

# Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Energieerzeugung

Potenzial und Risiken





# GENTECHNISCH VERÄNDERTE PFLANZEN FÜR DIE ENERGIEERZEUGUNG

Potenzial und Risiken

Michael Eckerstorfer  
Katrín Sedy  
Frank Narendja  
Andreas Heissenberger  
Helmut Gaugitsch



### **Projektleitung**

Michael Eckerstorfer

### **AutorInnen**

Michael Eckerstorfer

Katrin Sedy

Frank Narendja

Andreas Heissenberger

Helmut Gaugitsch

### **Korrektorat**

Maria Deweis

### **Satz/Layout**

Ute Kutschera

### **Umschlagbild**

© Bernhard Gröger/Umweltbundesamt

Diese Publikation wurde im Auftrag von und mit freundlicher Unterstützung durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung V/2 erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

### **Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

*Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <http://www.umweltbundesamt.at/>.*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2010

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-065-2

# INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	7
<b>SUMMARY</b> .....	9
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	11
<b>1.1 Verwendete Definitionen</b> .....	11
<b>1.2 Verwendung von Biomasse zur Energieerzeugung</b> .....	12
<b>2 BIOMASSEPRODUKTION FÜR DIE ENERGIEERZEUGUNG IN ÖSTERREICH</b> .....	15
<b>2.1 Prognose für den Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung</b> ..	15
<b>2.2 Situation in der österreichischen Landwirtschaft</b> .....	17
<b>2.3 Mögliche Ausweitung der Anbauflächen</b> .....	20
<b>3 KONVENTIONELLE ZÜCHTUNG FÜR DIE BIOMASSE- UND ENERGIEPRODUKTION</b> .....	21
<b>3.1 Züchtungsziele für die Biodiesel-Erzeugung</b> .....	21
<b>3.2 Züchtungsziele für die Ethanol-Erzeugung</b> .....	22
<b>3.3 Züchtungsziele für die energetische Biomassenutzung der 2. Generation</b> .....	23
<b>3.4 Züchtungsziele für schnell wachsende Baumarten</b> .....	24
<b>4 GENTECHNISCH VERÄNDERTE PFLANZEN FÜR DIE BIOMASSE- UND ENERGIEERZEUGUNG</b> .....	26
<b>4.1 Globaler Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung</b> .....	26
4.1.1 Weltweite Verwendung von GV-Pflanzen .....	26
4.1.2 Ethanolproduktion aus GV-Pflanzen .....	27
4.1.3 Biodiesel aus GV-Pflanzen .....	28
4.1.4 Ausblick auf die weitere globale Entwicklung .....	28
4.1.5 GV-Pflanzen in den USA im Hinblick auf die Biomasse- und Energieerzeugung.....	29
<b>4.2 Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung mit Relevanz für Österreich</b> .....	31
4.2.1 Züchtungsvorhaben für GV-Pflanzen zur Energieerzeugung in Deutschland .....	31
4.2.2 Zugelassene und für die Verwendung beantragte GV-Pflanzen in der Europäischen Union.....	33
4.2.3 Zugelassene GV-Pflanzen in Österreich.....	38
<b>4.3 Schlussfolgerungen in Bezug auf die aktuelle Entwicklung</b> .....	39
<b>4.4 Überblick über mögliche weitere Entwicklungen in Bezug auf die Biomasse- und Bioenergieproduktion</b> .....	41
4.4.1 Entwicklung von GV-Pflanzen mit verbessertem Ertrag .....	42
4.4.2 Entwicklung von GV-Pflanzen mit verbesserter Stresstoleranz.....	44
4.4.3 Erhöhung der Stickstoffverwertungseffizienz.....	45

<b>4.5</b>	<b>Mögliche Entwicklung in Bezug auf die Ganzpflanzennutzung für die Biokraftstoff- bzw. Bioenergieproduktion .....</b>	<b>46</b>
4.5.1	Ganzpflanzennutzung bei Biogas .....	46
4.5.2	Ganzpflanzennutzung bei Biokraftstoffen der 2. Generation .....	47
4.5.3	Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen .....	47
4.5.4	Züchtungsziele bei Energiepflanzen für Ganzpflanzennutzung.....	48
4.5.5	Potenzial von GV-Pflanzen für die Ganzpflanzennutzung .....	48
<b>5</b>	<b>RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR GV-PFLANZEN ZUR BIOMASSE- UND ENERGIEPRODUKTION .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Ökologische Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion von Energiepflanzen und Auswirkungen auf landwirtschaftliche Anbausysteme .....</b>	<b>53</b>
5.1.1	Ökologische Auswirkungen der Kultivierung auf die unbelebte Umwelt .....	54
5.1.2	Auskreuzung und Verbreitung.....	55
5.1.3	Auswirkungen auf die belebte Umwelt und die Biodiversität .....	56
5.1.4	Vermehrtes Auftreten von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten .....	57
5.1.5	Effizienz des Anbaus hinsichtlich der Treibhausgasbilanz .....	57
5.1.6	Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme .....	58
<b>5.2</b>	<b>Grundlagen für die Risikoabschätzung für GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion .....</b>	<b>59</b>
5.2.1	Spezifische Grundlagen zur Risikoabschätzung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion .....	59
5.2.2	Derzeit geltende Anforderungen an die Risikoabschätzung für GV-Pflanzen .....	61
<b>6</b>	<b>FALLBEISPIELE – RISIKOABSCHÄTZUNG .....</b>	<b>63</b>
<b>6.1</b>	<b>Fallbeispiel GV-Mais (GV-Mais 3272, herbizidtolerante und/oder insektenresistente GV-Maislinien).....</b>	<b>64</b>
6.1.1	Informationen zu GV-Mais 3272 .....	64
6.1.2	Informationen zu herbizidtoleranten und/oder insektenresistenten GV-Maislinien .....	64
6.1.3	Potenzielle ökologische Auswirkungen von GV-Mais für die Biomasse- und Energieproduktion .....	65
6.1.4	Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Mais in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion.....	66
6.1.5	Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoaabschätzung von GV-Mais für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion.....	68
<b>6.2</b>	<b>Fallbeispiel GV-Raps (GT73, Ms8xRf3) .....</b>	<b>68</b>
6.2.1	Informationen zu GV-Raps (GT73, Ms8xRf3).....	68
6.2.2	Potenzielle ökologische Auswirkungen von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion .....	69
6.2.3	Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Raps in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion.....	70
6.2.4	Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoaabschätzung von GV-Raps für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion.....	72

<b>6.3</b>	<b>Fallbeispiel GV-Kartoffel (EH92-527-1)</b> .....	72
6.3.1	Informationen zu GV-Kartoffel (EH92-527-1).....	72
6.3.2	Potenzielle ökologische Auswirkungen der GV-Kartoffel für die Biomasse- und Energieproduktion .....	72
6.3.3	Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Kartoffeln in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion.....	73
6.3.4	Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoprüfung der GV-Kartoffeln für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion .....	75
<b>6.4</b>	<b>GV-Pappeln mit verändertem Ligningehalt und Antibiotikaresistenz</b> .....	75
6.4.1	Informationen zu GV-Pappeln mit verringertem Ligningehalt .....	75
6.4.2	Potenzielle ökologische Auswirkungen der GV-Pappel für die Biomasse- und Energieproduktion .....	75
6.4.3	Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Pappeln in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion.....	77
6.4.4	Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoprüfung der GV-Pappeln für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion .....	78
<b>6.5</b>	<b>Vergleich von GV-Mais bzw. GV-Raps mit nicht-GV Mais bzw. Raps hinsichtlich Unterschieden bei Treibhausgas-Emissionen</b> ..	78
6.5.1	Grundlagen für die Abschätzung der Treibhausgas-Bilanz von GV-Mais und GV-Rapskulturen .....	79
6.5.2	Abschätzung der Treibhausgas-Bilanz für den Anbau von GV-Mais....	80
6.5.3	Abschätzung der Ertragsänderungen beim Anbau von GV-Mais .....	81
6.5.4	Potenzial für Treibhausgas-Reduktionen beim Anbau von GV-Mais....	81
6.5.5	Abschätzung der Treibhausgas-Bilanz für den Anbau von GV-Raps .....	82
6.5.6	Abschätzung der Ertragsänderungen beim Anbau von GV-Raps .....	83
6.5.7	Potenzial für Treibhausgas-Reduktionen beim Anbau von GV-Raps ...	84
6.5.8	Zusammenfassende Abschätzung der Treibhausgas-Potenziale von exemplarischen GV-Energiepflanzen .....	84
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	85
<b>7.1</b>	<b>Entwicklung von GV-Energiepflanzen</b> .....	85
<b>7.2</b>	<b>Ökologische Auswirkungen</b> .....	86
<b>7.3</b>	<b>Anforderungen an die Risikoabschätzung</b> .....	87
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	89





## ZUSAMMENFASSUNG

Der verstärkte Einsatz von landwirtschaftlich erzeugter Biomasse zur Energieerzeugung ist ein aktuelles und kontrovers diskutiertes Thema im Rahmen der Klimadebatte. Die absehbare Steigerung des globalen Bioenergieaufkommens hat vielfältige Auswirkungen auf die Landwirtschaft, vor allem im Hinblick auf die angebauten Kulturen und die Art der Produktion. Vor diesem Hintergrund wird auch in Österreich der mögliche Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen (GV-Pflanzen) für die Biomasse- und Energieerzeugung angesprochen, während die Verwendung von GV-Pflanzen für die Lebensmittelerzeugung in Österreich allgemein kritisch und ablehnend beurteilt wird.

Die vorliegende Studie gibt eine Übersicht, welche GV-Pflanzen für einen Einsatz in der Biomasse- und Energieerzeugung überhaupt verfügbar sind und welche davon prinzipiell für einen potenziellen Einsatz in Österreich geeignet wären. Als Grundlage für diese Analyse wird ein Überblick über aktuelle Entwicklungen in der Züchtung von Nutzpflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion mit speziellem Fokus auf die Situation in Mitteleuropa gegeben. Weiters wird dargestellt, welche GV-Pflanzen weltweit eingesetzt und zur Biomasse- und Energieerzeugung verwendet werden. Besonders relevant ist auch, welche von den in der EU zum kommerziellen Anbau beantragten oder im Zuge von Versuchsfreisetzungen getesteten GV-Pflanzen als potenzielle Energiepflanzen für Österreich in Frage kommen würden.

Absehbar ist, dass in naher Zukunft eine Reihe von GV-Mais- bzw. GV-Rapslinien in der EU verfügbar sein werden. Da Mais und Raps für die Biomasse- und Energieerzeugung in Österreich große Bedeutung haben, sind diese GV-Pflanzen potenziell relevant. Die meisten dieser GV-Pflanzen enthalten transgene Herbizidtoleranzgene und/oder Insektenresistenzgene oder eine Kombination dieser Eigenschaften. Sie wurden primär für die Lebens- und Futtermittelproduktion entwickelt; Reststoffe aus der Energieerzeugung könnten als Koppelprodukte für die Futtermittelerzeugung genutzt werden.

Spezifisch für die Biomasse- und Energieerzeugung entwickelte GV-Pflanzen umfassen eine GV-Maislinie, welche zur Vereinfachung der industriellen Ethanolproduktion aus Maisstärke entwickelt wurde, sowie GV-Pappeln mit reduziertem Ligningehalt. Ihre Zulassung für den Anbau und die Kommerzialisierung für die Energieproduktion ist allerdings kurz- bis mittelfristig nicht zu erwarten. In Zukunft potenziell zur Verfügung stehen könnten GV-Pflanzen mit veränderter Zusammensetzung, die primär für die Erzeugung industrieller Rohstoffe entwickelt wurden, aber auch zur Energieerzeugung eingesetzt werden könnten. Dazu zählen z. B. GV-Kartoffeln mit modifizierter Stärkezusammensetzung bzw. GV-Raps mit modifizierter Ölzusammensetzung und verändertem Ölgehalt.

Für die Untersuchung der ökologischen Auswirkungen von derartigen GV-Pflanzen wurde anhand von Fallbeispielen (GV-Mais, GV-Raps, GV-Kartoffel und GV-Pappel) analysiert, ob spezifische Umweltrisiken bei der Verwendung zur Energieerzeugung auftreten können. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei allen untersuchten GV-Pflanzen mögliche negative Wirkungen auftreten können. Diese werden im Rahmen der derzeit durchgeführten Risikoabschätzung nur ungenügend untersucht.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Zusammenfassung

Es ist daher notwendig, parallel zu einer Verbesserung der bestehenden Risikoabschätzung für GV-Pflanzen genügend konkrete Leitlinien für die Risikoabschätzung bei GV-Biomasse und Energiepflanzen zu entwickeln und anzuwenden. Zudem sollte eine Intensivierung des Anbaus bei Mais und Raps zur Energieerzeugung, die durch eine Verwendung von entsprechenden GV-Pflanzen verstärkt werden könnte, hinterfragt werden.

Welcher Unterschied hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen zwischen GV-Energiepflanzen und Nicht-GV-Energiepflanzen bei einem Anbau in Österreich besteht, lässt sich nur schwer abschätzen. Wesentliche Grundlagen für die genaue Abschätzung der entsprechenden Potenziale fehlen derzeit. Die verfügbaren Daten deuten daraufhin, dass die derzeit verfügbaren GV-Mais- und –Rapslinien jedenfalls keine markant verringerten Treibhausgas-Emissionen bewirken und die in nächster Zeit potenziell verfügbaren GV-Mais- und GV-Rapslinien diesbezüglich nur ein geringes Verbesserungspotenzial aufweisen.

## SUMMARY

The increased use of bioenergy – renewable energy generated from agricultural biomass – is a topic controversially discussed in the ongoing debate on climate change and potential climate change mitigation. The envisioned growth of the global bioenergy sector, however, will have deep impacts on current agricultural production systems, with respect to the types of cultivated crops and agricultural management practices for bioenergy crops. In this context, the use of Genetically Modified Plants (GMPs) for the production of bioenergy in Austria is also discussed, although the general acceptance of GMPs in Austria, especially for food use, is currently very low.

This study addresses the question which specific GMPs for the production of bioenergy are currently available or being developed and could thus be available within a reasonable timeframe. Regarding these GM bioenergy crops, it is determined which specific GM crops could have a potential for application under the specific conditions for agriculture in Austria.

Therefore an overview of current developments in plant breeding is given with a special focus on crops relevant for potential cultivation in Austria and in central Europe. Furthermore a discussion of the global use of GM crops for bioenergy production is presented. Also an analysis is given to show which of the GM plants that could be used for bioenergy production were notified for placing on the market and deliberate release in the EU. GM bioenergy crops which could be relevant for potential future application in Austria are identified based on the current Austrian bioenergy action plan and the future prospects regarding the use of certain agricultural crops for bioenergy production.

The results of the analysis show that in the near future a number of GM maize and GM oilseed rape lines will be available for bioenergy applications in the EU. Most of these GM plants contain transgenic traits for insect resistance and/or herbicide tolerance and were initially developed for food and feed production. These GM plants could thus be used for combined production of energy and feedstuffs.

Among the very few GM plants which are specifically designed for use in bioenergy production and which are relevant for potential application in Austria there is e.g. a GM maize line engineered for facilitating the production of bioethanol and GM poplar trees with reduced lignin content. These GM crops are currently not authorized for cultivation in the EU. In the near future a couple of GM crops with modified composition (e.g. GM potatoes with modified starch content and GM oilseed rape with modified oil content) could be available for the production of biomass for industrial use and for energy production.

Based on a discussion of the environmental effects of an increased production of bioenergy crops, the study at hand analyses the potential environmental risks of certain GM crops used for bioenergy production by presenting four case studies (GM maize, GM oilseed rape, GM potato and GM poplar). In summary, it can be concluded that for all these GM plants potential negative effects cannot be excluded when they are used for bioenergy production. These risks are not adequately addressed by the current risk assessment regime in the EU. Thus the present risk assessment procedures have to be improved and adequate guidelines for the risk assessment of GMPs for bioenergy production have to be implemented.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Summary

Additionally, the use of GM maize and GM oilseed rape lines in bioenergy production could support the trend towards intensified production of these crops. Such effects and the associated environmental impacts have to be critically assessed.

Another issue which is important for the evaluation of GMPs for bioenergy production is their potential to reduce greenhouse gas emissions in comparison with non-modified crops. At the moment this potential cannot be assessed in detail, due to a lack of specific data. However, the available GM maize and GM oilseed rape lines which could be potentially used for bioenergy production in Austria seem to have only a very limited potential for reducing greenhouse gas emissions compared to conventional crop varieties. Similarly, only a small potential for the reduction of greenhouse gas emissions can be assumed for those GM maize and GM oilseed rape lines which were specifically developed for bioenergy production and could be authorized in the EU in the near future.

# 1 EINLEITUNG

Im vorliegenden Bericht wird analysiert, welches Potenzial der allfällige Einsatz von gentechnisch veränderten (GV-)Pflanzen in Österreich zum Zweck der Biomasseproduktion und der Energieerzeugung in naher Zukunft aufweisen könnte. Ein solcher Einsatz ist vor dem Hintergrund der derzeitigen Entwicklung des Einsatzes von land- und forstwirtschaftlich erzeugten erneuerbaren Rohstoffen für die Energieerzeugung und die industrielle Produktion zu sehen.

Die Diskussion über Ziele, Strategien und die praktische Umsetzung des Einsatzes von land- und forstwirtschaftlich erzeugter Biomasse zur Energieerzeugung ist speziell im Verlauf des letzten Jahres sehr heftig und manchmal auch kontroversiell verlaufen. Das gilt für die Diskussion in Österreich in gleicher Weise wie für die Diskussion in der EU und auf internationaler Ebene. Der Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung hat gerade im Licht der Debatte über Strategien zur Vermeidung von klimarelevanten anthropogenen Emissionen eine wesentliche Bedeutung erlangt. Der Fokus der gegenständlichen Analyse liegt daher auch auf der allfälligen Verwendung von GV-Pflanzen zur Biomasseerzeugung für die Energiegewinnung.

Ein Nebenaspekt ist die Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten als Rohstoff für die industrielle Verarbeitung zu Produkten, die keine Lebens- und Futtermittel sind. Da auch für diese Zwecke GV-Pflanzen verwendet werden könnten, wird ein allfälliger Einsatz auch für diesen Bereich behandelt.

In dieser Studie werden die Verfügbarkeit von konventionellen und gentechnisch veränderten Pflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion sowie mögliche mittelfristige Entwicklungen dargestellt. Die Möglichkeiten und Risiken von GV-Pflanzen für die Energieproduktion werden allgemein und anhand von Fallbeispielen behandelt. Der Fokus dieses Berichtes liegt in erster Linie auf Kulturpflanzen, die in Zukunft auch für den Anbau in Österreich in Fragen kommen könnten.

## 1.1 Verwendete Definitionen

Als **Biomasse** wird allgemein die Gesamtheit der durch Pflanzen und Tiere anfallenden bzw. erzeugten organischen Substanz bezeichnet. Für einen Einsatz zur Energiegewinnung sind folgende Arten von Biomasse bedeutsam:

- Nachwachsende Rohstoffe durch die Kultivierung von so genannten „Energiepflanzen“, d. h. speziell zur Energiegewinnung angebauten Pflanzen,
- organische Reststoffe, die zur Energieerzeugung eingesetzt werden können.

Zu den **Energiepflanzen** werden für die weitere Analyse folgende Kulturen gezählt:

- Hoch ertragreiche Ackerkulturen, die zucker- und stärkehaltige Früchte bzw. Ölfrüchte liefern und damit für die Produktion von Kraftstoffen (Ethanol und Biodiesel) eingesetzt werden können.

- Schnell wachsende Baumarten und einjährige Energiepflanzen, die als Festbrennstoffe genutzt werden können, bzw. deren Kohlehydratanteil der Gesamtbiomasse zur Gewinnung von flüssigen Energieträgern (Ethanol und BtL (Biomass-to-Liquid)-Kraftstoffe) oder zur Biogaserzeugung verwendet werden kann.

Zu den **organischen Reststoffen** zählen land- bzw. forstwirtschaftliche Nebenprodukte oder Abfälle (z. B. Stroh, Gülle, Waldrestholz), Nebenprodukte der Landschaftspflege (z. B. Aufwuchs von Landschaftspflegeflächen), organische Rückstände aus der Verwertung bzw. Entsorgung von industriellen oder (haus-)wirtschaftlichen Abfällen (z. B. Bioabfall, Klärschlamm) oder organische Materialien, die nach Nutzungsende weiterverwertet werden (z. B. Altholz).

Das Potenzial von GV-Energiepflanzen sowie die Abschätzung der Risiken bei einem allfälligen Einsatz in Österreich werden in der vorliegenden Arbeit beleuchtet. Auf die Verwendung von organischen Reststoffen hingegen wird im gegenständlichen Bericht nicht eingegangen.

## 1.2 Verwendung von Biomasse zur Energieerzeugung

Biomasse von Energiepflanzen kann auf verschiedene Weise zur Energieerzeugung verwendet werden. Neben der direkten Verfeuerung zur Wärme- und Stromgewinnung, die für Österreich von großer Bedeutung ist (INDINGER et al. 2006, siehe folgendes Kapitel), besteht die Möglichkeit, einen Teil der Biomasse zur Erzeugung von flüssigen bzw. gasförmigen Energieträgern zu nutzen (Bio-Kraftstoffe und Biogas). Die Verwertungswege für Biomasse in der Energieerzeugung sowie Beispiele für wichtige Pflanzenarten für die entsprechenden Verwendungen sind in Abbildung 1 dargestellt (SCHORLING et al. 2009).

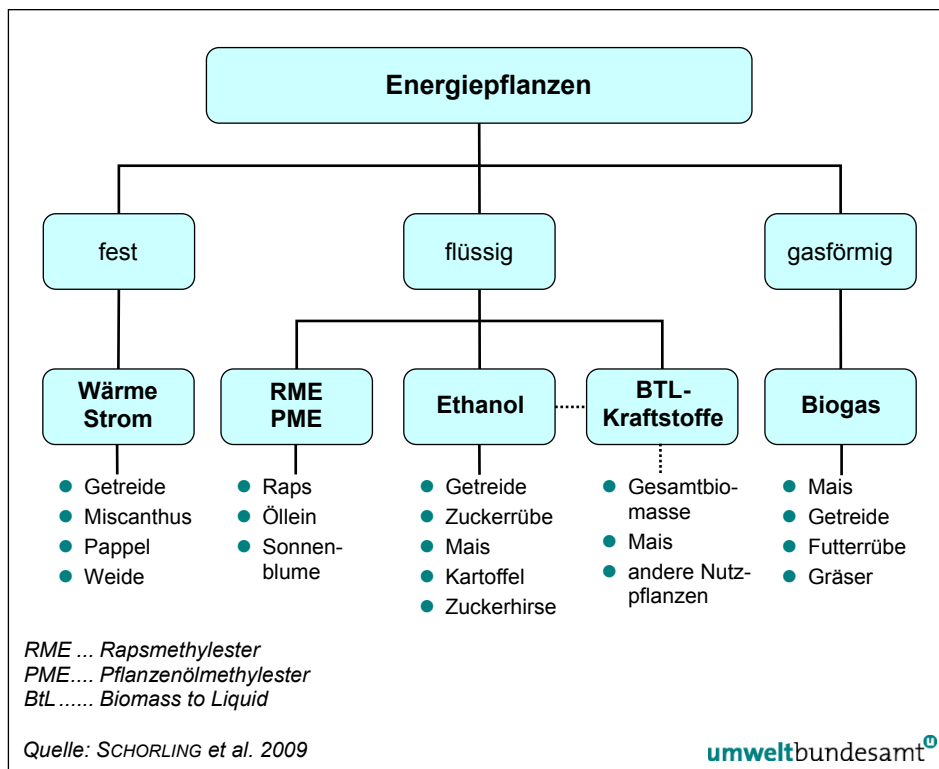


Abbildung 1: Überblick über den Einsatz nachwachsender Rohstoffe für die Biomasseproduktion in Deutschland (SCHORLING et al. 2009).

Ein wesentliches Einsatzgebiet von Energiepflanzen ist die Produktion von flüssigen Biokraftstoffen. Wie in Abbildung 1 gezeigt, zählen dazu der so genannte Biodiesel aus Pflanzenölen sowie Ethanol, das derzeit aus zucker- bzw. stärkehaltigen Feldfrüchten gewonnen wird und synthetische BtL-Kraftstoffe (Biomass to Liquid), die aus Prozessgas der thermochemischen Verwertung von Biomasse aus Energiepflanzen erzeugt werden.

Zu den **Biokraftstoffen der ersten Generation** gehören Biodiesel und Ethanol (hergestellt aus zucker- bzw. stärkehaltigen Feldfrüchten). Diese werden meist aus den Früchten erzeugt, die auch in der Lebens- und Futtermittelerzeugung verwendet werden. Die Herstellungsprozesse sind relativ einfach, gut erprobt und werden derzeit schon kommerziell angewendet. Zurzeit werden Biokraftstoffe der ersten Generation weltweit in bedeutenden Mengen erzeugt, in einer Reihe von Staaten auch aus GV-Pflanzen (Details siehe Kapitel 4.1).

**Biodiesel** ist ein aus verschiedenen Pflanzenölmethylestern (PME, auch FAME genannt) bestehender Kraftstoff, welcher aus dem Erntegut von Ölpflanzen – in Österreich vorwiegend Raps – produziert wird.

**Ethanol** wird durch alkoholische Gärung und anschließende Destillation aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen. Dafür können drei Arten von Ausgangsmaterial verwendet werden

- Stärkehaltige Pflanzen: Mais, Kartoffeln, Getreide (Roggen, Weizen etc.).
- Zuckerhaltige Pflanzen: Zuckerrüben, Zuckerrohr etc.
- Lignozellulosehaltiges Pflanzenmaterial: nicht essbare Pflanzenteile, Holz, Stroh, Gesamtbio-masse nicht essbarer Energiepflanzen (Gräser etc.).

**Biotreibstoffe der zweiten Generation** sollen typischerweise auch aus nicht essbaren Pflanzenteilen (Biomasse mit relevantem Lignozelluloseanteil) produziert werden, bzw. aus Pflanzen-Gesamtbiomasse, vor allem von nicht für die Lebens- bzw. Futtermittelerzeugung eingesetzten Pflanzenarten (LARSON 2008). Bei diesen Rohstoffen ist der Verarbeitungsprozess, vor allem der Aufschluss bzw. die Umwandlung des Lignozelluloseanteils, komplexer als bei der Produktion von Biotreibstoffen der ersten Generation. Optimierte Verfahren für die beiden möglichen Verwertungswege sind erst in Entwicklung und für den kommerziellen Einsatz noch nicht verfügbar.

**BtL-Kraftstoffe** werden im Vergleich mit Biotreibstoffen der ersten Generation für die Zukunft favorisiert. Vorteile solcher Kraftstoffe sind, dass die notwendige Biomasse ohne unmittelbare Konkurrenz zur Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln produziert werden kann und die Effizienz der Reduktion von Treibhausgas-Emissionen höher ist (LARSON 2008). Darüber hinaus ist die zur Kraftstoffherzeugung notwendige Biomasse kostengünstiger zu erzeugen als Ausgangsmaterial für Biotreibstoffe der ersten Generation. Energiepflanzen für BtL-Kraftstoffe können auch an vergleichsweise schlechteren Standorten produziert werden und können vielfältiger züchterisch für die Energieproduktion optimiert werden als Nutzpflanzen, die sowohl für Lebens- und Futtermittelproduktion als auch zur Energieerzeugung verwendet werden (ZARRILLI 2008).

Ein weiterer Energieträger, welcher aus Energiepflanzen hergestellt werden kann, ist Biogas, das auch für Österreichische Verhältnisse von Bedeutung ist.

**Biogas** (das hauptsächlich aus Methan besteht) wird im Gegensatz zu Biodiesel bzw. Ethanol zumeist aus der Gesamtbiomasse von Energiepflanzen gewonnen. Es können alle kohlenstoffhaltigen Bestandteile des eingesetzten Pflanzenmaterials für die Produktion von Biogas genutzt werden.

Zur Produktion von Biogas werden in Österreich hauptsächlich Mais, Grünroggen, Gräser (z. B. Klee gras etc.), Futterrübe sowie Grünschnitt verwendet. Biogas kann aber auch aus Gülle und anderen organischen Wirtschaftsdüngern sowie aus Hühnerkot erzeugt werden.



## 2 BIOMASSEPRODUKTION FÜR DIE ENERGIEERZEUGUNG IN ÖSTERREICH

### 2.1 Prognose für den Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung

Die Österreichische Energie Agentur (Austrian Energy Agency – AEA) hat Berechnungen zur Entwicklung des Biomasseeinsatzes in der Energieerzeugung in Österreich durchgeführt (INDINGER et al. 2006). Der Prognosezeitraum reicht dabei ausgehend von den aktuellen Gegebenheiten bis zum Jahr 2020. Die Studie geht bei den Berechnungen davon aus, dass 2004 mehr als 7 % des Bruttoinlandsverbrauchs an Energie durch Biomasseeinsatz abgedeckt wurden (99,8 PJ). Die AEA prognostiziert, dass sich der Anteil des Biomasseeinsatzes zur Energieerzeugung bis 2010 beinahe verdoppeln könnte (193 PJ) und bis 2020 auf den 2,5-fachen Wert ansteigen könnte (256 PJ).

Wesentliche Potenziale sieht die AEA dabei bei Biokraftstoffen, bei denen eine Steigerung um den Faktor 28,3 bis 2010 (Faktor 60 bis 2020) vorhergesagt wird. Bei Biomasse zur Stromerzeugung wird mit einer rund 7-fachen Steigerung bis 2010 gerechnet (8-fache Steigerung bis 2020), bei der Wärmeerzeugung wird eine Steigerung des Biomasse-Einsatzes (als Primärenergie) um den Faktor 1,5 bis 2010 (bzw. Faktor 1,7 bis 2020) erwartet (INDINGER et al. 2006).

Die Berechnungen beruhen auf den für den nationalen Biomasseaktionsplan vorgeschlagenen Zielen für Kraftstoffe aus Biomasse (gesamt: 10,3 % des Gesamtverbrauchs bis 2010 und 20,5 % bis 2020): hauptsächlich fallen darunter Biodiesel (FAME) 8,6 % bis 2010 und 8,5 % bis 2020, bei Bio-Ethanol 0,9 % bis 2010 und 1,3 % bis 2020 sowie bei Bio-Flüssiggas 0,8 % bis 2010 und 10 % bis 2020.

In Tabelle 1 sind die Prognosen der AEA den agrarischen Daten für den Anbau auf dem Ackerland aus der Agrarstrukturerhebung 2006 (STATISTIK AUSTRIA 2006) und den entsprechenden INVEKOS-Daten für 2006 gegenübergestellt. Dabei werden relevante Klassen von Energieträgern, die aus Biomasse erzeugt werden, wie Biodiesel (Fettsäuremethylester, kurz FAME), Ethanol aus Biomasse und Biogas mit den korrespondierenden Feldfrüchten für deren Produktion dargestellt. Berücksichtigt wurden dabei nur die mengenmäßig bedeutsamsten Feldfrüchte für die jeweiligen Kategorien.

Aufgrund von Experteneinschätzungen wurde in der AEA-Studie für die heimische Ethanolproduktion ein Flächenanteil der Rohstoffe von 14 % Mais, 82 % Weizen und 4 % Zuckerrüben angenommen. Der Bedarf an landwirtschaftlicher Nutzfläche für die Biogasproduktion wurde mit einem Flächenmix aus 37 % Silomais-, 12 % Grünroggen-, 11 % Sudangras-, 11 % Körnermais-, 8 % Klee-grasanbau und 21 % Grünland angesetzt.

Gegenübergestellt sind dem laut Prognose der AEA berechneten zusätzlichen Flächenbedarf für Energiepflanzen bis 2020 die gesamten momentanen Anbauflächen (2006) der entsprechenden Kulturarten (siehe Tabelle 1). Zur Verdeutlichung ist der Prozentsatz des Flächenmehrbedarfs der Energiepflanzen an der gesamten derzeitigen landwirtschaftlichen Fläche dargestellt. Die zugrundeliegenden agrarischen Daten sind in Tabelle 2 genauer dargestellt.

Tabelle 1: *Derzeitige Anbauflächen für ausgewählte Feldfrüchte im Vergleich zum prognostizierten zusätzlichen Flächenbedarf für Energieerzeugung aus Biomasse bis 2020 (STATISTIK AUSTRIA 2006, INDINGER et al. 2006).*

	Anbaufläche 2006 gesamt (ha)	zus. Flächenbedarf für Energieerzeu- gung bis 2020 (ha)	zus. Flächenbedarf in % der Gesamt- Anbaufläche 2006
<b>Biodiesel (FAME)</b>			
Winterraps	42.301	600.000	1.418,4
<b>Ethanol aus Biomasse</b>			
Körnermais	159.319	11.600	7,3
Weizen (Winterweich- weizen)	265.436	68.000	25,6
Zuckerrübe	39.075	3.400	8,7
<b>Biogas (inkl. Wärme/Strom)</b>			
Silomais	78.655	77.900	99,0
Grünroggen		25.000	
Sudangras/Elefantengras	367	24.900	6.784,7
Körnermais	159.319	21.800	13,7
Kleegrass	63.415	19.700	31,1
Intensives Grünland	907.904	46.800	5,2
<b>Wärme/Strom</b>			
Flüssige Biomasse		27.000	

Während bei Grünland (5,2 %) und Zuckerrüben (8,7 %) der flächenmäßige Mehrbedarf gering ist, sind für Körnermais (insgesamt 21 %), Weizen (25,6 %), Kleegrass (31,1 %) und Silomais (99 %) mit zusammengekommen 199.000 ha bedeutende Mehrflächen notwendig. Hinzu kommen Anbauflächen von zusammen ca. 50.000 ha für Grünroggen und Sudangras/Elefantengras, die derzeit noch keinen relevanten Flächenanteil aufweisen.

Für Raps wird in Österreich mit einem maximalen Anbaupotenzial von ca. 70.000 ha gerechnet (INDINGER et al. 2006). Damit ergibt sich die Situation, dass die in der Prognose genannten zusätzlichen 600.000 ha Rapsflächen nur zu einem geringen Anteil in Österreich zu Verfügung stehen. Die ExpertInnen der AEA gehen daher von umfangreichen Importen von Rapsöl bzw. anderen Pflanzenölen aus dem Ausland aus.

Der zusätzliche Brennstoffbedarf für gekoppelte Strom-/Wärmeerzeugung aus flüssiger Biomasse wird laut der Vorstudie zum Biomasseaktionsplan mit 40 Mio. Liter für 2020 angenommen (INDINGER et al. 2006). Unter der Annahme, dass es sich hier vor allem um Brennstoffe auf Pflanzenölbasis handelt, wird mit einem zusätzlichen Flächenbedarf von ca. 27.000 ha gerechnet. Es wird in der Vorstudie allerdings angemerkt, dass ein Import der entsprechenden Mengen als wahrscheinlicher gilt.

Im Vorschlag für den Biomasseaktionsplan des Lebensministeriums wird für 2020 ein Mehrbedarf an Holz zur energetischen Nutzung von 10,7 Mio. Festmetern (FM) prognostiziert (FURTNER & HANEDER 2005, INDINGER et al. 2006). Die betreffende Vorstudie der AEA sieht die Möglichkeit, diese zusätzlichen Mengen folgendermaßen zu mobilisieren: durch Nutzungsforcierung im Wald (4,5 Mio. FM), durch Holznutzung auf Nicht-Waldflächen (1,0 Mio. FM) sowie durch Produktion von fester Biomasse auf Agrarflächen und aus Importen

(5,2 Mio. FM). Eine andere Studie (BRAINBOWS INFORMATIONSMANAGEMENT 2007) kommt allerdings zu dem Schluss, dass eine Nutzungsforcierung von 4,5 Mio. FM im forstwirtschaftlichen Bereich kaum realisierbar sein dürfte. Allerdings könnte bei Anbau von alternativen Energiepflanzen, wie z. B. *Miscanthus* (Chinaschilf), laut Prognose der AEA der aus Agrarflächen zu gewinnende Anteil von 5,2 Mio. FM theoretisch auf einer Fläche von 116.000 ha erzielt werden.

## 2.2 Situation in der österreichischen Landwirtschaft

2006 wurden in Österreich 3,2 Mio. ha Fläche landwirtschaftlich genutzt, wobei der Anteil an Ackerland ca. 1,4 Mio. ha und jener von Dauergrünland ca. 1,8 Mio. ha beträgt (siehe Tabelle 2). Der Hauptanteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche entfällt mit rd. 777.000 ha auf den Getreideanbau. Den zweitgrößten Anteil stellt mit rd. 249.000 ha der Feldfutteranbau dar. Ölfrüchte werden auf einer Fläche von ca. 130.000 ha angebaut. Die forstwirtschaftlich genutzte Fläche liegt bei 3,3 Mio. ha, wobei 2006 nur 1.700 ha speziell als Energieholzflächen (Kurzumtriebsflächen) ausgewiesen sind (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Bodennutzung in Österreich im Jahr 2006 (STATISTIK AUSTRIA 2006; FURTNER & HANEDER 2006, INVEKOS Flächendaten per 30.05.2007 – Rundungsdifferenzen sind technisch bedingt).

	Fläche (ha)
<b>Landwirtschaftlich genutzte Fläche</b>	<b>3.239.850</b>
Ackerland insgesamt	1.377.251
Getreide insgesamt	776.783
Körnerleguminosen (Eiweißpflanzen)	40.950
Hackfrüchte	61.394
Ölfrüchte	129.762
Feldfutterbau (Grünfütterpflanzen)	248.796
Sonstiges Ackerland	119.565
Haus- und Nutzgärten	5.191
Dauerkulturen	68.001
<b>Obstanlagen einschl. Beerenobst (ohne Erdbeeren)</b>	<b>15.396</b>
<b>Weingärten</b>	<b>50.119</b>
<b>Reb- und Baumschulen (einschl. Forstbaumschulen)</b>	<b>2.486</b>
Dauergrünland	1.789.407
Intensives Grünland	907.904
Extensives Grünland	881.502
<b>Forstwirtschaftlich genutzte Fläche</b>	<b>3.310.330</b>
Wald	3.306.331
Energieholzflächen	1.700
Christbaumkulturen	2.048
Forstgärten	252
<b>Kulturfläche (Summe land- und forstwirtschaftlich genutzte Fläche)</b>	<b>6.550.180</b>
<b>Sonstige Flächen (unproduktive Flächen)</b>	<b>991.091</b>
<b>Gesamtfläche der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe</b>	<b>7.541.271</b>

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Biomasseproduktion für die Energieerzeugung in Österreich

Energiepflanzen werden derzeit auf einer Fläche von 50.000–55.000 ha angebaut. Der Anteil an Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen (93.000 ha insgesamt im Jahr 2006) beträgt 19.000 ha. Da sich die stillgelegten Agrarflächen weitgehend intensiv nutzbare landwirtschaftliche Produktionsflächen darstellen, ist eine entsprechende Nutzung dieser Flächen zur Produktion von etablierten Energiepflanzen wie Getreide, Raps, Mais oder Zuckerrüben möglich.

Tabelle 3 zeigt exemplarisch die Anbauflächen und den Ertrag von für die Energieproduktion relevanten Kulturarten 2006 in Österreich.

Tabelle 3: Anbaufläche (in ha) und Ernte ausgewählter Kulturarten (in t) für die Energieproduktion, 2006 (STATISTIK AUSTRIA 2006).

Feldfrucht	Anbaufläche (in ha)	Ernte (in t)
<b>Brotgetreide</b>		
Winterweichweizen	265.436	1.277.318
Hartweizen	15.891	76.609
Dinkel	5.855	15.495
Roggen	26.924	93.786
<b>Futtergetreide</b>		
Hafer	35.151	131.176
Triticale	23.648	110.060
Wintergerste	63.879	328.483
Sommergerste	142.564	585.569
Körnermais	159.319	1.471.668
Corn-Cob-Mix (CCM)	21.877	274.516
<b>Ölfrüchte</b>		
Winterraps zur Ölgewinnung	42.301	136.758
Sonnenblumen	34.621	84.620
Sojabohnen	25.013	64.960
<b>Hackfrüchte</b>		
Frühe und mittelfrühe Speisekartoffeln	11.731	297.993
Spätkartoffeln	10.189	356.628
Zuckerrüben	39.075	2.587.467
<b>Feldfutterbau</b>		
Silomais	78.655	3.546.351
Luzerne	13.308	105.416
Klee gras	63.415	547.411
<b>Energiepflanzen</b>		
Miscanthus	362*	6.516**
Sudangras	13,9*	139**
Energieholz***	1.700	40.000 FM**

\* INVEKOS

\*\* Abschätzung gemäß durchschnittlichem Ertrag

\*\*\* Energieholzflächen: Flächen, die zum Zweck der Energieholzgewinnung mit schnell wachsenden Baumarten wie Pappeln, Weiden, Erlen, Birken, Robinien und dgl. bepflanzt waren; FM = Festmeter

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Biomasseproduktion für die Energieerzeugung in Österreich

In den derzeit aktuellen Szenarien zur Verwendung von Biomasse werden neben Holz zur thermischen Nutzung vor allem Raps bzw. Ölfrüchte für die Produktion von Biodiesel, sowie Getreide, Körnermais und Zuckerrüben für die Herstellung von Ethanol berücksichtigt. Für die Produktion von Biogas wird für Österreich von einem Mix aus Grünpflanzen (Silomais, Luzerne, Klee gras etc.), Körnermais und alternativen Energiepflanzen, wie *Miscanthus*, ausgegangen.

Die stoffliche Nutzung von Biomasse erfolgt in erster Linie durch die Papier- und Holz-verarbeitende Industrie sowie die Nahrungs- und Futtermittelindustrie. Eine weitere stoffliche Nutzung, die im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie von Relevanz ist, ist die Produktion von Stärke aus Mais und Kartoffeln. Von der in Österreich produzierten Stärke werden 80–90 % einer industriellen Verwertung zugeführt. Spätkartoffeln, die primär der Stärkeproduktion dienen, werden auf einer Fläche von rund 10.000 ha angebaut.

Obwohl als alternative Energiepflanzen immer wieder erwähnt, werden *Miscanthus* oder Sudangras 2006 nur in geringem Umfang angebaut. Energieholz spielt derzeit mit einem Anteil von 0,05 % an der forstwirtschaftlichen Fläche noch eine untergeordnete Rolle.

## 2.3 Mögliche Ausweitung der Anbauflächen

Die geografischen Gegebenheiten in Österreich lassen eine intensive Agrarwirtschaft vor allem im Norden und Osten sowie in Teilen der Steiermark zu. Da es sich bei den zurzeit relevanten Energiepflanzen um großteils etablierte Ackerfrüchte wie Getreide, Raps, Mais und Zuckerrüben handelt, sind die potenziellen Anbauflächen dieser Energiepflanzen mit den derzeit intensiv genutzten Agrarflächen identisch.

Zuckerrüben werden vor allem im Osten Österreichs angebaut. Durch den hohen Ertrag (ca. 650 dt/ha<sup>1</sup>) ist aber nur eine relativ geringe Ausweitung der Anbaufläche notwendig, um den für die Ethanolproduktion notwendigen zusätzlichen Bedarf zu decken (siehe auch Tabelle 1).

Raps wird derzeit auf einer Fläche von rund 42.000 ha angebaut. Aufgrund von klimatischen und standortbezogenen Faktoren ist das theoretisch realisierbare Potenzial zum Anbau von Raps auf ca. 70.000 ha/Jahr limitiert. Es ist aber zu berücksichtigen, dass selbst der maximale Ausbau der Rapsanbaufläche in Österreich den benötigten Flächenbedarf von 600.000 ha für die prognostizierten Biodieselmengen nur zu einem geringen Prozentsatz decken würde.

Mais könnte vor allem in Form von Silagemais für die Biogasproduktion deutlich an Bedeutung gewinnen. Neben den landwirtschaftlich genutzten Gebieten in Ober- und Niederösterreich südlich der Donau wird Mais im Südosten der Steiermark und in Teilen Kärntens intensiv angebaut. Während Körnermais in höheren Dichten angebaut wird, erreichen die max. Schlagflächen pro Flächeneinheit bei Silomais selten mehr als 50 ha/100 ha Agrarfläche.

---

<sup>1</sup> Dezitonnen pro Hektar

### **3 KONVENTIONELLE ZÜCHTUNG FÜR DIE BIOMASSE- UND ENERGIEPRODUKTION**

Um einen Überblick über Züchtungsanstrengungen für die Biomasseproduktion zum Zwecke der Energieerzeugung zu gewinnen, wurde kürzlich von der Universität Hamburg eine Recherche einschlägiger Forschungsprojekte durchgeführt und die Rechercheergebnisse wurden mit den Resultaten einer Umfrage bei öffentlichen und privaten Einrichtungen, die in diesem Bereich tätig sind, kombiniert (SCHORLING et al. 2009). Die dabei ermittelten Ergebnisse sind auch für die österreichischen Verhältnisse relevant.

Insgesamt (sowohl mit konventionellen als auch gentechnischen Ansätzen) wurden in Deutschland folgende Kulturarten für Energieerzeugungszwecke bearbeitet (in absteigender Reihenfolge der Häufigkeit): Raps, Mais, Weizen, Roggen, Zuckerrübe, Gräser, Hirse, Triticale, Sonnenblume, Pappel.

Im Gegensatz zur Nahrungsmittelproduktion sind bei Nutzpflanzen für die Energieerzeugung die Ansprüche an die Fruchterträge nicht so hoch. Entscheidend im Energiepflanzenanbau ist der Energieertrag pro Hektar durch möglichst hohe Biomasseerträge. Besonders wichtig sind für die Nutzung als Energiepflanze optimale Eigenschaften bezüglich Anbau und Ernte, um die Kosten der Kultivierung zu senken. Diese entstehen neben der Schädlingsbekämpfung vor allem bei der Stickstoffdüngung der Pflanzen. Daher wird als Zielvorstellung für die Zukunft auch die Züchtung von Energiepflanzen genannt, die mit weniger Stickstoffdünger hohe Erträge liefern. Daneben ist auch die Optimierung bei Transport und Lagerungseigenschaften wesentlich für die Entwicklung von verbesserten Energiepflanzen. Außerdem muss die erzeugte Biomasse für die Verwertung in den zur Verfügung stehenden technischen Anlagen stofflich geeignet sein. Züchtungstechnisch werden Methoden genutzt, die auch bei der Weiterentwicklung von Kulturpflanzen im Nahrungs- und Futtermittelbereich Anwendung finden, wie z. B. die konventionelle Züchtung neuer Sorten, die Prüfung alter Sorten auf die Eignung für den Anbau als Energiepflanze sowie die Prüfung des Anbaus nicht heimischer Kulturpflanzenarten (RODE et al. 2005).

Die Züchtung von Energiepflanzen ist in Deutschland zurzeit überwiegend auf die Kulturen Raps und Mais ausgerichtet. Dies liegt vor allem an den bisherigen, vorrangigen Verwendungszwecken: Raps für die Erzeugung von Biodiesel (Rapsmethylester) und Mais als Biomassequelle für Biogasanlagen.

#### **3.1 Züchtungsziele für die Biodiesel-Erzeugung**

Für die Erzeugung von Biodiesel wird in Deutschland und in Österreich hauptsächlich Pflanzenöl aus Raps verwendet. Daneben werden mit geringerer Bedeutung auch andere alternative Ölpflanzenarten (z. B. Sonnenblume, Hanf, Lein) genutzt. Relevante Züchtungsziele bei diesen Energiepflanzenarten sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Züchtungsziele bei Energiepflanzen für die Biodiesel-Erzeugung.

Pflanzenarten	Energieträger	Züchtungsziele	Züchtungsansätze
Raps Sonnenblume Lein Hanf	Pflanzenöl	höherer Ölertrag bessere Verwertbarkeit	höherer Ölgehalt Verringerung des Proteingehaltes im Samen geringer Gehalt an freien Fettsäuren

Im Unterschied zu Rapsorten für die Lebensmittelherstellung weisen solche, die für die industrielle Produktion gezüchtet wurden, einen hohen Erucasäuregehalt auf. Diese Sorten werden sowohl für die energetische Nutzung, d. h. zur Herstellung von Biodiesel, als auch für die stoffliche Nutzung im industriellen Bereich – z. B. zur Produktion von Schmiermitteln und Polymeren – gezüchtet (FRAUEN 2006). Neben einem hohen Ölertrag ist ein geringer Gehalt an freien Fettsäuren eine wünschenswerte Eigenschaft für Rapsorten zur Biodieselerzeugung, da diese nicht mit der gängigen Methode in Biodiesel umgewandelt werden können (EPOBIO 2006).

Neben Raps werden Sonnenblumen als Energiepflanzen für die Biodieselproduktion verwendet. Sie sind aber auch als Biomasseproduzenten für die Biogasproduktion interessant. Aufgrund ihrer Eigenschaften (hoher Ölgehalt) kann beim Einsatz von Sonnenblumen theoretisch mit einer hohen Methanausbeute gerechnet werden. Um tatsächlich entsprechend hohe Methanerträge pro ha Kulturfäche zu erzielen, sind allerdings weitere Zuchtanstrengungen notwendig (GANSSMANN 2005).

### 3.2 Züchtungsziele für die Ethanol-Erzeugung

Für die Ethanolherzeugung mittels erprobter und eingeführter Verfahren eignen sich Energiepflanzen der ersten Generation, das sind zucker- und stärkehaltige Ackerfrüchte (v. a. Getreide, Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln). Für die Herstellung von Ethanol nach Verfahren, die für die Verwendung von Energiepflanzen der zweiten Generation entwickelt wurden, kann zellulose- und lignozellulosehaltige Biomasse eingesetzt werden (Ganzpflanzennutzung von schnellwüchsigen Bäumen und Ackerpflanzen).

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über relevante Züchtungsziele bei Energiepflanzen der ersten bzw. zweiten Generation für die Ethanolherstellung.

Tabelle 5: Züchtungsziele bei Energiepflanzen für die Ethanol-Erzeugung.

Pflanzenarten	Energieträger	Züchtungsziele	Züchtungsansätze
<b>1. Generation</b>			
Getreide (Weizen, Triticale, Roggen, Gerste) Körnermais Zuckerrüben Kartoffeln	Stärke, Zucker	Ertrag Krankheitsresistenz Toleranzen gegen Umweltstress bessere Fermentationsfähigkeit	hohe Stärke- oder Zuckergehalte geringer Rohproteingehalt veränderte Stärkezusammensetzung verbesserte Konversion von Stärke in Zucker
<b>2. Generation</b>			
ganze Pflanzen, Bäume	Zellulose, Lignozellulose	Zellulose-Verzuckerung	Expression von Zellulasen verringertes Ligningehalt



An der züchterischen Verbesserung von Energiegetreide wird gearbeitet, da insbesondere Roggen für die Energieerzeugung vermehrt genutzt wird. Neben der Ethanolherstellung wird Energieroggen auch zur Erzeugung von Biogas eingesetzt. Für Deutschland wurden einer Schätzung des Roggenforums zufolge 25 % der Ernte 2007 als Energieroggen verwendet (SCHORLING et al. 2009). Gearbeitet wird unter anderem an der Optimierung der Eigenschaften, die z. B. Roggen als Energiepflanze interessant machen: Roggen hat im Gegensatz zu den anderen Getreidearten geringe Standortansprüche, verbunden mit einfachem Anbau und hoher Ertragssicherheit. Der Anbau von Roggen steht nicht in Konkurrenz zum Maisanbau, da er die Vegetationszeit der kühleren Jahreszeit (September bis Mai) optimal ausnutzt und in Deutschland als Vorfrucht zu Mais gepflanzt werden kann (MIEDANER & WILDE 2005).

In Deutschland werden Zuckerrübensorten mit gesteigertem Zuckeranteil entwickelt, die auch für die Ethanolproduktion eingesetzt werden sollen. Die Entwicklung derartiger Sorten ist vor allem auch für die Lebensmittelproduktion interessant. Ein spezifisches Entwicklungsprojekt der Universität Kiel befasst sich mit der Züchtung von „Winterzuckerrüben“, die im Herbst ausgesät werden können und deren Schossverhalten züchterisch so verändert ist, dass der Ertrag um 20 % gesteigert werden kann. Darüberhinaus konnten keine speziellen Züchtungsanstrengungen für die Entwicklung von Zuckerrübensorten, die spezifisch für die Bioenergieerzeugung optimiert sind, festgestellt werden (SCHORLING et al. 2009).

Für den Einsatz von lignozellulosehaltiger Biomasse für die Ethanolproduktion (als Biokraftstoff der zweiten Generation) müssen neben der züchterischen Bearbeitung der verwendeten Pflanzen (siehe dazu die folgenden Kapitel 3.3 und 3.4) auch die technischen Herausforderungen im großtechnischen Anwendungsmaßstab gelöst werden, die mit der Umwandlung der Biomasse in Ethanol verbunden sind.

### **3.3 Züchtungsziele für die energetische Biomassenutzung der 2. Generation**

Für die Erzeugung von Biogas bzw. BtL-Kraftstoffen kann die Biomasse des gesamten Pflanzenmaterials von relevanten Energiepflanzen (verschiedene Getreide, Mais, Zuckerrüben, andere Energiepflanzen wie *Miscanthus* und Grassorten sowie Gehölze) genutzt werden.

Züchtungsziele sind allgemein die Erzielung einer optimalen Gesamtbiomasseausbeute und die Verbesserung der Zwischenfruchteignung der angebauten Energiepflanzen. Für die Biogas-Erzeugung ist weiterhin die Erhöhung der Methanausbeute als Ergebnis der züchterischen Bearbeitung von Interesse. Tabelle 6 enthält eine Übersicht dieser Züchtungsziele.

Tabelle 6: Züchtungsziele bei Energiepflanzen für die Biogas- und BtL-Erzeugung.

Pflanzenarten	Energieträger	Züchtungsziele	Züchtungsansätze
Mais	Gesamtbiomasse (Ganzpflanze)	Biomasseertrag	höhere Gesamt- trockenmasse
Getreide (v. a. Roggen)		Methanausbeute	
Futtermübe		Zwischenfruchteignung	Steigerung des ver- wertbaren Anteils
Zuckerhirse		Stresstoleranz	erhöhte Kälte- und Trockenheitstoleranz
Sudangras <i>Miscanthus</i> schnellwüchsige Bäume			

Mais ist als Kultur auch für diesen Einsatzbereich interessant. Neben der Verbesserung ertragsstarker Silomaisarten wird auch an der Entwicklung von Energiemaisarten gearbeitet, die einen höheren Gesamtbiomasse-Ertrag gewährleisten (z. B. durch eine Verzögerung der Blütezeit und damit einer Verlängerung der vegetativen Wachstumsphasen, durch eine Kombination von Kältetoleranz und Spätreife sowie eine Einkreuzung von Kurztagsgenen aus tropischen Maisarten; SCHMIDT 2005, 2006, SCHMIDT & LANDBECK 2005). Mit derartigen konventionellen Zuchtprogrammen konnte die Ertragsleistung von Energiemaisarten auf 300 dt/ha gesteigert werden, verglichen mit einem Ertrag von 150–180 dt/ha bei den derzeit verwendeten Silomaisarten (SCHMIDT & KREPS 2007).

Weiterhin wird züchterisch an der Verbesserung der Toleranz von Mais gegen Stickstoffmangel und Trockenstress gearbeitet und es wird versucht, optimale Sorten für die verkürzte Wachstumsperiode für Mais als zweites Glied einer Fruchtfolge für einen Anbau in Deutschland zu züchten (SCHMIDT 2005, SCHMIDT & LANDBECK 2005).

Für ein solches Mehrfruchtssystem wird züchterisch an der Verbesserung von Grünroggen als mit Mais kombinierbarer Frucht gearbeitet. Solche Grünroggen-Sorten sollten ein verbessertes Wachstum bei niedrigen Temperaturen aufweisen und damit in der Kultivierungsphase vor Anbau der Mais-Folgefrucht einen größeren Ertrag erzielen.

Bei Sudangras (*Sorghum sudanense*) oder Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*), die aufgrund ihrer Eigenschaften für die energetische Nutzung in Biogasanlagen in Frage kommen könnten, konzentrieren sich die Versuche zunächst auf die generelle Eignung vorhandenen Materials unter Klima- und Anbaubedingungen, wie sie z. B. in Deutschland und Österreich herrschen.

### 3.4 Züchtungsziele für schnell wachsende Baumarten

Wegen ihrer Schnellwüchsigkeit werden in Mitteleuropa vor allem Pappeln (*Populus*) sowie Weiden (*Salix*) züchterisch bearbeitet. Die Hauptnutzungen für diese Kulturen sind die Wertholzproduktion bei langen Umtriebszeiten, die Zelluloseproduktion für die industrielle Verwertung bei mittleren Umtriebszeiten, sowie für Kurzumtriebskulturen die Mengenproduktion von Biomasse bei hoher Konkurrenzfähigkeit und guten Wachstumszuwächsen in der Frühphase.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Konventionelle Züchtung für die Biomasse- und Energieproduktion

Die wesentlichen Züchtungsziele betreffen aber nicht direkt eine erhöhte Biomasseproduktion, sondern Resistenzeigenschaften (z. B. Rindenbrand, Pappelrost) oder eine gute Stammqualität (gerader Wuchs, geringer Astbesatz) (SCHORLING et al. 2009).

Außerhalb Deutschlands wird vor allem in Schweden und in eingeschränkter Form in Belgien Züchtung mit schnellwüchsigen Baumarten mit dem Ziel der Biomasseproduktion in Kurzumtriebskulturen betrieben. Züchtungsziele sind hier neben der Wachstumssteigerung die Erhöhung der Frosttoleranz und Pilzresistenz.

## 4 GENTECHNISCH VERÄNDERTE PFLANZEN FÜR DIE BIOMASSE- UND ENERGIEERZEUGUNG

Im Folgenden soll ein Überblick über die Situation des weltweiten Einsatzes von GV-Pflanzen für die Biomasse- und speziell die Energieerzeugung gegeben werden. Weiters wird die absehbare Verfügbarkeit von GV-Pflanzen, die für die Biomasse- und Energieerzeugung geeignet sind, für die EU und Österreich analysiert.

### 4.1 Globaler Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung

Eine der wenigen verfügbaren Quellen für die globale Verwendung von GV-Pflanzen sind die jährlich vom ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications) publizierten Berichte (aktuelle Ausgabe: JAMES 2007). Obwohl die vom ISAAA vorgelegten Berechnungen methodisch kritisiert werden (BURCHER 2007), eignen sie sich für eine grobe Übersicht über die Menge an global angebauten GV-Pflanzen und zur Abschätzung von Entwicklungstrends beim weltweiten Einsatz derartiger Pflanzen. Grundlage der Zahlen ist die Summe der global für jeglichen Verwendungszweck angebauten Mengen an GV-Pflanzen, wobei ein überwiegender Teil für die Erzeugung von Lebens- bzw. Futtermitteln eingesetzt wird. Die Berichte des ISAAA aus den letzten Jahren, speziell der Bericht für das Jahr 2006, nehmen aber auch auf die Produktion von GV-Pflanzen, die zur Energieerzeugung aus Biomasse eingesetzt werden, Bezug (JAMES 2006).

#### 4.1.1 Weltweite Verwendung von GV-Pflanzen

Für das Jahr 2007 ergaben die Berechnungen des ISAAA, dass weltweit auf rund 114 Mio. ha landwirtschaftlicher Fläche GV-Pflanzen angebaut wurden (JAMES 2007). Mehr als die Hälfte dieser Fläche wurde mit GV-Sojabohnen (57 %) bebaut, gefolgt von GV-Mais (25 %), GV-Baumwolle (13 %) und GV-Raps (rund 5 %). Auf andere GV-Kulturen entfielen jeweils weniger als 1 % der globalen Gesamtfläche des Anbaus von GV-Pflanzen. Wie in früheren Jahren erfolgte ein Hauptanteil des weltweiten Anbaus von GV-Pflanzen in Nordamerika (USA, Kanada) sowie einigen Ländern in Südamerika (Argentinien, Brasilien, Paraguay). 8 % der weltweiten Anbauflächen befanden sich 2007 in Asien (hauptsächlich in Indien und China).

Innerhalb der EU wurden im Jahr 2007 ca. 110.000 ha an **Bt-Mais** angepflanzt, das entspricht einem sehr geringen Teil der Gesamtmenge an kultivierten GV-Pflanzen (ca. 1 ‰). Ein überwiegender Anteil des Anbaus erfolgte wie im vorangegangenen Jahr in Spanien (2/3 der Gesamtfläche in der EU), Außerdem wurden in Frankreich auf einer größeren Fläche (22.135 ha) Bt-Mais angebaut. In sechs weiteren Ländern (Tschechische Republik, Portugal, Deutschland, Slowakei, Rumänien und Polen) wurden nur geringere Mengen von Bt-Mais kultiviert. In Rumänien hat 2007 im Einklang mit den Vorschriften innerhalb der EU kein autorisierter Anbau von GV-Soja mehr stattgefunden, nachdem in den Vorjahren größere Mengen von GV-Pflanzen (insbesondere GV-Soja) angebaut worden waren.

Zusätzlich zur Übersicht über die globale Verwendung von GV-Pflanzen wurde wegen der zunehmenden Bedeutung des Themas auch die Verwendung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung speziell beleuchtet (JAMES 2006, 2007). Ein Hauptaugenmerk der von der ISAAA erstellten Analyse lag dabei auf der Produktion von GV-Pflanzen für die Herstellung von verschiedenen Treibstoffen, welche als Ersatz für fossile Kraftstoffe dienen und die in analoger Weise global gehandelt werden können.

Über 90 % der mit GV-Pflanzen bebauten Flächen zur Treibstoffherstellung liegen in den USA. Im Jahr 2007 wurde eine Fläche von 11,2 Mio. ha mit GV-Pflanzen zur Produktion von Treibstoffen bestellt, was einem prozentuellen Anteil von 9 % an der mit GV-Pflanzen bebauten Gesamtfläche (JAMES 2007) entspricht. Schätzungsweise 7 Mio. ha GV-Mais wurden in den USA zur Ethanol-Produktion verwendet, ca. 3,4 Mio. ha GV-Soja und 10.000 ha GV-Raps wurden zur Biodiesel-Herstellung genutzt.

In Brasilien werden 750.000 ha mit herbizidtolerantem GV-Soja und in Kanada ca. 45.000 ha mit GV-Raps zur Biodiesel-Herstellung bebaut (JAMES 2007).

#### 4.1.2 Ethanolproduktion aus GV-Pflanzen

Im Jahr 2006 machte Ethanol 90 % der Menge an agronomisch erzeugten Treibstoffen aus (JAMES 2006). Ethanol als Treibstoffzusatz wurde hauptsächlich durch Fermentation von zucker- und stärkehaltigen Ernteprodukten, vor allem aus Zuckerrohr, Mais und stärkehaltigem Getreide hergestellt. Wie bereits erwähnt, wurde für die Herstellung von Ethanol neben nicht gentechnisch veränderten Pflanzen eine große Menge an GV-Mais verwendet, vor allem in den USA. Dort wurden im Jahr 2005 18 % der Maisproduktion – hauptsächlich GV-Mais – für die Ethanol-Herstellung eingesetzt.

**Zuckerrohr** (*Saccharum officinarum*) ist für die zukünftige Ethanolproduktion neben GV-Mais laut der Prognose der ISAAA die wichtigste Pflanze (JAMES 2006). Zuckerrohr ist aufgrund ihrer effizienten Photosynthese fähig, bis zu 2 % des Sonnenlichtes zu nutzen und rasch Biomasse aufzubauen. Zuckerrohr benötigt für diese Wachstumsraten tropisches bzw. subtropisches Klima mit mehr als 400 mm Jahresniederschlag. Im Jahr 2004 wurde Zuckerrohr weltweit auf einer Fläche von 19,7 Mio. ha produziert (FAO 2004), 95 % des Anbaus finden in Entwicklungsländern statt. An der Spitze liegen Brasilien (5,8 Mio. ha), Indien (3,8 Mio. ha), China (1,3 Mio. ha), Thailand (1 Mio. ha) und Pakistan (1 Mio. ha).

Bei der Entwicklung von GV-Zuckerrohr liegt der Fokus darauf, mittels gentechnischer Veränderung Ertragsverluste durch biotische (Schädlinge, Unkräuter, Krankheiten) und abiotische (Salzgehalt des Bodens, Trockenheit) Stressfaktoren zu reduzieren. Durch gentechnische Veränderung sollen außerdem Zuckergehalt und -qualität und damit die Ertragsmöglichkeiten optimiert werden. Weiters wurden Sorten mit gentechnisch vermittelter Resistenz gegen das Zuckerrohr-Mosaikvirus (SCMV) und mit Toleranz gegen Herbizide entwickelt. Um Zulassungsgenehmigungen für den Anbau von gentechnisch verändertem Zuckerrohr wurde in Brasilien bereits angesucht.

### 4.1.3 Biodiesel aus GV-Pflanzen

Biodiesel wird weltweit hauptsächlich aus Raps, Soja und Palmöl hergestellt. Im Jahr 2006 wurden 77 % der weltweiten Biodieselmenge in der EU produziert (ZARRILLI 2008). Die globale Biodiesel-Produktion lag 2006 bei rund 7,3 Milliarden Litern, das entspricht 3 % des genutzten Kraftstoffes (JAMES 2006).

GV-Raps und GV-Soja sind die weltweit am häufigsten eingesetzten GV-Kulturen zur Herstellung von Biodiesel. Hauptproduzenten sind Länder, die in den letzten Jahren verstärkt auf die Nutzung dieser GV-Pflanzen setzen: die USA und Kanada sowie südamerikanische Länder, wie z. B. Argentinien.

In Brasilien werden bedeutende Mengen an Biodiesel (H-BIO genannt) hergestellt und dem konventionellen Dieselmotorkraftstoff zugemischt. Dieser Biodiesel besteht aus einer Mischung aus Pflanzenölen, die auch Öl aus GV-Sojabohnen enthält. Zusätzlich wird Öl aus Baumwoll-, Rhizinus- und Sonnenblumensamen verwendet.

### 4.1.4 Ausblick auf die weitere globale Entwicklung

Zuckerrohr, Mais, Raps und Soja bilden wie beschrieben die 1. Generation der derzeit meistverwendeten Energiepflanzen für die Treibstoffproduktion.

Als 2. Generation der Pflanzen, die für die Produktion von Biotreibstoff eingesetzt werden sollen, werden von der ISAAA speziell hochwüchsige Gräser (Rutenhirse, Elefantengras/Chinaschilf) und schnellwüchsige Bäume (Weiden, Hybridpappeln, Eukalyptus), die reich an Lignozellulose sind, genannt (JAMES 2006). Züchtungsziel ist es, Pflanzen mit einer möglichst positiven Energiebilanz zu erzeugen. Bei der Entwicklung derartiger Nutzpflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion sollen auch markergestützte Züchtung sowie die Herstellung von GV-Pflanzen eingesetzt werden. Andererseits soll auch die Ausbeute der Produktion durch verbesserte Verarbeitungsmethoden gesteigert werden. Zielanbauggebiete für Energiepflanzen sind tropische Regionen, da hier höhere Erträge und geringere Kosten zu erwarten sind.

Die ISAAA sieht die Möglichkeit, durch den Einsatz von gentechnisch veränderten Energiepflanzen die quantitativen und qualitativen Erträge weiter zu erhöhen. Damit besteht die Möglichkeit, die Kosten für Biotreibstoff zu senken und den Mehrpreis gegenüber Benzin und Diesel wettzumachen. Es wird seitens der ISAAA allerdings nicht dargestellt, mit welchen speziellen GV-Kulturen die prognostizierten Ziele erreicht werden können.

Allgemein werden Potenziale hinsichtlich des Beitrags von gentechnischen Veränderungen bei Energiepflanzen der ersten und zweiten Generation in folgenden Bereichen gesehen (ZARRILLI 2008):

- Optimierung der Produktivität der gentechnisch veränderten Kulturarten (Verminderung von Produktionsverlusten, Vereinfachung des landwirtschaftlichen Managements im Pflanzenbau, Erhöhung der Hektarerträge der Kulturen, speziell in Bezug auf die Gesamtbiomasseproduktion):
  - Herbizidtolerante GVOs,
  - Insektenresistente GVOs,
  - Krankheitsresistente GVOs (vor allem virale und Pilzkrankungen).

- Modifikationen der Pflanzenzusammensetzung (Erhöhung der verwertbaren Anteile, inhaltsstoffliche Änderungen, welche die Verwertung erleichtern):
  - Erhöhung der relativen Zucker- und Ölgehalte, bzw. des Zelluloseanteils,
  - Verringerung des Lignozellulose-Anteils.
- Anpassung an abiotische Stressfaktoren und minder geeignete Standorte:
  - Hitze- und Trockentoleranz, Salztoleranz,
  - Anpassung an nährstoffarme Böden.

Neben der gentechnischen Veränderung der Kulturarten, welche zur Biomasseproduktion herangezogen werden, kann Gentechnik aber auch zur Optimierung der Prozesse, mit denen die erzeugte Biomasse verwertet wird, eingesetzt werden:

- Reduktion der Herstellungskosten für Enzyme (z. B. Zellulasen, Hemicellulasen etc.), die bei der Umwandlung von Zellulose und Lignozelluloseanteilen der Biomasse zu fermentierbaren Zuckern eingesetzt werden z. B. durch den Einsatz von GV-Mikroorganismen.
- Erweiterung des Spektrums verwertbarer Biomasse (z. B. Pentosen aus Lignozellulose) durch die Herstellung von GV-Mikroorganismen mit erweiterten fermentativen Fähigkeiten.

Eine Analyse der Patente, die energetische Verwertung von Biomasse betreffend, die von 2006 bis 2007 in den USA erteilt wurden zeigt, dass 110 von 527 Patenten Anwendungen von Gentechnik in der Landwirtschaft betrafen (KAMIS & JOSHI 2008, nach ZARRILLI 2008). Neben Patenten zur Biodiesel-Erzeugung, die rund 55 % ausmachten, folgten Patente mit Bezug zu GV-Energiepflanzen an zweiter Stelle.

Allerdings stehen die Entwicklung von speziellen gentechnisch veränderten Energiepflanzen sowie die Anwendung von Gentechnik für die Verwertung von Biomasse zur Energieerzeugung noch am Anfang. Im Vergleich mit GV-Pflanzen für die Futter- und Lebensmittelerzeugung stehen nur sehr wenige kommerzialisierte oder im Entwicklungsstadium befindliche GV-Pflanzen zur Verfügung.

#### **4.1.5 GV-Pflanzen in den USA im Hinblick auf die Biomasse- und Energieerzeugung**

Die USA sind ein globales Zentrum für die Entwicklung und den Einsatz von GV-Pflanzen (JAMES 2007). Das gilt sowohl für die allgemeine Verwendung als auch für den Einsatz derartiger Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung. Für viele der in den USA verwendeten GV-Pflanzen ist auch um eine Vermarktungsgenehmigung in Europa angesucht worden, bzw. bestehen Absichten, eine Genehmigung in Europa zu beantragen.

Deshalb soll kurz dargestellt werden, welche und wie viele GV-Pflanzen mit Relevanz für die Biomasse- oder Energieerzeugung in den USA vermarktet werden dürfen und wie viele GV-Pflanzen zu Erprobungszwecken angebaut werden (Quelle: APHIS 2008).

Tabelle 7 gibt eine Übersicht der verschiedenen GV-Pflanzen, die in der Biomasse- und Energieerzeugung Anwendung finden können und die zum Inverkehrbringen zugelassen sind bzw. bei denen eine Genehmigung beantragt ist.

*Tabelle 7: Übersicht über die bewilligten „Petitions for deregulated status“ für GV-Pflanzen, mit Relevanz für die Biomasse- und Energieerzeugung (Ges...Gesamtzahl der Petitions, HT...GV-Pflanzen mit Herbizidtoleranz, IR...GV-Pflanzen mit Insektenresistenz).*

<b>Pflanze</b>	<b>Ges.</b>	<b>HT</b>	<b>IR</b>	<b>HT + IR</b>	<b>Andere Merkmale</b>
Mais	25	5	10	6	2 (HT + männliche Sterilität) 1 (Bildung von $\alpha$ -Amylase)
Soja	8	6			2 (veränderter Ölgehalt)
Raps	7	4			2 (HT + männliche Sterilität) 1 (veränderter Ölgehalt)
Kartoffel	5		2		3 (IR + Virusresistenz)
Zuckerrübe	3	3			
Flachs	1				1 (Toleranz gegen Sulfonyl-Harnstoffrückstände)

Seit 1987 wurden in den USA 14.829 Anträge für die Zulassung von GV-Pflanzen für den Erprobungsanbau gestellt, davon 1.026 im Jahr 2007 und 729 bis Ende Juni 2008. Die überwiegende Zahl davon stellten GV-Maislinien (42 % aller Anmeldungen) dar, gefolgt von GV-Sojabohnen (ca. 10 %), GV-Baumwolle und GV-Kartoffel (ca. je 5 %). Für die Biomasse- und Energieerzeugung ebenfalls interessante GV-Pflanzen, wie GV-Raps (ca. 2 % aller Anmeldungen), GV-Zuckerrübe und GV-Pappel (ca. je 1 %) wurden weniger häufig erprobt.

In Bezug auf die transgenen Eigenschaften stellen GV-Pflanzen mit gentechnisch eingebrachten Toleranzen gegen verschiedene Herbizide (insbesondere Totalherbizide) sowie Resistenzen gegen Schadinsekten (z. B. Lepidopteren, Coleopteren) einen Hauptanteil der Notifikationen (ca. 30 % bzw. 25 % aller Anmeldungen). Dahinter folgen GV-Pflanzen mit Resistenzen gegen verschiedene Pflanzenkrankheiten (Virus-, Pilz-, Bakterienresistenz) mit rund 15 % aller Anmeldungen. Speziell für GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung interessante Eigenschaften wie Ertragssteigerung (4 %), Veränderungen im Öl- und Kohlehydratgehalt (3 % bzw. 2 %) und Toleranzen gegen abiotische Umweltbedingungen (Trocken- und Salzstress, 3 %) sowie beispielsweise GV-Pflanzen mit verändertem Ligningehalt (0,5 % aller Anmeldungen) wurden viel seltener erprobt.

Nur sehr wenige GV-Pflanzen sind hauptsächlich für die Energieerzeugung entwickelt worden: Beispiele dafür sind eine für die Verwendung zugelassene GV-Maissorte, die ein alpha-Amylase Transgen enthält und genetisch veränderte schnellwachsende Baumarten, wie GV-Pappeln. Allerdings können die nicht zur Energieerzeugung verwendeten Pflanzenteile bei dem erwähnten GV-Mais zur Futtermittelherstellung genutzt werden. Zellulose aus den insektenresistenten bzw. ligninreduzierten GV-Pappeln kann wiederum auch stofflich verwertet werden.



## **4.2 Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung mit Relevanz für Österreich**

In diesem Kapitel soll eine Darstellung der theoretisch für Österreich verfügbaren bzw. absehbar verfügbaren GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung gegeben werden.

Bedingt durch die notwendige Eignung bestimmter GV-Pflanzen für die klimatischen und sonstigen Anbaugegebenheiten, sind nicht alle der auf globaler Ebene für die Biomasse- und Energieproduktion verwendeten Pflanzen für die Anwendung in Österreich relevant. Es werden daher bei der nachfolgenden Analyse nur jene Nutzpflanzen behandelt, die grundsätzlich für die österreichischen Verhältnisse geeignet und auch in den beschriebenen Prognosen im Rahmen des Österreichischen Biomasseaktionsplanes berücksichtigt wurden (INDINGER et al.2006).

Aus rechtlichen Gründen kann die Verwendung von GV-Pflanzen in Österreich nur dann erfolgen, wenn diese bereits in der EU zugelassenen GV-Pflanzen entsprechen. Deshalb wird anschließend ein Überblick über die auf EU-Ebene für die Verwendung zugelassenen bzw. für eine Verwendung beantragten GV-Pflanzen – mit potenzieller Eignung als Energiepflanzen oder als Ausgangsmaterial für die Biomasseproduktion zu industriellen Zwecken – gegeben. In die Analyse aufgenommen werden darüber hinaus jene GV-Pflanzen, für die in Mitgliedstaaten der EU die absichtliche Freisetzung zu Forschungszwecken beantragt wurde (Anträge nach Abschnitt B der Richtlinie 2001/18/EG).

### **4.2.1 Züchtungsvorhaben für GV-Pflanzen zur Energieerzeugung in Deutschland**

Züchtung mittels gentechnischer Methoden findet in Europa – verglichen mit den diesbezüglichen Anstrengungen in Nordamerika und China – nur in sehr eingeschränktem Ausmaß statt.

Eine kürzlich in Deutschland durchgeführte Untersuchung zu nationalen Züchtungsvorhaben für gentechnisch veränderte Energiepflanzen (beschrieben in SCHORLING et al. 2009) ist in mehrfacher Hinsicht auch für Österreich relevant. Deutschland ist ein Standort innerhalb der EU mit relativ vielen Einrichtungen und Unternehmen, die sich mit Pflanzenzüchtung und auch der Entwicklung von Nutzpflanzensorten für die Anwendung in Deutschland bzw. Mitteleuropa beschäftigen. Zudem ist Deutschland eines der Zentren für biotechnologische Forschung in der EU und deutsche Forschungseinrichtungen und Unternehmen sind in vielfältiger Weise in die Entwicklung von GV-Pflanzen für die Anwendung in der Landwirtschaft involviert.

In der genannten Studie wurde auch untersucht, welche Optionen bei der Züchtung von Nutzpflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung berücksichtigt werden und welche Züchtungsvorhaben für GV-Pflanzen von in Deutschland verfolgt werden. Nach Auffassung der AutorInnen der Untersuchung geben die Ergebnisse der Recherche auch Aufschluss darüber, welche Züchtungsansätze seitens der EntwicklerInnen als vielversprechend eingeschätzt werden. Diese Einschätzung berücksichtigt Faktoren, wie die in Deutschland ebenfalls geringe Akzeptanz in Bezug auf die landwirtschaftliche Anwendung von GV-Pflanzen und Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft, die in ähnlicher Weise wie in Österreich diskutiert werden.

Die Ergebnisse der Untersuchung belegen, dass unter den öffentlich geförderten Projekten zur Verbesserung der Eignung pflanzlicher Rohstoffe als Energieträger nur bei sehr wenigen Projekten gentechnische Methoden zur Züchtung spezieller Energiepflanzen zum Einsatz kamen. Ein überwiegender Teil der Forschungsprojekte, die sich mit den Grundlagen der Entwicklung von Energiepflanzen sowie speziellen Zuchtprojekten befassten, war dem Bereich der konventionellen Züchtung zugeordnet.

Mit Förderungen unterstützt wurde nur eine geringe Zahl an Projekten zur Entwicklung und Evaluierung von GV-Pflanzen (insbesondere bei Raps und Kartoffel), die zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe herangezogen werden sollen (z. B. veränderte Stärke- oder Fettsäurezusammensetzung für die chemische Industrie).

Auf EU-Ebene werden im 7. Rahmenprogramm vor allem Projekte zur energetischen Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse gefördert. Dazu zählen neben Rest- und Abfallstoffen insbesondere schnell wachsende Gehölze. Gezielte Züchtungsansätze zur energetischen Nutzung schnell wachsender Gehölze werden aber weder in Deutschland noch in der EU mit öffentlichen Mitteln gefördert. Es gibt allerdings neben der privatwirtschaftlichen Entwicklung einzelne Projekte zur Untersuchung gentechnisch veränderter Baumarten zur Sicherheitsforschung sowie zur Entwicklung von schwermetallresistenten Pappeln für kontaminierte Standorte (SCHORLING et al. 2009).

Eine bei Unternehmen und Forschungseinrichtungen durchgeführte Umfrage zeigte, dass die Entwicklung von GV-Energiepflanzen im Vergleich mit den konventionellen Züchtungsanstrengungen für spezielle Energiepflanzen ebenfalls untergeordnete Bedeutung hat (SCHORLING et al. 2009). Die nachstehende Tabelle 8 fasst die im Rahmen der Umfrage genannten Züchtungsprojekte für verschiedene GV-Pflanzen zusammen.

*Tabelle 8: Züchtungsziele für die Entwicklung von GV-Pflanzen mit Relevanz für die Energieerzeugung in Deutschland (nach SCHORLING et al. 2009). In Klammern ist die Zahl der Projekte angegeben, wenn mehr als eine Nennung erfolgte.*

<b>Pflanzenarten</b>	<b>Ertragssteigerung</b>	<b>Ertragssicherung</b>
Mais		Insektenresistenz (3) Herbizidtoleranz (2)
Raps	Kornertrag (2) Erhöhung Ölgehalt (2), Verringerung Proteingehalt Fettsäure-Modifikation, Fettsäure-Qualität, Sinapin-Reduktion	Trockentoleranz, Kältetoleranz, Insektenresistenz Herbizidtoleranz
Zuckerrübe	Erhöhung Zuckergehalt	Herbizidtoleranz Virusresistenz Pilzresistenz

Die Entwicklung von GV-Pflanzen wird zurzeit überwiegend mit dem Ziel der Ertragssicherung durch Resistenzen und Toleranzen und nur selten zur direkten Ertragssteigerung und Veränderung der wertbestimmenden Inhaltsstoffe betrieben. Dabei steht aber nicht die Eignung der GV-Pflanze als Energiepflanze im Vordergrund – viele dieser Sorten wurden im Hinblick auf die stoffliche Nutzung bestimmter Inhaltsstoffe (speziell Öle, Zucker) entwickelt.

Für die Züchtung stellt die Entwicklung von GV-Pflanzen eine Ergänzung konventioneller Zuchtverfahren dar, die vor allem dann eingesetzt werden, wenn Züchtungsziele nicht anders realisiert werden können. Die befragten ZüchterInnen gaben allerdings häufig an, dass ihrer Meinung nach konventionelle Züchtungsansätze bei Energiepflanzen ausreichen – teilweise sogar besser geeignet sind als gentechnische Verfahren.

Zusammenfassend belegen die Ergebnisse der Untersuchung in Deutschland, dass Energiepflanzen hauptsächlich mit konventionellen Züchtungsansätzen entwickelt werden.

Außerdem zeigen die Ergebnisse der Recherche, dass zumeist Merkmale in die genannten GV-Pflanzen eingeführt wurden, die nicht spezifisch die Verwendung als Energiepflanze betreffen. Die am häufigsten genannten Merkmale wie Herbizidtoleranz und Insektenresistenz werden in gleicher Form auch bei GV-Pflanzen eingesetzt, die hauptsächlich für die Lebens- und Futtermittelherstellung entwickelt wurden. Viele der angeführten GV-Pflanzen mit veränderter inhaltstofflicher Zusammensetzung wurden primär für die stoffliche Nutzung entwickelt. Dabei sind vor allem folgende Züchtungsziele bei Kartoffeln bzw. Ölpflanzen relevant:

- Modifizierte Stärkezusammensetzung (bei Kartoffeln),
- modifizierte Fettsäurezusammensetzung (bei Ölpflanzen).

Als Beispiel für eine spezifisch für Zwecke der Energieerzeugung entwickelte GV-Pflanze ist eine GV-Maislinie zu nennen, die als Transgen eine hitzestabile alpha-Amylase enthält, welche die ersten Schritte der Ethanolherstellung (Stärkeverzuckerung) effizienter machen soll (GV Mais 3272 der Firma Syngenta).

Nutzpflanzenarten, die nicht für die Lebens- und Futtermittelherstellung geeignet sind, wurden ebenfalls nur in wenigen Fällen (z. B. GV-Pappeln) mit gentechnischen Methoden züchterisch bearbeitet.

#### **4.2.2 Zugelassene und für die Verwendung beantragte GV-Pflanzen in der Europäischen Union**

Gemäß den Vorschriften in der Europäischen Union und Österreich dürfen GV-Pflanzen nur nach dem Erteilen einer Genehmigung absichtlich freigesetzt werden bzw. als GVO oder als daraus hergestelltes GV-Produkt (z. B. als Lebens- und Futtermittel) verwendet werden.

Zulassungen für diese Verwendungen werden auf EU-Ebene derzeit auf Basis der Freisetzungsrichtlinie (RL 2001/18/EG) für die absichtliche Freisetzung und das Inverkehrbringen von GV-Pflanzen bzw. der Verordnung (EG) 1829/2003 für Zwecke, die eine Verwendung als Lebens- und Futtermittel einschließen, erteilt.

Auch für die Biomasse- und Energieproduktion können GV-Pflanzen nur verwendet werden, wenn entsprechende Zulassungen erteilt wurden.

Die im Folgenden dargestellte Übersicht über die GV-Pflanzen, für die eine Zulassung zum Inverkehrbringen beantragt wurde bzw. für die bereits eine Zulassung erteilt wurde, zeigt daher, welche GV-Pflanzen kurz- oder mittelfristig potenziell für die Biomasse- und Energieproduktion in der EU bzw. in Österreich eingesetzt werden könnten.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung

Darüber hinaus zeigt die Analyse der eingebrachten Anträge für die absichtliche Freisetzung an, welche GV-Pflanzen derzeit im Feld erprobt werden. Bei einem positiven Ergebnis der Erprobung könnte für solche GV-Pflanzen in Zukunft auch die Zulassung zum Inverkehrbringen beantragt werden. Für die Biomasse- und Energieproduktion könnten GV-Pflanzen aus dieser Gruppe – abhängig vom Ausgang des jeweiligen Zulassungsverfahrens – daher mittel- bis langfristig potenziell zum Einsatz kommen.

In der EU ist derzeit eine Reihe von GV-Pflanzen zugelassen, darunter sind allerdings keine, die speziell für die Biomasse- oder Energieerzeugung gezüchtet wurden (siehe Tabelle 9).

*Tabelle 9: Übersicht über in der EU zugelassene GV-Pflanzen (Ges...Gesamtzahl der Zulassungen, HT...GV-Pflanzen mit Herbizidtoleranz, IR...GV-Pflanzen mit Insektenresistenz, I/V...Import, Verarbeitung, LM/FM... Lebensmittel/Futtermittel, Nat. Verbot...Verwendungsverbot in Österreich), Stand Juni 2008.*

Kultur	Zweck	Ges.	HT	IR	HT/IR	andere Merkmale	österreich. Vorschriften
Mais	Anbau	2	1	1			nat. Verbot
Mais	I/V LM/FM	12	3	3	6		
Soja	I/V LM/FM	1	1				
Raps	I/V	2	1			1 (HT + männl. Sterilität)	nat. Verbot
Raps	LM/FM	2	1			1 (HT + männl. Sterilität)	
Zuckerrübe	LM/FM	1	1				
Baumwolle	LM/FM	5	1	2	2		

Für einige GV-Pflanzen bestehen noch aufrechte Anträge auf Inverkehrbringen nach der Richtlinie 2001/18/EG. Zusätzlich ist für eine Reihe weiterer GV-Pflanzen die Zulassung gemäß Verordnung (EG) 1829/2003 beantragt und die entsprechenden Verfahren laufen zurzeit. Einige dieser Anträge schließen als Zweck auch den Anbau der entsprechenden GV-Pflanzen ein, die meisten betreffen – wie unten näher beschrieben – allerdings den Import von Produkten (z. B. Ölsaaten und Körnerfrüchte) zu Zwecken der Weiterverarbeitung zu Lebens- und Futtermitteln. Damit wäre auch die Verwendung für Zwecke der Energieerzeugung sowie die **gekoppelte Nutzung** – z. B. für die Energieerzeugung und die Futtermittelproduktion – möglich.

Die beantragten Verwendungszwecke sind in Tabelle 10 angeführt.

Zusätzlich befindet sich eine Vielzahl von GV-Pflanzen im Stadium des Erprobungsanbaus. Für diese GV-Pflanzen wurden Anträge zur Genehmigung von Feldversuchen gemäß Teil B der Richtlinie RL 2001/18/EG in verschiedenen Ländern der EU eingebracht.

Im Folgenden wird für Kulturpflanzen, die für die österreichischen Verhältnisse und Ziele (siehe Kapitel 2) geeignet sind, eine Übersicht über die Anmeldungen von entsprechenden GV-Linien gegeben. GV-Pflanzen, die nicht relevant für die Biomasse- und Energieproduktion sind (wie z. B. GV-Reis, GV-Erbisen, GV-Schnittblumen) werden nicht behandelt.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung

Anträge zur **Zulassung zum Anbau** sind derzeit für GV-Maislinien (8 Anträge), sowie eine GV-Sojabohne und eine GV-Kartoffellinie eingebracht. Davon befinden sich nur zwei Anträge für GV-Mais und ein Antrag für GV-Kartoffeln in einem entscheidungsreifen Stadium, für die anderen Verfahren liegen die entsprechenden Risikoabschätzungsgutachten der EFSA noch nicht vor (siehe Tabelle 10).

Bei GV-Mais handelt es sich ausschließlich um Linien mit eingebrachter Insektenresistenz (IR), Toleranz gegen Herbizidanwendung (HT) oder eine Kombination dieser Eigenschaften (HT/IR). Auch die GV-Sojalinie besitzt eine gentechnisch eingefügte Toleranz gegen Herbizidanwendung. Die GV-Kartoffellinie wurde gentechnisch in ihrer Stärkezusammensetzung verändert und eignet sich primär für die Herstellung industriell genutzter Stärke.

Bei einer potenziellen Verwendung der GV-Mais- und -Sojapflanzen zur Energieerzeugung wäre die Nutzung von Koppelprodukten speziell für die Futterherstellung möglich. Bei der GV-Kartoffel dürfen Restprodukte der Stärkeverarbeitung nur als Düngemittel verwendet werden.

Anträge zur Genehmigung für den **Import zur Weiterverarbeitung** sowie als Lebens- und Futtermittel gibt es für GV-Mais, GV-Raps und GV-Soja (siehe Tabelle 10).

Davon sind für Österreich für die **Biomasse- und Energieproduktion** im Wesentlichen nur GV-Mais und GV-Raps interessant. Hier befinden sich etliche Zulassungsanträge (8 GV-Maislinien, 1 GV-Raps, 1 GV-Zuckerrübe) im Stadium vor einer Entscheidung. Bei diesen GV-Pflanzen handelt es sich ausschließlich um IR-, HT- bzw. HT/IR-Linien, die für die Lebensmittel- und Futterproduktion entwickelt wurden, aber auch für die Energieerzeugung genutzt werden könnten.

Bei den Anträgen auf **Inverkehrbringungen** von GV-Mais (15 Anträge), sowie GV-Soja (3 Anträge) die sich im Prüfungsstadium befinden, sind wiederum die Hauptmenge HT-, IR- oder HT/IR-Linien, nur einzelne Linien enthalten andere gentechnische Veränderungen, die speziell für eine Verwendung der betreffenden GV-Pflanzen für die Energieerzeugung relevant sind.

Da Sojaanbau zur Energiegewinnung in Österreich keine große Relevanz aufweist, ist derzeit vor allem **eine Maislinie** relevant, die gentechnisch verändert wurde und dadurch eine **hitze stabile alpha-Amylase** produziert. Dieses Enzym soll eine Vereinfachung des Stärkeaufschlusses z. B. für die Fermentation des gebildeten Zuckers zu Ethanol bewirken.

Nach einer allfälligen Genehmigung wäre eine EU-rechtliche Basis für die Verwendung dieser GV-Pflanzen für die Biomasseproduktion (speziell GV-Kartoffel), bzw. Energieerzeugung (besonders herbizidtolerante bzw. insektenresistente GV-Mais- bzw. -Rapslinien) gegeben. Neben der Verwertung von Stärke- und Ölanteilen für die Kraftstoffherzeugung könnten die Restprodukte aufgrund der beantragten Verwendungszwecke z. B. als Futtermittelzutaten genutzt werden (gekoppelte Nutzungsweise).

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung

Tabelle 10: Für das Inverkehrbringen beantragte GV-Pflanzen (Ges...Gesamtzahl der Zulassungen, HT...Herbizidtoleranz, IR...Insektenresistenz, I/V...Import, Verarbeitung, LM/FM...Lebensmittel/Futtermittel, F-RL... Freisetzung-Richtlinie 2001/18/EG), Stand April 2008.

Pflanze	Zweck	Ges	HT	IR	HT + IR	Andere Merkmale	Status
Mais	Anbau (F-RL)	2			2		Prüfung beendet
	Anbau	5	1		4		gültiger Antrag
	Anbau	1	1				Antragsprüfung
	I/V, LM/FM	8	1	1	6		Prüfung beendet
	I/V, LM/FM	15		3	9	1 (erh. Aminosäuregehalt) 1 (IR + erh. Aminosäuregeh.) 1 ( $\alpha$ -Amylase)	gültiger Antrag
Raps	I/V, LM/FM	1	1				Prüfung beendet
Kartoffel	Anbau (F-RL)	1				1 veränderte Stärkezusammensetzung	Prüfung beendet
	LM/FM	1				1 (veränderte Stärkezusammensetzung)	Prüfung beendet
Soja	Anbau	1	1				gültiger Antrag
	I/V, LM/FM	1	1				Prüfung beendet
	I/V, LM/FM	2	2			1 (HT + ver. Inhaltsstoffe)	gültiger Antrag
	I/V, LM/FM	1	1				Antragsprüfung
Zuckerrübe	LM/FM	1	1				Prüfung beendet

Eine mittel- bis langfristige Perspektive für die potenzielle Verfügbarkeit von bestimmten GV-Pflanzen zeigt die Analyse der Anmeldungen von GV-Kulturen für **Freisetzungsversuche** auf. Solche Erprobungsversuche sind für alle bisher erwähnten Kulturen beantragt worden, zusätzlich aber auch für weitere Nutzpflanzen (siehe Tabelle 11).

Die meisten der in Feldversuchen erprobten GV-Pflanzen sind zwar wiederum primär für die Lebens- und Futtermittelherstellung entwickelt worden, es finden sich aber auch GV-Pflanzen, die geeignete Eigenschaften für die Energieerzeugung aufweisen.

Dazu zählen GV-Maislinien mit geänderter Stressempfindlichkeit (Trockenstress, verbesserte Stickstoffaufnahme) sowie eine Maislinie mit verringerter Ligninbildung.

Bei GV-Raps sind GV-Linien mit erhöhtem Ölgehalt, bzw. Veränderungen in der Ölzusammensetzung relevant.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung

Tabelle 11: Für Freisetzungsversuche beantragte GV-Pflanzen (Ges...Gesamtzahl der Anträge, HT...Herbizidtoleranz, IR...Insektenresistenz), Stand April 2008.

Pflanze	Ges	HT	IR	HT + IR	Andere Merkmale	Status
Mais	7		2	3	1 (Trockenstress) 1 (HT + frühe Blüte)	genehmigt
	7	1		3	1 (HT + Ligninzusammensetzung) 1 (HT + Stickstoffaufnahme) 1 (HT + erhöhter Amino-säuregehalt)	beantragt
Raps	6	2			2 (veränderte Ölzusammensetzung) 1 (veränderter Ölgehalt) 1 (verringerte Auskreuzung)	genehmigt
Kartoffel	17				2 (Elastinbildung) 1 (Pharmazeutikabildung) 2 (veränderte Stomatadichte) 5 (erhöhte Stärkebildung) 7 (veränderter Kohle-hydratstoffwechsel)	genehmigt
	7				3 (Pilzresistenz) 1 (Nematodenresistenz) 1 (Bakterienresistenz) 1 (verringertes Amylosegehalt) 1 (Pilzresistenz + veränd. Amylopektingehalt)	beantragt
Soja	1	1				genehmigt
Zuckerrübe	2	1			2 (Virusresistenz)	genehmigt
Weizen	2				1 (Pilzresistenz) 1 (erhöhter Proteingehalt)	genehmigt
Weizen	1				1 (erhöhter Proteingehalt)	beantragt
Lein	3				1 (HT + IR + Pilzresistenz) 2 (Ölzusammensetzung)	genehmigt
Lolium (Weidelgras)	1				1 (HT + veränderte Inhaltsstoffe)	genehmigt
Pappel	2				2 (verringerte Ligninsynthese)	beantragt
Triticale	1	1				beantragt
Gerste	1				1 (Entwicklungsveränderung)	beantragt
Futterrübe	1	1				beantragt

Die in Erprobung befindlichen GV-Kartoffeln sind einerseits mit transgenen Resistenzen gegen Pflanzenkrankheiten ausgestattet, andererseits wird eine Reihe von Linien erprobt, die der industriellen Stärkeproduktion dienen sollen. GV-Kartoffeln mit erhöhten Stärkegehalten wären aber auch für die Ethanolgewinnung zur Energieerzeugung von Interesse.

Potenziell relevant für die österreichischen Verhältnisse könnten auch GV-Pflanzen anderer Arten sein, deren Erprobung beantragt wurde (siehe Tabelle 11).

Bis auf eine Linie von GV-Zuckerrüben sind allerdings noch keine Anträge auf Inverkehrbringen für diese GV-Pflanzen gestellt worden. Die Grundlagen für die Analyse der Risikoabschätzung für diese GV-Pflanzen sind damit weniger umfangreich.

Für die Energieerzeugung speziell relevant sind die angeführten GV-Pappel-linien mit verringertem Lignozellulose-Anteil.

Die angeführten GV-Weizensorten mit erhöhtem Proteinanteil im Korn sind nicht speziell für die Energieerzeugung entwickelt worden und sind für eine solche Verwendung auch nicht sinnvoll. Für die anderen Nutzpflanzen ist schwer abschätzbar, ob hier mittelfristig GV-Pflanzen entwickelt und zugelassen werden, die theoretisch für die Energieerzeugung eingesetzt werden könnten.

### 4.2.3 Zugelassene GV-Pflanzen in Österreich

In Österreich sind bislang noch **keine absichtlichen Freisetzungen** von GV-Pflanzen genehmigt und durchgeführt worden. Ebenso wurden in Österreich bei der zuständigen Behörde (derzeit: Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend – BMGFJ) noch **keine Anträge auf Inverkehrbringen** von GV-Pflanzen gemäß dem Österreichischen Gentechnikgesetz, bzw. die Zulassung von GV-Pflanzen als GV-Lebens- und Futtermittel eingebracht.

Grundsätzlich sind in Österreich alle GV-Pflanzen zugelassen, die aufgrund einer Entscheidung auf EU-Ebene in Verkehr gebracht werden dürfen. Für einige der zurzeit auf EU-Ebene zugelassenen GV-Pflanzen bestehen in Österreich allerdings aufrechte **Importverbote**.

Diese betreffen, wie in Tabelle 9 vermerkt ist, zum einen zwei GV-Maislinien (MON810, T25), die EU-weit auch für den Anbau zugelassen sind. In Österreich ist derzeit nur der Import von Maiskörnern dieser Linien zum Zweck der Verarbeitung und zur Produktion von Lebens- und Futtermitteln erlaubt.

Importverbote bestehen daneben für zwei GV-Rapslinien (GT73, Ms8xRf3) und eine weitere GV-Maislinie (MON863) und zwar für den Import von Körnern zur weiteren Verarbeitung in Österreich.

Derzeit ist damit keine Kultivierung von relevanten GV-Pflanzen in Österreich für die Biomasse- und Energieproduktion erlaubt. Auch Import und Verarbeitung von Rapssamen zur Ölgewinnung sind aufgrund der Importverbote nicht möglich (siehe Tabelle 9). In Bezug auf die angeführte GV-Zuckerrübe dürfen nur verarbeitete Produkte zur Lebens- und Futtermittelherstellung importiert werden, die nicht relevant für das Thema dieser Untersuchung sind. Dagegen wäre rechtlich ein Import der autorisierten GV-Maiserzeugnisse (Körner) zur Energieerzeugung möglich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass derzeit in Österreich keine GV-Pflanzen zugelassen sind, die potenziell für die Biomasse- und Energieerzeugung verwendet werden.



### 4.3 Schlussfolgerungen in Bezug auf die aktuelle Entwicklung

Basierend auf der Übersicht über die Zuchtziele für Nutzpflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung (siehe Kapitel 3) sowie dem in vorstehenden Kapitel gegebenen Überblick über potenziell verfügbare oder in Entwicklung befindliche GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Züchtung spezifisch für die Biomasse- und Energieerzeugung maßgeschneiderter Pflanzen steht noch relativ am Anfang. Das betrifft sowohl die konventionelle Züchtung von Energiepflanzen als auch die Entwicklung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung.
- Das Potenzial für konventionelle Züchtung ist bei vielen Nutzpflanzen noch nicht ausgeschöpft. Im Gegenteil zeigen die Informationen aus Deutschland (SCHORLING et al. 2009), dass vielen konventionellen Zuchtprogrammen (allenfalls mit Unterstützung durch molekulare Diagnosetechniken) im Vergleich mit der Herstellung von GV-Pflanzen der Vorzug gegeben wird.
- Die Zuchtziele für Nutzpflanzen, die spezifisch für die Biomasse- und Energieerzeugung sind, sind meist anders gelagert als diejenigen zur Optimierung für die Lebens- und Futtermittelerzeugung. Bei manchen Ansätzen (z. B. Erhöhung der Gesamtbiomasse unter Verzicht auf Fruchtertrag bei Energiemais, Steigerung des Anteils antinutritiver Inhaltsstoffe, wie Erucasäure in Raps, Verringerung des Proteingehalts in Energiegetreide etc.) sind sie sogar gegenläufig.
- Derzeit werden allerdings für die Erzeugung von Biokraftstoffen der ersten Generation (Ethanol, Biodiesel) hauptsächlich Nutzpflanzen verwendet, die für die Lebens- und Futtermittelerzeugung gezüchtet wurden. Diese sind daher nicht speziell für die Energieerzeugung optimiert. In Mitteleuropa werden hauptsächlich Mais, Getreide, Raps und andere Ölfrüchte verwendet. Für Österreich ist neben Mais und Raps auch die Zuckerrübe interessant.
- Die zur Biomasse- und Energieerzeugung verfügbaren GV-Pflanzen sind ebenfalls ursprünglich für Zwecke der Lebens- und Futtermittelerzeugung entwickelt worden. Global sind GV-Mais (für die Ethanolherzeugung) und GV-Soja bzw. GV-Raps (für die Biodieselerzeugung) die wichtigsten GV-Pflanzen (siehe Kapitel 4.1).

Folgende Kategorien von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung können prinzipiell unterschieden werden:

1. GV-Pflanzen, die für die Lebens- und Futtermittelerzeugung entwickelt wurden, aber auch für Zwecke der Energieerzeugung verwendet werden können:
  - GV-Nutzpflanzenarten, die für Verzehr und Verfütterung gezüchtet worden sind.
  - GV-Nutzpflanzenarten, die in der landwirtschaftlichen Produktion Vorteile bringen sollen (Input-Eigenschaften, wie z. B. Herbizidtoleranz, Insekten- und Krankheitsresistenz, andere ertragsichernde Merkmale etc.)
  - GV-Pflanzen mit Output-Eigenschaften, die mit einer Verwendung für die Energieerzeugung kompatibel sind oder harmonisieren (z. B. ertragssteigernde Veränderungen bei wichtigen Komponenten wie bei Ölgehalt und Ölzusammensetzung von Ölpflanzen, Steigerung des Stärke- oder Zuckergehaltes etc.).

2. GV-Pflanzen, die für kombinierte Erzeugung von Futtermitteln sowie Biomasse bzw. Energie genutzt werden sollen:
  - Wurden aus Nutzpflanzenarten entwickelt, die prinzipiell für Verzehr und Verfütterung geeignet sind.
  - Enthalten Merkmale, die eine spezielle Eignung für Biomasse- oder Energieerzeugung bewirken, aber einer kombinierten Nutzung der Reststoffe als Futtermittel nicht entgegenstehen (z. B. Erhöhung der Ölgehalte von Ölpflanzen, Veränderung des Ligninanteils der Biomasse, gentechnische Modifikationen (transgene Enzyme), welche die Verarbeitung zur Energieerzeugung verbessern etc.).
  - Die gentechnischen Veränderungen sollten idealerweise keinen Nachteil für die Verwendung der Restbiomasse als Futtermittel bewirken.
3. GV-Pflanzen, die spezifisch für die Biomasse- und Energieerzeugung entwickelt wurden:
  - Nutzpflanzenarten, die nicht für die Lebens- und Futtermittelherstellung genutzt werden können (z. B. ungenießbare Pflanzen, schnell wachsende Bäume, Energiegräser etc.).
  - Nutzpflanzen, die in einer für die Lebens- und Futtermittelerzeugung abträglichen Weise verändert sein können.
  - Merkmale, die nur für die Biomasse- und Energieerzeugung optimal sind (z. B. Steigerung des Anteils ungenießbarer oder schädlicher Inhaltsstoffe, Ertragssteigerung bei Biomasse zu Lasten der Fruchtentwicklung etc.)

Aus der im vorhergehenden Kapitel 4.2 enthaltenen Übersicht über GV-Pflanzen, die voraussichtlich innerhalb der EU mittelfristig für die Biomasse- und Energieerzeugung verfügbar sein könnten, geht Folgendes hervor:

In der EU wird voraussichtlich mit einiger zeitlicher Verzögerung eine Auswahl von GV-Pflanzen verfügbar sein, die in etwa mit den in Nordamerika eingesetzten bzw. erprobten GV-Pflanzen vergleichbar ist. Abhängig ist diese Voraussage davon, ob die zur Zulassung beantragten GV-Pflanzen die im Vergleich strengere Risikoabschätzung in der EU bestehen können. Eine Vorschau, welche GV-Pflanzen mittelfristig verfügbar sein könnten, ergibt sich aus der Zusammenschau von bestehenden Zulassungen mit den laufenden Verfahren auf Inverkehrbringen (siehe Tabelle 9 und Tabelle 10).

Rund 80 % der Genehmigungsverfahren betreffen **GV-Maislinien**. Jene sieben GV-Maislinien, die für den Anbau notifiziert sind, enthalten Resistenzgene gegen Schadinsekten (auf Basis von Bt-Toxinen) sowie Gene, die Herbizidtoleranz bewirken (überwiegend gegenüber den Totalherbiziden Glyphosat und Glufosinat) oder eine Kombination dieser Merkmale.

Unter allen 31 GV-Maislinien, für die bisher ein Zulassungsverfahren eröffnet wurde, befindet sich eine einzige Linie (GV-Mais 3272, Syngenta), die spezifisch im Hinblick auf die Energiegewinnung modifiziert wurde (siehe Tabelle 10).

Beide in der EU zugelassenen **GV-Rapslinien** (GT73, Ms8xRf3) sind herbizidtolerante Linien, Ms8xRf3 verfügt zudem über ein transgenes System zur Induktion von männlicher Sterilität zur gezielten Produktion von Hybriden (barnase/barstar-System). Eine weitere herbizidtolerante Linie ist für Import, Weiterverarbeitung sowie Lebens- und Futtermittelproduktion notifiziert, in zwei zusätzlichen Feldversuchen wird ebenfalls HT-Raps erprobt. Daneben werden in Feldversuchen Linien mit verändertem Ölgehalt bzw. geänderter

Ölzusammensetzung untersucht. **GV-Soja**, welches in manchen Staaten (insbesondere den USA) häufig zur Biodieselproduktion verwendet wird, hat für österreichische Anbauverhältnisse und damit für die Bioenergieerzeugung eine geringere Relevanz.

Die beschriebenen GV-Pflanzen sind Beispiele der ersten bzw. zweiten oben angeführten Kategorie, d. h. Nutzpflanzenarten, die für die Lebens- und Futtermittelproduktion bzw. für gekoppelte Nutzung entwickelt wurden.

Ein Beispiel für eine GV-Pflanze aus der dritten Kategorie sind **GV-Pappeln**, wie sie in Nordamerika und in wenigen Fällen auch in der EU erprobt werden.

Eine GV-Pflanze, die der Produktion industrieller Rohstoffe dient, aber als stärkehaltige Pflanze auch für die Ethanolherzeugung verwendet wird, stellt die **GV-Kartoffel** mit modifizierter Stärkezusammensetzung dar, die in der EU kurz vor dem Abschluss des Zulassungsverfahrens steht. Weitere GV-Kartoffellinien mit Veränderungen der Stärkezusammensetzung und des Stärkegehalts werden derzeit im Feldversuch in der EU erprobt und könnten mittelfristig ebenfalls für das Inverkehrbringen in Frage kommen.

#### 4.4 Überblick über mögliche weitere Entwicklungen in Bezug auf die Biomasse- und Bioenergieproduktion

Für Anwendungen der 2. Generation der Bioenergieproduktion ist die Realisierung komplexer Züchtungsziele zur Entwicklung geeigneter Biomasserohstoffquellen nötig. Biotechnologische Verfahren, wie z. B. der mögliche Einsatz von GVO, werden als eines der Mittel zur Erreichung dieser Ziele genannt (HAMILTON 2007), neben Genomforschung und Marker-gestützten Züchtungsverfahren.

Die Nutzung von Erkenntnissen aus der Genomforschung von Energiepflanzen (z. B. Pappel, Mais, Soja, *Miscanthus*, Ölpalme, Eukalyptus u. a) und Modellpflanzen für die pflanzenphysiologische Forschung (z. B. die Schaumkresse *Arabidopsis*, Reis etc.) kann zu gezielteren Zuchtansätzen führen (KINTISCH 2008, RUBIN 2008). Genomforschungsprojekte mit Relevanz für die Bioenergieerzeugung werden in den nächsten fünf Jahren schwerpunktartig durch Förderungen des US-Landwirtschafts- und Energieministeriums unterstützt. Dazu wurden in den USA unter anderem drei neue Forschungszentren gegründet und die Kooperation mit bestehenden Forschungseinrichtungen verstärkt (KINTISCH 2008, ISAAA 2008). Erkenntnisse aus solchen Programmen sollen sowohl für die konventionelle Züchtung von Energiepflanzen als auch für die Herstellung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Bioenergieproduktion genutzt werden.

Daneben wird in der Anwendung molekularbiologischer Analytik zur Identifikation der Gene von quantitativen Merkmalen (bzw. ihrer genetischen Lokalisierung) ein Hilfsmittel gesehen, den Prozess der Herstellung verbesserter Energiepflanzensorten erheblich zu beschleunigen. Die Züchtungsgeschwindigkeit ist angesichts des Entwicklungsstandes bei Energiepflanzen und dem Zeitdruck für die Herstellung verbesserter Sorten ein wesentlicher Faktor. Die Anwendung dieser Techniken führt dabei nicht direkt zur Erzeugung von gentechnisch veränderten Organismen. Mit dieser Methode identifizierte Gene können aber auch zur Herstellung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Bioenergieproduktion

genutzt werden (TAKEDA & MATSUOKA 2008). Andererseits können die Ergebnisse zur Beschleunigung der konventionellen Züchtung bei der Herstellung neuer Energiepflanzen größere Bedeutung erlangen (RUBIN 2008). Diese Marker-gestützte Züchtung zieht allerdings einen erheblichen methodischen Aufwand nach sich und ist in diesem Fall auf Eigenschaften beschränkt, die sich im Züchtungspool einer bestimmten Nutzpflanzenart finden.

In Bezug auf den zukünftigen Einsatz von GVOs für die Biomasse- und Bioenergieproduktion werden vor allem zwei Anwendungsgebiete hervorgehoben: Diskutiert wird sowohl ein Beitrag für die Verbesserung der Nutzpflanzen für die Rohstoffherzeugung, als auch ein Einsatz von GVOs im Rahmen der Verarbeitungsprozesse, d. h. des Aufschlusses der Rohbiomasse und der Umwandlung in Energieträger (HAMILTON 2007). In diesem Fall stehen aber **GV-Mikroorganismen** im Fokus der Entwicklung.

Wesentliche generelle Ziele bei der Verbesserung der Nutzpflanzen für die Biomasse- und Bioenergieproduktion sind nach HAMILTON (2007):

- Hoher Flächenertrag und hohe Energiedichte,
- niedriger agronomischer Aufwand bei der Kultivierung (geringer Aufwand für Anbau, Pflanzenschutz, Düngung, Ernte),
- Möglichkeit des Anbaus auf minder geeigneten Standorten (Anpassung an schlechte oder trockene Böden),
- verbesserte Verarbeitungsfähigkeit.

Für einige dieser Faktoren zeichnen sich potenzielle Wege für die Entwicklung von neuen GV-Pflanzen für den zukünftigen Einsatz in der Biomasse- und Bioenergieproduktion bereits ab. In den folgenden Abschnitten sowie in Kapitel 4.5.5 sind einige dieser Entwicklungen dargestellt.

#### 4.4.1 Entwicklung von GV-Pflanzen mit verbessertem Ertrag

Für gentechnische Ansätze zur Erhöhung des Ertrags von Nutzpflanzen bietet sich – basierend auf den Erkenntnissen über Merkmale, die die Ertragsstärke betreffen – eine Reihe von Möglichkeiten. Bei der Entwicklung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Bioenergieproduktion ist der entscheidende Faktor die gebildete Biomasse pro Anbaufläche (Ertragsdichte) (HAMILTON 2007).

Generell werden die höchsten Erträge für Nutzpflanzen vorausgesagt, die zur Erzeugung von Biokraftstoffen aus Zellulose und Lignozellulose optimal geeignet sind. Im Hinblick auf die Erzeugung von Ethanol aus Biomasse ist zudem die Erleichterung des Aufschlusses der gebildeten Biomasse zu fermentierbaren Zuckern ein Faktor von hoher (ökonomischer) Bedeutung (LYND et al. 2008).

Derartige Nutzpflanzen weisen zumeist – verglichen mit Arten, die schon lange zur Lebens- und Futtermittelerzeugung eingesetzt werden – mehrere Nachteile auf (STICKLEN 2008):

- Erstens werden sie zum Teil noch nicht lange und intensiv züchterisch bearbeitet und wesentliche Grundlagen für die Erzeugung von Sorten mit höherem Ertrag und erwünschten agronomischen Anpassungen sind daher nicht in vergleichbarem Ausmaß vorhanden.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung

- Zweitens ist bei den meisten dieser Arten auch das Wissen hinsichtlich der genetischen Grundlagen (insbesondere hinsichtlich Kartierung von Eigenschaften und Identifikation der entsprechenden Gene) geringer.
- Drittens sind die Methoden zur Erzeugung von GV-Pflanzen aus Arten, die für die zukünftige Biomasse- und Bioenergieproduktion potenzielle Vorteile aufweisen (z. B. *Miscanthus*, Rutenhirse etc.) vielfach weniger entwickelt bzw. anwendbar als bei Nutzpflanzen für die Lebens- und Futtermittelerzeugung.

Die meisten der angeführten Entwicklungen sind daher noch im Stadium der Grundlagenforschung. Bei einigen GV-Pflanzen werden Untersuchungen durchgeführt, die die Effizienz der Ansätze nachweisen sollen (Proof of concept).

Bei Mais konnte gezeigt werden, dass die Überexpression des primären Enzyms für die CO<sub>2</sub>-Fixierung (Phosphoenolpyruvat-Carboxylase, PEPC) zu einer Ertragssteigerung führt. Arbeiten an der Modellpflanze Tabak zeigten, dass auch die Erhöhung der Mengen von nachgeordneten Enzymen aus dem Stoffwechselkreislauf zur Zuckerbildung aus fixiertem CO<sub>2</sub> (Calvinzyklus) zur Erhöhung der Trockenmassebildung führten (Übersicht in: TORNEY et al. 2007). In Bezug auf die Stärkebildungsrate zeigten Untersuchungen an Reis und Weizen, dass die Erhöhung der Expression des geschwindigkeitsbestimmenden Enzyms für die Stärkebildung (der ADP-Glucose-Phosphorylase, AGB) zu einer Erhöhung der Biomassebildung und des Samengewichts führte (nach TORNEY et al. 2007).

Wesentliche Fragen, wie die genaue Wirkungsweise dieser Veränderungen und möglicher nachteiliger Wirkungen auf die Pflanzen, die vor der Umsetzung dieser Konzepte geklärt werden müssen, sind freilich noch offen. Vor einer Entwicklung marktfähiger GV-Pflanzen müssen diese Punkte noch weiter untersucht werden (STICKLEN 2008).

Auch die Erforschung anderer Ansätze zur Herstellung ertragsstärkerer GV-Pflanzen, wie Eingriffe in den Pflanzenhormonstoffwechsel (z. B. Erniedrigung der Brassicosteroidmenge in transgenem Reis, bzw. Erhöhung der Gibberellinmenge in transgenen Pappeln) steht noch am Anfang (TORNEY et al. 2007, STICKLEN 2008).

Die rasche Entwicklung der Genomforschung und die Möglichkeit zukünftig große Mengen an Kandidatengenen funktionell zu untersuchen, könnte die Entwicklung auf diesem Gebiet beschleunigen. Das Vorliegen der Sequenzdaten für das gesamte Genom der Pappel und die Vergleichsmöglichkeiten mit den ebenfalls bereits verfügbaren Totalsequenzen für *Arabidopsis* und Reis kann in diesem Sinn positive Auswirkungen haben (RUBIN 2008).

Trotz der methodischen Weiterentwicklung sind allerdings Eingriffe in Ertragsparameter (z. B. Wuchsform, Biomasseverteilung, Anpassung an Umgebungstemperaturen und Tageslichtlängen) weiterhin komplexe Unternehmen und die zugrundeliegenden Prozesse noch nicht gut aufgeklärt (STICKLEN 2008). Prognosen zu den Erfolgswahrscheinlichkeiten und der Geschwindigkeit von Entwicklungen auf diesem Gebiet sind daher nur schwer möglich.

## 4.4.2 Entwicklung von GV-Pflanzen mit verbesserter Stresstoleranz

### 4.4.2.1 Toleranz gegen Trockenstress

Ein wesentlicher Faktor, der die Erzeugung von Pflanzenbiomasse beeinflusst, ist die Wirkung von abiotischen Stressfaktoren, wie z. B. Trockenheit. Angesichts der in Zukunft geringer werdenden Wassermengen, die für die Landwirtschaft zur Verfügung stehen, gilt daher die Entwicklung von trockenstresstoleranten Nutzpflanzensorten als wesentliche Herausforderung, speziell für landwirtschaftliche Flächen in Entwicklungsländern, die unter Wassermangel leiden.

Die Entwicklung trockenstresstoleranter GV-Pflanzen wird allerdings dadurch erschwert, dass es sich dabei um eine sehr komplexe Eigenschaft handelt, die auf dem Zusammenwirken von unterschiedlichen Faktoren beruht und demnach nicht so einfach zu erreichen ist, wie Toleranzen gegenüber Herbiziden oder Schadinsekten.

Ein wesentlicher Teil der Forschung und Entwicklung, wie z. B. Identifikation und Untersuchung von (Regulator-)Genen, die die Trockenresistenz erhöhen, erfolgt derzeit noch in Modellpflanzen, wie *Arabidopsis* oder Tabak (PENNISI 2008, MARRIS 2008). Im Stadium der Entwicklung befindet sich eine ganze Reihe von Projekten, die auf der Identifikation und der gentechnischen Veränderung unterschiedlicher Zielgene in verschiedenen Pflanzenarten (unter anderem Raps, Reis, Gerste und Weizen) beruhen (PENNISI 2008; TAKEDA & MATSUOKA 2008). Beispiele für derartige Zielgene sind z. B. Transkriptionsfaktoren, wie der Mais-Transkriptionsfaktor NFYB2, dessen Überexpression die Toleranz gegen abiotischen Stress erhöht. Daneben wird auch versucht die Gene, welche für die Wurzelarchitektur (z. B. das root-ABA1 Merkmal in Mais) und für die verzögerte Blattsenesenz (z. B. Gene der Stg 1-4 Loci bei der Hirse *Sorghum*) verantwortlich sind zu identifizieren und gezielt zu beeinflussen (Übersicht in TAKEDA & MATSUOKA 2008).

Die meisten Projekte sind allerdings noch nicht in landwirtschaftlich nutzbaren Sorten verwirklicht, sondern dienen derzeit dem Nachweis, dass die Konzepte tauglich für die Weiterentwicklung sind. Die erzeugten GV-Sorten sollen bei genügender Wasserversorgung die gleichen Erträge wie derzeit verwendete Sorten liefern. Landwirtschaftlich unerwünschte Nebeneffekte, wie sie bei natürlich auftretenden Anpassungen an Trockenstress vorkommen (Abbruch der Samenentwicklung, Ertragseinbußen, erhöhte Pollenproduktion anstelle von Fruchtbildung, Blattabwurf), sollen jedoch durch die gentechnischen Veränderungen nicht ausgelöst werden (MARRIS 2008).

Erst einige Entwicklungen in relevanten Kulturarten sind so weit gediehen, dass sie kurz vor der Zulassungsprüfung stehen, wie z. B. zwei von Monsanto entwickelte trockenstresstolerante GV-Maislinien (MARRIS 2008). Damit können erste marktfähige Produkte frühestens ca. ab dem Jahr 2015 zum Einsatz kommen.

Es ist auch zu erwarten, dass sich aus den derzeitigen Forschungen hinsichtlich der Grundlagen für Trockentoleranz weitere potenzielle Ansätze für die Entwicklung von trockenstresstoleranten GV-Pflanzen ergeben werden. Inwieweit diese mit den ersten Entwicklungen wie oben beschrieben kombinierbar sind, um die Effizienz zu erhöhen, kann derzeit noch nicht realistisch abgeschätzt werden.

Wie trockenolerantere GV-Pflanzen mit der Entwicklung von veränderten landwirtschaftlichen Techniken, die auf eine Anpassung an Wasserknappheit ausgerichtet sind, zusammenwirken können ist bislang nicht geklärt. Solche Maßnahmen sind aber besonders bedeutsam für die Hebung des Ertragsniveaus landwirtschaftlicher Kulturen in Entwicklungsländern. Trotzdem werden solche Ansätze derzeit weniger stark unterstützt als biotechnologische Lösungen.

Vor diesem Hintergrund kam das „International Assessment of Agricultural Science and Technology“ in seinem Bericht zur weiteren Entwicklung der Landwirtschaft in Entwicklungsländern zum kontroversiellen Schluss, dass GV-Pflanzen anderen Lösungsansätzen nicht überlegen sind (nach: MARRIS 2008).

#### 4.4.2.2 Toleranzen gegen Salzstress

Gleichfalls erst im Forschungs- und Entwicklungsstadium sind GV-Pflanzen mit erhöhter Toleranz gegenüber Salzstress. Auch in diesem Sektor müssen viele der in letzter Zeit gefundenen genetischen Merkmalsloci noch im Detail untersucht und die für bestimmte Effekte verantwortlichen Gene identifiziert werden. Genauso wie bei der Herstellung von GV-Pflanzen mit gesteigerter Trockenoleranz muss außerdem geklärt werden, wie das Zusammenspiel der vielen involvierten Gene funktioniert, damit für die Herstellung von GV-Pflanzen sinnvolle Kombinationen der verschiedenen identifizierten Gene verwendet werden können. Für die praktische Anwendbarkeit muss zudem die Genaktivität der transferierten Gene aufeinander und auf Klima und andere lokalen Gegebenheiten abgestimmt sein (TAKEDA & MATSUOKA 2008). Es ist daher nicht zu erwarten, dass derartige GV-Pflanzen kurzfristig zur Verfügung stehen werden.

#### 4.4.3 Erhöhung der Stickstoffverwertungseffizienz

Nutzpflanzen wie z. B. Mais und Weizen sind für das Erzielen hoher Erträge auf eine ausreichende Versorgung mit Stickstoff angewiesen. Das führt dazu, dass hohe Mengen an Stickstoffdünger beim intensiven Anbau dieser Kulturen verwendet werden müssen. Insgesamt wird weltweit ein Einsatz von annähernd 100 Mio. t Stickstoffdünger für die Jahre 2010–2011 vorausgesagt (ARCADIA 2008). Da weniger als die Hälfte des eingesetzten Düngers von den Kulturen aufgenommen und verwertet werden kann, führt die Düngung zu einem erheblichen Aufwand für die Landwirtschaft. In weiterer Folge kommt es zu unerwünschten Umwelteffekten, wie der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser sowie zu erheblichen Emissionen von Treibhausgasen (insbesondere N<sub>2</sub>O). Die Untersuchung der Aufnahme und Verwertung von Stickstoff in Nutzpflanzen ist daher auch ein wichtiger Fokus für die Entwicklung von verbesserten Nutzpflanzensorten für die Biomasse- und Bioenergieproduktion. Obwohl die zugrundeliegenden Mechanismen komplex sind (AZEVEDO 2006, 2007), wird an der Verbesserung der Verwertungseigenschaften für Stickstoffdünger mit traditionellen und gentechnischen Züchtungsverfahren intensiv gearbeitet.

Erkenntnisse für die Züchtung stickstoffeffizienter GV-Pflanzen wurden z. B. aus Untersuchungen von Modellpflanzen (wie *Arabidopsis* und Tabak) und Reis gewonnen (HIREL et al. 2007, CHO et al. 2007). Mit transgenem Raps mit verbesserten Stickstoffverwertungseigenschaften wurden bereits Feldversuche durchgeführt und evaluiert (STRANGE et al. 2008). Die Erkenntnisse sollen in weiterer

Folge zur Entwicklung von Mais, Weizen und Gerste mit verbesserten Stickstoffverwertungseigenschaften benutzt werden (ARCADIA 2008). Mit einer Kommerzialisierung von ersten GV-Weizen- und GV-Gerste-Sorten ist nach Aussagen von Entwicklerseite frühestens ab 2015–2016 zu rechnen (CSIRO 2007).

#### **4.5 Mögliche Entwicklung in Bezug auf die Ganzpflanzennutzung für die Biokraftstoff- bzw. Bioenergieproduktion**

Hinsichtlich der weiteren Entwicklung in Bezug auf Bioenergieanwendungen wird vor allem auf die Nutzung von Biomassequellen abgezielt, die nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln für die menschliche Ernährung stehen. Auf der Erzeugung von Biokraftstoffen der zweiten Generation, ausgehend von der Nutzung der gesamten Biomasse liegt der Fokus der kommenden Entwicklung.

Für die Ganzpflanzennutzung geeignete Verfahren sind die Herstellung von BtL-(Biomass to Liquid)-Kraftstoff, von Ethanol aus der Zelluloseverwertung (Ceetol) sowie die Erzeugung von Biogas. Zur BtL-Technologie zählt unter anderem das auch für Österreich relevante NExBtL-Verfahren. Die Erzeugung von Biogas sowie die Verfahren der 2. Generation versprechen durch Ganzpflanzennutzung im Wesentlichen höhere Energieerträge pro Hektar, bessere Treibstoffqualität und höhere Einsparungen an Treibhausgasen. Für die Ganzpflanzennutzung steht im Allgemeinen der rasche Zuwachs an kohlenstoffhaltiger Biomasse im Mittelpunkt der Zuchtziele.

##### **4.5.1 Ganzpflanzennutzung bei Biogas**

Zur Produktion von Biogas können sämtliche vergärbaren, organischen Reststoffe (Klärschlamm, Gülle, Mist, Bioabfall und Speisereste), Ganzpflanzen sowie landwirtschaftlich bisher nicht genutzte Pflanzenteile bzw. Pflanzenarten verwendet werden. Weiters kann jegliches kohlenstoffhaltige Substrat für die Biogaserzeugung eingesetzt werden, wobei – wie bei allen Ganzpflanzennutzungen – eine hohe Kohlenstoffdichte wünschenswert ist. Die Biogasausbeute kann durch Vergärung von Fetten erhöht werden: Die Zugabe von 5 % Fett steigert den Output der Anlagen um 15 %. Allerdings ist eine Fettzugabe nur bis zu einem Grenzwert sinnvoll, da sich das Bakteriengleichgewicht im Fermenter sonst verschiebt, der pH-Wert sinkt und die Methanproduktion zum Erliegen kommt. Ligninhaltige Pflanzenteile können im Fermenter nur reduziert umgesetzt werden, da der Ligninanteil schwer verwertbar ist und in der Biogasgülle verbleibt.

Die Züchtungsziele bei Kulturpflanzen für die Vergärung in Biogasanlagen liegen bei raschem Biomassezuwachs, geringen Ligningehalten und eventuell einem gewissen Fettgehalt. Derzeit werden für die Biogasherstellung aus Ackerkulturen v. a. Körnermais, Maissilage, Getreide und Gras (Grünlandgras, Feldfuttergras) genutzt. Ein hohes Potenzial haben auch Grünroggen und *Sorghum*.



#### 4.5.2 Ganzpflanzennutzung bei Biokraftstoffen der 2. Generation

BtL-Kraftstoffe werden in zwei Schritten aus Biomasse hergestellt: Im 1. Verfahrensschritt wird durch Vergasung Synthesegas erzeugt, im 2. Schritt wird daraus Treibstoff synthetisiert. BtL-Kraftstoff kann im Allgemeinen aus fester Biomasse (z. B. Holz oder Stroh) hergestellt werden. Durch die Nutzung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin kann ein relativ hoher Hektarertrag erzielt werden, allerdings gehen durch die thermische Umwandlung 30–60 % der in der Biomasse gespeicherten Energie verloren.

Derzeit gibt es in Österreich keine BtL-Anlage, die OMV plant jedoch den Aufbau einer Anlage mit NExBtL-Technologie, wobei Fette zu Biodiesel verarbeitet werden können. Mit der Inbetriebnahme ist nicht vor 2015 zu rechnen.

Bei der zukünftigen Herstellung so genannter hydrogenierter Pflanzenöle (HVO – hydrogenated vegetable oils, wie bei NExBtL) als Kraftstoffkomponente könnte Palmöl eine wichtige Rolle als Rohstoff spielen. Diese Einschätzung berücksichtigt keine Bewertung der ökologischen und sozialen Auswirkungen der Produktion von Palmöl als Ausgangsstoff für die Kraftstoffherzeugung.

Ethanol, das aus pflanzlichen „Abfällen“ (Stroh, Holzschnitzel, Rutenhirse – *Panicum virgatum* etc.) hergestellt wird, wird als Zellulose-Ethanol (Ceetol) oder Lignozellulose-Ethanol bezeichnet. Wie der herkömmliche Ethanol-Kraftstoff ist er ein Ottokraftstoff, der durch Vergärung von pflanzlichen Abfallstoffen gewonnen werden kann (Bio-Ethanol). Allerdings ist die Entwicklung von Herstellungsprozessen für Lignozellulose-Ethanol Entwicklung noch nicht abgeschlossen.

#### 4.5.3 Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen

Welche Verfahren und welche Technologie sich bei der 2. Generation von Biokraftstoffen letztendlich durchsetzen wird, ist noch nicht klar. Der Wissensstand für die Produktion von BtL bzw. NExBtL und Ceetol wird in nächster Zukunft eine Produktion in größerem Rahmen ermöglichen. Ob diese auch wirtschaftlich ist, wird sich erst nach Inbetriebnahme derartiger Anlagen zeigen.

Die Verwertung von Lignozellulose würde das Rohstoffpotenzial wesentlich erhöhen. Im Allgemeinen ist schnellwachsende Biomasse mit hoher Energiedichte gefragt, die in Österreich bzw. angrenzenden EU-Ländern wachsen kann, um die notwendigen Transportwege gering zu halten.

Auf welche Rohstoffe bei der Ganzpflanzennutzung zurückgegriffen werden wird, lässt sich derzeit nur grob beschreiben, eine Übersicht dazu bietet Tabelle 12.

Tabelle 12: Übersicht über die Nutzungsmöglichkeiten von Ganzpflanzen zur Bioenergieproduktion.

	<b>Biogas</b>	<b>BtL</b>	<b>NExBtL</b>	<b>Ceetol</b>
stoffliche Grundlage für Energieproduktion	Ganzpflanzen, Ernterückstände, organische Reststoffe	Ganzpflanzen aus jeglicher fester Biomasse, großes Potenzial durch Verwertung von Cellulose und Lignin	jegliche Fette (aus Abfallstoffen, landwirtschaftlicher Produktion, ...)	Ganzpflanzen, jegliche feste Biomasse, großes Potenzial durch Verwertung von Cellulose und Lignin
verwendete Biomasse	sämtliche Biomasse	sämtliche Biomasse (auch Lignin)	tierische Öle und Fette, pflanzliche Öle (Palmöl, Rapsöl etc.)	sämtliche Biomasse (auch Lignin)
Züchtungsziele	rascher Zuwachs an Biomasse mit hoher Kohlenstoffdichte, Erhöhung des Fettanteils	rascher Zuwachs an Biomasse mit hoher Kohlenstoffdichte	Erhöhung des Fettanteils	rascher Zuwachs an Biomasse mit hoher Kohlenstoffdichte
Vorteile der Technologie	nasse Biomasse kann verwendet werden, Technologie bereits derzeit verfügbar	Lignin ist verwertbar, hochwertige Produktqualität	hoher Wirkungsgrad, hochwertige Produktqualität	Lignin ist verwertbar, hochwertige Produktqualität
Nachteile der Technologie	Problematik des „Methanschlupfes“ (Methanverlust während der Vergärung)	geringer Wirkungsgrad, Technologie noch nicht vollständig ausgereift	Technologie noch nicht vollständig ausgereift	Technologie noch nicht vollständig ausgereift

#### 4.5.4 Züchtungsziele bei Energiepflanzen für Ganzpflanzennutzung

Die Optimierung von Pflanzen als Energieträger wird in Zukunft eine wichtige Rolle in der Pflanzenzüchtung einnehmen (SCHORLING et al. 2009). In Deutschland werden Energiemais, Energieroggen, Sonnenblume und Energie-Sorghum zur Ganzpflanzennutzung züchterisch optimiert. Die neuen Sorten würden durch die ähnlichen klimatischen Bedingungen auch für den österreichischen Anbau geeignet sein. Die Ziele sind eine rasche Biomassezunahme und eine verkürzte Vegetationszeit der Kulturen, um innerhalb eines Jahres sowohl Haupt- als auch Nebenfrucht mit ausreichender Biomasseproduktion anbauen zu können. Bei Sonnenblume wird eine Steigerung des Ölgehalts für die Biogasnutzung angestrebt, bei Roggen die Verlängerung der Kornfüllungsphase und frühere Reifezeitpunkte (MENTZ 2007). Bei Sorghum-Arten wird an der Erhöhung der Kältetoleranz für den Nebenfruchtanbau gearbeitet (ZACHARIAS 2007). Bei Energiemais wird eine spätere Reifegruppe entwickelt und weitere Eigenschaften werden mittels markergestützter Selektion eingekreuzt. Diese Verfahren werden eingesetzt, um Kurztagsgene aus exotischen Maispopulationen in Energiemaissorten zu integrieren und um die Kälte- und Trockentheits-toleranz bei Mais zu erhöhen (SCHMIDT 2005).

#### 4.5.5 Potenzial von GV-Pflanzen für die Ganzpflanzennutzung

Für die Biokraftstofferzeugung mit Verfahren der 2. Generation werden kurzfristig keine geeigneten GV-Pflanzen mit Eigenschaften, die spezifisch für eine Ganzpflanzennutzung entwickelt wurden, zur Verfügung stehen. In Deutschland werden spezielle Energiepflanzensorten mit Methoden der konventionellen Züchtung unter Verwendung markergestützter Verfahren weiterentwickelt, da

auch mit diesen Methoden noch ein großes Potenzial für die Herstellung verbesserter Sorten besteht. Beispiele dafür sind speziell als Energiepflanzen entwickelte Energiemaissorten (SCHMIDT & KREPS 2007).

Für die zukünftige Entwicklung ist in der Literatur ein Potenzial für die im Folgenden genannten Einsatzmöglichkeiten beschrieben bzw. kann ausgehend von den derzeitigen Entwicklungen angenommen werden:

- Integration etablierter transgener Merkmale (z. B. Herbizidtoleranz, Insektenresistenz) in Energiepflanzensorten.
- Produktion von transgenen Enzymen für die Biomasseverwertung in GV-Pflanzen.
- GV-Pflanzen mit gesteigerter Menge an Zellulose.
- GV-Pflanzen mit verändertem Zellwandaufbau (z. B. reduziertem Ligningehalt).
- GV-Pflanzen, die für die erleichterte Umwandlung in Biokraftstoffe (z. B. Umwandlung von Zellulose in Ethanol) modifiziert sind.

#### **4.5.5.1 Integration etablierter transgener Merkmale in Energiepflanzensorten**

Wahrscheinlich ist, dass in Zukunft transgene Merkmale, die bei GV-Pflanzen zur Lebens- und Futtermittelproduktion etabliert wurden, auch in konventionell gezüchtete Energiepflanzensorten eingebracht werden könnten. Speziell ist das zu erwarten bei Merkmalen wie Herbizidtoleranz oder Insektenresistenz, die aus agronomischer Sicht für die intensive Kultivierung von Energiepflanzen interessant sind.

#### **4.5.5.2 Produktion von transgenen Enzymen für die Biomasseverwertung in GV-Pflanzen**

Für den Aufschluss zellulosehaltiger Biomasse bei der Herstellung von Ethanol ist eine Reihe von Enzymen nötig, um die Zellulose zu vergärbaren Zuckern abzubauen. Derzeit werden solche Enzyme zumeist aus Mikroorganismen gewonnen. Diese Art der Produktion ist allerdings kosten- und energieintensiv. Im Hinblick auf die industrielle Umsetzung der Erzeugung von Ethanol aus zellulosehaltiger Biomasse ist die Verringerung des zusätzlichen Aufwandes zur Enzymherstellung von eminenter praktischer Relevanz. Dies kann einerseits durch die Verbesserung der Produktion und der Enzymwirksamkeit durch Herstellung von GV-Mikroorganismen zur Produktion transgener Zellulasen und anderer Enzyme für den Zelluloseabbau bewirkt werden (PATEL-PREDD 2006, GENECOR 2007). Andererseits könnten zukünftig Enzyme zum Abbau von Zellwandkomponenten auch direkt in GV-Pflanzen erzeugt werden. Damit könnten die benötigten Enzyme in großer Menge und auf ressourcenschonende Art hergestellt werden (STICKLEN 2008). Die Extraktion solcher in GV-Pflanzen erzeugten Enzyme könnte zudem leicht in die Prozesse zur Ethanolproduktion aus zellulosehaltiger Biomasse integriert werden.

Problematische Punkte bei der Enzymproduktion in GV-Pflanzen sind die Maximierung der Menge an exprimierten Enzymprodukten, die Gewährleistung optimaler enzymatischer Aktivität, die wünschenswerte Anreicherung der Enzymprodukte in speziellen Kompartimenten der GV-Pflanzen (und nicht im Zellplas-

ma) sowie Fragen hinsichtlich der Biosicherheit der betreffenden GV-Pflanzen. Vorgeschlagen wird diesbezüglich die Verwendung von gewebspezifischen Promotoren, die verhindern, dass transgene Enzyme z. B. in Samen, Pollen und Wurzeln gebildet werden. Die Integration der Transgene in Plastiden (mittels Chloroplasten-Transformation), um einerseits die Menge an gebildetem Enzym zu erhöhen und um andererseits der Auskreuzung der transgenen Eigenschaften gegenzusteuern ist ebenfalls möglich.

Derzeit ist die Expression relevanter Enzyme (Cellulasen, Hemicellulasen, etc.) vor allem in Pflanzenarten versucht worden, die selbst keine typischen Energiepflanzen sind (z. B. *Arabidopsis*, Tabak, Kartoffel, Alfalfa, Reis). Die Expression einzelner Enzyme ist auch in Gerste und Mais gezeigt worden (Übersicht in: STICKLEN 2008).

Ob die Produktion von relevanten Mengen an verwendbaren Enzymen für die Ethanolproduktion aus zellulosehaltiger Biomasse machbar und sinnvoll ist, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Ebenso liegen hinsichtlich der Risikoabschätzung solcher GV-Pflanzen derzeit noch keine ausreichenden Informationen vor.

#### **4.5.5.3 GV-Pflanzen mit gesteigerter Menge an Zellulose**

Ähnlich wie die Situation bei Ansätzen zur Herstellung von GV-Pflanzen mit gesteigerter Biomassebildung, steht die Entwicklung von GV-Pflanzen mit erhöhten Mengen an verwertbarer Zellulose und Hemizellulose noch am Anfang.

Derzeit liegt für die Manipulation der beteiligten Stoffwechselprozesse noch nicht das nötige Detailverständnis vor. Für die Entwicklung von Grundlagen und möglicher Anwendungen auf diesem Gebiet wurden kürzlich erst große Forschungsprojekte, z. B. seitens BP (British Petroleum), vergeben (STICKLEN 2008).

#### **4.5.5.4 GV-Pflanzen mit verändertem Zellwandaufbau**

Bei der gentechnischen Veränderung der Zellwandzusammensetzung von Energiepflanzen gibt es für mehrere Nutzpflanzenarten erste Entwicklungen und Erkenntnisse, die für eine Weiterentwicklung interessant sein könnten.

Insbesondere die Reduktion des Ligningehalts von Nutzpflanzen steht im Mittelpunkt, da große Mengen an Lignin sowohl bei der Papierherstellung als auch bei der Erzeugung von Ethanol aus Ganzpflanzenbiomasse einen zusätzlichen Prozessaufwand hervorrufen. Obwohl die Ligninbiosynthese einen komplexen Stoffwechselprozess darstellt und im Detail noch nicht ausreichend untersucht ist, wurden erste Ansätze zur Herstellung von GV-Pflanzen mit verringertem Ligningehalt bereits verwirklicht.

Neben GV-Pappeln konnten durch gentechnische Beeinflussung von verschiedenen Genen der Ligninbiosynthese z. B. bei Mais, Alfalfa, Zitterpappel und Tabak genetisch veränderte Linien mit geringerem Ligningehalt erzeugt werden. Eine Studie mit Alfalfa als Modellpflanze zur Untersuchung möglicher Konzepte für die Beeinflussung der Zellwandzusammensetzung hat gezeigt, dass die Änderung von sechs verschiedenen Stoffwechselschritten in der Ligninbiosynthese die Notwendigkeit für die chemische Vorbehandlung von Biomasse zur Ethanolproduktion erheblich reduzieren könnte.

Ähnliche Untersuchungen müssen allerdings erst in typischen Energiepflanzenarten durchgeführt werden, um zu zeigen, wie relevant diese Ergebnisse für die praktische Anwendung in der Energieerzeugung sind (STICKLEN 2008).

Zusätzlich muss geklärt werden, ob eine Reduktion der Ligninmengen in Energiepflanzen mit unerwünschten biologischen Effekten (z. B. auf die strukturelle Integrität, Pathogenabwehr bzw. Veränderungen in Pflanzenmorphologie und Reproduktionseigenschaften) einhergeht. Bei Untersuchungen an GV-Alfalfa und GV-*Arabidopsis* mit verringertem Ligninanteil konnten jedenfalls Effekte wie Zwergwuchs und Änderungen der Blütenblätterfarbe nachgewiesen werden (TORNEY et al. 2007).

Auch zur gentechnischen Beeinflussung der Zelluloseeigenschaften (z. B. hinsichtlich Löslichkeit, enzymatische Angreifbarkeit) gibt es erste Versuche in Modellpflanzen und in in-vitro-Tests, die darauf hindeuten, dass die Menge an löslichen Zellulosebestandteilen gesteigert bzw. an schwerer nutzbarer kristalliner Zellulose gesenkt werden könnte (STICKLEN 2008). Wie bei den oben angeführten Entwicklungen sind die technische Umsetzbarkeit, der Zeithorizont für eine mögliche Entwicklung zur Marktreife sowie das Auftreten von möglichen unerwünschten Effekten noch schwer abschätzbar.

#### **4.5.5.5 GV-Pflanzen, die für die erleichterte Umwandlung in Biokraftstoffe modifiziert sind**

Ein weiteres Anwendungsgebiet im Rahmen der Bioenergieerzeugung könnte darin bestehen, dass die GV-Energiepflanzen selbst transgene Enzyme bilden, die notwendige Abbauprozesse bei der Umwandlung von Biomasse in Kraftstoff katalysieren.

Ein Beispiel für diesen Ansatz stellen experimentelle GV-Maislinien dar, die einzelne heterologe Enzyme für den Zelluloseabbau exprimieren (MICHIGAN STATE UNIVERSITY 2008, TORNEY et al. 2007). Die Schwierigkeit dabei ist, dass die entsprechenden transgenen Enzyme einer spezifischen Regulation unterworfen sein müssen und in spezielle Zellkompartimente (z. B. die Zellvakuole) exportiert werden müssen, um negative Effekte auf die Lebensfähigkeit der GV-Pflanze zu vermeiden. Derzeit ist die Enzymbildungsrate in den GV-Maispflanzen allerdings noch zu gering, um bei der Verarbeitung ganz auf extern zugegebene Enzyme verzichten zu können (STICKLEN 2008).

Ob und wie schnell aus diesen ersten Ansätzen GV-Energiepflanzen für den kommerziellen Einsatz entwickelt werden können ist zurzeit nicht mit Gewissheit absehbar. Noch schwerer ist es derzeit abzuschätzen, wie solche GV-Pflanzen im Vergleich mit anderen technologischen Ansätzen (z. B. Entwicklung und Herstellung von effizienzgesteigerten Enzymen in mikrobiellen Produktionssystemen) ökonomisch und ökologisch abschneiden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es einige Ansätze gibt, GV-Pflanzen für die Ganzpflanzennutzung, insbesondere für die Gewinnung von Ethanol aus zellulosehaltiger Biomasse, zu entwickeln. Allerdings stehen diese Arbeiten noch am Anfang und für die mögliche Entwicklung marktreifer Anwendungen kann noch mit einem erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand gerechnet werden. Es ist zum derzeitigen Zeitpunkt auch äußerst schwer abzuschätzen, welche praktischen Auswirkungen solche GV-Pflanzen auf die weitere

technologische Entwicklung haben könnten. Wenn bestimmte Bioenergietechnologien nicht umgesetzt werden, könnten sich einige der oben beschriebenen Entwicklungen als nicht sinnvoll erweisen.

Zudem sind bei allen experimentellen Anwendungen eventuell unerwünschte Auswirkungen zu berücksichtigen, die bei einem großflächigen Anbau dieser GV-Pflanzen auftreten können. Diese Fragen müssen jeweils in einer vollständigen **Risikoabschätzung** geklärt werden, für die in den meisten Fällen derzeit noch zu wenige Anhaltspunkte vorliegen. Zurzeit gibt es nur für mögliche Anwendungen von GV-Merkmalen, wie sie auch in der Lebensmittel- bzw. Futtermittelproduktion angewendet werden, konkretere Anhaltspunkte für die Risikoabschätzung.

## **5 RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR GV-PFLANZEN ZUR BIOMASSE- UND ENERGIEPRODUKTION**

Im Folgenden soll analysiert werden, welche Anforderungen an die Risikoabschätzung von GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion gestellt werden müssen. Dazu soll grundsätzlich auf ökologische Risiken eingegangen werden, die eine Produktion von Nutzpflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion mit sich bringen. Dargestellt werden soll zudem, welche dieser ökologischen Risiken auch für die Beurteilung von GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion relevant sein können.

Weiters soll beschrieben werden, wie die Risikoabschätzung von GV-Pflanzen, die potenziell zur Biomasse- und Energieproduktion eingesetzt werden könnten, durchgeführt werden soll. Dabei soll auch darauf eingegangen werden, inwieweit die derzeit durchgeführte Risikoabschätzung Bezug auf die speziellen Risiken nimmt, die mit dem Anbau von GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion verbunden sind.

### **5.1 Ökologische Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion von Energiepflanzen und Auswirkungen auf landwirtschaftliche Anbausysteme**

Ein wesentlicher Punkt der Beurteilung von GV-Pflanzen die zur Biomasse- und Energieerzeugung verwendet werden, ist die Abschätzung der ökologischen Auswirkungen beim Anbau. Dies ist im Hinblick auf einen Vergleich mit konventionell gezüchteten Energiepflanzen notwendig und darüber hinaus auch für eine Evaluierung der Nachhaltigkeit des Anbaus bestimmter Energiepflanzen wesentlich.

Wie eine von SCHORLING et al. (2009) erstellte Übersicht belegt, können beim intensiven Anbau von Kulturen für die Biomasse- und Energieerzeugung neben den – auch bei der landwirtschaftlichen Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln auftretenden – Effekten auch zusätzliche Auswirkungen auf Landwirtschaft und Umwelt auftreten. In Ökobilanzansätzen wurden darüber hinaus bei verschiedenen Anbauverfahren für Energiepflanzen zum Teil erhebliche Umweltbelastungen festgestellt (REINHARDT et al. 2006). Der genaue spezifische Beitrag von GV-Pflanzen hinsichtlich dieser Auswirkungen kann allerdings nicht mit Gewissheit angegeben werden (SCHORLING et al. 2009).

Im Folgenden wird auf den Einfluss von einjährigen Kulturen, wie Raps, Mais, Sonnenblume, Weizen, Zuckerrübe und Kartoffel, sowie von mehrjährigen Kulturen (z. B. Pappeln bzw. allgemein Kurzumtriebskulturen) eingegangen.

### 5.1.1 Ökologische Auswirkungen der Kultivierung auf die unbelebte Umwelt

Der Anbau von Nutzpflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung hat eine Reihe von Auswirkungen auf Ökosysteme, die von der Kultivierung vergleichbarer Nutzpflanzen zur Lebensmittel- und Futterproduktion abgeleitet werden können.

Je nach Kulturart und Bewirtschaftungsintensität ist mit Bodenerosion, Bodenverdichtung, Eutrophierung von Biotopen, Belastungen mit Pflanzenschutzmittelwirkstoffen sowie mit Verunreinigungen der Oberflächengewässer und des Grundwassers zu rechnen. Die tatsächliche Größe der jeweiligen Effekte ist abhängig von regionalen Faktoren wie z. B. Standortbedingungen, Art der Bewirtschaftung, Fruchtfolge etc.

Für die Beurteilung der derzeit zur Biomasse- und Energieerzeugung verfügbaren GV-Pflanzen besonders relevant ist der mit der Kultivierung verbundene Einsatz bestimmter **Pflanzenschutzmittel**. Der Anbau von einjährigen Kulturarten (insbesondere Kartoffel, Raps, Mais und Zuckerrübe) bringt je nach Kultur einen verstärkten Pflanzenschutzmittel-Einsatz mit sich. Weizen und Sonnenblume kommen ohne bzw. mit nur geringen Pflanzenschutzmittel-Gaben aus.

Ein Risiko für verstärkte **Erosion** besteht für viele relevante Reihenkulturen, wie Kartoffel, Zuckerrübe, Sonnenblume und Mais. Durch die hohen Reihenabstände und die längeren Phasen, in denen der Boden unbedeckt bleibt, ist der Boden ungeschützt und damit erosionsanfällig. Bei mehrjährigen Kulturen besteht zu Beginn ein erhöhtes Erosionsrisiko.

Die Gefahr der **Bodenverdichtung** ist verstärkt bei allen pflegeintensiven einjährigen Kulturen gegeben, besonders bei Zuckerrübe oder Raps. Für (Silo-)Mais mit der Tendenz zur Monokultur wurden solche Auswirkungen ebenfalls beschrieben (RODE et al. 2005).

Speziell bei einjährigen Kulturen mit großem Nährstoffbedarf und hoher Erosionsneigung ist das Risiko der **Eutrophierung** angrenzender Biotope gegeben. Auch bei Kurzumtrieb-Kulturen, die an Grenzertragsstandorten angebaut werden und gedüngt werden müssen, besteht Eutrophierungsgefahr.

Die Verwendung von größeren Mengen an Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln kann zu einer verstärkten Belastung von **Grund und Oberflächengewässern** führen. Kulturen wie Kartoffel, Zuckerrübe, Raps, Mais und Sonnenblume weisen wegen ihres hohen Nährstoffbedarfs ein höheres Belastungsrisiko auf. Die zusätzliche Produktion von Mais – insbesondere GV-Mais – zur Biomasse- und Energieerzeugung in den für Mais besonders geeigneten Anbaugebieten der USA hat die Stickstoff-Belastung der Flüsse Mississippi und Atchafalaya erhöht und zur Beeinträchtigung des ökologischen Gleichgewichts im Golf von Mexiko beigetragen (DONNER & KUCHARIK 2008).

Zusätzlich ist bei einem verstärkten Anbau wasserzehrender Kulturen wie Kurzumtriebsplantagen oder Mais mit einer negativen Beeinflussung der **Wasserverfügbarkeit**, einer Veränderung des Grundwasserspiegels und der Verringerung der Grundwasserneubildungsrate zu rechnen (SPLECHTNA & GLATZEL 2005, WINKELMANN 2006).

Bei Kulturen mit hohem Wasserbedarf ist besonders auf durchlässigen Böden eine verstärkte Bewässerung notwendig. Damit ist auch mit Veränderungen der Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung in diesen Gebieten zu



rechnen (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 2007). Die Umweltauswirkungen von wasserverbrauchsintensiven Kulturen sind an trockenen Standorten anders zu werten als in niederschlagsreichen Regionen. Gerade für Gebiete, die aufgrund des Klimawandels absehbar unter Wasserknappheit leiden werden, ist eine derartige zusätzliche Belastung der Wasservorräte nicht wünschenswert (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 2007).

### 5.1.2 Auskreuzung und Verbreitung

Die Verbreitung von Nutzpflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion außerhalb der landwirtschaftlich genutzten Flächen ist ein unerwünschter Effekt. Speziell für GV-Pflanzen muss das Risiko einer derartigen Ausbreitung in Betracht gezogen werden, wobei insbesondere die Verdrängung von wild lebenden Arten als ökologischer Schaden eingestuft werden muss. Ebenso unerwünscht ist die Auskreuzung mit wild lebenden Verwandten, die zur Hybridbildung führt. Besonders bei Raps, aber auch bei Rüben, ist das diesbezügliche Risiko höher als bei Nutzpflanzen, die in Österreich keine wild lebenden Verwandten aufweisen wie z. B. Mais.

Insbesondere bei Bäumen ist die Gefahr einer Verbreitung und Auskreuzung aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften als groß einzustufen. Dabei ist sowohl die Verbreitung über Samen als auch die Auskreuzung über transportierten Pollen zu beachten.

Zieht die gentechnische Veränderung eventuell auch eine erhöhte Fitness in natürlichen Ökosystemen nach sich, werden die Bäume konkurrenzstärker und können etablierte Arten verdrängen. Es kann dadurch zu einer Verarmung der Biodiversität und zu Störungen in den jeweiligen Ökosystemen kommen (ANDOW & ZWAHLEN 2006).

Durch Verbreitung von Pollen kommt es zur Auskreuzung und Hybridisierung mit Wildpflanzen. Bäume haben generell ein hohes Auskreuzungspotenzial, da forstlich genutzte Bäume – im Gegensatz zu anderen Kulturpflanzen – meist nicht domestiziert sind, und große Mengen an Pollen produzieren, der durch Windverbreitung über weite Strecken vertragen werden kann. Ein Genfluss von Plantagen in verschiedene Ökosysteme kann kaum verhindert werden (VOGEL 2006).

Ein zusätzliches Risiko besteht dann, wenn der Anbau der gentechnisch veränderten Bäume in relativer Nähe zu den wilden bzw. verwilderten Verwandten erfolgt, und wenn Standorte mit optimalen Wachstumsbedingungen für Energiepflanzen wie GV-Bäume gewählt werden (VAN FRANKENHUYZEN & BEARDMORE 2004).

Bei GV-Bäumen sind außerdem weitere Veränderungen als Folge gentechnischer Veränderungen beschrieben, die eine Erhöhung der Konkurrenzfähigkeit bewirken könnten:

- In Versuchen zeigten Zitterpappeln (*Populus tremula*), deren Lignin-Biosynthese durch ein Gen reduziert wurde, ein stärkeres Wachstum als die wilden Vertreter der gleichen Art. Diese Eigenschaft kann das Eindringen von GV-Pappeln in natürliche Ökosysteme erhöhen (TALUKDER 2006).
- Hybrid-Pappeln, gentechnisch verändert, um verstärkt ein Regulatorgen zur Biosynthese von Gibberellin zu erzeugen, produzierten im Vergleich zu Wildpflanzen mehr und längere Xylemfasern (ERIKSSON et al. 2000).

### 5.1.3 Auswirkungen auf die belebte Umwelt und die Biodiversität

#### 5.1.3.1 Direkte Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung

Direkte Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung sind vor allem dann zu erwarten, wenn die zur Biomasse- und Energieproduktion angebauten Nutzpflanzen spezielle Eigenschaften aufweisen, die nachteilig für exponierte Lebewesen sind.

Als Beispiele können hier insbesondere GV-Pflanzen angeführt werden, bei denen durch Übertragung von Bt-Toxingenen eine Resistenz gegenüber Schadinsekten erzielt wurde. Derartige Kulturen können aber nicht nur auf die entsprechenden Schädlinge Auswirkungen haben, sondern auch nachteilige Effekte auf andere Nicht-Zielorganismen bewirken. Hinweise auf solche nachteiligen Wirkungen sind z. B. für Bt-Mais beschrieben (DOLEZEL et al. 2005).

Insektenresistente Kulturen können auch Auswirkungen auf natürliche Feinde des Schädling haben, gegen den die Pflanze resistent ist. Die Organismengemeinschaften im Boden können ebenfalls geschädigt werden. Einjährige Bt-Pflanzen beeinträchtigen die Bakteriengemeinschaften, die Etablierung von Ektomykorrhiza und verringern die Anzahl der Regenwürmer und die Bodenatmung (CASTALDINI et al. 2005). Negative Auswirkungen werden auch für wasserlebende Organismen beschrieben, die in angrenzenden Gewässern Bt-Toxinen ausgesetzt sein können (zusammengefasst in ECKERSTORFER et al. 2007). Insbesondere bei gewässernah vorkommenden Nutzpflanzenarten, wie z. B. Bt-Pappeln, sind solche Wirkungen zu erwarten.

#### 5.1.3.2 Indirekte Beeinflussung der Biodiversität

Ein nebeneinander stattfindender Anbau einer bestimmten Kultur (z. B. Mais) zur Lebens- und Futtermittelerzeugung und als Energiepflanzen, kann zu einer hohen Schlagdichte dieser Kultur beitragen. Ein derart verstärkter Anbau kann somit zu einer regionalen Dominanz einer einzelnen Nutzpflanzenart und dadurch zu einer weiteren Einschränkung der Biodiversität in der Agrarlandschaft führen.

Daneben können indirekte Effekte durch spezielle Eigenschaften der verwendeten Nutzpflanzen hervorgerufen werden. Für GV-Pflanzen sind in dieser Hinsicht verbreitet eingesetzte Eigenschaften wie Herbizidtoleranz und Insektenresistenz von Bedeutung.

Bei GV-Pflanzen mit gentechnisch vermittelten Toleranzen gegenüber Herbiziden werden entsprechende Effekte durch die Bekämpfung von stark samenbildenden Unkräutern durch die Behandlung mit dem Herbizid ausgelöst. Dadurch kommt es zu einer Verringerung des verfügbaren Nahrungsangebots z. B. für Vogelarten auf den betreffenden Flächen (CHAMBERLAIN et al. 2007, FIRBANK et al. 2003). GV-Pflanzen mit Insektenresistenz, die durch gentechnische Übertragung von Bt-Toxingenen erzeugt wird, können auch indirekt zur Verschiebung der Artenzusammensetzung beitragen (Vermehrung sekundärer Schädlinge, Förderung des Auftretens gegen die Toxinwirkung resistenter Populationen).

Auch die Umstellung von größeren Flächen auf die Kultivierung mehrjähriger Energiepflanzen (z. B. *Miscanthus*, schnell wachsende Bäume) hat Auswirkungen auf die Biodiversität. Diese müssen genau beobachtet werden, da es für solche Umstellungen wenig Vergleichswerte gibt (FIRBANK 2007).

Bäume dominieren oft naturnahe Habitate oder Waldökosysteme und fördern ein Netzwerk an Organismen, die direkt oder indirekt von ihnen abhängen. Baumkulturen mit speziellen Eigenschaften, z. B. auch GV-Bäume, die zur Biomasse- und Energieproduktion dienen, können daher Auswirkungen auf die gesamte Lebensgemeinschaft und das Ökosystem haben.

Schnell wachsende Bäume ermöglichen eine kürzere Umtriebsdauer. Sie limitieren den Unterwuchs und führen damit zu einer Verarmung an wild lebenden Arten.

Unfruchtbare Bäume haben ebenfalls negative Auswirkungen auf die Biodiversität. Pollen, Nektar, Samen und Früchte dienen als Nahrungsquelle für Vögel, Insekten und Säugetiere, sind jedoch bei sterilen Bäumen nicht mehr vorhanden. Populationsdynamiken können nachhaltig verändert werden – mit deutlichen Auswirkungen auf benachbarte Ökosysteme (JOHNSON & KIRBY 2001).

Auch Bäume mit veränderter stofflicher Zusammensetzung, wie sie beispielsweise GV-Bäume mit verringertem Ligningehalt darstellen, können eine Vielzahl von Auswirkungen auf die betroffenen Lebensgemeinschaften haben. Nachdem die quantitative Entfernung der inhaltsstoffveränderten Biomasse durch Ernte der GV-Bäume nicht möglich ist muss von einem Eintrag derartiger Biomasse in das Ökosystem ausgegangen werden. Ein solcher Eintrag ist speziell für mehrjährige Kulturen und insbesondere bei Baumarten, die ein hohes Verbreitungspotenzial aufweisen, wahrscheinlich. Die Bodenfruchtbarkeit und Bodenstruktur würde durch den beschleunigten Abbau der organischen Substanz verändert. Dies könnte die CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöhen und die Kohlenstoff-Festlegung im Boden verringern. Durch einen rascheren Holzabbau würden auch die Organismen, die auf langsam verrottendem Holz leben, negativ beeinflusst (TALUKDER 2006).

#### **5.1.4 Vermehrtes Auftreten von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten**

Es besteht in Regionen, die sich für den Anbau von bestimmten Nutzpflanzen besonders eignen durch die Erhöhung der Schlagdichte auch die Gefahr, dass sich Krankheiten und Schädlinge verstärkt ausbreiten (RODE et al. 2005). Für anfällige Kulturen, wie z. B. Raps oder Zuckerrübe würde eine Umstellung der Fruchtfolge mit einem verstärkten Anbau dieser Kulturen vermehrt zu Pflanzenkrankheiten führen (FIRBANK 2007). Mit einem Auftreten solcher Auswirkungen muss auch bei der Verwendung von herbizidtoleranten GV-Raps- und GV-Zuckerrübenkulturen gerechnet werden.

#### **5.1.5 Effizienz des Anbaus hinsichtlich der Treibhausgasbilanz**

Bei der Bewertung von Energie- und GV-Pflanzen, die für die Energieerzeugung kultiviert werden, sollte die Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) über die ganze Produktionskette bis hin zum Energieprodukt erfasst werden. Erst wenn die Treibhausgasemissionen der gesamten Kette vom Aufwand beim Anbau durch den Landwirt/die Landwirtin bis zur Energiebereitstellung für die Verwendung möglichst umfassend bestimmt sind, kann ein derartiger Vergleich aussagekräftige Ergebnisse bringen.

Neue Berechnungen haben ergeben, dass verschiedene Energiepflanzen – darunter auch Raps und Mais – unter ungünstigen Bedingungen (insbesondere bei starkem Mineraldüngereinsatz) keine positive Nettobilanz bezüglich der THG-Emissionen aufweisen können (CRUTZEN et al. 2007). Insbesondere die Lachgasemissionen beim Anbau sind für diesen Effekt verantwortlich.

### 5.1.6 Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme

Neben den ökologischen Auswirkungen hat die verstärkte Anwendung von Energiepflanzen aber auch Effekte auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme. Genannt werden hier von SCHORLING et al. (2009) beispielsweise:

- Flächenkonkurrenz,
- Umstellung der Fruchtfolgen,
- regionale Konzentration des Anbaus einer bestimmten Kultur.

Für den vermehrten Einsatz von Energiepflanzen in Europa ist von Bedeutung, welche Einschränkung der Flächen, die für die Lebens- und Futtermittelproduktion zur Verfügung stehen, zu erwarten sind. Eine durch den vermehrten Anbau von Energiepflanzen hervorgerufene **Flächenkonkurrenz** kann auch Auswirkungen auf den Anteil der ökologischen Landwirtschaft haben, die im Vergleich zur konventionellen Produktion größere Flächen benötigt. Flächenkonkurrenz besteht aber nicht nur mit der landwirtschaftlichen Lebens- und Futtermittelproduktion, sondern auch mit Stilllegungsflächen und Flächen für den Natur-, Boden- und Hochwasserschutz (SCHÜTZ & BRINGEZU 2006). Stilllegungsflächen sollen auch in Österreich im Jahr 2008 verstärkt für den Anbau von Energiepflanzen verwendet werden (BMLFUW 2008).

Die Verstärkung der regionalen Konzentration bestimmter Kulturen und die Förderung solcher Konzentrationen durch den vermehrten Anbau von Energiepflanzen wurde für Deutschland beschrieben (SCHÖNE 2007). Besonders in Nord- und Westdeutschland wurde der Umbruch von Feuchtgrünland zugunsten des Maisanbaus festgestellt, selbst in ökologisch sensiblen Regionen (Natura 2000-Gebiete). Dadurch können lokal Probleme auftreten, die in Gegenden, in denen keine Konzentration auf bestimmte Kulturen erfolgt, nicht beobachtet werden. Solche Phänomene, die aus bundesweiten Gesamtzahlen nicht ableitbar sind, sollten jedenfalls genauer beobachtet werden. Anbauempfehlungen, die auf Nachhaltigkeitskriterien beruhen, sollten solche Effekte ebenfalls berücksichtigen (VETTER 2007). Diese Vorgangsweise entspricht auch den entsprechenden Empfehlungen des EU-Rates in Bezug auf die Nutzung von GV-Pflanzen. Dort wird ebenfalls auf die Wichtigkeit der Sicherstellung einer nachhaltigen Landnutzung verwiesen (ER 2007).

Speziell hat die Ausrichtung auf den Energiepflanzenanbau in Deutschland zu einer Konzentration und zu großflächigem Anbau von Raps und Mais geführt, obwohl eine Vielzahl alternativer Kulturen zur Energieproduktion geeignet wäre. Als Folge wird eine Abnahme der Sortenvielfalt und traditioneller Sorten befürchtet, was eine Veränderung des Landschaftsbildes und den Verlust von Lebensräumen nach sich ziehen würde (SCHORLING et al. 2009). Gerade beim Energiepflanzenanbau wird offensichtlich bekannten und für einfacher gehaltenen Anbauverfahren mit einer Hauptkultur der Vorzug gegeben (RODE et al. 2005). Ein Mehrfrucht-Anbau mit einer abgestimmten Abfolge von zur Bodenbeschaffenheit und den klimatischen Verhältnissen passenden Kulturarten (z. B. Triticale mit anschließendem Sonnenblumenanbau) hätte gerade für Zwecke der Energieerzeugung gegenüber dem Anbau einer einzelnen Kultur Vorteile.

Die Umstellung auf eine verstärkte Kultivierung von Energiepflanzen wie *Miscanthus* und schnellwüchsigen Bäumen ist an Standorten mit einer ausreichenden Wasserversorgung möglich und hätte Auswirkungen auf Landschaftsbild und Biodiversität, für die noch keine Vergleichswerte vorliegen (FIRBANK 2007).

## **5.2 Grundlagen für die Risikoabschätzung für GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion**

Vor der Zulassung von GV-Pflanzen nach den geltenden EU-Vorschriften (für Details siehe Kapitel 4.3) muss eine verpflichtende (Umwelt-)Risikoabschätzung durchgeführt werden, die der Bewertung von direkten oder indirekten, sofortigen oder späteren Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt dient. Allgemeine Leitlinien für die Risikoabschätzung bei GV-Pflanzen liegen vor (siehe Kapitel 5.2.2). Daneben sind spezifische Leitlinien für die Risikoabschätzung von GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion (sowie andere Verwendungszwecke als für die Lebens- und Futtermittelproduktion) sind in Ausarbeitung.

### **5.2.1 Spezifische Grundlagen zur Risikoabschätzung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion**

Im April 2008 wurde vom wissenschaftlichen Ausschuss der EFSA (European Food Safety Authority) für die Beurteilung von GVOs (GMO Panel) der Entwurf für ein Dokument über die Risikoabschätzung von GVOs, die nicht für die Lebens- und Futtermittelherstellung dienen, veröffentlicht (EFSA 2008). Dieses Dokument ist unter anderem für die Beurteilung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion von Interesse.

Es bezieht sich darüber hinaus auch auf andere Anwendungen, wie z. B. GV-Pflanzen, die für die Produktion von medizinisch oder industriell eingesetzten Inhaltsstoffen bzw. zur Phytoremediation oder der Verbesserung des Landschaftsbildes entwickelt wurden.

Für die Erarbeitung der vorliegenden Vorschläge wurden vom GMO Panel Raps mit hohem Erucasäuregehalt, Pappeln mit verändertem Lignin-Gehalt und Kartoffeln mit veränderter Stärkezusammensetzung untersucht.

Besondere Priorität hat darin eine ausreichende Abschätzung der Risiken von Persistenz und Verbreitung sowie des unbeabsichtigten Genflusses. Allenfalls sollen Maßnahmen zur Begrenzung der unbeabsichtigten Ausbreitung vorgesehen werden, die allerdings im Entwurf im Detail nicht definiert werden.

Der Vorschlag des GMO Panels sieht vergleichbare Anforderungen, wie sie für GV-Pflanzen für die Lebens- und Futtermittelproduktion gelten, auch für GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung vor, wenn diese beabsichtigt (z. B. in Form kombinierter Nutzung) oder unbeabsichtigt als Nahrungs- oder Futtermittel verwendet werden könnten. Das ist z. B. dann der Fall, wenn die gentechnische Veränderung in einer Nutzpflanzenart erfolgt, die auch für die Lebens- und Futtermittelerzeugung eingesetzt wird.

Wesentliche Teile der Anforderungen an die Risikoabschätzung für GV-Lebens- und Futtermittelpflanzen sollen demnach auch für GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion gelten. Das betrifft insbesondere

- die molekulare Charakterisierung,
- die Abschätzung möglicher ökologischer Effekte sowie
- die Untersuchung der inhaltsstofflichen Zusammensetzung.

Bei der Analyse der inhaltsstofflichen Zusammensetzung soll die Auswahl der untersuchten Parameter von Fall zu Fall bestimmt werden. Nur wenn die GV-Pflanze potenziell bei der Produktion von Lebensmitteln verwendet werden könnte, sollen die für Nahrungsmittel geforderten Untersuchungen durchgeführt werden.

In Bezug auf mögliche toxische Effekte wird darauf hingewiesen, dass Expositionswege außerhalb der oralen Exposition (auch durch den unbeabsichtigten Eintrag in die Nahrungskette durch Genfluss oder Vermischung, bzw. unbeabsichtigte Verwendung als Lebens- oder Futtermittel) zu berücksichtigen sind, z. B. inhalatorische oder dermale Aufnahme. Für GV-Pflanzen, bei denen eine orale Exposition nicht zu erwarten ist, soll allerdings eine eingeschränkte Prüfung ausreichen (z. B. keine Bestimmung der oralen Toxizität von Nicht-Protein-Inhaltsstoffen, die durch die gentechnische Veränderung entstehen oder in ihrer Menge verändert auftreten, keine Fütterungstests mit der ganzen GV-Pflanze). Eine Nährstoffbewertung soll nur durchgeführt werden, wenn nach der Abtrennung der Primärprodukte die restliche Biomasse als Futtermittel verwendet werden soll.

Werden potenzielle Risiken bei bestimmten GV-Pflanzen identifiziert, wird eine detaillierte Risikoabschätzung gefordert. Begleitet werden sollen diese Anstrengungen zur Risikoabschätzung von Maßnahmen zum Risikomanagement – wie Aufsichtsprogramme, die vom Antragsteller durchgeführt werden sollen, sowie Maßnahmen zur Begrenzung der Ausbreitung, die unabhängig von Koexistenzmaßnahmen durchgeführt werden sollen. Spezielle Eingrenzungsmaßnahmen werden allerdings nicht explizit genannt, sondern es wird nur auf eine von der zuständigen britischen Behörde herausgegebene Publikation (DUNWELL 2005), bzw. auf die Ergebnisse des EU-Forschungsprogramms „Transcontainer“ verwiesen.

Für GV-Pflanzen auf Basis von Nutzpflanzenarten, die üblicherweise nicht zur Lebens- und Futtermittelerzeugung verwendet werden, soll nach dem bestehenden Entwurf auf bestimmte Untersuchungen, die für GV-Lebens- und Futtermittel vorgeschrieben sind, verzichtet werden können (Nährstoffbewertung, Fütterungstests). Es wird darauf hingewiesen, dass bei solchen GV-Pflanzen andere Umwelt-Risiken auftreten können. Allerdings enthält das Dokument keine konkreten Vorschläge, wie derartige Risiken im Detail abgeschätzt werden sollen.

Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass der vorliegende Vorschlag des GMO Panels zu unspezifische Anforderungen an die Risikoabschätzung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung stellt.

Auch wird im Entwurf nicht genügend auf die für den Anbau von Energiepflanzen allgemein prognostizierten Risiken (siehe Kapitel 5.1) eingegangen. Für die umfassende Beurteilung von GV-Pflanzen wäre es notwendig, bei der Risikoabschätzung zu untersuchen, inwieweit und wie stark Risiken, die generell beim Anbau von Energiepflanzen auftreten können, auch für bestimmte GV-Pflanzen zum Tragen kommen, bzw. welche Risiken darüberhinaus und zusätzlich auftreten.

## 5.2.2 Derzeit geltende Anforderungen an die Risikoabschätzung für GV-Pflanzen

Allgemeine Grundlagen der Risikoabschätzung von GV-Pflanzen werden im Anhang II der Freisetzungsrichtlinie (RL 2001/18/EG) und in den Leitlinien zur Ergänzung des Anhangs II (Entscheidung der europäischen Kommission, 2002/623/EG vom 24.7.2002) bzw. für Verfahren nach der Verordnung (EG) 1829/2003 in Leitlinien der europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA (EFSA 2006) definiert.

In Tabelle 13 ist dargestellt, welche der Anforderungen an die Umwelt-Risikoabschätzung, die in diesen Leitlinien gestellt werden, auch für GV-Pflanzen zur Biomasse und Energieerzeugung relevant sind. Zusätzlich sind Aspekte angeführt, die wichtig für die Risikoabschätzung dieser GV-Pflanzen sind, aber bislang nur in einer dafür ungenügenden Weise berücksichtigt werden.

Tabelle 13: Übersicht über Relevanz der Risikoabschätzung für GV-Pflanzen gemäß Freisetzung-Richtlinie, Anhang III B, Abschnitt D und EFSA Leitlinien, Anhang II, Abschnitt D.2. und speziell für GV-Pflanzen zur Biomasse und Energieerzeugung wichtige Prüfpunkte (+...relevant, –...nicht relevant).

Prüfpunkte bei der Risikoabschätzung für GV-Pflanzen (Lebens- und Futtermittel)	Relevanz für GV-Biomasse- und Energiepflanzen	zusätzlich wichtige Aspekte
<b>Molekulare Charakterisierung</b> (eingebrachte Transgene, Lokalisierung, Stabilität)	+	
<b>Expression transgener Komponenten</b> (gewebsspezifische E., entwicklungsspezifische E., Stabilität, E. von Fusionsproteinen)	+	zeitliche Stabilität der E., Expression in versch. Sorten
<b>Verbreitungsrelevante Merkmale</b> (Reproduktion, Verbreitung, Überlebensfähigkeit, Persistenz und Invasivität, selektiver Vorteil/Nachteil, Genfluss zur gleichen Art, Genfluss zu wild lebenden Verwandten/anderen Arten)	+	Genfluss zu Nutzpflanzen für die Lebensmittel- und Futterherstellung
<b>Agronomische Eigenschaften</b> (Landwirtschaftliche Parameter, Zusammensetzung, Stabilität des Phänotyps)	+	
<b>Auswirkung auf menschliche Gesundheit</b> (Toxizität, Allergenität, antinutritive Effekte)	+/- *	berufsbedingte Exposition
<b>Auswirkungen auf die Tiergesundheit</b> (Säugetiere/Vögel)	+/- *	exponierte Wildtiere
<b>Auswirkungen auf Zielorganismen</b>	+	Resistenzentwicklung, Auftreten von Sekundärschädlingen
<b>Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen und Interaktionen mit dem biotischen Umfeld</b>	+	Charakterisierung der Exposition von Nichtzielorganismen, Ökotoxizität, Effekte auf Arten unter Naturschutz
<b>Effekte auf biogeochemische Prozesse</b>	+	Auswirkungen auf Destruenten und in biogeochemische Prozesse involvierte Organismen
<b>Effekte auf das abiotische Umfeld</b>	+	Treibhausgasemission
<b>Auswirkung durch Veränderung der Bewirtschaftungstechniken</b>	+	Folgen der Veränderung der Bewirtschaftungstechnik
<b>Risikomanagement und Monitoring</b> (fallspezifisches Monitoring, allgemeine Überwachung)	+	spezifische Risikomanagement-Maßnahmen

\* Relevanz ist dann gegeben, wenn GV-Pflanze absichtlich oder unabsichtlich in die Nahrungs- oder Futtermittelkette geraten kann.

GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion unterliegen einer Risikoabschätzung entsprechend den Leitlinien der EFSA, wenn sie auch als GV-Lebens- bzw. -Futtermittel eingesetzt werden sollen, bzw. wenn Teile dieser GV-Pflanzen in kombinierter Nutzung für die Lebens- und Futtermittelerzeugung eingesetzt werden sollen.

Die Leitlinien gemäß Freisetzung-Richtlinie (RL 2001/18/EG) sind für GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion jedenfalls relevant, weil sie das generelle Grundgerüst der Risikoabschätzung für GV-Pflanzen darstellen.

Viele der in den angesprochenen Leitlinien enthaltenen Aspekte, z. B. die Richtlinien zur Charakterisierung einer bestimmten GV-Pflanze und ihres Verhaltens in der Umwelt, sind auch für GV-Pflanzen die zur Biomasse- und Energieproduktion verwendet werden sollen von grundlegender Bedeutung. Darauf verweist auch der Vorschlag der EFSA für die Risikoabschätzung bei GV-Pflanzen, die keine Lebens- und Futtermittel sind.

Allerdings wird in den Richtlinien auf Aspekte, die zusätzlich zu den generellen Punkten für GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieproduktion besonders wesentlich sind, wie die Abschätzung der Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Praxis und dadurch verursachte Umwelteffekte zu wenig konkret eingegangen. Diese Risiken müssen zwar in der Risikoabschätzung von „herkömmlichen“ GV-Pflanzen abgedeckt werden, der Bedarf an der Entwicklung spezifischer Richtlinien für die gegenständlichen Anwendungen ist jedoch aufgrund der spezifischen Problematik verstärkt gegeben.



## 6 FALLBEISPIELE – RISIKOABSCHÄTZUNG

Aufbauend auf der im Kapitel 4 dargestellten Analyse des Standes der Entwicklung und der Verfügbarkeit von GV-Pflanzen für Zwecke der Biomasse- und Energieerzeugung erscheinen bestimmte GV-Pflanzen besonders relevant. Basierend auf den beschriebenen Überlegungen wurden folgende GV-Pflanzen als aussagekräftige Fallbeispiele für die weitere Analyse der Risikoabschätzung ausgewählt

- GV-Mais (mit Herbizidtoleranz und Insektenresistenz sowie mit Amylaseproduktion: GV Mais3272),
- GV-Raps (mit Herbizidtoleranz),
- GV-Pappel (mit modifiziertem Ligningehalt),
- GV-Kartoffel (mit modifizierter Stärkezusammensetzung).

Die meisten der gewählten Fallbeispiele sind Nutzpflanzen, die auch in der Lebens- und Futtermittelerzeugung eingesetzt werden. Das entspricht, wie in Kapitel 4 beschrieben, der weltweiten Situation und dem Entwicklungsstand innerhalb der EU.

Die aus diesen Nutzpflanzen hergestellten GV-Pflanzen wurden entweder primär für die Lebens- und Futtermittelherstellung entwickelt (z. B. GV-Mais mit Herbizidtoleranz und Insektenresistenz, GV-Raps mit Herbizidtoleranz) bzw. sind für eine kombinierte Nutzung vorgesehen (z. B. auch GV-Mais 3272 und GV-Kartoffel mit modifizierter Stärkezusammensetzung). Daher ist eine Risikoabschätzung, die auch die beabsichtigte oder mögliche Verwendung als Lebens- und Futtermittel berücksichtigt, unerlässlich. Eine solche Vorgangsweise ist auch im Sinn des aktuellen Vorschlags für speziellen Leitlinien für die Risikoabschätzung bei GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung (siehe Kapitel 5.2).

Die folgende Analyse bezieht sich auf die in Zulassungsverfahren in der EU vorgelegten Risikoabschätzungen für die ausgewählten Fallbeispiele. Es ist festzuhalten, dass hinsichtlich der Qualität dieser Risikoabschätzungen vielfach heftige Kritik (z. B. durch die zuständigen Behörden der Mitgliedstaaten) geäußert wurde. Analysen der für einzelne GV-Pflanzen vorgelegten Unterlagen zur Risikoabschätzung zeigen, dass die Maßstäbe der anzuwendenden Leitlinien (gemäß RL 2001/18/EG bzw. Verordnung (EG) 1829/2003) nicht erfüllt werden. Zudem sind die angewendeten Methoden zur Risikoabschätzung verbesserungsbedürftig (SPÖK et al. 2005, 2008, DOLEZEL et al. 2009).

Wesentlich für die gegenständliche Thematik ist, ob diese Art der Abschätzung auf die speziellen Risiken genügend eingeht, die bei einer zukünftigen potenzielle Anwendung derartiger GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung in Österreich schlagend werden könnten. Deshalb wird im Folgenden anhand der angeführten Fallbeispiele überprüft, ob hinsichtlich der Risikoabschätzung bei GV-Biomasse- und Energiepflanzen derzeit Schwachstellen vorhanden sind.

## **6.1 Fallbeispiel GV-Mais (GV-Mais 3272, herbizidtolerante und/oder insektenresistente GV-Maislinien)**

### **6.1.1 Informationen zu GV-Mais 3272**

Für GV-Mais 3272 ist gemäß VO (EG) 1829/2003 die Zulassung als Nahrungs- und Futtermittel sowie für den Import und die Verarbeitung beantragt worden. Das Zulassungsverfahren ist in einem frühen Stadium, eine Bewertung der Risikoabschätzung seitens der EFSA liegt noch nicht vor. GV-Mais 3272 wurde speziell für die Ethanolgewinnung gentechnisch verändert und enthält als Transgen eine thermostabile Alpha-Amylase (AMY797E). Mit Hilfe dieser Amylase wird die Maisstärke in niedermolekulare Zucker-Einheiten mittels Hydrolyse gespalten. Dieser Schritt ist nötig für die Herstellung von Ethanol aus Pflanzenmaterial, die industriell unter höheren Temperaturen erfolgt. Amylasen, die für die Ethanolherstellung genutzt werden, müssen daher thermostabil sein. Natürlich in Maispflanzen vorkommende Amylasen werden bei den prozesstypischen Temperaturen zerstört und machen die Zugabe von bakteriogenen Amylasen notwendig. Durch die eingebrachte thermostabile Alpha-Amylase wird dieser Schritt umgangen und die weitere Verarbeitung damit erleichtert. Zusätzlich ist als selektiver Marker das PMI-Gen (Mannose-6-phosphat Isomerase) in GV-Mais 3272 enthalten.

Die Nutzung von GV-Mais 3272 soll die Ethanolgewinnung und die Verwendung der Pflanzenreste als Tierfutter umfassen.

### **6.1.2 Informationen zu herbizidtoleranten und/oder insektenresistenten GV-Maislinien**

Die Mehrzahl der derzeit für die Zulassung des Anbaus beantragten GV-Pflanzen stellen GV-Maislinien dar, die als transgene Eigenschaften Herbizidtoleranzen sowie Resistenzen gegen Schadinsekten, bzw. eine Kombination dieser beiden Eigenschaften enthalten. Relevant unter den in der EU bereits autorisierten GV-Maislinien sind insbesondere die derzeit auch für den Anbau autorisierten GV-Maislinien MON810 und T25. In Österreich besteht allerdings für diese beiden Linien ein aufrechtes Anbauverbot.

Anträge auf Zulassung des Anbaus gemäß RL 2001/18/EG wurden z. B. für die GV-Maislinien B11 und 1507 eingebracht. Zulassungsanträge für die Verwendung als Lebens- und Futtermittel einschließlich der Kultivierung sind auch für eine Reihe weiterer GV-Maislinien gemäß der VO (EG) 1829/2003 eingebracht worden und befinden sich in verschiedenen Stadien des Verfahrens.

In diese Gruppe fallen neben einigen GV-Maislinien, die in einem einzelnen Transformationsvorgang hergestellt wurden (NK603, 59122) einige, die durch Kombination verschiedener Einzel-GV-Maislinien durch Kreuzung erzeugt wurden (so genannte Stacked Events, wie 1507xNK603, bzw. NK603xMON810). Die angeführten GV-Maislinien enthalten Transgene, die Toleranz gegen die Herbizide Glyphosat (epsp) bzw. Glufosinat (bar, pat) und/oder Resistenzen gegen Schmetterlinge oder Käfer (z. B. Maiszünsler oder Maiswurzelbohrer) bewirken. Diese wird durch eingebrachte *Bt*-Toxingene erzielt (cry-Gene verschiedener Klassen mit teils unterschiedlichen Wirkungsspezifitäten).

Die Nutzung von herbizidtoleranten und insektenresistenten GV-Maislinien umfasst generell die Verwendung zur Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln, eine Nutzung für andere Zwecke wie die Biomasse- und Energieproduktion wäre möglich.

### 6.1.3 Potenzielle ökologische Auswirkungen von GV-Mais für die Biomasse- und Energieproduktion

Ausgehend von den in Kapitel 5.1.1 dargestellten potenziellen Risiken von (GV-) Energiepflanzen sind die relevanten ökologischen Risiken für die oben beschriebenen GV-Maislinien im Vergleich mit nicht gentechnisch verändertem Mais in Tabelle 14 dargestellt.

*Tabelle 14: Vergleich der potenziellen ökologischen Auswirkungen der angeführten GV-Maislinien im Vergleich mit nicht gentechnisch verändertem Mais (HT...Herbizidtoleranz, IR: Insektenresistenz, +...relevante Veränderungen sind möglich, -:relevante Veränderungen sind nicht zu erwarten).*

Ökologische Auswirkungen	GV-Mais 3272	GV-Mais (HT)	GV-Mais (IR)
Belastung mit Pflanzenschutzmitteln	–	+	+
Belastung Grundwasser	–	+	–
Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	–	–	–
Belastung der Oberflächengewässer	–	+	–
Auswirkung auf Bodenlebewesen	–	+	+
Auskreuzung und Verbreitung	+	+	+
direkte Auswirkung auf die biotische Umwelt	–	–	+
indirekte Beeinflussung der Biodiversität	+	+	+
Verstärkung des Vorkommens von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten	–	–	–
Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme	–	+	+
Effizienz THG-Bilanz*	–	–	–

\* bezogen auf den Anbau der GV-Pflanze

Die Unterschiede in den ökologischen Auswirkungen beruhen auf den Charakteristika der jeweiligen GV-Maislinien bzw. den möglichen spezifischen Veränderungen beim Anbau. Diese Veränderungen sind bei GV-Maislinien mit Herbizidtoleranzen bzw. Insektenresistenzen besser abzuschätzen als bei GV-Mais 3272, da für das Verhalten dieser Linien eine bessere Datengrundlage besteht. Bei GV-Maislinien, die sowohl transgene Insektenresistenzen als auch Herbizidtoleranzen enthalten (z. B. GV-Mais Bt11, 1507, 59122, sowie stacked events wie 1507xNK603, bzw. NK603xMON810) treten die potenziellen Auswirkungen beider Merkmale kombiniert auf.

Unerwünschte Auswirkungen werden bei GV-Mais mit Herbizidtoleranz hauptsächlich durch die Anwendung des zum jeweiligen Herbizidtoleranzgen passenden Herbizids beim Anbau bewirkt. Bei GV-Mais mit Insektenresistenz ist die Wirkung des eingebrachten Bt-Toxingens für negative Effekte, wie z. B. Auswirkungen auf Ziel- und Nichtzielorganismen verantwortlich.

Auswirkung auf die Biodiversität und die unerwünschte Auskreuzung von Transgenen in benachbart angepflanzte Nicht-GV-Maiskulturen können bei allen drei Typen von GV-Mais auftreten. Auch bei GV-Mais 3272 könnte sich durch die Änderung in der Zusammensetzung der Maispflanzen und des Vorkommens einer hitzestabilen Amylase die Verwertbarkeit für Lebewesen verändern, die solchen Mais in ihrer Ernährung nutzen.

Die spezifischen Auswirkungen der GV-Maislinien in Bezug auf die Bilanz der Emissionen von klimarelevanten Gasen müssten im Einzelfall und für die ganze Produktionskette (bei GV Mais 3272 einschließlich der Unterschiede bei der Ethanolproduktion) untersucht werden. Große Veränderungen im Vergleich mit konventionell angebauten Nicht-GV-Maissorten sind derzeit nicht absehbar (siehe Kapitel 6.5).

#### **6.1.4 Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Mais in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

##### **6.1.4.1 Charakterisierung der GV-Pflanze**

Bei den meisten Notifikationen für die berücksichtigten GV-Maislinien, darunter auch GV-Mais 3272, ist die Charakterisierung der GV Pflanze mangelhaft in Bezug auf die Abschätzung der genetischen Stabilität, der Expression der enthaltenen Transgene bzw. von unbeabsichtigt erzeugten Fusionsgenen sowie der inhaltsstofflichen Änderungen. Damit wird auch die spezifische Abschätzung der ökologischen Auswirkungen dieser GV-Maislinien bei einer Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion erschwert.

Ebenso sind die Informationen für die Abschätzung der Ausbreitungs- und Überdauerungsfähigkeit ungenügend. Hinsichtlich des Auskreuzungsverhaltens wurden bei der Anmeldung der betreffenden GV-Maislinien keine spezifischen Daten für die jeweiligen GV-Maislinien zur Verfügung gestellt.

Bei GV-Mais 3272 wurden bei Vergleichsuntersuchungen Nachkommen der ursprünglich transformierten Linie, die bei nachfolgenden Kreuzungsschritten das funktionelle Transgen-Konstrukt verloren haben, verwendet. Kontrollpflanzen, die aus einer GV-Linie gewonnen wurden, sind laut EFSA (2006) nicht zulässig und die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen sind daher in Frage zu stellen.

##### **6.1.4.2 Abschätzung der agronomischen Veränderungen**

Die Einreichungsunterlagen enthalten keine ausreichenden Untersuchungsergebnisse hinsichtlich des agronomischen Verhaltens der oben angeführten GV-Maislinien und ihrer Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme. Die diesbezüglichen Untersuchungen sind zum Teil nicht in Europa unter den heimischen Bedingungen durchgeführt worden und unterscheiden sich im Versuchsdesign (Anzahl der Standorte, Dauer, untersuchte Parameter, Berücksichtigung des Einsatzes selektiv wirkender Herbizide).

Feldversuche, z. B. für GV-Mais 3272, wurden nicht für jeden Standort getrennt ausgewertet, sondern für alle Standorte gemeinsam. Auswirkungen durch Umweltstress (wie z. B. Schädlingsdruck) werden dadurch maskiert und sind nicht identifizierbar.

Die Effekte hinsichtlich Bodenerosion und -verdichtung, Eutrophierung, Wasserhaushalt und -belastung sowie Vorkommen von Krankheiten oder Schädlingen, bzw. die spezifischen Veränderungen bei landwirtschaftlichen Anbausystemen und ihre Auswirkungen werden daher zumeist auf der Basis allgemeiner Überlegungen und nicht mittels spezifischer Untersuchungsdaten abgeschätzt.

#### 6.1.4.3 Auswirkungen auf die biotische Umwelt

Auch bei diesem für die Risikoabschätzung der Umweltwirkungen von GV-Mais für die Biomasse- und Energieproduktion wesentlichen Punkt sind die vorgelegten wissenschaftlichen Untersuchungen mit wesentlichen Unsicherheiten behaftet.

Zum einen ist die Abschätzung der Exposition der im Agrarökosystem betroffenen Lebewesen ungenügend. Es werden nicht alle Expositionswege berücksichtigt und die Auswahl der berücksichtigten Lebewesen ist nicht ausreichend repräsentativ für die Lebensräume, in denen ein Anbau für die Biomasse- und Energieproduktion stattfinden könnte. Für GV-Mais 3272 sind z. B. keine Untersuchungen über die Konzentration der transgenen Proteine in Tierdung, Gülle, Einstreu, organischem Abfall oder im Abwasser vorgelegt worden. Da die organischen Rückstände nach der Ethanolgewinnung an Rinder verfüttert werden sollen, könnte ein Eintrag dieser Proteine in Wasser und Boden erfolgen. Die Abschätzung der Exposition von potenziell gefährdeten Wasserlebewesen ist generell zu wenig berücksichtigt, obwohl mögliche Effekte von Bt-Toxinen auf wasserlebende Arten nachgewiesen wurden (ROSI-MARSHALL et al. 2007, BØHN et al. 2008).

Auch die Untersuchungen zu den möglichen indirekten Auswirkungen auf die Biodiversität in den potenziell betroffenen (Agrar-)Ökosystemen sind ungenügend. So wurden z. B. Veränderungen bei Populationen von Unkräutern und von sekundären Schädlingen nicht erfasst. Resistenzbildung bei exponierten Organismen wird nur bei Bt-Maislinien (Entwicklung von resistenten Schadinsekten) berücksichtigt, nicht aber solche von Unkräutern durch Einsatz von HT-Linien und der komplementären Herbizide.

Die vorgelegten Fütterungstests sind für eine Beurteilung der möglichen negativen Auswirkungen für exponierte Wildtiere nicht ausreichend aussagekräftig. Eine solche Abschätzung wäre aber zur Beurteilung der Risiken des Anbaus von GV-Mais für die Biomasse- und Energieproduktion erforderlich (EFSA 2008). Auch in Bezug auf die Abschätzung der Wirkung von Futtermitteln aus Reststoffen der Energieerzeugung sind die vorgelegten Daten – wie z. B. bei GV-Mais 3272 – mangelhaft. Bei Fütterungsversuchen war die Nicht-GV-Kontrolle mit transgenem Protein verunreinigt, daher sind die Versuchsergebnisse grundsätzlich in Frage zu stellen. Es wurden Versuche mit Hühnern und Mäusen durchgeführt, jedoch nicht mit Rindern, an die organische Pflanzenreste verfüttert werden sollen. Die toxikologische Unbedenklichkeit kann bei der Untersuchung mit Hühnern aufgrund des Studiendesigns als Fütterungsversuch nicht belegt werden. Mäuse, die Futter fraßen, das GV-Mais 3272 enthielt, zeigten im Test statistisch signifikante Stoffwechselveränderungen.

#### **6.1.4.4 Auswirkungen auf die abiotische Umwelt**

Für die Abschätzung der Auswirkungen auf die abiotische Umwelt – insbesondere der Bilanz der Emissionen von klimarelevanten Gasen beim Anbau von für die Biomasse- und Energieproduktion – werden keine relevanten Daten vorgelegt, sondern es wird nur auf die generelle Vergleichbarkeit mit konventionellen Maissorten verwiesen.

#### **6.1.5 Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoaabschätzung von GV-Mais für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

- Die untersuchten GV-Maislinien entsprechen insofern den weltweit für die Biomasse- und Energieproduktion verwendeten Linien, als sie auch für die Lebens- und Futtermittelproduktion geeignet sind, oder in einer gekoppelten Nutzung auch für die Futtererzeugung benutzt werden sollen. Eine für diese Zwecke adäquate Umwelt-Risikoabschätzung ist daher eine Voraussetzung für die potenzielle Verwendung.
- Die oben stehende Analyse zeigt, dass verschiedene Aspekte der ökologischen Risiken von Energiepflanzen derzeit nur ungenügend erfasst werden. Insbesondere die für eine solche Beurteilung wichtige Abschätzung der Veränderungen der landwirtschaftlichen Praxis und ihrer Auswirkungen müsste verbessert werden.
- Auch ein Vergleich mit anderen Nutzpflanzen, die für die Biomasse- und Energieproduktion eingesetzt werden können, ist auf dieser Basis nur schwer möglich. Ein solcher Vergleich wäre aber zur Evaluierung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieproduktion notwendig.

### **6.2 Fallbeispiel GV-Raps (GT73, Ms8xRf3)**

#### **6.2.1 Informationen zu GV-Raps (GT73, Ms8xRf3)**

Für die beiden GV-Rapslinien GT73 und Ms8xRf3 wurde das Inverkehrbringen gemäß Richtlinie 2001/18/EG beantragt. Im Anschluss an ein Gemeinschaftsverfahren wurden jeweils Genehmigungen für den Import und die Weiterverarbeitung bzw. für die Verwendung zur Herstellung von Futtermitteln erteilt. In Österreich ist die Verwendung beider GV-Rapslinien per Verordnung verboten. Gemäß VO (EG) 1829/2003 wurde um die Erneuerung der Zulassung für die Verwendung als Lebens- und Futtermittel angesucht, nicht jedoch für die Kultivierung dieser GV-Rapslinien in der EU. Die Verfahren sind in einem frühen Stadium, es wurden bislang (Oktober 2008) noch keine Gutachten der EFSA zur Risikoabschätzung veröffentlicht.

Bei den beiden GV-Rapslinien handelt es sich um GV-Pflanzen, die tolerant gegenüber unterschiedlichen Totalherbiziden sind (Glyphosat im Fall von GT73 bzw. Glufosinat bei Ms8xRf3). Der GV-Raps GT73 enthält zusätzlich zum epsp-Gen aus dem Agrobakteriumstamm CP4 ein transgenes Glyphosat-Oxidoreduktasegen zur Steigerung der Toleranz gegenüber Glyphosat. GV-Raps Ms8xRf3

enthält neben dem transgenen bar-Gen, das die Toleranz gegenüber dem Herbizid Glufosinat vermittelt, auch Transgene, die männliche Sterilität bewirken (barnase-Gen in der mütterlichen Ms8-Linie) bzw. wieder aufheben (barstar-Gen in der väterlichen Linie Rf3).

## 6.2.2 Potenzielle ökologische Auswirkungen von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion

Die relevanten ökologischen Risiken für die betreffenden GV-Rapslinien im Vergleich mit nicht gentechnisch verändertem Raps sind in Tabelle 15 dargestellt.

*Tabelle 15: Vergleich der potenziellen ökologischen Auswirkungen herbizidtoleranter GV-Rapslinien im Vergleich mit nicht gentechnisch verändertem Raps (HT... Herbizidtoleranz, +... relevante Veränderungen sind möglich, -... relevante Veränderungen sind nicht zu erwarten).*

Ökologische Auswirkungen	GV-Raps (HT)
Belastung mit Pflanzenschutzmitteln	+
Belastung Grundwasser	+
Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	-
Belastung der Oberflächengewässer	+
Auswirkung auf Bodenlebewesen	+
Auskreuzung und Verbreitung	+
Direkte Auswirkung auf die biotische Umwelt	-
Indirekte Beeinflussung der Biodiversität	+
Verstärkung des Vorkommens von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten	-
Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme	+
Effizienz THG-Bilanz*	-

\* bezogen auf den Anbau der GV-Pflanze

Unerwünschte Auswirkungen werden bei den betrachteten GV-Rapslinien mit Herbizidtoleranz hauptsächlich durch die Anwendung der jeweilig eingesetzten Herbizide beim Anbau bewirkt. Der Anbau von GV-Pflanzen mit Herbizidtoleranz und der Einsatz der betreffenden Herbizide kann auch Auswirkungen auf die Biodiversität der Agrarökosysteme hervorrufen (CHAMBERLAIN et al. 2007).

Die unerwünschte Auskreuzung von Transgenen in benachbarte Rapskulturen oder wild lebende Verwandte ist eine bekannte und wichtige Problematik, die auch beim Anbau von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion schlagend wird.

Die spezifischen Auswirkungen der GV-Rapslinien in Bezug auf die Bilanz der Emissionen von klimarelevanten Gasen müssten wiederum im Einzelfall untersucht werden (siehe dazu auch Kapitel 6.5).

### 6.2.3 Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Raps in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion

Bei der Analyse der vorliegenden Risikoabschätzungen für die angeführten GV-Rapslinien ist zu beachten, dass der derzeitige Verwendungszweck nicht die Kultivierung der GV-Rapslinien umfasst. Es wurde daher bei den verschiedenen Verfahren zur Zulassung für diese GV-Rapsorten zumeist keine umfassende Risikoabschätzung der Umweltwirkungen durchgeführt, die bei einem Anbau zu erwarten wären. Bei einem potenziellen Anbau von herbizidtolerantem Raps für die Biomasse- und Energieproduktion müssen diese aber unbedingt berücksichtigt werden.

#### 6.2.3.1 Charakterisierung der GV-Pflanze

Auch bei den gegenständlichen GV-Rapslinien weist die Charakterisierung der GV-Pflanzen – speziell die Abschätzung der genetischen Stabilität, der Expression der enthaltenen Transgene bzw. von unbeabsichtigt erzeugten Fusionsgenen sowie der inhaltsstofflichen Änderungen – Mängel auf. Dies erschwert die spezifische Abschätzung der ökologischen Auswirkungen dieser GV-Rapslinien bei einer Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion. Der für beide GV-Rapslinien bei einzelnen Versuchen gefundene erhöhte Glukosinolat Spiegel wurde nicht weiter auf eine mögliche Relevanz in Bezug auf Umweltwirkungen untersucht.

Für die Abschätzung der Ausbreitungs- und Überdauerungsfähigkeit, bzw. zur Vermehrung der GV-Rapslinien sind die zur Verfügung gestellten Angaben nicht ausreichend. Da beim Einreichen keine Untersuchungsergebnisse in Bezug auf den selektiven Vorteil oder Nachteil der GV-Rapslinien vorgelegt wurden, kann das Risiko der unerwünschten Verbreitung oder Auskreuzung nicht geeignet abgeschätzt werden. Das in GV-Raps Ms8xRf3 eingesetzte barnase/barstar-System bewirkt zudem eine Änderung im Reproduktionssystem von Raps, dessen Ausmaß an potenziellen negativen Auswirkungen auf die Umwelt derzeit nicht abgeschätzt werden kann (BMGFJ 2008).

Die österreichischen Behörden kritisieren in der Begründung der Importverbote, dass die vorliegenden Daten nicht einmal die Konsequenzen für die Umwelt durch eine mögliche unbeabsichtigte Verschüttung von lebensfähigen GV-Rapskörnern ausreichend berücksichtigen (BMGFJ 2006, 2008).

Vorbehalte gegen die Verwendung und insbesondere den Anbau von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion stützen sich auf folgende Erkenntnisse

- Aus freigesetztem Raps (verschüttete Samen oder Samen aus landwirtschaftlichen Anbaugebieten) können an geeigneten Standorten wild lebende Populationen begründet werden, die über Jahre bestehen bleiben können (PESEL et al. 2001).
- GV-Rapssamen können in den Anbaugebieten den Winter überdauern und könnten daher auch in konventionellen Rapskulturen lange erhalten bleiben (D'HERTEFELDT et al. 2008).
- Die Introgression von GV-Raps in wild lebende Rapspopulationen ist nachgewiesen (YOSHIMURA et al. 2006) und wäre auch für Österreich nicht auszuschließen.



### **6.2.3.2 Abschätzung der agronomischen Veränderungen**

Die diesbezüglichen Untersuchungen für die beiden GV-Rapslinien sind zum Teil nicht in Europa unter den heimischen Bedingungen durchgeführt worden und berücksichtigen nicht durchgängig einen möglichen Effekt der Anwendung der jeweiligen Komplementärherbizide. Für eine umfassende Risikoabschätzung zum Anbau für die Biomasse- und Energieproduktion sollten derartige Effekte aber einbezogen werden.

Die Abschätzung des Risikos für Bodenerosion und -verdichtung, Eutrophierung, Wasserhaushalt und -belastung sowie Vorkommen von Krankheiten oder Schädlingen, bzw. die spezifischen Veränderungen bei landwirtschaftlichen Anbausystemen und ihre Auswirkungen kann nicht auf geeignete Untersuchungsdaten gestützt werden.

### **6.2.3.3 Auswirkungen auf die biotische Umwelt**

Auch bei diesem für die Risikoabschätzung der Umweltwirkungen von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion wesentlichen Punkt sind die vorgelegten wissenschaftlichen Untersuchungen mit vielen Unsicherheiten behaftet.

Die Daten zur Abschätzung der Effekte von GV-Rapslinien auf die im Agrarökosystem vorkommenden Lebewesen (Wildtiere) sind ungenügend.

Die von den Antragstellern vorgelegten Fütterungsstudien sind einerseits nicht geeignet, um die toxikologische Sicherheit nachzuweisen (aufgrund der gewählten Testorganismen, der verfütterten Testmaterialien, der Art und Weise der Verabreichung der Testmaterialien sowie die begrenzte Prüfdauer). Andererseits ist die Auswahl der Testorganismen nicht repräsentativ für eine Risikoabschätzung hinsichtlich der Verwendung von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion.

Die Untersuchungen zu den möglichen direkten und indirekten Auswirkungen auf die Biodiversität der potenziell betroffenen (Agrar-) Ökosysteme sind ebenfalls ungenügend. Veränderungen z. B. bei Populationen von Unkräutern und von sekundären Schädlingen durch die Verwendung von herbizidtolerantem GV-Raps wurden nicht untersucht. Auch die Resistenzbildung von Unkräutern durch Einsatz von HT-Rapslinien und der zugehörigen Herbizide wurde im Rahmen der vorliegenden Notifikationen nicht näher untersucht.

### **6.2.3.4 Auswirkungen auf die abiotische Umwelt**

Für die Abschätzung der Auswirkungen auf die abiotische Umwelt – insbesondere die Bilanz der Emissionen von klimarelevanten Gasen beim Anbau von GV-Raps für die Biomasse- und Energieproduktion – wurden keine relevanten Daten vorgelegt, um einen Vergleich mit konventionellen Rapsorten zu ermöglichen.

### **6.2.4 Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoprüfung von GV-Raps für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

- Die untersuchten GV-Rapslinien entsprechen den weltweit für die Biomasse- und Energieproduktion verwendeten Linien, die auch für die Lebens- und Futtermittelproduktion geeignet sind, oder in einer gekoppelten Nutzung auch für die Futtererzeugung benutzt werden sollen. Eine solche Nutzung von konventionellem Raps wird auch in Österreich favorisiert. Eine für diese Kombination von Zwecken adäquate Umwelt-Risikoabschätzung ist daher eine Voraussetzung für die potenzielle Verwendung.
- Die oben stehende Analyse zeigt, dass verschiedene Aspekte der ökologischen Risiken von Energiepflanzen derzeit nur ungenügend erfasst werden. Insbesondere die für eine solche Beurteilung wichtige Abschätzung der Veränderungen der landwirtschaftlichen Praxis und ihrer Auswirkungen müsste verbessert werden.
- Auch ein Vergleich mit anderen Nutzpflanzen, die für die Biomasse- und Energieproduktion eingesetzt werden können, ist auf dieser Basis nur schwer möglich.

## **6.3 Fallbeispiel GV-Kartoffel (EH92-527-1)**

### **6.3.1 Informationen zu GV-Kartoffel (EH92-527-1)**

Für GV-Kartoffeln (EH92-527-1) liegen derzeit zwei Anträge (ein Antrag auf Verwendung und Verarbeitung als Lebens- und Futtermittel gemäß Verordnung (EG) 1829/2003 und ein Antrag auf Inverkehrbringen (inklusive Anbau der Linie) nach RL 2001/18/EG) für das gleiche Produkt vor. Die GV-Kartoffel weist ein verändertes Amylopektin-Amylose-Verhältnis auf und hat zur Selektion nach der Transformation ein bakterielles Antibiotikaresistenzgen (nptII-Gen) eingebaut. Die veränderte Stärkezusammensetzung soll der vereinfachten Stärkegewinnung zu industriellen Zwecken dienen. Reststoffe wie das Kartoffelwasser sowie der verbleibende Kartoffelbrei (Pulpe) sollen als Dünger und als Tierfutter (z. B. für Rinder) verwendet werden.

### **6.3.2 Potenzielle ökologische Auswirkungen der GV-Kartoffel für die Biomasse- und Energieproduktion**

Ausgehend von den in Kapitel 5.1.1 dargestellten potenziellen Risiken von (GV-) Energiepflanzen sind die relevanten ökologischen Risiken für die oben beschriebene GV-Kartoffellinie im Vergleich mit nicht gentechnisch veränderten Kartoffeln in Tabelle 16 dargestellt.

Die Unterschiede in den ökologischen Auswirkungen beruhen v. a. auf der veränderten Stärkezusammensetzung der Kartoffel, wodurch veränderte Abbauvorgänge durch Mikroorganismen im Boden zu erwarten sind. Die Verwendung des Kartoffelbreis und -saftes kann ebenfalls zu Veränderungen in der Bodenflora führen. Diese Auswirkungen wurden nicht untersucht. Auskreuzung

und Vermehrung kann aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht ausgeschlossen werden. Anbauversuche wurden nur in Nordeuropa durchgeführt, dadurch wurde das Potenzial von überwinternden Knollen in wärmeren Klimagebieten nicht erfasst.

*Tabelle 16: Vergleich der potenziellen ökologischen Auswirkungen der angeführten GV-Kartoffeln im Vergleich mit nicht gentechnisch veränderten Kartoffeln (+...relevante Veränderungen sind möglich, –...relevante Veränderungen sind nicht zu erwarten).*

Ökologische Auswirkungen	GV-Kartoffel
Belastung mit Pflanzenschutzmitteln	–
Belastung Grundwasser/Wasserzehrung	–
Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	–
Belastung der Oberflächengewässer	–
Auswirkung auf Bodenlebewesen	+
Auskreuzung und Verbreitung	+/-
Direkte Auswirkung auf die Artenzusammensetzung	–
Indirekte Beeinflussung der Biodiversität	+/-
Verstärkung des Vorkommens von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten	–
Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme	–
Effizienz THG-Bilanz*	–

\* bezogen auf den Anbau der GV-Pflanze

Auswirkungen auf die Biodiversität und die unerwünschte Auskreuzung von Transgenen in angrenzende Kartoffelkulturen können auftreten. Durch die veränderte Zusammensetzung der Kartoffelpflanze kann sich die Verwertbarkeit für Lebewesen, deren Nahrungsbestandteil Kartoffeln sind, ändern.

Um die Auswirkungen der GV-Kartoffeln auf die Bilanz der Treibhausgasemissionen zu erfassen, müsste die gesamte Produktionskette untersucht werden. Deutliche Veränderungen gegenüber konventionell angebauten Kartoffelsorten sind jedoch nicht zu erwarten.

### **6.3.3 Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Kartoffeln in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

Wird die GV-Kartoffel als Energiepflanze angebaut und der verbleibende Kartoffelsaft und -brei als Dünger verwendet, gelten besonders folgende Kritikpunkte bezüglich der Risikoabschätzung:

Auswirkungen auf bodenbiologische und biogeochemische Prozesse beim Anbau und der Verwendung als Dünger wurden nicht untersucht. Feldversuche wurden in Nordeuropa, nicht jedoch in anderen Klimazonen durchgeführt, die Überlebenswahrscheinlichkeit von Durchwuchskartoffeln wurde damit nicht erfasst. Die durchgeführte Umweltrisikoprüfung klärt nicht das Risiko für Umweltextpositionen.

### **6.3.3.1 Abschätzung der agronomischen Veränderungen**

Es liegen keine ausreichenden Untersuchungsergebnisse hinsichtlich des agronomischen Verhaltens der GV-Kartoffeln und ihrer Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme vor.

Die Auswirkungen hinsichtlich Bodenerosion und -verdichtung, Eutrophierung, Wasserhaushalt und -belastung sowie Vorkommen von Krankheiten oder Schädlingen, bzw. die spezifischen Veränderungen bei landwirtschaftlichen Anbausystemen und ihre Auswirkungen werden daher zumeist auf der Basis allgemeiner Überlegungen und nicht mittels spezifischer Untersuchungsdaten abgeschätzt.

### **6.3.3.2 Auswirkungen auf die biotische Umwelt**

Eine Schwachstelle der Risikoabschätzung bei GV-Kartoffelanbau als Energiepflanze bezieht sich auf die Auswirkungen auf Bodenlebewesen während des Kartoffelanbaus und bei Nutzung von Kartoffelsaft und -brei als Dünger. Die Wurzelexudate und Zersetzungsprodukte der Kartoffel sowie der Kartoffelbrei und -saft treten mit dem Bodenleben in Wechselwirkung. Der Transfer des Antibiotikaresistenzgens ist prinzipiell möglich, wurde jedoch nicht untersucht und gilt nach derzeitigem Wissenstand als eher unwahrscheinlich. Die unterschiedliche Stärkezusammensetzung der Kartoffel und des Düngers kann zu einer Veränderung der Bodenflora führen. Ein weiterer Kritikpunkt der Risikoabschätzung betrifft die Überlebensfähigkeit der Knollen und das Auskreuzungspotenzial. Untersuchungen zur Überlebensfähigkeit der Kartoffelknollen wurden in Nordeuropa durchgeführt. Durch die geringe Frosttoleranz ist in diesem Gebiet mit keiner Überwinterung der Knollen zu rechnen. In Klimagebieten mit milderen Wintern ist die Überlebensfähigkeit durchaus gegeben, wurde jedoch nicht gezielt untersucht. Die Auskreuzungswahrscheinlichkeit zu anderen Kartoffelsorten wurde ebenfalls nicht ausreichend untersucht. Damit ist ein Verbreitungspotenzial gegeben, eine geschlossene Produktionslinie kann nicht gewährleistet werden und der Eintritt in die Nahrungs- und Futtermittelkette ist somit möglich.

Die Auswirkungen auf Wildtiere bei Verzehr von angebauten GV-Kartoffeln, Durchwuchskartoffeln und ausgekreuzten Pflanzen fehlt in der Risikoabschätzung zur Gänze.

### **6.3.3.3 Auswirkungen auf die abiotische Umwelt**

Durch modifizierte Wurzelexudate der Kartoffel und veränderte Abbauvorgänge im Boden kann es zu geänderten biogeochemischen Prozessen kommen, die ebenfalls nicht untersucht wurden.

### **6.3.4 Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoaabschätzung der GV-Kartoffeln für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

- Die untersuchte GV-Kartoffel entspricht der für die Biomasse- und Energieproduktion verwendeten Linie, die auch für die Lebens- und Futtermittelproduktion geeignet ist, bzw. in einer gekoppelten Nutzung für die Futtererzeugung benutzt werden soll. Eine für diese kombinierte Nutzung adäquate Umwelt-Risikoabschätzung ist daher eine Voraussetzung für die potenzielle Verwendung.
- Die oben stehende Analyse der Risikoabschätzung zeigt, dass verschiedene Aspekte der ökologischen Risiken von Energiepflanzen nur ungenügend erfasst werden.
- Auch ein Vergleich mit anderen Nutzpflanzen, die für die Biomasse- und Energieproduktion eingesetzt werden können, ist auf dieser Basis nur schwer möglich.

## **6.4 GV-Pappeln mit verändertem Ligningehalt und Antibiotikaresistenz**

### **6.4.1 Informationen zu GV-Pappeln mit verringertem Ligningehalt**

Für GV-Pappeln, die für die Biomassegewinnung zu Energieerzeugungszwecken eingesetzt werden können, liegen derzeit zwei Anträge auf Freisetzung zu Versuchszwecken vor. Der erste Antrag wurde in Frankreich am 2.5.2007 eingereicht (Notifikationsnummer B/FR/07/06/01), der zweite in Belgien am 30.11.2007 (Notifikationsnummer B/BE/07/V2).

Die Pflanzen zeigen verringerte Ligningehalte, die durch verringerte Aktivität eines Enzymes der Ligninsynthese hervorgerufen werden. Als Selektionsmarker ist ein Antibiotikaresistenzgen eingebracht worden. Mehrere gentechnisch veränderte Linien sind für die Freisetzung geplant. Die verbleibende Enzymaktivität zur Ligninsynthese liegt zwischen 10–40 %. Die Versuchspflanzen werden als 5- bzw. 3-jährige Kurzumtriebe kultiviert. Um die Gefahr der Auskreuzung gering zu halten werden nur weibliche Pflanzen verwendet, mit der ersten Blüte ist erst ab dem dritten Jahr nach der Pflanzung zu rechnen.

### **6.4.2 Potenzielle ökologische Auswirkungen der GV-Pappel für die Biomasse- und Energieproduktion**

Ausgehend von den in Kapitel 5.1.1 dargestellten potenziellen Risiken von (GV-) Energiepflanzen sind die relevanten ökologischen Risiken für die oben beschriebenen GV-Pappellinien im Vergleich mit nicht gentechnisch veränderten Pappeln in Tabelle 17 dargestellt.

Durch die modifizierten Inhaltsstoffe der GV-Pappeln sind zum einen Veränderungen im Abbauverhalten der organischen Substanz und damit Verschiebungen in der Bodenflora zu erwarten. Zum anderen sind auch Auswirkungen auf höhere Lebewesen möglich, für die die Bodenflora oder direkt die Biomasse der

Pappeln die Nahrungsgrundlage darstellt. Besonders durch die erhöhten Glucosegehalte ist mit einer Artenverschiebung durch stärkeres Schädlings- und Krankheitsaufkommen zu rechnen. Das hohe Verbreitungs- und Auskreuzungspotenzial der GV-Pappeln könnte zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft in Ökosystemen führen.

*Tabelle 17: Vergleich der potenziellen ökologischen Auswirkungen der angeführten GV-Pappeln im Vergleich mit nicht gentechnisch veränderten Pappeln (+...relevante Veränderungen sind möglich, –...relevante Veränderungen sind nicht zu erwarten).*

<b>Ökologische Auswirkungen</b>	<b>GV-Pappel</b>
Belastung mit Pflanzenschutzmitteln	+
Belastung Grundwasser/Wasserzehrung	–
Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	+
Belastung der Oberflächengewässer	–
Auswirkung auf Bodenlebewesen	+
Auskreuzung und Verbreitung	+
Direkte Auswirkung auf die Artenzusammensetzung	–
Indirekte Beeinflussung der Biodiversität	+
Verstärkung des Vorkommens von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten	+
Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme	–
Effizienz THG-Bilanz*	–

\* bezogen auf den Anbau der GV-Pflanze

Pappeln stellen hohe Ansprüche an die Wasserversorgung, großflächiger Pappelanbau kann daher zum Absinken des Grundwasserspiegels führen bzw. bei zu geringen Wasservorräten wird die erwartete Wuchsleistung nicht erreicht. Durch die Ligninverringering weist die GV-Pflanze ein geringeres Wasserleitvermögen auf und es treten Veränderungen in der Stützfunktion auf. Bei mechanischer Belastung, z. B. durch Stürme, ist mit vermehrtem Holzverlust durch mangelnde Belastbarkeit zu rechnen.

Kurzumtriebskulturen benötigen, wenn überhaupt, nur während der Bestands-etablierung Pflanzenschutzmittel. Durch die erhöhten Glucose- und verringerten Ligningehalte kann es jedoch zu verstärkter Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit kommen. Diese ist auch erhöht, wenn bereits ein anderer Stressfaktor – wie z. B. Wasserstress – besteht. Mit erhöhtem Pflanzenschutzmitteleinsatz, verbunden mit höheren Treibhausgas-Emissionen, ist zu rechnen (siehe Tabelle 17).

Verstärkte Auswirkungen auf Bodenerosion und Eutrophierung bestehen durch GV-Pappelanbau nicht.

### **6.4.3 Analyse der Umwelt-Risikoabschätzung von GV-Pappeln in Bezug auf die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

Bei der Nutzung von Pappeln mit reduziertem Ligningehalt als Energiepflanzen gibt es zahlreiche Kritikpunkte:

Ein horizontaler Gentransfer des Antibiotikaresistenzgens zu Mikroorganismen und anderen Nicht-Ziel-Organismen ist prinzipiell möglich, wenngleich nicht mit großer Wahrscheinlichkeit.

Die Auswirkungen innerhalb der Pflanze – wie mechanische Stabilität, Wasserleitfähigkeit, Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit – wurden nicht untersucht, ebenso wenig die Wechselwirkungen mit Nicht-Ziel-Organismen. Untersuchungen der Auswirkungen des verringerten Lignin- und des erhöhten Glucosegehalts – wie z. B. Zersetzungsstudien der Blattmasse und des Holzes, Erfassung der Abbaugeschwindigkeiten, Analyse der Veränderungen in der Organismengemeinschaft der Destruenten – fehlen.

#### **6.4.3.1 Abschätzung der agronomischen Veränderungen**

Es liegen keine umfassenden Untersuchungsergebnisse hinsichtlich des agronomischen Verhaltens der GV-Pappel und ihrer Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme vor.

Beim Vergleich der ökologischen Risiken zwischen konventionellem und GV-Pappelanbau im Kurzumtrieb zeigen sich ein erhöhter Aufwand bei der Kulturführung und höhere Ansprüche bei der Standortwahl bei GV-Pappeln.

Durch die reduzierte Wasserleitfähigkeit der GV-Pappeln sind Standorte mit vergleichsweise hoher Wasserverfügbarkeit für einen erfolgreichen Anbau notwendig.

Durch die veränderten Inhaltstoffe ist eine erhöhte Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit möglich, wobei in Folge mit vermehrten Pflanzenschutzmaßnahmen zu rechnen wäre.

#### **6.4.3.2 Auswirkungen auf die biotische Umwelt**

Derzeit befindet sich die GV-Pappel im Stadium der Versuchsfreisetzung, eine in Belgien durchgeführte Risikoabschätzung auf nationaler Ebene ist daher auf die Bedingungen eines begrenzten Feldversuches abgestimmt. Eine umfassende Risikoabschätzung für das Inverkehrbringen und den Anbau dieser GV-Bäume muss folgende Probleme klären

- Pappeln haben ein hohes Potenzial zur vegetativen Verbreitung durch Ausbildung von Wurzelschösslingen, durch Bewurzelung von abgebrochenen Ästen und Neuaustrieb aus Baumstümpfen. Durch die hohe Regenerationsfähigkeit der Pappel kann eine unkontrollierte Verbreitung nicht verhindert werden.
- Die GV-Pappel wird als Versuchspflanze als 5- bzw. 3-jähriger Kurzumtrieb kultiviert, um die Blüte und damit die Verbreitung zu verhindern; einzelne früher auftretende Blüten müssen händisch entfernt werden. Früheres Blühen und damit unkontrollierte Verbreitung kann somit nicht ausgeschlossen werden.

- Die GV-Pappel weist erhöhte Glucose- und verringerte Ligningehalte auf. Durch die veränderten Inhaltsstoffe kann es zu Verschiebungen in der Bodenflora und erhöhten Abbauraten der organischen Substanz kommen. Unterirdischer und oberirdischer Bestandesabfall (Wurzeln und Blätter) dient als Nahrungsgrundlage für Organismen der niederen trophischen Ebenen. Verändert sich hier die Artenzusammensetzung, beeinflusst dies Tiere höherer trophischer Ebenen. Auswirkungen auf Wildtiere, für die Pappeln direkt und indirekt eine Nahrungsquelle darstellen, müssen ebenfalls untersucht werden.
- Durch modifizierte Inhaltstoffe, besonders durch erhöhte Glucosegehalte, kann es zu stärkerer Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit kommen. Die Risikoabschätzung zu den Auswirkungen der veränderten Inhaltsstoffe und der verringerten Fitness der Bäume muss hierzu umfassende Daten liefern (siehe Tabelle 17).

#### **6.4.3.3 Auswirkungen auf die abiotische Umwelt**

Durch geänderte bodenbiologische Prozesse bei modifizierter Wurzel-Mikroorganismen-Interaktion kann es zu geochemischen Veränderungen (z. B. pH-Wert) kommen.

#### **6.4.4 Adaptierungsbedarf der Umweltrisikoprüfung der GV-Pappeln für die Verwendung für die Biomasse- und Energieproduktion**

- Die untersuchte GV-Pappel ist ausschließlich für die Biomasse- und Energieproduktion zu verwenden. Eine gekoppelte Nutzung auch für die Nahrungsmittel- und Futtererzeugung entfällt in diesem Fall. Auf eine adäquate Umwelt-Risikoabschätzung muss gerade im Fall von GV-Bäumen höchste Werte gelegt werden, da hohe Auskreuzungsrisiken und Ökosystemveränderungen zu erwarten sind.
- Die oben stehende Analyse zeigt, dass verschiedene Aspekte für die Abschätzung der ökologischen Risiken von GV-Bäumen auch von der derzeit bestehenden Risikoabschätzung nur ungenügend erfasst werden.

### **6.5 Vergleich von GV-Mais bzw. GV-Raps mit nicht-GV Mais bzw. Raps hinsichtlich Unterschieden bei Treibhausgas-Emissionen**

Bei der Beurteilung eines potenziellen Einsatzes von GV-Pflanzen für Zwecke der Energieproduktion ist die Bilanz der Treibhausgas-Emissionen für diese Kulturen ein wichtiger Faktor.

Wegen der hohen Relevanz von Mais und Raps für den Energiepflanzenanbau in der EU und in Österreich wird im Folgenden auf diese beiden Kulturen eingegangen. Dabei sollen insbesondere die Auswirkungen der meistverwendeten gentechnisch veränderten Merkmale betrachtet werden (Insektenresistenz bei GV-Mais sowie Herbizidtoleranz bei GV-Raps).



Zuerst muss allerdings auf die Schwierigkeiten einer solchen Beurteilung hingewiesen werden. Eine quantitative Analyse ist einerseits schwierig durchzuführen, da für die Kulturführung bei Mais- und Rapsanbau kein spezifisches Datenmaterial verfügbar ist. Das hat folgende Gründe:

Zum einen wurden in Österreich bislang noch keine GV-Pflanzen angebaut. Es gibt also weder für GV-Mais noch für GV-Raps praktische Erfahrungswerte, die zur Ermittlung der THG-Emissionsbilanzen unter österreichischen Standortbedingungen herangezogen werden können.

Andererseits liegen auch dem derzeit sehr häufig für die Erstellung von Treibhausgasbilanzen herangezogenen Berechnungsmodell – dem Globalen Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS) – noch keine österreichischen Kulturführungsdaten für die Bilanzierung bei Mais und Raps zugrunde. GEMIS ist eine Datenbank mit Bilanzierungs- und Analysemöglichkeiten für Lebenszyklen von Energie-, Stoff- und Transportprozessen, die auch zur Emissionsbilanzierung bei nachwachsenden Rohstoffen genutzt werden kann. Die Kalkulation der Emissionsbilanzen des Mais- und Rapsanbaus mittels GEMIS zieht derzeit als Basis kulturspezifische Daten des Anbaus innerhalb von Deutschland heran. Arbeiten die notwendig sind, um die österreichischen Kulturbedingungen entsprechend zu berücksichtigen, können erst in Zukunft durchgeführt werden. Entsprechende Berechnungen unter Einbeziehung der aktuellen österreichischen Anbaudaten sind daher zum gegenwärtigen Stand nicht durchführbar.

Ein quantitativer Vergleich der Treibhausgasbilanzen von konventionell angebautem Nicht-GV-Mais und GV-Mais, bzw. konventionell angebautem Nicht-GV-Raps und GV-Raps in Bezug auf die österreichischen Verhältnisse kann somit derzeit nicht erstellt werden.

### **6.5.1 Grundlagen für die Abschätzung der Treibhausgas-Bilanz von GV-Mais und GV-Rapskulturen**

Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen kann daher nur versucht werden zu analysieren, inwieweit Daten, die derzeit für Mais- bzw. Raps-Kulturen verfügbar sind, auch relevante Aussagen in Bezug auf die österreichischen Verhältnisse erlauben.

Folgende Ergebnisse sind in dieser Hinsicht relevant

- Untersuchungen, die bereits zur Einschätzung der THG-Bilanzen für die gegenständlichen Kulturarten durchgeführt wurden.
- Daten zur Abschätzung von Ertragsdifferenzen beim Anbau von GV-Pflanzen im Vergleich mit konventionellen Kulturen.
- Abschätzung des Veränderungspotenzials durch die Verwendung von GV-Kulturen auf Basis von Berechnungen für konventionelle Kulturen.

In Bezug auf den ersten Punkt wurden Daten für zwei relevante Anbausysteme in einer Untersuchung publiziert (UMWELTBUNDESAMT 1999), die zur Erarbeitung von methodischen Grundlagen für die Erstellung von vergleichenden Ökobilanzen von GV-Pflanzen und konventionellen Nutzpflanzen durchgeführt wurde.

Hinsichtlich der Abschätzung von Ertragsdifferenzen beim Anbau von GV-Pflanzen im Vergleich mit konventionellen Kulturen liegen Angaben aus mehreren in Europa bzw. weltweit durchgeführten Untersuchungen vor. Ausgehend von

diesen Daten kann versucht werden, eine Abschätzung für die Veränderung der Erträge beim Anbau von GV-Mais und GV-Raps zu erstellen. Ebenso liefern diese Untersuchungen Anhaltspunkte über Veränderungen im landwirtschaftlichen Management, die für die Abschätzung der THG-Bilanz relevant sind.

Bezüglich des dritten angesprochenen Punktes kann ausgehend von vorliegenden Berechnungen für konventionelle Mais- und Rapskulturen das maximale Veränderungspotenzial bei der Verwendung von GV-Kulturen abgeschätzt werden. Auf diese Weise kann die Größenordnung von möglichen Veränderungen in der THG-Bilanz bei der Verwendung von GV-Pflanzen ermittelt werden.

### **6.5.2 Abschätzung der Treibhausgas-Bilanz für den Anbau von GV-Mais**

In der oben genannten Studie (UMWELTBUNDESAMT 1999) wurden unter anderem der Energieeinsatz und die Treibhausgasbilanzen des konventionellen Anbaus von Nicht-GV-Mais und des Anbaus von insektenresistentem Mais (Bt-Mais 176) miteinander verglichen. Bei dem Vergleich wurde von jeweils gleichen Kulturführungsmaßnahmen bei Feldbearbeitung, Zwischenfrucht und Düngung bei konventionellen und GV-Maiskulturen ausgegangen. Unterschiede für die Vergleichskulturen wurden bei den angewendeten Maßnahmen für den Pflanzenschutz ermittelt und bei der Berechnung der Treibhausgasbilanzen berücksichtigt.

Anzumerken ist, dass die gentechnische Modifikation des untersuchten Körnermais nicht direkt auf eine Steigerung des Ertrages im Vergleich mit nicht-gentechnisch veränderten Linien abzielte. Bei den Berechnungen wurde für konventionellen Körnermais mit österreichtypischen Mindererträgen (2 %) aufgrund der Wirkung von Maiszünslerbefall gerechnet. Von vergleichbaren Ertragszahlen wie für GV-Mais wurde hingegen ausgegangen, wenn in den Berechnungsszenarien spezifische Bekämpfungsmaßnahmen mit Insektiziden gegen den Maiszünsler berücksichtigt wurden.

Die Ergebnisse der Berechnungen für die angeführten Szenarien zeigen, dass die Treibhausgasbilanzen bei der Verwendung von GV-Mais im Vergleich zu konventionellen Maiskulturen, bei denen andere Methoden der Maiszünslerbekämpfung zur Anwendung kommen, weitgehend gleich bleiben. Da die untersuchten GV-Pflanzen die gleichen Kulturansprüche wie konventionelle Sorten haben, werden insgesamt die Bearbeitungsschritte kaum bzw. nicht reduziert und bewirken somit keine relevanten Änderungen in den Treibhausgasbilanzen.

In Zahlen ergab die Modellrechnung bei Körnermais THG-Emissionswerte von 2.590 kg CO<sub>2</sub>/ha (331 g CO<sub>2</sub>/kg Mais) für den Anbau von Nicht-GV-Mais, wenn Ertragsverluste durch Maiszünslerbefall nicht durch Bekämpfungsmaßnahmen verringert wurden. Für insektizidbehandelten Nicht-GV-Mais und GV-Mais wurden Werte von 2.560 kg CO<sub>2</sub>/ha (300 g CO<sub>2</sub>/kg Mais), sowie 2.550 kg CO<sub>2</sub>/ha (299 g CO<sub>2</sub>/kg Mais) ausgewiesen (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Nur wenn ein starker Befall durch Maiszünsler auftritt, der beim konventionellen Anbau nicht mit speziellen Maßnahmen bekämpft wird, führt im Vergleich der Anbau von GV-Mais zu einer erkennbaren Verbesserung der THG-Bilanz.

Derzeit und in absehbarer Zukunft weist ein großer Teil der GV-Maislinien, die in der EU verfügbar sein werden, vergleichbare Merkmale und Eigenschaften (Insektenresistenz und Herbizidtoleranz) auf, wie die in der oben genannten Studie untersuchte GV-Maislinie. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der genannten Untersuchung in ihrer Tendenz aussagekräftig.

### 6.5.3 Abschätzung der Ertragsänderungen beim Anbau von GV-Mais

Daten für den Anbau von GV-Maislinien innerhalb der EU zeigen, dass – verglichen mit konventionellem Mais – mit geringen Unterschieden bei den erzielten Erträgen gerechnet werden kann. Zu berücksichtigen ist dabei aber, dass diese Daten nicht unmittelbar auf die österreichischen Verhältnisse übertragen werden können, da sie den Anbau in anderen Ländern unter unterschiedlichen Verhältnissen widerspiegeln.

Für GV-Mais liegen Daten für größere Anbauflächen in Europa hauptsächlich aus Spanien vor. Hier beziffern GOMEZ-BARBERO & RODRIGUEZ-CEREZO (2006) den durchschnittlichen Mehrertrag für die Anbaujahre 2002–2004 mit 4,7 %. Die Autoren weisen allerdings darauf hin, dass die Ertragsdifferenz stark mit dem unterschiedlich starken Auftreten von Schadinsekten korreliert ist, die Zielorganismen für den angebauten GV-Mais darstellen. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang darauf, dass sich in südeuropäischen Ländern wie z. B. Spanien 2–3 Generationen beim Maiszünsler pro Anbausaison entwickeln, während in Österreich mit dem Auftreten von nur einer Generation gerechnet wird (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Da der Maiszünslerbefall saisonal unterschiedlich ist und der Schmetterling außerdem schwerer als andere Schädlinge mit konventionellen Mitteln bekämpft werden kann, verzichtet in vielen Ländern ein großer Teil der Landwirtinnen und Landwirte auf speziell gegen den Maiszünsler gerichtete Maßnahmen, was zu entsprechenden Mindererträgen führen kann. Bei gezielter Bekämpfung des Maiszünslers wird für Deutschland ein Minderertrag von 3–4 % angegeben (BROOKES 2007), im Vergleich zu 14–15 % bei starkem Schädlingsbefall ohne entsprechende Maßnahmen.

Die Annahme in der oben angeführten Untersuchung (UMWELTBUNDESAMT 1999), dass sich beim Anbau von GV-Mais unter österreichischen Verhältnissen nur geringe Ertragsänderungen ergeben würden, ist daher realistisch.

Welche Effekte bei der Verwendung von GV-Maislinien mit kombinierten gentechnisch veränderten Merkmalen zu erwarten sind, kann aus den vorliegenden Untersuchungen nicht abgelesen werden. Solche „Stacked Events“ werden derzeit in wachsender Zahl zur Zulassung beantragt und in den USA in den nächsten Jahren auch vermehrt zur Bioenergieproduktion eingesetzt werden.

### 6.5.4 Potenzial für Treibhausgas-Reduktionen beim Anbau von GV-Mais

Berechnungen der THG-Emissionsbilanzen von konventionell angebautem Nicht-GV-Mais mit dem Bilanzierungssystem GEMIS (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) können die möglichen Potenziale darstellen, die beim Einsatz von GV-Mais in Bezug auf die Verringerung der THG-Bilanz erwartet werden. Auf dieser Basis ist eine Abschätzung der maximalen Veränderungspotenziale und damit der Größenordnung für potenzielle Veränderungen möglich.

Für Körnermais sind der Treibstoffeinsatz für die Feldbearbeitung und -pflege und der Pestizideinsatz beim Anbau die relevanten Bereiche, in denen Änderung durch Einsatz von GV-Pflanzen möglich ist. Der Anteil des Treibstoffeinsatzes an der Gesamtbilanz beträgt laut GEMIS-Berechnungen 8,26 %. Er umfasst allerdings den gesamten Aufwand inklusive Bodenbearbeitung, Ausbringung von Dünger und Pestiziden sowie Ernte. Da bei der Mehrzahl der notwendigen Schritte der Einsatz von GV-Mais zu keiner Veränderung führt, ist das spezifische Einsparungspotenzial sehr gering (geschätzt 1–2 %). Es umfasst nur den Entfall des Aufwandes für allenfalls beim konventionellen Anbau angewandte Insektizide gegen Schadinsekten, da die mechanische Schädlingsbekämpfung (Häckseln der Ernterückstände) nicht eigens für die Maiszünslerbekämpfung durchgeführt wird und dieser Aufwand deswegen auch bei GV-Kulturen anfällt.

In Bezug auf den Pestizideinsatz liegt der Gesamtanteil in der THG-Bilanz laut GEMIS-Berechnungen bei 3,64 %. Das geschätzte Einsparungspotenzial würde daher bei maximal 1–2 % liegen, da wiederum nur der Anteil allfälliger Insektizidbehandlung eingespart wird.

Hinsichtlich der Einsparungspotenziale bei Pestiziden bei der Verwendung von GV-Mais liegen einige Anhaltspunkte vor: BROOKES (2007) geht in seinen Berechnungen des Nettoeffekts der GV-Maisanwendung davon aus, dass bei Verwendung von GV-Mais z. B. in Spanien keine gegen Maiszünsler und andere Zielinsekten gerichtete Bekämpfung notwendig war und folglich eine Reduktion des (finanziellen) Aufwandes erfolgte. Es wird in der Arbeit aber darauf hingewiesen, dass keine derartige Ersparnis auftrat, wenn ein Insektizideinsatz zur Bekämpfung anderer Schadinsekten nötig war. Angaben für die USA deuten darauf hin, dass bei wiederholtem Anbau von GV-Mais nach der anfänglichen Reduktion die Aufwandmengen an Insektiziden über die Jahre hinweg wieder angestiegen sind (BENBROOK 2004).

Auch für GV-Mais 3272, der speziell für die Bioenergieerzeugung entwickelt wurde, ist davon auszugehen, dass mit keiner verbesserten Treibhausgasbilanz bei der landwirtschaftlichen Produktion gerechnet werden kann, weil diese Maislinie keine agronomisch relevanten transgenen Merkmale enthält.

### **6.5.5 Abschätzung der Treibhausgas-Bilanz für den Anbau von GV-Raps**

Wie für GV-Mais erwähnt, wurde in der vom Umweltbundesamt publizierten Untersuchung auch ein Vergleich von konventionellem Rapsanbau und dem Anbau von herbizidtolerantem Raps (Basta-toleranter Winterraps) hinsichtlich Energieeinsatz und Treibhausgasbilanzen durchgeführt (UMWELTBUNDESAMT 1999). Die Modellrechnung für den Vergleich verschiedener Rapskulturen ging ebenfalls von gleichen Kulturführungsmaßnahmen bei Feldbearbeitung und Düngung bei konventionellen und bei GV-Rapskulturen aus.

Auch bezüglich der Fruchterträge bei GV-Raps wurde mit keiner wesentlichen Änderung gerechnet, da die verwendete GV-Rapslinie nicht auf größeren Ertrag hin modifiziert wurde und sich die Effizienz der Unkrautbekämpfung bei GV-Winterraps nicht von jener der in Österreich angewandten konventionellen Unkrautbekämpfung unterscheidet (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Die Berechnungen für die Szenarien des Anbaus von GV-Raps bzw. konventionellem Anbau von Nicht-GV-Raps zeigen, dass die Treibhausgasbilanzen bei Umstellung von konventioneller Wirtschaftsweise auf GVO-Produktion auch bei GV-Raps weitgehend gleich bleiben. Auch für GV-Rapskulturen werden insgesamt die Bearbeitungsschritte kaum reduziert. Somit ergeben sich keine relevanten Unterschiede in Bezug auf die Treibhausgasbilanzen.

Die Modellrechnung für den Vergleich des Anbaus von GV-Winterraps und Nicht-GV-Winterraps ergab bei der Berücksichtigung der Faktoren Maschineneinsatz und Treibstoff, Aufwand zur Herstellung von Düngemitteln und Pestiziden sowie direkten Emissionen durch Düngung und Pflanzenschutz kumulierte THG-Emissionen von 2.460 kg CO<sub>2</sub>/ha für GV-Raps (2.490 g CO<sub>2</sub>/l Rapsöl) sowie von 2.450 kg CO<sub>2</sub>/ha (2.500 g CO<sub>2</sub>/l Rapsöl) für konventionellen Raps (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Nachdem in der EU die in naher Zukunft verfügbaren GV-Rapslinien ebenfalls Herbizidtoleranz als transgenes Merkmal aufweisen, sind die Ergebnisse der angeführten Untersuchung auch in Bezug auf GV-Raps in ihrer Tendenz aussagekräftig.

### **6.5.6 Abschätzung der Ertragsänderungen beim Anbau von GV-Raps**

Aussagen hinsichtlich der Erträge beim Anbau von GV-Raps stützen sich auf Erfahrungen mit dem Anbau solcher Sorten in nicht-europäischen Ländern, vor allem in Nordamerika. Dokumentiert sind dort Mehrerträge beim Anbau von GV-Raps, verglichen mit dem Anbau von Nicht-GV-Raps, allerdings mit einer erheblichen Schwankungsbreite bei den angegebenen Daten. Berücksichtigt werden muss bei der Beurteilung dieser Ergebnisse speziell der Umstand, dass diese Daten nicht ohne Weiteres auf die österreichischen Verhältnisse übertragen werden können.

Die Untersuchung des JRC (GOMEZ-BARBERO & RODRIGUEZ-CEREZO 2006) stützt sich auf Daten für den Anbau von GV-Raps in Kanada, einem Land mit einem hohen Anteil an herbizidtolerantem GV-Raps. Landesweit gerechnet wird in dieser Quelle ein durchschnittlicher Mehrertrag von rund 6,8 % beim Anbau von GV-Rapslinien in Vergleich mit Nicht-GV-Sorten angegeben.

Eine andere Untersuchung (BROOKES & BARFOOT 2008) kommt ebenfalls für Kanada zum Schluss, dass für die ersten Jahre des Anbaus von transgenem Raps ein nennenswerter Mehrertrag bei GV-Raps (11 %) festgestellt werden konnte. Im Unterschied dazu hält die Untersuchung fest, dass für das Jahr 2006 die Erträge von GV-Raps und modernen Nicht-GV-Hybridrapslinien kaum noch differierten.

### **6.5.7 Potenzial für Treibhausgas-Reduktionen beim Anbau von GV-Raps**

Auch für konventionell angebaute Nicht-GV-Rapskulturen liegen mittels GEMIS durchgeführte Berechnungen der THG-Emissionsbilanzen vor. Ebenso wie für GV-Mais kann anhand dieser Daten auf die Veränderungspotenziale in der THG-Bilanz von GV-Raps im Vergleich zu konventionell angebautem Nicht-GV-Raps geschlossen werden.

Bei Raps beträgt der Anteil des Treibstoffeinsatzes beim Anbau an der Gesamtbilanz laut GEMIS-Berechnungen 8,56 %. Der Anteil für den Pestizideinsatz ist hingegen mit nur 0,77 % sehr gering.

Das Einsparungspotenzial ist im Fall von GV-Raps noch geringer als bei GV-Mais, da bei herbizidtoleranten GV-Pflanzen weiterhin Herbizide verwendet und ausgebracht werden. Der sich aus der Herbizidverwendung ergebende THG-relevante Aufwand kann daher höchstens geringfügig reduziert werden. Außerdem macht der Pestizideinsatz bei Rapskulturen nur einen sehr geringen Anteil in der Gesamtbilanz aus und geringe Veränderungen in diesem Teilbereich wirken sich daher insgesamt nur marginal aus.

Hinsichtlich des Pestizideinsatzes werden bei der Verwendung von herbizidtolerantem GV-Raps ebenfalls Einsparungseffekte für den notwendigen landwirtschaftlichen Aufwand beschrieben (BROOKES 2008). Allerdings sind diese weniger in Effekten begründet, die mit einer Reduktion von THG-Emissionen zusammenhängen, sondern vielfach durch finanzielle Einsparungen durch gesunkene Herbizidkosten und erleichtertes landwirtschaftliches Management.

Für Glyphosat-tolerante GV-Pflanzen ist darüberhinaus beschrieben, dass beim wiederholten Anbau die notwendigen Aufwandsmengen steigen (BENBROOK 2004) und damit der Einsparungseffekt bei der Herbizidverwendung sinkt.

### **6.5.8 Zusammenfassende Abschätzung der Treibhausgas-Potenziale von exemplarischen GV-Energiepflanzen**

Die angeführten Betrachtungen ergeben ein insgesamt übereinstimmendes Bild. Auch unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Einschätzung kann davon ausgegangen werden, dass keine erheblichen Unterschiede in den THG-Emissionsbilanzen zwischen konventionell angebauten Nicht-GV-Energiepflanzen (Mais, Raps) und derzeit verfügbaren GV-Mais bzw. GV-Rapslinien beim Anbau in Österreich erwartet werden können.

Darauf deutet einerseits der direkte Vergleich von bestimmten GV-Mais und – Rapslinien mit konventionell angebauten Nicht-GV-Sorten hin (UMWELTBUNDESAMT 1999). Aufgrund der ähnlichen transgenen Merkmale der untersuchten GV-Linien sind diese Ergebnisse auch für GV-Mais und GV-Raps relevant, die in naher Zukunft für die Biomasse- und Bioenergieproduktion eingesetzt werden könnten.

Andererseits scheinen die THG-Bilanzrelevanten Potenziale bei der Verwendung von derzeit kommerziell nutzbaren GV-Mais und GV-Rapslinien durch Reduktion des Aufwandes bei Pestizidanwendungen in Bezug auf die österreichische Praxis sehr begrenzt zu sein. Einen größeren Einfluss auf die THG-Bilanz hätten stärkere Ertragsdifferenzen zwischen GV- und Nicht-GV-Pflanzen, die allerdings derzeit unter den österreichischen Verhältnissen ebenfalls nicht gegeben scheinen (siehe Kapitel 6.5.3 und 6.5.6).

## 7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Derzeit besteht ein erheblicher Druck auf die rasche Ausweitung der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen. Da eine Reihe verschiedener Produktionswege und Rohstoffquellen in Konkurrenz stehen, ist die Frage der Bewertung und Steuerung unter Berücksichtigung ökologischer Fragestellungen aber schwierig durchzuführen und in vielen Details noch umstritten. Die mögliche Verwendung von GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung kompliziert diese Fragestellungen nochmals, da auch die Risikoabschätzung und Bewertung von GV-Nutzpflanzen für sich ein heikles und kontrovers diskutiertes Thema darstellt.

### 7.1 Entwicklung von GV-Energiepflanzen

Derzeit sind in Mitteleuropa noch sehr wenig speziell für die Biomasse- und Energieerzeugung gezüchtete Nutzpflanzen verfügbar, sowohl an konventionell gezüchteten Nutzpflanzen als auch an GV-Pflanzen. Spezielle Energiepflanzen für den Einsatz in Mitteleuropa kommen derzeit hauptsächlich aus konventionellen Zuchtprogrammen.

Zurzeit werden für die Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen hauptsächlich Nutzpflanzen eingesetzt, wie sie auch für die Lebens- und Futtermittelproduktion verwendet werden. Das ist darin begründet, dass die Nutzung von Restbiomasse aus der Biomasse- und Energieerzeugung in unproblematischer Weise für die Erzeugung von Koppelprodukten genutzt werden kann. Typische Koppelprodukte sind insbesondere Futtermittel bzw. industriell nutzbare Inhaltsstoffe. Als zusätzlicher Vorteil wird bei dieser Art Nutzung eine Verbesserung der Energieeffizienz und der THG-Bilanz erreicht. Eine solche gekoppelte Nutzung ist in Österreich wegen des heimischen Bedarfs an eiweißreichen Futtermitteln erwünscht (BMLFUW 2008). Wenn aus dieser Quelle allerdings die Nachfrage an gentechnik-frei erzeugten Futtermitteln mit gedeckt werden soll, dann wäre ein Einsatz von GV-Pflanzen nicht möglich.

Bei der Entwicklung spezifischer Energiepflanzen für die zukünftige potenzielle Nutzung werden Ziele verfolgt, die im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Risikoabschätzung relevant sind. Beispiele für solche Ziele sind

- Erhöhung der Biomasse unter Verzicht auf Steigerung des Fruchtertrags, z. B. bei Energiemaissorten,
- Eignung für Mehrkulturenanbau durch Verbesserung der Vorfruchteignung bzw. Anpassung an späte Aussaat der Folgefrucht,
- Erhöhung des Anteils von industriell verwertbaren, aber in Lebens- und Futtermitteln unerwünschten Inhaltsstoffen, wie z. B. bei Raps mit erhöhtem Anteil an antinutritiven Ölen,
- Entwicklung von low-input-Sorten für Anwendung an minder geeigneten Standorten unter Verzicht auf Erträge, die für Hochleistungssorten üblich sind.

Solche auf Bedürfnisse der Biomasse- und Energieerzeugung zugeschnittene Sorten bzw. GV-Pflanzen können allerdings auch spezifische ökologische Auswirkungen mit sich bringen. Derartige GV-Pflanzen benötigen daher bezüglich Risikoabschätzung und Anbaumanagement einen anderen Zugang als Nutzpflanzen für die Lebensmittel- und Futterproduktion.

## 7.2 Ökologische Auswirkungen

Die Anwendung von Nutzpflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung kann zu negativen ökologischen Folgen führen. Für GV-Pflanzen, die ähnlich angebaut werden wie konventionelle Kulturen, sind vergleichbare Umweltauswirkungen zu erwarten.

Werden Nutzpflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung parallel zu ähnlichen Kulturen für die Lebensmittel- und Futterproduktion angebaut, kann das regional gehäuft zu einer Intensivierung des Anbaus bestimmter Kulturen führen. Damit können regional stärkere Probleme hinsichtlich intensivierungsbedingter Auswirkungen (z. B. Rückgang der Biodiversität, Erosion, Auswirkungen auf Wasserqualität und -haushalt, etc.) auftreten.

Zusätzlich besteht regional in diesen Fällen eine höhere Flächenkonkurrenz zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und der Lebens- bzw. Futtermittelerzeugung sowie zu Flächen mit Relevanz für den Naturschutz. Dieses Risiko würde auch in gleicher Weise bei der Verwendung von GV-Pflanzen auftreten. Auch die Verwendung von gleichen Transgenen in verschiedenen GV-Pflanzen (z. B. Bt-Toxingene für Herstellung von Insektenresistenzen, Transgene die Toleranz gegenüber dem gleichen Herbizid vermitteln etc.) könnte potenziell zu Intensivierungseffekten führen.

Beim Einsatz von GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung kommen zu diesen generellen Risiken spezifische Risikopotenziale hinzu, die durch die transgenen Eigenschaften dieser Pflanzen bedingt sind.

Dazu zählt das Risiko, dass die in bestimmten GV-Energiepflanzen enthaltenen Transgene durch Auskreuzung unerwünschterweise an nicht-gentechnisch veränderte Kulturen der gleichen Nutzpflanzenart bzw. verwandte wild lebende Pflanzenarten weitergegeben werden können. Diese Problematik ist bei Kulturarten wie Mais, der keine in Österreich heimischen wild lebenden Kreuzungspartner aufweist, auf die Frage der Koexistenz zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionssystemen beschränkt.

Bei anderen Kulturarten, wie z. B. Raps oder auch Baumarten, kommen in Österreich wild lebende Kreuzungspartner vor, deshalb sind bei diesen Arten die Möglichkeiten für unerwünschte Effekte, darunter auch Auswirkungen auf naturschutzrechtlich geschützte Güter ungleich größer (DOLEZEL et al. 2007). Wenn diese Pflanzen gentechnisch verändert sind, muss das entsprechende Potenzial bei der Bewertung berücksichtigt werden. Sollten – wie beabsichtigt – langfristig GV-Pflanzen mit geringeren Standortanforderungen bzw. erhöhter Konkurrenzkraft entwickelt werden, ist das Risiko größer, dass sie sich verbreiten, in anderen Ökosystemen Fuß fassen und endemische Arten verdrängen. Auch GV-Bäume weisen in dieser Hinsicht ein höheres Risiko auf.

Der Anbau von bestimmten GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung könnte direkte und indirekte unerwünschte Auswirkungen auf die Biodiversität von Agrarökosystemen hervorrufen. Speziell bei insekten- und herbizidresistenten GV-Pflanzen ist mit derartigen Wirkungen zu rechnen. Aber auch andere gentechnische Veränderungen können solche Effekte haben, wenn sie das agronomische Verhalten der entsprechenden Nutzpflanzen ändern (Blühzeit, Erntezeit, Anbaustandorte etc.) oder inhaltsstoffliche Veränderungen bewirken.



In Bezug auf die Auswirkungen der derzeit verfügbaren GV-Pflanzen (speziell von GV-Mais and GV-Raps) auf die Treibhausgasemissionsbilanz bei der Produktion von Biomasse bzw. Energie sind im Vergleich mit nicht-gentechnisch veränderten Mais- bzw. Rapskulturen in Österreich nur geringe Unterschiede zu erwarten. In die Bewertung sollte eingehen, dass Raps und Mais als Energiepflanzen in Bezug auf die Treibhausgasbilanz schlechter abschneiden als z. B. die Energieerzeugung aus biogenen Abfällen. Die derzeit verfügbaren GV-Mais- und GV-Rapsorten haben in dieser Hinsicht keine wesentlichen Vorteile im Vergleich zu nicht-gentechnisch veränderten Sorten.

### 7.3 Anforderungen an die Risikoabschätzung

Bei der Risikoabschätzung von GV-Pflanzen zur Biomasse- und Energieerzeugung muss berücksichtigt werden, dass derzeit und in absehbarer Zukunft hauptsächlich Nutzpflanzenarten eingesetzt werden, die auch in der Lebens- und Futtermittelproduktion verwendet werden (wie z. B. Raps, Mais, Kartoffeln, Zuckerrübe etc.).

Die entsprechenden GV-Pflanzen können daher beabsichtigt oder unbeabsichtigt in der Lebens- oder Futtermittelproduktion verwendet werden. Bei der gekoppelten Nutzungsweise ist eine derartige Verwendung ausdrücklich vorgesehen. Die Risikoabschätzung für solche GV-Pflanzen muss daher auch die Anforderungen, die an GV-Lebens- und Futtermittel gestellt werden, erfüllen.

Angesichts der bestehenden Unsicherheiten und Schwächen der Risikoabschätzung für in der EU beantragte GV-Pflanzen besteht die dringende Notwendigkeit die entsprechenden vorgeschriebenen Standards einzuhalten und die Umsetzung durch klare und detaillierte Ausgestaltung der entsprechenden Leitlinien zu unterstützen.

Für spezifisch für Zwecke der Biomasse- und Energieerzeugung entwickelte GV-Pflanzen sollten die derzeit gestellten Anforderungen im Lichte ihrer Eigenschaften überprüft werden. Die Anforderungen an die Umweltrisikoprüfung müssen gegebenenfalls auch über das derzeit für GV-Pflanzen zur Lebens- und Futtermittelproduktion übliche Ausmaß erweitert werden.

Das gilt vor allem für GV-Pflanzen, bei denen Eigenschaften gentechnisch verändert sind, welche die Verbreitungsfähigkeit, die Fitness und das Anpassungsvermögen stärken. Ebenfalls sollte die Risikoabschätzung hinsichtlich der Auswirkungen auf die Biodiversität in den betroffenen (Agrar-)Lebensräumen konkretisiert werden, da solche Auswirkungen anhand der bislang vorgelegten Untersuchungsdaten nicht abgeschätzt werden können.

Bei GV-Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung sollte bei der Risikoabschätzung besonderer Wert auf die Erfassung möglicher ökologischer Auswirkungen gelegt werden. Besonders zu berücksichtigen ist dabei der Vergleich der THG-Bilanz mit vergleichbaren konventionellen Nutzpflanzen und anderen Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse (siehe Kapitel 7.2).

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Schlussfolgerungen

Regionalspezifische Auswirkungen wie z. B. auf Kulturführungsmaßnahmen, die mögliche Verengung der Fruchtfolge und die daraus resultierende Dominanz spezieller Kulturen, müssen in geeigneter Weise und in verbesserter Form in den Leitlinien zur Risikoabschätzung berücksichtigt werden, da mit diesen regionalen Veränderungen Umweltauswirkungen, wie Erhöhung des Wasserverbrauchs, Einfluss auf Bodenfruchtbarkeit sowie Bodenverdichtung und -erosion einhergehen.

Die vorliegende Studie hat Unsicherheiten aufgezeigt, die bei der Risikoabschätzung von GV-Pflanzen auftreten, für die bislang noch wenige Erfahrungen vorliegen und bei denen aufgrund ihrer biologischen Eigenschaften Risikopotentiale gegeben sind (z. B. GV-Pappeln). Diese Aspekte sollten daher in der Risikoabschätzung, besonders aber bei der Ausarbeitung von Leitlinien für die Risikoabschätzung von GV-Energiepflanzen ausreichend berücksichtigt werden.

Für GV-Pflanzen, die speziell für die Biomasse- und Energieerzeugung entwickelt wurden und transgene Eigenschaften enthalten, die mit einer Verwendung als Lebens- und Futtermittel nicht kompatibel sind, müssten vor einem allfälligen Anbau im Rahmen des Risikomanagements konkrete Maßnahmen vorgeschrieben und umgesetzt werden, die ein unabsichtliches Einbringen in die Produktionskette für Lebens- und Futtermittel ausschließen. Ein diesbezügliches Risiko ist vor allem zu erwarten, wenn Nutzpflanzenarten, die in Österreich für die Lebens- und Futtermittelerzeugung eingesetzt werden, entsprechend gentechnisch verändert werden.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- ANDOW, D. & ZWAHLEN, C. (2006): Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecology Letters* 9(2). S. 196–214.
- APHIS – Animal and Plant Health Inspection Service (2008): Petitions for Nonregulated Status Granted or Pending. US Department of Agriculture.  
[http://www.aphis.usda.gov/brs/not\\_reg.html](http://www.aphis.usda.gov/brs/not_reg.html).
- ARCADIA – Arcadia Biosciences (2008): Nitrogen Use Efficiency. Firmeninformationen.  
<http://www.arcadiabio.com/nitrogen.php>.
- ASANTE-OWUSU, R. (1999): GMO technology in the forest sector: A scoping study for WWF. [www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/gm.pdf](http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/gm.pdf).
- AZEVEDO, L. (2006): Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. *Annals of Applied Biology* 149/3, 243–247.
- AZEVEDO, L. (2007): Nitrogen use efficiency. 2. Amino acid metabolism. *Annals of Applied Biology* 151/3, 269–275.
- BENBROOK, C. (2001): Do GM Crops Mean Less Pesticide Use? *Pesticide Outlook*, pp. 204–207.
- BENBROOK, C. (2004): Genetically Engineered Crops and Pesticide Use in the United States: The First Nine Years. *BioTech Infonet Technical Paper* n. 7.  
[http://www.biotech-info.net/Full\\_version\\_first\\_nine.pdf](http://www.biotech-info.net/Full_version_first_nine.pdf).
- BMGFJ – Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend (2006): Scientific arguments for an import ban of herbicide tolerant oilseed rape GT73 (Notification C/NL/98/11).  
[http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/6/0/0/CH0817/CMS1200574298070/scientific\\_arguments.pdf](http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/6/0/0/CH0817/CMS1200574298070/scientific_arguments.pdf).
- BMGFJ – Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend (2008): Wissenschaftliche Begründung für ein Importverbot von GV-Raps Ms8, Rf3 und Ms8xRf3 der Firma Bayer Crop Science (Notifikation C/BE/96/01) in Österreich.  
[http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/3/0/9/CH0817/CMS1215778250501/importverbot\\_osr\\_ms8xrf3\\_-\\_internetfassung.pdf](http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/3/0/9/CH0817/CMS1215778250501/importverbot_osr_ms8xrf3_-_internetfassung.pdf).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008): Biokraftstoffe aktuell – Zahlen und Fakten.  
<http://umwelt.lebensministerium.at/article/articleview/66083/1/1467>.
- BØHN, T.; PRIMICERIO, R.; HESSEN, D.O. & TRAAVIK, T. (2008): Reduced fitness of *Daphnia magna* fed a Bt-transgenic maize variety. *In: Archives of Environmental toxicology and chemistry*. Published online 18. march.: DOI 10.1007/s00244-008-9150-5.
- BRAINBOWS INFORMATIONSMANAGEMENT GMBH (2007): Biomasse-Ressourcenpotenzial in Österreich.
- BROOKES, G. (2007): The benefits of adopting genetically modified, insect resistant (Bt) maize in the European Union (EU): first results from 1998–2006 plantings, PG Economics Ltd, UK.
- BROOKES, G. & BARFOOT, P. (2008): GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996–2006, PG Economics Ltd, UK.

- BURCHER, S. (2007): Global GM Crops Area Exaggerated.  
<http://www.i-sis.org.uk/GlobalGMCropsAreaExaggerated.php>.
- CASTALDINI, M.; TURRINI, A.; SBRANA, C.; BENEDETTI, A.; MARCHIONNI, M.; FABIANI, A.; LANDI, S.; SANTOMASSIMO, F.; PIETRANGELI, B.; NUTI, M.; MICLAUS N. & GIOVANNETTI M. (2005): Impact of Bt corn on rhizospheric and soil eubacterial communities and on beneficial mycorrhizal symbiosis in experimental microcosms. *Applied and Environmental Microbiology* 71. S. 6719–6729.
- CHAMBERLAIN, D.E.; FREEMAN, S.N. & VICKERY J.A. (2007): The effects of GMHT crops on bird abundance in arable fields in the UK. *In: Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, 350–356.
- CHO, Y.I.; JIANG, W.; CHIN, J.H.; PIAO, Z.; CHO, Y.G.; MCCOUCH, S. & KOH, H.J. (2007): *Mol Cells*. 23/1,72-9.
- CRUTZEN, P; MOSIER, A.; SMITH, K. & WINIWARTER W. (2007): N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *In: Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 7. S. 11191–11205.
- CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (2007): Nitrogen-efficient wheat & barley – the 'NUE' thing.  
<http://www.csiro.au/news/NueBarley.html>.
- DOLEZEL, M.; HEISSENBERGER, A. & GAUGITSCH, H. (2005): Ökologische Effekte von gentechnisch verändertem Mais mit Insektenresistenz und/oder Herbizidresistenz. Literaturstudie. Rote Reihe des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen. Sektion IV. Band 6/05. Wien.
- DOLEZEL, M.; ECKERSTORFER, M.; HEISSENBERGER, A.; BARTEL, A. & GAUGITSCH, H. (2007): Umwelt- und naturschutzrelevante Aspekte beim Anbau gentechnisch veränderter Organismen. Reports, Bd. REP-0122. Umweltbundesamt, Wien.
- DOLEZEL, M.; MIKLAU, M.; ECKERSTORFER, M.; HILBECK, A.; HEISSENBERGER, A. & GAUGITSCH, H. (2009): Standardisierung der Umweltrisikoaabschätzung gentechnisch veränderter Pflanzen in der EU. Bundesamt für Naturschutz, BfN – Skripten 259; <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript259.pdf>.
- DONNER, S.; & KUCHARIK C. (2008): „Corn-based ethanol production compromises goal of reducing nitrogen export by the Mississippi River“ *PNAS*, 105/11, S. 4513–4518.
- DUNWELL, J. (2005): Technologies for biological containment of GM and non-GM crops. Defra contract CPEC 47. Final report.
- EPOBIO (2006): Products from plants – the biorefinery future. Outputs from the EPOBIO workshop, Wageningen, NL, 22. bis 24. Mai 2006, 70 S.  
<http://www.epobio.net/publications.htm>.
- ERIKSSON, M.; ISRAELSSON, M.; OLSSON, O. & MORITZ, T. (2000): Increased gibberellin biosynthesis in transgenic trees promotes growth, biomass production and xylem fibre length. *Nature Biotechnology* 18. S. 784–788.
- ECKERSTORFER, M.; HEISSENBERGER, A. & GAUGITSCH, H. (2007): Supplementary Risk Assessment for GM Maize MON 810 with regard to the conclusions of the WTO Panel in the case „EC Biotech“ on Austrian safeguard measures for GM Maize. Forschungsberichte der Sektion IV, Band 4/2007, BMGFJ.
- ER – Europäischer Rat (2007): Schlussfolgerungen des Ratsvorsitzes Anhang I, Punkt 7. Europäischer Rat vom 7. bis 8.3.2007.

- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2004): Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification. Forest Genetic Resources Working Paper FGR/59E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. Rome, Italy.  
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae574e/ae574e00.pdf>
- FIRBANK, L.G.; HEARD, M.S.; WOIWOD, I.P.; HAWES, C.; HAUGHTON, A.J.; CHAMPION, G.T.; SCOTT, R.J.; HILL, M.O.; DEWAR, A.M.; SQUIRE, G.R.; MAY, M.J.; BROOKS, D.R.; BOHAN, D.A.; DANIELS, R.E.; OSBORNE, J.L.; ROY, D.B.; BLACK, H.I.J.; ROTHERY, P. & PERRY, J.N. (2003): An introduction to the farm-scale evaluations of genetically modified herbicide tolerant crops. *J. Appl. Ecol.* 40, 2–16.
- FIRBANK, L.G. (2008): Assessing the Ecological Impacts of Bioenergy Projects. *Bioenerg. Res.* 1, 12–19.
- FRAUEN, M. (2006): Perspektiven der Pflanzenproduktion aus Sicht der Pflanzenzüchtung. Raps – Biokraftstoff. DAF-Tagung Energie aus Biomasse – weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven, Braunschweig, 25./26. Oktober 2006, Dachverband Agrarforschung (DAF).  
[http://daf.zadi.de/download/PPT\\_Frauen.pdf](http://daf.zadi.de/download/PPT_Frauen.pdf)
- FURTNER, K. & HANEDER, K. (2005): Biomasse – Heizungserhebung 2004. NÖ-Landes-Landwirtschaftskammer, Eigenverlag. <http://www.landwirtschaftskammer.at/>
- GANSSMANN, M. (2005): Das Nutzungsprofil von Energiesonnenblumen, Pflanzenbauliche Aspekte einer neuen Nutzungsrichtung für Sonnenblumen. 1. KWS Energiepflanzen-Kolloquium, 7. bis 8.12.2005. KWS Saat AG. Einbeck.  
<http://www.kws-energie.de/index.php?mid=8>
- GENENCOR (2007): Genencor launches first ever commercial enzyme product for cellulose ethanol.  
[http://www.danisco.com/cms/connect/corporate/media\\_%20relations/news/archive/2007/october/gen\\_businessupdate\\_393\\_en.htm](http://www.danisco.com/cms/connect/corporate/media_%20relations/news/archive/2007/october/gen_businessupdate_393_en.htm)
- GÉNISSEL, A.; AUGUSTIN, S.; COURTIN, C.; PILATE, G.; LORME, P. & BOURGUET, D. (2003): Initial frequency of alleles conferring resistance to *Bacillus thuringiensis* poplar in a field population of *Chrysomela tremulae*. *Proceedings of the Royal Society of London Series B* 270 (1517). S. 791–797.
- GÓMEZ-BARBERO, M. & RODRÍGUEZ-CEREZO, E. (2006): Economic Impact of Dominant GM Crops Worldwide: a Review. European Commission, DG JRC-IPTS.
- HAMILTON, R. (2007): Biotechnology for Biofuels Production.  
[www.aspeninstitute.org/atf/cf/%7BD5E6F227-659B-4EC8-8F84-8DF23CA704F5.%7D/EEEethanol5.pdf](http://www.aspeninstitute.org/atf/cf/%7BD5E6F227-659B-4EC8-8F84-8DF23CA704F5.%7D/EEEethanol5.pdf)
- D'HERTEFELDT, T.; JØRGENSEN R.B. & PETTERSSON, L.B. (2008): Long-term persistence of GM oilseed rape in the seedbank, *Biol. Lett.* Population ecology, Doi:10.1098/rsbl.2008.0123.
- HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B. & GALLAIS, A. (2008): The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *J Exp Bot.* 58/9, 2369–87.
- ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (2008): Genetic Clearing House for Bioethanol Crops to be Established.  
<http://www.isaaa.org/Kc/cropbiotechupdate/biofuels/default.asp?Date=8/15/2008>

GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Literaturverzeichnis

- INDINGER, A.; LEUTGÖB, K.; LUTTER, E.; MADER, S.; NEMESTOTHY, K.; PEHERSTORFER, N.; PROIDL, H.; SATTTLER, M.; TRETTER, H. & VEIGL, A. (2006): Vorstudie für einen nationalen Biomasseaktionsplan für Österreich, Österreichische Energie Agentur.
- JAMES, C. (2006): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), ISAAA Briefs 35-2006. <http://www.isaaa.org/>.
- JAMES, C. (2007): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), ISAAA Briefs 37-2007. <http://www.isaaa.org/>.
- JOHNSON, B. & KIRBY, K. (2001): Potential impacts of genetically modified trees on biodiversity of forestry plantations: a global perspective. *In: Proceedings of the First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of Transgenic Plantations*, Strauss, S.H. & Bradshaw, H.D. (eds), College of Forestry, Oregon state University, pp. 176–186.  
[http://www.fsl.orst.edu/tgerc/iufro2001/eproc\\_d\\_28.pdf](http://www.fsl.orst.edu/tgerc/iufro2001/eproc_d_28.pdf).
- KALDORF, M., FLADUNG, M., MUHS, H.J. & BUSCOT., F. (2002). Mycorrhizal colonization of transgenic aspen in a field trial. *Planta* 214(4): 653–660.
- KAMIS, R. & JOSHI, M. (2008): Biofuel patents are booming. *Exchange Morning Post*. 22.1.2008.
- KINTISCH, E. (2008): Sowing the seeds for High-Energy Plants. *Science* 320: 478.
- LARSON, E. (2008): Biofuel Production Technologies: Status, Prospect and Implications for Trade and Development, UNCTAD/DITC/TED/2007/10.  
[http://www.unctad.org/en/docs/ditcted200710\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/ditcted200710_en.pdf).
- LEE, D. & NATESAN, E. (2006). Evaluating genetic containment strategies for transgenic plants. *Trends in Biotechnology* 24 (3):109–114.
- LYND, L.R.; LASER, M.S.; BRANSBY, D.; DALE, B.E.; DAVISON, B.; HAMILTON, R.; HIMMEL, M.; KELLER, M.; McMILLAN, J.D.; SHEEHAN, J.; WYMAN, C.E.. Energy biotechnology: Targeting a revolution. *Nature Biotechnol.* 26/2, 169–172.
- MARRIS, E. (2008): More crop per drop. *Nature* 452/20: 273–277.
- MENTZ, T. (2007): Entwicklung von Energieroggenkonzepten. 2. KWS Energiepflanzen-Kolloquium, 5.11. bis 6.11.2007, KWS Saat AG. Einbeck.  
<http://www.kws.de/li/bv/cioy/>.
- MICHIGAN STATE UNIVERSITY (2008): Cow stomach holds key to turning corn into biofuel.  
<http://www.news.msu.edu/story/872>.
- MIEDANER, T. & WILDE, P. (2005): Energieroggen – Aktueller Stand und Perspektiven aus Sicht der Pflanzenzüchter. 1. KWS Energiepflanzen-Kolloquium, 7. bis 8.12.2005, KWS Saat AG. Einbeck.  
<http://www.kws-energie.de/media/downloads/13/energieroggen.pdf>.
- NRC – National Research Council (2004). *Biological Confinement of Genetically Engineered Organisms*. National Academy Press, Washington, D.C.
- PATEL-PREDD, P. (2006): Overcoming the hurdles to producing ethanol from cellulose. *Env. Science & technol.* 40/13, 4052–4053.
- PEARCE, F. (2004). China's GM trees get lost in bureaucracy. *New Scientist*, 20 Sept., 2004.

- PENNISI, E. (2008): The Blue revolution, Drop by Drop, Gene by Gene. *Science* 320: 171–173.
- PELSEL, F.D.; LECOMTE, J.; EMERIAU, V.; KROUT, T.M.; MESSEAN, A. & GOUYON, P. H (2001): Persistence of oilseed rape (*Brassica napus*) outside of cultivated fields. *Theoretically and Applied Genetics* 102, 841–846.
- REINHARDT, G.; GÄRTNER, S.; PATYK A.; RETTENMAIER, N. (2006): Ökobilanzen zu BtL: Eine ökologische Einschätzung. IFEU, Heidelberg, 102 S.
- REINHARDT, G.; SCHEURLIN, K.; THIELE, M. & C. WETTSTEIN (2004): F+E-Vorhaben: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. BfN-Skripten, Bonn, S. 128.
- RODE, M.; SCHNEIDER, C.; KETELHAKE, G (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. BfN-Skripten, Bonn, 183 S.
- ROSI-MARSHALL, E.J.; TANK, J.L.; ROYER, T.V.; WHILES M.R.; EVANS-WHITE, M.; CHAMBERS, C.; GRIFFITHS, N.A.; POKELSEK, J. & STEPHEN, M.L. (2007). Toxins in transgenic crop byproducts may affect headwater stream ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:16204–16208.
- RUBIN, E.M. (2008): Genomics of cellulosic biofuels. *Nature* 454/14: 841.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten Hausdruck.  
[http://www.umweltrat.de/02gutach/download02/sonderg/SG\\_Biomasse\\_2007\\_Hausdruck.pdf](http://www.umweltrat.de/02gutach/download02/sonderg/SG_Biomasse_2007_Hausdruck.pdf).
- SCHMIDT, W. (2005): Energiemais – Aktueller Stand und Perspektiven aus Sicht der Pflanzenzüchter. 1. KWS Energiepflanzen-Kolloquium, 7. bis 8.12.2005, KWS Saat AG. Einbeck.  
[http://www.kws-energie.de/media/downloads/13/energiemais\\_aktuell.pdf](http://www.kws-energie.de/media/downloads/13/energiemais_aktuell.pdf)
- SCHMIDT, W. (2006): Strategien und Stand der Züchtung neuer Sorten bzw. neuer Pflanzenarten zur energetischen Nutzung.  
[http://www.ikzm-d.de/addons/pdfs/136\\_Z\\_chtung.pdf](http://www.ikzm-d.de/addons/pdfs/136_Z_chtung.pdf).
- SCHMIDT, W.; KREPS, R. (2007): Stand der Energiemaiszüchtung bei der KWS Saat AG, 2. KWS Energiepflanzen-Kolloquium, 5.11. bis 6.11.2007. KWS Saat AG. Einbeck.  
<http://www.kws.de/aw/KWS/home/innovation/~ci0y/Energiepflanzen-Kolloquium/>.
- SCHMIDT, W. & LANDBECK, M. (2005): Züchtung von Energiepflanzen aus Sicht der Industrie am Beispiel Mais.  
[http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/SCHMIDT\\_FAL\\_FNR.pdf](http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/SCHMIDT_FAL_FNR.pdf).
- SCHORLING, M.; STIRN, S.; BEUSMANN, V. (2009): Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen. Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten 258.  
[http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript258\\_Text\\_komplett.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript258_Text_komplett.pdf)
- SCHÖNE, F. (2007): Anforderungen an die Energiepflanzenproduktion aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes.  
<http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/10.pdf>.
- SCHÜTZ, H. & BRINGEZU, S. (2006): Flächenkonkurrenz bei der weltweiten Bioenergieproduktion – Kurzstudie im Auftrag des Forums Umwelt und Entwicklung. 24 S.
- SPLECHTNA, B. & GLATZEL, G. (2005): Optionen der Bereitstellung von Biomasse aus Wäldern und Energieholzplantagen für die energetische Nutzung. Materialien 1., Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, 44 S.

## GV-Pflanzen für die Bioenergieerzeugung – Literaturverzeichnis

- SPÖK A, GAUGITSCH H, LAFFER S., PAULI G., SAITO H., SAMPSON H., SIBANDA E., THOMAS W., VAN HAGE-HAMPSTEN, M. & VALENTA, R. (2005): Suggestions for the assessment of the allergenic potential of genetically modified organisms. *International Archives of Allergy and Immunology* 137: 167–180.
- SPÖK, A.; DOLEZEL, M.; ECKERSTORFER, M.; FREIGASSNER, M.; GAUGITSCH, H.; HEISSENBERGER, A.; KARNER, S.; KLADE, T.; PROKSCH, M.; SCHNEIDER, L.; TREIBER, F. & UHL, M. (2008): Assessment of toxic and ecotoxic properties of novel proteins in GMOs. *Forschungsberichte der Sektion IV, Band 1/2008, Teil 1, BMGFJ*.
- STATISTIK AUSTRIA (2006): Agrarstrukturerhebung, Anbau auf dem Ackerland.  
<http://www.statistik.at/>
- STICKLEN, M.B. (2008): Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nature Reviews Genetics* 9, 433–443.
- STRANGE, A.; PARK, J.; BENNETT, R. & PHIPPS, R. (2008): The use of life-cycle assessment to evaluate the environmental impacts of growing genetically modified, nitrogen use-efficient canola. *Plant Biotechnol J.* 6/4, 337–45.
- TAKEDA, S. & MATSUOKA, M. (2008): Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. *Nature Reviews Genetics* 9, 444–457.
- TALUKDER, K. (2006). Low-lignin wood – a case study. *Nature Biotechnology* 24: 395–396.
- TIIMONEN, H., ARONEN, T., LAAKSO, T., SARANPÄÄ, P., CHIANG, V., YLIOJA, T., ROININEN, H. & HÄGGMAN, H. (2005). Does lignin modification affect feeding preference or growth performance of insect herbivores in transgenic silver birch (*Betula pendula*)? *Planta* 222: 699–708.
- TORNEY, F.; MOELLER, L.; SCARPA, A. & WANG, K. (2007): Genetic engineering to improve bioethanol production from maize. *Curr. Opin. in Biotechnology* 18: 193–199.
- UMWELTBUNDESAMT (1999): Klöpffer, W.; Renner, I.; Tappeser, B.; Eckelkamp, C.; Dietrich, R.: Life Cycle Assessment gentechnisch veränderter Produkte als Basis für eine umfassende Beurteilung möglicher Umweltauswirkungen. Monographien, Bd. M-111. Umweltbundesamt, Wien.
- VAN FRANKENHUYZEN, K. & BEARDMORE, T. (2004). Current status and environmental impact of transgenic forest trees. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1163–1180.
- VETTER, A. (2007): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen. Vortrag auf dem BMELV-Energiepflanzensymposium, 24. bis 25.10.2007, Berlin. 3 S.
- VOGEL, B. (2006). Advice on environmental impacts of transgenic forest trees for consideration by the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice (SBSTTA), Submission to the Convention on Biological Diversity, in behalf of: Greenpeace International.
- WANG, H. (2004). The state of genetically modified forest trees in China. In: FAO: Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification. Forest Genetic Resources Working Paper FGR/59E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. Rome, Italy.  
[http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/AE574E08.htm#P2194\\_223664](http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/AE574E08.htm#P2194_223664).



- WENES, A.L., BOURGUET, D., ANDOW, D.A., COURTIN, C., CARRÉ, G., LORME, P., SANCHEZ, L. & AUGUSTIN, S. (2006). Frequency and fitness cost of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Chrysomela tremulae* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Heredity* 97: 127–134.
- WINKELMANN, I. (2006): Kurzumtriebsplantagen aus naturschutzfachlicher Sicht. Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Natur und Landschaft und Ableitung von Handlungsempfehlungen. Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover.
- YOSHIMURA, Y.; BECKIE, H.J. & MATSUO, K. (2006): Transgenic oilseed rape along transportation routes and port of Vancouver in western Canada. *Environmental Biosafety Research* 5, 67–75.
- ZACHARIAS A. (2007): Entwicklung von Energiesorghum. 2. KWS Energiepflanzen-Kolloquium, 5.11. bis 6.11.2007. KWS Saat AG. Einbeck.  
<http://www.kws.de/li/bv/cioy/>.
- ZARRILLI, S. (2008): Global Perspective of Biotechnology-based Bioenergy and Major Trends. <http://www.fao.org/biotech/docs/zarrilli.pdf>.

### Rechtsnormen und Leitlinien

- EFSA – European Food Safety Authority (2006): Guidance document of the Scientific Panel on genetically modified organisms for the risk assessment of genetically modified micro-organisms and their derived products intended for food and feed use. Adopted on 17 May 2006. *The EFSA Journal* 374, 1–115.
- EFSA – European Food Safety Authority (2008): Draft Opinion of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on the risk assessment of genetically modified plants used for non-food or non-feed purposes (EFSA-Q-2007-176). Draft Opinion adopted on 16 April 2008 for public consultation.  
[http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa\\_locale-1178620753812\\_1178716609288.htm](http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178716609288.htm)
- Freisetzungsrichtlinie (RL 2001/18/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. ABl. Nr. L 106.
- VO (EG)1829/2003: Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel. ABl. Nr. L 268.

Anmerkung: Bitte beachten Sie, dass die Internetadressen von Dokumenten häufig verändert werden. In diesem Fall empfehlen wir, die angegebene Adresse auf die Hauptadresse zu reduzieren und von dort aus das Dokument zu suchen. Die nicht mehr funktionierende, lange Internetadresse kann Ihnen dabei als Orientierungshilfe dienen.

**Umweltbundesamt GmbH**

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

[office@umweltbundesamt.at](mailto:office@umweltbundesamt.at)

[www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)

**Der Report des Umweltbundesamt untersucht den Einsatz gentechnisch veränderter (GV) Pflanzen für die Biomasse- und Energieerzeugung in Österreich.**

**Spezielle Energiepflanzen sind zurzeit in Europa nicht zugelassen. Es bestehen jedoch Bestrebungen, herbizidtolerante und/oder insektenresistente Mais- und Rapspflanzen einzusetzen.**

**Da die Risikoabschätzung aus österreichischer Sicht vor allem hinsichtlich der Auswirkungen auf nachhaltige Landnutzung und Klima mangelhaft ist, gibt es Verwendungsverbote für viele GV-Pflanzen. Risiken bestehen einerseits aufgrund negativer Umwelteffekte durch Intensivierung des Anbaus von Mais- und Rapskulturen und andererseits durch die Koexistenz mit gentechnikfreien Kulturen.**

**Hinsichtlich der Treibhausgasbilanz sind derzeit keine wesentlichen Verbesserungen im Vergleich zum Anbau konventioneller Sorten feststellbar.**

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Publikationen des Umweltbundesamtes, Wien](#)

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: [REP\\_264](#)

Autor(en)/Author(s): Eckerstorfer M.Michael, Sedy Katrin, Narendja Frank,  
Heissenberger Andreas, Gaugitsch Helmut

Artikel/Article: [Gentechnisch veränderte Pflanzen für die Energieerzeugung. Potenzial und Risiken. 1-95](#)