



Berlin-Brandenburgische  
Akademie der Wissenschaften

Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe

**Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume  
- LandInnovation -**

**Der Beitrag von  
Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften  
zur  
Inwertsetzung  
ländlicher Räume**

Anke Serr, Alfred Pühler, Inge Broer

Unter Mitarbeit von

Klaus Menrad, Joachim Schiemann, Helmar Schubert,  
Gerd Spelsberg, Herbert Sukopp, Gerhard Wenzel und  
Peter Zwerger

Dezember 2007

MATERIALIEN Nr. 19

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften  
Interdisziplinäre Arbeitsgruppe *Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume*  
Jägerstr. 22/23  
10117 Berlin  
Tel. (030) 20370-538  
Fax (030) 20370-214  
<http://landinnovation.bbaw.de>

Materialien  
Nr. 19

Anke Serr, Alfred Pühler, Inge Broer  
Unter Mitarbeit von Klaus Menrad, Joachim Schiemann, Helmar Schubert, Gerd Spelsberg, Herbert Sukopp, Gerhard Wenzel und Peter Zwerger  
**Der Beitrag von Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften zur Inwertsetzung ländlicher Räume**  
© 2007 Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, sind vorbehalten.

Satzvorlage und Umschlaggestaltung: work:at:BOOK / Martin Eberhardt, Berlin  
Printed in Germany

---

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>9</b>
<b>Zielstellung</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Innovationsbedarf versus Innovationspotenzial in der Untersuchungsregion</b> .....	<b>13</b>
1.1 <i>Befragung der Landwirte in der Untersuchungsregion</i> .....	20
1.2 <i>Angebot an neuartigen Pflanzen</i> .....	26
1.3 <i>Synthese aus Bedarf und Angebot zur Auswahl der für die Untersuchungsregion besonders geeigneten neuartigen Pflanzen</i> .....	30
1.4 <i>Untersuchung der Praxistauglichkeit der ausgewählten neuartigen Pflanzen</i> .....	31
1.5 <i>Alte Kulturpflanzen neu entdeckt: früher in der Untersuchungsregion angebaute Kulturpflanzenarten mit neuartigen sowie kombinierten Eigenschaften</i> .....	32
<b>2 Biologische Sicherheit der ausgewählten Pflanzen</b> .....	<b>35</b>
2.1 <i>Kulturartenspezifische Risiken</i> .....	36
2.2 <i>Untersuchung der in die Pflanzen neu eingeführten bzw. verbesserten Eigenschaften zur Beurteilung der biologischen Sicherheit</i> .....	44
<b>3 Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der als biologisch sicher eingestuftten Pflanzen anhand innovativer Fallbeispiele zur Auswahl der Pflanzen mit hoher Rentabilität</b> .....	<b>55</b>
3.1 <i>Kostensparnis: reduzierter Pflanzenschutzmittelaufwand</i> .....	56
3.2 <i>Zusatznutzen: Mehrerlös von gleicher Fläche</i> .....	60
3.3 <i>Neuartigkeit: fehlende regionale Anbauerfahrung</i> .....	62
3.4 <i>Zusatzkosten durch den Anbau von Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften</i> .....	65
<b>4 Schlussfolgerungen zu Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften</b> .....	<b>69</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>71</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>79</b>



---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenstellung von Daten aus den Bereichen der Land- und Forstwirtschaft aus der Untersuchungsregion für eine vergleichende Darstellung relevanter Größen (Stand: 2003). .....	14
Tabelle 2: Zusammenstellung der am häufigsten genannten Antworten zur Frage welche Kulturen derzeit in den Betrieben Schwierigkeiten bereiten und welche Veränderungen bei diesen Kulturen wünschenswert wären. ....	24
Tabelle 3: Zusammenfassung der am häufigsten genannten Antworten auf die Frage welche Pflanzen mit welchen neuartigen Eigenschaften geeignet wären vorhandene Probleme zu lösen. ....	25
Tabelle 4: Derzeit für einen Anbau in der EU zugelassene oder für die Zulassung beantragte transgene Kulturpflanzen. ....	26
Tabelle 5: Neuartige Pflanzen, die voraussichtlich in den nächsten 5 bis 10 Jahren auf dem deutschen (bzw. europäischen) Markt zu finden sein werden. ....	27
Tabelle 6: Neuartige Pflanzen und Eigenschaften, die voraussichtlich (zusätzlich zu den in Tabelle 5 genannten) innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahren auf dem deutschen (bzw. europäischen) Markt zu finden sein werden. ....	29
Tabelle 7: Zusammenfassung der ausgewählten Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften die dem Bedarf der Landwirte entsprechen und die in den nächsten 20 Jahren möglicherweise auf dem deutschen (europäischen) Markt verfügbar sind („Synthese-Liste“). ....	30
Tabelle 8: Zusammenfassung der nach der persönlichen Befragung ausgewählten Pflanzen („Abschluss-Liste“) .....	32
Tabelle 9: Entscheidungstabelle für Maisanbauer hinsichtlich einzuhaltender Abstände in Verbindung mit der Größe der konventionell bewirtschafteten Nachbarschläge zur Einhaltung unterschiedlicher Schwellenwerte. ....	39
Tabelle 10: Zusätzliche Kosten für den Anbau von Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften in der Region .....	66



---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anbauflächen der in den Landkreisen Uecker-Randow, Uckermark und Barnim angebauten land-wirtschaftlichen Kulturen. Dargestellt sind Daten der Hauptehebungsjahre 1995, 1999 und 2003. ....	15
Abbildung 2: Naturalerträge aus den Landkreisen Uecker-Randow (UER), Uckermark (UM) und Barnim (BAR) in den Hauptehebungsjahren 1995, 1999 und 2003. ....	16
Abbildung 3: Prozentuale Verteilung der Flächenausstattung der befragten Betriebe in der Untersuchungsregion. ....	21
Abbildung 4: Prozentuale Verteilung der durchschnittlichen Größe der Ackerschläge. ....	22
Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Flächen auf Acker- und Grünlandanteile. ....	22
Abbildung 6: Angaben zu den Naturalerträgen der von den befragten Landwirten im Wirtschaftsjahr 2005 angebauten Kulturarten. ....	23
Abbildung 7: Prozentuale Verteilung der Antworten zur Frage nach nachteiligen agronomischen Eigenschaften bzw. ungünstigen Inhaltsstoff-Zusammensetzungen der momentan in den Betrieben angebauten Kultursorten. ....	23
Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der Angaben zur Frage, ob Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften eine geeignete Lösung für die genannten Probleme darstellen. ....	25
Abbildung 9: Von der freisetzungsbegleitenden Sicherheitsforschung zur langfristigen Umweltbeobachtung gentechnisch veränderter Pflanzen. ....	36
Abbildung 10: Angaben zu den möglichen direkten und indirekten Auswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen in der Umwelt. ....	37
Abbildung 11: Faktoren die über einen Einsatz von Fungiziden in Getreide entscheiden. ....	59
Abbildung 12: CHART – Weizenpreis in Euro je Tonne. ....	60



## **Vorwort**

Dieses Arbeitsheft stellt die Forschungsergebnisse des Clusters 'Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften' dar, die im Rahmen des Projektes „Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume“ der interdisziplinären Arbeitsgemeinschaft *LandInnovation* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ermittelt und in einer gekürzten Fassung im Akademie-Verlag, Berlin, veröffentlicht werden.



---

## Zielstellung

In den nächsten 20 Jahren müssen Landwirte mit Beihilfekürzungen, klimatischen Veränderungen, sich wandelnden Absatzmärkten durch verändertes Verbraucherverhalten und steigendem Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen rechnen. Dadurch wird sich der Druck auf die Landwirte verstärken, traditionelle Anbauverfahren durch neue Lösungen – wie z. B. den Anbau nachwachsender Rohstoffe – zu ersetzen. Eine Option, ihre wirtschaftliche Situation zu sichern oder sogar zu verbessern, könnte der Einsatz von Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften<sup>1</sup> sein. Solche Änderungen müssen sich allerdings am Bedarf der Landwirte, den Voraussetzungen in der Region<sup>2</sup>, den Anforderungen einer nachhaltigen, d. h. einer ökologisch und sozial verträglichen, Nutzung orientieren.

*Ziel ist es daher Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften zu identifizieren, die in der Untersuchungsregion innerhalb der nächsten 20 Jahre eine möglichst subventionsfreie Landwirtschaft erlauben, die ökonomisch, ökologisch und dabei sozial vertretbar ist.*

Grundlegende Voraussetzung für die Beurteilung des Potenzials einer neuen Technologie für eine Region ist die Ermittlung des Bedarfs und der vorhandenen Möglichkeiten, diesen Bedarf zu decken. Da es sich hier um zukunftsorientierte Lösungen handeln sollte, müssen sowohl der Bedarf als auch das Entwicklungspotenzial für einen begrenzten Zeitraum, in diesem Fall 20 Jahre, abgeschätzt werden. Daraus ergeben sich zwangsläufig Ungenauigkeiten, denen wir mit einer fundierten Analyse der Ausgangsposition und der Begrenzung des Untersuchungsgebiets begegnen wollen. Die Grundlage unserer Abschätzung ist eine Befragung der potenziellen Nutzer (Landwirte) und den potenziellen Anbietern (Forschung, Entwicklung, Pflanzenzüchtung).

Für die Eingliederung der identifizierten neuartigen Pflanzen in die regionalen Fruchtfolgen ist die uneingeschränkte Praxistauglichkeit von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grunde erfolgte – nach eingehender biologischer Sicherheitsbewertung – für einige der ausgewählten Pflanzen eine Wirtschaftlichkeitsprognose.

---

<sup>1</sup> Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften sind landwirtschaftliche Kulturpflanzen, die einen veränderten Primär- und/oder Sekundärstoffwechsel aufweisen und dadurch eine verbesserte Nutzbarkeit besitzen. Bei der Veränderung des Stoffwechsels können konventionelle Züchtung, Gentechnik oder andere Verfahren zum Einsatz kommen, wobei alle Pflanzenarten Berücksichtigung finden, die zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln oder als nachwachsender Rohstoff dienen.

<sup>2</sup> Als Untersuchungsregion und zur Bedarfsermittlung bei Landwirten dienten dem Cluster die drei von der interdisziplinären Arbeitsgruppe ausgewählten Landkreise Uecker-Randow (Mecklenburg-Vorpommern), Uckermark (Brandenburg) und Barnim (Brandenburg), welche als repräsentativ für das Norddeutsche Tiefland angesehen werden.



---

## 1 Innovationsbedarf *versus* Innovationspotenzial in der Untersuchungsregion

Obwohl in den seltensten Fällen ein linearer Zusammenhang zwischen Ertrag und Ackerzahl<sup>3</sup> besteht, dient die Ackerzahl zurzeit noch als ein weit verbreiteter Maßstab zur Darstellung der Ertragsfähigkeit von Böden. Die beste Ackerfläche hat einen Wert von 110 und der schlechteste Boden eine Ackerzahl von 7 (OEHMICHEN 2000). Die Ackerzahlen in Uecker-Randow variieren zwischen 20 im Norden und 50 im Süden (KLAMMER 2002) und sind somit sehr heterogen. Das flächengewichtete Mittel der Ackerzahlen in der Uckermark beträgt 37 und in Barnim lediglich 28.<sup>4</sup> Trotz der teils sehr geringen Bodenqualitäten nehmen in der Untersuchungsregion Land- und Forstwirtschaft eine wichtige Stellung ein, wobei der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) und der Waldanteil an den Kreisflächen stark schwanken (vgl. Tabelle 1). So dominieren in der Uckermark, mit einem Anteil von 58 %, die landwirtschaftlich genutzten Flächen, wohingegen in Barnim mit 45 % der Waldanteil an der Kreisfläche überwiegt. Kennzeichnend für den Landkreis Uecker-Randow sind ausgedehnte Niedermoorböden und der – mit 30 % – weit über dem Landesdurchschnitt liegende Anteil an Dauergrünland (KLAMMER 2002). Trotz erheblichem Stellenabbau, vor allem vor 1993 (LUA 2001) und geringem Anteil der Landwirtschaftsbeschäftigten, sind sowohl Land- als auch Forstwirtschaft bedeutende Wirtschaftsfaktoren sowie wichtige Arbeitgeber in der Region.

Die Region weist Flächen mit sehr ungleichen Qualitäten auf, was sich auch in der unterschiedlichen Nutzungsverteilung zeigt. So werden Böden mit niedriger Güte meist als Wald oder Grünland genutzt, während Böden mit höherem Ertragspotenzial meist als Ackerland dienen. Aber auch die Ackerböden der Region weisen teilweise sehr niedrige Qualitäten auf und sind dabei gleichzeitig extrem heterogen, was zu großen Ertragsunterschieden in der Pflanzenproduktion führt. Hinzu kommt, dass bereits jetzt die Niederschläge im Norddeutschen Tiefland lediglich zwischen 500 und 700 mm betragen.<sup>5</sup> Da ein Rückgang der Niederschläge, verbunden mit einer Veränderung der Niederschlagsverteilung (WEIGEL 2005), zu erwarten ist, muss befürchtet werden, dass auf den sehr leichten Böden in der Region mit Ertragsunsicherheiten zu rechnen sein wird.

---

<sup>3</sup> Acker- und Grünlandzahlen stellen nach heutigem Kenntnisstand keine abgesicherten Werte zur Beurteilung der Ertragsfähigkeit mehr dar. So können Böden mit höheren Ackerzahlen niedrigere Naturalerträge hervorbringen als Böden mit niedrigen Ackerzahlen und besseren Standortbedingungen. Als Folge hiervon wird gegenwärtig eine Aktualisierung der Acker- und Grünlandzahlen vorgeschlagen (BAHRS ET AL 2003). Da bislang noch keine Aktualisierung erfolgte, werden zur Charakterisierung der Ertragsfähigkeit von Böden in diesem Kapitel die derzeitigen Ackerzahlen herangezogen.

<sup>4</sup> Vgl.: [www.zalf.de/home\\_zalf/download/lisa/strukanalyse/elanus/cdinhalt/pkt32/pkt32.htm](http://www.zalf.de/home_zalf/download/lisa/strukanalyse/elanus/cdinhalt/pkt32/pkt32.htm).

<sup>5</sup> Vgl.: [www.destatis.de](http://www.destatis.de)

Tabelle 1: Zusammenstellung von Daten aus den Bereichen der Land- und Forstwirtschaft aus der Untersuchungsregion für eine vergleichende Darstellung relevanter Größen (Stand: 2003).

	<b>Uecker-Randow</b>	<b>Uckermark</b>	<b>Barnim</b>
<b>Gesamtfläche Landkreis (Hektar)</b>	162.400 ha	305.800 ha	149.500 ha
<b>Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN) im Landkreis an Gesamtfläche (ha)</b>	79.887 (= 49 %)	176.549 (= 58 %)	49.613 (= 33 %)
<b>Anteil Ackerfläche an LN (ha)</b>	55.779 (= 70 %)	148.777 (= 84 %)	41.199 (= 83 %)
<b>konventionell bewirtschaftete Ackerfläche (ha)</b>	48.995 (= 88 %)	136.007 (= 91 %)	37.961 (= 92 %)
<b>ökologisch bewirtschaftete Ackerfläche (ha)</b>	6.784 (= 12 %)	12.770 (= 9 %)	3.238 (= 8 %)
<b>Anteil Grünland an LN (ha)</b>	24.052 (= 30 %)	27.584 (= 16 %)	8.233 (= 17 %)
<b>konventionell bewirtschaftete Grünlandfläche (ha)</b>	11.932 (= 49 %)	24.188 (= 88 %)	6.691 (= 81 %)
<b>ökologisch bewirtschaftete Grünlandfläche (ha)</b>	12.120 (= 51 %)	3.396 (= 12 %)	1.542 (= 19 %)
<b>Waldanteil (%)</b>	32	22	45
<b>Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe insgesamt</b>	238	590	286
<b>Anzahl konventionelle Betriebe</b>	180	535	254
<b>Anzahl Ökolandbau-Betriebe</b>	58	55	32
<b>durchschnittliche Größe der Betriebe (ha)</b>	~ 336	~ 299	~ 173
<b>Anzahl Betriebe über 100 Hektar</b>	105	264	84

Quellen: Uckermark und Barnim: Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg (2005), LUA (2001) und Uecker-Randow: Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern<sup>6</sup> KLAMMER (2002) und eigene Berechnungen.

Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen bewirtschafteten im Jahr 2003 in der Region insgesamt 1.114 Betriebe eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von über 300.000 Hektar, wobei die durchschnittliche Betriebsgröße etwa 270 Hektar betrug. Durch die im Untersuchungsgebiet vorherrschende Betriebsstruktur, mit partiell beträchtlicher Flächenausstattung und sehr großen Schlägen, können bestehende Standortnachteile, wie heterogene Bodenqualitäten und geringe Niederschläge, teilweise kompensiert und unrentable Flächen stillgelegt werden. Dennoch ist die Anzahl der Betriebe, nachdem ihre Zahl nach 1992 angestiegen war, seit etwa 1995 bzw. 1998 in allen drei Landkreisen wieder rückläufig (KLAMMER 2002, Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg 2005). Darüber hinaus ist auch zu beobachten, dass in den letzten Jahren auch die landwirtschaftlich genutzte Fläche je Betrieb, von Schwankungen abgesehen, in allen drei Landkreise zurückgeht (StatA MV 2005, Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg 2005). Worauf dieses Phänomen letztendlich zurückzuführen ist, lässt sich nur schwer beurteilen. Es kann jedoch vermutet werden, dass die ungünstigen Standortbedingungen zu Flächenaufgaben geführt haben.

<sup>6</sup> Vgl.: [www.statistik-mv.de](http://www.statistik-mv.de).

Die Pflanzenproduktion ist in hohem Maße von den Standorteigenschaften wie Klima und Boden abhängig. Dies wird auch im Spektrum der angebauten Kulturarten deutlich (vgl. Abbildung 1). Für Getreide und Raps handelt es sich bei den aufgeführten Daten ausschließlich um Winterungen. Die Getreide- und Ölpflanzen-Sommerungen sowie der Körnermais werden aufgrund ihrer geringen Anbaufläche und der damit verbundenen geringen Bedeutung nicht dargestellt. Grundsätzlich werden ausschließlich Kulturen aufgeführt, für die durch Verkauf Erlöse erzielt werden und ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit in Form des *Kalkulatorischen Gewinnbeitrags* erfolgen kann (vgl. Wirtschaftlichkeitsprüfung unter Kapitel 3). Futterpflanzen verbleiben meist im Betrieb, wodurch ökonomische Vorteile neuartiger Eigenschaften nur schwer quantifizierbar sind, so dass eine nähere Betrachtung dieser Kulturen nicht erfolgt.

Wichtigste Ackerkulturen in Uecker-Randow und der Uckermark waren bei den letzten Haupterhebungen in den Jahren 1999 und 2003 Weizen und Raps, die beide als einträgliche Marktfrüchte gute Erlöse erzielen und bei denen steigende Anbauflächen zu verzeichnen waren. Dagegen hatte der Roggen, wahrscheinlich aufgrund der geringeren Wirtschaftlichkeit, in beiden Landkreisen erhebliche Anbauflächen eingebüßt. Eindeutige Zunahmen waren bei Triticale, hauptsächlich in Uecker-Randow, zu beobachten. Der Anbau von Zuckerrüben, Hafer und Kartoffeln zeigte dagegen weniger Schwankungen. Wichtigste Futterpflanze in beiden Landkreisen war der Silomais, wobei in den letzten beiden Erhebungen rückläufige Tendenzen zu erkennen sind.

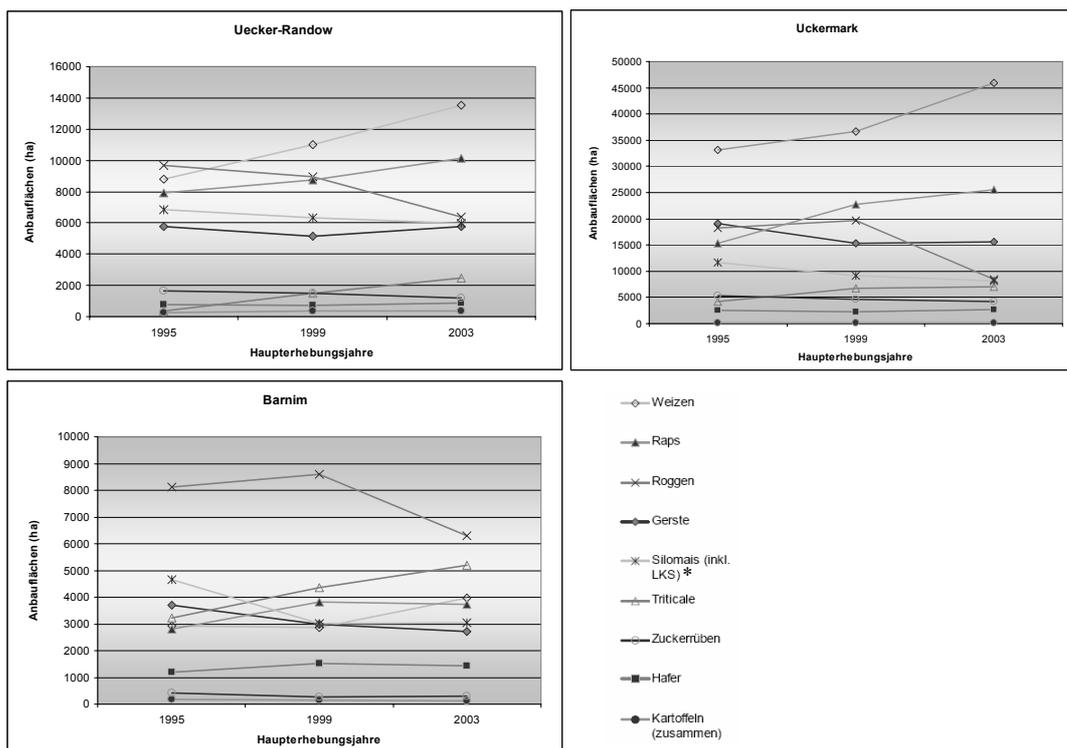


Abbildung 1: Anbauflächen der in den Landkreisen Uecker-Randow<sup>a</sup>, Uckermark<sup>b</sup> und Barnim<sup>b</sup> angebauten landwirtschaftlichen Kulturen. Dargestellt sind Daten der Haupterhebungsjahre 1995, 1999 und 2003.

(Quellen: Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern [www.statistik-mv.de/sis/a](http://www.statistik-mv.de/sis/a), Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg 2005<sup>b</sup>. \*Lieschkolbenschrot)

Barnim ist durch besonders leichte Böden gekennzeichnet. Dies wird aus dem hohen Waldanteil (45 %) und dem angebauten Pflanzenspektrum ersichtlich. Auf sehr leichten Böden ist der Roggen der Triticale überlegen und auf leichten bis mittleren Böden sind bei Triticale, gegenüber dem Weizen Ertragsvorteile möglich (POMMER 1998). In den Jahren 1995 und 1999 (16 % bzw. 17 %) dominierte Roggen auf den Flächen in Barnim und ging dann 2003 wieder stark zurück. Hingegen war in den letzten Jahren eine starke Zunahme der Anbauflächen bei Triticale zu verzeichnen. Betrug die Anbauflächen 1991 noch 0,6 % waren es 2003 bereits 10 % und wurde damit am zweithäufigsten angebaut. Erst an dritter Stelle folgte der Weizen mit einem Flächenanteil von circa 8 %. Die ungleichen Flächenanteile der Kulturarten in den drei Landkreisen machen deutlich, dass es Unterschiede in der Anbauwürdigkeit gibt und die Pflanzenproduktion zudem einem Wandel unterliegt, der jedoch aufgrund der geringen Anzahl anbauwürdiger Pflanzen nicht sehr ausgeprägt ist. Eine Erweiterung des Spektrums an Kulturarten würde unter Umständen die Etablierung neuer Techniken bedeuten. Es erscheint daher sinnvoller, in der Regel die bereits angebaute Kulturarten den neuen Anforderungen anzupassen.

Nur unter optimalen Anbaubedingungen sind bestmögliche Naturalerträge zu erzielen. Insbesondere fehlende oder stark schwankende Niederschläge zur Hauptvegetationszeit führen zu Ertragsverlusten, was sich besonders gravierend im Jahr 2003 zeigte. Zu welchen Verlusten es bei den Naturalerträgen kommen kann, zeigt Abbildung 2. In allen drei Landkreisen kam es 2003 bei den Halmfrüchten zu Ertragseinbußen von bis zu 70 %. Die Blattfrüchte, allen voran die Zuckerrübe aber auch die Kartoffel in der Uckermark und in Barnim zeigten deutlich weniger Ertragsverluste (siehe Abbildung 2). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass im Spätsommer bzw. Herbst ausreichend Niederschläge die Defizite vom Sommer ausgleichen konnten.

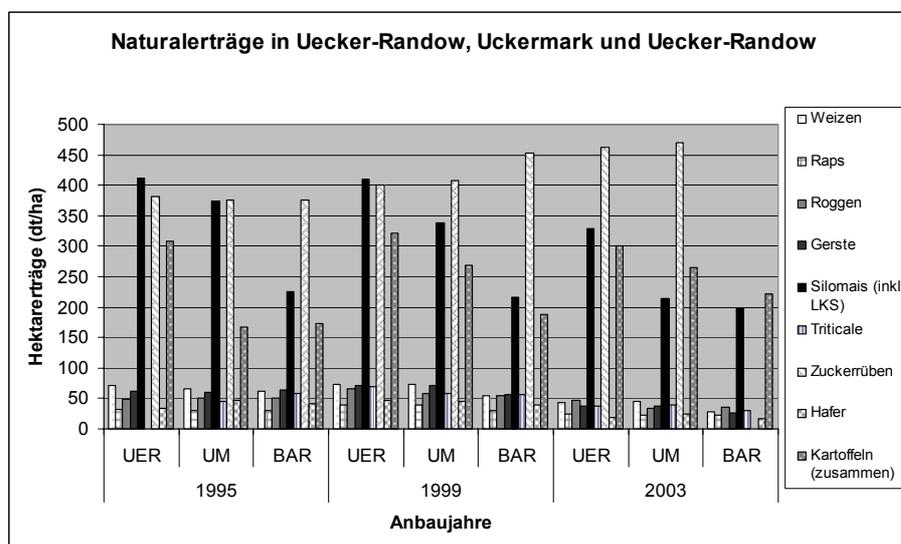


Abbildung 2: Naturalerträge aus den Landkreisen Uecker-Randow (UER), Uckermark (UM) und Barnim (BAR) in den Haupterhebungsjahren 1995, 1999 und 2003.<sup>7</sup>

(Quellen: Uecker-Randow: Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern<sup>8</sup>; Uckermark und Barnim: Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg 2005).

<sup>7</sup> Aufgrund der geringen Anbauflächen von Triticale in Uecker-Randow (1995) und von Zuckerrüben in Barnim (2003) gibt es keine gesicherten Ertragsdaten.

<sup>8</sup> Vgl. [www.statistik-mv.de/sis/](http://www.statistik-mv.de/sis/)

Bei weniger guten Bodenverhältnissen, wie sie hauptsächlich in Barnim zu finden sind, liegen die Ertragserwartungen dagegen bei den Halmfrüchten unter denen der anderen beiden Landkreise. Die Ertragsschwäche der leichten Böden zeigt sich besonders deutlich bei Niederschlagsmangel im Sommer – da in dieser Vegetationsperiode ein besonders hoher Wasserbedarf besteht – und in Kulturen mit hohem Wasserverbrauch wie z. B. bei Weizen, der zur Erzeugung von 1 Kilogramm Trockensubstanz bis zu 400 Liter Wasser benötigt. Damit hat Weizen einen doppelt so hohen Transpirationskoeffizienten wie Mais, der als C<sub>4</sub>-Pflanze für die Bildung der gleichen Menge Trockensubstanz nur circa 200 Liter Wasser benötigt (z. Ü. vgl.: MEBNER 2000).

### **Zukünftige Herausforderungen**

Auf Böden mit niedriger Ertragsfähigkeit, ist eine nachhaltige landwirtschaftliche Pflanzenproduktion ökonomisch häufig unrentabel, weshalb sie als „Grenzstandorte“ bezeichnet werden (GIENAPP 1999). Viele Grenzstandorte fallen unter die Gebietskategorie „benachteiligte Agrarzone“ und werden als *von der Natur benachteiligte Gebiete* von der Europäischen Union finanziell gefördert<sup>9</sup>. Auf diesen Flächen kann nur mit erhöhtem Aufwand ein wirtschaftlich lohnender Pflanzenbau betrieben werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Förderung von gesicherten Erträgen bei der Futterproduktion, um den Betrieben durch Veredelung eine größere Unabhängigkeit von den natürlichen Produktionsfaktoren zu verschaffen (GIENAPP 1999).

### **Wachsender Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen**

Zudem werden wegen der im Jahr 2005 erfolgten Umstellung auf Flächenprämien alternative Anbaustrategien benötigt, denn allein auf die Landwirte in Mecklenburg-Vorpommern kommen dadurch Einkommensverluste in Höhe von circa 152 Millionen Euro im Jahr 2008 zu (HEILMANN ET AL. 2003). Zu möglichen Anbaualternativen zählen z. B. Energiepflanzen auf nicht stillgelegten Flächen für die momentan noch eine Beihilfe in Höhe von 45 Euro je Hektar gezahlt wird<sup>10</sup> oder Pflanzen mit höherwertigen Inhaltsstoffen. Infolge der gesetzlich festgelegten Beimischquote<sup>11</sup> bei Kraftstoffen wird es zum vermehrten Anbau von nachwachsenden Rohstoffen kommen, was zur Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion führen kann. Damit beide Produktionszweige nebeneinander existieren können sind Ertragssteigerungen zwingend erforderlich. Dies ist nicht nur eine Herausforderung für Pflanzzüchter, sondern ebenso für Landwirte, denn das Fehlen spezieller Energiepflanzensorten zwingt die Landwirte, Kulturpflanzensorten anzubauen, die nicht optimal an die Anforderungen nachwachsender Rohstoffe angepasst sind. Zudem sind zurzeit nur wenige Kulturarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe geeignet, z. B. Raps, Getreide oder Mais. Ohne eine züchterische Erweiterung des Spektrums kann es also zu Monokulturen kommen und damit zu Ertragseinbußen durch vermehrten Schaderregerbefall. Konsequenz wäre ein verstärkter Bedarf an verbesserten Resistenzen bzw. Toleranzen. Zusätzlich könnte es durch – mit Hilfe der Biomass-to-Liquid (BtL) Technologie hergestellte – Kraftstoffe zu einer Wiederbelebung der Fruchtfolgen kommen, da hierbei an die verwendeten Ganzpflanzen (einschl. Bioabfall) keine speziellen Anforderungen gestellt werden und somit alle Kulturarten mit ausreichend Biomasse geeignet sind.

---

<sup>9</sup> Verordnung (EG) Nr. 1257/1999

<sup>10</sup> Vgl.: [www.ble.de](http://www.ble.de)

<sup>11</sup> Vgl.: Biokraftstoffquotengesetz (Bio-KraftQuG)

### **Zunehmende Trockenheit**

Die Klimavorhersagen und die Naturalerträge aus dem Jahr 2003 (vgl. Abbildung 2) lassen es fraglich erscheinen, dass mit der prognostizierten jährlich Niederschlagsmenge und -verteilung weiterhin die erforderlichen Erträge erzielt werden, um die Standorte dauerhaft für die Landwirtschaft zu sichern. Eine große Herausforderung wird es somit – auch im Hinblick auf die Beihilfekürzungen – sein, trotz Niederschlagsmangel mehr als bisher von den zur Verfügung stehenden Flächen zu ernten. Neben effektiven und Wasser sparenden Bewässerungssystemen ist die Auswahl trocken toleranter Kulturarten eine mögliche Maßnahme zur Verbesserung der Erträge unter Wassermangel. Da diese Sorten zurzeit nicht zur Verfügung stehen ist züchterischer Fortschritt auf diesem Gebiet zwingend erforderlich. Ähnliches gilt für die Verfügbarkeit geeigneter Ersatzkulturen, die in die Fruchtfolgen passen und Naturalerträge bzw. Erlöse einbringen, die denen der alten Kulturen überlegen sind. Eine weitere Maßnahme zur Wassereinsparung ist die Verwendung von Herbizid-toleranten Kulturen, damit ohne wendende Bodenbearbeitung gewirtschaftet werden kann. Jedoch sind hierfür noch keine Sorten auf dem Markt<sup>12</sup>. Die Verringerung der Aussaatstärke als Wasser sparende Anbaumethode entfällt aufgrund der zu geringen Ertragsersparung.

### **Steigende Temperaturen**

Zusätzlich zu den sinkenden Niederschlagsmengen werden höhere Temperaturen erwartet. Grundsätzlich führen steigende Temperaturen zur Verfrühung der phänologischen Phase und gleichzeitig zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode. Dabei kommt es bei Kulturen, wie beispielsweise Zuckerrübe und Grünlandarten, die bei ausreichend hohen Temperaturen mit Wachstum reagieren (WEIGEL 2005) und bei Arten, die eine längere Reifephase benötigen, wie z. B. Mais und Hirse (ZEBISCH et al. 2005) zu Ertragssteigerungen. Hingegen reagieren einjährige Kulturen, z. B. Weizen und Gerste, eher negativ auf steigende Temperaturen, da ihre Entwicklung durch Wärmesummen bestimmt wird. Durch eine Temperaturerhöhung um durchschnittlich 1 Grad Celsius kann es außerdem zu einer Verkürzung der Kornfüllungsphase von bis zu 10 % und zu entsprechenden Ertragsverlusten kommen (WEIGEL 2005). Ein weiterer negativer Effekt ist ein Ausbleiben der Vernalisation bei Getreide bei zu hohen Wintertemperaturen, so dass im Frühjahr das Blühen unterbleibt, was folglich zu Ertragsausfällen führt.

Bei Pflanzen, die im Optimum wachsen, sind bei zu hohen Temperaturen generell negative Auswirkungen zu erwarten, da Dunkelatmung bzw. Photorespiration beschleunigt werden und es zu verminderten Wuchsleistungen kommt. Temperaturerhöhungen unterhalb des Optimums haben hingegen meist Leistungssteigerungen zur Folge. Grundsätzlich können wachstumsfördernde Effekte durch moderat erhöhte Temperaturen oder CO<sub>2</sub>-Düngeneffekte nur dann realisiert werden, wenn ausreichend Wasser zur Verfügung steht (WEIGEL 2005). Berechnungen zufolge werden in Ostdeutschland die Weizenerträge um bis zu 17 % bis zum Jahr 2030 reduziert, wenn sich bei gleichzeitig sinkenden Sommerniederschlägen, die durchschnittliche Temperatur um etwa 1,5 Grad Celsius erhöht (GERSTENGARBE 2003).

Demzufolge können die steigenden Temperaturen bei Getreide zu Ertragsdefiziten führen, was unweigerlich die zukünftige Anbauwürdigkeit von Wintergetreide, das in der Region – neben Mais – eine wichtige Rolle spielt, beeinflussen wird. Zur Kompensation der zu erwartenden Ertragseinbußen sollten daher verstärkt Kulturpflanzen angebaut werden, deren Wachstum durch höhere Temperaturen gefördert wird bzw. die sich durch Temperaturtoleranz auszeichnen. Derzeit gibt es keine Sorten, die

---

<sup>12</sup> Vgl.: [www.bundessortenamt.de](http://www.bundessortenamt.de) (Stand 2007)

besonders Temperatur-tolerant sind.<sup>13</sup> Da bereits durch die Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius eine nordwärts Verschiebung der Anbauggebiete um 100 bis 150 Kilometer erfolgt (WEIGEL 2005) könnte der Anbau neuer Sommerungen oder Sorten, die zuvor nicht anbauwürdig waren, wie z. B. der Körnermais, eine neue Option in der Pflanzenproduktion darstellen. Ob zukünftig weiterhin Winterungen angebaut werden, wenn die Blühinduktion entfällt, bleibt abzuwarten.

### **Veränderter Krankheits- und Schädlingsdruck**

Die sich wandelnden klimatischen Bedingungen führen zu veränderten Schaderregerpopulationen bzw. -zusammensetzungen. Obwohl nicht genau abgeschätzt werden kann, wie sich das Spektrum der Pflanzenpathogene oder tierischen Schaderreger verändern wird, ist absehbar, dass aufgrund der steigenden Temperaturen, neue Schaderreger einwandern und vorhandene verdrängen. Während die Infektion mit einigen Pilzkrankheiten bei Trockenheit reduziert wird (WEIGEL 2005), kann ein vermehrter Befall der durch abiotischen Stress (Ozon, Wassermangel, Hitze) geschwächten Pflanzen mit Schwächeparasiten erfolgen. Gleichzeitig fördern milde Winter durch pilzliche Schaderreger hervorgerufene Krankheiten wie *Cercospora*-Blattfleckenkrankheit, echten Mehltau, Zwergrost und Wurzelbärtigkeit (PATTERSON et al. 1999) oder das Auftreten tierischer Schaderreger, so dass im Frühjahr mit größeren Populationen und vermehrtem Befall zu rechnen ist (WEIGEL 2005). Unlösbare Probleme sind indes bei pilzlichen Schaderregern nicht zu erwarten, da sich die Schaderregerpopulationen langsam verändern werden und demnach ausreichend Zeit zur Entwicklung neuer Bekämpfungsstrategien vorhanden sein wird.

Zu solchen Bekämpfungsstrategien gehört u. a. die Reaktionsnorm einer Pflanze zu modifizieren, d. h. sie züchterisch resistenter oder toleranter zu machen. Ein aktuelles Beispiel hierfür sind die seit 2006 für den Anbau zugelassenen fünf transgenen Maissorten – Silomais und Körnermais – (Bundessortenamt 2007) in die mit Hilfe der grünen Gentechnik ein Bakteriengen (aus *Bacillus thuringiensis*) eingebracht wurde. Der Bt-Mais wird aktuell bevorzugt in lokal begrenzten Regionen (u. a. Uecker-Randow) angebaut, da es dort infolge Maiszünslerbefall zu hohen Ernteausfällen kommt. So wurde z. B. in Ramin (Uecker-Randow) 2006 bei 50 % der kontrollierten Maispflanzen ein Befall festgestellt. Im gesamten Landkreis Uecker-Randow betrug der durchschnittliche Befall 2006 circa 26 % (LALLF 2007). In Barnim und in der Uckermark wurde 2006 auf den kontrollierten Schlägen nur bei 16 % der Pflanzen ein Maiszünslerbefall festgestellt (LVL 2007). Da eine Bekämpfung mit Insektiziden schwierig ist, stellt der Bt-Mais zurzeit die effektivste Bekämpfungsstrategie dar (DEGENHARDT ET AL. 2003). Zukünftig ist bei zunehmend milden Wintern ein Anwachsen der Zünslerpopulationen zu befürchten, da die Raupen in den Stängelresten im Boden überwintern. Ein vermehrter Anbau von Bt-Mais in den Befallsregionen kann mit dazu beitragen, die Verbreitung einzudämmen und die Ertragsverluste niedrig zu halten. Eine weitere auf Europa zukommende Herausforderung ist der Westliche Maiswurzelbohrer, der im Juli dieses Jahres in Deutschland zum ersten Mal nachgewiesen wurde (BAUFELD 2007). Bei einem Befall ist mit ähnlich hohen Schäden zu rechnen wie beim Maiszünsler. Jedoch besteht die Möglichkeit, dass auch hier ein Bt-Mais eine geeignete Maßnahme zur Bekämpfung darstellt (WEHLING 2004).

### **Neue Zusammensetzung der Ackerbegleitflora**

Aufgrund der prognostizierten Erhöhung von Temperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentration ist auch eine Veränderung der Ackerbegleitflora in landwirtschaftlichen Kulturen zu erwarten. So kann es infolge der

<sup>13</sup> Vgl.: [www.bundessortenamt.de](http://www.bundessortenamt.de) (Stand 2007)

erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration bei C<sub>3</sub>- und C<sub>4</sub>-Pflanzen zu unterschiedlichen Reaktionen und damit zu veränderten Unkrautpopulationen kommen, da das Wachstum von C<sub>3</sub>-Pflanzen gefördert und C<sub>4</sub>-Pflanzen nicht oder nur unwesentlich positiv beeinflusst werden. Es kommt folglich zu einer Förderung von C<sub>3</sub>-Nutzpflanzen und zur Hemmung von C<sub>4</sub>-Unkräutern in diesen Kulturen. Umgekehrt ist in C<sub>4</sub>-Kulturen mit zunehmendem Unkrautdruck durch C<sub>3</sub>-Pflanzen zu rechnen. Grundsätzlich ist jedoch zu erwarten, dass Wärme liebende C<sub>4</sub>-Unkräuter aufgrund steigender Temperaturen und zunehmender Trockenheit verstärkt auftreten werden (WEIGEL 2005) und somit hinsichtlich Kontrolle von Unkräutern neue Herausforderungen auf die Landwirte zukommen werden. Als weitere Herausforderung kommt hinzu, dass es nicht bei der bekannten Zusammensetzung der Ackerbegleitflora bleibt, sondern neue Unkraut- und Ungrasarten einwandern werden, die sich dauerhaft etablieren (COAKLEY ET AL. 1999). Hier werden neue Bekämpfungsstrategien erforderlich sein, die z. B. auch mit Hilfe von Herbizid-toleranten Kultursorten durchgeführt werden könnten.

### 1.1 Befragung der Landwirte in der Untersuchungsregion

Die Bestandsaufnahme der derzeitigen Pflanzenproduktion liefert eine erste Basis um abzuschätzen, wie sich die Untersuchungsregion den Herausforderungen, die die Zukunftsszenarien erwarten lassen, stellen kann. Um allerdings Szenarien zu entwickeln, die eine Abschätzung des Bedarfs in den nächsten 20 Jahren für diese spezifische Region ermöglichen, müssen die charakteristischen Probleme genauer betrachtet und die Erwartungen der Landwirte mit einbezogen werden. Eine Möglichkeit diese Daten zu erfassen, ist eine Befragung der Landwirte zu ihren Schwierigkeiten und dem Bedarf an neuartigen Pflanzen, die bisher, wenn überhaupt, nur in anderen Untersuchungsräumen erfolgte. Bisherige Untersuchungen befassten sich zudem eher mit der Akzeptanz von technischen Innovationen in der Landwirtschaft und schlossen Innovationen in der Pflanzenzüchtung dagegen aus (vgl. z. B. RENTENBANK 2006). Diese werden in der Regel nur in Verbraucherbefragungen angesprochen und beschränkten sich dann auf gentechnisch veränderte Pflanzen (vgl. z. B. EUROBAROMETER 2000 bzw. 2001). Die aktuellste Umfrage zur Akzeptanz der grünen Gentechnik von Landwirten in Mecklenburg-Vorpommern ermittelte vor allem Kenntnisse zur Gentechnik, die genutzten Informationsquellen, Vor- und Nachteile der grünen Gentechnik und die Bereitschaft in den kommenden 5 Jahren gentechnisch veränderte (gv)-Pflanzen anzubauen (FOCK ET AL. 2007). Die Frage, ob neuartige Pflanzen eine Lösungsoption für bestehende oder kommende Probleme der nächsten 20 Jahre bedeuten könnten, wurde nicht gestellt.

Um dies zu beantworten wurde eine schriftliche Befragung der Landwirte im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Mit einem speziellen Fragebogen sollten insbesondere vorhandene und kommende Herausforderungen in der Pflanzenproduktion zusammengetragen und die entsprechenden Lösungsansätze der Landwirte ermittelt werden. Anschließend wurde erfragt, ob sich die Landwirte 'Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften' als geeigneten Teil eines Lösungsansatzes vorstellen könnten.

Zu den Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften zählen auch solche, die mit Hilfe der grünen Gentechnik hergestellt wurden. Da beim Anbau von gv-Pflanzen ein vorgegebener Abstand einzuhalten ist, um Auskreuzungen zu verhindern, kamen für die Befragung nur solche Betriebe in Betracht, die über eine Betriebsgröße mit mindestens 100 Hektar verfügen und dadurch in der Lage sind, diese Abstände relativ problemlos einzuhalten. Wie aus der Tabelle 1 zu entnehmen ist, verfügten 2003 in Uecker-Randow 105 Betriebe über 100 Hektar; in der Uckermark waren es 264 und in Barnim 84 Betriebe. Es konnten daher grundsätzlich 453 Betriebe an der Befragung beteiligt werden.

### Zusammengefasste Ergebnisse der Befragung

Insgesamt 63 % der Betriebe in der Untersuchungsregion erhielten den Fragebogen. Von den 286 Bögen wurden 47 ausgefüllt zurückgesandt; davon konnten 42 ausgewertet werden. Die für unsere Fragestellung wesentlichen Antworten sind im Folgenden zusammengefasst.

### Fragen zur Ortslage und zu den betriebswirtschaftlichen Daten des Betriebes

Es haben sich 35 konventionelle (84 %), 6 ökologische (16 %) und ein Betrieb mit beiden Wirtschaftsweisen an der Befragung beteiligt. Obwohl die Befragung aufgrund der Beteiligung von 17 % nicht repräsentativ war, spiegelt sie das Verhältnis der Betriebe annähernd wider. So liegt der Anteil von konventionellen Betrieben in den Landkreisen zwischen 88 - 92 % bzw. 8 bis 12 % werden ökologisch bewirtschaftet (vgl. Tabelle 1), so dass aus den Angaben der Landwirte Rückschlüsse für die gesamte Region möglich sind.

Wie bereits einleitend erwähnt, verfügen die Betriebe in der Region über beträchtliche Flächenausstattung und können dadurch ggf. Standortnachteile teilweise kompensieren. Sie haben somit, je nach Flächeneignung, die Möglichkeit über die Stilllegungsverpflichtung hinaus, Flächen aus der Produktion zu nehmen bzw. nachwachsende Rohstoffe auf den stillgelegten oder weniger ertragstarken Flächen anzubauen. Die meisten Betriebe verfügen sogar über weit mehr als die angegebene Durchschnittsfläche von 270 Hektar (vgl. Abbildung 3). So bewirtschafteten 38 % der Betriebe bis zu 500 Hektar, 33 % verfügten über bis zu 1.000 Hektar, 12 % bewirtschafteten bis zu 1.500 Hektar, 7 % haben bis zu 2.000 Hektar und 10 % der Betriebe verfügten sogar über mehr als 2.000 Hektar.

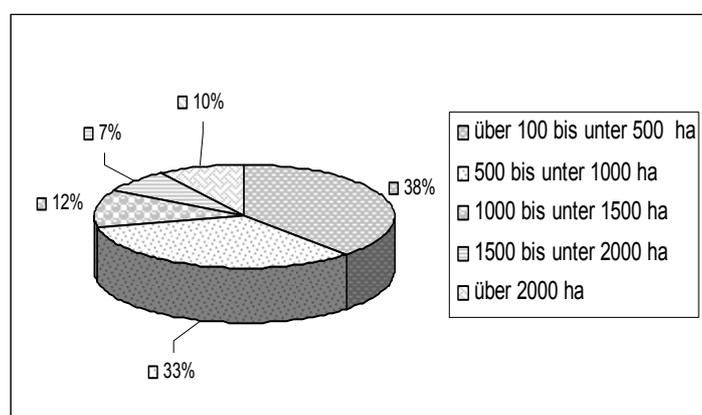


Abbildung 3: Prozentuale Verteilung der Flächenausstattung der befragten Betriebe in der Untersuchungsregion.

Nicht nur die Betriebsgröße, sondern auch die Größe der Schläge liefert Anhaltspunkte, ob bestimmte Kulturen angebaut werden können oder nicht. Dies gilt vor allem für gv-Pflanzen, bei deren Anbau im Rahmen der Koexistenzregelung und der guten fachlichen Praxis, bestimmte Abstände eingehalten werden müssen. Gemäß den Betriebsgrößen fallen die Schläge entsprechend groß aus (vgl. Abbildung 4), die meisten Betriebe verfügen über durchschnittliche Schlaggrößen zwischen 10 bis 25 Hektar. Lediglich 5 % bewirtschaften auch Flächen, die kleiner als 10 Hektar waren. Über die Hälfte der Betriebe hatten durchschnittliche Schlaggrößen zwischen 25 bis 45 Hektar.

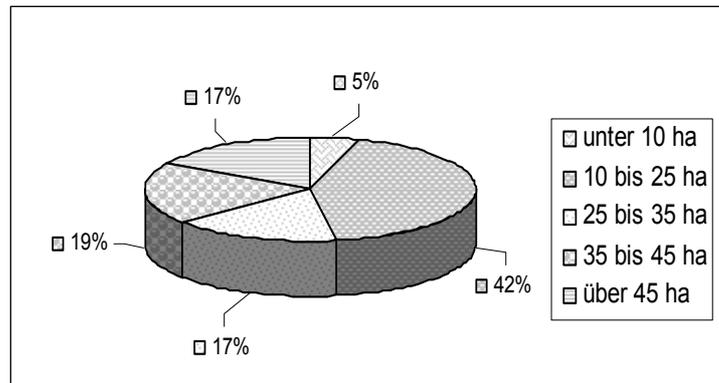


Abbildung 4: Prozentuale Verteilung der durchschnittlichen Größe der Ackerschläge.

Grundsätzlich hängt es von der natürlichen Bodenfruchtbarkeit ab, ob sich ein Boden als Pflanzenstandort und damit eher als Acker- oder Grünland eignet (OEHMICHEN 2000). In der Region bewirtschaften insgesamt 29 Betriebe 75 % Acker- und 25 % Grünlandflächen. Lediglich 7 Betriebe verfügen nur über Ackerflächen und 4 Betriebe haben ebenso viele Acker- wie Grünlandflächen. Bei zwei der Betriebe liegt der Grünlandanteil über dem der Ackerfläche. Der überwiegende Teil der Grünlandflächen sind Niedermoorböden (DRECHSLER 2006). Da die meisten Flächen in der Untersuchungsregion als Ackerflächen genutzt werden und zudem hauptsächlich die Betrachtung von handelbaren Marktfrüchten erfolgen soll, wird das Grünland nicht in die weitere Betrachtung einbezogen.

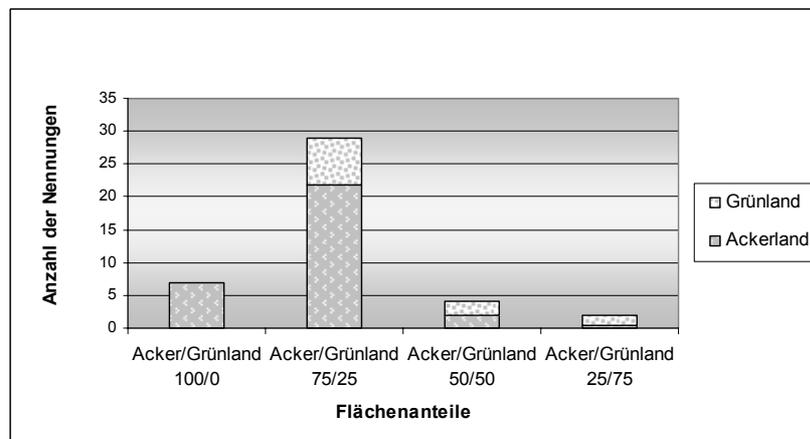


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Flächen auf Acker- und Grünlandanteile.

Die Landwirte erzielten im Jahr 2005 eher durchschnittliche Naturalerträge bei ihren Kulturen (vgl. Abbildung 6). Ausnahmen bildeten Roggen und Triticale, deren Naturalerträge weit über dem Durchschnitt der drei Hauptehebungen von 1995, 1999 und 2003 lagen (vgl. Abbildung 2). Besonders auffällig war das Ertragsplus von fast 70 Dezitonnen je Hektar beim Silomais und bei Zuckerrübe in Höhe von über 50 Dezitonnen je Hektar. Die in Abbildung 6 aufgeführten Erträge dienen bei den unter Kapitel 3 durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen als Datengrundlage, da sie trotz geringer Abweichungen, weitestgehend den Durchschnittswerten der Naturalerträge der in den Hauptehebungen entsprachen. Diese Vorgehensweise wurde auch deshalb gewählt, weil z. B. für Körnersonnenblumen kein Datenmaterial zur Verfügung stand und daher auf die Naturalerträge aus der Befragung zurückgegriffen werden musste.

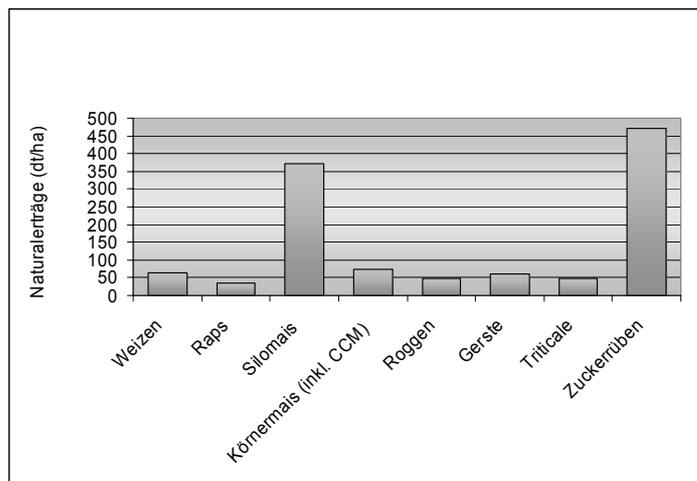


Abbildung 6: Angaben zu den Naturalerträgen der von den befragten Landwirten im Wirtschaftsjahr 2005 angebauten Kulturarten.

#### Fragen zu möglichen Schwierigkeiten bei der Pflanzenproduktion und beim Feldfutterbau

Während die Hälfte der Landwirte keinerlei Schwierigkeiten mit den angebauten Kulturarten – weder mit den agronomischen Eigenschaften noch mit der Inhaltsstoff-Zusammensetzung hatte (vgl. Abbildung 7), gab etwa ein Drittel (38 %) der Befragten die in Tabelle 2 zusammengefassten Verbesserungswünsche an.

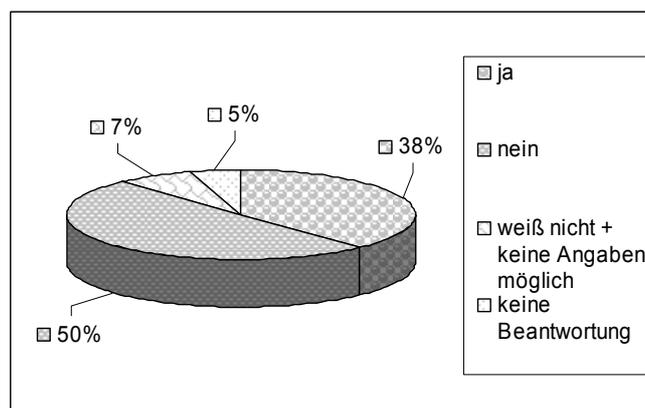


Abbildung 7: Prozentuale Verteilung der Antworten zur Frage nach nachteiligen agronomischen Eigenschaften bzw. ungünstigen Inhaltsstoff-Zusammensetzungen der momentan in den Betrieben angebauten Kultursorten.

Die gewünschten Eigenschaften sind nach Input- und Output-Traits gruppiert. Input-Eigenschaften beziehen sich hier auf den Anbau der Pflanze (z. B. die Resistenzen gegen Schädlinge, Krankheiten, Herbizide und abiotische Stressfaktoren sowie die Veränderung reproduktiver und ertragsbeeinflussender Eigenschaften) während Output-Traits quantitative und/oder qualitative Veränderung der Zusammensetzung und Gehalte an qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen betreffen. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Vorteile für verschiedene Nutzergruppen. Während die Input-Traits größtenteils für

den Landwirt Vorteile bieten, steht bei den Pflanzen mit Output-Traits eine verbesserte Nutzbarkeit durch Verarbeiter und/oder Verbraucher im Vordergrund (MENRAD ET AL. 2003).

*Tabelle 2: Zusammenstellung der am häufigsten genannten Antworten zur Frage welche Kulturen derzeit in den Betrieben Schwierigkeiten bereiten und welche Veränderungen bei diesen Kulturen wünschenswert wären.*

	<b>Output-Traits</b>	<b>Input-Traits</b>
<b>Kulturart</b>	<b>Gewünschte Eigenschaft</b>	<b>Gewünschte Eigenschaft</b>
<b>Erbse</b>	Bitterstoffe verringern	Hülsenplatzfestigkeit und Frosthärte verbessern, schnellere Jugendentwicklung, gleichmäßigere Abreife
<b>Mais</b>	Höhere Eiweißgehalte, bessere Energieeffizienz	Trockenstressresistenz, höhere Trockenmasse, Unkrautbekämpfungsmaßnahmen verbessern Schaderregerresistenzen: Zünsler- und Pilzresistenzen Abreife verfrühen, Vollkornanteile erhöhen
<b>Raps</b>	Ölgehalte erhöhen, mehr Sorten für unterschiedliche Verwendungsrichtungen (HO- oder E-Sorten)	Frosthärte verbessern, Herbizidresistenz Schaderregerresistenz: gegen Sklerotinia und Schadinsekten
<b>Roggen</b>	Stärkegehalte erhöhen, bessere Stabilität der Fallzahl-Parameter Mykotoxin-Gehalte und Bitterstoffe verringern	Schaderregerresistenz: Mutterkorn
<b>Triticale</b>	Stärkegehalte erhöhen	Erträge erhöhen
<b>Weizen</b>	Eiweiß- und Klebergehalte erhöhen, bessere Stabilität der Fallzahl-Parameter Mykotoxin-Gehalte verringern	Trockenstressresistenz und Frosthärte verbessern, Herbizidresistenz Schaderregerresistenz: Fusariosen

48 % der Landwirte gaben an, derzeit grundlegende Probleme bei der Pflanzenproduktion zu haben und 38 % hatten keinerlei Schwierigkeiten. Insgesamt 14 % konnten bzw. wollten diese Frage nicht beantworten. Demnach gab es in nahezu der Hälfte der Betriebe Änderungsbedarf bzw. Schwierigkeiten. Die wichtigsten betriebsspezifischen Schwierigkeiten lagen in der mangelnden Wirtschaftlichkeit einiger Kulturen. Viele der Befragten führten dies in erster Linie auf die mangelnde Ertragssicherheit und niedrigen Erzeugerpreise sowie die sinkenden EU-Beihilfen zurück. Zudem wurden die hohen Kosten für Produktionsmittel, hier insbesondere Saatgut, Pflanzenschutzmittel und Treibstoff genannt. Weitere Faktoren waren die zu niedrigen Ackerzahlen und geringen Niederschläge, die zu Ertragsausfällen und damit zu Einkommensverlusten führten.

Insgesamt zwölf (29 %) der Befragten waren der Meinung, dass sich Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften dazu eignen, die vorhandenen Schwierigkeiten in den Griff zu bekommen (siehe Abbildung 8). Zehn (24 %) der befragten Landwirte sagten, dass Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften keine Möglichkeit darstellen vorhandene Probleme zu lösen. Die Beantwortung dieser Frage fiel den Landwirten offensichtlich nicht leicht, so dass 47 % hierauf gar nicht antworten konnten bzw. nicht bereit waren sich hier festzulegen.

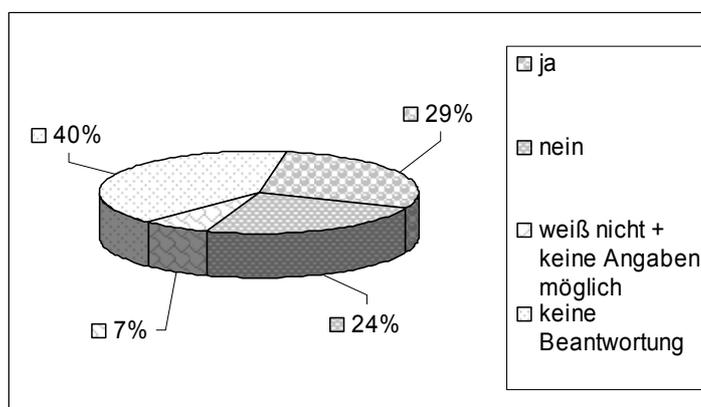


Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der Angaben zur Frage, ob Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften eine geeignete Lösung für die genannten Probleme darstellen.

Die Landwirte, die Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften für eine Zukunftsoption hielten, nannten die in Tabelle 3 aufgeführten Kulturarten und neuartigen Eigenschaften. Die Angaben sind für die einzelnen Kulturarten entsprechend zusammengefasst und nach Output- bzw. Input-Traits getrennt aufgeführt. Die Eigenschaft „Energieausbeute“ bezieht sich ausschließlich auf die Verwendung als Energiepflanze und nicht auf den Einsatz in der Tierernährung.

Tabelle 3: Zusammenfassung der am häufigsten genannten Antworten auf die Frage welche Pflanzen mit welchen neuartigen Eigenschaften geeignet wären vorhandene Probleme zu lösen.

	<b>Output-Traits</b>	<b>Input-Traits</b>
<b>Kulturart</b>	<b>Zu ändernde Eigenschaft</b>	<b>Zu ändernde Eigenschaft</b>
<b>Blaue Süßlupine</b>	weniger Bitterstoffe, höhere Eiweißgehalte	gleichmäßigere Abreife, platzfeste Hülsen Schaderregerresistenz: Anthraknose
<b>Gerste</b>		Trockenstresstoleranz
<b>Mais</b>	Stärkegehalte erhöhen besseres F/E-Verhältnis (Silo-mais) bessere Energieausbeute	Erträge erhöhen, Trockenstresstoleranz und Klimaanpassung, Herbizidtoleranz, andere Sorten insbesondere mit früheren Reifezahlen und Frühsaateignung Schaderregerresistenz: Zünsler
<b>Raps</b>	höhere Ölgehalte und bessere Ölqualitäten	Erträge erhöhen, Trockenstresstoleranz Schaderregerresistenz: Kohlhernie
<b>Roggen</b>	Stärkegehalte erhöhen	Schaderregerresistenz: Mutterkorn
<b>Weizen</b>	höhere Eiweißgehalte	Hitzetoleranz Schaderregerresistenz: Fusariosen
<b>Zuckerrübe</b>		Frühere Abreife, Frühsaateignung verbessern

## 1.2 Angebot an neuartigen Pflanzen

Das Einbringen von neuartigen Eigenschaften in Sorten ist durch konventionelle Züchtung nur in begrenztem Umfang oder gar nicht möglich, da lediglich in den kreuzbaren Pflanzen bereits vorhandene Gene neu kombiniert werden. Will man hingegen neue Eigenschaften in Sorten einführen, die in den kreuzbaren Verwandten der Kulturpflanze nicht vorhanden sind, muss auf die grüne Gentechnik zurückgegriffen werden, mit deren Hilfe gezielt einzelne Gene, auch artfremde, übertragen werden können. Die gezielte Einführung von Genen ermöglicht die Produktion neuer Inhaltsstoffe, z. B. Impfstoffe, in Pflanzen. Darüber hinaus ist die Entfernung unerwünschter Inhaltsstoffe, z. B. Bitterstoffe bei Erbsen und Gluten aus Weizen, bzw. die Erhöhung erwünschter Stoffe, z. B. Eiweißgehalte und gesundheitsfördernde Fettsäuren, möglich.

Seit nunmehr über 10 Jahren werden transgene Pflanzen kommerziell auf immer mehr Flächen angebaut und weltweit gehandelt. Im Jahr 2006, im 11. Jahr nach ihrer ersten Einführung, betrug die weltweite Anbaufläche bereits 102 Millionen Hektar. Die am häufigsten angebaute transgene Kulturpflanze im Jahr 2006 war gentechnisch verändertes Soja mit einer Anbaufläche von 58,6 Millionen Hektar (= 57 % der gesamten Anbaufläche der gv-Pflanzen). An zweiter Stelle stand der gentechnisch veränderte Mais, der auf einer Fläche von insgesamt 25,2 Millionen Hektar (= 25 %) angebaut wurde. Danach folgten Baumwolle mit einer Gesamtfläche von 13,4 Millionen Hektar (= 13 %) und Raps mit 4,8 Millionen Hektar (= 5 %). Weitaus weniger bedeutend war der Anbau von gv-Reis, gv-Kürbis, gv-Papaya. Erstmals erfolgte 2006 in den USA der Anbau von gv-Luzerne. Die wichtigsten veränderten Eigenschaften waren, wie in den Jahren zuvor, Herbizidtoleranz und Insektenresistenz (JAMES 2006).

*Tabelle 4: Derzeit für einen Anbau in der EU zugelassene oder für die Zulassung beantragte transgene Kulturpflanzen.*

Kulturart	Merkmal	Stand der Zulassung
<b>Mais</b>	Insektenresistenzen	Fortbestand einer früheren Zulassung nach alten Rechtsvorschriften
<b>Mais</b>	Herbizidresistenz	Fortbestand einer früheren Zulassung nach alten Rechtsvorschriften
<b>Kartoffel</b>	veränderte Stärkezusammensetzung	Sicherheitsbewertung abgeschlossen
<b>Mais</b>	Herbizid- und Insektenresistenz	Sicherheitsbewertung abgeschlossen
<b>Baumwolle</b>	Insektenresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Baumwolle</b>	Herbizidresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Mais</b>	Herbizidresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Mais</b>	Insektenresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Mais</b>	Herbizid- und Insektenresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Raps</b>	Herbizidresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Soja</b>	Herbizidresistenz	Zulassungsantrag eingereicht
<b>Zuckerrübe</b>	Herbizidresistenz	Zulassungsantrag eingereicht

*(Quelle: www.transgen.de, Stand: 18. Juli 2007)*

Grundlage für die Beantwortung der Frage welche Pflanzen innerhalb der nächsten 20 Jahre auf dem Markt sein könnten, ist eine Aufstellung der Kulturarten und Eigenschaften, an denen zurzeit geforscht wird. Pflanzen, die gegenwärtig im Freiland getestet werden, könnten in den nächsten 10

Jahren von Bedeutung sein, solche die bisher noch im Labor- und Gewächshaus analysiert werden, können frühestens zwischen 2017 - 2027 Marktreife erlangen. Gentechnisch veränderte Pflanzen an denen gegenwärtig gearbeitet wird bzw. die kurz vor der Zulassung stehen sind z. B. auf den Internetseiten von Transgen ([www.transgen.de](http://www.transgen.de)), Plants for the Future ([www.epsoweb.org/catalog/tp/](http://www.epsoweb.org/catalog/tp/)) und beim Institut für Gesundheit und Verbraucherschutz am Forschungszentrum der Europäischen Kommission ([www.gmo.info.jrc.it](http://www.gmo.info.jrc.it)) zusammengestellt. Beim Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) sind unter [www.standortregister.de](http://www.standortregister.de) Informationen zum Anbau oder zu Freisetzungsvorsuchen in Deutschland verfügbar. Die Aufstellung in Tabelle 4 gibt alle für Europa relevanten landwirtschaftlichen Kulturarten mit neuartigen Eigenschaften und den jeweiligen Stand des Genehmigungsverfahrens für den kommerziellen Anbau wieder.

Allein anhand der vorliegenden Daten war eine Ableitung der in den nächsten 20 Jahren zur Verfügung stehenden Pflanzen nicht möglich. Daher wurden mit Hilfe von 34 telefonischen Interviews mit Fachleuten aus Universitäts- und Forschungsinstituten, Züchtungs- und Biotechnologie-Unternehmen sowie Bundesforschungsanstalten, die Experten auf dem Gebiet „neuartige Pflanzen“ sind, weitere Pflanzen ermittelt, deren Zulassung innerhalb der nächsten 20 Jahre realistisch erscheint. Durchgeführt wurden die Interviews mit einem eigens erstellten Gesprächsleitfaden.

Die Ergebnisse der Experten-Interviews hinsichtlich der in den nächsten 5 bis 10 Jahre relevanten neuartigen Pflanzen sind aus Tabelle 5 zu entnehmen. Von der Vielzahl an Antworten werden nur die landwirtschaftlichen Kulturen dargestellt. „Sonderkulturen“ wie Zierpflanzen bzw. in Europa nicht oder nur sehr selten angebaute Pflanzen wurden bei der Auswahl für die folgende Zusammenstellung nicht berücksichtigt. Ähnliche Parameter wie „Ertrag“ und „Biomasse“ wurden gleichgesetzt.

*Tabelle 5: Neuartige Pflanzen, die voraussichtlich in den nächsten 5 bis 10 Jahren auf dem deutschen (bzw. europäischen) Markt zu finden sein werden. Erstellung durch Gentechnik\*, konventionelle Züchtung\*\* oder beide Verfahren\*\*\* möglich. Bei Eigenschaften ohne Markierung wurden zur Art der Erzeugung von den Experten keine eindeutigen Angaben gemacht.*

Kulturart	Output-Traits	Input-Traits
<b>Blaue Süblupine</b>	Proteinqualität verbessert*, Protein- und Aminosäuregehalte erhöht (Methionin) Alkaloidgehalt** und Schwefelgehalt verringert	Anfälligkeit gegenüber Schaderregern verbessert**
<b>Chinaschilf</b>		Ertrag erhöht**
<b>Erbse</b>	Pharmazeutika**	
<b>Gerste</b>	Veränderte Stärkezusammensetzung*** Proteingehalt erniedrigt*** (Braugerte) Pharmazeutika**, Spezialöle**	Ertrag erhöht, Trockentoleranz*** Schaderregerresistenz: Rhizoctonia
<b>Futtergräser</b>	Zuckergehalte erhöht, Verdaulichkeit verbessert	Ertrag erhöht
<b>Kartoffel</b>	Veränderte Stärkezusammensetzung, (Amylopektin oder Amylose)*** und Stärkegehalte erhöht*** Zeaxanthin angereichert*, Stärkequali-	Schaderregerresistenz: Phytophthora***, Nematoden*, Rhizoctonia

	tät zur Vermeidung von <i>cold sweetening</i> verändert*, Fructan (statt Stärke) <sup>***</sup> Verarbeitungseigenschaften (Form und Augenlage), Lagerfähigkeit verbessert	
<b>Mais</b>	Veränderte Proteinzusammensetzung <sup>***</sup> und –gehalte <sup>***</sup> , veränderte Stärkezusammensetzung <sup>***</sup> und Stärkegehalte erhöht <sup>***</sup> Energieeffizienz erhöht <sup>***</sup>	Ertrag erhöht**, Trockentoleranz <sup>***</sup> , Herbizidresistenz*, Kältetoleranz <sup>***</sup> Schaderregerresistenz: Zünsler*, Wurzelbohrer*, Fusariosen <sup>***</sup> , Virose <sup>***</sup>
<b>Pappel</b>		Ertrag erhöht**, Trockentoleranz
<b>Raps</b>	Veränderte Fettsäurezusammensetzung <sup>***</sup> (mehrfach-ungesättigte Fettsäuren wie Omega-3- (Linolen-) und Omega-6-(Linolsäure), Hochölsäure + wenig Linolen (HOLL-Raps) Vitamin E**, Lecithin* und Proteinprofil verbessert, Ölgehalt erhöht <sup>***</sup> Laurinsäuregehalt erhöht Polyhydroxybuttersäure (PHB) Sinapin reduziert <sup>***</sup> Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht <sup>***</sup> , Herbizidresistenz* Schaderregerresistenz: Kohlhernie** und Verticillium-Welke**
<b>Roggen</b>		Ertrag erhöht Schaderregerresistenz: Mutterkorn, Sclerotinia
<b>Rotklee</b>	Kondensierte Tannine	
<b>Triticale</b>		Ertrag erhöht**
<b>Weide</b>	Ligningehalt erniedrigt	Ertrag erhöht**, Trockentoleranz
<b>Weizen</b>	Veränderte Stärkezusammensetzung (Amylopektin oder Amylose), Funktionelle Proteine Proteingehalt erhöht <sup>***</sup> (= Backeigenschaften verbessert) Gluten entfernt*	Ertrag erhöht <sup>***</sup> , Trockentoleranz <sup>***</sup> Schaderregerresistenz: Fusariosen <sup>***</sup>
<b>Zuckerhirse</b>		Kältetoleranz <sup>***</sup>
<b>Zuckerrübe</b>	Melassebildner reduziert*, Kohlenhydratanteil erhöht**	Ertrag erhöht, Herbizidresistenz* Schaderregerresistenz: Rhizomania*, Virose**

Eine Zusammenstellung der Antworten hinsichtlich der wichtigsten möglichen neuartigen Pflanzen der nächsten 10 bis 20 Jahre findet sich in Tabelle 6. Hier werden erneut nur gängige Pflanzen aufgeführt, die für einen großflächigen landwirtschaftlichen Anbau in Europa in Frage kommen. Zu den Markierungen vgl. Tabelle 5.

Tabelle 6: Neuartige Pflanzen und Eigenschaften, die voraussichtlich (zusätzlich zu den in Tabelle 5 genannten) innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahren auf dem deutschen (bzw. europäischen) Markt zu finden sein werden. Bei Eigenschaften ohne Markierung wurden zur Art der Erzeugung keine eindeutigen Angaben gemacht.

Kulturart	Output-Traits	Input-Traits
<b>Bohne</b>	Proteingehalt erhöht	
<b>Erbse</b>	Essentielle Aminosäuren*** Optimierte Proteinzusammensetzung und -gehalte***	
<b>Festulolium (Wiesenschweidel)</b>		Trockentoleranz verbessert
<b>Gerste</b>		Schaderregerresistenz: Ramularia, Virose
<b>Futtergräser</b>	Proteingehalte erhöht	
<b>Kartoffel</b>	Impfstoff/Medikamenten-Produktion* Spinnseide-Produktion*, Bioplastik* (PHB, Cyanophycin)	Ertrag erhöht, Kältetoleranz Schaderregerresistenz: Virose
<b>Lein</b>	Ölgehalt optimiert, Fettsäure-Muster verbessert (gesättigte und ungesättigte)	
<b>Mais</b>	neue Proteine* (Spinnseide), verbesserte Phosphorverfügbarkeit*, Essentielle Aminosäuren (Methionin und Lysin)***	erhöhte Stresstoleranz (Klima), Winterung denkbar
<b>Raps</b>	Gelbsamigkeit, Hoheruca-Säure-Raps***	Trockentoleranz, Stickstoffeffizienz verbessert***, Blühzeitverkürzung***, Synchronisierung der Seneszenz*** Schaderregerresistenz: Virose***, Sclerotinia**, Rapsglanzkäfer*
<b>Roggen</b>	Protein- und Stärkegehalte erhöht Energieeffizienz erhöht	Trockentoleranz*** Schaderregerresistenz: Fusariosen und Virose
<b>Soja</b>		Kältetoleranz verbessert
<b>Tabak</b>	Impfstoff/Medikamentenproduktion	
<b>Triticale</b>	Proteingehalt erhöht Energieeffizienz erhöht	Trockentoleranz verbessert Schaderregerresistenzen: Virose und Fusariosen
<b>Pappel</b>	Faser-Eigenschaften verbessert*** Zellulose-Anteil erhöht**	Schnellwüchsigkeit*** Schaderregerresistenz: Insekten, Pilze, insbesondere Rost***
<b>Weide</b>	Ligningehalte erniedrigt	Schaderregerresistenz: Pilze, insbesondere Rost

<b>Weizen</b>	Stärkegehalte erhöht*** Funktionelle Proteine erhöht***	Schaderregerresistenz: Virosen
<b>Zuckerhirse</b>		Trockentoleranz
<b>Zuckerrübe</b>	Inulin-Gehalt erhöht	Schossen gezielt unterdrückt* („Winterrübe“) Schaderregerresistenz: Fusariosen*

### 1.3 Synthese aus Bedarf und Angebot zur Auswahl der für die Untersuchungsregion besonders geeigneten neuartigen Pflanzen

Das mögliche Angebot an neuartigen Pflanzen und der Bedarf der Landwirte sind in Tabelle 7 zusammengeführt um die Pflanzen zu identifizieren, die für einen Anbau in der Region geeignet und innerhalb der nächsten 20 Jahre eine Zulassung für den Anbau in der Europäischen Union haben.

*Tabelle 7: Zusammenfassung der ausgewählten Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften die dem Bedarf der Landwirte entsprechen und die in den nächsten 20 Jahren möglicherweise auf dem deutschen (europäischen) Markt verfügbar sind („Synthese-Liste“)*

<b>Kulturart</b>	<b>Output-Trait</b>	<b>Input-Traits</b>
<b>Mais</b>	Proteingehalte erhöht, Phosphor-Verfügbarkeit und Stärkqualität verbessert Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz, Herbizidresistenz, Kältetoleranz Schaderregerresistenzen: Zünsler, Wurzelbohrer, Fusariosen
<b>Pappel</b>	Ligningehalte erniedrigt	Schaderregerresistenz: Insekten und Pilze, insbesondere Rost
<b>Raps</b>	Ölgehalte erhöht und -qualität verbessert Proteingehalt erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz und Stickstoffeffizienz verbessert, Herbizidresistenz Schaderregerresistenzen: Insekten, insbesondere: Rapsglanzkäfer
<b>Roggen</b>	Protein- und Stärkegehalte erhöht Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz Schaderregerresistenz: Mutterkorn, Fusariosen und Virosen
<b>Triticale</b>	Proteingehalte erhöht Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz Schaderregerresistenz: Fusariosen und Virosen
<b>Weide</b>	Ligningehalte erniedrigt	Schaderregerresistenz: Rost
<b>Weizen</b>	Protein- und Stärkegehalt erhöht Stärkequalität verändert Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz Schaderregerresistenz: insbesondere Fusariosen und Virosen
<b>Zuckerhirse</b>		Trockentoleranz und Kältetoleranz
<b>Zuckerrübe</b>	Melassebildner reduziert	Ertrag erhöht, Trockentoleranz verbessert und Herbizidresistenz Schaderregerresistenz: Rhizomania*, Virosen***

## 1.4 Untersuchung der Praxistauglichkeit der ausgewählten neuartigen Pflanzen

Bevor die Überprüfung der Praxistauglichkeit der ausgewählten Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften, erfolgen kann, steht primär die Anbauwürdigkeit der identifizierten Pflanzen im Vordergrund. Deswegen wurden die ausgewählten Pflanzen (vgl. „Synthese-Liste“ Tabelle 7) einigen der bereits schriftlich befragten Landwirte in einer persönlichen Befragung vorgeschlagen und die Präferenz für einzelne Pflanzen bzw. Eigenschaften überprüft. Von den 21 persönlich befragten Landwirten konnten sich insgesamt 19 (darunter zwei aus ökologisch wirtschaftenden Betrieben) vorstellen zukünftig gentechnisch veränderte Pflanzen anzubauen. Auf die Frage, welche Pflanzen in Zukunft angebaut werden sollten und ob es denkbar wäre Zuckerhirse bzw. Pappeln und Weiden, auf den Niedermoorstandorten, anzubauen, wurde vornehmlich der Anbau von Mais, Raps, Weizen, Roggen und Triticale positiv bewertet. Hingegen wurde der Anbau von Zuckerhirse, Pappel bzw. Weide und Zuckerrüben zurückhaltend oder sogar negativ beurteilt (DRECHSLER 2006), so dass die Zuckerrübe, deren zukünftiger Anbau vornehmlich abgelehnt wurde, aus der Liste der weiter zu prüfenden Pflanzen gestrichen wurde.

Bei der Frage nach den zu ändernden Eigenschaften wurden bei den derzeit überwiegend angebauten Kulturen – Mais, Raps, Weizen, Roggen und Triticale – die verbesserte Trockentoleranz an erster Stelle genannt. Damit bestätigte sich erneut, dass Trockenstress durch zu geringe Niederschläge das Hauptproblem der befragten Landwirte in der Untersuchungsregion war. Als weitere Problematiken wurden vermehrter Schaderregerbefall (Zünsler und Rapsglanzkäfer) bzw. Ertragseinbußen benannt, wobei eine eindeutige Differenzierung schwierig war, da diese Probleme teilweise als direkte Folge des Trockenstress gewertet wurden. Zur Ertragssicherung wurden überwiegend Kältetoleranz, Ertragserhöhung, Krankheits- und Schädlingsresistenzen genannt. Auch die Verbesserung von Inhaltsstoffen bzw. -zusammensetzungen erwies sich als ein Hauptinteresse. Hier wurden u. a. für Weizen und Triticale höhere Proteingehalte bzw. Phosphorverfügbarkeit bei Mais als wichtige Eigenschaft ausgewählt. Darüber hinaus wurden bei Mais und Weizen die zu verbessernden Stärkequalität bzw. -gehalte angegeben (DRECHSLER 2006).

Einige der in Tabelle 7 aufgeführten Eigenschaften wurden von der gleichen Anzahl Landwirte negativ bzw. positiv bewertet, diese Eigenschaften wurden, als nicht von der Mehrheit erwünscht, ausgesondert. Dies betraf beim Mais z. B. die Schaderregerresistenz gegen Fusariosen und die Erhöhung der Gehalte an Proteinen. Beim Raps zeigte sich, dass die Erhöhung des Proteingehalts als nicht unbedingt wünschenswert erachtet wurde. Dafür erfolgte beim Weizen eine negative Beurteilung veränderter Stärkequalität, so dass diese Eigenschaft ebenfalls aus der Liste geeigneter Pflanzen gestrichen werden konnte. Beim Roggen wurde der Proteingehalt für optimal und auch die Resistenzen gegen Fusariosen oder bodenbürtige Virose als ausreichend beschrieben, was für die beiden letztgenannten Eigenschaften ebenso für Triticale galt (DRECHSLER 2006), so dass auch diese Eigenschaften aus der Liste entfernt werden konnten. Obwohl die befragten Landwirte dem Anbau von Pappel, Weide und Zuckerhirse auf Ackerflächen eher skeptisch gegenüberstanden, konnte sich, von zwei Enthaltungen abgesehen, die Mehrheit einen Anbau von Pappeln und Weiden auf Niedermoorstandorten vorstellen. Auch der Anbau von Zuckerhirse wurde positiv bewertet und als ein neues Glied in der Fruchtfolge in Betracht gezogen (DRECHSLER 2006). Da für diese Kulturen keinerlei Anbauerfahrungen vorliegen, konnten keine zu verbessernden Eigenschaften genannt werden; daher wurden die von den Experten vorgeschlagenen verbesserungsfähigen und -würdigen Eigenschaften übernommen (vgl. Tabellen 5 und 6).

Tabelle 8: Zusammenfassung der nach der persönlichen Befragung ausgewählten Pflanzen („Abschluss-Liste“)

Kulturart	Output-Traits	Input-Traits
<b>Mais</b>	Phosphor-Verfügbarkeit und Stärkequalität verbessert Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz und Kältetoleranz Schaderregerresistenzen: Zünsler und Wurzelbohrer
<b>Raps</b>	Ölgehalt erhöht und -qualität verbessert	Ertrag erhöht, Trockentoleranz, Stickstoffeffizienz verbessert und Herbizidresistenz Schaderregerresistenz: Rapsglanzkäfer
<b>Roggen</b>	Energieeffizienz	Ertrag erhöht, Trockentoleranz Schaderregerresistenz: Mutterkorn
<b>Triticale</b>	Proteingehalt erhöht Energieeffizienz	Ertrag erhöht, Trockentoleranz
<b>Weizen</b>	Protein- und Stärkegehalt erhöht Energieeffizienz erhöht	Ertrag erhöht, Trockentoleranz Schaderregerresistenz: Fusariosen und Virose
<b>„Neue“ Pflanzen für die Region</b>		
<b>Pappel</b>	Ligningehalte erniedrigt	Schaderregerresistenz: Insekten und Pilze, insbesondere Rost
<b>Weide</b>	Ligningehalte erniedrigt	Schaderregerresistenz: Rost
<b>Zuckerhirse</b>		Trockentoleranz und Kältetoleranz

Da den Landwirten in der schriftlichen Befragung keine Vorschläge für mögliche neuartige Pflanzen gemacht wurden, beziehen sich ihre Lösungsvorschläge eher auf konventionelle Möglichkeiten. Folglich finden sich in den Tabellen 7 und 8, nach der Synthese von Bedarf und Angebot bzw. nach der mündlichen Befragung, überwiegend Pflanzen mit Input-Traits; Pflanzen mit Output-Traits sind eher unterrepräsentiert. Pflanzen, die unter Umständen gute Zusatz Erlöse ermöglichen würden, standen dem Landwirt also auch in der mündlichen Befragung nicht zur Wahl. Dies betrifft hauptsächlich Pflanzen mit veränderten Öl-, Stärke- oder Proteingehalten bzw. -qualitäten, die nach Angabe der Experten dem Landwirt und dem Verbraucher in den nächsten 20 Jahren Vorteile bringen könnten. Daher werden hier zwei weitere innovative Beispiele für neuartige Pflanzen mit Zusatznutzen vorgestellt.

### 1.5 Alte Kulturpflanzen neu entdeckt: früher in der Untersuchungsregion angebaute Kulturpflanzenarten mit neuartigen sowie kombinierten Eigenschaften

Für die Produktion von Spezialstoffen eignen sich vorrangig Pflanzen, die entsprechend modifiziert werden können, für die langjährige Anbauerfahrungen vorliegen und die ein hohes Maß an biologischer Sicherheit aufweisen. Dies trifft insbesondere auf Pflanzen zu, die vorwiegend für eine industrielle Nutzung gedacht, aber für den menschlichen oder tierischen Verzehr, z. B. aufgrund ihrer geschmacklichen Eigenschaften, weniger geeignet sind. Sie werden daher bereits heute vom Lebensmittelmarkt weitgehend getrennt, eine Vermischung mit Lebensmitteln ist daher eher unwahrscheinlich. Um das Problem einer Auskreuzung und Auswilderung zu minimieren sind Pflanzen, die überwiegend über Knollen vermehrt werden, keine kreuzbaren Verwandten in der Region haben und sich unter den gegebenen klimatischen Bedingungen nicht außerhalb der Ackerfläche etablieren können,

besonders geeignet (mehr zum Thema Biosicherheit unter Kapitel 2). Wichtige Beispiele für gentechnisch relativ leicht zu verändernde Pflanzen sind z. B. Tabak und Kartoffeln. Bereits 1686 haben im Oder-Randow-Gebiet Hugenotten mit der Etablierung des größten zusammenhängenden Tabakanbaugebiets Deutschlands begonnen (WALTER 1998) und seit Mitte des 18. Jahrhunderts erfolgte in der Uckermark und Barnim auf Flächen, die nicht für einträglichere Kulturen benötigt wurden, der Kartoffelanbau (BAYERL 2006). Da für beide Kulturen in der Untersuchungsregion gute Standortbedingungen, lange Anbautradition und somit Anbaupraxis vorhanden sind, eignen sie sich besonders gut zur Produktion von wertgebenden Inhaltsstoffen. Jedoch sind trotz optimaler Standortbedingungen – so ist Vierraden in der Uckermark heute das viertgrößte Tabakanbaugebiet Deutschlands (GLODZINSKI 2007) und langer Anbautradition – die Anbauflächen von Tabak und Kartoffeln in der Untersuchungsregion in den letzten Jahren rückläufig. Maßgeblich hierfür verantwortlich sind das Auslaufen der Beihilfen nach 2009 für Tabak und bei der Kartoffel die große Anbauunsicherheit u. a. aufgrund mangelnder Niederschläge, schwierigem Absatz von Speisekartoffeln und mittlerweile fehlender Lagerungsmöglichkeiten (persönliche Mitteilung S. Marscheider, Bauernverband Uecker-Randow e. V. 17.9.2007). Durch den Anbau von trockenoleranten Industriekartoffeln, die direkt zum Verarbeiter geliefert werden, ließen sich diese Unsicherheiten verringern.

Es müssen also, will man die jahrhundertealte Erfahrung weiter nutzen und die lange Anbautraditionen in der Region erhalten, Alternativen für die Nutzung von Tabak und Kartoffeln gefunden werden, um den Wegfall der Beihilfen zu kompensieren bzw. den Anbau wieder rentabel zu machen. Interessant sind in dem Zusammenhang die Produktion unterschiedlicher Koppelprodukte,<sup>14</sup> die zusätzlich zum Hauptprodukt bei der Verarbeitung anfallen. Diese zusätzliche Wertschöpfung, auch als *added value* bezeichnet, kann für den Landwirt jedoch nur dann eintreten, wenn der entsprechende Markt, z. B. durch kostengünstigere Verarbeitung oder besonders hohen Marktwert der zusätzlichen Inhaltsstoffe, vorhanden ist. Wie sich inzwischen abzeichnet, besteht zukünftig weltweit ein außerordentlicher Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen, die in die stoffliche Nutzung einerseits und in die Erzeugung von Biokraftstoffen andererseits untergliedert werden können. Beispiel für eine Doppelnutzung wäre die Erzeugung neuer Proteine (z. B. Spinnseideproteine oder Cyanophycin) in Tabak bzw. Kartoffeln und die anschließende Verwertung der Reststoffe, nach Isolierung der wertgebenden Inhaltsstoffe, als Tierfutter, für die Energieerzeugung oder desgleichen.

Inwieweit sich diese Doppelnutzung tatsächlich rentiert, wird im Rahmen der Untersuchung auf „Praxistauglichkeit“ der ausgewählten Pflanzen ermittelt. Diese Praxistauglichkeit wird vorrangig durch die Anbauwürdigkeit, d. h. die Kriterien – biologische Sicherheit und Wirtschaftlichkeit – bestimmt. Da ausschließlich biologisch sichere Pflanzen einer detaillierten ökonomischen Bewertung unterzogen werden sollen, ist zuerst die Beurteilung ihrer Biosicherheit erforderlich.

---

<sup>14</sup> auch als Kuppelprodukte bezeichnet



---

## 2 Biologische Sicherheit der ausgewählten Pflanzen

Gentechnisch veränderte – transgene – Pflanzen dürfen nur dann vermarktet werden, wenn ihre Unbedenklichkeit für Umwelt und Verbraucher wissenschaftlich ausreichend nachgewiesen ist. Aufgabe dieses Kapitels ist es daher abzuschätzen, ob die für die nächsten 20 Jahre erwarteten neuartigen und zuvor in Kapitel 1 ausgewählten Pflanzen diese Prüfung bestehen könnten.

Mögliche Risiken von transgenen Pflanzen hängen einerseits von der verwendeten Kulturart (im Wesentlichen Auskreuzungs- und Überdauerungspotenzial) und andererseits von der Art der neuen Eigenschaft ab. Daher sind für alle transgenen Pflanzen, bevor eine Zulassung für Anbau, Einfuhr und Vermarktung als Lebens- oder Futtermittel<sup>15</sup> erteilt werden kann, unterschiedliche Sicherheitsbewertungen in Labor, Gewächshaus und Freiland obligatorisch (vgl. Abbildung 9). Der wissenschaftliche Ausschuss für gentechnisch modifizierte Organismen (GMO) der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) hat Vorschläge für die Analyse potenzieller Risiken für den Verbraucher und die Umwelt veröffentlicht<sup>16</sup> und prüft die eingereichten Unterlagen für die Marktzulassung transgener Pflanzen (Ereignis-spezifisch). Ergänzt werden experimentelle und freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung durch die in der Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG<sup>17</sup> vorgeschriebene Durchführung eines Monitoring nach der Marktzulassung. Im Rahmen dieses so genannten „Anbaubegleitenden Umwelt-Monitoring nach Markteinführung“ (Post Market Environmental Monitoring, PMEM) ist für alle transgenen Pflanzen, deren absichtliche Freisetzung beantragt wird,<sup>18</sup> ein Monitoring verbindlich vorgeschrieben. Dadurch sollen alle unerwarteten Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit und der Umwelt identifiziert werden, die direkt oder indirekt von gentechnisch veränderten Pflanzen ausgehen können. Die EFSA ist zuständig für die Bewertung der von den Antragstellern vorgelegten Monitoringpläne, die den wissenschaftlichen Anforderungen und Vorgaben der Freisetzungsrichtlinie entsprechen müssen (EFSA 2006).

---

<sup>15</sup> Verordnung 1829/2003 über gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittel

<sup>16</sup> Guidance document for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed by the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms (GMO) [www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa\\_locale-1178620753812\\_1178620775747.htm](http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178620775747.htm)

<sup>17</sup> Richtlinie 2001/18/EG über die absichtliche Freisetzung von genetisch veränderten Organismen in die Umwelt

<sup>18</sup> Richtlinie 2001/18/EG über die absichtliche Freisetzung von genetisch veränderten Organismen in die Umwelt i. V. m. der Verordnung (EG) 1829/2003 über genetisch veränderte Lebens- und Futtermittel.

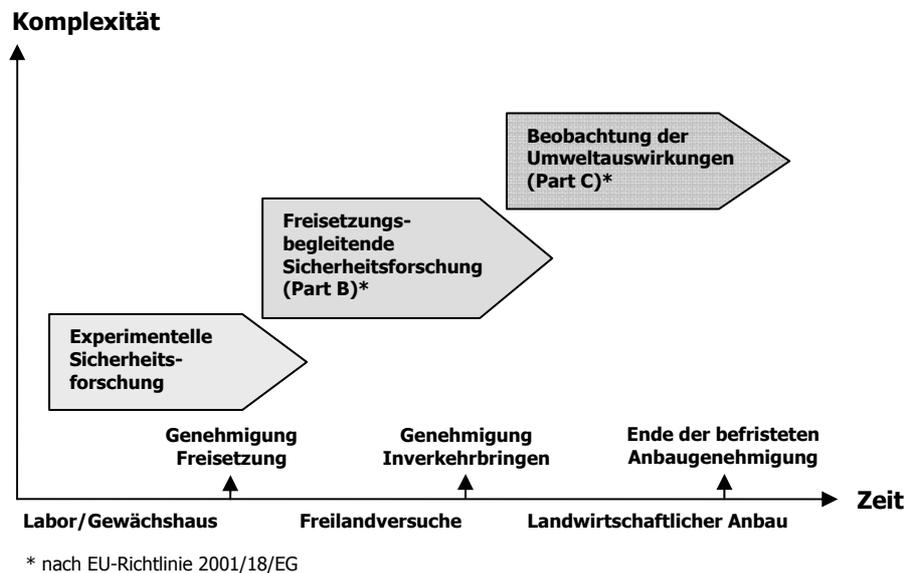


Abbildung 9: Von der freisetzungsbegleitenden Sicherheitsforschung zur langfristigen Umweltbeobachtung gentechnisch veränderter Pflanzen.

(nach: [www.biosicherheit.de](http://www.biosicherheit.de))

## 2.1 Kulturartenspezifische Risiken

Bis auf Weide und Pappel bzw. Zuckerhirse handelt es sich bei allen in Tabelle 8 genannten Pflanzen und der zusätzlich vorgeschlagenen Kartoffel bzw. beim Tabak um bekannte landwirtschaftliche Kulturpflanzen, die hauptsächlich im Nahrungs- und/oder Futtermittelsektor oder als Genussmittel Verwendung finden. Man geht – aufgrund langjähriger Erfahrung – davon aus, dass bei ihnen keine negativen Effekte zu erwarten sind. Dennoch ist ohne eine wissenschaftliche Analyse nicht auszuschließen, dass bei Neuzüchtungen andere Auswirkungen auf den Verbraucher auftreten als bei der Ausgangssorte. Durch die gezielte züchterische Anpassung haben Kultursorten viele Wildpflanzeigenschaften verloren und dadurch auch eine gering ausgeprägte Konkurrenzfähigkeit. Sie sind ohne Eingriff des Menschen nicht oder nur bedingt überlebensfähig und können sich in der Umwelt nicht unkontrolliert etablieren und verbreiten. Ihr Auskreuzungs- und Überdauerungspotenzial ist dennoch von Bedeutung, weil es die Koexistenz des Anbaus von konventionellen und gentechnisch veränderten Pflanzen beeinflussen kann.

In Abhängigkeit von den gentechnisch veränderten Eigenschaften sind das unkontrollierte Auskreuzen von Genen in Wildpflanzen bzw. die ungesteuerte Verbreitung von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen unerwünscht. Beispiele für direkte oder indirekte Auswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen sind in Abbildung 10 angegeben. Ihre Eintrittswahrscheinlichkeit hängt wesentlich auch von dem verwendeten Transgen ab und muss für die jeweilige Kombination aus Kulturpflanze und Transgen gesondert abgeschätzt werden.

<b>Mechanismus</b>	<b>Direkter Effekt</b>	<b>Indirekter Effekt</b>
<b>Invasion</b>	GVP etabliert sich im Ökosystem	Verdrängung anderer Arten
<b>Gentransfer</b>	Transgen in Kreuzungspartner	Rekombination verschiedener Transgene
<b>Toxizität</b>	Tod der Schaderreger	Veränderung der Leistung der Biozönose
<b>Selektion</b>	Selektion resistenter Schaderreger	Verdrängung anderer Arten

Abbildung 10: Angaben zu den möglichen direkten und indirekten Auswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen in der Umwelt.

(nach WILHELM ET AL. 2002)

Bei den Kulturarteneigenschaften sind Konkurrenzfähigkeit, Herkunft und damit potenzielle Auskreuzungspartner (vertikaler Gentransfer), das Verwildерungspotenzial, Art-spezifische Inhaltsstoffe (z. B. allergenes und toxisches Potenzial) und sonstige indirekte Effekte von Bedeutung. In Bezug auf die Veränderung der Kulturarteneigenschaft (z. B. Kältetoleranz) ist es von Interesse, ob eine erfolgreiche Übertragung von neuen Genen durch vertikalen Gentransfer überhaupt erfolgen kann und dadurch den Pflanzen eine dauerhaft verbesserte Fitness bzw. Konkurrenzfähigkeit und damit ein Selektionsvorteil verschafft wird (z. Ü. vgl.: SAUTER UND MEYER 2000).

### Vertikaler Gentransfer (Kreuzung)

Als vertikaler Gentransfer wird die Weitergabe von Genen an die folgende Generation, auf sexuellem Wege, bezeichnet. Dieser Vorgang ist die Basis für Kreuzungen zur Züchtung neuer Sorten. Die Übertragung von Pollen innerhalb einer Art oder zwischen verwandten Arten dient der Fortpflanzung und ist daher ein natürlicher Vorgang. Dabei kann es auch zur Übertragung von Resistenzen von Kulturpflanzen auf verwandte Wildpflanzen und umgekehrt kommen. Der Austausch von Resistenzgenen wurde schon häufig beobachtet und erfolgt unabhängig von ihrer Herkunft. Soll die biologische Sicherheit einer transgenen Pflanze beurteilt werden, ist die Möglichkeit einer Auskreuzung des fremden Gens mit zu berücksichtigen. Dazu muss überprüft werden, ob in den potenziellen Anbauregionen der transgenen Pflanze verwandte Wildpflanzen vorkommen, in die das Fremdgen auskreuzen kann. Zudem ist zu untersuchen, welche Folgen dies für die Wildpflanze hätte und ob negative Effekte für das Ökosystem zu erwarten sind. Dazu muss jede neue Eigenschaft (z. B. Kältetoleranz) auf mögliche Auswirkungen untersucht werden. Die Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung durch vertikalen Gentransfer wird, außer vom Vorhandensein eines potenziellen Kreuzungspartners und der Dauer der Lebensfähigkeit des Pollens, auch darüber bestimmt, ob es sich um selbstbefruchtende Arten handelt, die häufig bei geschlossener Blüte Pollen ausschütten oder um Fremdbefruchter, die meist große Mengen Pollen freisetzen (z. Ü. vgl.: FUNK 2006, BIOSICHERHEIT.DE).

### Allgemeine Kulturpflanzeigenschaften der nicht-transgenen Ausgangspflanzen

Wie bereits angeführt sind alle derzeit angebauten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen durch züchterische Eingriffe in ihren Eigenschaften verändert und damit an die Bedürfnisse des Menschen angepasst. Die ersten vom Menschen bei Getreide durch Selektion verbesserten Eigenschaften waren Spindelbrüchigkeit, Kornanzahl und -größe. Die Spindelbrüchigkeit half den Wildpflanzen ursprünglich bei der Verbreitung; bei der Ernte ist diese Eigenschaft jedoch von Nachteil. Unser heutiges Kulturgetreide kann daher nur durch zutun des Menschen über größere Distanzen verbreitet werden. Dies geschieht u. a. durch Verschleppung mit Erntemaschinen oder durch Transport nach der Ernte. Die eigenständige Verbreitung von Kulturpflanzen ist auch durch die herabgesetzte Konkurrenzfähigkeit und dem Bedarf an bestimmten Kulturmaßnahmen (z. B. Unkrautbekämpfung oder Düngung) stark eingeschränkt. Eine weitere Eigenschaft ist die Züchtung von Sommerformen bei Getreide, von dem es ursprünglich nur Winterformen gab. Diese Sommerformen brauchen keinen Kältereiz um die Schoßhemmung (Vernalisation) abzubauen, so dass sie auch in Regionen mit langen strengen Wintern angebaut werden können. Sie kommen bereits im Jahr der Aussaat zur Blüte und Samenbildung, was im Vergleich zu den Winterungen ein Verbreitungsvorteil darstellen kann. Von den meisten landwirtschaftlichen Kulturen – Weizen, Hafer, Triticale, Gerste, Roggen, Raps etc. – sind Sommer- und Winterformen bekannt (ZELLER 1985, DIEPENBROCK ET AL. 2005). Keine Winterformen gibt es hingegen bei Mais oder Hirse, da diese Wärme liebende Kurztagspflanzen sind, die bei tiefen Temperaturen absterben und daher bereits im ersten Jahr Samen ausbilden.

Wichtig für eine Verbreitung ist nicht nur die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen ungünstige Standorte, sondern auch die Überlebensfähigkeit der Samen (Diasporen). Die meisten landwirtschaftlichen Kulturarten der gemäßigten Breiten besitzen Samen die man dem „orthodoxen“ Lagerungstyp zuordnet, d. h. die Samen trocknen bereits auf der Mutterpflanze auf Feuchtigkeitsgehalte unter 20 % und können bei kühlen trockenen Bedingungen über längere Zeit gelagert werden. Zudem gibt es den rekalzitranten Lagerungstyp, den man bei tropischen Arten findet. Die Samen dieses Lagerungstyps trocknen auf der Mutterpflanze nicht aus und reagieren auf Trocknung sowie niedrige Temperaturen mit Keimfähigkeitsverlusten (z. B. Avocado und Kakao). Die orthodoxen Samen der in unseren Breiten angebauten Arten sind somit gut lagerfähig (dies schließt den Boden als Samenbank mit ein) und verlieren folglich ihre Keimfähigkeit nicht so schnell wie die rekalzitranten Samen. Die Dauer der Keimfähigkeit im Boden beträgt mehrere Jahre. So können z. B. Rapssamen über 10 Jahre im Boden keimfähig bleiben (KRUSE 2000), wodurch es häufig zum Auftreten von Durchwuchsraps kommt.

Im Gegensatz zu den ein- oder zweijährigen Nutzpflanzen, die durch Züchtung wichtige Eigenschaften verloren haben, die für ein Überleben unter natürlichen Bedingungen nötig sind, weisen Bäume ein kaum durch Menschen modifiziertes Genom auf und verfügen über alle Merkmale, die ihnen ein Überleben unter natürlichen Bedingungen sichern (PICKARDT & DE KATHEN 2002).

### Botanik und Kulturarteneigenschaften von Mais (*Zea mays*)

Ursprünglich kam der Mais, der zur Familie der Poaceae gehört und damit ein Süßgras ist, aus Mittelamerika. Der Tribus der Maisgräser (Maydeae) lässt sich in zwei Gruppen unterteilen: amerikanische Gattung (*Zea* und *Tripsacum*) bzw. asiatische Gattung (u. a. *Coix*, *Chionachne* und *Trilobachne*), die beide jedoch nicht untereinander kreuzbar sind. Aufgrund der Herkunft hat der Mais in Europa keine verwandten Arten, so dass es keine direkten Kreuzungspartner gibt und Auskreuzungen demzufolge nur in andere Maisbestände möglich sind. Die Vermehrung von Mais erfolgt ausnahmslos durch Samen, die keine Samenruhe aufweisen. Da während der Ernte ausfallende Körner über mangelnde Winterhärte verfügen, kommt es nur nach besonders milden Wintern zum Auftreten von Durch-

wuchsmais. Obwohl für die schmackhaften Maiskörner der Verzehr und die Verbreitung der Samen durch Wildtiere nicht auszuschließen ist, ist ein langfristiges Überleben von ausgewildertem Mais in Europa nicht realistisch, da die Samen nur über wenige Jahre keimfähig und zudem, wie bereits erwähnt, nur sehr begrenzt winterhart sind. Aufgrund der Monözie und der Protandrie (männliche Blüte reift vor der weiblichen) kommt es überwiegend zur Fremdbefruchtung. Der sehr leichte Pollen, der bei günstigen Bedingungen eine Lebensfähigkeit von bis zu 24 Stunden besitzt, wird hauptsächlich durch den Wind verbreitet. Erprobungsanbaudaten aus 2004 und 2005 mit transgenem und konventionellem (nah-isogenem) Mais in Bayern, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern haben gezeigt, dass in der Regel ein 20 Meter breiter Streifen konventioneller Mais ausreicht, um die Einkreuzung in benachbarte Bestände unter 0,9 % zu halten. Unter extremen Witterungsbedingungen kann aber erst nach 50 Meter Abstand und 25 Meter Maismatelsaat von einer sicheren Unterschreitung des Grenzwerts ausgegangen werden. Für die geplante Verordnung zur „Guten fachlichen Praxis“ wurden dennoch größere Abstände festgelegt, wobei trotz gleichem Schwellenwert von 0,9 % zwischen Abständen zu konventionellen (150 m) und ökologisch (300 m) bewirtschafteten Maisflächen unterschieden wird (z. Ü. vgl.: HOFFMANN ET AL. 1985, NEUROTH 1997, RÖVER ET AL. 2000, OECD 2003, EDER 2006, WEBER ET AL. 2006, persönliche Mitteilungen BROER 2007, BIOSICHERHEIT.DE, TRANSGEN.DE).

Die folgende Tabelle 9 ist ein Auszug aus einer Entscheidungstabelle für Anbauer von gv-Mais und stammt aus einer Studie der Gemeinsamen Forschungsstelle der EU-Kommission (JRC). Sie soll als wissenschaftliche Basis für zukünftige Koexistenzmaßnahmen innerhalb der Europäischen Union dienen. Bei den dort aufgeführten Abstandsempfehlungen werden neben einzuhaltenden Schwellenwerten die Größe der konventionellen Nachbarschläge – in die der Eintrag des Transgens vermieden werden soll – auch die Windrichtung und das Vorhandensein einer Mantelsaat berücksichtigt.

*Tabelle 9: Entscheidungstabelle für Maisanbauer hinsichtlich einzuhaltender Abstände in Verbindung mit der Größe der konventionell bewirtschafteten Nachbarschläge zur Einhaltung unterschiedlicher Schwellenwerte.*

Größe des nicht-gvo-Feldes	Mantelsaat aus nicht-gv-Mais um das GVO-Feld	Erforderliche Abstände zwischen GVO- und Nicht-GVO-Feld um verschiedene maximale Auskreuzungsraten einzuhalten (in Windrichtung/ entgegen der Windrichtung)		
		0,9 %	0,4 %	0,1 %
< 5 Hektar	ohne Mantelsaat	50m / 0m	100m / 20m	300m / 50m
	12 m	20m / 0m	100m / 0m	300m / 20m
5 bis 10 Hektar	ohne Mantelsaat	20m / 0m	100m / 0m	300m / 20m
	12m	0m / 0m	100m / 0m	300m / 20m
> 10 Hektar	ohne Mantelsaat	20m / 0m	50m / 0m	300m / 20m
	12m	0m / 0m	50m / 0m	200m / 0m

(Quelle: [www.biosicherheit.de](http://www.biosicherheit.de))

**Botanik und Kulturarteneigenschaften von Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*)**

Die Hirsen gehören zu den ältesten Nutzpflanzen und haben ihren Ursprung in Afrika und Asien. Die bedeutendste Hirseart weltweit ist die großkörnige Sorghum- oder Mohrenhirse (*Sorghum bicolor*), mit den agronomischen Typen Körnerhirse, Sudangras, Sorghum-Sudangras-Hybriden und Zuckerhirse. Sie alle weisen eine hohe Toleranz gegen Trockenheit auf. Das Vorkommen des aggressiven Beigrasses *S. spontaneus*, das durch eine „spontane“ Kreuzung zwischen *S. bicolor* und *S. halepense* entstand, lässt vermuten, dass die domestizierten einjährigen Formen potenziell mit den ein- oder mehrjährigen Beigrasformen in Europa kreuzen können, wobei normalerweise die Selbstbefruchtung überwiegt. Zuckerhirse ist eine besonders zuckerreiche Form der Mohrenhirse, die als einjährige C4-Pflanze hohe Temperaturen und Lichtintensitäten benötigt. Daher kommt es auf europäischen Standorten zu einer langsamen Jugendentwicklung, die Konkurrenzfähigkeit ist also als niedrig einzustufen. Neuere Züchtungen sind besser an das europäische Klima adaptiert. Bei Wassermangel kann das Wachstum unterbrochen und bei ausreichendem Wasserangebot wieder aufgenommen werden, was die Mohrenhirse zu einer sehr Dürre-resistenten Pflanze macht. Die Überlebensdauer von Kulturhirseseenen in Deutschland wurde noch nicht im Detail untersucht. Es ist jedoch anzunehmen, dass sie ebenso wie die Samen der heimischen Beigrasformen etwa 10 Jahre im Boden überdauern können (z. Ü. vgl.: GEISLER 1991, MEYER 2005, BERENJI & DAHLBERG 2004, HEYLAND ET AL. 2006, HEINRICHS 2006,<sup>19</sup> [nachwachsende-rohstoffe.de](http://nachwachsende-rohstoffe.de)<sup>20</sup>).

**Botanik und Kulturarteneigenschaften von Weizen (*Triticum aestivum*)**

Der Saatweizen (*Triticum aestivum*), auch Weichweizen genannt, ist der weltweit am häufigsten angebaute Weizen. Als Ursprungsgebiet der einzelnen Weizenarten wird der vorderasiatische Raum – Tigris- und Euphrat-Gebiet sowie der Iran, Irak, Syrien bzw. die Türkei – vermutet. Der Weizen ist in der Regel Selbstbefruchter, wobei die Bestäubung noch vor Blütenöffnung eintritt. Weizen weist einen hexaploiden Chromosomensatz auf, so dass Auskreuzungsereignisse selten auftreten bzw. die Nachkommen steril sind. Seine Winterfestigkeit beträgt circa -20 Grad Celsius. Selbst unter optimalen Bedingungen ist der Pollen nur circa 3 Stunden lebensfähig. Die Fremdbefruchtungsrate beträgt bei günstigen Bedingungen zwischen 3,7 und 9,7 %. Die Standortansprüche des Weizens sind relativ hoch und bestehen in einem ausgeglichenen Wasser- und Lufthaushalt. Auch stellt der Weizen hohe Ansprüche an das Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens, was seine Konkurrenzfähigkeit stark herabsetzt (z. Ü. vgl.: GEISLER 1991, OECD 1999, DIEPENBROCK ET AL. 2005).

**Botanik und Kulturarteneigenschaften von Roggen (*Secale cereale*)**

Die Roggen-Genzentren liegen in Vorderasien (Kaukasus, Ostanatolien), Iran und Afghanistan. Der Roggen wird als sekundäre Kulturpflanze bezeichnet, da er ursprünglich als Beigras in Weizen- und Gerstenbeständen auftrat. Nachdem entdeckt wurde, dass Roggen auf ungünstigen Standorten dem Weizen überlegen war, wurde auch er in Kultur genommen. Durch zahlreiche Mutationsschritte und Kreuzungen entstanden aus dem bespelzten spindelbrüchigen Roggen die heutigen Formen. Unter den verschiedenen, stets diploiden *Secale*-Arten, die alle 14 Chromosomen besitzen, besteht uneingeschränkte Kreuzbarkeit. Der Roggen zeichnet sich durch eine hohe Trockentoleranz und gute Winterfestigkeit aus, die bei mindestens -25 Grad Celsius liegt. Zur Blüte wird der Pollen meist zeitgleich

---

<sup>19</sup> Vgl.: [www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/zuckerrueben/unkrautbekaempfung.htm](http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/zuckerrueben/unkrautbekaempfung.htm).

<sup>20</sup> Vgl.: [www.energiepflanzen.info/cms35/Zuckerhirse.1603.0.html](http://www.energiepflanzen.info/cms35/Zuckerhirse.1603.0.html).

über dem Feld, in einer großen Pollenwolke, ausgebracht. Der Roggen ist Fremdbefruchter. Besonders charakteristisch ist die geringe Keimruhe, so dass es bereits auf der Ähre oder kurz nach der Ernte zu Keimungsprozessen kommen kann, die äußerlich nicht immer erkennbar sind („latenter“ Auswuchs) (z. Ü. vgl.: HONERMEIER 2000, GEISLER 1991). Findet dieser auskeimende Samen keine optimalen Bedingungen vor, kommt es zum Absterben, so dass potenziell weniger Samen für die Verbreitung zur Verfügung stehen. Dies führt dazu, dass Kulturroggen, trotz ausgeprägter Kälteresistenz, ein niedriges Verwildерungspotenzial aufweist.

### **Botanik und Kulturarteneigenschaften von Triticale (*Triticosecale Wittmack*)**

Triticale ist die erste durch gezielte Züchtung entstandene Kulturpflanzenart. Die Bezeichnung Triticale resultiert aus den beiden Kreuzungseltern Weizen und Roggen (*Triticum aestivum* x *Secale cereale*). Die Züchtung fertiler Weizen-Roggen-Bastarde gelang 1888 erst durch Zuhilfenahme von Colchizin, was zur Verdopplung der Chromosomensätze führte. Da Triticale eine künstliche Hybride ist, fehlen natürliche Kreuzungspartner, so dass spontane Kreuzungen sowie die Erzeugung von fertilen Nachkommen nicht zu erwarten sind. Wie beim Weizen findet man bei Triticale überwiegend Selbstbefruchtung, wobei die Fremdbefruchtungsrate über der des Weizens liegt. Bei manchen Sorten findet man vermehrt, die bereits beim Roggen beschriebene, erhöhte Anfälligkeit gegen Auswuchs (z. Ü. vgl.: HONERMEIER 2000, DOLESCHEL 1998) und damit eine eingeschränkte Keim- und Verbreitungsfähigkeit.

### **Botanik und Kulturarteneigenschaften von Raps (*Brassica napus*)**

Entstanden ist der Raps durch Bastardierung von Kohl (*Brassica oleracea*) und Rübsen (*B. rapa*). Da sich die Verbreitung von Kohl auf mediterran-atlantische Regionen beschränkt und Rübsen überwiegend in Afghanistan, Pakistan und im östlichen Mittelmeerraum zu finden sind, wird vermutet, dass die Kreuzung der beiden Arten im Mittelmeerraum zur Entstehung von Raps geführt hat. Man unterscheidet bei Raps und bei Rübsen drei Typen (Öltyp, Blatttyp und Rübentyp). Zwischen allen drei Typen besteht innerhalb der Arten jeweils volle Fertilität. Kreuzungsstudien haben gezeigt, dass bei Raps eine Hybridisierung mit Wildkräutern möglich ist, dass diese jedoch in den meisten Fällen durch Inkompatibilität der Chromosomensätze erschwert wird und häufig zu sterilen Nachkommen führt. Spontane Hybridisierungen wurden u. a. beobachtet mit Braunem Senf (*B. juncea*), Schwarzem Senf (*B. nigra*) und Hederich (*Raphanus raphanistrum*). Die Rapsschoten platzen bei Reife auf, wodurch es zu Ertragsverlusten vor und bei der Ernte kommen kann. Aufgrund der hohen Rate von Ausfallraps kann es in der Folgefrucht zur Verunkrautung mit Durchwuchsraps kommen. Auch an den Schlagrändern und den Wegen kann Ausfallraps ein Problem darstellen. Beim Raps überwiegt, mit einem Anteil bis zu 70 %, die Selbstbefruchtung. Erfolgt dennoch Fremdbefruchtung, wird diese größtenteils von Insekten durchgeführt. Für eine Vernalisation der Winterrungen reichen Temperaturen um den Gefrierpunkt aus. Durch Langtagsbedingungen wird die generative Phase gefördert, wohingegen die vegetative Phase verkürzt wird. Auf diese Weise führen frühe Aussaaten im Spätsommer zum vorzeitigen Schossen und zu einer begrenzten Winterfestigkeit. Unter optimaler Vorwinterentwicklung kann Winterraps eine Kälteresistenz von bis zu -20 Grad Celsius erreichen. Die Samen sind frostresistent und können in tieferen Bodenschichten, bei Ausbildung einer sekundären Dormanz, über 10 Jahre keimfähig bleiben. Seit der züchterischen Erzeugung von Erucasäure- und Glukosinolat-armen Sorten (Doppel-Null-Sorten; 00-Raps) hat der Anbau von Raps stark an Bedeutung gewonnen, so dass er zur wichtigsten Ölf Frucht in Deutschland wurde. Eine mehrjährige Etablierung von Raps außerhalb der Agrarfläche war bisher nur auf Ruderalstandorten oder in Gärten zu verzeichnen, so dass Raps durch seine schlechte Konkurrenzfähigkeit offensichtlich nur auf gestörten Flächen überleben kann. Mitt-

lerweile zeichnet sich jedoch ab, dass durch Einsatz der Gentechnik bzw. gezielte züchterische Verbesserung sowohl die Platzfestigkeit der Schoten erhöht als auch die sekundäre Dormanz erniedrigt werden kann. Mit der damit einhergehenden Verringerung an Ausfall- und Durchwuchsrapts würde sich auch die Koexistenzfähigkeit von Raps verbessern (z. Ü. vgl.: RÖVER ET AL. 2000, SCHEFFLER ET AL. 1993, GEISLER 1991, MAKOWSKI 2000, FUNK 2006, MINOL & SINEMUS 2004/05, ARNDT & POHL 2006, OTTO 2001, BUEBL 2002, GRUBER 2004, OECD 1997, UFOP.DE).

### **Botanik und Kulturarteneigenschaften von Kartoffeln (*Solanum tuberosum*)**

Die Kartoffel stammt aus Süd- bzw. Mittelamerika und gehört zur Familie der Nachschattengewächse. Die heute bei uns angebaute Unterart *tuberosum* ist wahrscheinlich aus der Subspezies *andigenum* hervorgegangen und weit besser an die Bedingungen höherer Breiten und damit an europäische Langtagbedingungen angepasst, als der ursprüngliche Kartoffeltyp. Für die Bildung der Knollen sind Langtagbedingungen und nicht zu hohe Temperaturen erforderlich, so dass die Kartoffel weltweit Verbreitung findet. Die einjährige tetraploide Kartoffel wird über die Knollen vermehrt. Auch bei einigen Wildarten findet man ausschließlich die vegetative Vermehrung. Lediglich für die Züchtung erfolgt die Erzeugung von Samen. Die Blüten sind zwittrig und wenig pollenfertil oder sogar steril. Die Bestäubung erfolgt meist durch Insekten. Obwohl es in Europa verwandte Wildpflanzen zur Kartoffel gibt, wurden bisher keine Hybridisierungen beobachtet. Es wurde zudem festgestellt, dass der Pollen bereits nach 10 Metern eine Auskreuzungsrate unter 0,017 % hat und nach 20 Metern keine Auskreuzungen mehr feststellbar waren. Nach erfolgreicher Befruchtung reifen etwa 50 bis 200 Samen in Beeren heran, die meist noch in unreifem Zustand von der Pflanze abgestoßen werden und nicht keimfähig sind, da die vollständige Keimfähigkeit erst nach 5 bis 8 Wochen erreicht ist. Reife Samen können unter geeigneten Bedingungen 10 Jahre und länger ihre Keimfähigkeit beibehalten. Sie sind jedoch sehr frostempfindlich und sterben bei Temperaturen unter -3 Grad Celsius sehr schnell ab. Die Verbreitung der Samen durch Vögel wurde bisher nicht beobachtet, und gezielte Untersuchungen zum Verzehr der Kartoffelbeeren durch Vögel sind nicht bekannt. Möglicherweise kommen die Beeren durch den hohen Gehalt an giftigem Solanin – ein Glycoalkaloid – nicht als Nahrung in Frage. Solanin befindet sich in allen Pflanzenteilen der Kartoffel, wobei der Gehalt in den Knollen am niedrigsten ist. Da Solanin hitzeresistent aber wasserlöslich ist, geht es beim Kochvorgang ins Wasser über. Kartoffeln weisen unter den hiesigen klimatischen Bedingungen ein extrem niedriges Vermehrungs- sowie Überdauerungs- und Verbreitungspotenzial auf. Eine dauerhafte Beeinflussung des Ökosystems durch möglicherweise verwilderte Kartoffeln ist äußerst unwahrscheinlich (z. Ü. vgl.: GEISLER 1991, RÖVER ET AL. 2000, GOESER & BÜNTIG 2006, OTTO 2001, DALE 1992, KELLER 1999).

### **Botanik und Kultureigenschaften von Tabak (*Nicotiana tabacum*)**

Wie die Kartoffel gehört auch der Tabak zu den aus Südamerika stammenden Nachschattengewächsen. Der mehrjährige Tabak wird in unseren Breiten nur für ein Jahr in Kultur genommen. Seit 1975 ist auch eine afrikanische Art (*N. africana*) bekannt. Bei *N. tabacum* handelt es sich um einen amphidiploiden Hybriden, der durch die spontane Kreuzung von *N. sylvestris* und *N. tomentosiformis*, mit anschließender Chromosomenverdopplung, entstanden ist. In Europa wachsen keine mit dem Tabak verwandten Wildarten, so dass spontane Kreuzungen bzw. Auskreuzungen von Transgenen ausgeschlossen sind. Wie alle anderen zuvor genannten Kulturpflanzen, die aus Südamerika stammen, ist der Tabak eine Wärme liebende Pflanze und kann erst bei einem Temperaturminimum von etwa 12 Grad Celsius keimen. Aufgrund der Blütenmorphologie überwiegt die Selbstbefruchtung. Lediglich 5 % der Befruchtungsereignisse gehen auf Fremdbefruchtung zurück. Der Pollen wird nicht mit dem Wind verbreitet, so dass eine Fremdbefruchtung auf andere Vektoren, wie z. B. Bienen, zurückzuführen ist. Nach erfolgreicher Befruchtung erfolgt in der zweiteiligen Frucht (Kapsel) die Bildung von

bis zu 5000 Tabaksamen. Je Pflanze können mehrere Hundert Kapseln gebildet werden. Da der Samen sehr klein ist, beträgt das Tausendkorngewicht unter 0,1 Gramm; eine Verbreitung ausfallender Samen außerhalb der Anbaufläche durch Wind ist also nicht auszuschließen. Der Tabaksamen behält nur unter optimalen Lagerbedingungen über mehrere Jahre seine Keimfähigkeit.

Bei einer „Lagerung“ der Samen im Boden lässt die Keimfähigkeit hingegen schnell nach. Trotz der subtropischen Heimat besitzt der domestizierte Tabak eine große Anpassungsfähigkeit an die unterschiedlichsten Standorte. Dennoch beschränkt sich der Anbau in Europa auf warme Klimaregionen, wobei mindestens 120 frostfreie Tage und eine gleichmäßige Verteilung der Niederschläge benötigt werden. Der domestizierte Tabak benötigt, wie alle anderen Kulturarten auch, gezielte Anbaumaßnahmen. Diese gehen beim Tabak so weit, dass z. B. in unseren Regionen keine Aussaat ins Freiland erfolgt, sondern in Gewächshäusern vorgezogene Setzlinge ausgepflanzt werden, da geringe Samengröße und Temperaturempfindlichkeit eine optimale Bestandesetablierung erschweren. Aufgrund fehlender Konkurrenzfähigkeit und Winterhärte ist eine Verwilderung von Tabak nicht zu erwarten. Geerntet werden die Tabakblätter, die neben über 4000 anderen Stoffen, je nach Sorte, bis zu 10 % Nikotin in der Trockenmasse aufweisen. Nikotin, ein starkes Nervengift, ist charakteristisch für die Gattung *Nicotiana* und wurde früher zur Produktion von Insektenvernichtungsmitteln verwendet. Aus den Samen lässt sich hingegen ein wertvolles Speiseöl gewinnen (z. Ü. vgl.: GEISLER 1991, ALBER 2006, HEYLAND ET AL. 2006, HUTCHENS 2000).

### **Botanik und Kulturarteneigenschaften von Pappel (*Populus* spp.) und Weiden (*Salix* spp.)**

Die Gattung *Populus* gehört zusammen mit *Salix* und *Chosenia* sowie *Toisusu* zur Familie der Weidengewächse. Im Gegensatz zu den hier aufgeführten Gräsern handelt es sich bei Pappel und Weiden um mehrjährige Pflanzen, deren gezielte Vermehrung durch Steckhölzer erfolgen kann. Anders als bei den ein- oder zweijährigen Kulturpflanzen ist bei gentechnischer Veränderung von mehrjährigen Gehölzen die Weitergabe des Transgens über viele Generationen hinweg möglich. Eine Möglichkeit zur Verhinderung der Auskreuzung bei transgenen Bäumen ist die Steigerung des biologischen Confinements durch konventionelle oder gentechnisch erzeugte Schranken, die die Ausbreitung des Transgens über Pollen und Samen verhindern oder drastisch reduzieren.

Darüber hinaus können sich Pappeln, ohne menschliches Zutun, sehr effektiv vegetativ vermehren. Pappeln blühen erst nach 4 bis 7 Jahren, wobei der Pollen mitunter Kilometer weit fliegt und eine freie Kreuzbarkeit von Bäumen in den heimischen Waldöko- und Landschaftssystemen angenommen werden muss. Unter der Voraussetzung eines gleichzeitigen Blühzeitraums sind verschiedene Pappelarten, wie z. B. Schwarz- und Hybridpappel, potenzielle Kreuzungspartner. Pappelsamen verfügen über keine Keimruhe und können somit sofort nach Ausreifung erneut auskeimen, was ihre Verbreitungsrate stark erhöht. Durch ihre Kältetoleranz eignen sie sich für kühl-feuchte Regionen.

Mit fast 36 verschiedenen Arten sind die Weiden eine der vielfältigsten Gehölzgattungen Europas. Sie sind in systematisch-botanischer Hinsicht eine „schwierig“ Gattung, da sie stark zur Bastardierung neigen. Die meisten Arten sind in den gemäßigten und borealen Zonen der nördlichen Hemisphäre zu finden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen ist die Weide zweihäusig und wird nahezu ausnahmslos durch Insekten bestäubt. Die Samen, die wenige Tage bis Wochen keimfähig sind, werden bei trockener Witterung entlassen und anschließend durch Wind verbreitet. Eine weitere Verbreitungsmöglichkeit ist die bereits erwähnte vegetative Vermehrung durch Steckling. Dabei werden abgebrochene Stecklinge mit Hilfe von Gewässern transportiert. Aufgrund der Tatsache, dass weder Pappel noch Weide für den menschlichen Verzehr geeignet sind, liegen wenig Informationen über art-spezifische Inhaltsstoffe vor (z. Ü. vgl.: MEYER 2005, RÖHRICHT & RUSCHER 2004, PICKARDT & DE KATHEN

2002, FLADUNG & HÖNICKA 2006, LAUTENSCHLAGER-FLEURY & LAUTENSCHLAGER-FLEURY 1994, OECD 2000, LWF 2000,<sup>21</sup> BIOSICHERHEIT.DE).

## 2.2 Untersuchung der in die Pflanzen neu eingeführten bzw. verbesserten Eigenschaften zur Beurteilung der biologischen Sicherheit

Neuartige Eigenschaften entwickeln ihre vollständige Wirkung auf Umwelt und Verbraucher in Kombination mit der sie exprimierenden Kulturpflanze. Dennoch gibt es Eigenschaft-spezifische Parameter, die generell und vor einem Abgleich mit der jeweiligen Kulturart diskutiert werden sollen. Da alle hier zu diskutierenden Eigenschaften keinen Selektionsvorteil für Mikroorganismen darstellen und zudem die Übertragung von Pflanzen-DNA auf diese experimentell im Freiland noch nicht nachgewiesen wurde (z. Ü. vgl.: BROER & REINHOLD-HUREK, 2008), wird auf den horizontalen Gentransfer (ungeschlechtliche Übertragung genetischen Materials zwischen nicht verwandten Arten) an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

### Neue Eigenschaften zur Erhöhung der Naturalerträge

Die Erhöhung der Naturalerträge ist keine neue Eigenschaft im eigentlichen Sinne, denn sie ist seit langem eines der wichtigsten, wenn nicht sogar das wichtigste Zuchtziel. Zurückzuführen ist dies insbesondere auf die ständig wachsende Weltbevölkerung und den damit verbundenen steigenden Bedarf an Nahrung bzw. nachwachsenden Rohstoffen bei gleichzeitiger Abnahme der nutzbaren weltweiten Agrarfläche um bis zu 50 % bis zum Jahr 2050, u. a. durch Versalzung (WANG ET AL. 2003). Zur Verwirklichung einer Erhöhung der Naturalerträge werden züchterisch seit jeher alle ertragsbeeinflussenden Merkmale und Einflussfaktoren optimiert. Dazu bedient man sich, neben dem Einsatz von Düngemitteln und neuester Technik (z. B. Bewässerung), insbesondere der Züchtung einschließlich der grünen Gentechnik, um diverse Eigenschaften zu verändern. Hierunter fallen Eigenschaften wie optimale Nährstoffaufnahme und -verwertung oder Steigerung der Photosyntheseleistung. Zur Erhöhung von Naturalerträgen bedarf es immer der Veränderungen mehrerer Eigenschaften, da der Ertrag durch das Zusammenspiel vieler Faktoren (Gene) bestimmt wird, wodurch unter Umständen qualitätsbestimmende Eigenschaften in Mitleidenschaft gezogen werden. Ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial oder ein erhöhtes Auswilderungspotenzial nach Auskreuzung allein durch Erhöhung der Naturalerträge ist somit *per se* nicht zu erwarten.

### ➤ Erniedrigung des Bedarfs an Stickstoff sowie die Verbesserung von Stickstoffaufnahme und -verwertung

Für die Erzielung zufrieden stellender Erträge bedarf es eines intensiven Einsatzes von Düngemitteln. Alle Pflanzen – mit Ausnahme der Leguminosen – haben einen sehr hohen Stickstoffbedarf, der erfahrungsgemäß den wichtigsten ertragslimitierenden Faktor darstellt. Stickstoff ist ein wichtiger Bestandteil von Proteinen, die wiederum wichtige qualitätsbestimmende und ernährungsphysiologische Determinanten darstellen. Viele Kulturpflanzen sind allerdings nicht in der Lage, Stickstoff optimal aufzunehmen. Dadurch kommt es zu starken Verlusten durch Ausschwemmung und sonstige Verlagerungen (z. B. Volatilisation von gasförmigen Stickstoffverbindungen). Dies ist ein ökonomisches und ökologisches Problem, da die Produktion von Düngemitteln energieaufwendig und somit teuer ist und Stickstoffverlust u. a. zur Eutrophierung von Gewässern führt. Die Verbesserung der Stickstoffeffi-

<sup>21</sup> Vgl.: [www.lwf.bayern.de/imperia/md/content/lwf-internet/veroeffentlichungen/lwf-wissen/24/lwf\\_wissen\\_24.pdf#search=%22pappel%20%22](http://www.lwf.bayern.de/imperia/md/content/lwf-internet/veroeffentlichungen/lwf-wissen/24/lwf_wissen_24.pdf#search=%22pappel%20%22)

zienz kann dazu beitragen, diese Probleme zu lösen, indem der Bedarf an Stickstoff gesenkt bzw. der Stickstoff besser aufgenommen und effektiver verwertet wird. Die Verbesserung der Stickstoffeffizienz bei Kulturpflanzen stellt somit eine ökonomisch wie ökologisch interessante Eigenschaft dar. Es ist der konventionellen Pflanzenzüchtung bereits gelungen, Pflanzen mit besserer Stickstoffausnutzung – so genannte Extensiv-Sorten – zu erzeugen. Biotechnologische bzw. gentechnische Ansätze zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz gibt es z. B. bei Mais. Die KWS hat bei Mais Gene identifiziert, die u. a. für das Merkmal „Stickstoffeffizienz“ verantwortlich sind. Bei Monsanto ist man seit 2006 – ebenfalls bei Mais – dabei, die Stickstoffaufnahme bzw. -effizienz zu verbessern und befindet sich in der Phase der „Konzeptüberprüfung“, die aber mittlerweile abgeschlossen sein dürfte. Hierbei hat man 2 Konstrukte – unabhängig von einander – in Mais eingebracht. Bei Reduktion des Stickstoffs von 90 Kilogramm je Hektar auf 20 Kilogramm je Hektar wurden, im Vergleich zur Kontrolle, durchschnittlich 10 % mehr Ertrag erzielt (z. Ü. vgl.: SCHULTE & KÄPPELI 2000, SCHMID ET AL. 1999, KWS 2004/2005, MONSANTO 2006, TINLAND 2007). Wenn die Eigenschaft „verbesserte Stickstoffeffizienz“ in nah verwandte Wildpflanzen auskreuzt, haben diese wegen des natürlicherweise vorherrschenden Stickstoffmangels einen selektiven Vorteil. Besonders auf extrem stickstoffarmen Böden könnte sich diese Eigenschaft als ein entscheidender Selektionsvorteil herausstellen und dadurch die Zusammensetzung der Arten auf den natürlichen Standorten verändert werden.

### **Neue Eigenschaften zur Sicherung der Naturalerträge**

Zurzeit werden eine Reihe von ertragssichernden, nicht aber ertragssteigernden Eigenschaften wie z.B. die Steigerung von Toleranzen bzw. Resistenzen gegenüber abiotischen (z. B. Trockenheit und Kälte) oder biotischen Faktoren (z. B. Insekten, Pilze und Beikräuter bzw. -gräser) in transgenen Pflanzen erprobt.

#### **➤ Erhöhung der Trockentoleranz**

Wasser ist einer der wichtigsten Einflussfaktoren zur Realisierung optimaler Naturalerträge, da die Aufrechterhaltung lebensnotwendiger Funktionen untrennbar mit der Verfügbarkeit einer ausreichenden Wassermenge verknüpft ist. In den USA haben Untersuchungen ergeben, dass die vorhandene Reduktion der möglichen Erträge um 50 % zu circa zwei Drittel auf Trockenheit und Hitzestress zurückzuführen war. Eine Verbesserung der Toleranz gegenüber Wasserstress ist z. B. durch eine Steigerung der Produktion von Prolin (Osmo-Protektans) oder Wasser leitenden Proteinen, wie beispielsweise Aquaporinen, möglich. Zudem wurden Gene in Wildpflanzen identifiziert, die eine verbesserte Trockentoleranz vermitteln und diese in Kulturpflanzen eingekreuzt bzw. durch Gentransfer übertragen (z. Ü. vgl.: SCHMITZ 2001, ZHU ET AL. 1998, LELLEY ET AL. 2003, MARQUARD & DURKA 2005, LfL 2006). Ziel ist es, den Wasserbedarf zu minimieren, die Stresstoleranz zu erhöhen und dadurch gleichzeitig die Erträge zu steigern. Die Kulturpflanzen erlangen dadurch eine bei Wasserstress erhöhte Fitness. Ein Auskreuzen der Eigenschaft „Trockentoleranz“ kann für Wildpflanzen in gleicher Weise vorteilhaft sein, so dass aufgrund der veränderten ökologischen Eigenschaften mit einem erhöhten Ausbreitungs- bzw. Verwilderungspotenzial zu rechnen ist. Dies tritt aber nur dann ein, wenn es auf dem Standort tatsächlich zu Trockenheit kommt und Kreuzungspartner vorhanden sind, die die Ausbildung fertiler Nachkommen ermöglichen. Auf Standorten ohne Trockenstress stellt diese Veränderung keinen Selektionsvorteil dar.

### ➤ **Verbesserung der Kältetoleranz**

Neben Wassermangel stellt der Mangel an ausreichender Wärme einen wichtigen limitierenden Faktor dar. Zu niedrige Temperaturen führen dazu, dass in vielen Teilen der Erde nicht adaptierte Pflanzen nicht angebaut werden können, da es bei ihnen u. a. zu Veränderungen in der Membrankonsistenz kommen kann. Dadurch kann es zu Wasser- und Kompartimentierungsverlusten kommen, was zum Zelltod führt. Pflanzen können in bestimmten physiologischen Phasen an tiefe Temperaturen adaptiert werden, wenn die Anpassung in moderaten Schritten abläuft. Dies beschränkt sich jedoch auf einzelne Pflanzenarten (z. B. Getreide) und gilt nur für sehr enge Temperaturgrenzen. Andere Kulturpflanzen (z. B. Mais) vertragen zu keiner Zeit Temperaturen um den Gefrierpunkt, ohne ernste Schäden in ihren Geweben davon zu tragen. Verbessert man jedoch die Kältetoleranz, so führt dies dazu, dass niedrige Temperaturen besser vertragen werden, wodurch die Vegetationsperiode verschoben und die Frühsaateignung von Kälte empfindlichen Arten verbessert wird. Ziel ist es, ungünstige Wachstumsbedingungen, wie z. B. Sommertrockenheit, zu umgehen und die Pflanzen zu einem früheren Zeitpunkt abreifen zu lassen bzw. die Vegetationsperiode zu verlängern. In beiden Fällen dient die Verbesserung der Kältetoleranz wiederum der Sicherung von Erträgen. Zahlreiche Gene, u. a. auch solche, die an den Adaptationsprozessen beteiligt sind, wurden bereits identifiziert und für die Erstellung von Pflanzen mit verbesserter Toleranz gegen Kälte genutzt. Teilweise konnte sogar eine gewisse Frostresistenz vermittelt werden (z. Ü. vgl.: SCHMITZ 2001, THOMASHOW 1999, JAGLO-OTTOSEN ET AL. 1998). Wenn Pflanzen, die normalerweise bei niedrigen Temperaturen absterben, eine Kältetoleranz vermittelt wird, kann es durch Verluste der Samen im nächsten Jahr zu Durchwuchs kommen. Als direkte Folge davon kann es zur Etablierung von Pflanzen im Agrarökosystem kommen, die normalerweise zeitlich und räumlich begrenzt kultiviert werden. Bei Wildpflanzen, die bereits ein gewisses Maß an Kältetoleranz besitzen, würde ein Einkreuzen dieser Eigenschaft keinen besonderen Konkurrenzvorteil den anderen Pflanzen gegenüber verschaffen. Denkbar wäre höchstens, dass diese Pflanzen durch die längere Wachstumsphase mehr Zeit haben, um mehr Samen zu bilden, die größer sind und damit über mehr Reservestoffe verfügen, die ihnen bei der Keimung eine größere Wettbewerbsfähigkeit verleihen.

### ➤ **Resistenz gegen Herbizide**

Der Herbizidaufwand variiert zwischen den einzelnen Kulturen, den Standorten und Jahren. Die in Deutschland abgesetzte Wirkstoffmenge lag mit 14.355 Tonnen im Jahr 2005 weit über denen von Fungiziden oder Insektiziden und stellt damit die wichtigste Produktgruppe – innerhalb der Pflanzenschutzmittel – dar. Hauptanwendungsgebiet von Herbiziden in Deutschland, bezogen auf die Menge, ist der Getreideanbau (58 % der Ackerfläche). Ferner nehmen auch auf Mais- und Zuckerrübenflächen sowie im Raps- und Kartoffelanbau Herbizide eine wichtige Stellung ein. Herbizide dienen in erster Linie zur Beseitigung der ertragsmindernden Ackerbegleitflora und der Vereinfachung des Pflegeaufwands. Bei der Klassifizierung von Herbiziden ist eine Einteilung nach folgenden Kriterien möglich:

- den Zielorganismen: Totalherbizide (Breitbandherbizide) und Selektiv-Herbizide
- der Wirkungsweise: Kontaktherbizide und translokale Herbizide
- dem Zeitpunkt der Applikation: Vorauflauf- und Nachauflaufherbizide (z. Ü. vgl.: IVA 2006/07, LUA 2003, SCHÜTTE & SCHMITZ 2001).

Problematisch bei der Beikraut- und Beigrasbekämpfung ist, dass häufig keine geeignete Herbizidstrategie anwendbar und der mögliche Applikationszeitraum für eine effektive Bekämpfung meist zu kurz ist. Durch die Toleranz der Kulturpflanzen gegenüber Herbiziden wird der Zeitraum einer optimalen Bekämpfung größer. Diese Flexibilisierung führt zu einer effektiveren Bekämpfung und zur

Verringerung der Wirkstoffmenge, da Breitbandherbizide selektiv eingesetzt werden können. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass auf die wendende Bodenbearbeitung verzichtet werden kann, was besonders in zu Trockenheit neigenden Gebieten (z. B. Nordost-Deutschland) von Bedeutung ist. Herbizidresistenzen können durch spontane Mutationen entstehen und dann zur gezielten Einkreuzung in Kulturarten genutzt werden. Sie wurden aber auch bereits mit Hilfe von Mutagenese direkt in den Kulturpflanzen erzeugt. Herbizid-resistente Pflanzen waren die ersten kommerziell genutzten gentechnisch veränderten Pflanzen und seither ist diese Eigenschaft die bedeutendste unter denen zur Zulassung eingereichten Merkmalen (vgl. Tabelle 4) und bei über 70 % der weltweit angebaute transgenen Kulturpflanzen zu finden (z. Ü. vgl.: SCHULTE 2005, SINEMUS 1995, MARQUARD & DURKA 2005, MARX 1985, JAMES 2006).

Das Vorhandensein einer Herbizidresistenz ist nur dann von Vorteil, wenn sich die Pflanze auf dem Acker unter Herbiziddruck befindet. Außerhalb von Ackerschlägen, z. B. auf Ackerrandstreifen, wo keine Behandlung mit Herbiziden erfolgt, ist eine solche Eigenschaft mit keinem Zusatznutzen für die Pflanze verbunden und führt daher zu keinem Vorteil. Zu einer Verstärkung der Beikraut- und Beigrasproblematik kann es kommen, wenn es zur Auskreuzung und in Folge davon zur Resistenz gegenüber Komplementärherbiziden kommt. Besonders kritisch ist dies bei Arten zu bewerten, bei denen eine hohe Hybridisierungswahrscheinlichkeit besteht (z. B. Raps und seine Kreuzungspartner). Weniger problematisch ist dies für Kartoffeln, Tabak oder Mais zu bewerten, falls es nicht zu einer zusätzlichen Übertragung von Kältetoleranz vermittelnden Genen kommt (z. Ü. vgl.: CRAWLEY 1993, SCHÜTTE & SCHMITZ 2001).

#### ➤ **Schaderreggerresistenzen gegen Maiszünsler, Maiswurzelbohrer und Rapsglanzkäfer**

Der Befall mit Insekten führt nicht nur zu erheblichen Ertragseinbußen, sondern auch zur Minderung der Qualität der daraus produzierten Lebens- und Futtermittel, da es häufig zu einer Sekundärinfektion mit pilzlichen Schaderregern und damit zur Mykotoxinbelastung kommen kann. Die zurzeit wichtigste konventionelle Strategie zur Bekämpfung von Insekten ist die Verwendung von Insektiziden, die in Deutschland einen Marktanteil von derzeit 14 % haben und damit an dritter Stelle der Pflanzenschutzmittel stehen. Viele Insektizide haben negative human-, ökotoxikologische und ökologische Effekte. Seit nunmehr 25 Jahren wird daher daran gearbeitet, Kulturpflanzen mit Schaderreggerresistenzen zu erzeugen. Da zudem erfahrungsgemäß eine Bekämpfung mit Insektiziden in manchen Fällen gar nicht oder nur sehr kurzzeitig möglich ist, weil sich der Schädling im Stängel der Pflanzen verbirgt (z. B. Maiszünsler), müssen alternative Möglichkeiten gefunden werden. Eine Erfolg versprechende Strategie ist die Produktion von Insektiziden mit einem eng begrenzten Spektrum an empfindlichen Zielorganismen direkt in der Pflanze, so dass Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen vermieden werden. In den meisten Fällen kommt es zur Verwendung von *Bacillus thuringiensis* (Bt)-Toxinen. Natürlicherweise kommt in unterschiedlichen Bakterien eine große Zahl von verschiedenen Bt-Toxinen vor, die spezifische Wirkungsbereiche haben und daher selektiv zur Bekämpfung spezieller Schadorganismen eingesetzt werden können. Aufgrund dieser Eigenschaft ist der Einsatz des insektenpathogenen Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* auch im ökologischen Landbau zugelassen. Die grüne Gentechnik macht es aber auch möglich, Gene, die für die kristallinen Bt-Toxine (*cry*) kodieren, aus den Bakterien zu isoliert und in Pflanzen zu übertragen, die dadurch gegen den Befall mit bestimmten Fraßinsekten resistent werden. In Deutschland ist der, bereits 1998 in der EU zugelassene, Bt-Mais MON 810, der das *cry1a/b* Gen trägt, derzeit das einzige für den Anbau zugelassene transgene Ereignis (vgl. Tabelle 4). Das speziell gegen Lepidoptera wirkende Genprodukt CryIA(b) erzeugt eine Resistenz speziell gegen den sich im Untersuchungsgebiet immer weiter ausbreitenden Maiszünsler. Zur Bekämpfung des Maiswurzelbohrers und des Rapsglanzkäfers sind andere Bt-Pflanzen in der Anmeldung bzw. Entwicklung (z. Ü. vgl.: IVA 2006/07, SCHMITZ & SCHÜTTE 2001,

MARQUARD & DURKA 2005, SCHLÜTER & POTRYKUS 1995, AHL GOY ET AL. 1995, WEHLING 2004). Durch Auskreuzung entstandene transgene Pflanzen mit zusätzlichen Bt-Toxin Genen erleiden durch Befall mit dem zu kontrollierenden Schädling weniger Verluste und haben gegenüber den nicht resistenten Pflanzen einen potenziellen Vorteil. Sofern es sich um Kulturpflanzen handelt ist dieser aber aufgrund des geringen Verwilderungspotenzials nicht wesentlich. Bei Einkreuzungen in Wildformen ist die Resistenz der hohen Selektivität des Toxins auf spezifische Schädlinge beschränkt, deren Funktion in der Eingrenzung der Wildformpopulationen durch andere, nicht von Bt-Toxinen betroffenen Fraßinsekten übernommen werden kann. Dies ist bei Breitbandinsektiziden und deren Resistenzen nicht der Fall.

### ➤ **Schaderregerresistenzen gegen Fusariosen, Mutterkorn und Rost**

Außer von Insekten werden Pflanzen auch von pilzlichen Schaderregern befallen. Berechnet nach abgesetzter Wirkstoffmenge, waren Fungizide im Jahr 2005 die zweitwichtigste Pflanzenschutzmittelgruppe in Deutschland, wobei die Umsätze im Vergleich zum Vorjahr um 10,5 % gestiegen sind. Die meisten Fungizide wurden in Getreide und Raps eingesetzt. Eine wichtige Alternative zum vermehrten Einsatz von Fungiziden ist die Züchtung von resistenten Sorten. Stehen keine geeigneten Resistenzgene zum Einkreuzen zur Verfügung, bietet sich hier ebenfalls der Weg des Gentransfers an. Bekannt und in Pflanzen weit verbreitet sind z. B. Glukanasen, Chitinasen und Peroxidasen, welche die in Pilzen vorhandenen Zellwandbestandteile (u. a. Chitin und Glukan) abbauen können. Viele Kulturpflanzen exprimieren die eigenen Enzyme der unspezifischen Pilzabwehr meist zu spät oder zu langsam. Die gezielte Übertragung von pflanzeigenen oder aus anderen Organismen isolierten Chitinasegenen und deren gesteigerte und zeitlich angepasste Produktion kann die Resistenz der Pflanzen gegen Pilze entscheidend steigern. Chitinasen können aber die Backqualität von Weizen herabsetzen (z. Ü. vgl.: IVA 2006/07, SCHLÜTER & POTRYKUS 1995, BROGLIE ET AL. 1991, SCHULTE & KÄPPEL 2000). Da diese Proteine auch natürlicherweise, wenn auch in niedrigeren Mengen, in Pflanzen vorkommen, wären nachteilige Effekte bei Auskreuzung nur über die gesteigerte Dosis zu erwarten. Diese Frage ist in der freisetzungsbegleitenden Sicherheitsforschung zu klären. Zahlreiche weitere Abwehrproteine von Pflanzen wie fungitoxische Proteine – Lectine oder Ribosomeninhibierende Proteine – können genutzt werden um die Resistenz gegen spezielle pilzliche Schaderreger zu verbessern. Ihr Einfluss auf Umwelt und Verbraucher bleibt zu untersuchen. Von Lectinen ist bereits bekannt, dass sie ein hohes allergenes Potenzial besitzen.

### **Verbesserte Eigenschaft und Produktion von wertgebenden Inhaltsstoffen**

Neben der Veränderung von agronomischen Eigenschaften kann auch die Produktion pflanzeneigener, wirtschaftlich interessanter Inhaltsstoffe erhöht oder neue wertgebende Inhaltsstoffe im Produktionssystem „Pflanze“ erzeugt werden. Ziel hierbei ist es, den Wert der produzierten pflanzlichen Rohstoffe zu steigern oder die Kosten der Verarbeitung zu senken, um so andere Rohstoffe (z. B. Energie oder Wasser) einzusparen.

### ➤ **Verbesserte Stärkequalität und erhöhter Stärkegehalt**

Stärke ist der wichtigste Energiespeicher in höheren Pflanzen und ist nach Zellulose das zweithäufigste Kohlenhydrat. Zugleich ist Stärke der bedeutendste Energielieferant in der menschlichen Ernährung. Die Eigenschaft *Stärkequalität* bezieht sich in erster Linie auf eine der beiden Stärkefraktionen – Amylose (wirkt gelierend) oder Amylopektin (wirkt verdickend) – die in unterschiedlichen Bereichen Verwendung finden. Die Eigenschaft *Stärkegehalt* kann für eine der beiden Fraktionen gelten

oder für den Gesamtstärkegehalt, der z. B. zur Erzeugung von Ethanol wichtig ist. Für industrielle Zwecke ist auch die Phosphorylierung der Stärke von entscheidender Bedeutung, da hierdurch z. B. die Viskosität im Endprodukt entscheidend beeinflusst werden kann. Je nach Verwendung kann durch chemische Prozessierung eine der beiden Stärketypen gewonnen oder der Phosphorylierungsgrad verändert werden. Diese Prozesse sind einerseits sehr teuer und andererseits nicht umweltfreundlich, weil sie mit einem hohen Energie- und Wasserverbrauch verbunden sind. Ein neuer Lösungsweg ist die selektive Produktion von modifizierten Stärken in spezifischen Produzentenpflanzen, die eine aufwendige Trennung erübrigt und die direkte Isolierung wirtschaftlich verwertbarer Stärke erlaubt. Beispiele dafür sind die Produktion von Amylose-freier Stärke (u. a. für Papierherstellung) durch das Ausschalten der GBSS (granule bound starch synthase) oder Amylopektin-freie Stärke, die man durch Herunterregulierung des Stärkeverzweigungsgens starch-branching enzyme (SBE) erhält. Zurzeit ist die Zulassung der Amflora-Kartoffel von BASF Plant Science in der Beantragung, die überwiegend Amylopektin synthetisiert. Untersuchungen haben gezeigt, dass Pflanzen mit hohem Amylosegehalt niedrigere Erträge erzielen (z. Ü. vgl.: BLENNOW ET AL. 2002, MARQUARD & DURKA 2005, BASF 2007). Wahrscheinlich ist mit der Eigenschaft hoher *Amylose-Gehalt* eine eher niedrigere Fitness verbunden und eine erhöhte Invasivität bei Auskreuzungen nicht zu erwarten.

#### ➤ **Verbesserte Ölqualität und erhöhte Ölgehalte**

Die Zusammensetzung von Pflanzenölen und -fetten ist im Hinblick auf deren Nutzungsziel zu betrachten. Öle bzw. Fettsäuren finden im Ernährungsbereich (Mensch und Tier) und als chemisch-technischer Industrierohstoff (u. a. für Kunststoffe, Netzmittel, Tenside oder Biodiesel) Verwendung. Je nach Verwendungszweck werden unterschiedliche Qualitäten, d. h. Zusammensetzungen, benötigt. Die unterschiedlichen Qualitäten können durch Züchtung oder durch gentechnische Verfahren erlangt werden, wobei die Gentechnik, im Gegensatz zur Züchtung, die Möglichkeit bietet nicht-pflanzliche Öle (z. B. Fischöle) und Fette in Pflanzen zu exprimieren. Wird gleichzeitig der Gesamtölgehalt erhöht, erleichtert dies entscheidend die Extraktion und damit die Ausbeute (z. B. beim Mais). Für den Bereich der menschlichen Ernährung sind es überwiegend die mehrfach ungesättigten Fettsäuren, so genannte LCPUFA, (long chain polyunsaturated fatty acids), die von Bedeutung sind. Bei Futterpflanzen ist der Energiegehalt von Ölen und Fetten, der doppelt so hoch ist wie der von Kohlenhydraten, von Interesse. Die Erhöhung des Ölgehaltes soll den Energiegehalt im Tierfutter verbessern und damit für optimale Gewichtszunahmen der Tiere sorgen. Zusätzlich können teure Futterzusätze eingespart werden. Durch Züchtung konnten mittlerweile die Ölgehalte von Mais von durchschnittlich 3 - 4 auf 6 - 8 % gesteigert werden. Diese high-oil Genotypen bilden größere Embryonen aus, die gleichzeitig mehr Aminosäuren und Vitamine enthalten und somit ernährungsphysiologisch wertvoller sind als herkömmlicher Mais. Mittlerweile gibt es auch einen gentechnischen Ansatz zur Erhöhung des Ölgehalts. Dabei konnte durch Einführung eines zusätzlichen Acyltransferase-Gens aus Hefe z. B. bei Raps der gesamte Ölgehalt um 50 % gesteigert werden. Beim Raps wurden bereits auf konventionellem Weg unterschiedliche Ölqualitäten realisiert, die jedoch nicht für Wasch- und Reinigungsmittel, oder für Farben und Lacke geeignet sind. Hier werden kurz- und mittelkettige Fettsäuren benötigt, so dass vielfach auf Importe (z. B. von Palmkern- und Kokosöl) zurückgegriffen werden muss. Besonders interessant wäre es daher, in leistungsstarken Ölpflanzen entsprechende Fettsäuremuster zu produzieren, sei es durch Silencing von unerwünschten Komponenten oder durch gezielte Einführung der Zielgene. Für industrielle Zwecke (z. B. Fotoindustrie oder Kunststoffproduktion) ist auch die Erucasäure, eine natürlich im Raps vorkommende Fettsäure, bedeutsam (vgl. auch Ausführungen zum Raps). Ihr Gehalt konnte bereits durch konventionelle Züchtung gesteigert werden und beträgt circa 56 % Erucasäure<sup>22</sup> in der Ölfraction. Eine weitere Steigerung, ist nur mit Hilfe der Gentechnik mög-

lich, weil Raps natürlicherweise nur 2 der drei möglichen Fettsäurepositionen im Triglycerid mit Erucasäure besetzen kann, eine Steigerung auf über 60% ist also nur durch die Einführung eines Artfremden Gens, z. B. aus der Sumpfpflanze (*Limnanthes douglasii*), möglich (z. Ü. vgl.: PICKARDT & DE KATHEN 2004, SAUTER & HÜSING 2005, VIETHS 2000, MINOL & SINEMUS 2004/05).

Häufig geht die Produktion von höheren oder veränderten Ölgehalten oder Fettsäuren zu Lasten des Ertrags (v. a. Reduzierung der Anzahl der Samen) und beeinflusst damit die Reproduktion negativ. Falls es zu Auskreuzungen kommen sollte, würde sich für die transgene Pflanze durch das geänderte Öl- oder Fettsäuremuster kein Fitnessvorteil ergeben. Es könnte möglicherweise das Gegenteil eintreten und die Pflanze eine reduzierte Samenanzahl aufweisen. Da diese Phänomene an Hochleistungssorten beobachtet wurden, sind für Wildpflanzen mit vergleichsweise wenig Samen keine negativen Effekte zu erwarten.

#### ➤ **Verbesserte Phosphor-Verfügbarkeit im Rahmen der Tierernährung**

Anorganischer Phosphor muss den Futterrationen beigefügt werden, da der vorhandene organische Phosphor an die Futterkomponenten gebunden und dadurch nicht verfügbar ist. Eine Ursache hierfür ist die Komplexbildung u. a. von Calcium, Eisen, Magnesium und Zink durch Phytat. Zusätzlich verfügen viele Nutztiere (z. B. Schweine und Geflügel) über eine mangelnde Phytaseaktivität, so dass die Verwertung des zugeführten Phosphors unzureichend ist und es zu Verlusten durch Anreicherung des Phosphors in den Ausscheidungen kommt. Dies führt wiederum zur Überdüngung der Flächen und Verlusten von Nährstoffen. Hinzu kommt, dass die Phosphorvorräte nicht unerschöpflich sind und bald zur Neige gehen. Erst durch die gentechnische Veränderung von Mikroorganismen (z. B. *Aspergillus*-Arten und *Trichoderma*-Arten) gelang die Produktion von Phytase, wodurch der Zusatz von Phosphor in der Futterratur um bis zu 30 % gesenkt werden konnte. Durch die Expression von Phytase direkt in der Futterpflanze (z. B. in Reis, Raps, Sojabohne und Luzerne) wird die Phosphorverfügbarkeit verbessert und der Zusatz der Phytase aus Pilzen kann entfallen (z. Ü. vgl.: SCHULTE & KÄPPEL 2000, SONNEWALD & BROER 2008, HEFNER 2004, AWT 2003,<sup>23</sup> TRANSGEN.DE). Welche Effekte sich nach Auskreuzung einer solchen Modifikation ergeben, bleibt über die Begleitforschung zu prüfen. Spezifische Risiken, die eine landwirtschaftliche Nutzung dieser Eigenschaft in 20 Jahren ausschließen könnten, sind zurzeit aber nicht erkennbar.

#### ➤ **Erhöhter Proteingehalt zur Verbesserung der Futterwertigkeit, der Backqualität und Produktion neuer Proteine**

Die Erhöhung des Proteingehalts ist primär mit der Erhöhung des Gehaltes an Aminosäuren, die die Bausteine der Proteine sind, verbunden. Einige so genannte essentielle Aminosäuren müssen dem Körper zugeführt werden, so dass es ausreichend wäre, die essentiellen Aminosäuren in der benötigten Menge in Pflanzen synthetisieren zu lassen. Ist es beim Menschen Lysin, sind es in der Tierernährung Methionin und Lysin, die einen limitierenden Faktor darstellen. Ein positiver Nebeneffekt wäre die Einsparung von Stickstoffdünger. Wichtige Proteine finden sich auch im Weizen, so wird die Backqualität von Weizen maßgeblich an der Qualität und Quantität des Klebereiweiß (Gluten) gemessen. Die Menge an Kleber korreliert mit der N-Düngergabe, so dass Backweizen mit hohen Stickstoffgaben gedüngt wird. Die Backleistung wurde bereits durch Auslese bei der konventionellen Züchtung verbessert. Mit Hilfe gentechnischer Veränderungen ließen sich wahrscheinlich noch bessere Backqualitäten erzielen und gleichzeitig die N-Düngermenge reduzieren (z. Ü. vgl.: SCHULTE & KÄPPEL 2000). Proteine wie Weizenkleber sind aber auch potenzielle Allergene. Zahlreiche Amino-

<sup>23</sup> Vgl.: [www.awt-feedadditives.de/fileadmin/awt/pdf/Statement-PA-mitKopf.pdf](http://www.awt-feedadditives.de/fileadmin/awt/pdf/Statement-PA-mitKopf.pdf).

säuren haben auf Pflanzen einen positiven als auch negativen Einfluss hinsichtlich Abwehrreaktionen. Hier variieren die Angaben zu einzelnen Pflanzen und entsprechenden Aminosäuren, so dass keine verallgemeinernden Aussagen möglich sind (z. Ü. vgl.: FRANCK & KELLER 1995).

Pflanzen können als Produktionssystem für neuartige Stoffe fungieren. Eine Möglichkeit stellt die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen dar. So kann Cyanophycin, ein biologisch abbaubares Polymer, durch Einführung eines Gens aus dem Cyanobakterium *Thermosynechococcus elongatus* z. B. in Stärkekartoffeln, die nicht als Speisekartoffeln geeignet sind, produziert werden. Cyanophycin ist ein Copolymer, das durch die Cyanophycin-Synthetase aus L-Aspartat und L-Arginin im Verhältnis 1:1 gebildet wird. Cyanophycin dient in Bakterien als Speichersubstanz für Kohlenstoff, Stickstoff und Energie. Transgene Pflanzen können bisher bis zu 5 % der Trockenmasse an Cyanophycin produzieren (NEUMANN ET AL. 2005, HÜHNS ET AL. 2007). Diese Pflanzen unterscheiden sich phänotypisch nicht von den Ausgangslinien, eine erhöhte Stressanfälligkeit ist aber nicht auszuschließen. In Freisetzungsversuchen wurde keine Steigerung der Fitness festgestellt, so dass das Auswilderungspotenzial der Kartoffeln als ebenso niedrig wie das konventioneller Kartoffeln eingeschätzt werden kann (Hühns persönliche Mitteilung November 2007). Ob die durch die Cyanophycinproduktion zu erwartende Veränderung im Kohlenhydrathaushalt sich auf das Überdauerungspotenzial oder die Pathogenreaktion auswirkt, ist noch zu überprüfen. Vorteilhaft ist hier die Nutzung des als besonders sicher einzustufenden Produktionssystems *Kartoffel* (siehe oben). Sollte Cyanophycin in anderen Pflanzen produziert werden, wäre ebenfalls keine besonders gesteigerte Fitness bei Auskreuzungen in die Wildpflanzenpopulationen zu erwarten.

### **Neue Eigenschaften zur besseren Energieausbeute und vereinfachten Verarbeitung**

Eine weitere Herausforderung stellt die ökonomisch und ökologisch verbesserte stoffliche und energetische Verwertung von Nutzpflanzen dar.

#### **➤ Verbesserte Energieeffizienz**

Zur Erhöhung der Energieeffizienz von nachwachsenden Rohstoffen, die zur Energieerzeugung in Biogasanlagen oder zur Verbrennung genutzt werden sollen, sind unterschiedliche Strategien möglich. Zum einen sind hohe Ganzpflanzenerträge von Interesse, zum anderen kann der Ligninanteil in der Pflanze erhöht werden. Ob dies möglicherweise zu einer Erhöhung der Standfestigkeit und der Pathogenresistenz der Pflanzen führt, da beides von Lignin beeinflusst wird, bleibt zurzeit zu erforschen. Für die Erhöhung der Ganzpflanzenerträge gibt es, zusätzlich zu den bereits genannten Möglichkeiten zur allgemeinen Ertragssteigerung, weitere interessante Ansätze, wie z. B. die Steigerung der Photosynthese. Die Steigerung der Photosynthese in Kulturpflanzen mit dem Ziel der Erhöhung der Biomasse könnte bei Auskreuzung ebenfalls zu einem vermehrten Wachstum führen. Da dies jedoch auch voraussetzt, dass ausreichend Nährstoffe zur Verfügung stehen, ist es fraglich, ob eine Auskreuzung in Wildpflanzen Vorteile mit sich bringt.

#### **➤ Niedrigere Ligningehalte zur Vereinfachung der Verarbeitung**

Holz ist ein wichtiger nachwachsender Rohstoff und steht als Schnitt- oder Industrieholz zur Verfügung. Falls die prognostizierte Bedarfssteigerung bei Holz von 1,7 % jährlich eintritt, entspricht dies einem Bedarfsanstieg in den nächsten 15 Jahren um 25 % auf etwa 2,5 Billionen m<sup>3</sup>. Sollen die Primärwälder zukünftig weitgehend geschont und gleichzeitig der steigende Bedarf gedeckt werden,

bedeutet dies eine große Herausforderung. Darüber hinaus wird seitens der Wissenschaft versucht, die geforderten Qualitätsansprüche (z. B. Reduktion von Lignin) zu erfüllen. Die Erniedrigung der Ligningehalte dient der effizienteren und umweltschonenderen Verwertung in der Papierindustrie. Da es mit herkömmlichen Züchtungsmethoden nur langsame Fortschritte gibt und nicht alle Zuchtziele erreicht werden können, bedient man sich zunehmend der Biotechnologie bzw. der Gentechnik. Durch Reduktion des Ligningehalts wird die Zelluloseproduktion erhöht, was wiederum zu gesteigertem Wachstum und höheren Erträgen führt (z. Ü. vgl.: FLADUNG & HÖNICKA 2006, BAUCHER 1998, PICKARDT & DE KATHEN 2002, HU ET AL. 1999, BIOSICHERHEIT.DE). Ein Auskreuzen des Merkmals „erniedrigter Ligningehalt“ könnte bei den transgenen Pflanzen zu einem vermehrten Wachstum führen, wodurch diese den anderen Pflanzen im Ökosystem möglicherweise überlegen sind.

## Fazit

Voraussetzung für ein erfolgreiches Auskreuzungsereignis sind potenzielle Kreuzungspartner, zeitgleiches Blühen, lange Lebensfähigkeit des übertragenen Pollens und räumliche Nähe bzw. ein geeignetes Transportmedium (z. B. Wind und Insekten). Zur Vermeidung von Auskreuzung von Transgenen in nicht-transgene kreuzungskompatible Kulturpflanzen müssen Regeln der guten fachlichen Praxis, insbesondere Abstände zu Nachbarschlägen, eingehalten werden. Eine Auskreuzung in verwandte Wildarten lässt sich, insbesondere bei fremdbefruchtenden gv-Pflanzen mit nahverwandten Wildarten und hoher Pollenschüttung (z. B. Raps) nicht vermeiden. Die Koexistenzfähigkeit von Raps wird aufgrund des Auskreuzungspotenzials und insbesondere des hohen Überdauerungspotenzials im Boden kritisch bewertet. Durch züchterische Erhöhung der Schotenfestigkeit und Reduzierung der sekundären Dormanz könnte die Koexistenzfähigkeit von Raps aber wesentlich verbessert werden. Die mehrjährigen Gehölze sind kritisch zu bewerten, weil sie sich auf lange Sicht in der Umwelt etablieren können. Für Pappel wird die männliche Sterilität zur Vermeidung von Auskreuzungen („Confinement“) diskutiert und erforscht. Sobald funktionierende Systeme vorliegen, wäre auch die Pappel als unkritisch zu bewerten. Alle anderen aufgeführten Kulturen sind hinsichtlich ihrer Biologie und Kultureigenschaften als nicht bedenklich einzustufen und kommen somit für eine weitere ökonomische Bewertung in Betracht.

Zusätzlich zu Biologie und Kultureigenschaften wurden auch die neuen Eigenschaften näher betrachtet. Generell gilt diese Betrachtung nur für bisher nicht zugelassen Pflanzen, da hier die Untersuchung der biologischen Sicherheit noch nicht abgeschlossen ist.

Für die hier genannten neuartigen Eigenschaften können sich nur in der Kombination mit einer auswilderungs- und überdauerungsfähigen Kulturart Risikopotenziale ergeben. Eine Wirkung auf Nicht-Zielorganismen oder Stoffflüsse im Boden der Ackerfläche ist entweder nicht zu erwarten oder muss in der Begleitforschung abgeklärt werden. Die Veränderung der Erhöhung der Anteile pflanzeneigener Inhaltsstoffe (z. B. Aminosäuren, Glucanase oder Fettsäuren) sollte in der Regel nicht zu einer Verbesserung des Ausbreitungs- und Überdauerungspotenzials beitragen, da sie evolutionär in den Wildformen zu diesem Zweck optimiert wurden und die Modifikationen in den Kultursorten zu Gunsten des Verbrauchers, aber auf Kosten der eigenständigen Überlebensfähigkeit der Art erfolgten. Änderungen im Kohlenhydrathaushalt könnten hingegen zu veränderten Pathogensensitivitäten und Überdauerungsmöglichkeiten führen, was in der biologischen Begleitforschung zu analysieren ist. Hier lassen sich aber in wenigen Jahren gesicherte Erkenntnisse erzielen. Änderungen der agronomischen Eigenschaften können zum einen auf der agronomisch genutzten Fläche Vorteile bieten (z. B. Herbizidresistenz), sie können aber auch in Saumbiotopen zu Vorteilen führen (z. B. durch Insekten- oder Pilzresistenz). Allerdings sind diese Vorteile immer in Kombination mit dem Verwildерungspotenzial der Kulturpflanze zu betrachten. Nach bisherigen Erkenntnissen ist nicht zu erwarten, dass die Verbesserung einzelner Eigenschaften eine Überdauerung von Kulturpflanzen ohne Unterstützung

des Menschen ermöglicht. Kritisch ist in diesem Zusammenhang lediglich die Eigenschaft „Kältetoleranz“ zu werten, wobei ausschließlich einjährige Wärme liebende Gräser profitieren würden, ohne jedoch hierdurch eine Mehrjährigkeit erreichen zu können. Zu bedenken bleiben Konsequenzen für die agronomisch genutzte Fläche. Eine Ausbreitung von Herbizidresistenzen durch Adaptation oder Gentransfer könnte zur Reduktion der verfügbaren Herbizide führen. Daher ist ein Herbizidmanagement erforderlich, das eine möglichst langfristige Nutzung gewährleistet. Ähnliches gilt für den Einsatz von insekten- und pilztoleranten Pflanzen, um die – wie auch für jede konventionell erzeugte Resistenz der Pflanzen – zu erwartende Anpassung der Pathogene möglichst zu verzögern.



---

### 3 Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der als biologisch sicher eingestuften Pflanzen anhand innovativer Fallbeispiele zur Auswahl der Pflanzen mit hoher Rentabilität

Von den Landwirten wurden bei der Befragung u. a. der Maiszünslerbefall und die Fusarioseproblematik bei Weizen als pflanzenbauliche Herausforderungen genannt. Darüber hinaus wurde geäußert, dass viele Betriebe über Niedermoorstandorte verfügen, die überwiegend als Grünland genutzt werden und die Umstrukturierung der Beihilfen zu Einkommensunsicherheiten führte.

Da keine detaillierte ökonomische Betrachtung aller unter Kapitel 2 als sicher eingestuften Pflanzen erfolgen kann, wurden fünf neuartige Pflanzen beispielhaft ausgewählt, die gegebenenfalls in der Lage sind, die oben genannten Herausforderungen zu lösen. Die ausgewählten Pflanzen sind in bestehende Fruchtfolgen integrierbar bzw. können auf derzeit zum Teil nicht optimal nutzbaren Flächen (z. B. Niedermoorstandorte) angebaut werden. Es wurden folgende neuartige Pflanzen ausgewählt:

- *Kostensparnis*: reduzierter Pflanzenschutzmittelaufwand
  - Maiszünsler-resistenter Mais
  - Fusarium-resistenter Weizen
- *Zusatznutzen*: Mehrerlös von gleicher Fläche
  - Cyanophycin-Kartoffel
- *Neuartigkeit*: fehlende regionale Anbauerfahrung
  - Schnellwachsende Gehölze im Kurzumtrieb
  - Zuckerhirse

Ob und in welchem Umfang diese neuartigen Pflanzen den Landwirten der Region in 20 Jahren einen finanziellen Nutzen bringen, wird anhand des kalkulatorischen Gewinnbeitrags<sup>24</sup> untersucht. Dazu wird zuerst ermittelt, welchen Gewinnbeitrag (ohne Beihilfen) die zu ersetzenden schwachen Kulturen – *heute* (gemittelte Naturalerträge aus der Region von 2005) bzw. *in 20 Jahren* (2025) – den Landwirten einbringen. Anschließend erfolgt die Ermittlung der kalkulatorischen Gewinnbeiträge bzw. möglichen Gewinne, welche die oben aufgeführten neuartigen Pflanzen in 20 Jahren (ohne Beihilfen) erzielen würden. Dabei wird unterstellt, dass es sich bei den neuartigen Pflanzen um Kultursorten handelt, die an die gegebenen Standortbedingungen angepasst sind. Abschließend wird durch einen Vergleich ermittelt, ob die neuartigen Pflanzen den Landwirten einen ökonomischen Vorteil, im Vergleich zu den sonst angebauten Kulturen, bieten. In Anbetracht der Tatsache, dass sich die Preisentwicklung innerhalb der nächsten 20 Jahre nur schwer vorhersagen lässt, werden bei der Berechnung die Angaben aus der Datensammlung bzw. des dazugehörigen PC-Programms (Stand 2005) oder Daten anderer Quellen (jeweils mit Jahresangabe) verwendet.

---

<sup>24</sup> PC-Programm vom Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurerneuerung des Landes Brandenburg (LVLf) i. V. m. der dazugehörigen Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg (HANFF ET AL. 2005).

### 3.1 *Kostensparnis*: reduzierter Pflanzenschutzmittelaufwand

Pflanzenschutzmittel sind - wie Saatgut und Düngemittel - Produktionsmittel der landwirtschaftlichen Primärproduktion. Unter Pflanzenschutzmitteln im engeren Sinne werden alle chemischen Substanzen verstanden, die in der Lage sind Pflanzen vor Krankheiten, Schädlingen und Unkrautkonkurrenz bzw. Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen zu schützen (z. Ü. vgl.: HENZE 2002). Kosten für Pflanzenschutzmittel zählen – wie Saatgut und Dünger – zu den so genannten Direktkosten, die je nach Kulturart, über 30 % der Gesamtkosten in Ackerbaubetrieben ausmachen (DEECKE & KRECECK 2002) wobei nahezu 10 % der Direktkosten auf Dünge- und Pflanzenschutzmittel entfallen (KIRSCHKE ET AL. 2005).

Mit Fungiziden wurden in Deutschland im Jahr 2006 etwa 448 Millionen Euro (Rückgang um 0,9 % im Vergleich zu 2005) und mit Insektiziden 86 Millionen Euro (Rückgang um 18,9 % im Vergleich zu 2005) umgesetzt (IVA 2006/07)<sup>25</sup>. Diese Zahlen verdeutlichen, dass Pflanzenschutzmittelkosten für Landwirte eine wichtige Größe bei den Produktionskosten darstellen, die je nach Kulturart, Sorte, Standort, Klima und Anbauregime stark schwanken.

Resistente bzw. tolerante Sorten sind eine Chance weitere Insektizid- und Fungizidmengen, und damit Kosten, einzusparen und gleichzeitig Erträge zu sichern bzw. zu erhöhen. Falls sich die Zusammensetzung der Schaderregerpopulationen infolge des Klimawandels ändern werden, sind Pflanzen mit Toleranzen oder Resistenzen gegen Schaderreger nicht nur geeignet den Gewinnbeitrag zu erhöhen, sondern zwingend notwendig um die Erträge zu sichern.

#### **Insektenresistente Pflanzen am Beispiel Bt-Mais**

Der Anbau von Insekten-resistenten Sorten dient der Vorbeugung von Ertragseinbußen, der Einsparung von Pflanzenschutzmitteln, Schonung der Umwelt (z. B. Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen) und Ressourcen (z. B. Einsparung von Wasser) durch den Wegfall von Applikationen und letztendlich der Vermeidung von Sekundärinfektionen infolge Insektenfraß. Sind für einzelne tierische Schaderreger keine geeigneten Insektizide vorhanden oder die verfügbaren Mittel dürfen nur einmalig in einem vorgegebenen Zeitraum angewandt werden, so sind diese schwer bekämpfbar. Zur Kontrolle solcher Insekten sind derzeit Pflanzen verfügbar, die auf gentechnischem Wege erzeugt wurden. Diese Bt-Kulturen gibt es, mit spezifischen cry-Toxinen, vor allem für Mais gegen Maiszünsler (Cry1Ab) und Maiswurzelbohrer (Cry3Bb1) und Kartoffel gegen den Kartoffelkäfer (Cry3A) (z. Ü. vgl.: GEHRING 2004). Die in der Pflanze gebildeten Cry-Toxine sind ungiftige Protoxine, die durch Fraß in den Darm von spezifischen Schadinsekten gelangen. Dort werden sie in das wirksame Toxin umgewandelt, binden an spezielle Rezeptoren und zerstören so die Darmwand.

#### ➤ **Wirtschaftlichkeit von Bt-Mais mit Resistenz gegen Maiszünsler**

Untersuchungen in Spanien ergaben, dass resistente Maissorten bei starkem Maiszünslerbefall im Vergleich zu konventionellen Sorten 3 bis 12 % höhere Erträge liefern (BROOKES 2002). Beim Bundessortenamt sind 5 Zünsler-resistente Mais-Sorten zugelassen.<sup>26</sup> Zudem gibt es, neben konventionellen Züchtungsmethoden und biologischer Bekämpfung, die Möglichkeit einer chemischen Bekämpfung des Maiszünslers. Derzeit ist, bis Ende 2016, das Insektizid STEWARD® für eine einmalige Anwendung zugelassen (BVL.BUND.DE). Die Behandlungskosten für Mittel und Ausbringung belaufen

<sup>25</sup> Angaben der Mitglieder des Industrieverband Agrar e. V.

<sup>26</sup> Vgl.: [www.bundessortenamt.de](http://www.bundessortenamt.de) (Stand 2007)

sich auf circa 40 Euro je Hektar<sup>27</sup>. Durch die Behandlung wird eine 80%ige Bekämpfung erreicht und es können Ertragsverluste von bis zu 70 % vermieden werden. Es kommt zu Deckungsbeitragszuwächsen zwischen 18 und 55 Euro je Hektar. Hingegen erfolgt durch den Anbau von Bt-Mais eine nahezu 100%ige Kontrolle, es entstehen jedoch Saatgutmehrkosten von derzeit 35 Euro je Hektar und es sind Deckungsbeitragszuwächse von bis zu 93 Euro je Hektar zu erwarten (DEGENHARDT ET AL. 2003).

Auch der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*), der zu den bedeutendsten Schadinsekten weltweit gehört und im Juli 2007<sup>28</sup> erstmalig in Baden-Württemberg gefunden wurde, stellt eine neue Herausforderung dar. Er befällt weltweit jährlich circa 20 Millionen Hektar. Davon entfallen allein etwa 13,5 Millionen Hektar auf die USA, wobei Schäden und Insektizide dort jährliche Kosten von 1 Milliarden US Dollar verursachen. Aufgrund der großflächigen Bekämpfung<sup>29</sup> in den USA ist der Westliche Maiswurzelbohrer der Schädling mit den meisten Insektizidanwendungen weltweit (BAUFELD 2007). Bei Auftreten eines Befalls in Deutschland wäre eine Bekämpfung u. a. mit systemisch wirkenden Saatgutbehandlungsmitteln<sup>30</sup> oder einem Insektizid<sup>31</sup> möglich.<sup>32</sup> Von den 1,7 Millionen Hektar Maisflächen in Deutschland zählen etwa 350.000 Hektar zu Risikogebieten. Bei Einschleppung kann – bei Annahme von 10 % Schaden – von Verlusten in Höhe von 25 Millionen Euro ausgegangen werden (BAUFELD 2007) was Kosten von 70 Euro je Hektar bedeuten würde. Zur Vermeidung von Pflanzenschutzmittelkosten und Ertragsverlusten müsste in der Fruchtfolge auf Mais nach Mais verzichtet werden. Neuesten Erkenntnissen zufolge ist der Maiswurzelbohrer allerdings in der Lage, auch auf anderen Wirten zu überleben, so dass Einschränkungen beim Maisanbau nicht ausreichen, um den Befallsdruck niedrig zu halten (BIOSICHERHEIT.DE). Durch den Anbau von Bt-Mais (Cry3Bb1) ist kein Anbauverzicht von Mais nötig, der Insektizideinsatz kann entfallen und die Ertragsverluste können gering gehalten werden.

#### ➤ **Wirtschaftlichkeit von Bt-Mais mit Resistenz gegen Maiswurzelbohrer**

Welche Saatgutmehrkosten beim Anbau von Bt-Mais (Cry3Bb1) entstehen ist derzeit unklar. Es ist zu vermuten, dass sie sich, wie beim Zünsler-resistenten Mais, auf circa 35 Euro je Hektar belaufen werden. Welche Deckungsbeitragszuwächse beim Anbau von Maiswurzelbohrer-resistentem Mais, zu erwarten sind, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Sicher ist, dass die Kosten für die Saatgutbehandlung bzw. Bekämpfung der adulten Käfer durch Insektizide entfallen, dass Ertragsausfälle verringert und Mehrkosten,<sup>33</sup> die durch den Status des Maiswurzelbohrers als Quarantäneschädling entstehen, vermieden werden.

<sup>27</sup> Vgl.: [www.tll.de/ainfo/pdf/mair0605.pdf](http://www.tll.de/ainfo/pdf/mair0605.pdf), 242,75 Euro je Kilogramm bei einer Aufwandmenge von 0,125 Gramm je Hektar im 300 Litern Wasser

<sup>28</sup> Es wird vermutet, dass die Einschleppung bereits zwei oder drei Jahre zuvor stattgefunden hat.

<sup>29</sup> Circa 5,2 Millionen Hektar

<sup>30</sup> Z. B. CRUISER<sup>®</sup> und Poncho<sup>®</sup>

<sup>31</sup> Z. B. Biscaya<sup>®</sup>

<sup>32</sup> Vgl.: [www.psm.zadi.de](http://www.psm.zadi.de)

<sup>33</sup> Dieser Status erfordert spezielle Sicherheitsvorkehrungen und Einschränkungen beim Anbau von Mais nach Mais, so dass bei Befall mit Mehrarbeit und entsprechenden Mehrkosten zu rechnen sein wird.

### ➤ Wirtschaftlichkeitsanalyse von Bt-Mais für die Region

Silomais kann „stehend ab Feld“, d. h. ohne Vorleistungen,<sup>34</sup> für 25 Euro je Tonne verkauft werden. Die Höhe des Preises ist vor allem durch die starke Nachfrage von Biogasanlagen verursacht. Momentan erzielen die Landwirte der Untersuchungsregion bei Silomais durchschnittliche Naturalerträge von circa 370 Dezitonnen je Hektar. Dies entspricht, bei einem Marktpreis von 25 Euro je Tonne, einem Gewinnbeitrag von -266 Euro je Hektar. Sollten sich die derzeitigen Trends hinsichtlich Ertragssteigerungen bewahrheiten ist davon auszugehen, dass bei jährlichen Ertragssteigerungen von 1,5 % in 20 Jahren Naturalerträge beim Silomais von etwa 500 Dezitonnen je Hektar in der Region zu erwarten sind, so dass sich – bei einem angenommenen Marktpreis von 30 Euro je Tonne<sup>35</sup> – ein kalkulatorischer Gewinnbeitrag von 68 Euro je Hektar ergibt. Derzeit ist (Stand 2007) in der Region von einem „Marktpreis“ beim Silomais von etwa 25 Euro je Tonne<sup>36</sup> auszugehen.

Der prognostizierte Naturalertrag von 500 Dezitonnen je Hektar in 20 Jahren lässt sich nur realisieren, wenn keine Ertragseinbußen durch Maiszünsler- oder Maiswurzelbohrerbefall zu erwarten sind. Durch den Anbau von Bt-Mais ist bei Befallsdruck eine nahezu 100%ige Kontrolle gegeben, wobei von Saatgutmehrkosten von 35 Euro je Hektar auszugehen ist, denen jedoch Deckungsbeitragszuwächse von bis zu 93 Euro je Hektar gegenüberstehen, so dass mit Deckungsbeitragszuwächsen von circa 58 Euro je Hektar zu rechnen sein wird. Somit ergibt sich für die Erzeugung von 500 Dezitonnen Bt-Mais je Hektar ein Gewinnbeitrag von etwa 125 Euro je Hektar.

Durch den Verkauf stehend ab Feld ergibt sich bei Silomais ein Einsparpotenzial von mindestens 435 Euro je Hektar (bei 370 Dezitonnen je Hektar) bzw. 564 Euro je Hektar (bei 500 Dezitonnen je Hektar). Somit konnten Landwirte in der Untersuchungsregion, die 2005 Silomais stehend ab Feld verkauften, bei einem kalkulatorischen Gewinnbeitrag von -266 Euro je Hektar Gewinne von 169 Euro je Hektar erzielen. Bei anhaltendem Befallsdruck könnten in der Region mit Bt-Mais im Jahr 2025 zirka 500 Dezitonnen je Hektar<sup>37</sup> erzielt werden und – bei einem Marktpreis von 30 Euro je Tonne – mindestens 689 Euro je Hektar erwirtschaftet werden.

### Pilzresistente Pflanzen am Beispiel Ährenfusariosen-resistenter Weizen

Der Einsatz von Fungiziden in Getreide hängt von zahlreichen Faktoren ab, die im Einzelnen in Abbildung 11 dargestellt sind. Weizen wird von einer Reihe pathogener Pilze befallen, die u. a. zu Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis*), DTR-Blattdürre (*Drechslera tritici repentis*) und Ährenfusariosen (*Fusarium culmorum* und *F. graminearum*) führen. In den letzten Jahren hat insbesondere die Problematik der Ährenfusariosen stark zugenommen und stellt ein weltweites Problem dar. Die erfolgversprechendste Strategie zur Kontrolle der Ährenfusariosen ist die Züchtung und der Anbau von resistenten Weizensorten (HÄBERLE ET AL. 2006). In der Beschreibenden Sortenliste sind Weizensorten mit Ährenfusariosen-Noten zwischen 2 (sehr gering bis gering anfällig) bis 7 (stark anfällig) zu finden (BUNDESSORTENAMT.DE). Empfehlungen zur Pilzbekämpfung sehen u. a. vor, widerstandsfähige Sorten mit Noten von mindestens 5 oder besser zu verwenden und in Jahren mit starkem Fusarienbefall eine Spritzung zwischen dem Ähren- bzw. Rispschieben bzw. bis zum Beginn der Blüte (Entwicklungsstadium BBCH 55-61) durchzuführen. Grundsätzlich werden bei Wei-

<sup>34</sup> Ernte, Häckseln, Transport, Anlegen des Silos etc.

<sup>35</sup> Marktpreise bis zu 30 Euro je Tonne sind in Teilen Deutschland bereits heute zu erzielen (persönliche Mitteilung U. Keymer, LfL Oktober 2007).

<sup>36</sup> Persönliche Mitteilungen von unterschiedlichen Praktikern aus der Region

<sup>37</sup> Hierbei wird unterstellt, dass beim Silomais durch verbesserte Trockentoleranz keine Ertragseinbußen eintreten.

zen drei Fungizidbehandlungen empfohlen, wobei die dritte Behandlung der Bekämpfung von Fusariosen dient, so dass bei Fusarien-resistentem Weizen die dritte Behandlung entfällt. Die Doppelbehandlung allein kann zu Mehrerträgen von circa 15 Dezitonnen je Hektar, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, führen (GOLTERMANN 2006)

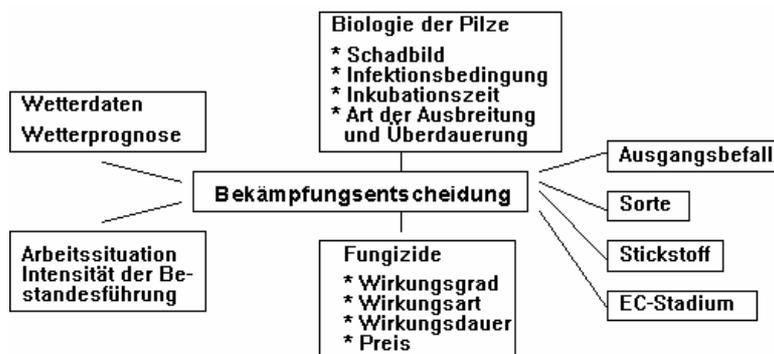


Abbildung 11: Faktoren die über einen Einsatz von Fungiziden in Getreide entscheiden

(Quelle: [www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/getreide/getreidepilzkrankheiten.htm](http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/getreide/getreidepilzkrankheiten.htm)).

### ➤ Wirtschaftlichkeitsanalyse von Fusarium-resistentem Weizen für die Region

2005 wurden von den Landwirten in der Region im Durchschnitt etwa 63 Dezitonnen je Hektar Winterweizen geerntet. Dies entspricht einem kalkulatorischen Gewinnbeitrag von -79 Euro je Hektar. Sollte die Tendenz bei den Ertragssteigerungen von jährlich 1 % anhalten, würden in 20 Jahren Naturalerträge von 77 Dezitonnen je Hektar einen kalkulatorischen Gewinnbeitrag von 19 Euro je Hektar ergeben. Der prognostizierte Naturalertrag ist jedoch nur möglich, wenn es nicht aufgrund von Pathogenbefall, insbesondere durch Fusariosen, zu Ertragsausfällen kommt. Momentan gibt es auf dem Markt keinen Fusarien-resistenten Weizen, weder gentechnisch veränderten noch durch konventionelle Züchtung erzeugten, so dass keine Daten zu Mehrerträgen oder Einsparpotenzialen vorliegen. Wenn man davon ausgeht, dass es innerhalb der nächsten 20 Jahre Fusarien-resistenten Weizen auf dem Markt gibt, so kann die Fusariumbekämpfung entfallen, wodurch es zur Einsparung der Ausbringungs- sowie der Fungizidkosten kommt. Dabei können für die Ausbringungskosten circa 7,20 Euro je Hektar<sup>38</sup> und bei den Fungizidkosten circa 55,80 Euro je Hektar<sup>39</sup> angesetzt werden.

Sollten sich durch die Fusarienresistenz, zusätzlich zum Einsparpotenzial bei den Fungiziden, höhere Naturalerträge von 15 Dezitonnen je Hektar ergeben (GOLTERMANN 2007), wären bei den im Jahr 2007 gestiegenen Weizenpreisen um mindestens 150 Euro je Hektar höhere Gewinnbeiträge zu erwarten. Somit wäre in 20 Jahren in der Region bei Fusarien-resistentem Weizen ein kalkulatorischer Gewinnbeitrag, bei bis dahin stabilen Preisen in Höhe von circa 215 Euro je Tonne (vgl. Abbildung 12) von mindestens 232 Euro je Hektar möglich.

<sup>38</sup> Ab Hof, fixe Kosten: 4,52 Euro + variable Kosten: 2,66 Euro Arbeitsbreite 24 Meter, Schlaggröße 20 Hektar (KTBL, 2006)

<sup>39</sup> Kosten z. B. für Input<sup>®</sup>\* je Liter circa 45 Euro (inkl. MWSt.) (persönliche Mitteilung Landhandel November 2007), Aufwandmenge 1,25 Liter je Hektar in 200 Litern Wasser (lt. Produktinformation Bayer CropScience). \* zusammen mit Proline<sup>®</sup> beste Fungizidvariante im Praxistest gegen Fusariosen (GOLTERMANN 2007).

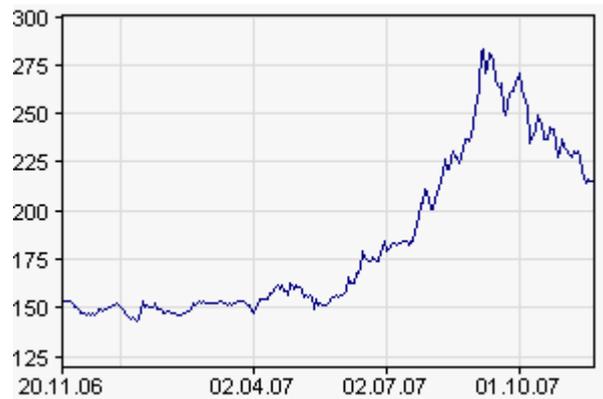


Abbildung 12: CHART – Weizenpreis in Euro je Tonne.

(Quelle: [www.finanzen.net.de](http://www.finanzen.net.de), Stand 19.11.2007).

Hinzu kommt, dass die Mykotoxin-Höchstmengenverordnung (MHmV) die Einhaltung von Grenzwerten bei Getreidekörnern und verarbeiteten Getreideerzeugnissen<sup>40</sup> erfordert, so dass der Einsatz von Fungiziden besonders beim Verkauf der Ernteerzeugnisse an die Futtermittel- und Lebensmittelindustrie von Bedeutung ist.

### 3.2 Zusatznutzen: Mehrerlös von gleicher Fläche

Aufgrund der sich wandelnden klimatischen Bedingungen ist es von Vorteil, wenn durch wertgebende Inhaltsstoffe – wie beispielsweise Spinnenseide oder biologisch abbaubare Kunststoffe – höhere Marktleistungen zu erzielen sind. Zudem zwingt die Endlichkeit von fossilen Rohstoffen nach ökonomisch und ökologisch sinnvollen Alternativen zu suchen. Im Folgenden wird daher die Wirtschaftlichkeit der Produktion von Cyanophycin in Stärkekartoffeln näher betrachtet.

#### Produktion von Cyanophycin in Stärkekartoffeln

Cyanophycin besteht aus einer Polyaspartat-Kette mit Arginin-Resten und kann als Ersatz für chemisch synthetisiertes, biologisch abbaubares Polyaspartat dienen, welches wiederum die petrochemisch gewonnenen Polycarboxylate ersetzen kann. Polycarboxylate, und hier speziell die biologisch schwer abbaubaren Polyacrylate, finden breite Anwendung unter anderem als Zementverflüssiger in der Bauindustrie, als Belagsverhinderer in der Wasserbehandlung oder als Ersatzstoff für Phosphat in der Waschmittelindustrie.

Der weltweite Bedarf an Polycarboxylaten beträgt circa 265.000 Tonnen pro Jahr (z. Ü. vgl.: EISSEN ET AL. 2002). Die chemische Synthese von Polyaspartat (Polyasparaginsäure) erfolgt momentan durch circa 3 – 4 Hersteller weltweit, wobei LANXESS (Leverkusen), mit einer Kapazität von 12.500 Tonnen pro Jahr<sup>41</sup> zu den führenden Anbietern zählt. Von dem weltweit geschätzten potenziellen Anwendungsbedarf von Polycarboxylaten entfällt derzeit auf Polyaspartat ein Anteil von höchstens 10 %, also circa 26.500 Tonnen pro Jahr (persönliche Mitteilung R.-J. Moritz, LANXESS 29.11.2007).

<sup>40</sup> Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 98/53/EG; [www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/mhmv/gesamt.pdf](http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/mhmv/gesamt.pdf).

<sup>41</sup> Vgl.: [www.leverkusen.com/news/tag/001208/Bayer03.html](http://www.leverkusen.com/news/tag/001208/Bayer03.html).

Durch Transformation der Kartoffel wurde erreicht, dass die Knollen dieser gv-Kartoffel das Biopolymer Cyanophycin synthetisieren, das als zusätzlicher Wertstoff zur Stärke dienen soll. Mittels Hydrolyse lässt sich die Polyaspartat-Kette isolieren, wodurch eine Produktion auf Basis nachwachsender Rohstoffe möglich wird und damit nahezu unabhängig von Erdölpreissteigerungen ist (BERG 2003, NEUMANN ET AL. 2005, SCHWAMBORN 1996). Bei der Hydrolyse von Cyanophycin fällt neben Polyaspartat auch Arginin an, das u. a. als Futtermittelzusatz zur Leistungssteigerung eingesetzt wird. Bei einer Reinheit von mindestens 98,5 % sind in Katalogen von Laborbedarfsanbietern oder im Internet aktuell (2007) für L-Arginin Marktpreise zwischen 89,35<sup>42</sup> und 399<sup>43</sup> Euro je Kilogramm aufgeführt. Da bereits bei der Ermittlung der kalkulatorischen Gewinnbeiträge der anderen Kulturen keine Preisprognosen für 2025 erstellt wurden, wird auch hier davon ausgegangen, dass die Preise in den nächsten Jahren stabil bleiben. Daher wird vom niedrigsten zu ermittelnden Marktpreis von 89,35 Euro je Kilogramm für L-Arginin ausgegangen.

### ➤ Wirtschaftlichkeitsanalyse von Cyanophycin-Kartoffeln für die Region

Etwa 30 % des Kartoffelanbaus in Deutschland dient zur Erzeugung von Stärke und Alkohol (STATISTISCHES JAHRBUCH 2006) und auch in Brandenburg wurden 2006 auf 6.946 Hektar Stärkekartoffeln angebaut. Davon wurden etwa Dreiviertel der Ernte zur Stärkeproduktion in den Stärkefabriken des Landes verwendet (Agrarbericht BB 2007). In Mecklenburg-Vorpommern wurden 2006 auf circa 17.300 Hektar „Industriekartoffeln“<sup>44</sup> angebaut, wobei nicht eindeutig differenziert werden kann, auf welchem Teil dieser Flächen Stärkekartoffeln angebaut wurden.

Obwohl die Umfrage bei den Landwirten ergab, dass in keinem der befragten Betriebe Stärkekartoffeln angebaut werden und die produzierten Speisekartoffeln ausschließlich zur Deckung des Eigenbedarfs dienen, wäre der Anbau von Stärkekartoffeln in der Region, bei Vorhandensein entsprechender Stärkekontingente, grundsätzlich möglich. Die Isolierung von Cyanophycin in der Stärkefabrik könnte – nach Gewinnung der Stärke – aus der Kartoffelpülpe erfolgen, die danach noch als Tierfutter verwertbar ist.

Da Naturalerträge von Stärkekartoffeln für die Landkreise Uecker-Randow, Uckermark und Barnim nicht ermittelt werden konnten, wurde für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Naturalertrag aus der Datenbasis der LVL übernommen (HANFF ET AL. 2005). Demnach sind in Landbaugebiet III (entspricht Ackerzahl 29 – 35) Naturalerträge von 300 Dezitonnen je Hektar und somit ein kalkulatorischer Gewinnbeitrag von 98 Euro je Hektar möglich. Unter der Annahme, dass es innerhalb der nächsten 20 Jahren zu Ertragssteigerungen um jährlich 0,5 % kommt, wären im Jahr 2025 Naturalerträge von etwa 330 Dezitonnen je Hektar möglich, die einem kalkulatorischen Gewinnbeitrag von 237 Euro je Hektar entsprechen.

Unter der Annahme, dass Polyacrylate – je nach Verwendungszweck – einen Marktpreis zwischen 2,50 Euro je Kilogramm (z. B. für Anwendung in Waschmitteln) und 3,50 Euro je Kilogramm erzielen (persönliche Mitteilung R.-J. Moritz, LANXESS 29.11.2007), ist analog für Polyaspartat ein Marktpreis von maximal 3,50 Euro je Kilogramm anzusetzen. Für das „Nebenprodukt“ Arginin, ist bei entsprechender Nachfrage ein Marktpreis von circa 89 Euro je Kilogramm<sup>45</sup> denkbar. Bei einem Cya-

<sup>42</sup> > 98,5 % (Duchefa Catalogue, 2006-2008).

<sup>43</sup> Vgl.: [www.hecht-pharma.de/products/cms,nolist,1,id,1203,nodeid,52,\\_language,de.html](http://www.hecht-pharma.de/products/cms,nolist,1,id,1203,nodeid,52,_language,de.html).

<sup>44</sup> Vgl.: [www.statistik-mv.de](http://www.statistik-mv.de).

<sup>45</sup> > 98,5 % (Duchefa Catalogue, 2006-2008).

nophycin-Anteil von 5 % in der Trockenmasse der Kartoffelknollen können etwa 6,25 kg je Tonne Frischmasse Polyaspartat und Arginin hergestellt werden. Mit diesem Gehalt würden die Verarbeiter circa 22 Euro je Tonne Trockenmasse für Polyaspartat und etwa 556 Euro je Tonne Trockenmasse für Arginin erwirtschaften. Davon abzuziehen sind die Kosten für Isolierung und Aufarbeitung von circa 100 Euro bzw. 200 Euro je Tonne, die zu Lasten der Verarbeiter gehen. Ausgehend von den oben genannten Naturalerträgen von 300 Dezitonnen je Hektar bzw. 330 Dezitonnen je Hektar, würden die Verarbeiter einen „Kalkulatorischen Gewinnbeitrag“ von 8.340 Euro je Hektar bzw. 2025 einen „Kalkulatorischen Gewinnbeitrag“ von 9.174 Euro je Hektar erwirtschaften. Hiervon abzuziehen sind noch Kapitalkosten für eine Isolierungsanlage, die jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht quantifizierbar sind. Zusätzlich zu berücksichtigen sind Einnahmen durch den Verkauf der Kartoffelpülpe, die nach der Isolation des Cyanophycins übrig bleibt. Die Landwirte könnten, wenn sie zu 10 % am Gewinn beteiligten würden, zusätzlich zu den oben genannten Gewinnbeiträgen von 98 Euro je Hektar bzw. 237 Euro je Hektar, Kalkulatorische Gewinnbeiträge von 834 Euro je Hektar (300 Dezitonnen je Hektar und 5 % Cyanophycin) oder 917 Euro je Hektar (330 Dezitonnen je Hektar und 5 % Cyanophycin) verbuchen. Abzuziehen hiervon sind die, noch nicht quantifizierbaren, Mehrkosten für das Pflanzgut. Allerdings ist bei diesen Gewinnbeitragsberechnungen zu beachten, dass für Polyaspartat bzw. Arginin unveränderte Preise unterstellt wurden. Sollte sich der Anbau von Cyanophycin-Kartoffeln und dessen Isolierung als technisch machbar und wirtschaftlich interessant herausstellen, dann ist nicht auszuschließen, dass in größerem Umfang neue Verarbeitungskapazitäten aufgebaut werden, die dann in der Folge auch zu sinkenden Preisen führen können. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass es nicht nur für Polyaspartat, sondern auch für das „wertvollere“ Arginin ein Absatzmarkt mit entsprechender Nachfrage vorhanden sein muss.

### 3.3 *Neuartigkeit*: fehlende regionale Anbauerfahrung

An dieser Stelle sollen Pflanzen betrachtet werden, die bisher ohne regionale Bedeutung und somit „neuartig“ für die Region sind. Da es einen wachsenden Bedarf an Energiepflanzen gibt, kommen hierfür insbesondere Pflanzen in Frage, die nachwachsende Rohstoffe liefern. Die Konkurrenz zwischen der Erzeugung von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen erfordert es, auch Flächen zu nutzen, die unter anderen Umständen stillgelegt wären, da sie weniger gute Erträge abwerfen. Zu solchen Flächen zählen in der Untersuchungsregion z. B. Niedermoorböden oder besonders ertragsarme Böden, die meist als Weiden genutzt werden oder stillgelegt sind. Alternative Nutzungsmöglichkeiten dieser Flächen sind beispielsweise der Anbau von schnellwachsenden Gehölzen im Kurzumtrieb oder Zuckerhirse.

#### **Wirtschaftlichkeit von schnellwachsenden Gehölzen im Kurzumtrieb**

Als Kurzumtriebplantagen werden Anpflanzungen von schnellwachsenden Gehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen für die Dauer von 20 bis 30 Jahren bezeichnet. Ziel ist die Erzeugung von Holzhackschnitzeln zur Erzeugung von Wärme. Die Umtriebszeiten (Wachstumszeit zwischen zwei Ernten) betragen zwischen 2 und maximal 10 Jahre und hängen u. a. von der angepflanzten Sorte, den Standortbedingungen und der Ertragserwartung ab. Für den Anbau in der Untersuchungsregion kommen hauptsächlich Pappeln (*Populus* spp.) oder Weiden (*Salix* spp.) in Betracht,<sup>46</sup> die den Vorteil haben, ohne Fungizid- und Insektizidbehandlung zufrieden stellende Erträge zu liefern. Lediglich zur Etablierung der Plantage ist die Ausbringung von Herbiziden erforderlich (RÖHRICHT & RUSCHER 2004). Folglich verspricht die Züchtung von herbizid- oder insektenresistenten Sorten kein nennens-

<sup>46</sup> Spezielle Informationen zu schnell wachsenden Baumarten z. B. in Mecklenburg-Vorpommern, zur Sortenwahl, Ertragserwartung, Pflegemaßnahmen, rechtlichen Grundlagen etc. vgl. BOELCKE 2006.

wertes Einsparpotenzial bei Pflanzenschutzmitteln. Grundsätzlich wäre jedoch vorstellbar, dass transgene Pappeln mit reduziertem Ligningehalt für die Papierindustrie eine verbesserte Nutzbarkeit des Zellstoffs und Einsparpotenziale (z. B. bei Wasser oder Energie) bringen. Allerdings beeinflussen die beim Herauslösen des Restlignins gebildeten reaktiven Lösungen die Zelluloseausbeute unvorhersehbar, so dass eine Quantifizierung der ökonomischen Vorteile der Ligninmodifikation zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich ist (persönliche Mitteilung R. Patt, Universität Hamburg August 2007). Zudem existiert für transgene Gehölze zurzeit noch kein erprobtes Confinement-System, das die Auskreuzung von Transgenen verhindert. Aus diesen Gründen werden hier ausschließlich konventionelle Pappeln bzw. Weiden betrachtet.

Die Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen hängt in erster Linie von der Etablierung des Bestandes, der Nutzungsdauer, vom Ertrag und der Marktentwicklung ab. Die höchsten Anteile – über 70 % – an den Gesamtkosten entstehen durch die Verfahrenskosten (Ernte-, Transport- und Lagerkosten). Einmalige Kosten zum Anlegen einer solchen Plantage müssen daher auf die gesamte Nutzungsdauer umgelegt werden. Die Anlagekosten für schnellwachsende Kurzumtriebsplantagen variieren je nach Literaturquelle und liegen bei circa 2.000 – 3.000 Euro je Hektar. Je nach geplanter Umtriebszeit werden je Hektar zwischen 16.000 und 22.000 Steckhölzer<sup>47</sup> gepflanzt, wobei pro Steckholz zwischen 0,08 und 0,16 bzw. bei Eigenwerbung zwischen 0,04 und 0,08 Euro angesetzt werden können (RÖHRICHT & RUSCHER 2004, BOELCKE 2006). Insbesondere Pappelhybriden haben sich bei Anbauversuchen in Mecklenburg-Vorpommern bewährt. Zu beachten ist jedoch, dass Pappeln dem Forstvermehrungsgutgesetz unterliegen und Steckhölzer nur aus zugelassenem Ausgangsmaterial gewonnen werden dürfen (BOELCKE 2006). Die Erträge von schnellwachsenden Baumarten schwanken stark, nehmen mit der Nutzungsdauer zu und können bis zu 20 Tonnen Trockenmasse je Hektar und Jahr betragen. Bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren und vierjährigem Umtrieb, einer Bestandesdichte von 11.000 Bäumen je Hektar, Eigenwerbung von Stecklingen und einem jährlichen Ertrag von 12 Tonnen Trockenmasse je Hektar ist bei schnellwachsenden Baumarten mit jährlichen Kosten von 948 Euro je Hektar (einschließlich 179 Euro je Hektar Flächenkosten<sup>48</sup> sowie 166 Euro je Hektar für voll mechanisierte Ernte sowie Transport) für die Plantage zu rechnen (RÖHRICHT & RUSCHER 2004).

#### ➤ **Wirtschaftlichkeitsanalyse von Kurzumtriebsplantagen für die Region**

Die Region verfügt über zahlreiche Niedermoorstandorte, die überwiegend als Grünland oder zum Anbau von Silomais oder Weizen genutzt werden. Je nach Zustand der Niedermoorböden sind bei Ackerkulturen gute Erträge möglich. Bei der Nutzung als Grünland sind hingegen für hohe Futterwerte häufige Nachsaaten erforderlich und eine intensive Nutzung somit wenig rentabel. Zunehmend lohnt sich auch die extensive Bewirtschaftung nur mit Beihilfen. (z. Ü. vgl.: RODE ET AL. 2005). Auch die mangelnde Befahrbarkeit macht die Nutzung von Niedermoorstandorten problematisch. Aufgrund der guten Wasserversorgung dieser Böden bietet sich alternativ der Anbau von Pappeln bzw. Weiden im Kurzumtrieb an, die jedoch keine Staunässe oder zeitweiligen Wassermangel vertragen (z. Ü. vgl.: HOFMANN 2007).

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Holzhackschnitzeln einer Kurzumtriebsplantage im Vergleich zur Konkurrenzfrucht muss für diese Alternativkultur ein Marktpreis ermittelbar sein. Da dies im Fall des Grünlandaufwuchses, wie bereits erwähnt, nicht möglich ist, wird die Bewertung anhand

<sup>47</sup> Wobei es je nach Umtriebszeit unterschiedliche Sortenempfehlungen gibt (BOELCKE 2006)

<sup>48</sup> Flächenkosten wurden analog bereits bei der Berechnung des kalkulatorischen Gewinnbeitrags der übrigen Kulturen berücksichtigt.

des Silomais zur Verwertung in der Biogasanlage durchgeführt (vgl. Angaben dort). Mit einem durchschnittlichen Naturalertrag von circa 12 Tonnen Trockenmasse je Hektar jährlich und Kosten in Höhe von 948 Euro je Hektar muss ein Marktpreis von mindestens 79 Euro je Tonne erzielt werden, um die Kosten zu decken. Um mit Mais in 20 Jahren konkurrieren zu können, müssten Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen einen Marktpreis von circa 85 Euro je Tonne haben (Gewinnbeitrag von konventionellem Mais 2025: 68 Euro je Hektar). Im Vergleich zu Weizen müssten Holz hackschnitzel in 20 Jahren einen Marktpreis von circa 81 Euro je Tonne Erlösen (Gewinnbeitrag bei konventionellem Weizen 2025: 19 Euro je Hektar).

Um Gewinne von etwa 200 bis 240 Euro je Hektar, wie bei anderen Marktfrüchten zu realisieren, muss ohne Stilllegungsprämie, ein Holzpreis von mindestens 90 Euro je Tonne Trockenmasse <sup>49</sup>erlöst werden. Zurzeit sind Anlagenbetreiber bereit, eine maximale Vergütung von 60 Euro je Tonne *atro* bei Anlieferung frei Anlage zu bezahlen (PALLAST ET AL. 2006). Auf dem Brennholzmarkt konkurriert Kurzumtriebsholz gegen Altholz (mit einem aktuellen Preis von etwa 10 - 20 Euro je Tonne) und hat gegenüber diesem Reststoff kaum Aussichten auf eine gute Wettbewerbsposition. Konkurrenzfähigkeit besteht hingegen gegenüber Waldrestholzhackschnitzeln, die etwa 75 Euro je Tonne kosten (RÖHRICHT & RUSCHER 2004). Da sich die Preise für Energieholz voraussichtlich, in Analogie zu den Preisen für fossile Energieträger, in den kommenden 20 Jahren erhöhen dürften, könnten Kurzumtriebsplantagen eine interessante Alternative zu den momentan angebauten Kulturen sein. Bleiben indessen die Marktpreise in 20 Jahren auf dem heutigen Niveau, wird sich die Umstellung voraussichtlich nicht rentieren.

In diesem Zusammenhang ist zu bedenken, dass nach Anlage der Plantage die Fläche für die Dauer von mindestens 24 Jahren auf diese Nutzungsrichtung festgelegt ist, so dass bei einer kürzeren Nutzung die Wirtschaftlichkeitsberechnung angepasst werden müsste. Zudem ist nach Ablauf der Nutzungsdauer zusätzlich mit Kosten für die Rückführung der Fläche in die landwirtschaftliche Nutzung von circa 750 Euro je Hektar zu rechnen (BOELCKE 2006).

### **Wirtschaftlichkeit von Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*)**

Zuckerhirse ist als C<sub>4</sub>-Pflanze eine an hohe Temperaturen angepasste und trockentolerante Kultur und stellt hinsichtlich Aussaattemperaturen ähnliche Anforderungen wie Mais. Die Ansprüche an den Boden sind bei Hirse niedriger als die von Weizen oder Gerste (z. Ü. vgl.: HONERMEIER 2006) und eignet sich somit für die leichten Böden der Region. Insbesondere soll die Wirtschaftlichkeit der Zuckerhirse als Ersatz von wettbewerbsschwachen Sommerungen, wie Hafer oder Gerste bzw. Roggen und Körner Sonnenblumen überprüft werden. Hierzu wird der kalkulatorische Gewinnbeitrag für Zuckerhirse ermittelt, die zur Verwertung in einer Biogasanlage, stehend ab Feld, verkauft werden soll.

#### **➤ Wirtschaftlichkeitsanalyse von Zuckerhirse für die Region**

Im Sortenkatalog des Bundessortenamt sind keine Zuckerhirse-Sorten aufgeführt. Dafür finden sich im Gemeinsamen Sortenkatalog der Europäischen Union (25. Gesamtausgabe Stand 2007) zahlreiche Zuckerhirse-Sorten, die im gesamten Gebiet des Europäischen Wirtschaftsraum keinen Verkehrsschrankungen unterliegen.<sup>50</sup> Zurzeit erfolgt noch kein kommerzieller Anbau in Deutschland, deshalb

<sup>49</sup> **absolut trocken** (Vergleichswert).

<sup>50</sup> Vgl.: <http://eur-lex.europa.eu/Result.do?idReq=3&page=1> i. V. m. <http://eur-lex.europa.eu/Result.do?idReq=4&page=2>.

kann nicht auf regionstypische Daten zurückgegriffen werden. Bei der Berechnung der in der Untersuchungsregion möglichen Naturalerträge<sup>51</sup> wurde daher der *Kostenrechner Energiepflanzen* von KTBL<sup>52</sup> verwendet. Gemäß dem Kostenrechner sind Naturalerträge von 440 Dezitonnen je Hektar möglich und es entstehen Produktionskosten von 572,60 Euro je Hektar<sup>53</sup>. Da die Berechnung dieser Produktionskosten ausschließlich auf Versuchsergebnissen beruhen (ECKEL 2006) und zudem für Zuckerhirse kein Marktpreis existiert und – anders als bei Silomais – hierfür keine Erfahrungswerte von „Praktikern“ vorliegen, ist die Berechnung eines belastbaren kalkulatorischen Gewinnbeitrags nicht möglich. Betrachtet man indes die kalkulatorischen Gewinnbeiträge der Alternativkulturen im Jahr 2025<sup>54</sup> so zeigt sich, dass mit diesen so geringe Gewinnbeiträge erwirtschaftet werden, dass mit Zuckerhirse ab einem Marktpreis von 1,32 Euro je Dezitonne der kalkulatorische Gewinnbeitrag bereits doppelt so hoch wäre wie der von Sommerfuttergerste. Will man indes Gewinnbeiträge von über 500 Euro je Hektar erzielen, müsste der Marktpreis circa 2,50 Euro je Dezitonne betragen. Wie hoch der Marktpreis zukünftig sein wird bleibt abzuwarten.

Zu beachten ist, dass es keine langjährige Erfahrung für den Anbau von Zuckerhirse gibt und die tatsächlich möglichen Naturalerträge um einiges niedriger liegen könnten als durch KTBL prognostiziert. Überdies sind momentan noch wenig Pflanzenschutzmittel für Zuckerhirse vorhanden. Für die während der Jugendentwicklung erforderliche Herbizidbehandlung war bisher eine Sondergenehmigung erforderlich (ECKEL 2006). Seit 2007 sind zwei Herbizide<sup>55</sup> zur Anwendung in Sorghum-Hirse zugelassen (WORTMANN 2007).

### 3.4 Zusatzkosten durch den Anbau von Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften

Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften bieten einerseits Einsparpotenziale hinsichtlich Pflanzenschutzmittel und können unter Umständen durch zusätzliche Produktion von wertgebenden Inhaltsstoffen die Gewinnbeiträge erhöhen. Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften können aber auch, wie bereits erwähnt, höhere Kosten z. B. für Saatgut bedeuten. Für die Verwendung von gentechnisch veränderten Pflanzen kommen aufgrund der derzeit geltenden gesetzlichen Vorgaben weitere Kosten hinzu, die nicht immer eindeutig zu quantifizieren sind. Hier sind z. B. Kosten für die Warenstromtrennung und das Nachmonitoring zu nennen (vgl. Tabelle 10). Änderungen dieser Bedingungen sind in Zukunft nicht auszuschließen, dennoch sind bis dahin bei der ökonomischen Bewertung von transgenen Pflanzen diese Kosten, auch wenn nicht eindeutig quantifizierbar, zu berücksichtigen.

<sup>51</sup> Schlaggröße 40 Hektar, niedriges Ertragsniveau, nicht wendende Bodenbearbeitung mit Kreiselegge und Einzelkornsaat.

<sup>52</sup> KTBL: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, <http://daten.ktbl.de/energy/postHv.html;jsessionid=1EAB2C971F6E027B93E2312D3F2E51E1#start>.

<sup>53</sup> 1.204,83 Euro je Hektar (fixe und variable Kosten) abzüglich der Kosten für Ernte, Häckseln, Transport und das Anlegen eines Silos in Höhe von 632,23 Euro je Hektar; <http://daten.ktbl.de/energy/>.

<sup>54</sup> Roggen: -258 Euro je Hektar; Körnersonnenblumen: -211 Euro je Hektar; Hafer: -103 Euro je Hektar, Sommerfuttergerste: 4 Euro je Hektar

<sup>55</sup> Mais-Banvel WG<sup>®</sup> und Gardo Gold<sup>®</sup>

Tabelle 10: Zusätzliche Kosten für den Anbau von Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften in der Region

Bereich in dem die Mehrkosten entstehen	Grund für Entstehung der Mehrkosten	Faktoren zur Beeinflussung und die möglichen Auswirkungen	Derzeitige Kosten in EUR bzw. Angaben in Prozent
Bei Aussaat von gv-Pflanzen sind Abstände zu konventionellen Schlägen einhalten.	Vermeidung von Auskreuzung des Transgens in die mit konventionellem Saatgut bestellten Schläge und dadurch Einschränkungen bei der freien Auswahl der Schläge.	Faktoren sind die für jede Kulturart individuell festgelegten Abstände. Je niedriger die Abstände sind umso flexibler kann geplant werden und es kommt nahezu jeder Schlag zum Anbau von gv-Pflanzen in Betracht. Sind die Abstände hingegen zu groß, wird die Planung schwierig und der Anbau von gv-Pflanzen unterbleibt.	150 Meter zu konventionellen Schlägen und 300 Meter zu Ökobetrieben bei Mais. Der Gestaltungsspielraum ist dadurch sehr eingeschränkt. Die Kosten für diese Planungsunsicherheiten lassen sich nicht quantifizieren <sup>56</sup> .
Mehrkosten für Saatgut.	Durch die Gebühr, die für die eingesetzte Technologie entstanden ist (technological fee).	Eine Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens und Zulassung von mehreren Events. Dadurch Verringerung der Kosten und Verhinderung der Monopolisierung, was wiederum den Wettbewerb fördert und zu niedrigeren Preisen führt. Höhe der Technologie-Fee ist abhängig von der Wettbewerbssituation auf dem Saatgutmarkt für entsprechende Pflanze und Eigenschaft.	Preise für gv-Saatgut liegen etwa 20-35 % über den Preisen für konventionelles Saatgut (z. Ü. vgl. BOYSEN 2007).
Separationskosten durch Trennung Warenströme.	Zur Vermeidung von Durchmischung von gv-haltigen Partien und Chargen mit konventionellen Rohstoffen um Koexistenz zu ermöglichen	Der Grenzwert ab denen gekennzeichnet werden muss beeinflusst die Kosten. Je niedriger der Grenzwert umso höher die Separationskosten.	Ab Grenzwerten von 5 % steigen die Vermarktungskosten aufgrund der erforderlichen Separation nur geringfügig. Bei Grenzwerten bis max. 1 % ist bereits mit der Verdoppelung der Frachtkosten zu rechnen (UHLMANN 2003).
Kosten und Aufwand für Nachmonitoring.	Landwirt muss Fragebogen zu seinen Beobachtungen ausfüllen, die er beim Anbau von gv-Pflanzen gemacht hat.	Jedes Jahr werden die 250 Landwirte neu bestimmt, die einen Fragebogen ausfüllen müssen. Die Wahrscheinlichkeit diesen Fragebogen ausfüllen zu müssen ist somit relativ gering (keine Beeinflussung möglich!)	Die Angaben können aus bereits vorliegenden Aufzeichnungen oder Beobachtungen erfolgen und müssen nicht durch Feldbegehungen begleitet werden, so dass der Arbeitsaufwand überschaubar ist. Der Arbeitsaufwand beträgt

<sup>56</sup> Vgl.: [ec.europa.eu/agriculture/publi/gmo/gmo.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/publi/gmo/gmo.pdf).

			circa eine Arbeitskraftstunde = 15 Euro für nicht entlohnte ständige Arbeitskräfte (SCHMIDT 2007, NITSCHKE 2007)
Schriftliche Mitteilung über Anbau von gv-Pflanzen beim BVL.	Anmeldung, dass Anbau von GVO erfolgt frühestens neun Monate spätestens drei Monate vor der geplanten Aussaat.	Reduzierung der Anmeldefristen würde zu mehr Flexibilität bei den Aussaatterminen und zu Vereinfachungen im Betriebsablauf führen.	Die Mehrkosten, die durch die momentan existierenden Anmeldefristen entstehen, lassen sich nicht eindeutig quantifizieren. Die Kosten die hierdurch entstehen, sind als gering einzustufen und sind zu vergleichen mit den Kosten für das Nachmonitoring.
Rücklagen für Entschädigungszahlungen wegen Auskreuzungen in Nachbarschläge.	Nachbarbetriebe, bei denen trotz Einhaltung der guten fachlichen Praxis Einkreuzungen eines Transgens festgestellt wurden (Gesamtschuldnerische Haftung).	Schaffung von finanzieller Sicherheit durch Übernahme der Kosten im Haftungsfall durch den Saatguthersteller.	Kosten sind derzeit nicht quantifizierbar!
Kosten für neue Pflanz- oder Erntetechnik für in der Region neuartige Pflanzen (z. B. Kurzumtrieb-Plantagen).	Umstellung auf neue Anbaurichtung, daher sind die erforderlichen Maschinen nicht vorhanden.	Durch gemeinsame Anschaffung der benötigten Maschinen mit anderen Betrieben, Beauftragung eines Lohnunternehmers oder Nutzung eines Maschinenrings können Kosten für Pflanzung und Ernte gesenkt und Risiken vermindert werden.	Die Kosten für einmalige maschinelle Pflanzung belaufen sich auf etwa 430 Euro und für Ernte mit Vollernter betragen etwa 10 Euro je Tonne oder 490 Euro je Hektar. Die Anschaffungskosten einer Maschine für teilmechanisierte Ernte belaufen sich auf 50.000 bis 100.000 Euro.

Quellen: KTBL 2006, UHLMANN 2003, RÖHRICHT & RUSCHER 2004, BOYSEN 2007, persönliche Mitteilungen: K. Schmidt (28.8.07) und H. Nitschke (13.9.07).



---

## 4 Schlussfolgerungen zu Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften

Die Landwirtschaft steht auch in der Untersuchungsregion in den nächsten 20 Jahren vor neuen Herausforderungen, die sich bereits heute deutlich abzeichnen und ihren Niederschlag auch in den Anforderungen an die Pflanzenzüchtung finden.

- Die auf der *Agenda 2000* basierenden Reformen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union führten zur Ablösung der früheren Marktstützung durch direkte Transferzahlung. Damit sind die Landwirte unmittelbar von den Marktpreisen abhängig. Diese Reformen werden in den nächsten Jahrzehnten zu einem hohen ökonomischen Druck, auch bei den Landwirten in Deutschland, führen.
- Der Klimawandels könnte – folgt man den diskutierten Klimamodellen – besonders in der Untersuchungsregion zu einem weiteren Rückgang der Niederschläge und damit auch der Naturalerträge führen. Daher werden z. B. Pflanzen benötigt, die durch eine erhöhte Trockentoleranz dazu beitragen, die Naturalerträge und damit die Erlöse zu sichern.
- Der bereits heute deutlich erkennbar gestiegene Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen führt zu einer erhöhten Nachfrage nach pflanzlichen Rohstoffen und damit zur Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion. Dies macht neue Landnutzungskonzepte erforderlich.

Geeignete Lösungsansätze zur Steigerung der Naturalerträge und Erlöse von der zur Verfügung stehenden Fläche müssen eine energetisch sinnvolle und zugleich ökologisch akzeptable Flächennutzung ermöglichen. Diese Herausforderungen lassen sich nicht ausschließlich durch die konventionelle Züchtung erreichen, hier ist der Einsatz von innovativen Methoden zur Erzeugung neuartiger Pflanzen bzw. der Anbau von neuen Kulturarten eine sinnvolle Ergänzung.

Innovative neuartige Pflanzen, die durch veränderte Eigenschaften zur Ertragssicherung beitragen und gleichzeitig einen Zusatznutzen aufweisen, werden in den nächsten 10 bis 20 Jahren voraussichtlich auf dem europäischen bzw. deutschen Markt erhältlich sein. Die Ertragssicherung unter sich wandelnden ökonomischen und ökologischen Bedingungen könnte durch die Steigerung der Trockentoleranz von Kulturpflanzen, durch Resistenzen gegen neu auftretende oder in ihrer Bedeutung gestiegene Schaderreger und/oder durch erhöhte Biomasseproduktion erreicht werden. Ein Beispiel für einen möglichen Zusatznutzen ist die Produktion von Biopolymeren wie Polyhydroxybutyrat oder Polyaspartat, bei deren Herstellung aus landwirtschaftlichen Erzeugnissen voraussichtlich insgesamt weniger CO<sub>2</sub> als bisher in die Atmosphäre gelangt, die vollständig biologisch abbaubar sind und Produkte aus fossilen Rohstoffen ersetzen können. Diese zusätzlich produzierten Rohstoffe können die stoffliche oder energetische Nutzung von Pflanzen als Beiprodukt ergänzen und damit einen zusätzlichen Nutzen ohne weitere Anbaukosten bilden. Neuartige Pflanzen bieten den Landwirten in der Untersuchungsregion vor allem dann ein gesicherteres Einkommen, wenn Anbau und Absatz der Ausgangspflanzen in der Region etabliert bzw. gesichert sind und die wertgebenden Inhaltsstoffe zusätzlich „geerntet“ werden können. Voraussetzung hierfür sind eine hohe Nachfrage, gesicherte Absatzwege aber auch eine kostengünstige Isolierung der gewünschten Inhaltsstoffe aus den Pflan-

zen. Erstrebenswert wäre es nicht nur, den Anbau, sondern auch die gesamte Verarbeitung und damit letztendlich die Wertschöpfung in der Untersuchungsregion zu realisieren. Dies würde Transportkosten einsparen und dadurch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß reduzieren.

Neuartige Pflanzen sind für die Untersuchungsregion auch deshalb eine Option, weil Betriebsgröße, Flächenausstattung und Flexibilität den Anbau von großen Partien erlauben. Sie erleichtern den Umgang mit gentechnikspezifischen Regelungen der guten fachlichen Praxis, die Abstände zu kreuzbaren Kulturarten und ein Nachmonitoring der Fläche erfordern. Dennoch kann auch hier der zu erreichende Mehrwert durch umfangreiche und wenig innovationsfreundliche administrative Regulierungen wieder aufgehoben werden. Dies gilt sowohl für den Zugang zu wertvollem Saatgut als auch für Anbauregelungen, vor allem angesichts der Tatsache, dass bereits heute die Erfüllung administrativer Forderungen (z. B. Aufzeichnungspflichten) einen großen Anteil der Arbeitszeit von Landwirten in Anspruch nimmt.

---

## Literaturverzeichnis

- Agrarbericht BB (2007) Agrarbericht 2007 zur Land- und Ernährungswirtschaft des Landes Brandenburg. Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurerneuerung (LVLf). Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz, Potsdam.
- Ahl Goy, P., Chasseray, E., Duesing, J. (1994) Field trials of transgenic plants: an overview. *Agro-Food-Industry Hi-Tech* 5 (2): 10-15.
- Alber, G. (2006) Tabak. In Heyland, K.-U., Hanus, H., Keller, E. R. (Hrsg.) *Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen*, Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim).
- Arndt, N., Pohl, M. (2006) Analyse der bei Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen durchgeführten Sicherheitsmaßnahmen: Erhebungszeitraum 1998-2004. BfN-Skripten 147. Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- Bahrs, E., Dohms, H., Rust, I. (2003) Notwendigkeit und Konsequenzen einer aktualisierten Bodenschätzung in der Landwirtschaft aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In *Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e. V.* (Hrsg.), Band 39. *Perspektiven in der Landnutzung – Regionen, Landschaft, Betriebe – Entscheidungsträger und Instrumente* Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup S. 461-470.
- BASF (2007) Amflora - A star(ch) is born. Die Perspektive. (Internet: [corporate.basf.com/de/stories/loesungen/amflora/start.htm?id=V00-hSh4CBXp4bcp2\\*O](http://corporate.basf.com/de/stories/loesungen/amflora/start.htm?id=V00-hSh4CBXp4bcp2*O)).
- Baucher, M. (1998) Applications of molecular genetics for biosynthesis of novel lignins. *Polymer degradation and stability*. London : Applied Science Publ. 59 (1-3): 47-52.
- Baufeld, P. (2007) Westlicher Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) – Aktuelle Situation und Hintergründe. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Abteilung für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit Kleinmachnow.
- Bayerl, G. (2006) Geschichte der Landnutzung in der Region Barnim-Uckermark. *Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe. Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume - LandInnovation - Materialien Nr. 12*. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin.
- Berenji, J., Dahlberg, J. (2004) Perspectives of Sorghum in Europe. *J. Agronomy & Crop Science* 190: 332-338.
- Berg, H. (2003) Untersuchungen zu Funktion und Struktur der Cyanophycin-Synthetase von *Anabaena variabilis* ATCC 29413, Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I der Humboldt-Universität zu Berlin. (Internet: [edoc.hu-berlin.de/dissertationen/berg-holger-2003-07-11/HTML/index.html](http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/berg-holger-2003-07-11/HTML/index.html)).
- Blennow, A., Engelsens, S., Nielsen, T., Baunsgaard, L., Mikkelsen, R. (2002) Starch phosphorylation: a new front line in starch research. *Review. Trends in Plant Science* 7 (10): 445-450.
- Boelcke, B. (2006) Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. *Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz*. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin.

- Boysen, M. (2007) Ökonomischer Nutzen der grünen Gentechnologie In Köstner, B., Vogt, M., van Saan-Klein, B. (Hrsg.) *Agro-Gentechnik im ländlichen Raum – Potentiale, Konflikte und Perspektiven*. J. H. Röll Verlag, Dettelbach.
- Broer, I., Reinhold-Hurek, B. (2008) Ökologische Auswirkungen des Einsatzes von modernen Pflanzensorten. In Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.), *Potentiale der Grünen Gentechnik*, DFG-Broschüre Bonn (eingereicht).
- Brogliè, K., Chet, I., Holliday, M., Cressman, R., Biddle, P., Knowlton, S., Mauvais, C. J., Brogliè, R. (1991) Transgenic plants with enhanced resistance to the fungal pathogen *Rhizoctonia solani*, *Science*, 254: 1194-1197.
- Brookes, G. (2002) The farm level impact of using Bt maize in Spain, Frampton, UK: PG Economics Limited. (Internet: [www.pgeconomics.co.uk/pdf/bt\\_maize\\_in\\_spain.pdf](http://www.pgeconomics.co.uk/pdf/bt_maize_in_spain.pdf)).
- Buebl, W. (2002) Herbizidresistenz und Ertragssteigerung durch neue Hybridisierungsverfahren. *Akademie-Journal. Magazin der Union der deutschen Akademie der Wissenschaften. Themenschwerpunkt Grüne Gentechnik* (1): 18-20.
- Bundessortenamt (2007) *Bundessortenamt: Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölfrüchte, großkörnige Leguminosen und Hackfrüchte außer Kartoffeln*. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover.
- Coakley, S. M., Scherm, H., Chakraborty, S. (1999) Climate change and plant disease management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37:399-426.
- Crawley, M. J., Hails, R. S. Rees, M. Kohn, D., Buxton, J. (1993) Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* 363: 620-623.
- Dale, P. J. (1992) Spread of engineered Genes to Wilde Relatives. *Plant Physiol.* 100: 13-15
- Deecke, U., Krecek, A. (2002) Kostenreserven entdecken. *DLG-Mitteilungen* 6: 13-15.
- Degenhardt, H., Horstmann, F., Mülleder, N. (2003) Bt-Mais in Deutschland. Erfahrungen mit dem Praxisanbau von 1998 bis 2002. *MAIS* 31 (2): 75-77.
- Diepenbrock, W., Ellmer, F., Léon, J. (2005) *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Doleschel, P. (1998) *Triticale*. In *Die Landwirtschaft. Band 1: Pflanzliche Erzeugung*. 11. Auflage, BLV Verlagsgesellschaft München, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- Drechsler, G. (2006) *Neuartige Pflanzen: Anforderungen von Landwirten zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen in Nordost-Deutschland*, Bachelorarbeit (unveröffentlicht).
- Eckel, H. (2006) *Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*, herausgegeben vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt und Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. (ATB), Potsdam.
- Eder, J. (2006) Bericht zum Erprobungsanbau mit gentechnisch verändertem Bt-Mais in Bayern 2005. Schriftenreihe, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). (Internet: [www.lfl.bayern.de/ipz/mais/19283/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/19283/index.php)).
- EFSA (2006) Opinion of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on the Post Market Environmental Monitoring (PMEM) of genetically modified plants, *The EFSA Journal* (2006) 319, 1-27.
- Eissen, M., Metzger, J. O., Schmidt, E., Schneidewind, U. (2002) 10 Jahre nach „Rio“ - Konzepte zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung. *Angew. Chem.* 114.2002 (3): 402-425.
- Eurobarometer (2000) *The Europeans and Biotechnology*, Eurobarometer 52.1, Report by INRA (Europe) - ECOSA on behalf of Directorate-General for Research Directorate B - Quality of Life and Management of Living Resources Programme. Managed and organised by Directorate-General for Education and Culture “Citizens’ Centre”, Public Opinion Analysis Unit. (Internet: [www.ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_134\\_en.pdf](http://www.ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_134_en.pdf)).

- Eurobarometer (2001) European, science And technology, Eurobarometer 55.2, European Commission, Research Directorate-General. (Internet: [www.ec.europa.eu/research/press/2001/pr0612en-report.pdf](http://www.ec.europa.eu/research/press/2001/pr0612en-report.pdf)).
- Fladung, M., Hönicka, H. (2006) Mit sterilen Pappeln die Auskreuzung in forstliche Ökosysteme verhindern. Forschungsreport (1): 17-20.
- Fock, T., Schniedewind, H., Kasten, J. (2007) Befragung zur Akzeptanz der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft. Dokumentation. Agra-Europe 48 (19): 1-10.
- Franck, S., Keller, B. (1995) Produktsicherheit von krankheitsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. Eig. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich.
- Funk, T. (2006) Monitoring der Überdauerung und Verbreitung von transgenem Raps (*Brassica napus* L.). Dissertation, Technische Universität München.
- Gehring, K. (2004) Anbau gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP): Auswirkungen auf den Verbrauch von Pflanzenschutzmitteln und Bewertung möglicher Veränderungen hinsichtlich der Belastung der Umwelt und des Naturhaushaltes. Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV). Projektbearbeiter: Wurzer-Faßnacht, U., Projektleiter: Gering, K., Zellner, M., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising-Weißenstephan.
- Geisler, G. (1991) Farbatlas Landwirtschaftliche Kulturpflanzen, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F., Werner, P. C. (2003) Studien zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report No. 83 Potsdam.
- Gienapp, C. (1999) Grenzstandorte - eine flächendeckende und nachhaltige Landbewirtschaftung ist möglich. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow, Heft 20: 1-4.
- Glodzinski, A. (2007) Die letzte Ernte. Tagesspiegel, 1.9.2007. (Internet: [www.tagesspiegel.de/wirtschaft/art271,2371145](http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/art271,2371145)).
- Goeser, H., Büntig, S. (2006) Verbreitung transgener Kartoffeln durch Vögel. Sachstand WD 5 – 161/06. Fachbereich Wirtschaft und Technologie; Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft; Tourismus, Wissenschaftliche Dienste des Bundestages.
- Goltermann, S. (2006) Pilzbekämpfung im Getreide. Ergebnisse und Empfehlungen zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau. Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern – Pflanzenschutzdienst. Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern.
- Goltermann, S. (2007) Pilzbekämpfung im Getreide. Ergebnisse und Empfehlungen zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau. Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern – Pflanzenschutzdienst. Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern.
- Gruber, S. (2004) Genotypische Variation der Überdauerungsneigung von transgenem und konventionell gezüchtetem Raps und Möglichkeit der Beeinflussung durch Bodenbearbeitung als Beitrag zur Sicherheitsforschung bei transgenen Kulturpflanzen. Dissertation, Universität Hohenheim. (Internet: [www.deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=974164860&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=974164860.pdf](http://www.deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=974164860&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=974164860.pdf)).
- Häberle, J., Zimmermann, G., Hartl, L. (2006) Züchterisches Potenzial von Resistenz-QTL gegen Ährenfusarium bei Weizen, 57. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, HBLFA Raumberg – Gumpenstein 21. – 23. November, S. 45-48.
- Hanff, H., Neubert, G., Brudel, H. (2005) Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg – Ackerbau, Grünlandwirtschaft, Tierproduktion – 4. überarbeitete Auflage. Reihe Landwirt-

- schaft, Band 6, Heft 1, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurerneuerung des Landes Brandenburg.
- Hefner, P. (2004) Grüne Gentechnik und Landwirtschaft – Chance oder Risiko? (Internet: [www2.kreis-guetersloh.de/-bindata\\_download/Text.hefner.pdf](http://www2.kreis-guetersloh.de/-bindata_download/Text.hefner.pdf)).
- Heilmann, H., Annen, T., Lehmann, E. (2003) Auswirkungen der geplanten Änderungen der EU-Agrarpolitik zur Halbzeitbewertung der Agenda 2000. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern Heft 28, Gülzow.
- Henze, A. (2002) Die Produktionsmittel der landwirtschaftlichen Primärproduktion, Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.
- Hoffmann, W., Mudra, A., Plarre, W. (1985) Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Band 2 spezieller Teil, Verlag Paul Parey, Berlin, 2. Auflage.
- Hofmann, M. (2007) Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e. V., Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- Honermeier, B. (2006) Sorghumhirse. In Heyland, K.-U., Hanus, H., Keller, E. R. (Hrsg.). Handbuch des Pflanzenbaues. Band 4 Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arneipflanzen und Sonderkulturen. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim).
- Honermeier, B. (2000) Winterroggen und Triticale. In Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Hrsg.), Lehrbuch des Pflanzenbaus, Band 2: Kulturpflanzen, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Hu, W.-J., Harding, S. A., Lung, J., Popko, J. L., Ralph, J., Stokke, D. D., Tsai, C.-J., Chiang, V. L. (1999) Repression of lignin biosynthesis promotes cellulose accumulation and growth in transgenic trees. *Nature Biotechnology* 17: 808-812.
- Hühns, M., Neumann, K., Hausmann, T., Ziegler, K., Klemke, F., Kahmann, U., Staiger, D., Lockau, W., Pistorius, E. K., Broer, I. (2007) Plastid targeting strategies for cyanophycin synthetase to achieve high level polymer accumulation in *Nicotiana tabacum* with no adverse side effects. *Plant Biotechnology J.* (eingereicht).
- Hutchens, T. W. (2000) Tobacco Seed. In Davis D. L., Nielsen, M. T. (ed.) Tobacco Production, Chemistry and Technology Blackwell Science, Oxford (u. a.).
- IVA (2006/07) Jahresbericht. Industrieverband Agrar e. V., Frankfurt/Main ([www.iva.de/pdf/JB2006Neu\\_JB2005\\_final.pdf](http://www.iva.de/pdf/JB2006Neu_JB2005_final.pdf)).
- Jaglo-Ottosen, K. R., Gilmour, S. J., Zarka, D. G., Schabenberger, O., Thomashow, M. F. (1998) Arabidopsis CBF1 overexpression induces COR genes and enhances freezing tolerance. *Science* 280: 104-106.
- James, C. (2006) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. Brief 35. Executive Summary. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications.
- Keller, E. R. (1999) Knollen- und Wurzelfrüchte – Kartoffel: Ansprüche an das Klima. In Keller, E. R., Hanus, H., Heyland, K.-U. (Hrsg.), Handbuch des Pflanzenbaues. Bd. 3: Knollen und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- Kirschke, D., Häger, A., Noleppa, S. (2005) Entwicklung landwirtschaftlicher Produkt- und Faktormärkte bis 2008/9. Auszug aus einem Gutachten im Auftrag der BVVG Bodenverwertungs- und -verwaltung GmbH (Internet: [www.bvvg.de/INTERNET/intenet.nsf/vBroInfo/dPDFAltschulden/\\$File/altschulden.pdf](http://www.bvvg.de/INTERNET/intenet.nsf/vBroInfo/dPDFAltschulden/$File/altschulden.pdf)).
- Klammer, U., Sperling, I., Schmidt, K., Schaffarzyk, M. (2002) Wir am Stettiner Haff. Lebenswerte Region zwischen Usedom und Berlin. Regionales Entwicklungskonzept für den Landkreis Uecker-Randow. Thales Information Systems GmbH, Rostock + Landkreis Uecker-Randow, REK-Büro, Pasewalk.
- KTBL (2006) Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. KTBL-Datensammlung. 20. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt.

- KWS (2004/2005) Geschäftsbericht 2004/2005. 150 Jahre KWS Saat AG - Perspektiven im Wandel der Zeit (Internet: [www.kws.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaa\\_cuzpi](http://www.kws.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaa_cuzpi)).
- LALLF (2007) Daten zum Maiszünslerbefall in Uecker-Randow. Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittel und Fischerei (LALLF) – Pflanzenschutzdienst – Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin (unveröffentlicht).
- Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg (2005) Beitrag zur Statistik. Landwirtschaft in Brandenburg 1991-2003, Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik, Dezernat Informationsmanagement, Potsdam.
- Lautenschlager-Fleury, D., Lautenschlager-Fleury, E. (1994) Die Weiden von Mittel- und Nordeuropa.: Bestimmungsschlüssel und Artenbeschreibungen für die Gattung *Salix* L., Birkhäuser Verlag, Basel, Schweiz.
- Lelley, T., Balázs, E., Tepfer, E. (Eds.) (2003) Ecological Impact of GMO Dissemination in Agro-Ecosystems. This publication is based on presentations at an International OECD Workshop held in Grossrussbach, Austria, Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien.
- LfL (2006) Pflanzenzüchtung. Von der klassischen zur Biotechnologie, LfL-Information. 2. Auflage. Autoren: Müller, M., Daniel, G., Doleschel, P., Eder, J. Hartmann, S., Herz, M., [u. a.], Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. München. (Internet: [www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen\\_url\\_1\\_49.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen_url_1_49.pdf)).
- LUA (2001) Brandenburg regional 2001. Landkreise und kreisfreie Städte. Landesumweltamt Brandenburg (LUA). Bearbeitung: Referat Raumbewertung. Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.), Potsdam.
- LUA (2003) Pflanzenschutzmittel in der Umwelt. Erhebung von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmengen im Land Brandenburg 2003 ein Vergleich zu 2001 und 1998/99. Landesumweltamt Brandenburg. Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamts, Band 51. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz.
- LVLf (2007) Daten zum Maiszünslerbefall in Barnim und Uckermark. Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLf), Pflanzenschutzdienst Brandenburg, (unveröffentlicht).
- Makowski, N. (2000) Ölfrüchte. In Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Hrsg.), Lehrbuch des Pflanzenbaus, Band 2: Kulturpflanzen, J., Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Marquard, E., Durka, W. (2005) Auswirkungen des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen auf Umwelt und Gesundheit: Potentielle Schäden und Monitoring. Bericht erstellt im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, in der Helmholtzgemeinschaft.
- Marx, J. L. (1985) Plant gene transfer becomes a fertile field. *Science* 230 1148-1150.
- Menrad, K., Gaisser, S., Hüsing, B., Menrad, M. (2003) Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzüchtung und Lebensmittelproduktion (Stand und Perspektiven) Physica-Verlag, Heidelberg.
- Meßner, H. (2000) Mais (*Zea mays*) In Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Hrsg.), Lehrbuch des Pflanzenbaus, Band 2: Kulturpflanzen, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Meyer, R. (2005) Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren. 1. Bericht zum TA-Projekt – Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale. Arbeitsbericht Nr. 103. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft.
- Minol, K., Sinemus, K. (2004/05) Rohstoffe aus Designerpflanzen, Seiten 39-44. In Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF), GmbH in der Helmholtzgemeinschaft (Hrsg.). Grüne Gentechnik in Forschung und Anwendung, Mensch und Umwelt spezial, 17. Ausgabe.

- Monsanto (2006) Innovative Produkte im Dienst der Landwirtschaft. Pipeline Broschüre. (Internet: [www.monsanto.de/Monsanto/Pipeline\\_Brochure\\_2006\\_DEU.pdf](http://www.monsanto.de/Monsanto/Pipeline_Brochure_2006_DEU.pdf)).
- Neumann, K., Stephan, D. P., Ziegler, K., Hühns, M., Broer, I., Lockau, W., Pistorius, E. K. (2005) Production of cyanophycin, a suitable source for the biodegradable polymer polyaspartate, in transgenic plants. *Plant Biotechn. J.* 3: 249-258.
- Neuroth, B. (1997) Kompendium der für Freisetzung relevanten Pflanzen hier: Solanaceae, Poaceae, Leguminosae. Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, Text 62
- OECD (1997) Consensus Document on the Biology of *Brassica napus* L. (Oilseed Rape), Environmental health and safety publications. Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 7, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD (1999) Consensus Document on the Biology of *Triticum aestivum* (Bread Wheat), Environmental health and safety publications. Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 9, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD (2000) Consensus Document on the Biology of *Populus* L. (Poplars), Environmental health and safety publications. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 16, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD (2003) Consensus Document on the Biology of *Zea mays* subsp. *mays* (Maize), Environmental health and safety publications. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 27, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Oehmichen, J. (2000) Bodenkunde. In Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Hrsg.), Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Otto, M. (2001) Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen – Prioritätensetzung. In Umweltbundesamt (Hrsg.), Stand der Entwicklung des Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) Text 60, Berlin.
- Pallast, G., Breuer, T., Holm-Müller, K. (2006) Schnellwachsende Baumarten. Chancen für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum? *Berichte über Landwirtschaft*. Bd. 84 (1):144-159.
- Patterson, D. T., Westbrook, J. K., Joyce, R. J. V., Lindgren, P. D., Rogasik, J. (1999) Weeds, insects and diseases, *Climatic Change*, 43: 711-727.
- Pickardt, T., de Kathen, A. (2002) Literaturstudie zur Stabilität transgen-vermittelter Merkmale in gentechnisch veränderten Pflanzen mit dem Schwerpunkt transgene Gehölzarten und Stabilitäts-gene. Verbundprojekt "Grundlagen für die Risikobewertung transgener Gehölze". Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Im Auftrag des Umweltbundesamtes und des Ministeriums für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein.
- Pickardt, T., de Kathen, A. (2004) Gentechnisch veränderte Pflanzen mit neuen oder verbesserten Qualitäts- und Nutzungseigenschaften: Futtermittel und rohstoffliefernde Nutzpflanzen, Pflanzen zur Bodensanierung und Zierpflanzen. Im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung. BioTechConsult GbR. Consulting für Biotechnologie und Biologische Sicherheit, Berlin.
- Pommer, G. (1998) Einführung in den Integrierten Pflanzenbau. In *Die Landwirtschaft*. Band 1: Pflanzliche Erzeugung. 11. Auflage, BLV Verlagsgesellschaft München, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- Rentenbank (2006) Organisatorische und technologische Innovationen in der Landwirtschaft. Schriftenreihe Band 21. Landwirtschaftliche Rentenbank, Frankfurt/Main.
- Rode, M., Schneider, C., Ketelhake, G., Reißhauer, D. (2005) Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Erzeugung von Wärme und – und Stromgewinnung, BfN Skripten 136. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Röhricht, Ch., Ruscher, K. (2004) Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten. Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide. Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Leipzig.

- Röver, M., Arndt, N., Pohl-Orf, M. (2000) Analyse der bei Freisetzungen von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) durchgeführten Sicherheitsmaßnahmen in Hinblick auf deren Effektivität und Ableitung von Empfehlungen für die künftige Vollzugsarbeit. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt, Berlin.
- Sauter, A., Meyer, R. (2000) Risikoabschätzung und Nachzulassungs-Monitoring transgener Pflanzen – Sachstandsbericht – TAB Arbeitsbericht Nr. 68. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Sauter, A., Hüsing, B. (2005) TA-Projekt Grüne Gentechnik - Transgene Pflanzen der 2. und 3. Arbeitsbericht 104. Generation Endbericht Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Scheffler, J. A., Parkinson, R., Dale, P. J. (1993) Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) Transgenic Research 2: 356-364.
- Schlüter, K., Potrykus, I. (1995) Horizontaler Gentransfer von transgenen Pflanzen zu Mikroorganismen (Bakterien und Pilzen) und seine ökologische Relevanz. Technikfolgenabschätzung transgener krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen. Institut für Pflanzenwissenschaften. Eigenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich.
- Schmid, J. E., Käser, O., Feil, B., Stamp, P. (1999) Fachstudie Kriterien für die Pflanzenzüchtung unter besonderer Berücksichtigung des Potenzials der modernen Biotechnologie. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe Ackerbau/Pflanzenzüchtung, Zürich
- Schmitz, G. (2001) Toleranz gegen abiotische Umweltfaktoren. In Schütte, G., Stirn, S., Beusmann, V. (Hrsg.), Transgene Nutzpflanzen. Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenehmigungs-Monitoring. Birkhäuser Verlag. Basel [u. a. ].
- Schmitz, G., Schütte, G. (2001) Insektenresistenz. In Schütte, G., Stirn, S., Beusmann, V. (Hrsg.), Transgene Nutzpflanzen. Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenehmigungs-Monitoring. Birkhäuser Verlag. Basel [u. a. ].
- Schütte, G., Schmitz, G. (2001) Herbizidresistenz. In Schütte, G., Stirn, S., Beusmann, V. (Hrsg.), Transgene Nutzpflanzen. Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenehmigungs-Monitoring. Birkhäuser Verlag. Basel [u. a. ].
- Schulte, E., Käppeli, O. (2000) Nachhaltige Landwirtschaft und grüne Gentechnik, TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft – Kriterien für Pflanzenzüchtung und Pflanzenproduktion unter besonderer Berücksichtigung des Potenzials der der modernen Biotechnologie, Ergebnisse zum Forschungsprojekt, Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds (BATS), Basel, Schweiz.
- Schwamborn, M. (1996) Polyasparaginsäuren. Nachr. Chem. Tech. Lab. 44 (12): 1167-1170.
- Sinemus, K. (1995) Biologische Risikoanalyse gentechnisch hergestellter herbizidresistenter Nutzpflanzen – Erarbeitung eines Modells zur Risikominimierung bei der Freisetzung transgener Nutzpflanzen, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen.
- Sonnenwald, U., Broer, I. (2008) Potentiale gentechnisch veränderter Pflanzen. In Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.), Potentiale der Grünen Gentechnik, DFG-Broschüre Bonn (eingereicht).
- StatA MV (2005) Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern (Internet: [www.statistik-mv.de/](http://www.statistik-mv.de/)).
- Statistisches Jahrbuch (2006) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 50. Ausgabe. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Abteilung 4 „Agrarmärkte, Planungsgrundlagen, Sozialordnung“. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.

- Thomashow, M. F. (1999) Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*. 50: 571-600.
- Tinland, B. (2007) Monsanto and Renessen's pipeline products. Scientific hearing with Applicants - Scientific panel on Genetically Modified Organisms. (Internet: [www.efsa.eu.int/EFSA/DocumentSet/gmo\\_monsanto\\_and\\_renessen\\_pipeline\\_products\\_en.pdf](http://www.efsa.eu.int/EFSA/DocumentSet/gmo_monsanto_and_renessen_pipeline_products_en.pdf)).
- Uhlmann, F. (2003) Internationaler Handel mit gentechnisch veränderten pflanzlichen Erzeugnissen. Der Versuch einer Statusbeschreibung. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, Arbeitsbericht 1/2003, Braunschweig.
- Vieths, S. (2000) Gentechnisch veränderte Lebensmittel: Nutzen oder Risiko für Allergiepationen? *Allergo J.* 9:328-332.
- Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. (2003) Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218: 1-14.
- Weber, W. E., Bringezu, T., Pohl, M., Gerstenkorn, D. (2006) Bt-Mais – Landwirte und Handel praktizieren Koexistenz. *MAIS Vorabdruck* (2): 2-4.
- Wehling, P. (2004) Wohin entwickelt sich die Pflanzenzüchtung bis zum Jahr 2025? In Isermeyer, F. (Hrsg.). *Ackerbau 2025*. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft FAL. Sonderheft 274. Landbauforschung Völkenrode, (Internet: [www.fal.de/nm\\_787784/Shared Docs/00\\_FAL/DE/Publikationen/Landbauforschung\\_\\_Sonderheft/lbf\\_sh\\_274,templateId=raw,property=publication File.pdf/lbf\\_sh\\_274.pdf](http://www.fal.de/nm_787784/Shared Docs/00_FAL/DE/Publikationen/Landbauforschung__Sonderheft/lbf_sh_274,templateId=raw,property=publication File.pdf/lbf_sh_274.pdf)).
- Weigel, H. J. (2005) Gesunde Pflanzen unter zukünftigem Klima. Wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion? *Gesunde Pflanzen* 57 (6): 6-17.
- Wilhelm, R., Beißner, L., Schiemann, J. (2002) Gestaltung des Monitoring der Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen im Agrarökosystem. *Gesunde Pflanzen*, 54 (6): 194-206.
- Wortmann, H. (2007) Sorghum 2007 – himmelhoch jauchzend oder zu Tode betrübt? *Praxisnah Fachinformationen für die Landwirtschaft*. Ausgabe 4: 13.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005) *Climate Change, Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht. (Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)).
- Zhu, B., Su, J., Chang, M., Verma, D. P. S., Fan, Y.-L., Wu, R. (1998) Overexpression of a  $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water- and salt-stress in transgenic rice. *Plant Science* 139: 41-48.

## **Danksagung**

Das Cluster 'Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften' bedankt sich besonders bei allen Landwirtinnen und Landwirten aus Uecker-Randow, der Uckermark und Barnim, die bereit waren sich an der schriftlichen und teilweise auch der mündlichen Befragung zu beteiligen und sich die Zeit genommen haben, unsere Fragen so umfassend zu beantworten.

Auch die Unterstützung der Bauernverbände, allen voran der Bauernverband Uecker-Randow, vertreten durch Frau Dr. Silvia Marscheider und Herrn Harald Nitschke, der Landwirtschaftsbehörde in Barnim bzw. des Landwirtschafts- und Umweltamtes in der Uckermark, des Landwirtschaftsministeriums Mecklenburg-Vorpommern und des Landesamts für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg sowie des Statistischen Amtes Mecklenburg-Vorpommern, hat wesentlich zur Sammlung und Interpretation der Daten beigetragen. Wir bedanken uns für die Mühe ganz herzlich.

Die 34 Experten für neuartige Pflanzen, die die vielen und oft komplexen Fragen bereitwillig und umfangreich beantwortet haben, können nicht alle namentlich genannt werden, sie sind aber für die Erstellung des Heftes unverzichtbar gewesen, daher an alle Beteiligten ein ganz herzliches Dankeschön.