gelangen diese Mykotoxine in unsere Nahrung, und wie giftig sind sie? Bei den etwa 20 in Lebensmitteln nachweisbaren Giftstoffen pilzlichen Ursprungs unterscheidet man solche, die bereits auf dem Feld entstehen, von denen, die

während der Lagerung des Ernteguts gebildet werden. Die Mykotoxine Aflatoxin und Ochratoxin beispielsweise werden von Schimmelpilzen der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium* gebildet, die zu den Lagerpilzen gezählt werden. Beide Stoffe besitzen eine hohe akute Toxizität und können beim Menschen zu Nieren- und Leberschäden führen. *Aspergillus* und *Penicillium* stellen hierzulande kein akutes Problem mehr dar, da in der Regel durch eine kühle und trockene Lagerung Vorsorge gegen eine Verseuchung des Ernteguts mit Lagerpilzen und deren Toxine getroffen wird. Allerdings sind Aflatoxin und Ochratoxin häufiger in Import-

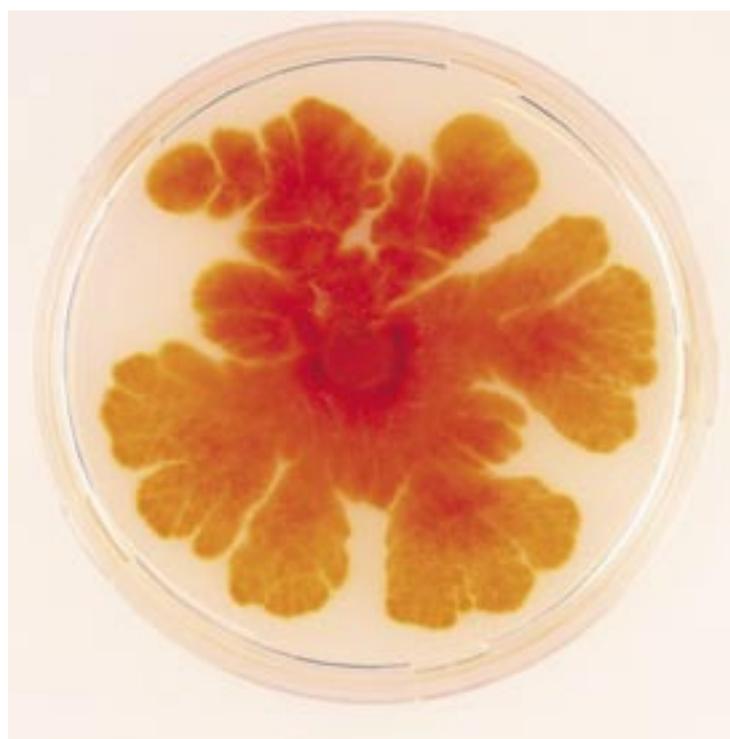
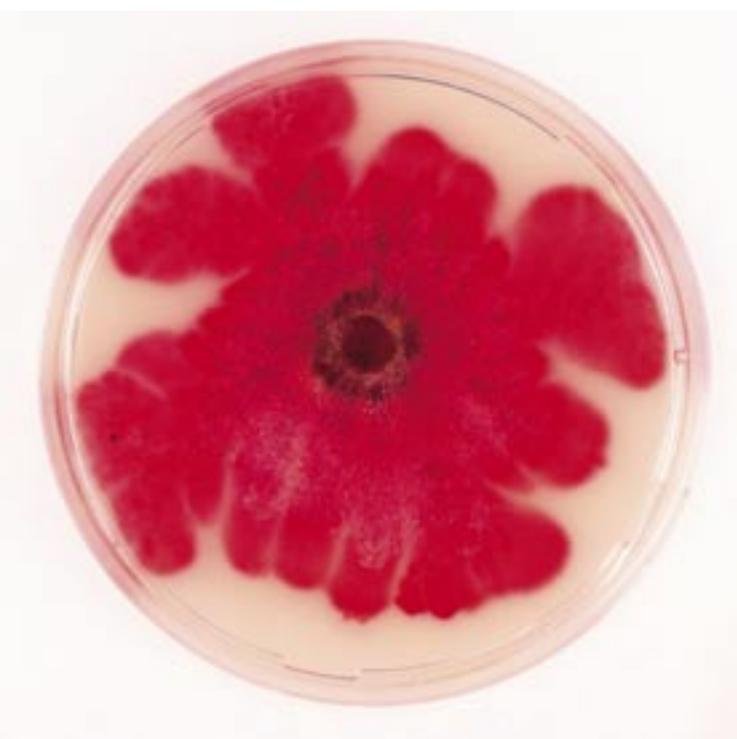


Abb. 1: Partielle Taubährigkeit verursacht durch *Fusarium graminearum* an einer Weizenähre (Bild linke Seite). Verschiedene Isolate von *F. graminearum*, dem Erreger der Pflanzenkrankheit, sind in manchen Fällen auf Nährmedium durch unterschiedliche Pigmentbildung zu unterscheiden (oben).



Prof. Kogel, Jahrgang 1956, studierte an der RWTH Aachen Biologie und Sozialwissenschaften und wurde dort nach dem Diplom in Biologie im Jahr 1984 auf dem Gebiet der Pflanzenphysiologie promoviert. Nach dem Studium schloss sich ein einjähriger Post-Doc-Aufenthalt bei Prof. Sharon am Weizman Institute of Science in Rehovot, Israel, sowie ein mehrjähriger Aufenthalt am Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln, an. Nach einer mehrjährigen Tätigkeit als Patentanwalt habilitierte er sich an der RWTH Aachen über biochemische Mechanismen der Krankheitsentwicklung an Getreidepflanzen. Seit Ende 1996 ist er Geschäftsführender Direktor am Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie (IPAZ) der Universität Gießen und seit 2004 dort im Vorstand des Interdisziplinären Forschungszentrum für biowissenschaftliche Grundlagen der Umweltsicherung (IFZ). Seit Januar 2000 ist er Mitglied der DFG-Senatskommission für Stoffe und Ressourcen in der Landwirtschaft. Forschungsschwerpunkte: Zellbiologische Arbeiten zum Mechanismus der Krankheitsresistenz bei Getreiden, Biologischer Pflanzenschutz, Bio-Sicherheitsforschung in der Gentechnik.

gütern wie ölhaltigen Früchten (z. B. Nüssen), Gewürzen und Kaffee nachweisbar (Moss, 2002).

Zu den Pilzgiften, die bereits im Feld gebildet werden, gehören die der Pilzgattung *Fusarium*. Fusariumpilze produzieren ein ganzes Arsenal verschiedener Mykotoxine und stehen heute im Mittelpunkt der Diskussion um Nahrungs- und Futtermittelsicherheit. Für den mitteleuropäischen Feldanbau haben vor allem die Mykotoxin-produzierenden Arten *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum* wirtschaftliche Bedeutung. Sie sind die häufigsten Erreger der „Ährenfusariose“ bei Getreide sowie der Stängel- und Kolbenfäule bei Mais (Abbildung 1).

Besonders Weizen, Gerste und Mais werden durch Fusariumpilze mit Mykotoxinen belastet, die dann über Lebens- und Futtermittel zu Mensch und Tier gelangen. Bei den Nutztieren reagieren in erster Linie die Schweine auf Toxine im Futter, Wiederkäuer und Geflügel sind weniger empfindlich. In den Futtermittelanalysen werden meist nur die Fusariumtoxine Deoxynivalenol (DON), das etwa so giftig ist wie das längst verbotene Pflanzenschutzmittel E605, und das noch

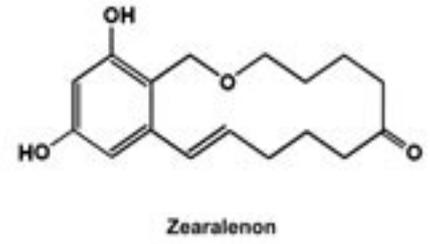
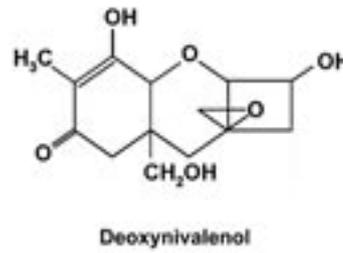


Abb. 2: Strukturformeln der „Leittoxine“ Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA).

bedenklichere Zearalenon (ZEA) erfasst. Beide gelten als Gradmesser für eine mögliche Toxinbelastung und werden daher auch als „Leittoxine“ bezeichnet (Abbildung 2). Durch akute DON-Intoxikationen kommt es beim Schwein zu Verzehrrückgang, Futterverweigerung und Erbrechen und damit zu einer verschlechterten Tageszunahme. ZEA ist eine Substanz mit östrogenen Wirkung, die zu verminderter Fruchtbarkeitsleistung bei Zuchtsauen führt. Auf Grund der Erfahrungen in der Fütterungspraxis wurden im Jahr 2000 vom BMVEL sogenannte Orientierungswerte für Gehalte an DON und ZEA im Tierfutter veröffentlicht (siehe Tabelle 1). Diese Werte gelten als

Empfehlung für die Fütterungspraxis und sind nicht als Höchst- oder Grenzwerte zu verstehen.

Die wesentliche Exposition des Menschen mit Fusariumtoxinen ist fast ausschließlich auf kontaminierte Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs – insbesondere Getreide und Getreideerzeugnisse – zurückzuführen. Eine relevante Übertragung von Toxinen über Milch, Fleisch und Eier auf den Menschen findet infolge nahezu vollständiger Metabolisierung und Ausscheidung durch das Tier praktisch nicht statt. Beim Menschen kann die Aufnahme von DON zu Haut- und Zellschäden, inneren Blutungen und einer Schwächung des Immunsystems führen. Andere Fusariumtoxine gelten als karzinogen.

In Deutschland existierten bis Februar 2004 nur verbindliche Grenzwerte für das Aflatoxin und das von *Claviceps purpurea* gebildete giftige Mutterkorn in Lebensmitteln. Für alle anderen Mykotoxine werden derzeit EU-weit geltende Grenzwerte ausgehandelt. Für Lebensmittel hat Deutschland im Herbst 2002 versucht, Grenzwerte von 0,5 mg DON und 0,05 mg ZEA pro kg Getreide bei der EU einzubringen. Dies stieß jedoch zunächst auf Widerstand der südeuropäischen Länder, da der dort angebaute Durumweizen, das Rohmaterial für die Nudelherstellung, solche Grenzwerte regelmäßig überschreitet. Am 4. Februar 2004 wurde vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft eine bundesweit geltende Höchstmengenverordnung für die Fusariumtoxine Deoxynivalenol, Zearalenon und Fumonisin

Tabelle 1: Orientierungswerte¹⁾ für Deoxynivalenol und Zearalenon in Futter von Schwein, Huhn und Rind (mg/kg, 88 % Trockensubstanz; BMVEL, 2000)

Tierart bzw. Kategorie	Deoxynivalenol	Zearalenon
Schwein		
Präpubertäre weibliche Zuchtläufer	1,0	0,05
Mastschweine und Zuchtsauen	1,0	0,25
Rind		
Kalb	2,0	0,25
Weibliches Aufzuchtrind / Milchkuh	5,0	0,50
Mastrind	5,0	.. ²⁾
Geflügel		
Legehühner / Masthühner	5,0	.. ²⁾

1) Werte, bei denen keine negativen Effekte auf die Tiergesundheit zu erwarten sind.

2) nach derzeitigem Wissensstand keine Orientierungswerte erforderlich.

verabschiedet. Seitdem gelten bei Kleinkindnahrung Höchstmengen von 0,1 mg/kg (DON) bzw. 0,02 mg/kg (ZEA) und bei Getreideerzeugnissen von 0,5 mg/kg (DON) bzw. 0,05 mg/kg (ZEA). Mit der Einführung verbindlicher Grenzwerte wird auch ein EU-weites Verschneidungsverbot erwartet. Dies würde zur Folge haben, dass alle Getreidepartien, deren Toxinbelastung über den Grenzwerten liegt, nicht mehr mit weniger kontaminierten Partien gemischt werden dürften, sondern vernichtet werden müssten. Dies scheint vernünftig, würde aber erhebliche Ertrags- und Einkommenseinbußen für die Landwirte nach sich ziehen.

Moderner Ackerbau fördert die Infektion mit Fusariumpilzen

Warum rücken Mykotoxine, besonders die Fusariumtoxine, gerade heute in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses? Fusariumbefall von Getreide gab es schon immer, doch gerade in den letzten Jahren beobachten wir verstärktes epidemieartiges Auftreten. Die Gründe dafür sind so vielfältig wie die Faktoren, die einen Befall von Getreide mit *Fusarium* beeinflussen

(Abb. 4). Besonders die aktuellen Anbautrends, wie getreidereiche Fruchtfolgen, Weizen- nach Maisanbau sowie leider auch die aus Gründen des Erosionsschutzes und der Bodenfruchtbarkeit empfohlene nicht-wendende, reduzierte Bodenbearbeitung, spielen eine entscheidende befallsfördernde Rolle. Alle getreidepathogenen Fusariumarten können saprophytisch auf Ernterückständen überleben, sich also von totem Pflanzenmaterial ernähren. Daher birgt die pfluglose Bodenbearbeitung ein erhöhtes Risiko für einen Fusariumbefall. Ernterückstände verbleiben bei diesem Verfahren an der Feldoberfläche und stellen einen idealen Nährboden für Fusariumpilze dar. Die erhöhte Belastung von Getreideprodukten mit Fusariumtoxinen bei einer pfluglosen Bodenbearbeitung im Weizenanbau, belegen auch eigene Feldstudien, die wir im Rahmen des Gießener Sonderforschungsbereichs „Landnutzungskonzepte peripherer Regionen“ in den letzten drei Jahren in der Lahn-Dill-Region durchgeführt haben (Abbildung 3). Es wird damit offensichtlich, dass unter dem speziellen Aspekt „Bodenbearbeitung“ Lebensmittelsicherheit und ökologisch nachhaltiges Wirtschaften in

einem schwierigen Zielkonflikt stehen.

Die Ursachenforschung nach toxinfördernden Produktionsfaktoren führt allerdings noch zu einer weiteren wichtigen Erkenntnis. Bei einer intensiven Bestandesführung (dichte Fruchtfolgen, Einsatz von Wachstumsregulatoren, hohe Stickstoffdüngung) ist das Risiko des Auftretens von Mykotoxinen höher als unter den Produktionsstrategien im Öko-Landbau, denn Ährenfusariosen entwickeln sich besonders stark unter hohen Stickstoffkonzentrationen, und die Reduktion der Halmlänge durch Wachstumsregulatoren führt im gesamten Bestand zu einem feuchteren Mikroklima, das das Wachstum der Pilze ebenfalls erheblich fördert.

Zudem gibt es aber einen ganz entscheidenden Faktor, den weder Landwirte noch Wissenschaftler beeinflussen können, nämlich das Wetter. Eine warme und feuchte Witterung, gerade zum Zeitpunkt der Getreideblüte, kann die Infektion mit *Fusarium* stark begünstigen und so auch die Mykotoxinbelastung des Ernteguts erhöhen. So waren die Jahre 1996 und 2002 ausgesprochene Fusariumjahre, da es in den recht regenreichen Sommern zu vermehrten Fusariuminfektionen und erheblichen Mykotoxinbelastungen von Lebens- und Futtermitteln kam.

Auf Grund der Vielzahl von Einflussfaktoren ist eine vollständige Vermeidung eines Fusariumbefalls so gut wie unmöglich. Daher stellt sich die Frage, ob und wie eine bestehende Infektion im Bestand bekämpft werden kann. Dies ist nur bedingt durch die gezielte Applikation von Fungiziden möglich. Nur wenige zugelassene Mittel, die alle zu den Azolfungiziden zählen, sind gegen Fusariumpilze relativ gut wirksam (ca. 50% Wirkungsgrad). Für eine optimale Bekämpfung der Pilze muss allerdings der Zeitpunkt der Blüte genau getroffen werden. Daher entscheiden sich viele Landwirte für einen prophylaktischen Einsatz von Fungiziden, um das Risiko eines Fusariumbefalls zu minimieren. Das bedeutet, dass Spritzmittel ohne direkte Indikation aus-

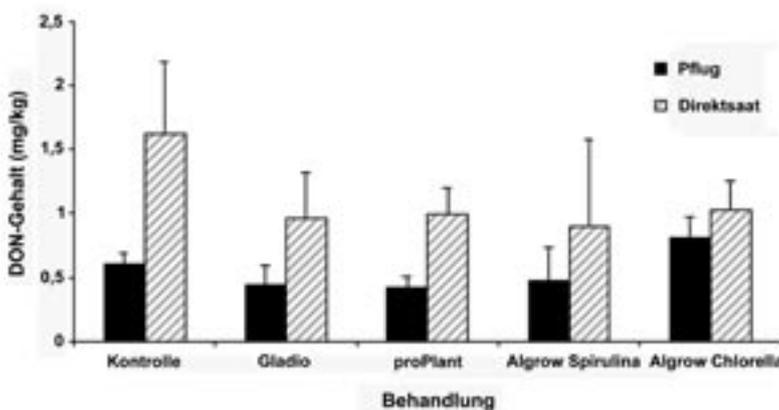


Abb. 3: DON-Gehalte (mg/kg Getreide) von Weizenproben bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen aus dem Jahr 2003 am Standort Hassenhausen, Landkreis Marburg a. d. Lahn. Neben dem Fungizid Gladio® wurde die Beratungssoftware proPlant und zwei in Deutschland noch nicht zugelassene (biologische) Algenpräparate, Algrow Spirulina und Algrow Chlorella, als Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzt. Dargestellt sind die Mittelwerte aus drei unabhängigen Messungen mit den jeweiligen Standardfehlern. (Heier et al., in Vorbereitung, SFB 299 der Universität Gießen).

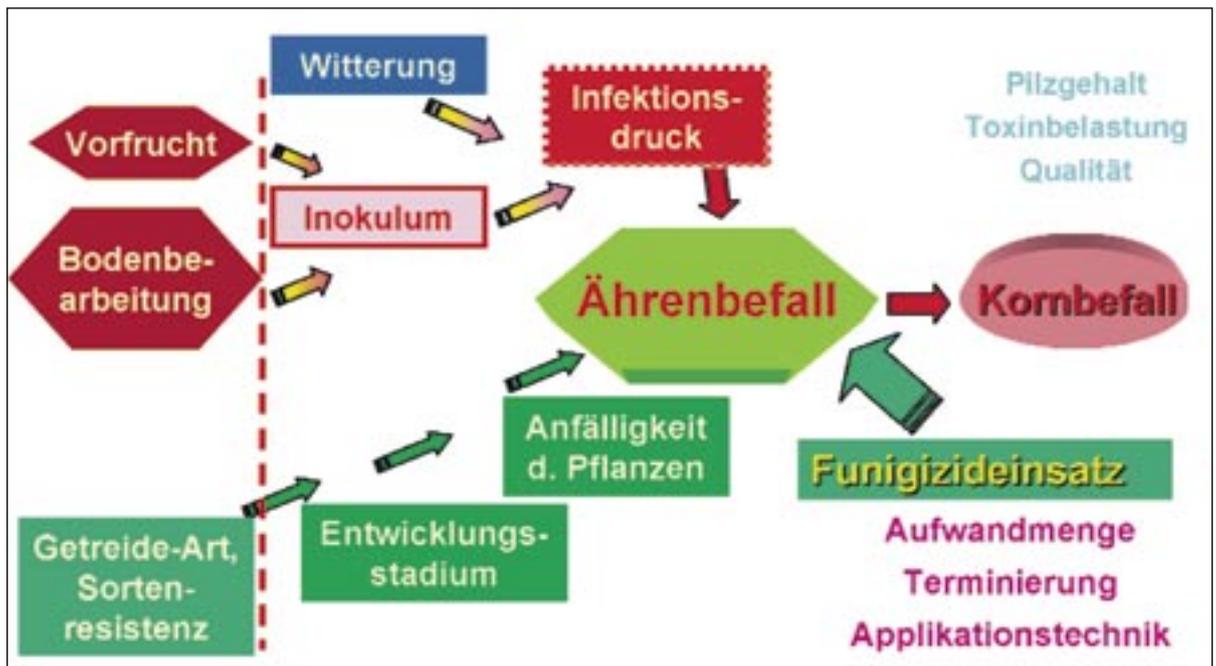


Abb. 4: Zusammenhänge verschiedener Einflussfaktoren auf den Fusarium-Befall im Feld (in Anlehnung an Weinert, Obst und Rodemann).

gebracht werden, was aus Sicht des integrierten Pflanzenschutzes und einer nachhaltigen Bewirtschaftung inakzeptabel ist. Die Situation macht deutlich, dass eine Lösung des Fusariumproblems dringend notwendig ist.

Eliminierung der Mykotoxine aus Getreideprodukten kaum möglich

Die Bundesanstalt für Getreideforschung untersucht alljährlich bundesweit Weizenproben auf ihren DON- und ZEA-Gehalt. In der Ernte 2001 lagen 16 % der untersuchten Proben oberhalb des vorgeschlagenen Grenzwertes von 0,5 mg/kg für DON bzw. 15 % oberhalb von 0,05

mg/kg für ZEA. Eine vollständige Eliminierung der Fusariumtoxine aus dem Erntegut ist nahezu unmöglich. Da es sich um recht hitzestabile Stoffe handelt, werden sie durch Temperaturen, denen Getreide ausgesetzt werden kann, nicht zerstört. Auf der Stufe der Müllerei und der Weiterverarbeitung der Getreiderohprodukte wird die Mykotoxinbelastung durch verschiedene Reinigungsschritte zwar deutlich gegenüber dem Rohstoff „Getreidekorn“ reduziert, dennoch werden in fertigen Getreideerzeugnissen, wie Mehl und Kleie, regelmäßig DON-Gehalte über dem angestrebten Grenzwert gefunden.

Ein besonderes Problem stellt getreidehaltige Nahrung für Kleinkinder, wie Getreidebrei oder Maisgries, dar. Das Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) hat bei Analysen solcher Produkte Toxinbelastungen von über 0,6 mg DON pro kg Lebensmittel gefunden. Damit würden Kleinkinder, die gemäß der Ernährungsempfehlung des Forschungsinstituts für Kinderernährung zweimal täglich 20 g Getreideprodukte zu sich nehmen, deutlich mehr als die von der Europäischen Union

abgeleiteten tolerierbaren täglichen Aufnahmemenge von 1 µg je kg Körpergewicht zu sich nehmen.

Dies macht deutlich, dass Fusarium und die von ihnen verursachte Mykotoxinbelastung des Getreides ein ernsthaftes Problem darstellen, das durch heutige Methoden nur in einem unbefriedigenden Maße kontrolliert werden kann. Von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) wurde kürzlich explizit auf die für die Landwirtschaft und den Verbraucher prekäre Situation hingewiesen und dringender Forschungsbedarf festgestellt (DFG, 2004). Im Hinblick auf den vorbeugenden Verbraucherschutz, einem prioritären Anliegen der Bundesregierung, ist daher zwingend Handlungsbedarf geboten, was auch Wissenschaftler unterschiedlicher Bereiche wie der Pflanzenzüchtung und der Phytopathologie auf den Plan ruft.

Grüne Gentechnik – die Alternative zur Lösung der Fusarium-Problematik

Pflanzenzüchter versuchen seit etwa zehn Jahren intensiv, Weizensorten zu entwickeln, die eine ver-

besserte Widerstandsfähigkeit (Resistenz) gegenüber Fusariumpilzen aufweisen. Die Wahl der angebauten Getreidesorte hat einen erheblichen Einfluss auf den Fusariumbefall. Vollständig *Fusarium*-resistente Sorten existieren zur Zeit weltweit leider nicht, und die genetische Grundlage für Resistenz gegenüber *Fusarium* ist weitgehend unbekannt. Wir wissen, dass kurzstrohige Sorten, zu denen die meisten Hohertragsorten zählen, in der Regel anfälliger gegenüber den Pilzen sind. Auch ist die Dauer der Blüte ein wichtiger Parameter, da Getreide in diesem Stadium besonders infektionsgefährdet ist.

In den letzten Jahren wurden in einem ersten Schritt Bereiche des Weizen-genoms, sogenannte QTL (*quantitative trait loci*), identifiziert, die gemeinsam zu einer höheren Widerstandsfähigkeit gegenüber diesem Pathogen beitragen (Buerstmayr *et al.*, 2002). Es wurde deutlich, dass nicht nur ein oder

zwei Genbereiche für die Resistenz verantwortlich sind, sondern dass viele in unterschiedlichem Ausmaß zur Resistenzausprägung beitragen. Diese Tatsache macht es nahezu unmöglich, in absehbarer Zukunft über die Methoden der klassischen Züchtung *Fusarium*-resistente Getreidesorten zu entwickeln. Dazu müssten nämlich die relevanten Genbereiche aus verschiedenen Pflanzenkultivaren über viele arbeits- und zeitaufwändige Kreuzungen in einer Hohertragsorte pyramidiert werden. Außerdem ist nicht sichergestellt, dass die einfache Addition mehrerer Genbereiche wirklich zu einer vollständigen Resistenz gegenüber *Fusarium* führt.

Aber was ist die Alternative? Gerade die Methoden der Grünen Gentechnik können bei komplexen Merkmalen wie der Fusariumresistenz relativ schnell zum Erfolg führen. Der große Vorteil gegenüber der klassischen Züchtung besteht

darin, dass Gene, die an der Ausprägung des gewünschten Merkmals beteiligt sind, gezielt in Pflanzen, z.B. Hohertragsorten, eingebracht werden können. Dabei spielt es im Prinzip keine Rolle, aus welchem Organismus diese Gene stammen. Während man in der klassischen Pflanzenzüchtung darauf angewiesen ist, dass Spender- und Empfängerpflanze sich miteinander kreuzen lassen, können in der Grünen Gentechnik auch Gene aus Bakterien oder artfremden Pflanzen in die gewünschte Zielpflanze eingebracht werden. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber der klassischen Züchtung besteht auch darin, dass man die Aktivität (Expression) und somit auch den positiven Effekt dieser Gene durch den gezielten Einsatz bestimmter regulatorischer Einheiten, sogenannter Promotoren, steuern kann. So ist es möglich, dass ein pflanzeigenes Gen, dessen Effekt unter „natürlichen“ Bedingungen nicht ausreicht, um

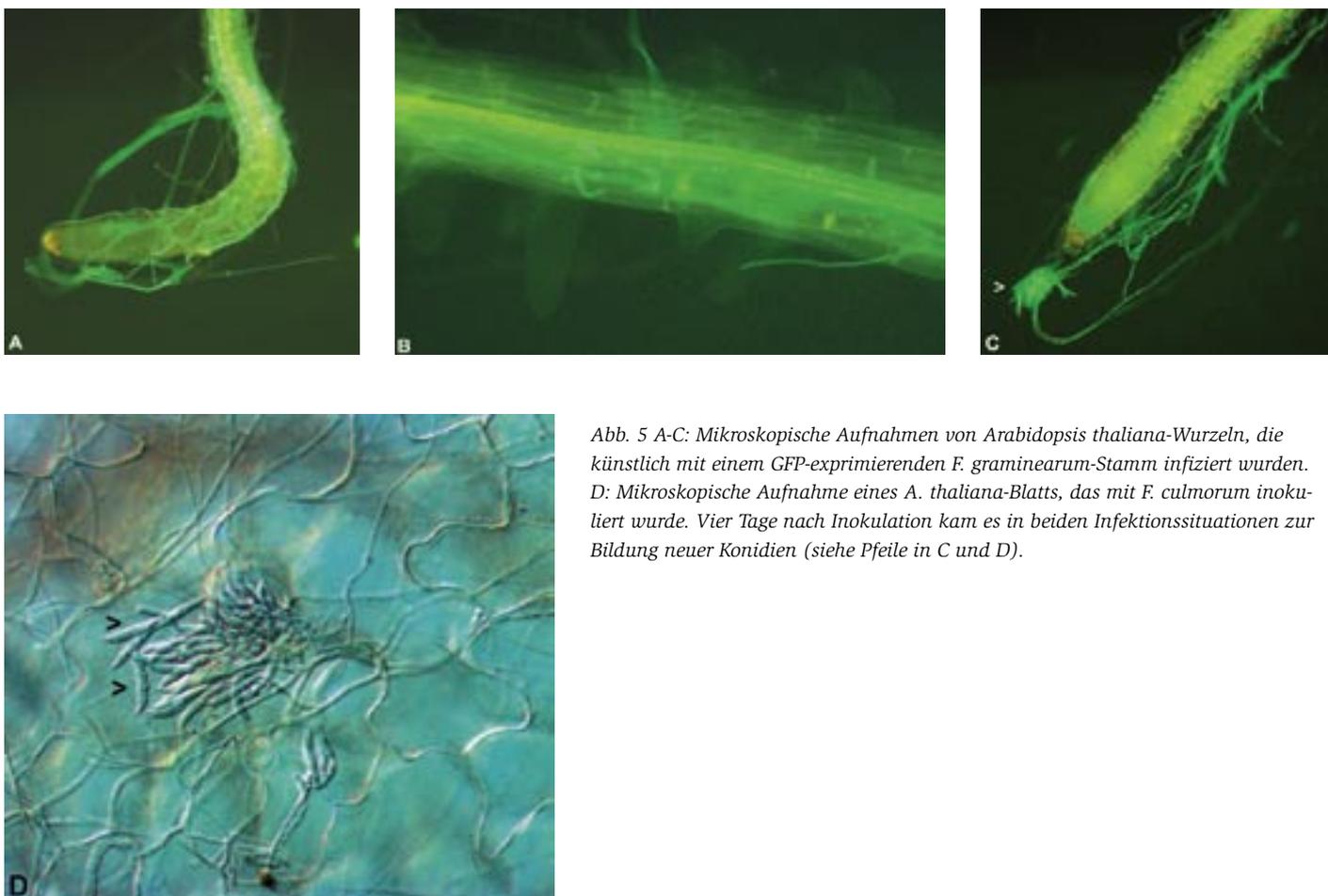


Abb. 5 A-C: Mikroskopische Aufnahmen von *Arabidopsis thaliana*-Wurzeln, die künstlich mit einem GFP-exprimierenden *F. graminearum*-Stamm infiziert wurden. D: Mikroskopische Aufnahme eines *A. thaliana*-Blatts, das mit *F. culmorum* inokuliert wurde. Vier Tage nach Inokulation kam es in beiden Infektionssituationen zur Bildung neuer Konidien (siehe Pfeile in C und D).



Carin Jansen, Jahrgang 1974, studierte von 1993 bis 1998 Biologie an der RWTH Aachen. 2002 wurde sie in einem von der DFG geförderten Projekt der Gießener Forschergruppe FOR343 am Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie der Justus-Liebig-Universität Gießen mit einem Thema zur Aufklärung molekularer Krankheitsmechanismen in Getreidepflanzen promoviert. Seit Mai 2002 leitet sie die Gießener Arbeitsgruppe GABI-Agrotec in einem Projekt der vom BMBF geförderten Deutschen Pflanzengenomininitative GABI und beschäftigt sich mit der „Identifizierung und Charakterisierung Fusarium-responsiver Gene der Gerste“.

beispielsweise eine Krankheitsresistenz zu bewirken, in der transgenen Pflanze bei verstärkter Aktivierung einen hinreichenden Schutz bietet. Man kann diese regulatorischen Einheiten auch so einsetzen, dass eine Ablesung des Gens nur dort stattfindet, wo es seine Wirkung gegenüber Erregern entfalten soll, etwa in der Samenschale, aber nicht in anderen Teilen der Pflanze, wie beispielsweise den Blättern.

Voraussetzung für die gezielte Herstellung gentechnisch veränderter Pflanzen ist allerdings, dass man die Gene kennt, die an der Ausprägung des gewünschten Merkmals beteiligt sind. Doch wie findet man Gene, die z.B. bei der Abwehr von Fusariumpilzen effektiv sind? Hier sind verschiedene Strategien denkbar. Einige Arbeitsgruppen verfolgen das Ziel, Gene aus verschiedenen Organismen zu isolieren, die am Abbau von Fusariumtoxinen beteiligt sind. So wurde kürzlich ein pilzliches Enzym in Weizen eingebracht, das DON in eine weniger toxische Verbindung umsetzt (Okubara *et al.* 2002). Dies hat zwei positive Effekte: Zum einen ist in diesem neuen Weizen die Ausbreitung des Pilzes verringert, da DON ein Faktor ist, der vom Pilz zur Ausbreitung im pflanzlichen Gewebe gebraucht wird. Zum anderen ist das befallene Korn weniger mit Pilztoxinen verseucht, weil gebildete Toxine sofort detoxifiziert werden. Dieser Ansatz mag auf den ersten Blick vielversprechend erscheinen, doch packt er nach Ansicht vieler Kollegen die Fusariumproblematik an der falschen Stelle. Im Pflanzenschutz sollte, wie auch in der Humanmedizin, nicht die

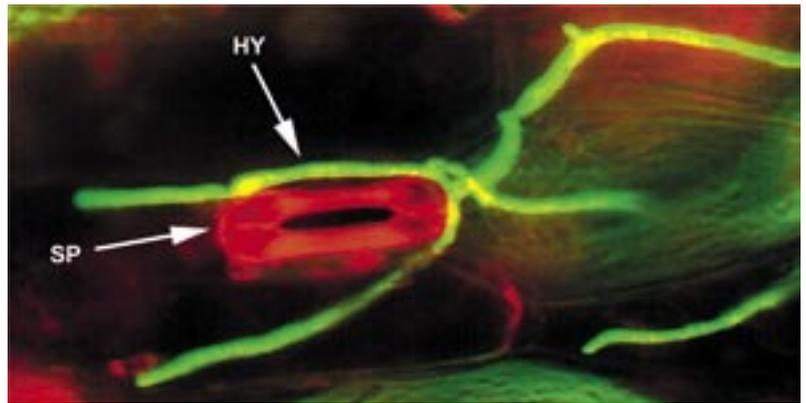


Abb. 6: Mikroskopische Aufnahme eines mit dem *gfp*-Gen transformierten pilzlichen Pathogens *Fusarium graminearum* unter UV-Bestrahlung auf einem Gerstenblatt, 48 Stunden nach Inokulation. SP: Spaltöffnung, HY: Pilzhyphe.

Linderung der Symptome, in diesem Fall die DON-Produktion, sondern die Bekämpfung der eigentlichen Krankheitsursache, der Befall mit Fusariumpilzen, im Zentrum der Bemühungen stehen. So sollte sich die Forschung darauf konzentrieren, Gene zu identifizieren, die die primäre Infektion mit Fusariumpilzen verhindern und nicht nur deren Folgen reduzieren.

Deshalb ist es unser Ziel, pflanzeigene Gene zu identifizieren, die bei verstärkter Expression einen Befall mit Fusariumpilzen erfolgreich verhindern. Als Beispiel sei hier erwähnt, dass wir (Abwehr)-Gene aus der Gerste isolieren, um sie dann wieder – allerdings unter der Kontrolle eines „stärkeren“ Promotors – in Gerste zurückzuführen. Damit ist auch das Kernziel des Verbundprojekts GABI-Agrotec bereits hinreichend beschrieben. Wie der Name vermuten lässt, ist dieses Projekt in das Verbundvorhaben GABI, der Genomanalyse im biologischen System Pflanze, eingebunden. GABI wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und privatwirtschaftliche Unternehmen gefördert und hat die deutsche Pflanzengenomforschung durch Etablierung eines nationalen Netzwerks, Herausbildung von Kompetenzzentren und enge Kooperation mit dem komplementären französischen Programm „Géno plante“ ohne Zweifel in eine internationale Spitzenposition gebracht. Als Kern-

punkt des Programms sollen Strukturen und Funktionen wichtiger Pflanzengenome aufgedeckt werden. Insgesamt werden acht Pflanzengenome in GABI untersucht, wobei die Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana* L.) und die Gerste (*Hordeum vulgare* L.) den Charakter von Modellpflanzen für zwei- bzw. einkeimblättrige Pflanzen besitzen. Ergebnisse dieser beiden Modellorganismen sollen später auf andere Nutzpflanzen übertragen werden. Heute umfasst die im Jahr 1998 ins Leben gerufene GABI-Initiative etwa 60 Einzelprojekte, wobei die Justus-Liebig-Universität mit mehreren Projekten vertreten ist.

Das Verbundprojekt GABI-Agrotec wurde im April 2002 am Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie (IPAZ, Prof. Karl-Heinz Kogel) der JLU Gießen in Kooperation mit dem Institut für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg (AMPIII, Prof. Wilhelm Schäfer) und dem Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung in Gatersleben (IPK, Prof. Uwe Sonnewald) gestartet. Innerhalb der Laufzeit von drei Jahren sollen in diesem Projekt agronomisch relevante Gene der Modellpflanze Gerste identifiziert werden, die zur Verbesserung der Resistenz von Getreide gegenüber Pilzen der Gattung *Fusarium* beitragen.

In einem ersten Schritt werden aus Ähren, Blättern und Wurzeln der Gerste die Gene isoliert, die

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Dr. Carin Jansen

Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie
IFZ für Umweltsicherung
Heinrich-Buff-Ring 26-32
35392 Gießen
Tel.: 0641/99-37496
Fax.: 0641/99-37499
E-Mail: Carin.Jansen@agrar.uni-giessen.de

nach einem Befall mit *Fusarium* eine höhere oder niedrigere Expression zeigen als in gesunden Geweben. Um möglichst viele Gene auf einmal testen zu können, kommen dabei so genannte cDNA-Chips (macroarrays) zum Einsatz. Das Equipment und das Know-how für diese Methode ist in Gießen bereits seit einigen Jahren vorhanden. So entstanden cDNA-Chips mit bis zu 8.000 Genen. In umfangreichen Versuchen werden aus diesen Genen diejenigen selektiert, deren Expression durch den Befall mit Fusariumpilzen in den verschiedenen Pflanzenorganen verändert wird. Diese so genannten „Kandidatengene“ werden anschließend daraufhin untersucht, ob sie bei verstärkter Expression die Widerstandsfähigkeit der Pflanze gegenüber *Fusarium* deutlich verbessern. Da solche Tests in monokotylen Pflanzen sehr kompliziert sind, wird hier auf die Modellpflanze *Arabidopsis* zurückgegriffen. Der große Vorteil von *Arabidopsis* liegt darin, dass sich diese Pflanze leicht und sehr schnell genetisch verändern lässt. Während die Herstellung transgener Arabidopsispflanzen einige Wochen dauert, benötigt man für die stabile genetische Transformation von Getreide noch weit über ein Jahr. So können auch die Gene der Gerste in *Arabidopsis* leicht übertragen und zur Expression gebracht werden.

In Vorversuchen ist es uns gelungen, *Arabidopsis* mit den Getreidepathogenen *F. graminearum* und *F. culmorum* zu infizieren, so dass für

unsere Versuche ein Arabidopsis-Fusarium Pathosystem zur Verfügung steht (Abbildung 5). Dieses soll genutzt werden, um zu überprüfen, ob Pflanzen, die eines der Kandidatengene aus Gerste tragen, weniger stark durch *Fusarium* befallen werden als Kontrollpflanzen. Dabei wird die Befallsstärke sowohl makroskopisch, d.h. mit bloßem Auge, als auch mikroskopisch ermittelt. Für die mikroskopischen Analysen stehen Fusariumstämme zur Verfügung, die in der Arbeitsgruppe von Prof. Schäfer am AMPI-II in Hamburg mit dem gfp-Gen (GFP: green fluorescent protein) transformiert wurden. Diese Pilze leuchten grün bei Bestrahlung mit UV-Licht und können so sehr viel leichter unter dem Mikroskop untersucht werden (Abbildungen 5 und 6).

Alle Gene, die die Abwehr von *Arabidopsis* gegenüber *Fusarium* verstärken, werden anschließend stabil in Gerste und Weizen transformiert. Im Rahmen der von der DFG geförderten Forschergruppe FOR 343 („Erhöhung des Resistenzpotentials der Gerste“, www.uni-giessen.de/ipaz) ist am IPAZ im Jahr 2002 eine Transformationsgruppe etabliert worden, in der stabil transformiertes Getreide hergestellt wird. Das transformierte Getreide wird dann in Infektionsversuchen auf Fusariumresistenz in Wurzeln, Blättern und Ähren untersucht. Bei positiver Evaluierung werden anschließend Freilandversuche in Kooperation mit nationalen Saatgutfirmen und internationa-

len Forschungsinstituten, wie dem Department of Crop and Soil Sciences (Pullman, USA) und dem Indian Agricultural Research Institute (IARI, New Delhi) erfolgen.

Es besteht die große Hoffnung, dass durch die Identifizierung und gezielte Nutzung Resistenz-vermittelnder Gene in Getreide ein wichtiger Beitrag zur Lösung der Fusariumproblematik und damit zur Sicherung der Nahrungsmittelqualität unter Berücksichtigung nachhaltiger und ressourcenschonender Produktionsweisen geleistet werden kann. •

LITERATUR:

- Buerstmayr, H.; Lemmens, M; Hartl, L; Doldi, L; Steiner, B; Stierschneider, M; Ruckebauer, P. (2002) Molecular mapping of QTLs for Fusarium head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (type II resistance). *Theor. Appl. Genet.* 104, 84 – 91.
- DFG (2004). Kontaminationen mit den Fusarium-Toxinen Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) in Futtermitteln und Lebensmitteln sind unterschiedlich zu bewerten. Gemeinsame Stellungnahme der Senatskommissionen SKLM und SKLW (DFG Bonn).
- Moss, M.O. (2002) Risk assessment for aflatoxins in foodstuff. *Int. Biodet. Biodeg.* 50, 137 – 142.
- Okubara, P.A.; Blechl, A.E.; McCormick, S.P.; Alexander, N.J.; Dill-Macky, R. and Hohn, T.M. (2002) Engineering deoxynivalenol metabolism in wheat through the expression of a fungal acetyltransferase gene. *Theor. Appl. Genet.* 106, 74 – 83.