Zur Bewertung von Futtermitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen

Gerhard Flachowsky, Karen Aulrich, Hartwig Böhme, Ingrid Halle (Braunschweig), Fredi Schwägele (Kulmbach) und Hermann Broll (Berlin)

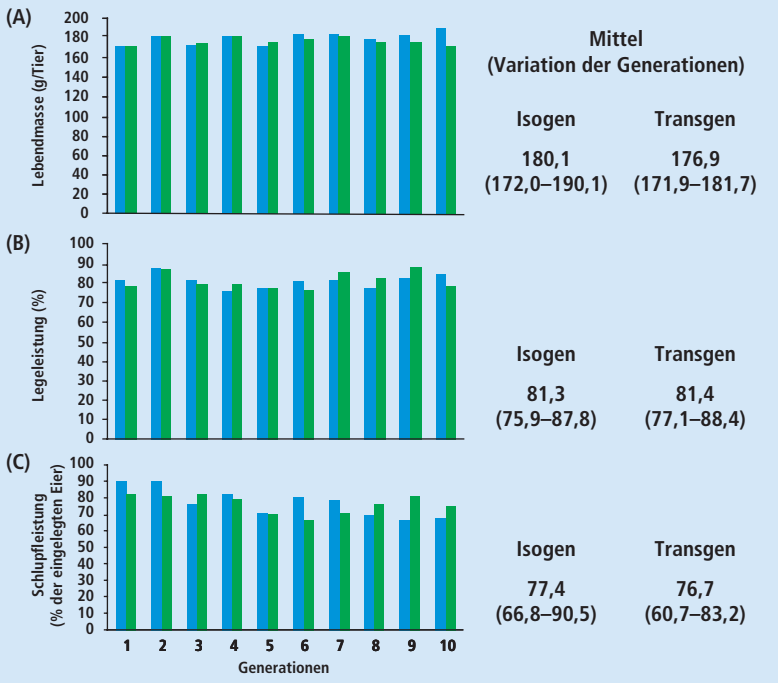
Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (GvP) ist in den zurückliegenden zehn Jahren weltweit von rund 1,7 Mio. ha (1996) auf über 90 Mio. ha (2005) angestiegen. Ein beträchtlicher Teil des Erntegutes dieser GvP wird als ganze Pflanzen, Pflanzenteile, Silagen oder Nebenprodukte als Futtermittel in der Tierernährung eingesetzt. Unterscheiden sich die transgenen Pflanzen in ihrer Futtermittelqualität von „herkömmlichen" Pflanzen? Werden Teile der transgenen DNA vom Organismus der Nutztiere aufgenommen? Die Ressortforschungseinrichtungen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz haben dazu umfangreiche Fütterungsstudien mit verschiedenen gentechnisch veränderten Pflanzen und Pflanzenteilen durchgeführt. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse dieser Studien vorgestellt und mit den Befunden aus der wissenschaftlichen Literatur zusammenfassend bewertet.

Bei den bislang im größeren Maße kommerziell angebauten GvP (Sojabohne, Mais, Baumwolle, Raps) handelt es sich überwiegend um Pflanzen mit veränderten agronomischen Eigenschaften. Sie besitzen eine Resistenz bzw. Toleranz gegenüber Insekten oder Pflanzenschutzmitteln, weisen aber keine oder nur minimale Änderungen im Gehalt an Inhaltsstoffen auf (so genannte GvP der 1. Generation).

Bei Pflanzen der 2. Generation werden durch gentechnische Maßnahmen substantielle Änderungen im Gehalt an erwünschten (z. B. Protein, Aminosäuren, Fett, Fettsäuren, Stärke, Zucker, Mineralstoffe, Vitamine oder Enzyme) und unerwünschten Inhaltsstoffen (z.B. Reduzierung des Gehaltes an Alkaloiden, Glucosinolaten, Lignin, verschiedenen Inhibitoren oder Mykotoxinen) angestrebt.

Ein Großteil der GvP der 1. Generation wird an Nutztiere verfüttert. In der Öffentlichkeit werden in diesem Zusammenhang vor allem Fragen zur Sicherheit bei Mensch, Tier und Umwelt gestellt. Fragen zur ernährungsphysiologischen Bewertung dieser Futtermittel sind seltener, wurden jedoch von verschiedenen Forschergruppen ebenfalls bearbeitet. Wissen-

Abb. 1: (A) Lebendmasse der weiblichen Wachteln nach 6 Wochen, (B) Legeleistung und (C) Schlupfleistung der Wachteln, die mit isogenem (blau) bzw. transgenem Mais (grün) über 10 Generationen gefüttert wurden



Tab. 1: Bisher publizierte Ergebnisse zum Einsatz von Futtermitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen der 1. Generation im Vergleich zu isogenen Ausgangslinien

Tiergruppe	Anzahl Versuche	Ernährungsphysiologische Bewertung
Wiederkäuer Milchkühe Mastrinder Sonstige	 23 14 10	Keine gerichteten (signifikanten) Unterschiede in den untersuchten Inhaltsstoffen Weniger Mykotoxine bei Bt-Pflanzen Keine signifikanten Unterschiede in der Verdaulichkeit, in der Tiergesundheit, der Leistung der Tiere sowie der Zusammensetzung der erzeugten Lebensmittel tierischer Herkunft
Schweine	21	
Geflügel Legehennen Masthühner	 3 28	
Sonstige (Fische, Kaninchen, u.a.)	5	

schaftlich interessant werden derartige Fragestellungen vor allem bei GvP der 2. Generation, weil dort unter anderem die Bioverfügbarkeit verschiedener Nährstoffe verändert oder der Gehalt an unerwünschten Stoffen verringert sein kann.

Fütterungsversuche

Weltweit wurden bisher die Ergebnisse von über 100 Fütterungsversuchen publiziert, in denen Futtermittel aus GvP der 1. Generation mit denen aus isogenen Pflanzen (Pflanzen der gleichen Sorte ohne gentechnische Veränderung) verglichen wurden. Am Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) erfolgte bisher in 17 Studien unter anderem der vergleichende Einsatz von Futtermitteln aus Körnermais, Maissilage, Sojabohnen, Zuckerrüben und Kartoffeln in der Ernährung von Wiederkäuern, Schweinen und Geflügel. Der Anteil der Futtermittel in den Mischungen bzw. Rationen schwankte zwischen 20 und 80 % der Futteraufnahme.

Abhängig von der Versuchsfrage erstreckten sich die Versuche über unterschiedliche Zeiträume: 15–20 Tage bei Bilanzversuchen bzw. ganze Mastperioden von 100 bis 250 Tagen bei Mastschweinen bzw. Mastrindern. Besonders erwähnenswert ist ein Versuch mit wachsenden und legenden Wachteln, in dem Bt-Mais (40 % bei wachsenden bzw. 50 % Mais bei legenden Wachteln) mit isogenem Mais über viele Generationen verglichen wurde. Die Zwischenauswertung nach der 10. Generation ergab im Mittel über alle Generationen keine signifikanten Unterschiede in der Lebendmasse der Jungtiere, der Legeleistung der Wachtelhennen (Abb. 1).

Die von uns bisher mit Futtermitteln aus GvP der 1. Generation durchgeführten und ausgewerteten Versuche zeigten keine wesentlichen (signifikanten) Abweichungen der Inhaltsstoffe sowie der Leistungen und der Produktqualität der mit diesen Futtermitteln ernährten Tiere im Vergleich zu isogenen Ausgangslinien. Demnach sind die aus diesen GvP hergestellten Futtermittel weitgehend substantiell äquivalent zu den Ausgangslinien. Diese Einschätzung wird auch durch die Ergebnisse der über 100 Versuche, die aus der weltweit publizierten Literatur entnommen werden können, bestätigt (Tab. 1).

Zu erwähnen ist, dass infolge des niedrigeren Maiszünsler-Befalls die Besiedlung des Bt-Maises durch verschiedene Pilze meist geringer ist und dadurch der Mais niedrigere Konzentrationen von Mykotoxinen (Pilzgiften) aufweist (Abb. 2).

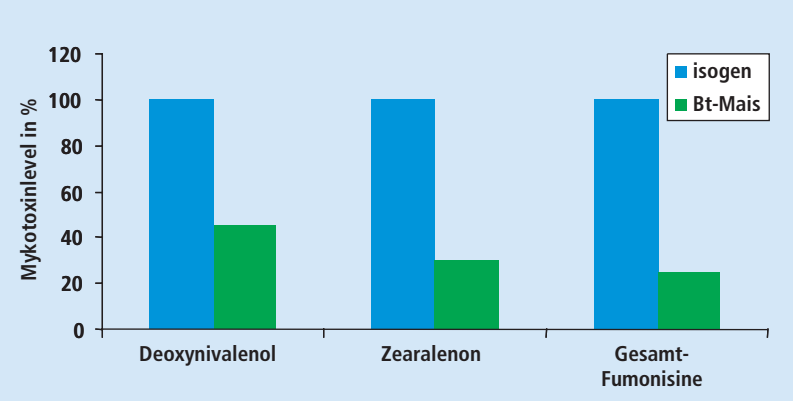
Abbau der DNA

Mensch und Tier kommen auf vielfältige Weise seit Jahrmillionen mit DNA aus fleischlicher und/oder pflanzlicher Nahrung (auch als „Fremd"-DNA bezeichnet) in Kontakt. Mit der Nahrung nimmt der Mensch täglich 0,1–1,0 g, das Schwein 0,5–4 g und die Milchkuh 40–60 g fremde DNA auf.

Bei transgenen Pflanzen wird nur ein sehr geringer Teil der Erbsubstanz verändert – mehr als 99,9 % der DNA in diesen Pflanzen stimmen mit der Erbsubstanz der Ausgangspflanzen überein. Selbst wenn der Anteil transgener Futtermittel in der Ernährung von Schwein bzw. Milchkuh 50 % betragen würde, wird dadurch die gesamte DNA-Aufnahme nur in völlig unbedeutendem Maße geändert.

Dennoch muss die Frage nach dem Verhalten der Erbsubstanz im Organismus beantwortet werden. Dazu wurden an mehreren Instituten Untersuchungen zum Abbau der DNA durchgeführt. Verschiedene Be-

Abb. 2: Ausgewählte Mykotoxine in Maiskörnern (nach verschiedenen Autoren). Das Mykotoxin-Level der isogenen Maislinie wurde auf 100 % festgesetzt.



handlungen, wie z. B. die Silierung bzw. niedrige pH-Werte (3,5–5,0) oder chemische bzw. physikalische Extraktion von Ölen, Zucker oder Stärke aus Pflanzen bzw. Pflanzenteilen, das Bierbrauen oder andere Aufbereitungen führen zu einem teilweisen oder vollständigen DNA-Abbau. „Einfache" Behandlungen wie Mahlen und Abpressen hatten dagegen keinen wesentlichen Einfluss auf den DNA-Abbau; in Verbindung mit Scherkräften und Erwärmung trat jedoch eine Zerstörung der DNA ein.

Im Verdauungstrakt von Mensch und Tier erfolgt durch Magensäure und mikrobielle Aktivität ein rascher Abbau der DNA. Dabei ist allerdings nicht auszuschließen, dass kleine DNA-Fragmente vom Organismus absorbiert werden. Dort werden sie dann aber von einem spezifischen „Entsorgungssystem" wieder eliminiert. Selbst wenn DNA-Fragmente von einer Zelle aufgenommen werden, führt dies nicht automatisch zur Ausprägung einer neuen, gar unerwünschten, Eigenschaft. Hierfür sind weitere, so genannte regulatorische DNA-Abschnitte notwendig, die als „Ein- und Ausschalter" (Promotoren und Terminatoren) dienen. Die pflanzeneigenen Promotoren sind im tierischen und menschlichen Organismus nicht aktiv. Die prinzipielle Fähigkeit von Zellen, DNA-Abschnitte aufzunehmen, reicht also nicht aus. Es gibt keine Hinweise in der Literatur, dass sich transgene DNA anders verhält als die native DNA der Pflanzen (s. Kasten 1).

Kasten 1: Verbleib der DNA

- DNA ist Bestandteil der täglichen Nahrung (Mensch: 0,1–1 g; Schwein: 0,5–4 g; Milchkuh: 40–60 g)
- Bei 50 % Anteil von GvP in der Nahrung sind etwa 0,005 % der aufgenommenen DNA transgene DNA
- DNA wird bei der Silierung, der industriellen Verarbeitung (Erhitzung, Extraktion) und im Verdauungstrakt (pH, Nukleasen) weitgehend abgebaut
- Es ist nicht auszuschließen, dass DNA-Bruchstücke in Organen und Geweben gefunden werden
- Spuren transgener DNA-Bruchstücke wurden bisher in einer Studie (von 25 publizierten Studien) in Organen und Geweben von Lebensmittel erzeugenden Tieren gefunden
- Es gibt keine Hinweise, dass sich transgene DNA bei der Futterbehandlung und im Tier anders verhält als native Pflanzen-DNA

Abbau der „Novel"-Proteine

Als „Novel"-Proteine werden Proteine bezeichnet, die als Ergebnis der gentechnischen Veränderungen in den Pflanzen gebildet werden. Proteine sind aufgrund ihrer Struktur sehr labil gegenüber physikalischen und chemischen Behandlungen. Beispielsweise reicht schon die Erhitzung bei 60 °C aus, um die meisten Proteine irreversibel zu zerstören. Futterproteine werden im Pansen der Wiederkäuer weitgehend mikrobiell abgebaut. Verbleibende Proteine werden wie bei Nichtwiederkäuern enzymatisch im Darm verdaut.

Die chemischen und biochemischen Eigenschaften der „Novel"-Proteine sind bekannt. Vor der Zulassung von GvP zum Anbau werden zahlreiche in-vitro- und in-vivo-Studien, unter anderem auch zum Abbau der „Novel"-Proteine, durchgeführt. In entsprechenden Fütterungsversuchen konnte sowohl bei Wiederkäuern als auch bei Nichtwiederkäuern demonstriert werden, dass die „Novel"-Proteine im Verdauungstrakt abgebaut werden.

Der verfügbaren Literatur sind keine Hinweise zu entnehmen, dass die neu ausgeprägten (transgenen) Proteine sich im Magen/Darm-Trakt anders verhalten als herkömmliche Proteine (s. Kasten 2).

Zusammenfassende Bewertung

Die in den zurückliegenden 10 Jahren publizierten Befunde zum Einsatz von Futtermitteln aus GvP in der Tierernährung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die bisher untersuchten Futtermittel aus GvP der 1. Generation wiesen – mit Ausnahme eines geringeren Mykotoxin-Gehaltes in Bt-Mais – keine wesentlichen Unterschiede in den Inhaltsstoffen im Vergleich zu den isogenen Ausgangslinien auf.
- In mehr als 100 Versuchen mit Tieren, die zur Lebensmittelerzeugung dienen, konnten keine unvorhersehbaren bzw. unerwarteten Abweichungen beim Einsatz von Futtermitteln aus GvP der 1. Generation beobachtet werden.
- Es gibt keine Hinweise, dass sich die im Futter enthaltene transgene DNA bei der Futtermittelbehandlung und im Verdauungstrakt anders verhält als pflanzliche DNA. Dies wurde auch in zahlreichen Versuchen demonstriert.
- Außerdem gibt es keine Hinweise, dass sich die Novel-Proteine transgener Pflanzen anders verhalten als native Futterproteine.
- Wissenschaftliche Gremien haben umfangreiche Richtlinien zur ernährungsphysiologischen und Sicherheitsbewertung von Lebens- und Futtermitteln aus GvP erarbeitet, die ständig weiter entwickelt werden. Das hat dazu geführt, dass Lebensmittel mit GvP-Anteil wesentlich intensiver untersucht sind als „herkömmliche" Produkte.

- Jede für die Futter- und Lebensmittelherstellung beantragte GvP wird einzeln bewertet. Die Zulassung erfolgt nur, wenn das Ergebnis der Sicherheitsbewertung keine gesundheitlichen Risiken für Mensch, Tier und Umwelt im Vergleich zu einem nicht-veränderten Organismus zeigt.

Ergebnisse finden Eingang in Sicherheitsbewertungen

In den Ressortforschungseinrichtungen des BMELV wurden umfangreiche Fütterungsstudien mit verschiedenen gentechnisch veränderten Pflanzen und Pflanzenteilen vorgenommen. Darüber hinaus wurde neben der Untersuchung der Inhaltsstoffe auch der Abbau der Erbsubstanz (DNA) bei der Futterbehandlung sowie im Tier verfolgt. Die erzielten Ergebnisse und die daraus vorgenommenen Ableitungen fanden unter anderem Berücksichtigung bei den von der EU bzw. der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) erarbeiteten Dokumenten zur Sicherheitsbewertung von Lebens- und Futtermitteln aus GvP.

Kasten 2: Abbau der „Novel"-Proteine (transgene Proteine)

- Futterproteine werden beim Nichtwiederkäuer mit körpereigenen Enzymen abgebaut und als Aminosäuren oder Peptide absorbiert
- Beim Wiederkäuer erfolgt ein mikrobieller Ab- und Umbau im Pansen; es schließt sich der Abbau mit körpereigenen Enzymen und die Nutzung wie beim Nichtwiederkäuer an
- Die chemischen und nichtchemischen Eigenschaften (einschl. des Abbauverhaltens) der „Novel"-Proteine werden vor der Zulassung von GvP zum Anbau in umfangreichen Versuchsserien studiert
- Intakte transgene Proteine wurden nicht außerhalb des Verdauungstraktes im Tierkörper nachgewiesen
- Es gibt in der Literatur keine Hinweise, dass sich „Novel"-Proteine anders verhalten als herkömmliche Futterproteine

Neben der sehr umfangreichen Sicherheitsbewertung existiert eine Kennzeichnungspflicht für Futtermittel aus gentechnisch veränderten Pflanzen (wie sie im Übrigen für Lebensmittel bereits seit 1997 besteht), die dem Landwirt die Information über die Verwendung von GvP im Futter gibt.

Für Lebens- und Futtermittel aus GvP der 2. Generation, die substantielle Änderungen im Gehalt an erwünschten bzw. unerwünschten Inhaltsstoffen aufweisen, sind weitere umfangreiche Untersuchungen zur ernährungsphysiologischen und Sicherheitsbewertung notwendig. Solche Produkte sind gegenwärtig jedoch noch nicht auf dem Markt.

Prof. Dr. Gerhard Flachowsky, Dr. Hartwig Böhme, PD Dr. Ingrid Halle, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Tierernährung, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.
E-Mail: gerhard.flachowsky@fal.de
Dr. Karen Aulrich, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ökologischen Landbau, 23847 Trenthorst.

Dr. Fredi Schwägele, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Institut für Chemie und Physik, E.-C.-Baumann-Str. 20, 95326 Kulmbach.
E-Mail: fredi.schwaegele@bfel.de

Hermann Broll, Bundesinstitut für Risikobewertung, Thielallee 88-92, 14195 Berlin.
E-Mail: h.broll@bfr.bund.de