

**Aus dem Institut für Tierernährung**

**Gerhard Flachowsky  
Hartwig Böhme**

**Karen Aulrich  
Reinhard Daenicke**

**Transgene Kost fürs liebe Vieh? : Fütterungsversuche  
mit gentechnisch veränderten Futtermitteln**

Manuskript, zu finden in [www.fal.de](http://www.fal.de)

Published in: Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft,  
Forsten (2000)1, pp. 32-35

**Braunschweig  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)  
2000**

# Transgene Kost fürs liebe Vieh?

## Fütterungsversuche mit gentechnisch veränderten Futtermitteln

Gerhard Flachowsky, Karen Aulrich, Hartwig Böhme und Reinhard Daenicke (Braunschweig)

**G**entechnische Veränderungen an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen führen dazu, dass auch gentechnisch veränderte Futtermittel in den Futtertrog gelangen. Das trifft sowohl für Futterpflanzen (z. B. Silomais) als auch für Nebenprodukte der Lebensmittelerzeugung (z. B. Soja- oder Rapsextraktionsschrot, Maiskleber, Trockenschnitzel) zu. Für die Tierernährung ergeben sich daraus verschiedene Fragen. Wie sind zum Beispiel die veränderten Futtermittel bzw. Futterzusatzstoffe ernährungsphysiologisch zu bewerten? Haben sie einen Einfluss auf Tiergesundheit und Produktqualität? Zu klären ist auch der Verbleib der Erbsubstanz DNA. Das Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) beschäftigt sich seit 1997 intensiv mit dieser Thematik.

### Effektive Futtererzeugung

Als „Gäste“ auf der Erde sind wir verpflichtet, mit den begrenzt verfügbaren Ressourcen sparsam umzugehen und die Umwelt zu schonen. Bei der Erzeugung von Milch, Fleisch und Eiern für die weiter ansteigende Weltbevölkerung ist es von entscheidender Bedeutung, Tierfutter in ausreichendem Maße und hoher Qualität zur Verfügung zu haben. Die Pflanzenzüchtung kann in vielfältiger Weise dazu beitragen, eine ressourcenschonende Produktion von Futtermitteln zu gewährleisten. Aus der Sicht der Tierernährung bestehen in diesem Zusammenhang folgende Wünsche:

- Ressourcenschonende Futtererzeugung, wie zum Beispiel geringer Verbrauch an Wasser, Nährstoffen, Fläche; Resistenz gegen Schädlinge; Toleranz von Dürre, Salzböden, u. a.
- Verminderung des Gehaltes an unerwünschten (antinutritiven) Inhaltsstoffen in Futtermitteln, wie zum Beispiel bestimmten sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, Rückständen von umweltbedingten Kontaminanten (z. B. Mykotoxine) und Pflanzenschutzmitteln.

- Erhöhung des Gehaltes und der Verfügbarkeit wertbestimmender Inhaltsstoffe, wie zum Beispiel Aminosäuren, Fettsäuren, Vitamine, Enzyme; bessere Verdaulichkeit und dadurch höhere Energieausnutzung und geringere Umweltbelastung durch tierische Exkremente.

Viele dieser Wünsche können langfristig durch die „herkömmliche“ Pflanzenzüchtung erfüllt werden. Mit der Gentechnik steht jedoch ein Instrumentarium zur Verfügung, das Veränderungen im Erbgut der Pflanze kurzfristig und mit relativ großer Genauigkeit ermöglicht.

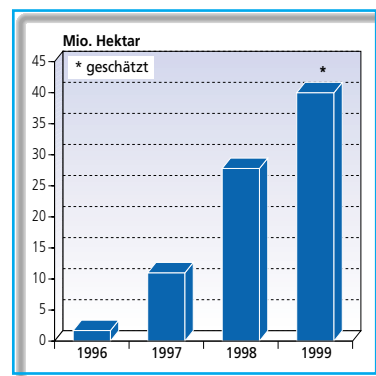


Abb. 1: Anbaufläche transgener Kulturpflanzen weltweit 1996–1999



### GVO für die Tierernährung

Die meisten gentechnischen Veränderungen in Kulturpflanzen zielen bisher darauf ab, Pflanzen unempfindlicher gegen ein bestimmtes Herbizid zu machen (Glyphosat-Toleranz bzw. Glufosinat-ammonium-Toleranz, u. a. bei Soja, Raps, Mais, Zuckerrüben) oder die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen zu erhöhen (z. B. Maiszünsler-resistenter Bt-Mais).

**Tabelle 1: Bisher am Institut für Tierernährung der FAL durchgeführte Untersuchungen mit gentechnisch veränderten Kulturpflanzen**

Untersuchungen	Bt--Mais		herbizidtol. Mais		herbizidtol. Zuckerrüben	
	Körner	Silage	Körner	Silage	Rübenkör.	Blattsilage
<b>Inhaltsstoffe</b>						
Rohnährstoffe	X	X	X	X	X	X
Aminosäuren	X	--	X	--	--	--
Fettsäuren	X	--	X	--	X	--
Mineralstoffe	X	--	X	--	X	--
<b>Geflügel</b>						
Broiler						
Bilanz	X	--	--	--	--	--
Wachstum	X	--	--	--	--	--
Legehennen						
Bilanz	X	--	X	--	--	--
Legeleistung	X	--	X	--	--	--
<b>Schwein</b>						
Bilanz	X	--	X	--	X	--
Wachstum	X	--	X	--	X	--
<b>Wiederkäuer</b>						
Schafe						
Bilanz	--	X	--	X	--	X
Mastrinder						
Wachstum	--	X	--	--	--	--
Milchkühe						
Bilanz	--	X	--	--	--	--

X Messungen durchgeführt; -- keine Untersuchungen



Hektar im Jahr 1996 auf rund 40 Millionen Hektar 1999 (Abb. 1). Dabei handelt es sich vor allem um Sojabohnen (54 % der Gesamtfläche 1999), Mais (28 %), Baumwolle und Raps (je 9 %). Für die Human- bzw. Tierernährung stehen demnach bereits jetzt – und zukünftig verstärkt – sowohl gentechnisch veränderte Organismen (GVO) als auch Produkte von gentechnisch veränderten Organismen zur Verfügung.

Am Institut für Tierernährung der FAL wurden bisher Bilanz- und Fütterungsversuche mit Bt-Mais (Körner, Silage), herbizidtolerantem Mais (Körner, Silage) und herbizidtoleranten Zuckerrüben (Rübenkörper, Blattsilage) an Broilern, Legehennen, wachsenden Schweinen, Schafen, Mastrindern und Milchkühen durchgeführt (Tab. 1). Daneben wurden auch die Inhaltsstoffe der gentechnisch veränderten Futterpflanzen bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen liefern wichtige Grundlagen für die von der Europäischen Union geplante Novel-Feed-Verordnung, die den Einsatz von Futtermitteln mit transgenen Komponenten EU-einheitlich regeln soll.

Die EU-Kommission hat bereits 1996 der Firma Monsanto die Genehmigung für die Einfuhr gentechnisch veränderter Sojabohnen (Toleranz gegenüber dem Herbizid Glyphosat) als Futtermittel und Nahrungsmittel erteilt. Seit Anfang 1997 darf in der EU auch eine transgene Maislinie (Maisszünsler-resistenter Bt-Mais mit kombinierter Herbizidtoleranz) in Verkehr gebracht werden.

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen stieg weltweit von 1,7 Millionen

## Ernährungsphysiologische Bewertung

Bei den herbizidtoleranten Kulturpflanzen und dem Bt-Mais bewirken die gentechnischen Eingriffe keine wesentlichen Veränderungen von Inhaltsstoffen, so dass die gentechnisch modifizierte (transgene) Pflanze in der ernährungsphysiologischen Bewertung nicht von der Ausgangslinie (isogene Pflanze) abweichen dürfte. Obwohl daher ein Vergleich von solchen transgenen und isogenen Futtermitteln aus wissenschaftlicher Sicht nicht besonders „spannend“ erscheint, sind derartige Versuche aus Sicht eines vorbeugenden Verbraucherschutzes unbedingt erforderlich.

In Untersuchungen mit Legehennen und Broilern wurden Maiskörner von Bt-Mais im Vergleich zur herkömmlichen Sorte 'Cesar' verfüttert. Der Maisanteil in der Futtermischung betrug 50 %. Die Körner wurden vom Silomais unmittelbar vor der Ernte gewonnen und schonend (40 °C) getrocknet. Zwischen beiden Maissorten bestanden gewisse Unterschiede bei einzelnen Inhaltsstoffen (z. B. Rohprotein, Phosphor, Ölsäure), die nicht signifikant waren ( $p > 0,05$ ) und im Normalbereich der Schwankungen von Körnermais liegen. In der Verdaulichkeit und im Energiegehalt bestanden für Legehennen zwischen beiden Maissorten keine Unterschiede.

In weiteren Versuchen wurde der Bt-Mais und Mais der Sorte 'Cesar' jeweils mit einem Trockensubstanzgehalt von rund 33 % siliert und in Verdauungsversuchen mit Hammeln und in einem langfristigen Fütterungsversuch mit Mastbulen eingesetzt. Weder in den Inhaltsstoffen noch in der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe oder der Energiekonzentration bestanden zwischen beiden Silagen signifikante Unterschiede (Tab. 2).

Die Mastbulen verzehrten im 243-tägigen Untersuchungsabschnitt von beiden Silagen 18,8 bzw. 18,7 kg Frischmasse. Die Tageszunahmen der Tiere betrugen 1487 bzw. 1482 g und können für Schwarzbunte Rinder als sehr hoch bezeichnet werden. Bei keinen der untersuchten Kriterien traten signifikanten Unterschiede zwischen den Bullen beider

**Tabelle 2: Ausgewählte Inhaltsstoffe (g/kg T) von Silagen aus isogenem (Cesar) und transgenem (Bt)-Mais sowie Verdaulichkeit und Energiegehalt der Maissilagen bei Hammeln (n = 4)**

Parameter	Cesar-Mais	Bt-Mais
Trockensubstanz (g/kg Frischmasse)	337	321
Rohnährstoffe (g/kg T)		
Rohasche	45	42
Rohprotein	84	87
Rohfett	29	28
Rohfaser	186	191
N-freie Extraktstoffe	656	652
Verdaulichkeit (%)		
Organische Substanz	75,0 ± 2,5	74,5 ± 2,0
Rohfett	76,3 ± 3,2	79,8 ± 5,1
Rohfaser	66,7 ± 4,4	68,1 ± 3,6
N-freie Extraktstoffe	81,2 ± 2,3	80,8 ± 1,3
Umsetzbare Energie (MJ/kg T)	10,95 ± 0,03	10,91 ± 0,04



Gruppen auf (Tab. 3). Diese Feststellung trifft auch auf die Gesundheit der Tiere und die Qualität von Rindfleisch und Fett zu.

Ernährungsphysiologische Gleichwertigkeit konnte auch bei Versuchen ermittelt werden, bei denen transgene herbizidtolerante Zuckerrüben beziehungsweise die Körner von herbizidtolerantem Mais mit ihren isogenen Ausgangslinien verglichen wurden (Tab. 4 und 5). Im Rahmen agrarökologischer Begleitforschungen (u. a. unterschiedliche Pflanzenschutzmaßnahmen) wurden aus verschiedenen Anbauvarianten isogene und transgene Produkte gewonnen. Beim Körnermais erfolgte eine schonende Trocknung bei 40 °C; die Zuckerrüben wurden geschnitzelt und frisch an wachsende Schweine (40-60 kg Lebendmasse)

gefüttert. Da der Rübenschnitzelanteil aus Gründen der Futteraufnahme auf 30 % der Trockensubstanz der gesamten Ration begrenzt werden musste, in beiden Versuchsserien aber gleiche Grundrationen eingesetzt werden sollten, wurde der Maisanteil auch auf 30 % beschränkt. Die vor allem bei den Zuckerrüben auftretenden Schwankungen (Gehalt an Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfaser u. a.; Tab. 4) liegen im Normalbereich derartiger Untersuchungen.

Die Ergebnisse der bisher durchgeführten Versuche zur ernährungsphysiologischen Bewertung zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen isogenen und transgenen Futterpflanzen.

Sollten in Zukunft durch gentechnische Maßnahmen auch wichtige Inhaltsstoffe (z. B. Aminosäuren, Fettsäuren, En-

zyme, Zellwandbestandteile) in den Pflanzen verändert werden, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

## Verbleib der Fremd-DNA

Mensch und Tier kommen auf vielfältige Weise seit Jahrmillionen mit „Fremd-DNA“ in Berührung. Die Aufnahme von DNA mit der Nahrung schwankt beim Menschen zwischen 0,1 und 1 Gramm pro Tag und umfasst unterschiedlich stark degradierte Fragmente von verschiedenen Genen pflanzlicher und tierischer Herkunft sowie bakterieller DNA. Beim Mastschwein (80 kg LM, 2 kg T Trockensubstanzaufnahme/Tag) kann die DNA-Aufnahme täglich auf rund 5 Gramm, bei der Milchkuh (20 kg Trockensubstanzaufnahme/Tag) auf annähernd 50 Gramm geschätzt werden. Dazu kommen nahezu gleiche Mengen DNA, die aus der mikrobiellen Besiedlung des Verdauungstraktes resultieren.

Die aufgenommene 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 gelangen und in den Wirtsorganismus absorbiert werden. In Modellversuchen einer Arbeitsgruppe um Walter Doerfler von der Universität Köln, bei denen Mäuse über unterschiedlich lange Zeiträume große Mengen von Phagen-

**Tabelle 4: Inhaltsstoffe (g/kg T) und scheinbare Verdaulichkeit von isogenen und herbizidtoleranten (HT) Zuckerrüben beim Schwein (n = 5, Lebendmasse: 45 kg/Tier)**

Parameter	Isogene ZR konventionelle Herbizide	HT-Zuckerrüben	
		konventionelle Herbizide	Basta-Behandlung
Trockensubstanz (g/kg Frischmasse)	233	255	249
Rohnährstoffe (g/kg T)			
Rohasche	30	30	26
Rohprotein	72	60	63
Rohfett	3	4	4
Rohfaser	56	46	47
N-freie Extraktstoffe	839	867	860
Verdaulichkeit (%)			
Organische Substanz	88,4 ± 1,1	93,8 ± 2,2	92,5 ± 2,6
N-freie Extraktstoffe	95,7 ± 1,6	96,8 ± 1,1	96,4 ± 0,9
Umsetzbare Energie (MJ/kg T)	13,7	14,2	14,0



DNA aufnahmen, konnten DNA-Fragmente 2 bis 8 Stunden nach der Fütterung im Blut nachgewiesen werden. Die Bruchstücke der Phagen-DNA wurden anschließend vor allem in zum Immunsystem des Körpers gehörenden Zellen und Geweben gefunden, in die sie ungerichtet

zugeführter DNA praktisch nicht. Für eine qualitative Bewertung ist zu berücksichtigen, dass diese Erbsubstanzen vom Menschen nicht „neu erfunden“ werden, sondern aus anderen Lebewesen stammen und damit natürlichen Ursprungs sind. Dennoch sollte genau darauf geachtet

werden, welche Gene konkret zum Einsatz kommen. Die Antibiotika-Resistenzgene, die in heutigen transgenen Pflanzen häufig als Markergene mit eingefügt sind, stammen zum Beispiel aus Mikroorganismen, mit denen der Mensch auch natürlicherweise in Kontakt kommen kann. Obwohl die Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Gentransfer von der transgenen Pflanze auf (z. B. humanpathogene) Bakterien als extrem gering beurteilt wird, sollte künftig auf die Verwendung von Antibiotika-Resistenzgenen aus Gründen des Vorsorgeprinzips verzichtet werden.

## Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen können zusammenfassend folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Die bisher untersuchten transgenen Futterpflanzen weichen in ihrer ernährungsphysiologischen Bewertung nicht signifikant von den isogenen Ausgangslinien ab.
  - Es ist davon auszugehen, dass der Übergang von DNA-Bruchstücken in den Organismus ein ständig stattfindender Prozess und somit kein spezielles Problem der Gentechnik ist. Dennoch ist die Thematik weiter zu verfolgen.
- Aus der Sicht der Tierernährung sind weitere Untersuchungen, unter anderem zu folgenden Themen erforderlich:
- Ernährungsphysiologische Bewertung gentechnischer Veränderungen von Pflanzeninhaltsstoffen,
  - Einfluss der GVO auf Tiergesundheit und Produktqualität,
  - Effekte von gentechnisch veränderten Mikroorganismen,
  - Energie- und Nährstoffbedarf von biotechnologisch veränderten Nutztieren.

*Prof. Dr. Gerhard Flachowsky, Dr. Karen Aulrich, Dr. Hartwig Böhme und Dr. Reinhard Daenicke, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Tierernährung, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig*

**Tabelle 3: Mast- und Schlachtleistung von Schwarzbunten Jungmastbullen beim Einsatz von Maissilage aus konventionellem (Sorte 'Cesar') und transgenem (Bt) Mais (n = 20; Mastabschnitt: 188-553 kg LM)**

Gruppe		Cesar	Bt-Mais
Aufnahme			
- Kraftfutter	(kg/Tag)	1,78 ± 0,05	1,80 ± 0,03
- Maissilage	(kg/Tag)	18,8 ± 1,05	18,7 ± 0,9
- Rohprotein	(g/Tag)	1102 ± 35	1110 ± 29
- Umsetzbare Energie (MJ ME/Tag)		91,2 ± 4,2	88,6 ± 3,2
Zunahme	(g/Tag)	1487 ± 97	1482 ± 121
ME/Zunahme	(MJ/kg)	61,5 ± 3,3	60,1 ± 4,6
Schlachtausbeute	(%)	52,4 ± 1,5	52,8 ± 1,1
Bauchhöhlenfett <sup>1)</sup>	(kg)	49,6 ± 5,5	48,7 ± 8,1

<sup>1)</sup> Summe aus Magen-, Darm-, Beckenhöhlen- und Nierenfett

eingelagert wurden. Nach einmaliger Gabe wurden Fragmente der aufgenommenen DNA in einem Zeitraum bis zu 8 Stunden in den Leukozyten (weißen Blutkörperchen) und bis zu 24 Stunden in Milz und Leber gefunden. Danach waren sie dort nicht mehr vorhanden. Vermutlich handelt es sich hierbei um normale Entsorgungswege des Organismus.

Bei Verfütterung von Bt-Mais und herbizidtoleranten Sojabohnen an Geflügel und Milchkühe konnten wir in Zusammenarbeit mit anderen Instituten (Ralf Einspanier, TU München) Bruchstücke von Pflanzen-DNA in den Leukozyten nachweisen, die übertragenen Gene („Fremd“-DNA) wurden jedoch nicht gefunden. Kuhmilch war völlig frei von Pflanzen-DNA.

Die durch Genübertragung in ein Futter- oder Lebensmittel zusätzlich „eingesetzten“ Gene verändern die Menge an

**Tabelle 5: Inhaltsstoffe (g/kg T) und scheinbare Verdaulichkeit von isogenem und herbizidtolerantem (HT) Körnermais beim Schwein (n = 5, Lebendmasse: 45 kg/Tier)**

Parameter	Isogener Mais konventionelle Herbizide	HT-Mais	
		konventionelle Herbizide	Basta-Behandlung
Trockensubstanz (g/kg Frischmasse)	890	902	902
Rohnährstoffe (g/kg T)			
Rohasche	19	18	18
Rohprotein	120	119	117
Rohfett	31	35	33
Rohfaser	34	30	33
N-freie Extraktstoffe	796	798	799
Verdaulichkeit (%)			
Organische Substanz	89,6 ± 4,1	90,0 ± 2,1	89,3 ± 1,8
Rohprotein	81,1 ± 12,0	80,3 ± 9,9	79,6 ± 6,0
N-freie Extraktstoffe	93,1 ± 2,6	94,7 ± 1,4	95,3 ± 1,7
Umsetzbare Energie (MJ/kg T)	15,8	16,0	16,1