

## Tierernährung und gentechnisch veränderte Organismen (GVO)

GERHARD FLACHOWSKY und KAREN AULRICH

Institut für Tierernährung

### Einleitung

Die EU-Kommission hat 1996 der Firma Monsanto auf der Basis der EU-Richtlinie 90/220/EWG die Genehmigung für die Einfuhr gentechnisch veränderter Sojabohnen (Glyphosat tolerante Sojabohnen, Gt-Sojabohnen) zum Zwecke der Nutzung als Futtermittel und Nahrungsmittel erteilt (EG, 1996). Am 23. 01. 1997 hat nach gleicher Richtlinie die EU-Kommission für das Inverkehrbringen von gentechnisch verändertem Mais mit der kombinierten Veränderung der Insektizidwirkung des Bt-Endotoxin-Gens und erhöhter Toleranz gegenüber dem Herbizid Glufosinat-ammonium entschieden (EG, 1997a).

Weltweit hat sich der Anbau transgener Pflanzen (vor allem Sojabohnen, Mais, aber auch Raps, Baumwolle, Kartoffeln) in den letzten Jahren vervielfacht. Wurden 1996 auf 1,7 Mio Hektar gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut, so waren es 1997 schon 11 Mio Hektar und 1998 27,8 Mio Hektar (ohne China, Anonym, 1998c). Bis Ende 1997 wurden weltweit 3818 Freisetzungen an mehr als 1000 Standorten vorgenommen, wobei die USA mit 1952 die Weltspitze darstellen (Jany und Greiner, 1998).

Diese und weitere Entwicklungen und Entscheidungen zeigen, daß der Einsatz von GVO in der Human- und Tierernährung kein Thema von morgen oder übermorgen ist, sondern daß wir uns bereits mitten in dieser Entwicklung befinden. Auf die Bedeutung der Gentechnik für die Land- und Ernährungswirtschaft wurde wiederholt in verschiedenen Übersichtsarbeiten eingegangen (z. B. Götz und Himmighoven, 1998; Jahreis, 1995; Schwarz und Meyer, 1996). Für die Lebensmittel wurden durch die "Novel-Food"-Verordnung bereits entsprechende Regelungen getroffen (EG, 1997b). Eine adäquate "Novel-Feed"-Verordnung steht noch aus. Gegenwärtig wird davon ausgegangen, daß für Futtermittel aus GVO, die kein vermehrungsfähiges Material mehr enthalten (z. B. Sojabohnenextraktionsschrot, Maissilage, Maisschrot, Maiskleber u. a.), allein futtermittelrechtliche Vorschriften für den Einsatz in der Tierernährung maßgebend sind (Siepen, 1997).

Dennoch oder gerade deshalb werden immer wieder Fragen, die teilweise auf Ängsten und Befürchtungen von Mitbürgern vor dem neuen Verfahren beruhen, zum Einsatz gentechnisch veränderter Produkte in der Tierernährung gestellt. Auch Petersen (1996) fordert für den Einsatz von Futtermitteln aus GVO in der Tierernährung futtermittelrechtliche Untersuchungen und Fütterungsversuche. Dabei ist das transgene Material mit isogenen Futtermitteln bezüglich Leistung und Gesundheit der Tiere, aber auch der

Qualität der Lebensmittel tierischer Herkunft zu vergleichen.

Im vorliegenden Beitrag soll weder auf Verfahren der gentechnischen Veränderungen als moderne Form der Pflanzenzüchtung (s. Anonym, 1993; Götz und Himmighoven, 1998) noch auf eine Risikobewertung der Veränderungen (s. BMFT, 1997) eingegangen werden, sondern es wird versucht, wissenschaftliche Fragestellungen, die sich aus der Sicht der Tierernährung beim Einsatz von GVO ergeben, herauszuarbeiten und erste Antworten zu geben.

Auf Produkte von GVO, wie z. B. Stärke, Öle oder Zucker, die aus gentechnisch verändertem Mais, Ölsaaten oder Zuckerrüben gewonnen wurden bzw. Vitamine, Aminosäuren und Enzyme, die von gentechnisch veränderten Mikroorganismen synthetisiert werden, wird in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen.

Zu den aus der Sicht der Tierernährung gegenwärtig und zukünftig bedeutsamen Fragestellungen zählen u. a.:

- Nachweis der substantiellen Äquivalenz bei gentechnischen Veränderungen, die keine ernährungspysiologisch bedeutsamen Inhaltsstoffe von Futtermitteln betreffen (Vergleich transgener mit isogenen Futtermitteln)
- Untersuchungen über den Verbleib von Desoxyribonukleinsäure(DNA)-Bruchstücken bei Einsatz von GVO in der Tierernährung
- Nachweis der ernährungsphysiologischen Wirksamkeit, wenn Inhaltsstoffe in den GVO verändert wurden (z. B. pflanzliche Phytase, Aminosäuren, Fettsäuren u. a.)
- Effekte von gentechnisch veränderten Mikroorganismen (Futterzusatzstoffe, Pansenmikroorganismen u. a.)
- Energie- und Nährstoffbedarf von biotechnologisch veränderten Nutztieren.

### Substantielle Äquivalenz

Unter substantieller Äquivalenz wird die Gleichwertigkeit isogener und transgener Stoffe verstanden. Nach OECD (1993) dürfen sich neuartige Produkte einschließlich neu eingeführter Komponenten von vergleichbaren konventionell hergestellten Erzeugnissen nicht wesentlich unterscheiden und müssen unbedenklich für den Verzehr sein.

Im Falle der Futtermittel bezieht sich diese Gleichwertigkeit sowohl auf die Inhaltsstoffe als auch auf ernährungsphysiologische Kriterien, wie Verdaulichkeit und Energiegehalt. Schauzu (1997) unterscheidet bei Untersuchungen zur Beurteilung der substantiellen Äquivalenz in drei Kategorien:

- Es liegt eine vollständige Äquivalenz hinsichtlich der Inhaltsstoffe vor.
- Der GVO ist nur teilweise äquivalent. Er enthält z. B. Proteine, die durch neu eingeführte Gene produziert werden und im isogenen Produkt nicht enthalten sind.
- Der GVO enthält andere Inhaltsstoffe, so daß keine substantielle Äquivalenz gegeben ist.

Das Ausmaß der erforderlichen ernährungsphysiologischen und toxikologischen Untersuchungen hängt vom jeweiligen Ausmaß der Äquivalenz ab. Eine weitgehende substantielle Äquivalenz transgener Pflanzen ist zu erwarten, wenn die gentechnischen Veränderungen keinen Einfluß auf ernährungsphysiologisch relevante Inhaltsstoffe haben.

Gegenwärtig wird durch gentechnische Maßnahmen meist eine Erhöhung der Toleranz der Nutzpflanzen gegen pflanzliche und tierische Schädlinge (z. B. Zünslerresistenz beim Mais) oder bestimmte Pflanzenschutzmittel (z. B. Glyphosat-Toleranz, Glufosinatummonium-Toleranz) angestrebt, so daß Veränderungen der substantiellen Äquivalenz kaum eintreten sollten. Als Sekundäreffekte sind u. a. auch verminderter Pilzbefall und eventuell geringere Mykotoxinbildung zu erwarten.

Zur Verunsicherung haben u. a. Ergebnisse von Hammond et al. (1996) beigetragen. In diesen Versuchen wurden zwei Glyphosat-tolerante Sojabohnenlinien mit denen einer Ausgangslinie bei Ratten, Broilern, Katzenwelsen und Milchkühen verglichen.

Die gentechnisch veränderten Sojabohnen unterschieden sich in den untersuchten Inhaltsstoffen (Rohnährstoffe, Aminosäuren, Fettsäuren u. a.) nicht signifikant von der Ausgangslinie (Padgett et al., 1996). Lediglich 0,03% der Sojabohne sind durch das Protein verändert, das für die Glyphosat-Toleranz verantwortlich ist.

Auch die mit Ratten, Broilern und Katzenwelsen durchgeführten Fütterungsversuche zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sojabohnenlinien. Eine tausendfache Überdosierung des durch die gentechnische Veränderung in den Sojabohnen gebildeten Proteins hatte keinen negativen Einfluß auf die Gesundheit und Entwicklung von Mäusen (Harrison et al., 1996). Dagegen wiesen die mit gentechnisch veränderten Sojabohnen gefütterten Kühe eine signifikant höhere FCM-Leistung auf (Tabelle 1). Dieser Befund war weder aus den Inhaltsstoffen der Sojabohne noch den ernährungsphysiologischen Daten (Kennzahlen der Pansenfermentation, Verdaulichkeit) zu erwarten, sondern ist ausschließlich auf versuchsmethodische Schwächen zurückzuführen. Zu den wesentlichsten Schwachstellen dieses für viel Turbulenzen sorgenden Versuches zählen u. a.:

- Lediglich vier Wochen Versuchsperiode (davon eine Woche Verdauungsversuch)
- keine Angaben über
  - Lebendmassen der Kühe zu Versuchsbeginn und am Versuchsende
  - Milchleistung zu Versuchsbeginn
  - Häufigkeit der Milchkontrolle
- keine Zusammenhänge zwischen Kennzahlen der Pansenfermentation (z. B. Essig- und Propionsäure-Konzentration) und Milchfett.

Diese und weitere Details wurden nicht unter Material und Methode bei der Versuchsbeschreibung mitgeteilt. Auf Nachfragen (Anonym, 1998a) konnte in Erfahrung gebracht werden, daß die Milchleistung der Tiere der drei Gruppen zu Versuchsbeginn 33,9 (Kontrolle), 36,5 und 36,4 kg/Tag betrug. Da auch im Milchfettgehalt vor Versuchsbeginn bereits Unterschiede zwischen den Gruppen bestanden, resultieren die signifikanten Differenzen der

täglichen FCM-Leistung (Tabelle 1) nicht aus dem Einsatz transgener Sojabohnen, sondern aus den Unterschieden zwischen den Gruppen vor Versuchsbeginn. Die höhere Energieaufnahme dieser Tiere trägt auch der unterschiedlichen Milchleistung vor Versuchsbeginn Rechnung (Tabelle 1).

Unter Ausschluß der beschriebenen Versuchsfehler kann sowohl aus den verdauungsphysiologischen Ergebnissen als auch den Leistungs-

**Tabelle 1:** Einfluß von gentechnisch veränderten Sojabohnen (2,4 kg je Kuh und Tag; Glyphosat Toleranz) auf ausgewählte Daten bei Milchkühen (Hammond et al., 1996)

Parameter	Kontrolle	GTS 61-67-1	GTS 40-3-2
Tierzahl	11	12	12
Futteraufnahme (kg T/Tag)	24,4	25,4	24,7
Energieaufnahme (MJ NEL/d)	167,8 ± 4,6	180,4 ± 4,2	179,6 ± 4,2
Milchleistung (kg/Tag)	34,9 ± 0,5	36,2 ± 0,5	36,2 ± 0,5
Milchinhaltsstoffe (%)			
Protein	3,28 ± 0,03	3,29 ± 0,03	3,23 ± 0,03
Fett	3,37 ± 0,09	3,62 ± 0,08	3,59 ± 0,09
Fett-korrigierte Milchmenge (FCM; 3,5% Fett, kg/Tag)	34,1a ± 0,8	36,6b ± 0,7	36,8b ± 0,7
Verdaulichkeit der			
Trockensubstanz der Ration (%)	69,0 ± 0,7	69,4 ± 0,6	68,6 ± 0,7
Absorbierter Stickstoff (g/Tag)	597 ± 22	641 ± 19	601 ± 20
Kennzahlen im Pansen			
Essigsäure (Mol/100 Mol)	70,8 ± 1,1	70,0 ± 1,0	70,9 ± 1,0
Propionsäure (Mol/100 Mol)	20,7 ± 1,0	21,7 ± 1,0	20,6 ± 1,0
Buttersäure (Mol/100 Mol)	7,9 ± 0,2	7,7 ± 0,2	7,6 ± 0,2

a<b; p< 0,05

daten für die verschiedenen Sojabohnenquellen eine substantielle Äquivalenz deklariert werden. Aus diesem Versuch bzw. seiner Beschreibung ist abzuleiten, daß bei der Versuchsplanung beginnend, alle Schritte bis zur Interpretation der Ergebnisse transparent nachvollziehbar dargestellt werden müssen, wie auch von Anonym (1998a) und Katzek und Gassen (1998) gefordert wird.

Diese Schlußfolgerung ist auch in Auswertung der Fehlinterpretation der Ergebnisse bei Verabreichung lectinhaltiger Kartoffeln an Ratten am ROWETT RESEARCH INSTITUTE in Aberdeen (Schottland; Anonym, 1998b) zulässig. Medienwirksam wurden Ergebnisse von kurzfristigen Tests (10 Tage) mit extrem hohen Lectindosierungen (5000faches der Normalmenge) unzulässig auf langfristige Versuche extrapoliert und ein Minderwachstum der Ratten abgeleitet, was nicht stattgefunden hat. Auch dieses Beispiel zeigt die Verantwortung des Wissenschaftlers beim Umgang mit Versuchsergebnissen, die er unter Einbeziehung neuer und in hohem Medieninteresse stehender Technologien zu tragen hat.

Aus den erwähnten Beispielen resultiert die Forderung nach weiteren tierexperimentellen Arbeiten zur Problematik der "substantiellen Äquivalenz" gentechnisch veränderter Futtermittel. Abgesehen von den Versuchen von Hammond et al. (1996) wurden bisher nur wenige Experimente zu dieser Thematik publiziert. Dabei sollte nicht verkannt werden, daß aus wissenschaftlicher Sicht derartige Untersuchungen wenig interessant sind, daß aber eine verunsicherte Öffentlichkeit Belege für die substantielle Äquivalenz erwartet.

Brake und Vlachos (1998) verabreichten an Mastkühen Mischungen, deren Maisanteil (> 60%) aus herkömmlichem Mais oder dem gentechnisch veränderten Bt-Hybriden stammte. Bei den Bt-Hybriden wurde vom Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) die Ausprägung des Bt-Proteins auf den Mais übertragen, das nach Verzehr des Mais bei den Larven des Maiszünslers zum Tode führt (Fearing et al., 1997). Außerdem wird vom verminderten Fusariumbefall und eventuell geringerer Mykotoxinkontamination des Bt-Maises berichtet (Munkvold et al., 1997). Zwischen den beiden Maishybriden bestanden sowohl in den Körnern als auch in den Futtermischungen keine signifikanten Unterschiede in den untersuchten Inhaltsstoffen, in der Lebendmassezunahme und in den Schlachtergebnissen, wie auszugsweise in **Tabelle 2** zusammengestellt ist. Die als signifikant ausgewiesene Senkung des Futteraufwandes nach Einsatz des Bt-Maises sollte nicht überbewertet werden, da sie im Bereich der biologischen Variabilität liegt.

In eigenen Untersuchungen (Aulrich et al., 1998; Halle et al., 1998) wurden die

Inhaltsstoffe von Bt-Mais mit denen der Ausgangshybride verglichen (**Tabelle 3**). Außerdem erfolgte die Bewertung der Verdaulichkeit bei Legehennen und Mastkühen. Die bisher vorliegenden Ergebnisse (**Tabelle 3**) zeigen keine signifikanten Differenzen zwischen isogener und transgener Maishybride.

Aus den wenigen bisher zur substantiellen Äquivalenz von herkömmlichen bzw. von Futtermitteln transgener Pflanzen vorliegenden Ergebnissen kann abgeleitet werden, daß Veränderungen, die die Toleranz der Pflanzen gegenüber Schädlingen oder Pflanzenschutzmaßnahmen erhöhen, keinen signifikanten Einfluß auf bedeutsame Inhaltsstoffe und die ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Futtermittel beim Einsatz in der Tierernährung haben (**Tabelle 4**). Um diese Aussage zu manifestieren, sind weitere Versuche unter Einbeziehung auch anderer Pflanzenarten (z. B. Raps, Rüben, Getreide, Leguminosen) und verschiedenen Tierarten, darunter auch Schweinen, erforderlich.

#### Verbleib der "Fremd"-DNA

Die alimentäre Aufnahme von DNA mit der normalen Kost beträgt beim Menschen etwa 1 g/Tag (Daniel, 1998) und umfaßt unterschiedlich stark degradierte Fragmente von verschiedenen Genen pflanzlicher und tierischer Herkunft sowie bakterieller DNA. Beim Mastschwein (80 kg LM, 2 kg T-Aufnahme/Tag) kann die DNA-Aufnahme täglich auf ~5 g, bei der Milchkuh (20 kg T-Aufnahme/Tag) auf annähernd 50 g geschätzt werden. Dazu kommen nahezu adäquate Mengen DNA, die aus der mikrobiellen Besiedlung des Verdauungstraktes resultieren. Mensch und Tier müssen sich demnach schon über Jahrmillionen mit "Fremd"-DNA auseinandersetzen. Die durch gezielten

**Tabelle 2:** Inhaltsstoffe (g/kg) von Kontrollmais (G 4665) und transgenem Bt-Mais (5506 BTX) sowie ausgewählte Ergebnisse eines Fütterungsversuches mit Mastkühen (640 Tiere je Behandlung, 38 Versuchstage, Brake und Vlachos, 1998)

Parameter	Kontrolle	Bt-Mais
Inhaltsstoffe		
Rohasche	9,3	10,2
Rohfett	30,0	31,9
Rohfaser	21,0	22,0
Rohprotein	88,7	84,3
Lysin	2,5	2,6
Methionin und Cystin	4,4	4,5
Maisanteil in Mischung (%)	61,5	64,4
Umsetzbare Energie (ME/kg)	13,1	13,1
Futteraufnahme (g/Tier)		
Endgewicht (g/Tier)	1802	1825
Futteraufwand (kg Futter/kg Zunahme)	1,75 <sup>a</sup>	1,72 <sup>b</sup>
Schlachtergebnisse (% der Lebendmasse)		
Schenkelfleisch	16,83	17,21
Brustmuskel	22,95	23,02
a<b; p< 0,05		

Gentransfer in ein Futter- oder Lebensmittel zusätzlich eingesetzten Gene verändern damit die Menge an zugeführter DNA nur in unbedeutendem Maße. Die DNA und die DNA-Bruchstücke werden nach dem Verzehr im Verdauungstrakt durch Magensäure und verschiedene Enzyme zügig weiter abgebaut. Dabei ist nicht auszuschließen, daß Genfragmente in die Darmepithelien und damit in den Wirtsorganismus absorbiert werden. In Modellversuchen, in denen Mäuse über unterschiedlich lange Zeiträume große Mengen von Phagen-DNA aufnahmen, konnten DNA-Fragmente von bis zu 976 Basenpaaren 2 bis 8 h nach Fütterung im Blut nachgewiesen werden (Schubbert et al., 1997). Die "Fremd"-DNA konnte anschließend vor allem in zum Immunsystem des Körpers gehörenden Zellen und Geweben nachgewiesen werden, in die sie ungerichtet integriert wurde. Nach einmaliger Gabe wurden bis 8 h in den Leukozyten und bis 24 h in Milz und Leber Bruchstücke gefunden. Vermutlich handelt es sich dabei um Entsorgungswege des Organismus. Die physiologische Bedeutung derartiger Befunde sollte nicht überbewertet werden (Schauzu, 1997). In einer neueren Studie haben Schubbert et al. (1998) über 1 - 2 Wochen täglich Marker-DNA an trächtige Mäuse gefüttert. Die DNA-Bruchstücke ließen sich in Zellen von einigen Föten ( $\approx 8\%$ ) und auch bei Neugeborenen ( $\approx 33\%$ ) nachweisen. Als Übertragungsweg werden mütterliche Leukozyten über die Placenta diskutiert. Über eine mögliche Aufnahme über die Muttermilch gibt es bisher keine Hinweise. In einer Studie an Milchkühen untersuchten Klotz und Einspanier (1998) Leukozyten, wenn Kraftfutter mit transgenem Sojaextraktionsschrot verfüttert wurde. In den Leukozyten ließen sich zwar Pflanzen-DNA-Bruchstücke nachweisen, jedoch

**Tabelle 3:** Ausgewählte Inhaltsstoffe (g/kg) von Maiskörnern der Sorten Cesar und Bt sowie Verdaulichkeit und Energiegehalt der Mischung mit 50 % Maisanteil bei Legehennen (n=6; Aulrich et al., 1998)

Parameter	Cesar-Mais	Bt-Mais
<b>Rohnährstoffe</b>		
Rohasche	14,6	15,9
Rohprotein	108,1	98,2
Rohfett	54,4	55,9
Rohfaser	22,7	25,4
N-freie Extraktstoffe	800,2	804,6
Stärke	709,9	707,8
ADF	33	31
<b>Mengenelemente</b>		
P	3,69	3,17
Mg	1,16	1,15
Ca	0,03	0,04
<b>Aminosäuren</b>		
Lys	2,9	3,0
Met	2,2	2,1
Cys	2,5	2,4
<b>Fettsäuren (Gew.%)</b>		
C 16:0	12,4	12,5
C 18:0	4,0	4,0
C 18:1	31,1	28,6
C 18:2	50,0	51,2
C 18:3	0,9	1,0
<b>Verdaulichkeit der Mischung (%)</b>		
Organische Substanz	76,9 $\pm$ 0,8	77,2 $\pm$ 2,9
Rohprotein	89,2 $\pm$ 1,1	90,0 $\pm$ 1,0
Umsetzbare Energie (MJ/kg)	11,07 $\pm$ 0,13	11,05 $\pm$ 0,11

**Tabelle 4:** Zusammenfassende Wertung von Untersuchungen zur Einschätzung der substantiellen Äquivalenz von transgenen Futtermitteln im Vergleich zu isogenen Ausgangslinien

Autoren	Transgene Futtermittel	Inhaltsstoffe <sup>1)</sup>	Einsatz bei Tierart	Ernährungshysiologische Wertung <sup>1)</sup>
Padgette et al. (1996)	GT-Sojabohne	$\approx$	-	-
Hammond et al. (1996)	GT-Sojabohne	$\approx$	Ratten Broiler Katzenwels Milchkühe	$\approx$ $\approx$ $\approx$ $\approx$ ( $\uparrow$ ) <sup>2)</sup>
Aulrich et al. (1998)	Bt-Mais	$\approx$	Legehennen	$\approx$
Brake und Vlachos (1998)	Bt-Mais	$\approx$	Broiler	$\approx$ ( $\downarrow$ ) <sup>3)</sup>
Halle et al. (1998)	Bt-Mais	$\approx$	Broiler	$\approx$
<sup>1)</sup> Wertung der Markierung: $\approx$ keine signifikante Veränderung ( $p > 0,05$ ) $\uparrow$ signifikante Erhöhung, Verbesserung ( $p < 0,05$ ) $\downarrow$ signifikante Senkung, Verringerung ( $p < 0,05$ ) <sup>2)</sup> Höhere FCM-Leistung infolge Fehler im Versuchsansatz <sup>3)</sup> Geringfügige Senkung des Futteraufwandes, die im physiologischem Normalbereich liegt				

nicht von dem Soja-Transgen. In der Kuhmilch konnten Klotz und Einspanier (1998) weder Pflanzen-DNA noch das Transgen nachweisen.

In laufenden und zukünftigen Untersuchungen zum Nachweis der substantiellen Äquivalenz transgener Futtermittel ist auch der Weg der "Fremd"-DNA im tierischen Organismus sowie im Lebensmittel tierischer Herkunft weiter zu verfolgen. In den früheren Arbeiten zur Erzeugung transgener Pflanzen wurden häufig Antibiotikaresistenzgene mit einbezogen. Voraussetzung dafür war, daß die entsprechenden Antibiotika nicht zu therapeutischen Zwecken in der Humanmedizin eingesetzt werden. Im Falle des Bt-Maises handelt es sich beispielsweise um das Ampicillin-Resistenzgen. Bei gegenwärtigen und zukünftigen Arbeiten zur Erzeugung transgener Pflanzen wird richtigerweise auf Antibiotikaresistenzgene als Carrier verzichtet. Zur Beurteilung des Risikos eines Gentransfers vom Futtermittel ins Tierprodukt und in den menschlichen Organismus ist in Übereinstimmung mit Daniel (1998) festzustellen, daß dieser Vorgang seit Jahrtausenden stattfand und daher kein spezifisches Risiko der Gentechnik darstellt.

### Veränderte Inhaltsstoffe

Im Ergebnis der kürzlich ausgewerteten DELPHI-Umfrage (Delphi, 1998) wird eingeschätzt, daß im Zeitraum zwischen 2005-2010 transgene Pflanzen mit verbessertem Spektrum der Inhaltsstoffe und ihres ernährungsphysiologischen Wertes bereits im breiten Umfang als Futtermittel eingesetzt werden. Aus der Sicht der Tierernährung sind dabei u. a. folgende Veränderungen von Interesse:

- Erhöhung des Gehaltes und der Verfügbarkeit (Verdaulichkeit und Absorbierbarkeit) wertbestimmender Pflanzeninhaltsstoffe, wie z. B.:
  - Stärke und andere hochverdauliche Kohlenhydrate
  - Protein bzw. ausgewählte Aminosäuren (z. B. Lysin, Methionin)
  - Fette bzw. ausgewählte Fettsäuren (z. B. bestimmte ungesättigte Fettsäuren)
  - Verminderung des Gehaltes an unerwünschten (antinutritiven) Inhaltsstoffen, wie Glukosinolate, Alkaloide, Tannine, Cyanogene, Glykoside, Saponine, Cumarine, Phytohormone, Nicht-Stärke-Polysaccharide für Nichtwiederkäuerfuttermittel u. a.
  - Geringe Lignifizierung der vegetativen Pflanzenbestandteile bei hoher Standfestigkeit der Pflanzen
- Resistenzerhöhung gegen Pilzbefall (Mykotoxine) und Schädlinge
- Züchtung von Pflanzen, die hohe Konzentrationen an speziellen Inhaltsstoffen in verschiedenen Pflanzenteilen aufweisen, so daß durch Einsatz kleiner Mengen eine Aufwertung der gesamten Ration bzw. Mischung erfolgt, wie z. B.
  - Bestimmte Enzyme (Phytase, NSP-spaltende Enzyme)
  - Mengen- und Spurenelemente
  - Vitamine

### • Diätetisch wirkende Substanzen

- Verbesserung der Lagerungs- und Konservierungseigenschaften
- Hohe mikrobielle Abbaubarkeit der potentiell nutzbaren Substanzen als Voraussetzung für eine hohe Grundfuturaufnahme der Wiederkäuer; eventuell endogene Ausschüttung zellwandspaltender Enzyme zur Unterstützung der mikrobiellen Aktivitäten.

Die aufgezählten "Wünsche" sind sehr allgemein formuliert. Für die verschiedenen Futterpflanzen sind sie zu spezifizieren, wobei u. a. Ertragshöhe und effektive Ressourcennutzung einschließlich Wasserkonsum weitere wichtige Ziele darstellen. Die Technologien für derartige Veränderungen sind vorhanden (Altenbach und Townsend, 1995; Halpin et al., 1995). In den nächsten Jahren ist mit der Entwicklung und Bereitstellung entsprechender Futterpflanzen zu rechnen. So sind derzeit z. B. Sojabohnen mit erhöhtem Anteil ungesättigter Fettsäuren, Weizen mit Resistenz gegen Trockenheit, oder Virusresistentes Getreide in der Erprobung (Jany und Greiner, 1998). Aus diesen möglichen Veränderungen resultieren umfangreiche Aufgaben für die Tierernährung, die u. a. den Nachweis bzw. die ernährungsphysiologische Bedeutung der veränderten Inhaltsstoffe zum Ziel haben.

### Gentechnisch veränderte Mikroorganismen

Gentechnisch veränderte Mikroorganismen werden bereits seit längerer Zeit beispielsweise zur Erzeugung von Aminosäuren, Vitaminen und Enzymen (z. B. Phytase, NSP-hydrolysierende Enzyme) eingesetzt (z. B. Olsen et al., 1991; Schwarz und Meyer; 1996; Wallace und Chesson, 1995). Durch ihre Nutzung wurde vor allem die Effizienz der mikrobiologischen Fermentation erhöht. Ziel der Arbeiten verschiedener Forschungsgruppen (z. B. Calza, 1991; Forsberg et al., 1986; Gilbert und Hazlewood, 1991; Hespell, 1989) ist es einerseits, durch gentechnische Veränderungen die Leistungsfähigkeit der bei der Silierung zugesetzten Mikroorganismen zu erhöhen und andererseits die Wirksamkeit der dem Futter als sogenannte Probiotika beigelegten Mikroorganismen zu steigern.

Dabei geht es unter anderem um:

- Erhöhung der Fähigkeit der Mikroben zur Spaltung von Zellulose und anderen Nicht-Stärke-Polysacchariden
- Abbau und energetische Nutzung von Lignin
- Senkung der Energieverluste bei Umsetzungen durch Mikroorganismen
- Adaptation der Mikroorganismen und Überleben im Vergleich zur Hauptflora im Pansen bzw. Darm
- Verdrängung "unerwünschter" Mikroorganismen aus dem Verdauungstrakt und Besiedlung durch erwünschte Keime.

## Gentechnisch veränderte Haustiere

Durch die Tierzüchter wurden in den zurückliegenden Jahrzehnten bei allen landwirtschaftlichen Nutztierarten leistungsfähige Rassen und Linien selektiert, die auch veränderte Ansprüche an das Futter hatten. Durch die Tierernährungsforschung wurde dem Bedarf dieser Tiere durch angepaßte Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung immer wieder entsprochen. Dieser Prozeß wird sich auch bei Anwendung gentechnischer Verfahren als Instrument der Tierzucht fortsetzen.

Nutztiere mit erhöhter Proteinsynthese oder erhöhtem Proteinansatz bzw. mit den Möglichkeiten der Erzeugung spezieller Stoffe, das sogenannte Gene-farming, (z. B. pharmazeutisch relevante Proteine, konjugierte Linolsäure, Enzyme) werden auch veränderte Ansprüche an die Energie- und Nährstoffversorgung haben, die entsprechend abzusichern sind. In der Ermittlung des Bedarfes derartiger Spezies und in der Umsetzung in entsprechende Versorgungsempfehlungen wird eine weitere zukünftige Aufgabe der Tierernährung gesehen.

Diese Feststellung trifft auch für veränderte Verfahren der Erzeugung von Nutztieren, wie z. B. der in vitro Produktion von Embryonen, zu (z. B. N i e m a n n , 1996).

## Zusammenfassung

Die Tierernährung wurde in den letzten Jahren und wird auch zukünftig noch verstärkt mit gentechnisch modifizierten Organismen (GVO) konfrontiert. Das trifft in erster Linie auf Futtermittel, aber auch auf Mikroorganismen und zukünftig vielleicht auch auf gentechnisch modifizierte Nutztiere zu. Aus dieser Situation resultieren u. a. folgende Fragestellungen:

- Nachweis der substantiellen Äquivalenz bei gentechnischen Veränderungen, die keine ernährungsphysiologisch bedeutsamen Inhaltsstoffe in den Futtermitteln betreffen,
- Untersuchungen zum Verbleib von "Fremd"- DNA-Buchstücken bei Einsatz von GVO in der Tierernährung,
- Nachweis der ernährungsphysiologischen Wirksamkeit, wenn Inhaltsstoffe in den GVO verändert wurden,
- Effekte von gentechnisch modifizierten Mikroorganismen,
- Energie- und Nährstoffbedarf von biotechnologisch veränderten Nutztieren.

Vor allem die ersten beiden Fragestellungen, die gegenwärtig einen Schwerpunkt der Arbeiten zu diesem Themenkreis darstellen, resultieren aus Verunsicherungen und Ängsten der Öffentlichkeit. Aus den vorliegenden Daten kann abgeleitet werden, daß bei gentechnischen Veränderungen, die nicht ernährungsphysiologisch bedeutsame Inhaltsstoffe betreffen, eine substantielle Äquivalenz des transgenen Organismus im Vergleich zum isogenen Futtermittel gegeben ist. Ziele und Forschungsaufgaben, die sich aus den weiteren, oben angeführten Fragestellungen für die Tierernährung ergeben, werden im Beitrag angesprochen.

## Animal nutrition and genetic modified organism (GMO)

During the last few years animal nutrition was confronted with genetic modified organism. The significance will be increased in future. Primarily it is true for feeds, but also for microorganisms and in the future probably for genetic modified animals.

Based on these the following questions could be of interest for animal nutrition:

- To demonstrate substantial equivalence of GMO, if no important ingredients were modified in feeds,
- To follow the ways of "foreign DNA" in animal body if GMO are fed,
- To demonstrate nutritional effects of changes of composition of GMO,
- To demonstrate effects of genetic modified micro-organism,
- To determine energy and nutrient requirements of transgenic animals.

Presently the first two questions are of interest for animal nutritionists because of anxieties and feeling of unease among the population. Available data show that substantial equivalence of GMO to isogenic control feeds is given if genetic modification does not significantly influence important ingredients of feeds.

Future aspects of research are discussed in the paper.

## Literatur

- Altenbach, G. B., Townsend, J.A. (1995): Transgenic plants with improved protein quality in Wallace, R. J., Chesson, A. (ed.): Biotechnology in animal feeds and animal feed. - VCH Verlagsges. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo, 71-92.
- Anonymous (1993): Gesetz zur Regelung der Gentechnik/Gentechnikgesetz (GenTG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 1993, BGBI. I, 2066.
- Anonymous (1998a): Notiz über ein Roundtable-Gespräch über Fütterungsversuche mit genmodifizierten Sojabohnen. - Gießen, 18.09. 1998.
- Anonymous (1998b): Report Rowett Res.Inst., Press Office, Aberdeen. - E-mail: H. Robertson@rri.sari.ac.uk.
- Anonymous (1998c): Pressemitteilung. - Monsanto GmbH, Düsseldorf, 16.12. 1998.
- Aulrich, K., Halle, I., Flachowsky, G. (1998): Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit von Maiskörnern der Sorte Cesar und der gentechnisch veränderten Bt-Hybride bei Legehennen. - VDLUFA Kongreßband 1998, 110. VDLUFA-Kongreß, 14.-18.09.1998, Giessen, 465-468.
- BMFT (1997): Der Rat für Forschung, Technologie und Innovation, Biotechnologie und wirtschaftliche Innovation - Chancen nutzen und verantwortlich handeln, Feststellungen und Empfehlungen.
- Brake, J., Vlachos, D. (1998): Evaluation of transgenic event "Bt" corn in broiler chickens. - Poultry Sci. 77, 648-653.



- Calza, R. E. (1991): Regulation of protein and cellulase secretion in the ruminal fungus *Neocallimastix frontalis* EB 188. - *Curr. Microbiol.* 21, 109-115.
- Daniel, H. (1998): Bewertung der Risiken eines Gentransfers in den menschlichen Organismus nach Verzehr gentechnisch modifizierter Lebensmittel. - 110. VDLUFA Kongreß, 14.-18.09.1998, Giessen, Kurzfassungen, 119.
- DELPHI (1998): Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik, Methoden und Datenbank. - Fraunhofer-Inst. Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, 228 S.
- EG (1996): Entscheidung der Kommission vom 3. April 1996 über das Inverkehrbringen genetisch veränderter Sojabohnen (*Glycin max.* L.) mit erhöhter Verträglichkeit des Herbizids Glyphosat nach der Richtlinie GO/220/ EWG des Rates (96/281/EG). - Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 107/10, 30.04. 1996.
- EG (1997a): Entscheidung der Kommission über das Inverkehrbringen von genetisch verändertem Mais (*Zea Mays* L.) mit der kombinierten Veränderung der Insektizidwirkung des BT-Endotoxin-Gens und erhöhter Toleranz gegenüber dem Herbizid Glufosinatammonium gemäß der Richtlinie 90/220/EWG des Rates (97/98/EG). - Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 31/69, 01.02. 1997.
- EG (1997b): Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlamentes und des Rates über neuartige Lebensmittelzutaten. - *Abl. Nr. L43/1* (14.02. 1997).
- Fearning, P. L., Brown, D., Vlachos, D., Meghji, M., Privalle, L. (1997): Quantitative analysis of CryIA (b) expression in Bt maize plants, tissues, and silage and stability of expression over successive generations. - *Molec. Breed* 3, 169-176.
- Forsberg, C. W., Crosby, B., Thomas, D. Y. (1986): Potential for manipulation of rumen fermentation through the use of recombinant DNA techniques. - *J. Anim. Sci.* 63, 310-320.
- Gilbert, H. J., Hazlewood, G. P. (1991): Genetic manipulation of fibre digestion. - *Proc. Nutr. Soc.* 50, 173-180.
- Götz, R., Himmighofen, W. (1998). Biotechnologie für den Agrar- und Ernährungsbereich - zukünftige Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung. - *Ber. Ldw.* 76, 210-222.
- Halle, I., Aulrich, K., Flachowsky, G. (1998): Einsatz von Maiskörnern der Sorte Cesar und des gentechnisch veränderten Bt-Hybriden in der Broilermast. - *Proc. 5. Tagung, Schweine- und Geflügelernährung*, 01.-03.12. 1998, Wittenberg, (im Druck).
- Halpin, C., Foxon, G. A., Fentem, P. A. (1995): Transgenic plants with improved energy characteristics. - In: Wallace, R. J., Chesson, A. (ed.): *Biotechnology in animal feeds and animal feed*. - VCH Verlagsges. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo, 279-294.
- Hammond, B. G., Vicini, J. L., Hartnell, G. F., Naylor, M. W., Knight, C. D., Robinson, E. H., Fuchs, R. L., Padgett, S. R. (1996): The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. - *J. Nutr.* 126, 717-727.
- Harrison, B. G., Bailey, M. R., Naylor, M. W., Ream, J. E., Hammond, B. G., Nida, D., Burnette, B. L., Nickson, T. E., Mitsky, T. A., Taylor, M. L., Fuchs, R. L., Padgett, S. R. (1996): The expressed protein in glyphosate-tolerant soybeans, 5-endopyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase from *Agrobacterium* sp. Strain CPA, is rapidly digested in vitro and is not toxic to acutely gavaged mice. - *J. Nutr.* 126, 728-740.
- Hespell, R. B. (1989): Problems in progress with the genetics of ruminal bacteria. - *Dev. Ind. Microbiol.* 30, 13-18.
- Jahreis, G. (1995). Gentechnik in Land- und Ernährungswirtschaft. - *Agribiol. Res.* 48, 219-240.
- Jany, K. D., Greiner, G. (1998): Gentechnik und Lebensmittel. - Bericht der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, BFE-R-98-1, Karlsruhe.
- Katzek, J., Gassen, H. G. (1998): Anforderungen an ein System zur Bewertung möglicher Langzeitschäden durch den Einsatz gentechnischer Methoden im Lebensmittelbereich. - *Ernährungs-Umschau* 45, 4-7.
- Klotz, A., Einspanier, R. (1998): Nachweis von "Novel-Feed" im Tier? - *Mais*, H. 3, 109-111.
- Munkvold, G. P., Hellmich, R. L., Showers, W. B. (1997): Reduced Fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. - *Phytopathology* 87, 1071-1077.
- Niemann, H. (1996): Recent advance in domestic animal biotechnology. - *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 164, 22-36.
- OECD (1993): Safety evaluation of foods derived by modern biotechnology. Concepts and principles. - Paris 1993.
- Olsen, O., Boriss, R., Simon, O., Thomsen, K. (1991): Hybrid bacillus- $\beta$ -glucanases: engineering thermostase enzymes by construction of hybrid genes. - *Mol. Gen. Genet.* 225, 177-185.
- Padgett, S. R., Taylor, N. B., Nida, D. L., Bailey, M. R., Mac Donald, J., Holden, L. R., Fuchs, R. L. (1996): The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. - *J. Nutr.* 126, 702-716.
- Petersen, U. (1996): Futtermittel von gentechnisch modifizierten Pflanzen aus futtermittelrechtlicher Sicht. - Vortrag, Euro-Tier, Hannover, 14.11.1996.
- Schauzu, M. (1997): Zur Bewertung der Sicherheit gentechnisch veränderter Lebensmittel. - *Ernährungs-Umschau* 44, 246-250.
- Schubbert, R., Renz, D., Schmitz, B., Doerfler, W. (1997): Foreign (M13) DNA injected by mice reaches peripheral leukocytes, spleen, and liver via the ingested intestinal wall mucosa and can be covalently linked to mouse DNA. - *Proc. Nat. Acad. Sci.* 94, 961-966.

Schubbert, R., Hohlweg, U., Renz, D., Doerfler, W. (1998): On the fate of orally ingested foreign DNA in mice: Chromosomal association and placental transmission to the fetus. - Mol. Gen., 259, 569-576.

Siepen, B. (1997): Sojaschrot aus gentechnisch veränderten Sojabohnen. - Veredlungsproduktion 1/1997, 14-16.

Schwarz, G., Meyer, J. (1996): Bio- und gentechnisch gewonnene Produkte in der Landwirtschaft. - Kraftfutter 5/96, 2-15.

Wallace, R. J., Chesson, A. (1995): Biotechnology in animal feeds and animal feeding. - VCH-Verlagsges. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo, 358 p.

Verfasser: Flachowsky, Gerhard, Professor Dr. agr. habil.; Aulrich, Karen, Dr. rer. nat., Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Leiter: Dir. und Prof. Professor Dr. agr. habil. Gerhard Flachowsky.