



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus



**Schriftenreihe**

**ISSN 1611-4159**

**11**

**2008**

**Impressum:**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan  
E-Mail: [Agraroeekologie@LfL.bayern.de](mailto:Agraroeekologie@LfL.bayern.de)  
Tel.: 08161/71-3640

1. Auflage November / 2008

Druck: lerchl-druck, 85354 Freising

© LfL



# **Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus**

**unter Beteiligung der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
sowie des  
Technologie- und Förderzentrums im  
Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe**

**Redaktion: Rudolf Rippel**



<b>Inhaltsverzeichnis</b>	Seite
<b>Kurzfassung .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Definition, Abgrenzung.....</b>	<b>15</b>
<b>2 Mögliche bzw. zu erwartende Veränderungen im Anbau von Energiepflanzen .....</b>	<b>17</b>
2.1 Veränderungen in der Anbaufläche von heute bereits weit verbreiteten Kulturpflanzen.....	17
2.1.1 Bisherige Entwicklung .....	17
2.1.2 Zukünftige Entwicklung.....	20
2.1.2.1 Grundsätzliches .....	20
2.1.2.2 Biodiesel-Rapssaat .....	21
2.1.2.3 Biogas-Mais .....	22
2.1.2.4 Bioethanol-Getreide .....	22
2.2 Veränderungen im Fruchtartenspektrum.....	23
2.3 Mit dem Anbau von Energiepflanzen verbundene Anpassung bestehender bzw. Einführung neuer Produktionstechnik.....	25
2.3.1 Grundsätzliches .....	25
2.3.2 Raps (und Sonnenblumen) zur Treibstoffgewinnung und Biogaserzeugung .....	25
2.3.3 Biogas-Mais .....	26
2.3.4 Energiegetreideanbau .....	27
2.3.5 Bioethanol-Zuckerrüben.....	29
2.3.6 Sorghum-Hirsen .....	29
2.3.7 Miscanthus und andere Kulturen.....	30
2.3.8 Grünlandnutzung für energetische Zwecke.....	30
2.3.9 Schnellwachsende Baumarten aus Kurzumtriebskulturen auf landwirtschaftlichen Flächen.....	32
2.3.10 Anbau von gentechnisch veränderten (GV) Energiepflanzen.....	33
<b>3 Durch den zunehmenden Anbau von Energiepflanzen mögliche Auswirkungen auf Boden, Wasser, Luft, Klima, Artenvielfalt und die Kulturlandschaft .....</b>	<b>34</b>
3.1 Boden .....	34
3.1.1 Bodenstruktur .....	34
3.1.2 Bodenabtrag .....	35
3.1.3 Humushaushalt .....	36
3.1.4 Stoffeintrag.....	38
3.1.4.1 Pflanzenschutzmittel .....	38

3.1.4.2	Anorganische, organische Schadstoffe und Krankheitserreger aus GÄrrückständen und Biomasseaschen .....	40
3.2	Gewässer .....	44
3.2.1	Grundwasserneubildung .....	44
3.2.2	Eintrag von Pflanzennährstoffen in Oberflächengewässer und Grundwasser .....	45
3.2.3	Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer und Grundwasser .....	47
3.3	Atmosphäre, Klima .....	48
3.4	Flora .....	49
3.5	Fauna (einschließlich Wild) .....	50
3.5.1	Endogäische Fauna .....	50
3.5.2	Epigäische Arthropoden .....	50
3.5.3	Wirbeltiere .....	52
3.6	Kulturlandschaft .....	54
<b>4</b>	<b>Folgerungen und Hinweise zur Vermeidung negativer Wirkungen auf die Umwelt .....</b>	<b>55</b>
4.1	Bodenschutz .....	55
4.1.1	Schonung der Bodenstruktur .....	55
4.1.2	Minimierung des Bodenabtrags .....	55
4.1.3	Erhaltung der Humusvorräte .....	56
4.1.4	Minimierung des Stoffeintrags .....	57
4.1.4.1	Pflanzenschutzmittel .....	57
4.1.4.2	Schadstoffe und Krankheitserreger aus GÄrrückständen und Biomasseaschen .....	58
4.2	Gewässerschutz .....	58
4.2.1	Minimierung des Eintrags von Pflanzennährstoffen .....	58
4.2.2	Minimierung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln .....	60
4.3	Reduzierung der Abgasung umweltschädlicher Gase .....	60
4.4	Schutz der heimischen Flora .....	60
4.5	Schutz der heimischen Fauna einschließlich des Wildes .....	61
4.6	Erhaltung einer funktionsfähigen Kulturlandschaft .....	61
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>Autoren (in alphabetischer Reihenfolge) .....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>65</b>

## Kurzfassung

Energiepflanzen sind nachwachsende Rohstoffe, die sich aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung und/oder ihres Ertragspotentials besonders für die energetische Nutzung eignen und zum Zweck der Energiegewinnung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen angebaut oder geworben werden. Dabei finden teilweise spezielle, neue oder wieder entdeckte Kulturen Verwendung (z. B. Hirse, Miscanthus), überwiegend werden aber klassische Ackerfrüchte als Energierohstoff angebaut. Aufgezeigt werden mögliche bzw. zu erwartende Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf Umweltgüter einschließlich der damit unmittelbar verbundenen landbaulichen Verwertung der bei der Energiegewinnung anfallenden Rückstände (Gärrückstände, Biomasseaschen) sowie Ansätze zur Lösung von potenziellen Konflikten. Eine darüber hinaus gehende Betrachtung von Prozessen (z. B. die Herstellung der Produktionsmittel, der Betrieb von Biogasanlagen, die Substitution nicht erneuerbarer Energieträger), wie sie für die Erstellung einer Öko- oder Treibhausgas-Bilanz notwendig wäre, wird hier nicht angestellt.

Der Anbau von „Energiepflanzen“ bringt umweltrelevante Veränderungen mit sich durch

- Anpassungen in der Produktionstechnik (z. B. Düngung, Pflanzenschutz, Erntezeitpunkt) beim Anbau heute bereits verbreiteter Kulturarten,
- Anbau neuer Kulturarten (z. B. Kurzumtriebskulturen, Hirse, Miscanthus),
- Veränderung der Gesamtanbaufläche heute bereits etablierter Feldfrüchte,
- Verwertung von Vergärungsrückständen aus Biogasanlagen bzw. Biomasseaschen aus Biomasse-Heizkraftwerken auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Ein zunehmender Anbau von Energiepflanzen kann sich folgendermaßen auf Umweltgüter auswirken (+ = aus ökologischer Sicht positive Auswirkung, – = aus ökologischer Sicht negative Auswirkung,  $\Theta$  = aus ökologischer Sicht negative Auswirkung, die durch produktionstechnische Maßnahmen aber weitgehend vermeidbar ist).

### *Bodenstruktur*

- + Beim Anbau mehrjähriger Energiepflanzen (z. B. Miscanthus, Kurzumtriebskulturen) ist wegen der Abnahme der notwendigen Überfahrten und Bodenbearbeitungsvorgänge und der intensiveren Durchwurzelung des Bodens von einer günstigen Wirkung für die Bodenstruktur auszugehen.
- + Rapsanbau führt zu einer intensiven Durchwurzelung des Bodens.
- ⊖ Beim Anbau von zwei Kulturen im Jahr erhöhen zusätzliche Feldarbeitsgänge das Verdichtungsrisiko. Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaatverfahren würde das Verdichtungsrisiko wegen der besseren Bodentragfähigkeit wieder senken.
- ⊖ Beim Häckseln von Mais, aber auch von Ganzpflanzensilage oder Gras, besteht das Risiko, dass die Böden in feuchtem, verdichtungsempfindlichen Zustand befahren werden. Der Einsatz großer Maschinen und Geräte bei Ernte und Gärsubstratausbringung oder die Erfordernis, die Fahrsilos zügig zu befüllen, erhöhen dieses Risiko. Konsequente Verwendung von Breitreifen mit niedrigem Reifennendruck (max. 1-2 bar) auf dem Feld, reduzierte Radlasten (max. 10 t) sowie angepasste Schlagkraft bei Ernte, Gärsubstratausbringung und Transport sind Voraussetzung für ausreichende Schonung der Bodenstruktur.

- Wegen der notwendigen Überfahrten und Bearbeitungsgänge beim Anbau von Energiepflanzen auf bisherigen Stilllegungsflächen entfällt dort der positive Effekt der Bodenruhe (Regenerationsphase für das Bodengefüge, Verbesserung der Aggregatstabilität in der Krume).

### *Bodenabtrag*

- + In Energiepflanzenfruchtfolgen mit zwei Kulturen pro Jahr verringert der lange Bedeckungszeitraum das Erosionsrisiko. Erfolgt die Bestellung der nicht überwinterten Kultur im Mai/Juni konservierend, ist optimaler Erosionsschutz gegeben.
- + Bei mehrjährigen Kulturen ohne regelmäßige Bodenbearbeitung (*Miscanthus*, Kurzumtriebskulturen) ist das Erosionsrisiko deutlich geringer als im üblichen Ackerbau.
- + Eine Verwertung von Wiesenschnitt in Biogasanlagen könnte die Erhaltung oder Etablierung einer aus Erosionsschutzgründen erwünschten Grünlandnutzung erleichtern.
- ⊖ Unter den Energiepflanzen ist der Mais die Pflanze, die aufgrund ihres großen Reihenabstands und ihrer späten Aussaat als einzige etablierte Frucht das Erosionsrisiko wesentlich erhöhen kann. Wird eine ausreichende Bodenbedeckung zwischen der Vorfrucht (gewährleistet durch Zwischenfrucht nach Getreide) und dem Reihenschließen bei Mais (gewährleistet durch Mulchsaat von Mais) sichergestellt, dann entspricht das vom Mais ausgehende Erosionsrisiko dem von Getreide.
- ⊖ In Fruchtfolgen mit zwei Kulturen pro Jahr fallen der Umbruch im Mai/Juni und die Bestellung der Folgekultur (eventuell eine Sorghum-Hirse mit langsamer Jugendentwicklung) in eine Zeit mit hoher Regenerosivität. In erosionsgefährdeten Lagen sollte die Bestellung deshalb konservierend (pfluglos) erfolgen.
- ⊖ Eine Ausbreitung der Sorghum-Hirse als Hauptkultur würde das Erosionsrisiko erhöhen. Allerdings bietet sich deren künftige Nutzung in Energiepflanzenfruchtfolgen eher als Zweitfrucht nach einer Winterung an (s. o.).
- In Gebieten mit hoher Biogasanlagendichte und dann weitgehend einheitlicher Gewannebewirtschaftung mit Mais werden die Fließwege bei Starkregen verlängert, das Risiko insbesondere von Rinnenerosion nimmt in hängigen Lagen dann stark zu.
- In hängigen Lagen erhöht die etwaige Nutzung stillgelegter Flächen, insbesondere mit Mais, Raps und Gerste das Erosionsrisiko.

### *Humushaushalt*

- + In Kurzumtriebskulturen (schnell wachsende Baumarten) kommt der jährliche Laubfall der Humusbildung zugute.
- ⊖ Die wirtschaftliche Nutzung von pflanzlicher Biomasse zur Energiegewinnung führt dazu, dass weniger Pflanzenreste und damit organischer Kohlenstoff auf den Ackerflächen zurück bleiben als bisher. Besonders betrifft dies die Verwendung der Energiepflanzen für BtL-Kraftstoff, da bei diesem Verfahren der entstandene Rückstand aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung mikrobiell schwer abbaubar und somit ungeeignet für die Humusbildung ist.



- ⊖ Die Rückführung der Gärreste alleine reicht nicht aus zur Erhaltung der Humusvorräte der betroffenen Ackerflächen.
- ⊖ Fruchtfolgen mit zwei Früchten im Jahr und entsprechend häufigerer Bodenbearbeitung und ein verstärkter Anbau von Mais, ein typischer Humuszehrer, führen zu höherem Humusabbau. Neben den bewährten Maßnahmen zur Verbesserung der Humusversorgung kommt auch die Ausbringung von Grüngut in Frage, das in Biogasanlagen nicht oder nur schlecht verwertet werden kann, z. B. überständiges, strukturreiches Gras, gehäckseltes Holzschnittgut aus der Landschaftspflege. Das Belassen von Pflanzenresten (Zwischenfrüchte, Stroh) auf dem Acker dürfte dem Landwirt allerdings gerade in Energiepflanzenfruchtfolgen schwer fallen.
- Ein etwaiger Umbruch von Grünlandflächen zum Anbau von Energiepflanzen führt zu verstärktem Humusabbau, verbunden mit den bekannten negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

#### *Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in den Boden*

- + In Abhängigkeit vom Anbauverfahren und den zu erwartenden Unterschieden beim Pflanzenschutzmitteleinsatz sind gegenüber dem Anbau für Nahrungs- oder Futterzwecke etwas geringere Behandlungsindizes für Biogas-Mais als Zweitkultur sowie für die Produktion von Ganzpflanzensilage aus Getreide und Raps zu erwarten, für die übrigen Energiepflanzenkulturen bleiben sie etwa gleich.
- + Die regionale Erhöhung des Maisanteiles um eine Biogasanlage bei gleichzeitiger Verdrängung von nennenswerten Anteilen intensiverer Kulturen wie z. B. Kartoffeln kann zu einer Verminderung der Behandlungsdichte führen.
- + Kurzumtriebskulturen haben zumindest nach Vornutzung als Acker einen geringeren Pflanzenschutzmitteleinsatz zur Folge.
- Angesichts steigender Nutzungskonkurrenz zwischen Energie- und Nutzpflanzen ist mit einem Anstieg der Zahl von Pflanzenschutzbehandlungen auf bisher extensiver genutzten oder still gelegten Flächen zu rechnen.
- Bei einer Erhöhung der Fruchtfolgeanteile einer Fruchtart ist in der Regel aufgrund eines steigenden Krankheits- und Unkrautdrucks auch mit einem erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu rechnen.

#### *Eintrag von Schadstoffen und Krankheitserregern durch Gärreste und Biomasseaschen in den Boden*

- + Das Abtöten von Krankheitserregern im Biogasprozess ist ein wichtiger positiver Aspekt. Dabei sterben nicht nur Phytopathogene, sondern auch Erreger von Human- und Tierkrankheiten ab. Biogasanlagen mit 2-stufiger Prozessführung weisen ein sehr hohes Hygienisierungspotential auf.

- ⊖ Das Risiko für eine mögliche Schadstoffbelastung von Biogasgärrückständen steigt mit dem Einsatz der folgenden Substrate: ausschließlich Energiepflanzen und/oder Bioabfälle, die zum Bezug des NaWaRo-Bonus berechtigen < Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger < Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger und/oder sonstige Bioabfälle. Bei Vergärung von Schweinegülle zusammen mit Bioabfällen liegen die Kupfer- und Zinkgehalte von Biogasgärrückständen oft oberhalb der in der Bioabfallverordnung genannten Grenzwerte (hohe Gehalte im Ausgangsmaterial, Konzentrationsprozess). Eine landbauliche Verwertung scheidet in diesem Fall aus.
- ⊖ Von Biomasseaschen dürfen nach derzeitiger Rechtslage nur Feuerraumaschen aus der Monoverbrennung von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen (naturbelassenes Holz, Getreidestroh, Ganzpflanzen) landbaulich verwertet werden. Sie müssen die Grenzwerte für Schwermetalle einhalten und einem zugelassenen Düngemitteltyp entsprechen. Zur Vermeidung von Schadstoffanreicherungen ist bei einer landbaulichen Verwertung auf eine möglichst breite Verteilung zu achten.
- ⊖ Pappeln und Weiden aus Kurzumtriebsplantagen enthalten etwa 2-8fach höhere Cadmium- und Zink-Gehalte als halmgutartige Brennstoffe. Durch die relativ große Aufnahmefähigkeit für Schwermetalle sind sie deshalb für die Dekontamination von belasteten Böden geeignet.

#### *Grundwasserneubildung*

- Werden in einem Jahr zwei Kulturen angebaut, insbesondere solche mit hoher Biomasseproduktion, ist die Evapotranspiration pro Jahr höher als bei einer Kultur. Eine verminderte Grundwasserneubildung ist vorstellbar.

#### *Eintrag von Pflanzennährstoffen in Oberflächengewässer und Grundwasser*

- + Beim Anbau von Weizen, Triticale und Roggen für die Ethanolproduktion sowie von Ganzpflanzensilage für Biogasanlagen sind im Vergleich zur Qualitätsgetreideproduktion mit hohem Eiweißgehalt wegen der allenfalls auf niedrigem Niveau notwendigen Spätdüngung deutliche Vorteile hinsichtlich der Nitratbelastung des Grundwassers zu erwarten.
- + Wegen der fehlenden Düngung, des höheren C/N-Verhältnisses des Humus, des hohen Wasserbedarfs während der Vegetationszeit und des hohen Erosionsschutzes unter Kurzumtriebskulturen (s. o.) ist hier gegenüber sonstiger Ackernutzung mit geringeren Einträgen ins Grundwasser und in Oberflächengewässer zu rechnen.
- + Die mit der Energienutzung möglicherweise einhergehende Abnahme des Anbaus von Sommergetreide zu Gunsten von Wintergetreide würde wegen des damit später noch gegebenen Stickstoffbedarfs im Herbst und des früheren Bedarfs an Stickstoff bei Winterausgang ein geringeres Auswaschungs- und Abgasungsrisiko für stickstoffhaltige Verbindungen mit sich bringen.
- + Bei einer verstärkten Nutzung von Grünlandaufwuchs für die Energiegewinnung entfällt der bei der Viehhaltung praktizierte Import von Kraft- und Mineralfutter. Dies hätte letztlich eine Reduzierung des Nitrat- und Phosphoraustrags zur Folge.

- ⊖ Eine der Humusbilanz entsprechende Rückführung des Gärrestes aus Biogasanlagen kann mit der Pflicht zu einer ausgeglichenen Stickstoff- bzw. Phosphorbilanz in Konflikt kommen und zu verstärktem Austrag führen.
- ⊖ Mit dem Risiko der Bodenerosion steigt proportional auch das Risiko des Eintrags von Pflanzennährstoffen in Oberflächengewässer. Der zunehmende Trend zu Zweikulturnutzung (bzw. Zwischenfruchtanbau) verbunden mit konservierender Bodenbearbeitung mildert dieses Risiko durch eine ganzjährige Bodenbedeckung deutlich (siehe oben).
- ⊖ Nach Raps und Mais besteht wegen der relativ hohen „Rest“-N<sub>min</sub>-Gehalte im Herbst ein erhöhtes Risiko der Stickstoffverlagerung ins Grundwasser, wenn keine Gegenmaßnahmen getroffen werden.
- ⊖ Größere Biogasanlagen sind zur Deckung des Substratbedarfs auf den Zukauf aus anderen landwirtschaftlichen Betrieben angewiesen. Zur Vermeidung der Überversorgung der eigenen Flächen und der Nitratverlagerung in das Grundwasser muss der daraus entstehende überschüssige Gärrest abgegeben werden.
- Der etwaige Umbruch von Grünlandflächen zum Anbau von Energiepflanzen führt zunächst zu verstärkter Humusmineralisation und damit zu erhöhtem Risiko für den Austrag von Stickstoff und Phosphor.

#### *Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer und Grundwasser*

- + Bei Kurzumtriebskulturen besteht lediglich nach der Anpflanzung bzw. Aussaat während der Jugendentwicklung der Kultur ein Bedarf für die chemische Unkrautregulierung. Ein Herbizideinsatz kann nur bei Bedarf im Einzelfall genehmigt werden, weil für diese Kulturen keine Präparate zugelassen sind. Während der nachfolgenden Nutzungsperiode ist i. d. R. kein weiterer Pflanzenschutzmitteleinsatz erforderlich. Das Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in oberirdische Gewässer oder das Grundwasser ist daher gegenüber Ackernutzung niedriger.
- ⊖ Mit dem Risiko der Bodenerosion steigt auch das Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer. Der zunehmende Trend zu Zweikulturnutzung (bzw. Zwischenfruchtanbau) verbunden mit konservierender Bodenbearbeitung mildert dieses Risiko durch eine ganzjährige Bodenbedeckung deutlich (siehe oben).

#### *Emission umweltschädlicher Gase*

- + Die Emission von klimawirksamen Spurengasen (z. B. Methan, Distickstoffoxid) aus Böden hängt i. A. wesentlich vom Wasserhaushalt der Böden und von der Verfügbarkeit von Nitrat ab. Ingesamt wird sich der hohe Wasserverbrauch und das niedrigere Düngungsniveau von Kurzumtriebskulturen eher mindernd auf die Spurengasemission auswirken. Auf Flächen mit Kurzumtriebskulturen war die Emission von Lachgas auf ungedüngten Pappelflächen z. B. deutlich geringer ist als auf konventionellen Ackerflächen mit Roggen.
- + Bei der Lagerung und Ausbringung von Biogasgülle ist im Vergleich zu herkömmlicher Gülle eine geringere Emission von Geruchsstoffen, Keimen und Lachgas zu erwarten. Hinsichtlich der Methanemission sind beide Güllen etwa gleich zu bewerten.

- ⊖ Gärreste haben in der Regel höhere Gehalte an Ammonium-N, einen höheren pH-Wert bei gleichzeitig geringeren Trockensubstanzgehalten als unvergorene Wirtschaftsdünger bei gleichem Gesamtstickstoffgehalt. Dem damit verbundenen Risiko erhöhter Ammoniakverluste während und nach der Ausbringung kann mit einem geeigneten Wirtschaftsdüngermanagement (z. B. Wahl des Ausbringungsverfahrens, Berücksichtigung von Temperatur, Windverhältnissen und Konsistenz) und einer möglichst raschen Einarbeitung des Gärrestes wirksam begegnet werden.
- ⊖ Nach Raps und Mais ist gegenüber anderen Kulturpflanzen am meisten Nitrat im Boden vorhanden, was das Risiko klimawirksamer Spurengasemissionen hebt.
- Der etwaige Umbruch von Grünlandflächen zum Anbau von Energiepflanzen führt zu verstärktem Humusabbau verbunden mit verstärkter CO<sub>2</sub>-Emission.

### *Flora*

- + Mit der neuen Form der Nutzung von Pflanzen als Energieträger besteht die Möglichkeit, dass neue Arten Einzug in unsere Kulturlandschaft halten und damit die Artenvielfalt erhöhen, möglicherweise auch durch die Neuansiedlung einer entsprechenden Begleitflora. Dies zeichnet sich heute allerdings noch nicht ab. Vielmehr ist mit zunehmendem Anbau von Energiepflanzen hauptsächlich mit einem zunehmenden Anbau von Raps und Mais zu rechnen.
- + In der Verwertung von strukturreichem Grünlandaufwuchs zur Energiegewinnung oder durch dessen Ausbringung auf Ackerflächen zum Ausgleich der Humusbilanz (s. o.) besteht eine Chance, ökologisch wertvolle Grünflächen weiterhin zu erhalten.
- + Beim Anbau von Kurzumtriebskulturen zeigen die vorliegenden vegetationskundlichen Untersuchungen positive Ergebnisse hinsichtlich der Artendiversität.
- Ein verstärkter Anbau von hoch- und dichtwüchsigen Kulturarten (Mais, Hirse) hat negative Folgen für die Diversität der Flora.
- Die intensivere Nutzung bisher extensiver genutzter Standorte (häufigerer Schnitt von Grünland, Umbruch von Grünland, Auen und anderen feuchten Standorten) gewinnt im Falle einer deutlichen Ausweitung des Energiepflanzenanbaus und der damit verbundenen Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion neuen Auftrieb. Dies gefährdet wertvolle Standorte für heute selten gewordene Arten in unserer Kulturlandschaft.
- Die „Reaktivierung“ von Stilllegungsflächen und eine reduzierte Nutzung von Agrarumweltprogrammen wegen der Konkurrenz durch den Anbau von Energiepflanzen führen zum Verlust von für die Biodiversität des Agrarraums wertvollen Biotopen.

### *Fauna*

- + Neue Kulturen stellen i. d. R. eine Bereicherung der Agrarlandschaft mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Tierwelt dar.
- + Bestände von Kurzumtriebskulturen wiesen gegenüber der angrenzenden landwirtschaftlichen Feldflur einen reicheren Sommervogelbestand und teilweise auch eine größere Vielfalt epigäischer Arthropoden auf.
- + In wald- und strukturarmen Landschaften schaffen Kurzumtriebskulturen für das Wild Rückzugsräume, Deckung und im Winter zusätzliche Äsungsmöglichkeiten.

- + In mehrjährigen Energiepflanzenbeständen können minimale Bodenbearbeitung und Humusanreicherung in der obersten Bodenschicht zu positiven Effekten auf das Bodenleben führen.
- ⊖ Bei maximierter Biomasse-Entnahme und unzureichender Rückführung organischer Substanz (s. o.) kann es zu einem fortschreitenden Humusabbau mit negativen Auswirkungen auf die Bodenfauna kommen.
- Von großer faunistischer Bedeutung ist die Vielfalt an Wildpflanzen, da jede Art i. d. R. einer Vielzahl mehr oder weniger spezialisierter Insektenarten Nahrung bzw. Lebensraum bietet. Die eher negativ zu beurteilende Auswirkung eines verstärkten und einseitigen Energiepflanzenanbaus auf die floristische Diversität (s. o.) lässt diesbezüglich keine positive Entwicklung erwarten. Eine weitere Flächenausdehnung der schon heute dominierenden Kulturen (Mais, Raps, Weizen) würde eine Verarmung der Tiergesellschaften nach sich ziehen. Insbesondere auf typische Offenlandbewohner (darunter Charakterarten der Agrarlandschaft, wie Feldhase, Rebhuhn, Ammern und Lerchen, Greifvögel sowie zahlreiche Insekten) würde sich eine Zunahme monotoner Energiefruchtfolgen mit hoch- und dichtwüchsigen Kulturen eher negativ auswirken.
- In den Boden zurückgeführte Biomasseaschen und Gärrückstände weisen im Vergleich zu herkömmlichen Wirtschaftsdüngern zwar höhere Nährstoffgehalte, aber keine bzw. geringere Energiegehalte auf. Diese Verschiebung könnte sich in dem komplexen Wirkungsgefüge zwischen Edaphon und Humushaushalt auf die strukturelle und funktionelle Vielfalt der Bodenfauna negativ auswirken.
- Der hohe Wasserbedarf massenwüchsiger Pflanzenbestände hat negative Effekte auf viele Bodentiere (z. B. Regenwürmer, Enchytraeen) und damit auch auf deren bodenökologische Leistungsparameter (z. B. Rottedynamik, Lebendverbauung, Makroporosität).
- Die etwaige Nutzung von Stilllegungsflächen oder ein Grünlandumbruch für den Anbau von Energiepflanzen ist aus der Sicht der faunistischen Vielfalt und des Wildschutzes negativ.
- Bei einer Zweikulturnutzung erfolgt die erste Ernte zur Hauptbrut- bzw. Aufzuchtzeit vieler Tierarten im Mai bzw. Juni auf bisher in diesem Zeitraum ungestörten Äckern. Dadurch sind höhere Verluste bei Bodenbrütern und Wild zu erwarten.

### *Landschaftspflege*

- + Kurzumtriebskulturen schaffen insbesondere in wald- und strukturarmen Regionen eine Zunahme der Strukturvielfalt. Durch das vermehrte Vorkommen von Dauerkulturen erhöht sich die Biotopvernetzung.
- ⊖ Ein Anbau von sehr hohen Sorten/Arten von Mais, Miscanthus oder Sorghum-Hirsen kann das Landschaftsbild stören, insbesondere, wenn ihre Anbaufläche deutlich zunimmt. Neu in das Anbausortiment aufgenommene Pflanzenarten, alte Kulturarten und Mischkulturen wie z. B. Agroforstsysteme oder Kurzumtriebskultur können dagegen positiv wirken.
- Grünlandumbruch, insbesondere von Feuchtgrünland, zur Nutzung für Energiepflanzen würde sich in vielen Landschaftsteilen negativ auf das Landschaftsbild auswirken.

- Eine Intensivierung der Grünlandnutzung, z. B. von Salbei-Glatthaferwiesen, zur Nutzung als Energiepflanzen, wirkt sich ebenfalls negativ auf das Landschaftsbild aus.

### **Fazit**

Die künftige Entwicklung des Energiepflanzenanbaus hängt entscheidend von den ökonomischen Rahmenbedingungen (Preisverhältnis für Energie- und Agrarrohstoffe) ab. Veränderungen im Fruchtartenspektrum zeichnen sich bisher kaum ab, an der relativen Vorzüglichkeit des Maisanbaues wird sich auf lange Sicht wenig ändern. Als neue Kulturen bestehen mittelfristig gewisse Potentiale für Sorghum-Hirsen und Gehölze in Kurzumtriebskulturen.

Auch wenn die Fläche der für energetische Zwecke angebauten wichtigsten Kulturpflanzen Raps und Mais für Bayern heute nur etwa 6 bzw. 2 % der Ackerfläche ausmacht, sind einige der mit zunehmendem Anbau verbundenen oder möglichen Probleme bereits real. Dies trifft insbesondere für die bestehenden regionalen Anbauschwerpunkte für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung zu.

Je nach Art und Umfang einer Ausdehnung des Anbaus von Energiepflanzen werden die Auswirkungen auf die Umwelt stärker oder schwächer ausfallen.

Für Bodenstruktur, Bodenerosion, Humusversorgung, Schadstoffeintrag in den Boden und Gewässerschutz werden Möglichkeiten positiver wie auch negativer Auswirkungen gesehen. Letztere können durch angepasste und optimierte produktionstechnische Maßnahmen weitgehend vermieden werden.

Für den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in den Boden und die Emission umweltschädlicher Gase sind ebenfalls positive wie negative Potenziale für die Umwelt zu erkennen.

Überwiegend negative Auswirkungen eines zunehmenden und einseitigen Anbaus von Energiepflanzen sind für die Artenvielfalt (Flora und Fauna) und damit auch für den Wildschutz zu erwarten. Gerade für diese Bestandteile der Kulturlandschaft fehlt es bisher an einfach anwendbaren Indikatoren für deren Wertigkeit.

Von einer Intensivierung der Flächennutzung bei Aufgabe der Stilllegung oder Umbruch von Grünland wird immer eine negative ökologische Wirkung auf nahezu alle Umweltbestandteile ausgehen.

Eine abschließende Beurteilung der Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus ist wegen der verschiedenen Möglichkeiten der Produktionsverfahren, der Komplexität der Zusammenhänge und der fehlenden langfristigen Beobachtungs- und Untersuchungsdaten noch nicht möglich. Ohne konsequente Anwendung der genannten Maßnahmen zur Minderung negativer Auswirkungen wirkt sich aber eine von der Energienutzung initiierte Zunahme der Maisanbaufläche für die Verwertung in Biogasanlagen negativ auf die Umwelt aus. Grünland und - in wald- und strukturarmen Landschaften - die Anlage von Kurzumtriebskulturen von Gehölzen stellen nach heutigem Wissensstand die umweltfreundlichste Art des Anbaus von Energiepflanzen dar.

Insgesamt besteht für die Auswirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus auf die Umwelt noch ein deutlicher Forschungsbedarf.

# Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus

## 1 Definition, Abgrenzung

Energiepflanzen sind nachwachsende Rohstoffe, die sich aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung und/oder ihres Ertragspotentials besonders für die energetische Nutzung eignen und zum Zweck der Energiegewinnung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen angebaut oder geworben werden. Dabei finden teilweise spezielle, neue oder wieder entdeckte Kulturen Verwendung (z. B. Hirse, Miscanthus), überwiegend werden aber klassische Ackerfrüchte als Energierohstoff angebaut.

Die energetische Nutzung der Pflanzen bzw. Pflanzenteile erfolgt entweder nach einer mechanischen Konditionierung direkt in einer Feuerungsanlage oder nach einer oder mehreren Konversionsstufen als flüssiger oder gasförmiger Sekundärenergieträger (z. B. biogener Kraftstoff, Biogas). Zu den heimischen Energiepflanzen gehören Ölsaaten (Raps, Sonnenblume), gut vergärbare Pflanzen (Getreide, Mais, Rüben) und Pflanzen, die sich als Festbrennstoffe besonders eignen (Holzgewächse aus Kurzumtriebskulturen, Getreide und Stroh).

Die weitaus größte Bedeutung für den Anbau von Energiepflanzen in Bayern haben derzeit Raps und Mais. Mais eignet sich aufgrund hoher Massenerträge an geeigneten Standorten, schlagkräftiger Anbau- bzw. Ernteverfahren und guter Gasausbeute hervorragend als Substrat für die Biogaserzeugung. Rapssaat ist das wichtigste Ausgangsprodukt der Biodieselerzeugung. Das Hauptaugenmerk hinsichtlich der Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Umwelt richtet sich deshalb auf diese beiden Kulturen und deren Verwendungszweck.

Bei den biogenen Festbrennstoffen liegt Holz mit weitem Abstand an der Spitze. Derzeit werden in Bayern jährlich rund 4 Millionen Tonnen Energieholz (Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2007) verbrannt.

Ausgehend von den möglichen bzw. zu erwartenden Änderungen in der Anbaufläche und der Produktionstechnik werden mögliche und zu erwartende Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen und der landwirtschaftlichen Verwertung der dabei anfallenden Rückstände (Gärrückstände, Aschen) dargestellt sowie Ansätze zur Problemlösung aufgezeigt. Unter dem Gliederungspunkt 2.3 wird auf wesentliche fruchtartspezifische Umweltwirkungen hingewiesen, unter 3 erfolgt eine Beschreibung der Wirkungen im Hinblick auf die Umweltkompartimente. Eine darüber hinaus gehende Betrachtung von Prozessen (z. B. die Herstellung der Produktionsmittel, der Betrieb von Biogasanlagen, die Substitution nicht erneuerbarer Energieträger), wie sie für die Erstellung einer Öko- oder CO<sub>2</sub>-Bilanz notwendig wäre, wird hier nicht angestellt. Zur Treibhausgasbilanz der energetischen Nutzung von Biogas aus Wirtschaftsdüngern und nachwachsenden Rohstoffen wurde in der LfL-Information „Klimabilanz von Biogasstrom“ berichtet (Bachmaier u. Gronauer, 2007).

Änderungen in der Umweltwirkung eines zunehmenden Anbaus von Energiepflanzen können folgenden Ursachen haben:

- Der Anbau von heute bereits verbreiteten Kulturarten als Energiepflanzen erfordert Anpassungen in der Produktionstechnik (z. B. Düngung, Pflanzenschutz, Erntezeitpunkt).
- Der Anbau neuer Kulturarten (z. B. Kurzumtriebskulturen, Hirse, Miscanthus) hat neue Auswirkungen auf die Umwelt.
- Heute bereits etablierte Früchte nehmen auch bei unveränderter Produktionstechnik über ihre fruchtartspezifischen Auswirkungen einen veränderten Einfluss auf die Umwelt, wenn sich ihre Gesamtanbaufläche ändert.
- Mit der steigenden Zahl von Biogasanlagen und Biomasse-Heizkraftwerken fallen vermehrt Vergärungsrückstände bzw. Biomasseaschen an, deren sinnvolle Verwertung in der Regel in der Aufbringung als Dünger auf landwirtschaftlich genutzte Flächen besteht.

Da für zahlreiche Zusammenhänge bisher konkrete Untersuchungsergebnisse fehlen, beruhen viele Aussagen auf der Umsetzung von Expertenwissen.



## 2 Mögliche bzw. zu erwartende Veränderungen im Anbau von Energiepflanzen

Aigner, Alois; Burger, Frank; Doleschel, Peter; Eder, Joachim; Fritz, Maendy; Gehring, Klaus; Goldhofer, Herbert; Hartl, Lorenz; Hartmann, Stephan; Keymer, Ulrich; Müller, Martin; Sticksel, Ewald; Weigand, Stephan

### 2.1 Veränderungen in der Anbaufläche von heute bereits weit verbreiteten Kulturpflanzen

#### 2.1.1 Bisherige Entwicklung

Der Anbau von Energiepflanzen hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen.

#### Raps

Die Rapsanbaufläche ist im Zeitraum von 1996 bis 2007 von 110.000 ha auf 171.000 ha angewachsen. Raps belegte damit zur letzten Ernte gut 8 % der bayerischen Ackerfläche (AF) (Abb. 1).

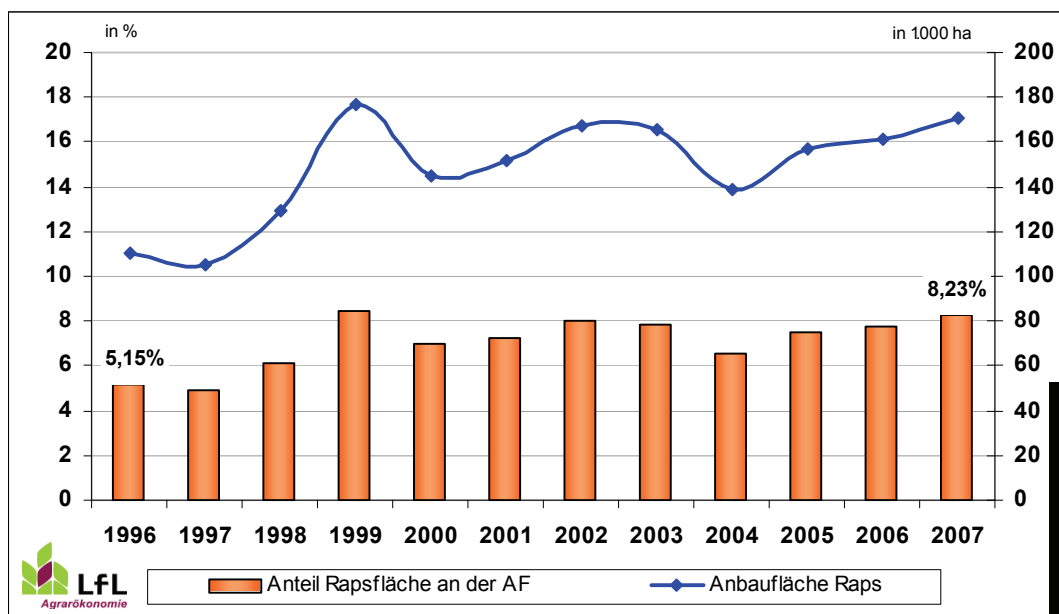


Abb. 1: Rapsanbau (inkl. Rübsen) 1996-2007 in Bayern

Im Jahr 2007 wurde für ca. 8.500 ha eine Energiepflanzenprämie beantragt und der Anbau auf Stilllegungsflächen betrug ca. 30.500 ha. Nach Schätzungen des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten wurden rund 73 Prozent der bayerischen Rapsproduktion (ca. 125.000 ha oder 6 % der AF) zu Biodiesel verarbeitet.

## Mais

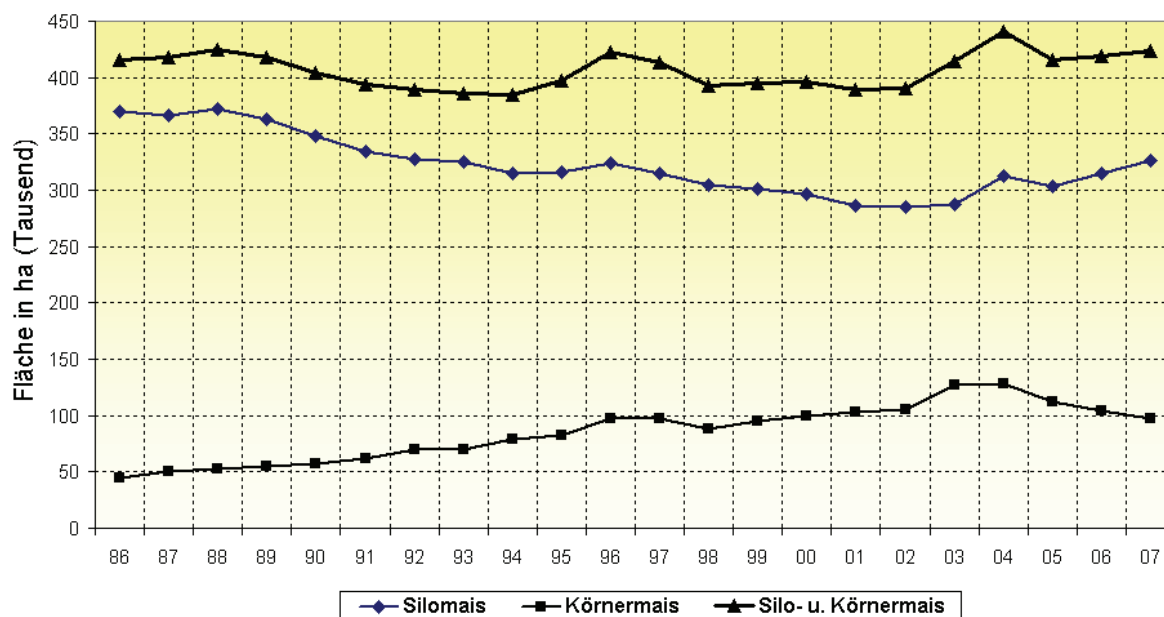


Abb. 2: Maisanbaufläche 1986-2007 in Bayern

Die Maisfläche hat sich in den letzten 20 Jahren nicht wesentlich verändert (Abb. 2). Der Anteil an der AF liegt ziemlich konstant bei 20 %. Jedoch hat sich die Nutzung deutlich verschoben. Mit der Abnahme der Rinderzahl war auch der Silomaisanbau von 1986 bis etwa 2003 deutlich rückläufig. Dessen Anbaufläche sank von 370.000 ha auf 288.000 ha um immerhin 82.000 ha. Fast im selben Umfang expandierte die Anbaufläche von Körnermais und CCM. Seit Beginn des massiven Ausbaus der Biogaserzeugung verschiebt sich das Anbauverhältnis wieder zugunsten des Silomaises. Seit 2003 hat der Silomaisanbau trotz weiter sinkender Rinderzahlen bis 2007 um rund 41.000 ha zugenommen. Gleichzeitig hat die Körnermaisfläche um ca. 30.000 ha abgenommen. Die Dynamik der Entwicklung lässt sich am Anbau von Energiemais (Silomais, LKS und Maisgemenge) zeigen. In den letzten vier Jahren wurde der Anbau von rund 4.000 ha auf 40.500 ha (ca. 2 % der AF) ausgedehnt. In die Biogaserzeugung gingen davon nach Auswertungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung ca. 36.000 ha. Zur Rohstoffversorgung der Biogasanlagen reicht diese Fläche aber bei weitem nicht aus.

Dies zeigt auch das Ergebnis einer Erhebung des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung im Frühjahr 2007 für das Jahr 2007. Demnach wurden für die Verwertung von Pflanzen in Biogasanlagen insgesamt 77.117 ha genutzt. Auf Energiemais entfielen danach rund 41.000 ha.

## Zuckerrüben

Die Zuckerrübenfläche lag 2007 bei etwa 66.000 ha. Die Zuckermarktordnung wird auch zukünftig auf den Anbauumfang in Bayern maßgeblichen Einfluss haben, parallel zur zunehmenden Bedeutung des Non-Food-Bereichs auch im Rübensektor. So hat die Kommission für das Anbaujahr 2007 eine vorsorgliche Marktrücknahme in Höhe von 13,5 % beschlossen, während die Südzucker AG im aktuellen Anbaujahr die Abnahmequote für Industrierüben deutlich angehoben hat (Abb. 3).

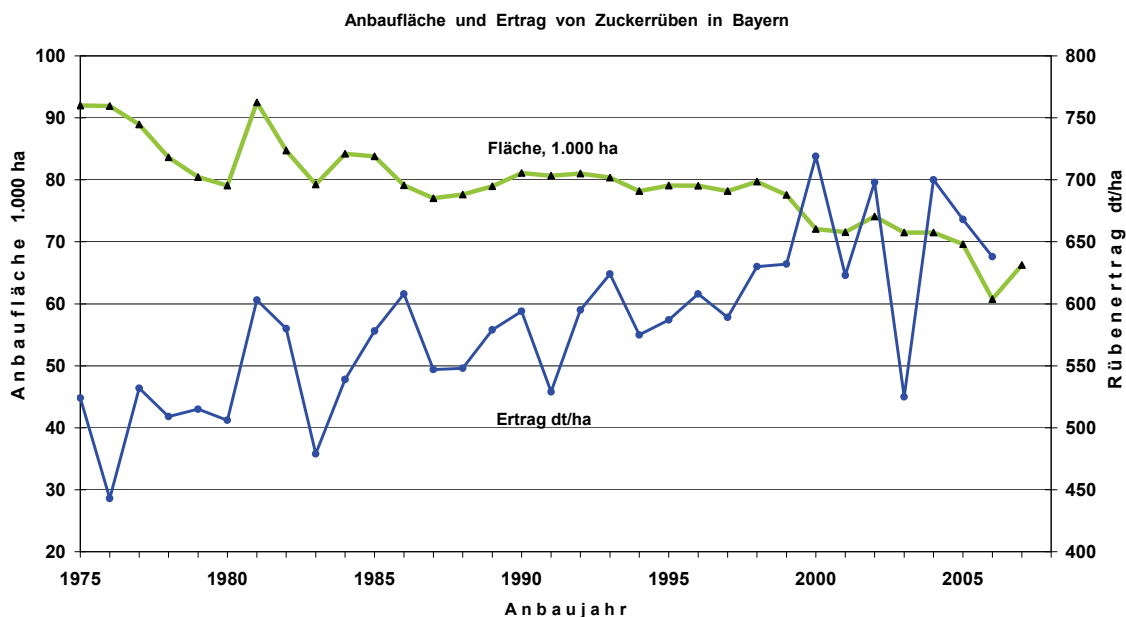


Abb. 3: Anbaufläche und Ertrag von Zuckerrüben in Bayern

Einen deutlichen Anteil an der aktuellen Flächenausdehnung hat auch der Ethanolrübenanbau (E-Rübenkontingent: Verbandsgebiet Bayern 225.000 t, Verbandsgebiet Franken 105.000 t). Landwirte, die Ethanolrüben gezeichnet haben, mussten diese im Jahr 2007 zu 50 % verpflichtend beliefern. Ab 2008 (100 %ige Mengenerfüllung) könnte der dafür notwendige Flächenumfang bei bis zu 5.000 ha liegen. Eine weitere Ausdehnung des E-Rübenanbaus erscheint allerdings aufgrund der derzeitigen Rahmenbedingungen eher unwahrscheinlich.

## Energiegetreide

Im Jahr 2007 wurden rund 19.600 ha für Biogasanlagen und rund 15.000 ha für Biokraftstoffe (Ethanol) angebaut. Damit werden knapp 2 % der AF zum Energiegetreideanbau genutzt.

Mit dem Wegfall der Stilllegungsverpflichtung ab 2008 wird der Anbau von Energiegetreide möglicherweise deutlich an Wettbewerbskraft verlieren.

## 2.1.2 Zukünftige Entwicklung

### 2.1.2.1 Grundsätzliches

Wie sich die Anbauflächen für Energiepflanzen zukünftig entwickeln werden, hängt entscheidend vom politischen Willen bzw. den Rahmenbedingungen ab.

Im Treibstoffbereich beispielsweise erwartet die EU von ihren Mitgliedern geeignete Maßnahmen, um sicherzustellen, dass bis 2010 ein Mindestanteil von 5,75 % aller Otto- und Dieselkraftstoffe, gemessen am Energieinhalt, durch Biokraftstoffe und andere erneuerbare Kraftstoffe gedeckt wird (Richtlinie 2003/30/EG). Deutschland unterstützt den Einsatz von Pflanzenöl, Biodiesel und Bioethanol als Reinkraftstoff durch Steuervergünstigungen und erzwingt die Beimischung zu fossilen Treibstoffen durch steigende Pflichtquoten (Tab. 1) mit dem Ziel, die Sicherheit der Energieversorgung zu verbessern und den Ausstoß von klimarelevanten Treibhausgasen zu vermindern. Die Herkunft der biogenen Kraftstoffe oder der Rohstoffe zu ihrer Erzeugung unterliegt dabei bisher keiner Beschränkung. (Rohstoff-)Importe konkurrieren deshalb mit der heimischen (Rohstoff-)Erzeugung, die ihrerseits - zumindest bei biogenen Kraftstoffen der ersten Generation - mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion im Wettbewerb steht. Zur Zeit verliert der Energiepflanzenanbau aufgrund der anziehenden Agrarpreise und der Energiesteuergesetzgebung deutlich an Wettbewerbskraft (Tab. 2).

Tab. 1: Mindestanteile von Biokraftstoffen bezogen auf den Energiegehalt in % (Biokraftstoffquotengesetz)

Pflichtquoten	2007	2009	2010	2011	2012	ab 2015
Biokraftstoffanteil - Diesel	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Biokraftstoffanteil - Ottokraftstoff	1,2	2,8	3,6	3,6	3,6	3,6
Biokraftstoffanteil – Diesel und Ottokraftstoff	-	6,25	6,75	7,0	7,25	8,00

Tab. 2: Besteuerung von Biokraftstoffen in Ct/l (Energiesteuergesetz)

	2007	2008	2009	2010	2011	ab 2012
Diesel + Beimischung Biodiesel	47,04	47,04	47,04	47,04	47,04	47,04
Biodiesel B100 <sup>1)</sup>	7,10	13,14	19,70	26,00	32,30	44,90
Pflanzenöl-Reinkraftstoff <sup>1)</sup>	-	8,15	16,55	24,95	32,30	44,90
Pflanzenöl-Reinkraftstoff (LuF) <sup>1)</sup>	-2,35	-1,85	-1,45	-1,05	-0,70	-0,10
Ottokraftstoff-Beimischung	65,45	65,45	65,45	65,45	65,45	65,45
Bioethanol E85 <sup>1)</sup>	-	abhängig von Überkompensation				

1) wird nicht auf Pflichtquote angerechnet

### 2.1.2.2 Biodiesel-Rapssaat

Der Mineralölwirtschaftsverband rechnet mit einem Dieserverbrauch von 30,2 Millionen Tonnen (Mt) im Jahr 2006 und prognostiziert bis 2010 auf Grund des steigenden Bestands an Diesel-Pkw und des zunehmenden Straßengüterverkehrs ein Anwachsen auf 31,3 Mt. Danach überkompensieren der sinkende spezifische Kraftstoffverbrauch und die geringeren Fahrleistungen die weitere Zunahme der Diesel-Pkw, was bis 2020 zu einer Verringerung des Dieserverbrauchs auf 28,6 Mt führen soll (MWV-Prognose 2025). Rund 18 % des gesamtdeutschen Verbrauchs entfallen auf Bayern. Wollte man entsprechend der bisherigen Zielvorgaben Biodiesel aus heimischem Raps herstellen, hätte man 2006 mit einem durchschnittlichen Ertrag von 37,6 dt/ha in Bayern nur rund 85.000 ha oder 52 % der Rapsanbaufläche benötigt. Auch zukünftig lassen sich die Zielvorgaben knapp erreichen, wenn das theoretische Rapsflächenpotential, das rund 350.000 ha beträgt, zunehmend ausgeschöpft würde (Tab. 3).

Tab. 3: Biodiesel – Pflichtquoten (D), Zielvorgaben der EU und Massen für Bayern

	Einheit	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020
Pflichtquote (Zielvorgabe)	%	(2,0)	4,4	4,4	6,25 <sup>1)</sup>	6,75 <sup>1)2)</sup>	8,0 <sup>1)</sup>	8,0 <sup>1)</sup>
Diesel-Verbrauch	Mt	5,46	5,53	5,57	5,64	5,66	5,52	5,17
Biodiesel-Bedarf	Mt	0,13	0,28	0,28	0,41	0,44	0,51	0,48
Notw. Rapsfläche	1.000 ha	85,43	188,54	187,90	267,69	287,16	315,54	281,53
Anteil an der AF 2006	%	4,1	9,0	9,0	12,8	13,8	15,1	13,5
Energiedichte Dieselkraftstoff: 43,96 MJ/kg; Energiedichte Biodiesel: 37,2 MJ/kg; Ø Rapsertag: 37,5 dt/ha; 41 % Ölgehalt; 2 % Besatz, Ölausbeute: 99 %; Ertragssteigerung: 1%/a								
1) Annahme: Pflichtquote für Diesel- und Ottokraftstoff 2) Zielvorgabe EU 5,75 %								

Einen gleichbleibenden Anteil von 40 % der produzierten Ölmenge 2006 für Zwecke der Ernährung und der stofflichen Nutzung unterstellt, könnten 2010 rund 6,5 % und 2020 ca. 8,1 % des Dieselbedarfs aus Raps bayerischer Erzeugung substituiert werden. Realistischer ist aber die Annahme, dass ein Teil des Rapsöls durch die Beimischung billigerer Pflanzenöle (Soja- oder Palmöl) ersetzt werden kann, ohne die Kraftstoffnorm für Biodiesel (Norm DIN EN 14214) zu verletzen.

Ökonomisch konkurrenzfähig zu fossilem Kraftstoff ist Biodiesel derzeit nicht. Die Entwicklung des heimischen Rapsanbaus zur energetischen Nutzung hängt also letztendlich vom politischen Willen ab, Biokraftstoffe zu unterstützen.

### 2.1.2.3 Biogas-Mais

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat, wie vom Gesetzgeber beabsichtigt, die Stromerzeugung aus Biogas an bzw. über die Schwelle der Wirtschaftlichkeit gebracht. Mit der Energiepflanzenvergärung hat sich Biogas zu einer leistungsstarken und effizienten Technologie entwickelt. Trotzdem steht die Biogaserzeugung unter Druck. Auf der Einnahmenseite deckelt das EEG die Stromvergütungen. Auf der Ausgabenseite führte die Verteuerung der Agrarrohstoffe im Erntejahr 2007 zu einem massiven Anstieg der Rohstoffkosten. Der Boom der letzten drei Jahre hat deshalb ein abruptes Ende gefunden. Schon jetzt zeichnet sich ab, dass die Rohstoffkosten - sofern der Trend anhält - die Wirtschaftskraft von Bestandsanlagen, die keine oder nur eine marginale Wärmenutzung nachweisen können, überfordern. Verharren die Agrarpreise auf dem derzeitigen Niveau, wird bei der anstehenden Novellierung der Erhalt des EEG in seinen Grundzügen nicht ausreichen, die nachhaltige Weiterentwicklung der Biogasbranche zu sichern.

Im Jahr 2006 war noch unter günstigeren Rahmenbedingungen prognostiziert worden, dass sich in den nächsten Jahren die installierte elektrische Leistung im Vergleich zum Jahr 2006 (258 MW) nochmals verdoppelt. Der Anbau von Biogas-Mais würde dann weiter deutlich zunehmen, da andere Fruchtarten mit einem ähnlichen Ertragspotential für die Biogasproduktion derzeit nicht verfügbar sind. Auch eine Verdoppelung der elektrischen Leistung bedeutet aber nicht notwendigerweise eine Verdoppelung der Anbaufläche für Biogas-Mais. Einerseits sind die prozessbiologischen und technischen Effizienz-Potentiale der Energiepflanzenvergärung bei weitem noch nicht ausgeschöpft, andererseits ist auch in der Maiszüchtung mit weiteren Fortschritten zu rechnen, die eventuell in die Entwicklung spezieller Biogas-Maissorten münden werden. Sinkt die Rinderzahl weiter wie bisher, werden ca. 4.000 bis 5.000 ha Silomaisfläche pro Jahr nicht mehr für die Fütterung benötigt und stünden für die Biogasproduktion zur Verfügung.

### 2.1.2.4 Bioethanol-Getreide

Der anhaltende, steuerlich geförderte Trend zu Dieselfahrzeugen und der sinkende spezifische Verbrauch bei Neufahrzeugen führen zu einem stetig abnehmenden Benzinverbrauch. Im Jahre 2006 ist er gegenüber dem Vorjahr um 0,8 Mt auf 22,6 Mt abgesunken. Im Jahr 2020, so die Einschätzung des Mineralölwirtschaftsverbandes, beträgt der Verbrauch nur noch 15,6 Mt. Verglichen mit 2006 entspricht das einem Minus von 31 %. Der bayerische Anteil am Benzinverbrauch beträgt ca. 16 %. Die Substitution von Ottokraftstoff durch Bioethanol entsprechend der Mengenziele lässt sich, wie Tab. 4 zeigt, mit einem relativ geringen Flächeneinsatz erreichen – hier gerechnet auf Basis von Winterweizen. Natürlich sind auch andere Ackerfrüchte, wie zum Beispiel Roggen, Triticale oder Körnermais für die Vergärung geeignet. Mit Zuckerrüben ließe sich der Flächenbedarf nochmals deutlich senken.

Tab. 4: Ethanol - Zielvorgaben und Massen für Bayern

	Einheit	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020
Pflichtquote (Zielvorgabe)	%	(2,0)	1,2	2,0	6,25 <sup>1)</sup>	6,75 <sup>1)2)</sup>	8,0 <sup>1)</sup>	8,0 <sup>1)</sup>
Ottokraftstoffverbrauch	Mt	3,72	3,62	3,54	3,46	3,38	2,95	2,57
Ethanol-Bedarf	kt	212,00	70,67	115,11	351,36	370,43	383,35	334,09
Notw. Getreidefläche	1.000 ha	59,56	34,44	55,54	167,85	175,21	172,52	143,06
Anteil an der AF 2006	%	2,9	1,7%	2,7%	8,0%	8,4%	8,3%	6,9%
Energiedichte Ottokraftstoff: 43,54 MJ/kg; Energiedichte Ethanol: 26,78 MJ/kg; Ethanol-dichte: 0,79; Ausbeute: 37,3 l Ethanol/dt Weizen; Weizenertrag 69 dt/ha; Ertragssteigerung: 1%/a								
1) Annahme: Pflichtquote für Diesel- und Ottokraftstoff 2) Zielvorgabe EU 5,75 %								

Wie schon bei Biodiesel angemerkt: Mit fossilem Kraftstoff kann Bioethanol derzeit nicht konkurrieren. Die Entwicklung des Energiegetreidefläche hängt vom politischen Willen ab, Biokraftstoffe zu unterstützen.

## 2.2 Veränderungen im Fruchtartenspektrum

### Sorghum-Hirsens

Erfolgsversprechende Potentiale zeigen sich bei *Sorghum-Hirsens*. Diese haben ein hohes Ertragspotential und bieten sich wegen ihrer großen Trockentoleranz als Folgefrucht nach einer winterannuellen Frucht wie Getreide an, die als Ganzpflanze geerntet wurde. Ein weiterer Vorteil der Sorghum-Hirsens als ergänzende Energiefrucht ist die Verwendbarkeit herkömmlicher Anbau- und Ernteverfahren. Allerdings wird es bei entsprechender züchterischer Bearbeitung noch einige Jahre dauern, bis adaptierte Sorten angeboten werden können.

### **Neue und wiederentdeckte Kulturarten als Energiepflanzen**

Zur Zeit wird in landes- und bundesweiten Forschungsvorhaben die Eignung neuer und wiederentdeckter Kulturarten als Energiepflanzen untersucht. Dazu zählen beispielsweise *Sonnenblumen*, *Topinambur*, *Durchwachsende Silphie*, *Hanf*, *Amarant*, *Markstammkohl*, *Bokharaklee* und viele weitere. Alle diese Kulturen liegen im Hinblick auf die züchterische Anpassung an die Nutzung als Energielieferanten noch weit hinter den aktuellen Maissorten zurück. Wegen ihrer derzeit ungünstigen Anbauwürdigkeit ist nicht mit einer raschen Veränderung im Fruchtartenspektrum zu rechnen. Sehr viel schneller werden veränderte Fruchtfolgen mit zwei Ernten im Jahr, wie bei den Sorghum-Hirsen erwähnt, auf geeigneten Standorten Eingang in die Praxis finden. Insgesamt gesehen wird sich aber an der relativen Vorzüglichkeit des Maisanbaues auf lange Sicht wenig ändern.

### **Kurzumtriebskulturen**

Als neue Fruchtart auf landwirtschaftlichen Flächen können auch Kurzumtriebskulturen von Gehölzen (in folgendem „Kurzumtriebskulturen“, sonst auch „Energiewald“, „Kurzumtriebsplantagen“ oder „KUP“ genannt) angesehen werden. Darunter versteht man Anpflanzungen von schnellwachsenden und stockausschlagfähigen Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen in sehr kurzen Produktionszeiträumen zur Erzeugung von Biomasse. Die am häufigsten verwendeten Baumarten sind *Pappeln* oder *Weiden* (möglich sind auch *Robinien* oder *Erlen*). Nahezu alle landwirtschaftlich genutzten Standorte sind für den Anbau schnellwüchsiger Baumarten geeignet. Besonders empfehlenswert sind Standorte mit guter Wasserversorgung. Die Acker- oder Bodenzahl ist nach Erfahrungen der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) wenig geeignet, einen Standort bezüglich der Anbaueignung für Kurzumtriebskulturen zu beurteilen. Der Anbau schnellwachsender Baumarten bindet Ackerfläche auf einen Zeitraum von bis zu 30 Jahren.

Die Kurzumtriebskulturen stehen in Konkurrenz zu anderen Ackerkulturen, die zumindest auf den relativ guten Standorten in Zukunft auch eine andere interessante Flächenverwertung erwarten lassen. Die Nutzung von Holz aus Kurzumtriebskulturen in der Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Nutzung ergibt aber höhere Netto-Energieerträge pro Hektar als z. B. Kraft-Wärme-Nutzung aus Mais-Biogas (Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2007). Kurzumtriebskulturen haben - insbesondere bei Berücksichtigung des geringen Energieaufwands für Anlage und Pflege der Kulturen - die höchste Energieeffizienz auf Biomasseflächen in Deutschland bei Nutzung als Brennstoff.

Der Anbau von Kurzumtriebskulturen wird voraussichtlich dann eine nennenswerte Rolle spielen, wenn das Ziel der höchstmöglichen Netto-Energieerzeugung bzw. CO<sub>2</sub>-Reduktion mit Biomasse auf den begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen in Deutschland verfolgt wird und wenn sich die im Vergleich zu anderen Kulturen ökologischen Vorteile in den Rahmenbedingungen und der Förderung widerspiegeln.



## **2.3 Mit dem Anbau von Energiepflanzen verbundene Anpassung bestehender bzw. Einführung neuer Produktionstechnik**

### **2.3.1 Grundsätzliches**

- Da ein hoher Eiweiß- und Aschegehalt für Energiepflanzen nicht entscheidend ist, sondern ein hoher Ertrag an gebundenem Kohlenstoff erzielt werden soll, wird sich gegenüber Nichtenergiepflanzen derselben Art die Düngemenge für Stickstoff eher verringern als erhöhen. Allerdings werden Flächen, die mit mehr als einer Frucht pro Jahr bestellt werden, insgesamt mit mehr Nährstoffen pro Fläche und Jahr versorgt werden müssen.
- Mit abnehmender Zahl von Fruchtarten in der Fruchtfolge steigt das Risiko für das Auftreten von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern. Damit wären erhöhte Vorsorge- und Bekämpfungsmaßnahmen notwendig.
- Die intensivere Nutzung bisher weniger intensiv genutzter Standorte (höhere Düngung und/oder häufigerer Schnitt von Grünland, Umbruch von Grünland, Auen und anderen feuchten Standorten) gewinnt im Falle einer Ausweitung des Energiepflanzenanbaus und der damit verbundenen Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion neuen Auftrieb.
- Die wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeit von Biomasse wird dazu führen, dass weniger Pflanzenreste (organische Substanz) auf den Ackerflächen zurück bleiben als bisher.
- Beim Betrieb von Biogasanlagen und Biomasse-Heizkraftwerken fallen Vergärungsrückstände bzw. Biomasseaschen an, deren sinnvolle Verwertung in der Regel in der Aufbringung als Dünger landwirtschaftlich genutzter Flächen besteht. Mit einem zunehmenden Anbau von Energiepflanzen zur Verwertung in Biogasanlagen wird sich der Einsatz dieser Rückstände erhöhen.

### **2.3.2 Raps (und Sonnenblumen) zur Treibstoffgewinnung und Biogaserzeugung**

In der Produktionstechnik gibt es zwischen Food- und Non-Food-Raps keinen Unterschied. Primäres Ziel ist aktuell und in Zukunft die Erzeugung der größtmöglichen Ölmenge pro Hektar.

Eine erhöhte Umweltbelastung durch den Rapsanbau kann von fruchtartspezifischen negativen Eigenschaften ausgehen, die sich mit einem künftig zunehmenden Anbau, auch bei regionaler Konzentration, verschärfen. Raps hinterlässt nach der Ernte relativ hohe Stickstoffmengen im Boden (Tab. 8) und erhöht damit das Risiko des Austrags von klimaschädlichen Gasen und Nitrat. Dies ist insbesondere dann kritisch zu betrachten, wenn die Anbauflächen solche Emissionen begünstigen.

Bezogen auf die verfügbare Ackerfläche einer Anbauregion ist der Rapsanteil im vergangenen Jahr 2007 mit 6,2 % in Niederbayern bis 12,7 % im Hauptanbaugebiet Unterfranken auf den ersten Blick als „unkritisch“ einzustufen. Der Anteil des Rapses, der 2006 im Einzelbetrieb in einer viergliedrigen oder noch weiteren Fruchtfolge stand, also unter 25 % an der Ackerfläche, ist nach eigenen Auswertungen von 72,2 % auf 74,8 % gestiegen. In einer theoretisch dreigliedrigen Fruchtfolge stand letztes Jahr rund 12 % des Rapses gegenüber 14,6 % im Jahr 1994 („theoretisch“ deswegen, weil die InVeKoS-Auswertung immer nur eine Momentaufnahme im Einzelbetrieb darstellt, und nicht den Nachweis über die Fruchtfolge auf der Einzelfläche über die Jahre ermöglicht).

Durch die Ausdehnung der Verarbeitungskapazitäten von Rapssaat und Rapsöl wird die Nachfrage nach dem Rohstoff Körnerraps zunehmen. Unter Einhaltung einer 4-jährigen Fruchtfolge und auf Basis der InVeKoS Angaben 2005 hat das Institut für Agrarökonomie ein mögliches Rapsanbaupotenzial von etwa 350.000 ha für ganz Bayern errechnet. Das heißt, eine Verdoppelung des derzeitigen bayerischen Rapsanbau wäre durchaus realistisch. Die Landkreise im Tertiären Hügelland von Passau bis München, wo derzeit noch regional ein geringer Anteil Raps in der Fruchtfolge steht, wären für den neuen Verarbeitungsschwerpunkt in Straubing somit ein geeignetes Einzugsgebiet. Aus Fruchtfolgegründen betrachtet ist dieser neue Verarbeitungsschwerpunkt somit gut positioniert, wenn es gelingt, den Rapsanbau in dieser Region unter Beachtung der gebotenen Fruchtfolge auszuweiten bzw. in Marktfruchtbaubetrieben neu zu etablieren.

Theoretisch kommen für die Ölgewinnung auch Sonnenblumen in Frage. Wegen des hohen Wärmeanspruchs dieser Ölfrucht hat sich der Anbau mittlerweile wieder auf die unterfränkischen Kernanbaulagen um Kitzingen zurückgezogen und betrug 2007 nur mehr rund 2.500 ha in ganz Bayern. Unter diesem Gesichtspunkt können die Sonnenblumen für diese Betrachtung außer Acht gelassen werden.

Sowohl Raps als auch Sonnenblumen werden aufgrund ihres hohen Ölgehaltes als mögliche Substrate für die Biogaserzeugung diskutiert. Die künftige Einsatzmenge und Anbaufläche sind z. Z. nicht einschätzbar. Auch für den Misanbau von Sonnenblumen und Mais stehen keine Angaben zur Verfügung.

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unterscheidet sich nicht vom herkömmlichen Anbau von Food-Raps. Auch im Hinblick auf eine Optimierung der Netto-Energiebindung ist eine entsprechende Pflanzenschutzintensität nötig (Deike et al., 2006).

Wird Raps zur Gewinnung von Ganzpflanzensilage (GPS) angebaut, bestehen beim Pflanzenschutzmitteleinsatz gegenüber dem Konsum-Raps-Anbau relativ geringe Einsparmöglichkeiten. Lediglich die in Bayern ohnehin selten praktizierte Vollblütenspritzung kann in der Regel entfallen und der Wachstumsreglereinsatz im Frühjahr geringfügig reduziert werden. Bei Herbiziden und Insektiziden ergeben sich zumeist keine Änderungen.

### 2.3.3 Biogas-Mais

Die Produktionstechnik für Mais zur Bioenergieerzeugung unterscheidet sich nicht wesentlich von der zur Nahrungs- oder Futtermittelproduktion. So werden für Körnermais zur Bioethanolerzeugung derzeit keine anderen Qualitäten diskutiert, als sie für die Stärkeindustrie oder für den Futtermittelbereich bereits erzeugt werden.

Eine erhöhte Umweltbelastung durch den Maisanbau kann somit überwiegend von fruchtartspezifischen negativen Eigenschaften ausgehen, die sich mit einem zunehmenden Anbau verschärfen, z. B. in unmittelbarer räumlicher Nähe von Verarbeitern (Biogas, Ethanol). Dies ist insbesondere dann kritisch zu betrachten, wenn diese Flächen für den Maisanbau wenig geeignet sind.

Ein Anbau gentechnisch veränderter Maissorten mit einer besonderen Eignung für die Energieproduktion erfolgt derzeit nicht und ist mittelfristig auch nicht zu erwarten. Spezielle Qualitäten, die über gentechnische Veränderungen erzeugt werden könnten, sind bislang für die Biogasproduktion nicht verfügbar.

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln beschränkt sich beim Biogas-Mais nahezu ausschließlich auf den Herbizideinsatz. Damit bestehen keine grundsätzlichen Unterschiede zum Maisanbau für Futterzwecke. Zur Ertragsoptimierung muss in beiden Fällen das empfindliche Jugendwachstum des Maises abgesichert werden. In Abhängigkeit vom schlag-spezifischen Unkraut- bzw. Ungrasdruck kommen daher die gleichen Kombinationen und gegebenenfalls auch Spritzfolgen aus blatt- und bodenwirksamen Präparaten zum Einsatz. Die Ansicht, eine gewisse Spätverunkrautung bei der Biogasverwertung sei tolerierbar, ist nicht vertretbar, da mögliche Ertragsdepressionen und das Risiko einer stärkeren Verunkrautung in den Folgejahren von den Produzenten in der Regel nicht in Kauf genommen werden.

Lediglich beim Anbau von Mais als Zweitkultur nach einer winterannuellen Erstkultur mit Ganzpflanzensilagenutzung ergeben sich Einsparmöglichkeiten beim Herbizideinsatz. In Abhängigkeit von der Restverunkrautung nach Ernte der Vorkultur (Herbizidvorbehandlungen, Unkrautunterdrückungsvermögen, usw.), der Intensität der nachfolgenden Bodenbearbeitung (Neuaufbau von Unkräutern/Ungräsern) und den Auflaufbedingungen für den Mais (Saattermin, Bodenfeuchte, usw.) können die Aufwandmengen entsprechend reduziert werden. Insbesondere die Dauerwirkung über bodenwirksame Präparate ist aufgrund des rascheren Reihenschlusses und der geringeren Gefahr mehrerer Auflaufwellen von Unkräutern bzw. Ungräsern weniger stark gefordert. Daher sollten in vielen Situationen Einfachbehandlungen mit vorwiegend blattaktiven Präparaten ausreichen.

Ein vermehrtes Auftreten von Krankheiten oder Schädlingen in den Maisbeständen in Gebieten mit hoher Anbaukonzentration (z. B. Körnermaisbau im südlichen Landkreis Passau) war bislang nicht zu beobachten.

Eine vermehrte Schädigung durch den Maiszünsler ist im Wesentlichen abhängig von klimatischen Faktoren und den Möglichkeiten der Bodenbearbeitung und weniger von der Anbaukonzentration. Der Einsatz von Insektiziden zu seiner Bekämpfung beschränkt sich deshalb vor allem auf bestimmte Gebiete in Nordbayern.

Weitaus gravierendere Auswirkungen, speziell auf den in der näheren Umgebung von Biogasanlagen weit verbreiteten Anbau von Mais als Monokultur hätte eine weitere Ausbreitung des 2007 erstmals auch in Bayern aufgetretenen Westlichen Maiswurzelbohrers. Eine wirksame Bekämpfung kann durch Einhalten einer Fruchtfolge mit einer mindestens einjährigen Anbaupause auf dem betroffenen Schlag und weiteren Vorsichtsmaßnahmen erfolgen, welche bei den aktuellen Quarantäne-Maßnahmen auch entsprechend angeordnet werden. Chemische Bekämpfung über Saatgutbeizung, Granulatausbringung und spätere Flächenspritzungen stellen weitere flankierende Maßnahmen dar. Auf Grund der bisherigen Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses Schädling in Europa ist kaum mit einer raschen Etablierung in Bayern zu rechnen. Dies ist jedoch entscheidend von der Wirksamkeit der laufenden Bekämpfungsmaßnahmen abhängig.

### 2.3.4 Energiegetreideanbau

Bei der Frage, ob mit der Nutzung von Getreide als Energiepflanze Änderungen im Pflanzenbau einhergehen, scheint es sinnvoll, die Nutzung *Ethanolgetreide*, *GPS zur Biogaserzeugung* und *Verbrennung der Ganzpflanze* bzw. des *Korns* zu unterscheiden. Da 43 % der Biogasanlagen Bayerns Getreide-GPS einsetzen (Röhling und Keymer, 2007), ist für diese Nutzungsrichtung die größte Flächenrelevanz und somit Umweltwirkung zu unterstellen.

Grundsätzlich ist bei den diskutierten Formen der energetischen Nutzung von Getreide der Protein- und Mineralstoffgehalt unbedeutend oder es wird sogar ein möglichst geringer angestrebt. Folglich wird sich beispielsweise die Stickstoff-Spätdüngung am Optimalertrag ausrichten und bei Weizen gegenüber der Qualitätsweizenproduktion reduzieren. Gleiches gilt für die Düngung mit P und K, deren Gehalte insbesondere bei der thermischen Verwertung möglichst gering zu halten sind. Auch Spurenelemente wie Chlorid sind bei der energetischen Verwertung eher nachteilig. Gerade die späten N-Düngermengen, die relativ schlecht vom Getreide genutzt werden und teilweise im Boden verbleiben, werden reduziert. Von einer Verringerung des N-Austrag kann ausgegangen werden.

### **Erzeugung von Ethanolgetreide**

Die Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes ist vergleichbar mit der bei der Erzeugung von Getreide zur Nahrungs- oder Futtermittelproduktion. Dies betrifft den Einsatz von Herbiziden, Wachstumsreglern und Insektiziden. Hinsichtlich der pilzlichen Erkrankungen müssen Fusariosen besonders beachtet werden, da sich die Ausgangskonzentration von Mykotoxinen bei den im Produktionsprozess gewonnenen Futtermitteln (Schlempe bzw. Trockenschlempe (DDGS)) mehrfach erhöht. Daher liegen die Grenzwerte bei der Anlieferung von Ethanolgetreide (0,5 bis 1,0 mg DON/kg, je nach Verarbeiter) zum Teil deutlich unter dem EU-Grenzwert für die Nahrungsmittelproduktion (1,25 mg DON/kg). In Abhängigkeit von den entsprechenden Risikofaktoren (Vorfrucht, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Witterung) ist daher gegebenenfalls zusätzlich eine gezielte Fusariumbehandlung notwendig.

### **Getreide-GPS-Produktion für Biogasanlagen**

Bei der GPS-Produktion für Biogasanlagen ist aufgrund des früheren Erntetermins und der geringeren Bedeutung von Ährenkrankheiten von einer geringeren Intensität des Pflanzenschutzes auszugehen. Weiter ist zu erwarten, dass eher langstrohige Sorten angebaut werden, da der Gesamtpflanzenertrag und nicht der Kornertrag die entscheidende Größe darstellt. Langstrohige Sorten lassen positive Effekte für die Umwelt erwarten, da sie gegenüber Unkräutern konkurrenzstärker sind. Da durch den früheren Erntetermin der Bestand z. T. vor der Samenreife der Unkräuter und Ungräser genutzt wird und zudem von Unkräutern und Ungräsern beim Häckseln keine nennenswerten Ernteerschwerisse ausgehen, kann der Herbizideinsatz reduziert werden. Auf Halmverkürzung ist kaum zu verzichten, da Lagergetreide schwer zu beernten ist und ein hoher Schmutzgehalt die Funktion des Fermenters beeinträchtigt.

Der frühe Erntetermin erleichtert den Anbau einer zweiten Kultur, was mit positiven und negativen Wirkungen auf die Umwelt (Stofftransport, Erosion, Flora, Fauna, Kulturlandschaft, Humushaushalt) verbunden sein kann (siehe Kap. 3).

Aufgrund des höheren Ertragspotentials hätte Wintergetreide gegenüber Sommergetreide einen ökonomischen Vorteil. Eine damit gegebene Begrünung im Winterhalbjahr bietet einen gewissen Schutz vor Nitratverlagerung. Wintergetreide ermöglicht zudem eine frühe Ausbringung von Gärresten im ausgehenden Winter, mit dem Vorteil, dass bei den niedrigen Temperaturen und feuchten Böden die gasförmigen Stickstoffverluste geringer gehalten werden können.

### **Verbrennung von Getreide**

Bei der Verbrennung von Getreide (Korn, Stroh, Ganzpflanze) wirken sich hohe Mineralstoffgehalte nachteilig aus (Schadstoffe wie  $\text{NO}_x$  im Abgas, Ascheschmelzverhalten). Deshalb sind bei dieser Produktionsrichtung geringe Rohprotein- und Mineralstoffgehalte anzustreben. Ein gravierendes Problem bei der Verbrennung der Ganzpflanze ist allerdings, dass die organischen Verbindungen vollständig zerstört werden und für den Stoffkreislauf des Betriebes verloren gehen. Die Nachteile für die Humusbilanz liegen auf der Hand.

Bei der Produktion von Getreide zur thermischen Verwertung kann, je nach Befallsdruck, eine qualitätssichernde, späte Fungizidbehandlung stark reduziert werden bzw. auch ganz unterbleiben. Allerdings muss hierbei die Art und Dauer der Getreidelagerung berücksichtigt werden, weil bei zu hoher Pilzbelastung des Erntegutes mit entsprechenden Lagerverlusten gerechnet werden muss.

### **2.3.5 Bioethanol-Zuckerrüben**

Der Anbau von Ethanolrüben, der 2007 erstmals möglich war, wird zu keiner anderen Produktionstechnik führen, da Ethanol aus Dicksaft gewonnen wird und somit wiederum einzig die ausbeutbare Zuckermenge pro ha entscheidend für die Wirtschaftlichkeit dieser Verwertungsrichtung ist. Aufgrund der gestiegenen Frachtkosten wird sich der Anbau von „Ethanolrüben“ in Randregionen des Rübenanbaues wohl nicht mehr rechnen. In den Kernlagen des Rübenanbaues ist in vielen Betrieben keine Ausweitung des Anbaues möglich. Laut Anbauvertrag verpflichtet sich der Landwirt aus Fruchtfolgegründen, nur auf maximal einem Drittel der „rübenfähigen Ackerfläche“ Zuckerrüben anzubauen. Bei der Pflanzenschutzintensität ergeben sich ebenfalls keine Unterschiede zwischen dem Anbau von Zuckerrüben zur Zucker- oder zur Ethanolproduktion. Insofern sind bei gleichbleibender Anbaufläche keine Auswirkungen auf die Umwelt durch den Anbau von Ethanolrüben zu erwarten.

### **2.3.6 Sorghum-Hirsen**

Trotz im Vergleich zum Mais hoher Ähnlichkeit im Habitus, unterscheidet sich die Produktionstechnik von Sorghum-Hirsen doch deutlich von dieser Kultur. Sorghum-Hirsen können mit normaler Drillsaat angebaut werden, ein Einzelkornsägerät ist nicht notwendig. Da Hirsen sehr frostempfindlich sind, ist eine Aussaat erst nach den Eisheiligen, also ab Mitte Mai bis Mitte Juni, bei ausreichend hohen Bodentemperaturen zu empfehlen. Durch diese späte Saat ist es bei ausreichendem Wasserangebot möglich, beispielsweise Getreide-GPS als vorhergehende Kultur anzubauen. Dadurch ist der Boden zwar über weite Teile des Jahres bedeckt, in der Zeit hoher erosiver Niederschläge (Mai-August) aber bei der langsamen Jugendentwicklung der Hirse über längere Zeit weitgehend ungeschützt, wenn die Bestellung der Zweitfrucht nicht konservierend erfolgt. Die Saatedichten richten sich nach dem Nutzungstyp der Hirsen, so werden Sudangräser und Sorghum/Sudan-Kreuzungen meist deutlich dichter angebaut als beispielsweise Zucker- oder Körnerhirsen. Der Reihenabstand kann, auch um das Unkrautunterdrückungsvermögen zu erhöhen, etwas dichter als bei Mais gewählt werden, hängt aber wiederum stark vom angebauten Hirsetyp ab. Gegenüber Mais wird von einem etwa 20 % geringeren Nährstoffbedarf der Sorghum-Hirsen ausgegangen. Die Ernte und Konservierung erfolgt mit den bekannten Verfahren und der Technik aus dem Maisanbau.

Wird Hirse entsprechend ihrer Wärmebedürftigkeit erst dann ausgesät, wenn der Boden erwärmt und damit ein rasches Pflanzenwachstum möglich ist, können Unkrauthirsens und auch andere Unkräuter gut unterdrückt werden. Besonders die dichteren Bestände von Sudangras und Sorghum/Sudan-Kreuzungen sind dabei von Vorteil. Da die Kultur durch die langsame Jugendentwicklung und teilweise geringe Pflanzenzahl je Quadratmeter insgesamt ein geringes Unkrautunterdrückungsvermögen hat, wird ein gewisser Bedarf an Pflanzenschutz stets gegeben sein. Gegen Unkräuter sind bisher zwei Herbizide zugelassen. Erfordert die Zusammensetzung der Unkrautflora einen anderen Wirkstoff, muss eine Ausnahmegenehmigung nach § 18b Pflanzenschutzgesetz gestellt werden. Krankheiten und Schädlinge spielen im Hirseanbau bisher noch keine Rolle, allerdings wurde vereinzelt Befall mit Rhizoctonia und Maiszünsler beobachtet.

### 2.3.7 Miscanthus und andere Kulturen

Da *Miscanthus* und anderen Kulturen wie *Amarant*, *Topinambur*, *Hanf* und *Durchwachsene Silphie* nur eine sehr marginale Rolle als Energiepflanzen zukommt, kann auf ihre Betrachtung verzichtet werden. Gemeinsam ist ihnen, dass sie generell als vergleichsweise anspruchslos gelten, d. h. im Hinblick auf Düngung und Pflanzenschutz – wenigstens in älteren Beständen – nur geringe Inputmengen benötigen.

### 2.3.8 Grünlandnutzung für energetische Zwecke

Eine Abschätzung der Grünlandfläche, die für energetische Zwecke genutzt wird, ist mit den z. Z. vorhandenen Statistiken nicht möglich. Potentiell würden sich aktuell etwa 60 % der Aufwüchse der bayerischen Grünlandflächen für den Einsatz in Biogasanlagen eignen. Über den Umfang des aktuell realisierten Einsatzes gibt es (wie in anderen Bundesländern auch) kein ausreichendes Datenmaterial. Auch über andere energetische Nutzungen als die Methanerzeugung gibt es keine gesicherten Zahlen. Die Datenlage zu den Erntemengen bei Grünland und Feldfutterbau basiert überwiegend auf reinen Schätzungen, da in der Regel - im Unterschied zu allen Markt- und/oder Körnerfrüchten - auf den Betrieben keine objektive, reproduzierbare Erfassung der Erntemengen erfolgt. Die oben angeführten Zahlen basieren z. B. auf einer Befragung der Pflanzenbauberater an den ÄLF.

Extensives Grünland (ein- bis zweischnittig) sowie Material aus der Landschaftspflege u. ä. sind für den Einsatz in der Biogasanlage aufgrund der geringen Methanausbeute (Liter Methan je eingesetzte Einheit Biomasse) in der Regel nicht geeignet, so dass sich nachfolgende Ausführungen auf drei- und mehrschnittiges Grünland beschränken. Der Verwertungspfad für extensives Grünland wäre eher die thermische Verwertung oder die Nutzung als organisches Substrat zum Ausgleich unzureichender Humusversorgung, z. B. in Biogasbetrieben.

Um die Umweltwirkung der energetischen Nutzung von Grünland abzuschätzen, werden nachfolgend zwei Szenarien der möglichen Entwicklung der Grünlandfläche in Bayern vorgestellt. Die Grünlandfläche ist abhängig von der Entwicklung der Tierzahlen auf dem Grünland. Die Abschätzung dieser Dynamik erfolgt vor dem Hintergrund der Milchpreisentwicklung und des Flächenbedarfs der Biogasanlagen auf ackerfähigen Standorten und ist deshalb schwierig.

### **Szenario 1: Biogasschwerpunkt im Grünlandgebiet**

Folgt man den zu diesem Thema erarbeiteten Gutachten (Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 2003; Würfl, 2007) und den dort erarbeiteten Szenarien, so wird es in jedem Fall zu einer weiteren mehr oder weniger großen Abnahme der Tierzahlen kommen.

Vor diesem Hintergrund ist denkbar, dass in Grünlandregionen die Viehhaltung zumindest teilweise durch die Methanerzeugung ersetzt werden könnte. In diesem Fall wäre unter Umweltaspekten mit einer deutlichen Verbesserung der Ist-Situation zu rechnen, da im Betriebskreislauf der Methanproduktion kein Nährstoff-Input über den Zukauf von Kraftfutter und Mineralfutter stattfindet. Bei den Nährstoffen Phosphor und Kalium könnte sich der externe Input somit auf den Ausgleich unvermeidlicher Verluste (Auswaschung) beschränken. Beim Stickstoff müsste in dieser Betriebsform lediglich ein Ausgleich für Auswaschungsverluste und die gasförmigen Verluste bei Ausbringung und Lager erfolgen, dabei sind jedoch geringere Bilanzüberschüsse pro Flächeneinheit zu erwarten als dies bei der Veredelung über das Tier der Fall ist.

Die relative Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen mit einem nennenswerten Input an Grassilage wird dann am höchsten sein, wenn alternative Substrate nicht erzeugt werden können (reine Grünlandgebiete) und Biomasse aus Grünland kostengünstig zur Verfügung steht (niedrige oder keine Nutzungskosten). Damit könnte auch in reinen Grünlandgebieten, aus denen sich die Viehhaltung zurückzieht, durch die Verwertung der Aufwüchse in Biogasanlagen die Nutzung sicher gestellt werden.

Dies brächte dann weitere positive Umweltaspekte mit sich, wenn es gelänge, durch entsprechende regulierende Maßnahmen entgegen den ökonomischen Zwängen eine vielgestaltige, standorttypische Grünlandvegetation zu schaffen.

In kombinierten Biogas-/Milchviehbetrieben wird in aller Regel die Milchviehgülle dem Fermenter zugeführt und dient ebenfalls der Methanproduktion. Biogasgülle hat im Vergleich zu herkömmlicher Rindergülle eine niedrigere Viskosität, so dass ein rascheres Abfließen von Pflanzenteilen bzw. rascheres Einsickern in den Boden als bei Rohgülle zu erwarten ist. Deshalb ist davon auszugehen, dass insbesondere die klimarelevanten Methanemissionen aus Gülle und Mist reduziert werden (siehe Kap. 3.3).

### **Szenario 2: Abwanderung der Milchproduktion von Ackerbau- in reine Grünlandgebiete**

Falls sich die relative Vorzüglichkeit der Silomaisverwertung in Biogasanlagen im Vergleich zur Milchproduktion besser darstellen sollte - unter Umständen auch zusätzlich gefördert durch eine günstigere Verwertung der Arbeitszeit bzw. einer höheren Arbeitsqualität - dann ist zu erwarten, dass größere Teile der Milchproduktion als bisher aus Ackerflächen in Grünlandgebiete abwandern. Auch ansteigende Pachtpreise für Ackerflächen und die Grenzen für den Einsatz organischer Dünger tierischer Herkunft könnten eine solche Dynamik weiter verstärken. Wenn die unter Szenario 2 genannte Dynamik eintritt bzw. flächenhaft bedeutsame Ausmaße annimmt, werden die in Szenario 1 angeführten Effekte mehr oder weniger stark abgeschwächt werden.

### 2.3.9 Schnellwachsende Baumarten aus Kurzumtriebskulturen auf landwirtschaftlichen Flächen

Kurzumtriebskulturen mit Balsampappel oder Weide werden mit Stecklingen begründet. Die Stecklinge sind auf ca. 20 Zentimeter gekürzte einjährige Triebe. Sie werden im Winter von zugelassenen Mutterquartieren geerntet und bis zum Stecken im Kühlhaus gelagert.

Kurzumtriebskulturen reagieren im ersten Jahr sehr empfindlich gegenüber der Begleitvegetation. Die Herstellung eines optimalen Pflanzbeets ist deshalb sehr wichtig für eine gelungene Stecklingspflanzung. Um einen sicheren Anwuchs der Gehölzkulturen zu gewährleisten muss die Unkrautkonkurrenz im Anpflanzjahr ausreichend kontrolliert werden. Auf der Fläche im Herbst vor der Begründung vorhandene schwer bekämpfbare Unkräuter (z. B. Quecke, Winden-Arten) sollten mit einem Glyphosat-Präparat behandelt werden. Anschließend wird die Fläche gepflügt und kurz vor dem Einbringen der Stecklinge geeggt. Nach der Absteckung wird die Ausbringung eines Voraufbauherbizides empfohlen, um den Unkrautwuchs auf der offenen Fläche zu begrenzen. Bei weiten Pflanzreihen können außerdem geeignete Hackgeräte zur Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen eingesetzt werden. Bei einem starken Unkrautdruck kann eine zusätzliche Herbizidbehandlung im Nachaufbau notwendig werden. Da für Kurzumtriebskulturen keine Herbizide zugelassen sind, muss für die o. g. Maßnahmen eine Genehmigung im Einzelfall (§ 18b Pflanzenschutzgesetz) beantragt werden.

Kurzumtriebskulturen erzeugen über einen Zeitraum von 25 bis 30 Jahren Holz. Auf den bayerischen Versuchsflächen erzielten verschiedene Sorten der Balsampappel die besten Wuchsleistungen mit 10 bis 13 Tonnen Zuwachs absolut trockener Biomasse pro Jahr und Hektar. Pro Jahr und Hektar wächst damit eine Holzmenge heran, deren Verbrennung etwa 5.000 bis 6.000 Liter Heizöl einsparen hilft. Die Aspe liegt etwas unter der Balsampappel. Die Roterle erreicht einen Zuwachs von circa 6 Tonnen absolut trockene Biomasse. Bei Balsampappel ist mittelfristig eine Steigerung der Wuchsleistung durch Züchtung zu erwarten.

Die Untersuchungen (Jug, A., 1997) zeigen, dass Düngung von Kurzumtriebsplantagen nicht zu signifikanten Wuchssteigerungen bei den untersuchten Pappelhybriden führten. Lediglich die Korbweide reagierte mit stärkerem Wachstum auf Nährstoffzufuhr. Der Ernährungszustand der Kurzumtriebskulturen ist auch ohne Düngung zudem aus folgenden Gründen als hinreichend bis optimal einzustufen:

- Die Nährstoffausstattung der vorher landwirtschaftlich genutzten Flächen ist in der Regel hoch.
- Der gegenwärtige Stickstoffeintrag aus der Luft beträgt jährlich ca. 20 – 50 kg/ha.

Die Ernte erfolgt während der Vegetationsruhe, bei der die Laubstreu auf der Fläche verbleibt.

Nach Jug, A. (1997) blieb die Nährstoffausstattung in den Blättern von Kurzumtriebskulturen über einen Zeitraum von zehn Jahren im optimalen Bereich.

Kurzumtriebskulturen werden ausschließlich im Winter geerntet, um die Wiederausfallsfähigkeit der Stöcke nicht zu gefährden. Die Bäume werden gefällt, eine Entastung ist nicht nötig. Das Hacken der Stämme erfolgt unmittelbar nach dem Fällen oder im darauffolgenden Herbst.



Geerntet wird mit den in der Forstwirtschaft üblichen Verfahren. Wegen der geringen Stückmassen der Bäume sind darüber hinaus auch „Mähtechniken“ einsetzbar, die im Prinzip den in der Landwirtschaft verwendeten entsprechen, wie der sogenannte Gehölmähmäcker oder ein modifizierter Maisvollernter (z. B. Claas Jaguar mit „Holzgebiss“, Vorsatz der Firma Biomasse Europa). Die Ernte fällt in einen Zeitraum, in dem andere landwirtschaftliche Tätigkeiten in geringerem Umfang anfallen. Nach der Ernte treiben die verbliebenen Stöcke vital wieder aus, so dass die Konkurrenz der Begleitvegetation vernachlässigt werden kann. Fungizide und Insektizide werden in der Regel nicht eingesetzt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Pappel- und Weidenkulturen resistent sind gegenüber Pilzkrankheiten und Insektenbefall.

Eine ernst zu nehmende Gefahr ist der Befall durch den Pappelblattrost (*Melampsora lari-ci-populina*). Dieser löst einen verfrühten Blattfall aus, die neuen Triebe verholzen nicht mehr vollständig, was in der Folge zu Frostschäden führt. Auch der Pappel-Rindentod (*Dotichiza populea*), ein Sekundärparasit, tritt dann häufiger auf. Die Bestände kümmern und sterben häufig sogar ab. Der Befall erfolgt klonspezifisch.

Mehrere Käferarten können die Kulturen befallen, wie zum Beispiel der Pappelblattkäfer (*Melasma populi*). Der Fraß tritt meist nach der Ernte an den neu austreibenden Trieben auf. Er verursacht minimale Wuchsverluste, schädigt den Bestand jedoch nicht.

### **2.3.10 Anbau von gentechnisch veränderten (GV) Energiepflanzen**

Im Bereich der Forschung arbeitet man derzeit bei nachwachsenden Rohstoffen an einer Reihe von transgenen Eigenschaften, z. B. an Ligninverminderung bei Gehölzarten oder an speziellen Inhaltsstoffen (verschiedene gesättigte Fettsäuren, Stärkefraktionen). Von der Praxisreife sind diese GV-Eigenschaften jedoch noch weit entfernt und stehen aktuell nicht zum Anbau zur Debatte. Die Frage, ob GV-Pflanzen wegen der Energieproduktion auf dem Acker verstärkt zum Anbau kommen werden, muss daher für die nahe Zukunft aus Sicht der bereits bekannten und zugelassenen gentechnischen Eigenschaften gesehen werden. Deshalb wird es grundsätzlich von der allgemeinen Akzeptanz dieser Technologie abhängen, ob GV-Pflanzen zukünftig im Nahrungsmittel- wie auch im Energiebereich Verwendung finden werden.

### 3 Durch den zunehmenden Anbau von Energiepflanzen mögliche Auswirkungen auf Boden, Wasser, Luft, Klima, Artenvielfalt und die Kulturlandschaft

Brandhuber, Robert; Burger, Frank; Capriel, Peter; Fritz, Maendy; Gehring, Klaus; Kaemmerer, Dorothee; Kreuter, Thomas; Kuhn, Gisbert; Müller, Christa; Nesor, Stefan; Unger, Hans-Jürgen; Weigand, Stephan; Wendland, Matthias

Die Zunahme des Energiepflanzenanbaus bedeutet den vermehrten Anbau bereits verbreiteter oder auch neuer Kulturarten auf Kosten anderer oder einen Wechsel in der Verwertung der gleichen Frucht (z. B. Biogas-Mais statt Futtermais). Folgend werden die Umweltwirkungen beschrieben, mit denen unter Berücksichtigung der unter 2. beschriebenen Veränderungen im Pflanzenbau zu rechnen ist. Je nach Umfang der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus werden diese Auswirkungen stärker oder schwächer ausgeprägt sein. Einige Auswirkungen treten nur unter bestimmten zusätzlichen Bedingungen ein, auf die dann hingewiesen wird.

#### 3.1 Boden

##### 3.1.1 Bodenstruktur

Die Qualität der Bodenstruktur wird *direkt* durch Befahren und Bearbeiten und *indirekt* über den Humushaushalt und die Bodenerosion beeinflusst. Eine gute Bodenstruktur ist Voraussetzung für hohe Bodenfruchtbarkeit, sie fördert das Infiltrationsvermögen bei Niederschlägen, mindert Oberflächenabfluss und Erosionsanfälligkeit, verringert den Nährstoffeintrag in Oberflächengewässer und verhindert Emissionen von klimawirksamen Lachgas ( $N_2O$ ) aus der Denitrifikation in Verdichtungszone (Håkansson, 2005).

Beim Anbau von Energiepflanzen verändert sich das Risiko für Bodenverdichtungen durch direkte mechanische Einwirkungen dann, wenn Häufigkeit und Intensität kritischer Situationen (Befahren feuchter Böden, Befahren mit schweren Fahrzeugen, regelmäßige intensive Lockerung) zu- oder abnehmen (Brandhuber, 2006; BMVEL, 2002).

Werden Energiepflanzen auf *Stillegungsflächen* angebaut, bedeutet dies zusätzliche Überfahrten und Bodenbearbeitungsgänge. Der positive Effekt der Bodenruhe (Regenerationsphase für das Bodengefüge, Verbesserung der Aggregatstabilität in der Krume) entfällt. Die intensive Durchwurzelung von Rapspflanzen würde sich aber grundsätzlich positiv auf das Bodengefüge auswirken (Krümelbildung, Gefügelockerung).

Beim Anbau *mehrfähriger* Energiepflanzen (z. B. Miscanthus) ist wegen der Abnahme der notwendigen Überfahrten und Bodenbearbeitungsvorgänge von einer Risikominderung auszugehen.

In Energiepflanzenutzungssystemen mit *zwei Kulturen* im Jahr erhöhen zusätzliche Feldarbeitsgänge das Verdichtungsrisiko. Konservierende Bodenbearbeitung im Zweinutzungssystem würde das Verdichtungsrisiko wegen der besseren Bodentragfähigkeit wieder senken.

Beim Häckseln von Mais, aber auch von *Ganzpflanzensilage* oder Gras, entsteht durch das Parallelfahren von Häcksler und Transportfahrzeugen ein hoher Fahrspuranteil. Vergleichsweise späte Ernte bei *Mais* und die Erfordernis, die Fahrsilos zügig zu befüllen, bergen grundsätzlich das Risiko, dass die Böden in feuchtem, verdichtungsempfindlichen Zustand befahren werden. Diese Einschätzung gilt unabhängig von der Verwendung des Aufwuchses, ob für Viehfutter oder für Biogasanlagen. Bei der Verwertung in Biogasanlagen würde ein Szenario „kostengünstigster Großeinsatz bei Ernte und Gärsubstratausbringung“ zu einer Risikoerhöhung führen: Für große Biogasanlagen müssen große Mengen an Häckselmaterial in kurzer Zeit über weite Transportwege angeliefert werden. Das Befahren der Felder mit Fahrzeugen, deren Fahrwerke und Reifen für den Straßenverkehr ausgelegt sind oder die zu hohe Radlasten erreichen, würde die Bodenbelastung unter empfindlichen Bedingungen erhöhen. Für die *Gärsubstratausbringung* dürfte entsprechendes gelten.

Die direkte mechanische Einwirkung auf den Boden kann durch strikte Anwendung der guten fachlichen Praxis auf einem akzeptablen Niveau gehalten werden (siehe Kap. 4.1.1). Deren Einhaltung liegt in der Verantwortung der Beteiligten. Über den allgemeinen Vorsorgegrundsatz hinaus bestehen keine konkreten rechtsverbindlichen Verpflichtungen.

Indirekt könnte die Qualität der Bodenstruktur in der Ackerkrume negativ beeinflusst werden

- durch erhöhten Bodenabtrag (Risiken siehe Kap. 3.1.2) mit dem damit verbundenen verringerten Humusgehalt auf den Abtragsflächen sowie
- durch Minderung des Humusgehaltes bei langfristig negativen Humussalden (Risiken siehe Kap. 3.1.3).

Aus Ergebnissen von Dauerversuchen in Bayern ist bekannt, dass langjähriger Daueranbau von Silomais (ohne Zwischenfrucht, mit Pflug) die Aggregatstabilität der Krume und das Infiltrationsvermögen deutlich verringert (siehe Kap. 3.1.3).

*Kurzumtriebskulturen* durchwurzeln den Boden intensiv. Unterirdische Pflanzenteile werden nicht geerntet, die gesamte Wurzelstreu kommt der Humusbildung zugute. Dies führt zu einer günstigen Bodenstruktur.

### 3.1.2 Bodenabtrag

Erosionsschutz in der Landwirtschaft sichert langfristig die Bodenfruchtbarkeit, sorgt für saubere Gewässer und unterstützt den Hochwasserschutz.

Zur Einschätzung des Erosionsrisikos hat sich in Bayern die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) bewährt (Schwertmann et al., 1990). Mit Hilfe dieses Modells können die Auswirkungen veränderter Anteile von erosionsgefährdeten Kulturarten in der Fruchtfolge auf den zu erwartenden langjährigen durchschnittlichen Bodenabtrag ausreichend zuverlässig eingeschätzt werden. An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurde eine GIS-gestützte Erosionsmodellierung für den Anbau von 2005 bis 2007 in Bayern durchgeführt (kleinste räumliche Einheit für Anbaudaten: Gemarkung). In diesem Zeitraum betrug der als langjähriges Mittel geschätzte Bodenabtrag auf Ackerflächen im Mittel von Bayern 2,8 t/ha\*a, allerdings mit erheblicher regionaler Differenzierung.

Unter den Energiepflanzen ist der *Mais* die Art, die aufgrund ihres großen Reihenabstands und ihrer späten Aussaat bisher als einzige das Erosionsrisiko deutlich erhöhen kann. Gegenüber einer Mähdruschfruchtfolge ohne Mais (Getreide, Raps) erhöht sich der mit der ABAG geschätzte Bodenabtrag ohne gezielten Erosionsschutz um den Faktor 2 bzw. 4, wenn Mais in der Fruchtfolge einen Anteil von 25 % bzw. 50 % einnimmt. Wird eine ausreichende Bodenbedeckung zwischen der Vorfrucht (gewährleistet durch Zwischenfrucht nach Getreide) und dem Reihenschließen bei Mais (gewährleistet durch Mulchsaat von Mais) sichergestellt, ist das Erosionsrisiko auf gleichem Niveau wie bei einer Fruchtfolge ohne Reihenfrüchte (Hackfrüchte, Mais). Damit wird deutlich, dass Maisanbau dann zu einem erhöhten Erosionsrisiko führt, wenn auf Erosionsschutzmaßnahmen verzichtet wird.

In Gebieten mit hoher Biogasanlagendichte und dann weitgehend einheitlichem Maisanbau im Gewinn werden die potenziellen Fließwege von Oberflächenwasser bei Starkregen sehr lang, wenn die Felder nicht durch erosionshemmende Strukturen voneinander getrennt sind. Das Risiko insbesondere von Rinnenerosion und damit auch von Schäden, die außerhalb der Erosionsfläche auftreten (Offsite-Schäden), kann ohne konsequente Erosionsschutzmaßnahmen erheblich zunehmen.

*Sorghum-Hirse* ist wegen des noch späteren Saattermins als Mais und der ebenfalls langsamen Jugendentwicklung ein höheres Erosionsgefährdungspotential zuzuschreiben als Mais. Im übrigen gilt das zu Mais gesagte.

*Raps* erhöht das Erosionsrisiko gegenüber Weizen nur geringfügig (frühere Ernte) und ist hinsichtlich des Erosionsrisikos gleichwertig mit Gerste. Relevant ist die Erhöhung des Erosionsrisikos bei Anbau von Raps auf ansonsten stillgelegten Flächen, insbesondere, wenn hängige Lagen wieder gepflügt werden.

In Energiepflanzenfruchtfolgen mit *zwei Kulturen pro Jahr* verringert der lange Bedeckungszeitraum das Erosionsrisiko. Allerdings fällt die Bestellung der nicht überwinterten Frucht in den Mai/Juni und damit in eine Zeit mit sehr hoher Regenerosivität. Erfolgt die Bestellung dieser Frucht konservierend, ist optimaler Erosionsschutz gegeben.

Bei *mehrwährigen Kulturen* ohne regelmäßige Bodenbearbeitung (*Miscanthus*, Kurzumtriebskulturen) ist das Erosionsrisiko deutlich geringer als im üblichen Ackerbau. Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten schützt wegen der tiefen Durchwurzelung und der dauerhaften Bestockung vor Erosion. Wegen des ansteigenden Humusgehaltes in der obersten Bodenschicht und durch den Verzicht auf regelmäßige Befahrung bleibt eine Verdichtung des Oberbodens aus. Die Versickerungsrate steigt an. Die Ausbildung eines geschlossenen Blätterdaches vermindert zudem die Aufschlagsenergie der Regentropfen deutlich.

### 3.1.3 Humushaushalt

Die Bedeutung des Humus (Organische Bodensubstanz) liegt in der komplexen Beeinflussung nahezu aller Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen. Aufgrund dieser vielfältigen Wirkungen stellt eine geordnete, standortangepasste Humuswirtschaft in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage zur nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherung dar.

Die wirtschaftliche Nutzung von pflanzlicher Biomasse zur Energiegewinnung führt dazu, dass weniger Pflanzenreste (organische Substanz) auf den Ackerflächen zurück bleiben als bisher. Davon betroffen ist insbesondere der organische Kohlenstoff-Haushalt im Boden. Der organische Kohlenstoff ist der Hauptbestandteil des Humus. Der Kohlenstoff-Anteil beträgt im Mittel ca. 60 %.

Für die Biogaserzeugung hat sich der *Mais* als besonders ertragreiches Substrat etabliert. Ein verstärkter Anbau von Mais, ein typischer Humuszehrer, die veränderten Fruchtfolgen mit zwei Kulturen pro Jahr und entsprechend häufigerer Bodenbearbeitung sowie die - energetische Verwendung des Aufwuchs von Zwischenfrüchten (Winterraps, Winterroggen) für die Biogaserzeugung können bei unzureichender organischer Düngung zu Humusunterversorgung führen. Damit verbunden sind die bekannten negativen Auswirkungen, wie z. B. Verschlechterung der Bodenstruktur, Ertragsminderung und Freisetzung von Treibhausgasen.

Besonders problematisch ist die Verwendung der Energiepflanzen für BtL-Kraftstoff, da bei diesem Verfahren der entstandene Rückstand aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung mikrobiell schwer abbaubar und somit ungeeignet für die Humusbildung ist.

Ergebnisse aus Dauerfeldversuchen in Bayern zeigen, dass Silomais-Daueranbau, verglichen mit einer ausgeglichenen Fruchtfolge (Silomais-Winterweizen-Klee gras), zu einer Abnahme des Humusgehalts von ca. 10 % innerhalb von 14 Jahren geführt hat. Diese Abnahme verursachte eine deutliche Verringerung der mikrobiellen Aktivität im Boden, der Aggregatstabilität und der Wasser-Infiltrationsrate (Capriel, 2007).

Auch Praxis-Betriebe, bei denen die Fruchtfolge mehr als 40 % Mais-Anteil hat, können langfristig Probleme mit der Humusversorgung bekommen, wenn keine ausreichende organische Düngung erfolgt. So weist etwa ein Viertel der Ackerschläge im bayerischen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm mit mehr als 40 % Mais-Anteil in der Fruchtfolge einen signifikanten Rückgang der Humusgehalte auf (Capriel, 2005).

Durch den verstärkten Anbau von *Raps* sind keine wesentlichen Probleme bei der Humusversorgung zu erwarten, vorausgesetzt die Grundsätze der guten fachlichen Praxis werden eingehalten.

In *Kurzumtriebskulturen* kommt der jährliche Blattfall der Humusbildung zugute. Im obersten Bodenhorizont nimmt deshalb der Humusgehalt zu. Bedingt durch den geringen Stickstoff-Gehalt der Blattstreu und den Verzicht auf Stickstoffdüngung ist das Verhältnis des Gehalts an organischem Kohlenstoff zu dem des Gesamtstickstoffs ( $C_{org}/N_t$ ) des Humus in dieser oberen Bodenschicht höher als auf einem konventionell bewirtschafteten Acker. In den unteren Bodenhorizonten kann es hingegen zu einem Humusverlust kommen.

Nach Umbruch von Grünlandflächen vor der Anlage von Kurzumtriebskulturen oder zur Nutzung anderer Energiepflanzen kommt es allerdings zunächst zu einem starken Humusverlust von bis zu über 50 %, verbunden mit den bekannten negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

### 3.1.4 Stoffeintrag

#### 3.1.4.1 Pflanzenschutzmittel

Die Befruchtung des Bodens mit Pflanzenschutzmitteln erfolgt (nach Abzug einer möglichen Abdrift) durch direkte Applikation bei bodenwirksamen Präparaten bzw. bei Pflanzenbehandlungen durch direkt oder indirekt auf den Boden gelangende Anteile. Mögliche Schädigungen in Böden bestehen zum einen unmittelbar durch Beeinträchtigung von Bodenlebewesen, zum anderen mittelbar durch Belastung von Oberflächen- bzw. Grundwasser nach entsprechender Anreicherung und Wiederfreisetzung. Sowohl Toxizität als auch Mobilität und Abbauverhalten im Boden sind Gegenstand des Zulassungsverfahrens von Pflanzenschutzmitteln und haben gegebenenfalls entsprechende Anwendungsaufgaben zu Folge. Da beim Anbau von Energiepflanzen kein grundsätzlich anderes Wirkungsspektrum eingesetzt wird, sind diesbezüglich auch kaum spezifische Unterschiede zu erwarten. Damit lassen sich mögliche Effekte vereinfachend auf die unterschiedlichen Wirkstofffrachten je Hektar reduzieren.

Tab. 5: Normierte Behandlungsindizes von Pflanzenschutzmitteln in Ackerkulturen 1999/2000 in Deutschland (normiert bezüglich der behandelten Anbaufläche und der zugelassenen Regelaufwandmenge), (Rossberg et al., 2002)

Fruchtart	Anzahl Betriebe	alle Maßnahmen	Fungizide	Herbizide	Insektizide	Wachstumsregler
Hafer	131	1,63	0,07	0,98	0,33	0,26
Kartoffeln	137	9,09	6,22	1,61	1,25	0,00
Mais	489	1,25	0,00	1,22	0,03	0,00
Raps	644	3,43	0,67	1,18	1,46	0,12
Sommergerste	320	2,28	0,72	1,35	0,15	0,05
Triticale	319	2,25	0,46	0,97	0,09	0,74
Wintergerste	724	2,77	1,10	1,07	0,11	0,49
Winterroggen	332	2,66	0,90	0,85	0,15	0,77
Winterweizen	790	3,75	1,39	1,38	0,36	0,62
Zuckerrüben	382	2,95	0,15	2,61	0,19	0,00

Da es bislang, abgesehen von einfachen Befragungen von Landwirten (agroplan 2006), keine quantitativen Erhebungen zur Pflanzenschutzintensität beim Energiepflanzenanbau gibt, soll hier, ausgehend von den letzten vergleichbaren Erhebungen bei Ackerflächen aus dem Anbaujahr 1999/2000 (Tab. 5), eine entsprechende Einschätzung erfolgen.

In Abhängigkeit vom Anbauverfahren und den unter 2.3 erläuterten Unterschieden beim Pflanzenschutzmitteleinsatz, sind gegenüber dem Anbau für Nahrungs- oder Futterzwecke entsprechende Änderungen bei den Gesamtbehandlungsindizes zu erwarten (Tab. 6).

Allerdings ist auch beim Anbau von Energiepflanzen der Schaderregerdruck abhängig von regionalen (z. B. in Südbayern in der Regel höherer Pilzdruck) und jahresspezifischen (z. B. in Trockenjahren weniger Fungizid- aber häufigere Insektizidbehandlungen) Einflussfaktoren. Die Behandlungsindizes unterliegen damit einer erheblichen Streuung (Tischner u. Schenkel, 2002).

Tab. 6: Mögliche Änderungen der normierten Behandlungsindizes aller Pflanzenschutzmaßnahmen beim Anbau zur Energiegewinnung im Vergleich zum Anbau der Kultur für Nahrungs- oder Futtermittelzwecke (vgl. Tab. 5).

Fruchtart	Änderungen des normierten Behandlungsindex
Biodiesel-Raps	+/- 0
Bioethanol-Zuckerrüben	+/- 0
Bioethanol-Getreide	- 0,25 bis +0,25
Getreide zur Verbrennung	-0,5 bis 0
Biogas-Mais (als Hauptkultur)	- 0,25 bis +0,25
Biogas-Mais (als Zweitkultur)	-1,0 bis -0,25
GPS-Getreide	-1,0 bis -0,5
GPS-Raps	-0,5 bis -0,25

Anhand der NEPTUN-Daten (Rossberg et al., 2002, Tab. 5) lässt sich auch zeigen, dass beispielsweise die regionale Erhöhung des Maisanteiles durch eine Biogasanlage bei gleichzeitiger Verdrängung von nennenswerten Anteilen intensiverer Kulturen wie z. B. Kartoffeln zu einer erheblichen Verminderung der Behandlungsdichte in der Region führen kann. Umgekehrt werden durch den Wegfall der Stilllegungsverpflichtung und einer Ausdehnung von Ackerflächen dagegen die Pflanzenschutzbehandlungen in Bezug auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche entsprechend zunehmen.

Ebenso ist bei einer zu starken Erhöhung der Fruchtfolgeanteile einzelner Kulturen, neben anderen acker- und pflanzenbaulichen Problemen, auch mit einem erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu rechnen. Für die im Energiepflanzenanbau bevorzugten Kulturarten können aus phytosanitärer Sicht folgende Fruchtfolgeanteile als unproblematisch empfohlen werden: Raps 25 %, Weizen 50 % und Getreide insgesamt 75 %. Diese Grenzen sind vor allem durch boden- bzw. strohbürtige Pilzkrankungen bedingt, wie z. B. Kohlhernie und Rapskrebs beim Raps oder Halmbruch und DTR- oder Septoria-Blattdürre beim Weizen. Mais ist dagegen unter mitteleuropäischen Verhältnissen ausgesprochen selbstverträglich. Selbst Fruchtfolgeanteile über 50 %, die bei Erosion, Bodenstruktur oder Humushaushalt bereits Probleme bereiten können, erfordern hinsichtlich Krankheiten und

Schädlingen (abgesehen von dem Sonderfall Westlicher Maiswurzelbohrer, siehe Kap. 2.3.3) keinen erhöhten Pflanzenschutzmitteleinsatz. Die Annahmen in Tab. 6 gehen von einem Energiepflanzenanbau aus, der die oben genannten Fruchtfolgeanteile nicht überschreitet.

Zwar besteht bei erhöhten Fruchtfolgeanteilen einzelner Kulturen generell auch die Gefahr einer Selektion von spezifischen Unkräutern oder von herbizidresistenten Biotypen bei einem häufigen Einsatz von Herbiziden mit dem gleichen Wirkungsmechanismus gegenüber Unkräutern bzw. Ungräsern mit einem entsprechenden Resistenzpotential. Dem kann bei Bedarf durch ackerbauliche Maßnahmen (z. B. Pflugeinsatz, gezieltes Stoppelmanagement, Saattermine und Bestandesführung) und einem angepassten Wirkstoffmanagement beim Herbizideinsatz entgegengewirkt werden. Die vorgenannten Fruchtfolgeobergrenzen bieten eine ausreichende Sicherheit vor der ausgeprägten Selektion von herbizidresistenten Unkräutern. Der Energiepflanzenanbau kann in dieser Hinsicht auch Vorteile gegenüber der konventionellen Nahrungs- und Futtermittelproduktion aufweisen. So verhindern die frühen Erntetermine beim GPS-Getreideanbau für die Biogasproduktion z. B. die Samenreife von wichtigen Ungräsern wie z. B. Ackerfuchsschwanz und Windhalm, was langfristig zu einem geringeren Samenpotential und ggf. niedrigeren Bekämpfungsaufwand führen kann.

Bei einigen *neuen* und *wiederentdeckten Kulturarten* sind keine zugelassenen Pflanzenschutzmittel verfügbar. Der vor allem dennoch notwendige Herbizideinsatz zur erfolgreichen Etablierung der Kultur bzw. zu Absicherung des standortspezifischen Ertragspotentials kann im Rahmen des Genehmigungsverfahrens im Einzelfall auf die notwendige Einsatzintensität begrenzt werden. Aufgrund der begrenzten Flächenverfügbarkeit und dem Wegfall der Stilllegungsverpflichtung werden auch Grenzertragsstandorte wieder verstärkt für die Produktion von Nahrungs- und Futtermittel sowie für den Anbau von Energiepflanzen genutzt und damit zusätzliche Pflanzenschutzmittel appliziert werden. Für die Rekultivierung von Dauerstilllegungsflächen ist in den ersten Jahren der erneuten Ackernutzung mit einem relativ höheren Einsatz von Herbiziden zur Bekämpfung von während der Stilllegungsperiode etablierten schwer bekämpfbaren Unkrautarten (z. B. Wurzelunkräuter bzw. -ungräser wie Gemeine Quecke, Winden- und Distel-Arten) zu rechnen.

*Kurzumtriebskulturen* haben je nach Vornutzung einen deutlich geringeren (Acker) oder geringfügig höheren Pflanzenschutzmitteleinsatz (Grünland) zur Folge.

#### **3.1.4.2 Anorganische, organische Schadstoffe und Krankheitserreger aus Gärrückständen und Biomasseaschen**

Bei der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen oder Aschen aus Biomassekraftwerken können neben pflanzenbaulich erwünschten Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor oder Kalium auch potentiell schädliche Stoffe auf landwirtschaftliche Flächen gelangen. Dies können sein *Schwermetalle* wie Blei oder Cadmium oder *organische Schadstoffe* wie Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Antibiotika-Rückstände.



Der Gehalt an möglichen Schadstoffen in *Gärrückständen* hängt stark von den in der Biogasanlage eingesetzten Ausgangssubstraten ab:

ausschließlich Energiepflanzen und/oder Bioabfälle, die zum Bezug des NaWaRo-Bonus berechneten	<	Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger	<	Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger und/oder sonstige Bioab- fälle
---	---	---	---	---

Nach einer Erhebung der LfL (Röhling u. Keymer, 2007) setzen 8,5 % der Anlagen in Bayern ausschließlich NaWaRo ein. Der Großteil der Anlagen (74,5 %) wird mit einer Kombination aus NaWaRo und Wirtschaftsdünger betrieben. Ausschließlich organische Abfälle setzen nur knapp 2 %, alle drei Substratgruppen 7 % der Anlagenbetreiber ein.

An NaWaRo wird vorwiegend Mais- (84 %) und Grassilage (59 %) eingesetzt, gefolgt von Ganzpflanzensilage (i. d. R. Getreide, 43 %) und Körner (38 %). Rindergülle wird gegenüber den anderen Wirtschaftsdüngern bevorzugt (82,5 % Rindergülle, Schweinegülle nur knapp 22 %) (Röhling u. Keymer, 2007).

Es ist davon auszugehen, dass keine nennenswerte Zusatzbelastung des Bodens erfolgt, wenn nur Substrate eingesetzt werden, die nach dem EEG den NaWaRo-Bonus erhalten.

Außer den landwirtschaftlichen Einsatzsubstraten wie Mais-, Grassilage, Getreideganzpflanzen, Stroh, Rüben, Rübenschrot und Zuckerrübenblatt sind hinsichtlich *Schwermetallen* und *organischen Schadstoffen* in der Regel auch folgende Bioabfälle als unbedenklich einzustufen:

Reststoffe aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie wie Kartoffelschlempe aus landwirtschaftlichen Brennereien, Vinasse, Trester, Rapspresskuchen oder Gemüseabfälle sowie Grüngut und Rasenschnitt, das im Rahmen der Landschaftspflege anfällt (außer Straßenbegleitgrün).

Auch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft weisen im Allgemeinen sehr niedrige *Schwermetallgehalte* auf, mit Ausnahme von Kupfer und Zink bei Schweinen (Einsatz von Zink- und Kupferpräparaten in der Fütterung bei Ferkelerzeugung und Schweinemast) und bei Hühnern. Die Kupfer- und Zink-Gehalte liegen hier vielfach bereits in den Ausgangssubstraten über den Grenzwerten der Bioabfall-Verordnung (BioAbfV). In einem bayernweit durchgeführten Monitoring mit 360 schweinehaltenden Betrieben überschritten mehr als 95 % der Schweinegülle - unabhängig von Betriebstyp und -größe - den Kupfer- und Zink-Grenzwert der BioAbfV (Müller, 2006).

Bei der Vergärung vermindern sich die Trockenmassegehalte der eingesetzten Substrate durch den Abbau der organischen Substanz. Wirtschaftsdünger und leicht abbaubare organische Reststoffe wie Fettabfälle werden schneller und stärker abgebaut als z. B. Silomais- oder Grassilage. Da Schwermetalle keinem biologischen Abbau unterliegen, konzentrieren sie sich (bezogen auf die Trockenmasse) durch die Fermentation im Gärrückstand auf. Gärrückstände weisen trotzdem meist sehr niedrige Schwermetall-Gehalte auf, v. a. an den toxischen Schwermetallen Blei, Cadmium und Quecksilber (siehe hierzu auch Biogas-Handbuch Materialien Kap. 1.6; Fassung März 2007). Auch neuere Untersuchungen aus Baden-Württemberg (Kluge et al., 2006) bestätigen die niedrigen Schwermetallgehalte der Gärrückstände außer bei Kupfer und Zink, die im Mittel auch hier oberhalb der Grenzwerte der BioAbfV lagen. Die Proben stammten zu etwa 80 % aus Anlagen mit einem hohen Anteil an NaWaRo, zu etwa 20 % aus Anlagen mit Einsatz von Bioabfällen.

Ein wichtiger positiver Aspekt der Vergärung ist das Abtöten von Krankheitserregern im Biogasprozess. Dabei sterben nicht nur *Phytopathogene* sondern auch *Erreger von Human- und Tierkrankheiten* ab. Bereits eine mesophile (ca. 37° C) Prozessführung wirkt stark keimreduzierend. Zum anderen ergab eine Studie (Lebuhn et al., 2007), dass bei mindestens 4-stündiger thermophiler ( $\geq 55$  °C) Vergärung von Gülle auch resistente Krankheitserreger wie Kryptosporidien (Kälberdurchfall) nahezu eliminiert werden (Absterberate  $> 99,999$  %). Die bis jetzt untersuchten Erreger der bedeutendsten Pilzkrankheiten an nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Maisbeulenbrand, Fusarien) werden in mesophil betriebenen Biogasanlagen innerhalb von 24 h abgetötet (Kaemmerer, 2008).

Forschungsbedarf besteht in den Bereichen Abbau von *Antibiotika, Hormonen und Mykotoxinen* und sonstigen Wirkstoffen durch die Biogastechnologie. Bei einem bayernweiten Güllemonitoring, in dem 380 Schweinegülle auf das Vorkommen von Antibiotika untersucht wurden, konnte in 30 % der Proben kein Antibiotikum, in 70 % mindestens ein Antibiotikum nachgewiesen werden. 37 % der positiven Proben enthielten Chlortetrazyklin, 29 % Tetrazyklin jeweils in Konzentrationen bis zu 50 mg/kg; Sulfamethazin wurde in 48 % der positiven Proben nachgewiesen (Harms u. Meyer, 2006). Erste Untersuchungen in Vorarlberg an 6 Biogasanlagen mit Einsatz von Gülle ergaben Tetracyclin-Gehalte (Tetracyclin, Chlortetracyclin, Oxytetracyclin) in den Gärrückständen zwischen 0,17 und 1,4 mg/kg TS (Eberhard u. Scheffknecht, 2008).

Bei der Verbrennung von holzartiger oder halmgutartiger Biomasse bleiben Schwermetalle zum großen Teil in der *Asche* zurück. Die wenigsten Schwermetalle enthält die Feuerraumasche. V. a. Cadmium, Zink und Blei sind bei der Verbrennung leicht flüchtig; infolge der Rekondensation an den Flugaschepartikeln finden sie sich daher vermehrt in der Feinstflugasche. Landbaulich verwertet werden dürfen nach Düngemittelverordnung (DüMV) daher nur Feuerraumaschen aus der Monoverbrennung von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen wie naturbelassenes Holz, Getreidestroh oder Getreideganzpflanzen.

Die Feuerraumaschen müssen die Grenzwerte der DüMV für Schwermetalle und weitere anorganische Schadstoffe (As, Pb, Cd, Cr<sub>VI</sub>, Ni, Hg, Tl, Cu, Zn) einhalten. Zyklonflugasche und Feinstflugasche sind nach derzeitiger Rechtslage aufgrund der meist erhöhten Schadstoffgehalte von einer landbaulichen Verwertung ausgeschlossen.

Wie Abb. 4 zeigt, sind die Schwermetallgehalte in Biomasseaschen aus der Verbrennung von Holz (Rinden/Hackgut/Späne) durchwegs höher als bei Getreide (Stroh, Getreideganzpflanzen).

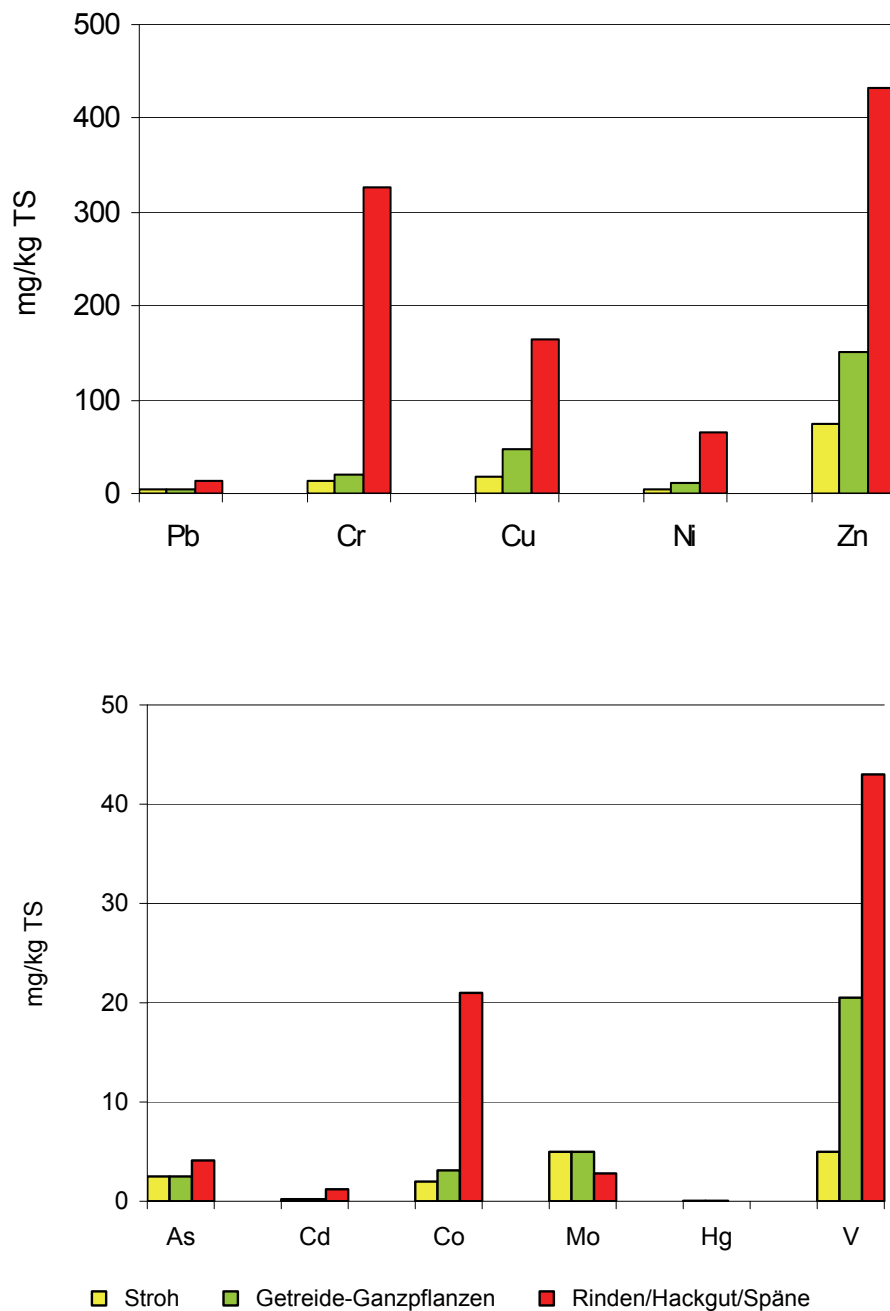


Abb. 4: Gehalte an Schwermetallen und anorganischen Stoffen in Biomasseaschen (hier: Feuerraumasche) bei verschiedenen Einsatzstoffen (Daten aus: FNR Leitfaden Bioenergie, 2005)

Nach der Brennstoffdatenbank des TFZ und des LfU enthalten die biogenen Festbrennstoffe Pappel und Weide aus *Kurzumtriebskulturen* im Durchschnitt etwa 2- bis 8fach höhere Cadmium-Gehalte als die übrigen (halmgutartigen) Brennstoffe (Abb. 5). Dasselbe gilt auch für Zink, nicht jedoch für die übrigen Schwermetalle. Auffällig hohe Chrom-Gehalte mit starken Streuungen zeigt Weizenstroh.

Bei *Kurzumtriebskulturen* kann es infolge der rauen und exponierten Oberfläche dieser Kultur durch Ausfiltern zu höheren Stoffeinträgen aus der Atmosphäre als auf sonstigen landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen. Es liegen keine Untersuchungen darüber vor, ob sich hieraus bemerkenswerte Auswirkungen auf die Umwelt bzw. die Bodenfruchtbarkeit ergeben.

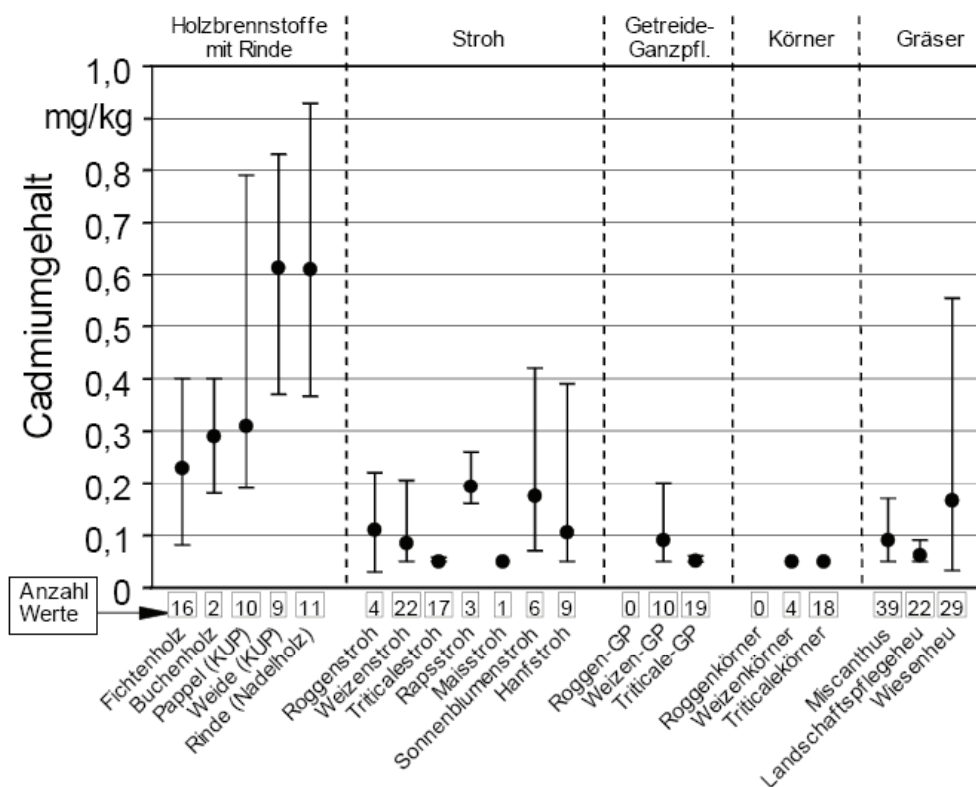


Abb. 5: Mittelwerte und Spannweiten von Cadmiumgehalten in biogenen Festbrennstoffen – Brennstoffdatenbank, Stand 1999 (Quelle: Brennstoffdatenbank Bayer. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2000)

## 3.2 Gewässer

### 3.2.1 Grundwasserneubildung

Die für eine energetische Nutzung geeigneten Kulturpflanzen haben unterschiedliche Ansprüche an die Wasserversorgung. Intensiv betriebene Gehölzkulturen und manche Hirsearten entziehen dem Boden relativ viel Wasser (Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2007). Werden in einem Jahr zwei Kulturen angebaut, dürfte die Evapotranspiration pro Jahr größer und die Grundwasserbildung entsprechend geringer sein als bei nur einer Frucht.

### 3.2.2 Eintrag von Pflanzennährstoffen in Oberflächengewässer und Grundwasser

In Tab. 7 ist die Humus- und Stickstoffbilanz für zwei typische „Biogasfrüchte“ dargestellt. Der Anbau von *Silomais* zehrt (nach Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten 2004, obere Werte) mit 800 kg mineralisiertem C am Humusvorrat. Mit dem geernteten Mais werden 209 kg Stickstoff entzogen. Für eine ausgeglichene Humusbilanz wären 88,9 m<sup>3</sup> Gärrest mit z. B. 7 % TS, 9 kg C/m<sup>3</sup> und 5 kg N<sub>ges.-netto</sub>/m<sup>3</sup> notwendig. Darin sind 445 kg Stickstoff (netto) enthalten. Für eine ausgeglichene Stickstoffbilanz sind aber maximal nur 209 kg Stickstoff oder 41,8 m<sup>3</sup> Gärrest möglich. Die darin enthaltene Humusmenge reicht für eine ausgeglichene Humusbilanz nicht aus. Selbst mit einer vorangehenden Zwischenfrucht mit (energetischer) Nutzung des Aufwuchses (+ 160 kg C/ha) ist dies nicht möglich. Will der Landwirt also für eine ausgeglichene Stickstoffbilanz sorgen, so läuft er Gefahr, nicht genügend für seinen Humushaushalt zu tun. Ähnliches gilt für die Phosphorbilanz. Auch beim Anbau von *Getreide*, z. B. für GPS, düngt der Landwirt mehr Stickstoff als notwendig, wenn er die Humusbilanz mit Gärrest ausgleicht (Tab. 7).

Tab. 7: Beispiel eines Humus- und Stickstoffsaldos für eine 2jährige Energiepflanzen-Fruchtfolge Silomais-Wintergetreide-Zwischenfrucht

Kultur	Humusabbau (VDLUFA, obere Werte) kg C/ha	N-Entzug kg N/ha	für ausgeglichene <b>Humusbilanz</b> notwendige Gärrestmenge <sup>1)</sup> m <sup>3</sup> /ha	darin enthaltene N-Menge kg/ha	für ausgeglichenen <b>N-Saldo</b> mögliche Gärrestmenge <sup>1)</sup> m <sup>3</sup> /ha	darin enthaltene C-Menge, kg/ha
Silomais	- 800	- 209	88,9	445	41,8	376
GPS-Getreide	- 400	- 140	44,4	222	28,0	252
Zwischenfrucht	160	- 80	(- 17,7)	(- 89)	16,0	144
2jähr. Ø	- 520	- 215	57,8	289	42,9	386

<sup>1)</sup> 7 % TS; 9 kg C/m<sup>3</sup>; 5 kg N<sub>ges.-netto</sub>/m<sup>3</sup>

*Raps* und *Mais* haben aufgrund der hohen Biomassebildung gegenüber anderen Kulturen einen hohen Stickstoffbedarf. Bei der Düngerbedarfsermittlung wird von Sollwerten von 180 bis 220 kg N/ha ausgegangen. Langjährige Untersuchungen des N<sub>min</sub>-Gehaltes (Tab. 8) durch die LfL zeigen, dass bei diesen Kulturen auch der höchste N<sub>min</sub>-Wert nach der Ernte und zu Ende der Vegetationszeit im Boden vorhanden ist.

Tab. 8:  $N_{\min}$ -Gehalte kg/ha in 0 – 90 cm, Median 1991 – 2002

	nach Ernte	November	Frühjahr
Raps	72	98	77
Körnermais	76	74	61
Silomais	86	90	70

Dieser Stickstoff unterliegt der Gefahr der Verlagerung in das Grundwasser, wenn keine Gegenmaßnahmen getroffen werden. Auf Raps folgt in der Fruchtfolge üblicherweise Getreide, das bei frühzeitiger Saat und damit ausreichender Herbstentwicklung den Reststickstoff des Bodens zu einem Teil aufnehmen kann. Aufgrund der späten Ernte von Mais ist eine Konservierung des Stickstoffes über den Winter nach Mais schwieriger.

Mit einer mit der Energienutzung einhergehenden Abnahme des Anbaus von *Sommergetreide* zu Gunsten von *Wintergetreide* ergäbe sich wegen des damit später noch gegebenen Bedarfs im Herbst und des früheren Bedarfs bei Winterausgang ein geringeres Auswaschungs- und Abgasungsrisiko für stickstoffhaltige Verbindungen.

Beim *Rapsanbau* bestehen keine Unterschiede in der Erzeugung für den Food- bzw. Non-Food-Bereich.

Für die Ethanolproduktion werden hauptsächlich *Weizen*, *Triticale* und *Roggen* angebaut. Da sich hier ein hoher Rohproteingehalt eher störend auswirkt, werden vorrangig stärke-reiche B- und C-Weizen verwendet. Diese benötigen keine ausgeprägte Stickstoffspätdüngung und haben damit den Vorteil, nach der Ernte weniger Stickstoff im Boden zurückzulassen. Ähnlich ist die Erzeugung von GPS für Biogasanlagen zu sehen. Für die Nitratbelastung des Grundwassers ist der Getreideanbau für die Energieproduktion gegenüber dem Anbau von E- und A-Weizen zur Nahrungsmittelproduktion positiv zu bewerten.

Bei einer verstärkten Nutzung von *Grünlandaufwuchs* für die Energiegewinnung entfällt der bei der Viehhaltung praktizierte Import von Kraft- und Mineralfutter. Dies hätte eine Reduzierung des Nitrat- und Phosphorausstrags zur Folge (siehe Kap. 2.3.8, Szenario 1)

Größere Biogasanlagen sind zur Deckung des Substratbedarfs auf den Zukauf aus anderen landwirtschaftlichen Betrieben angewiesen. Wird der daraus entstehende Gärrest nicht zum überwiegenden Teil wieder an diese Betriebe abgegeben, besteht die Gefahr der Überversorgung der eigenen Flächen und der Nitratverlagerung in das Grundwasser.

Der Anbau stark wasserzehrender bzw. mehrerer Kulturen hintereinander in einem Jahr wird die Wasservorräte des Bodens stärker beanspruchen als bisher, was die Grundwasserneubildung vermindert, die Fracht von Nährstoffen reduziert und deren Konzentration im Wasser ansteigen lässt.

Bodenverdichtungen (siehe Kap. 3.1.1) erhöhen das Risiko für Stoffeinträge in Oberflächengewässer. Die Ausweitung des Maisanbaues kann bei Unterlassung begleitender erosionsmindernder Maßnahmen das Risiko ebenfalls erhöhen (siehe Kap. 3.1.2).

Mit einer Ausweitung von Früchten mit spätem Reihenschluss (*Mais, Sonnenblumen, Miscanthus, Zuckerrüben, Kartoffeln*) wird grundsätzlich das Risiko für Bodenerosion erhöht. Entsprechendes gilt, wenn auch in geringerem Maß, für eine Ausdehnung von Raps auf Kosten der Winterweizenfläche. Damit sind in der Regel auch negative Folgen für die Oberflächengewässer verbunden. Der zunehmende Trend zu Zweikulturnutzung und Zwischenfruchtanbau, eventuell verbunden mit Mulchsaat, mildert dieses Risiko durch eine ganzjährige Bodenbedeckung erheblich.

*Kurzumtriebskulturen* weisen nur geringen Oberflächenabfluss auf. Einerseits ist der Boden stark durchwurzelt, andererseits ist der Wasserbedarf der Kulturen hoch. Einträge von Pflanzennährstoffen (z. B. von Phosphaten) in Oberflächengewässer sind deshalb kaum zu befürchten. Auch die Sickerwasserbeschaffenheit ist günstig, da eine Düngung nicht durchgeführt wird. Die starke, andauernde und akkumulierende Biomasseproduktion bedingt in Verbindung mit der intensiven Durchwurzlung eine effektive Stoffaufnahme aus der Bodenlösung. Stickstoffverbindungen werden so wirkungsvoll aufgenommen, die Gefahr der Nitratauswaschung ist gering.

Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf vormals landwirtschaftlich genutzten Flächen und der dadurch bedingte Verzicht auf Dünger und Pflanzenschutzmittel verbessert demnach die Qualität des Sicker- und damit auch des Grundwassers.

Versuche der LWF zeigten, dass im zweiten Standjahr der Kultur der Nitratgehalt des Sickerwassers noch knapp über 40 Milligramm Nitrat pro Liter ( $\text{NO}_3$  in mg/l) lag, dann stark abfiel und über 6 Jahre Werte von maximal 15 Milligramm pro Liter erreichte, während das Sickerwasser einer benachbarten Ackerfläche deutlich höhere Nitratgehalte aufwies. Insbesondere in den für die Grundwasserbildung wichtigen Wintermonaten lag der Wert nur in einem Jahr über zehn Milligramm pro Liter.

Ein etwaiger Umbruch von Grünlandflächen zum Anbau von Energiepflanzen führt zu verstärkter Humusmineralisation. Da die jungen Gehölze das hohe Nitratangebot nicht ausnutzen können, kommt es dann zu höheren Nitratgehalten des Sickerwassers in den ersten Jahren.

### **3.2.3 Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer und Grundwasser**

Abgesehen vom unsachgemäßem Ansetzen oder Reinigen der Spritze kann der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer direkt über die Abdrift bei der Ausbringung erfolgen, sowie indirekt über den Austrag aus der behandelten Fläche in gelöster Form mit dem Oberflächenabfluss oder über Drainage oder partikulär gebunden mit dem Bodenaustrag bei Erosionsereignissen. Die Befruchtung des Grundwassers erfolgt über die Bodenpassage und setzt die entsprechende Mobilität der Wirkstoffe oder deren Metabolite voraus. Auch hier ist das öko-toxikologische Profil des Wirkstoffes bereits Gegenstand des Zulassungsverfahrens und hat gegebenenfalls entsprechende Anwendungsaufgaben zur Folge. Da sich das Spektrum der Wirkstoffe beim Anbau von Energiepflanzen nicht grundlegend vom Anbau zu Nahrungs- oder Futterzwecken unterscheidet, besteht diesbezüglich kein spezifisch erhöhtes Risiko.

Zwar befinden sich unter den im Grund- und Oberflächenwasser in Bayern nachweisbaren Pflanzenschutzmitteln häufig auch Wirkstoffe von Mais- oder Getreideherbiziden (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2006), woraus man beispielsweise auf ein erhöhtes Risiko im Falle einer Ausdehnung der Biogas-Maisfläche schließen könnte. Es handelt sich hierbei jedoch meist um Wirkstoffe mit bereits seit längerem bestehenden Anwendungsverbot auf Ackerflächen (z. B. Atrazin, Diuron) oder es wurden inzwischen entsprechend strenge Anwendungsaufgaben ausgesprochen (z. B. Terbutylazin, Bentazon, Isoproturon). Es ist daher nicht damit zu rechnen, dass es aus Gründen des Energiepflanzenanbaus zu einem verstärkten Eintrag dieser Stoffe kommt. Die Pflanzenschutzberatung fördert durch entsprechende Empfehlungen den Ersatz von wassersensiblen Wirkstoffen durch unproblematische Präparate in gefährdeten Regionen wie z. B. den offenen Jura-Karst.

Daten über den Austrag partikulär gebundener Pflanzenschutzmittel in Bayern liegen nicht vor. Grundsätzlich muss jedoch vor allem bei Kulturen, bei denen die Applikation bodenwirksamer Herbizide in Zeiträumen höherer Regenerosität stattfindet, mit einem höheren Austragsrisiko gerechnet werden. Unter den Energiepflanzen trifft dies insbesondere auf offene Reihenkulturen wie Mais, Sorghum-Hirsen und Zuckerrüben zu. Das Austragsrisiko kann jedoch durch entsprechende ackerbauliche Vorsorgemaßnahmen (z. B. Mulch- und Direktsaatbestelltechnik) und geeignete Wirkstoff- bzw. Präparateauswahl begrenzt werden.

In *Kurzumtriebskulturen* werden als Pflanzenschutzmittel meist nur Herbizide bei Anpflanzung der Kultur ausgebracht. Die Anwendung muss im Einzelfall genehmigt werden und kann hierdurch auf das absolut notwendige Maß begrenzt werden. Die Kulturen selbst müssen während der Rotation i. d. R. nicht mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden. Der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in oberirdische Gewässer oder das Grundwasser ist daher weitgehend ausgeschlossen.

### 3.3 Atmosphäre, Klima

Die Emission von klimawirksamen Spurengasen (z. B. Methan, Distickstoffoxid) aus Böden hängt im Allgemeinen wesentlich vom Wasserhaushalt der Böden und von der Verfügbarkeit von Nitrat ab.

*Raps* und *Mais* haben gegenüber anderen Kulturpflanzen einen höheren N-Bedarf, bei diesen Kulturen ist nach der Ernte und zu Vegetationsende am meisten Nitrat im Boden vorhanden (siehe Kap. 3.2.2).

Insgesamt wirkt sich der hohe Wasserverbrauch und der zu erwartende weitgehende Verzicht auf Stickstoffdüngung bei *Kurzumtriebskulturen* mindernd auf die Spurengasemission aus. Scholz u. Hellebrand (2004) wiesen durch mehrjährige Gasmessungen auf Versuchsflächen nach, dass die Emission von Lachgas auf ungedüngten Pappelflächen um  $250 \text{ mg/m}^2$  und Jahr geringer ist als auf konventionell gedüngten Ackerflächen mit Roggen.

Ein etwaiger Umbruch von Grünland zum Anbau von Energiepflanzen führt zu verstärkter Humusmineralisation verbunden mit verstärkter  $\text{CO}_2$ -Emission.



In der gesamten Wirtschaftsdünger-Kette werden u. a. Geruchstoffe, Ammoniak, Methan, Lachgas und luftgetragene Keime an die Luft abgegeben. Durch die Vergärung von Wirtschaftsdüngern ist diese Abgasung gegenüber unvergorener Gülle i. a. für Gerüche, Keime, Methan und Lachgas geringer. Die Mechanismen des Ammoniakverlustes werden von zwei Seiten beeinflusst: Der höhere Ammoniumanteil in Verbindung mit den steigenden pH-Werten birgt die Gefahr von Verlusten in Form von Ammoniak während der Lagerung und Ausbringung des Gärrestes. Nach der Ausbringung lässt die im Vergleich zu Rindergülle niedrigere Viskosität des Gärrestes diesen rascher in den Boden eindringen. Damit wird die weitere Ammoniak-Abgasung nach der Ausbringung reduziert. Dem erhöhten Risiko von Emissionen während und kurz nach der Ausbringung kann mit geeigneten Maßnahmen (Aufbringung in oder auf den Boden, günstige Witterungsverhältnisse, rasche Einarbeitung) begegnet werden.

### 3.4 Flora

Ein verstärkter Anbau von hoch- und dichtwüchsigen Kulturarten (Mais, Hirse) hat negative Folgen für die auf Ackerflächen bereits erheblich eingeschränkte Diversität der Flora (Agroplan, 2006; Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2007; Kuhn 2007).

Die intensivere Nutzung bisher extensiver genutzter Standorte (höhere Düngung und/oder häufigerer Schnitt von Grünland, Umbruch von Grünland, Auen und anderen feuchten Standorten) gewinnt im Falle einer Ausweitung des Energiepflanzenanbaus und der damit verbundenen Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion Auftrieb. Dies gefährdet wertvolle Standorte für heute selten gewordene Arten in unserer Kulturlandschaft.

Die „Reaktivierung“ von Stilllegungsflächen und eine möglicherweise reduzierte Nutzung von Agrarumweltprogrammen wegen der Konkurrenz durch den Anbau von Energiepflanzen führen zum Verlust von Biodiversität im Agrarraum.

Mit der neuen Form der Nutzung von Pflanzen als Energieträger besteht die Möglichkeit, dass neue Arten Einzug in unsere Kulturlandschaft halten und damit die Artenvielfalt erhöhen, möglicherweise auch durch die Neuansiedlung einer entsprechenden Begleitflora. Dies zeichnet sich heute allerdings noch nicht ab. Vielmehr ist mit zunehmendem Anbau von Energiepflanzen neben der Zunahme von Raps hauptsächlich mit einem zunehmenden Anbau von Mais zu rechnen, der für die Verwertung in Biogasanlagen bisher ohne Konkurrenz ist.

In der Verwertung von struktureichem Grünlandaufwuchs durch Gewinnung thermischer Energie oder durch Ausbringen auf Ackerflächen zum Ausgleich der Humusbilanz in Biogasbetrieben besteht eine Chance, ökologisch wertvolle Grünflächen weiterhin zu erhalten.

Beim Anbau von Kurzumtriebskulturen zeigen vorliegende vegetationskundliche Untersuchungen (im Anhalt an Ellenberg, 1992) auf allen Flächen positive Ergebnisse. Demnach liegt der Artenreichtum auf den mit Gehölzen bestockten Teilflächen meist um ein Vielfaches höher als auf den benachbarten landwirtschaftlichen Flächen. Während die Vegetationsentwicklung auf den bestockten Flächen wegen der wiederkehrenden Ernte der Bäume alle 5 Jahre regelmäßig gestört und damit auch, im ökologischen Sinn, positiv verändert wird, besteht auf den Randstreifen die Gefahr, dass sich artenarme Gräsergemeinschaften aus Quecke, Wiesenrispe und Knäuelgras bilden. Die mit Abstand niedrigste Artenvielfalt weist der Acker auf.

### 3.5 Fauna (einschließlich Wild)

#### 3.5.1 Endogäische Fauna

Insbesondere in mehrjährigen Energiepflanzenbeständen, z. B. Kurzumtriebskulturen, können minimale Bodenbearbeitung und Humusanreicherung in der obersten Bodenschicht zu positiven Effekte auf das Bodenleben führen. Dagegen kommt es bei maximierter Biomasse-Entnahme und unzureichender Rückführung organischer Substanz (denkbar z. B. in Energiemais-Fruchtfolgen) zu einem fortschreitenden Humusabbau (siehe 3.1.3) mit negativen Auswirkungen auf die Bodenfauna.

In den Boden zurückgeführte Biomasseaschen und Gärreste aus der Gewinnung von Bioenergie weisen im Vergleich zu herkömmlichen Wirtschaftsdüngern zwar höhere Nährstoffgehalte, aber keine bzw. geringere *Energiegehalte* auf (Reinhold et al., 2004; Peretzki et al., 2005). Diese Verschiebung beeinflusst mit Sicherheit das komplexe Wirkungsgefüge zwischen Bodenorganismen und dem Humushaushalt, wobei Stärke oder Tendenz eventueller Effekte derzeit kaum abzuschätzen sind. Eine langfristig negative Energiebilanz könnte sich u. U. ungünstig auf das Bodenleben auswirken.

Ein unumstrittenes Problem des Energiepflanzenanbaus stellt der hohe *Wasserbedarf* massenwüchsiger Pflanzenbestände dar, insbesondere bei Kurzumtriebskulturen oder mehreren Kulturen pro Jahr. Eine zunehmende Beanspruchung des Bodenwasserhaushalts hat negative Effekte auf viele Bodentiere (z. B. auf Regenwürmer und Enchytraeiden). Entsprechend ungünstig wären die Auswirkungen auf bedeutsame bodenökologische Leistungsparameter dieser Faunenelemente (z. B. Lebendverbauung, Makroporosität, Rottedynamik).

#### 3.5.2 Epigäische Arthropoden

Neue Kulturen stellen i. d. R. eine Bereicherung der Agrarlandschaft mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Tierwelt dar (Zöphel u. Kreuter, 2001). Xerophile oder thermophile Spezies, die auf Ackerböden nicht selten in großer Zahl vorkommen, werden dagegen zurückgedrängt. Aber auch die Vielfalt der Schatten und Feuchtigkeit liebenden Arten hängt stark von der jeweiligen Ausprägung des Anbausystems ab. Die weitgehende Tolerierung der Beikrautflora oder der Einsatz eines breiten Spektrums an Energiepflanzenarten wären z. B. Maßnahmen, die sich über Raumstruktur und Nahrungsketten auf die epigäische Fauna positiv auswirken würden. Eine Ausweitung der Maisanbaufläche, kombiniert mit konventioneller Unkrautbekämpfung und Bodenbearbeitung, hätte dagegen negative Effekte.

Wenn der Anbau von Energiepflanzen mit einem weitgehenden oder dauerhaften Pflugverzicht verknüpft wird, sind signifikant positive Auswirkungen auf die Diversität der epigäischen Arthropoden zu erwarten (Kreuter u. Nitzsche, 2005).

*Kurzumtriebskulturen* nehmen in faunistischer Hinsicht schon aufgrund ihrer Mehrjährigkeit und ihrer speziellen Raumstruktur eine Sonderstellung ein. Entscheidend für ihre Wirkung auf die epigäische Fauna sind u. a. ihre Zusammensetzung und Nutzungsfrequenz, der zugelassene Unterwuchs, der Übergang von solchen Kulturen zu angrenzenden Schlägen sowie ihr Flächenanteil an der gesamten Feldflur. In einer strukturarmen Agrarlandschaft stellen Kurzumtriebsplantagen i. d. R. eine Bereicherung dar und ergänzen die Trittsteine zwischen einzelnen Wald- bzw. Gehölzparzellen.

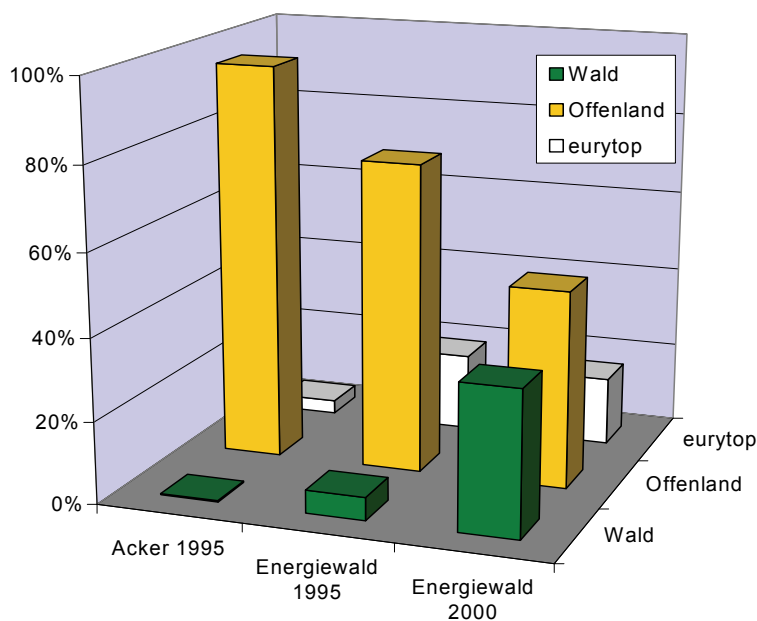


Abb. 6: Entwicklung der Spinnenpopulation nach Lebensraumtypen (Arten des Waldes, des Offenlands und solche mit weiter Verbreitung = eurytop)

In Bayern wurde in mehreren Aufnahmen die Entwicklung der Spinnenpopulation in Kurzumtriebskulturen untersucht (Blick et al., 2003). Die Ergebnisse sind in Abb. 6 anhand der Aktivitätsdichten dargestellt. Im Jahr 1995, drei Jahre nach Begründung der Fläche, waren die Unterschiede zwischen Acker und Kurzumtriebsplantage noch nicht groß. Die typischen Offenlandbewohner dominierten auf beiden Flächen; der Anteil der Waldarten in den Bodenfallen war auch im Energiewald gering. Anders stellte sich dort die Situation nach 8 Jahren (im Jahr 2000) dar: Die Aktivitätsdichten der Waldarten lagen zu diesem Zeitpunkt nur noch knapp unter denen der Ackerarten.

Weiterführende Beobachtungen ergaben, dass diese Entwicklung trotz zweimaliger kahl-schlagartiger Ernte bis ins Jahr 2006 fortschritt und schließlich zu einer Gehölz- bzw. Niederwaldfauna führte (Schardt et al., 2007). Besonders die Aktivitätsdichten relativ großer Spinnenarten, die typisch für solche Lebensräume sind, erhöhten sich auf der Versuchsfläche deutlich. Grünland- und Ackerarten verschwanden dagegen weitgehend.

Die Untersuchungen bestätigen damit auch am Beispiel von Kurzumtriebskulturen, dass der Energiepflanzenanbau einerseits positiv auf die faunistische Vielfalt der Agrarökosysteme wirken kann, andererseits aber keine geeigneten Lebensräume für Offenlandbewohner bietet.

### 3.5.3 Wirbeltiere

#### Arten der offenen Agrarlandschaft

Auf die Charakterarten der Agrarlandschaft (wie z. B. Feldhase, Rebhuhn, Ammern Lerchen, Greifvögel) wird sich ein zunehmender Anteil hoch- und dichtwachsender Kulturen eher negativ auswirken. Diese Spezies präferieren in erster Linie lichte Bestände und Brachen mit einer reichen Unkrautflora. Die Nutzung von Stilllegungsflächen für den Anbau von Mais oder Sorghum-Hirse ist daher aus faunistischer Sicht eher negativ. Auch die weitere Flächenausdehnung der schon heute dominierenden Kulturen (Mais, Raps, Weizen) würde eine Verarmung der Tiergesellschaften nach sich ziehen.

Bei einer Zweikulturnutzung z. B. mit GPS erfolgt die erste Ernte zur Hauptbrut- bzw. Aufzuchtzeit vieler Tierarten im Mai bzw. Juni auf bisher in diesem Zeitraum ungestörten Äckern. Dadurch sind höhere Verluste bei Bodenbrütern und Wild zu erwarten.

Wie bereits für die Wirbellosen beschrieben, werden Kurzumtriebskulturen in einer strukturalarmen Agrarlandschaft i. d. R. zu einer faunistischen Bereicherung führen und zur Biotopvernetzung beitragen. Aufnahmen des Sommervogelbestands in Kurzumtriebs-Versuchsflächen in Nordhessen zeigen eine deutliche Überlegenheit eines Energiewaldes gegenüber der angrenzenden landwirtschaftlichen Feldflur (Liesebach, M., Mulsow, H., 2003)). Dem Rückgang vieler Charakterarten der offenen Kulturlandschaft wirken solche Strukturen allerdings nicht entgegen.

#### Wild

Der zunehmende Anbau von Energiepflanzen erfolgt entweder auf Schlägen, die zuvor der herkömmlichen Marktfrucht- bzw. Futterproduktion gedient haben, oder er greift auf stillgelegte Flächen bzw. Grünland zurück. Betroffen von einer mit dem Energiepflanzenanbau möglicherweise einhergehenden Intensivierung oder Monotonisierung sind folglich diejenigen Wildarten, die auf solchen Arealen geeignete Vermehrungsbedingungen vorfinden. Dazu gehören in erster Linie der Feldhase, das Rebhuhn und die Wachtel. Zwar besiedeln auch Reh- und Schwarzwild, Fasane, Wildkaninchen und Raubsäuger die genannten Lebensräume; diese Arten sind aber im Hinblick auf den Intensivierungsgrad und die strukturelle Vielfalt der Landbewirtschaftung wesentlich anpassungsfähiger.

*Feldhasen* besiedeln in Mitteleuropa ausschließlich die offene Agrarlandschaft. Sie ernähren sich hauptsächlich von Gräsern und Kräutern. Die Qualität und Menge dieser Nahrung sowie die Größe und Verteilung von Äsungsflächen und Deckungsmöglichkeiten im Jahresverlauf sind entscheidend für den Reproduktionserfolg. Optimale Bedingungen findet der Feldhase in Agrarlandschaften mit einem vielfältigen Nutzungsmosaik sowie in Blühstreifen und Brachen vor. Unter dem Einfluss der großflächig intensiven Landwirtschaft kam es in den letzten Jahrzehnten zu starken Bestandesrückgängen. Massenwüchsige Energiepflanzenbestände sind als Lebensraum für den Feldhasen ungeeignet. Als besonders nachteilig ist der großflächige Anbau von Mais für die Biogasnutzung einzuschätzen, da diese Äcker gerade im Frühjahr kaum Deckung und Äsung bieten.

Auch das *Rebhuhn* unterliegt seit Jahrzehnten in ganz Europa einem starken Rückgang. In Deutschland sind regionale Bestandeseinbrüche von über 90 % nicht selten. Als wichtigste Ursache dafür gilt die erhöhte Kükensterblichkeit, wobei ein enger Zusammenhang mit der Abnahme von Insekten als wichtigste Kükennahrung besteht. Auf den meisten landwirtschaftlich genutzten Flächen sind die Küken nicht in der Lage, ihren Tagesbedarf an Insekten (ca. 15 g) in der zur Verfügung stehenden Zeit zu decken. Im konventionell bewirtschafteten Getreide würden sie im Durchschnitt über 24 Stunden benötigen; noch ungünstiger ist die Situation auf Maisäckern. Während der Aufzucht müssen vielfältige Lebensraumansprüche (Nahrung, Deckung, warmes Mikroklima) möglichst kleinräumig nebeneinander erfüllt sein, da die jungen Küken zunächst wenig mobil sind. Diesen Ansprüchen werden artenreiche und in ihrer Bestandesstruktur heterogene Ackerbrachen oder eigens angelegte Blühstreifen am ehesten gerecht.

Ähnliches gilt für die *Wachtel*, deren Bestandessituation ebenfalls nicht befriedigend ist. Allerdings sind Wachteln ausgesprochene Zugvögel. Bruterfolg und Lebensraumqualität in Mitteleuropa sind folglich nicht allein verantwortlich für die Entwicklung der Population.

Auf neu angelegten Kurzumtriebskulturen sind nach Beobachtung der LWF häufig Rebhühner zu finden. Ungeachtet dessen werden die vorrangigen Habitatsansprüche von Rebhuhn und Wachtel in Energiepflanzenbeständen mit hoher Biomasseproduktion nicht erfüllt. Eine Ausweitung der Anbaufläche solcher Kulturen dürfte sich daher auf beide Arten negativ auswirken, insbesondere wenn der Anbau auf Stilllegungsflächen erfolgt.

Neben einer ausreichenden Nahrungsgrundlage ist die Störungsarmut im Zeitraum der Jungenaufzucht von zentraler Bedeutung. Rebhühner und Wachteln, aber auch viele Feldvogelarten benötigen vor allem im Mai und Juni ungestörte Habitate. Der Energiepflanzenanbau stellt auch diesbezüglich i. d. R. keine Alternative zu herkömmlichen Stilllegungsflächen dar. Die Nutzung von GPS fällt meist genau in diesen Zeitraum, während Maisflächen im späten Frühjahr noch keine ausreichende Deckung bieten.

Im Winter werden Brachen und Blühstreifen u. a. vom *Niederwild* aufgesucht. Die Flächen bieten gleichermaßen Nahrung und Deckung. Aus dem Spektrum der Energiepflanzen erfüllen schnellwachsende Hölzer sowie Miscanthus- und vergleichbare Bestände im Winter zumindest eine Schutzfunktion, sofern ein möglichst später Erntetermin eingehalten wird.

Das anpassungsfähige *Reh- und Schwarzwild* dürfte durch die Zunahme massenwüchsiger Kulturen kaum negativ beeinflusst werden. Die schon heute hohen Bestände könnten sogar noch wachsen.

Ähnliches gilt für *Raubsäuger* der offenen Agrarlandschaft, insbesondere für den Rotfuchs. Allerdings lässt sich auf Grund der relativ großen ökologischen Toleranz dieser Arten kaum prognostizieren, ob und inwieweit sich ein derartiger Strukturwandel in der Agrarlandschaft auf die Populationen auswirken würde.

### 3.6 Kulturlandschaft

Die Kulturlandschaft und das Landschaftsbild leben von der Vielfalt ihrer Strukturen. Eine Entwicklung, die diese Vielfalt deutlich einschränkt, wäre deshalb negativ zu sehen.

Ein Anbau von sehr hohen Sorten/Arten von Mais, Miscanthus oder Sorghum-Hirsen kann das Landschaftsbild dann stören, wenn ihre Anbaufläche deutlich zunimmt. Neu in das Anbausortiment aufgenommene Pflanzenarten, alte Kulturarten und Mischkulturen wie z. B. Agroforstsysteme oder Gehölze in Kurzumtriebskultur können dagegen positiv wirken.

Grünlandumbruch, insbesondere Feuchtgrünland, zur Nutzung für Energiepflanzen würde sich in vielen Landschaftsteilen negativ auf das Landschaftsbild auswirken.

Eine Intensivierung der Grünlandnutzung, z. B. von Salbei-Glatthaferwiesen zur Biogas-erzeugung, würde ebenfalls zu einer Änderung des Landschaftsbildes führen.

Durch die weitere Ausdehnung des Anbaues von Energiepflanzen wie Raps und Mais werden die Fruchtfolgen enger. Dies verringert die für die Artenvielfalt erforderliche Nutzungs- und Strukturvielfalt und wirkt sich ungünstig auf das Erscheinungsbild der Kulturlandschaft aus (große monotone Ackerflächen).

Der von der EU Ende September 2007 für 2008 beschlossene Wegfall der obligatorischen Flächenstilllegung wirkt sich zumindest teilweise negativ auf das Lebensraumangebot im Agrarraum aus, da ein Teil der stillgelegten Flächen insbesondere unter dem Aspekt zunehmender Flächenkonkurrenz wieder intensiv, z. B. mit Energiepflanzen, bewirtschaftet wird. In den letzten Jahren wurden allerdings bereits die besseren obligatorisch stillgelegten Flächen d. h. ca. 40.000 - 45.000 ha für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt. Die darüber hinaus stillgelegte Fläche schwankt zwischen ca. 100.000 und 120.000 ha. In der Regel sind diese Flächen aus den verschiedensten Gründen ungünstig für die landwirtschaftliche Nutzung.

Nach nicht repräsentativen Befragungen von Landwirten wird der kleinere Teil dieser Flächen wieder in landwirtschaftliche Nutzung genommen werden, der größere wird aus vorwiegend ökonomischen Gründen aber weiterhin stillgelegt bleiben, so dass ein größerer Anteil der jetzt stillgelegten Flächen auch künftig ganzjährig als potenzielle Lebensräume zur Verfügung steht.

Es sei angemerkt, dass ein Teil dieser „Altstilllegungen“ von der Struktur und der Artenzusammensetzung nur für wenige Tierarten Lebensraum bietet. Eine Aufwertung dieser Flächen, z. B. durch die Ansaat von Blühflächen, ist nur bedingt möglich, da sie z. T. mit Problemunkräutern wie Ampfer, Quecke u. ä. belastet sind, die solche Neuansäen unterdrücken. Positive Wirkungen haben diese Flächen aber in jedem Fall für den Boden- und Gewässerschutz.

*Kurzumtriebskulturen* schaffen insbesondere in Wald- und strukturarmen Regionen eine Zunahme der Strukturvielfalt. Durch das vermehrte Vorkommen von Dauerkulturen wird die Biotopvernetzung verbessert.

## 4 Folgerungen und Hinweise zur Vermeidung negativer Wirkungen auf die Umwelt

Brandhuber, Robert; Burger, Frank; Capriel, Peter; Fritz, Maendy; Gehring, Klaus; Kreuter, Thomas; Kuhn, Gisbert; Müller, Christa; Unger, Hans-Jürgen; Weigand, Stephan; Wendland, Matthias

Grundsätzlich ist beim Anbau von Energiepflanzen das gleiche Niveau der guten fachlichen Praxis wie bei der Produktion von Lebensmitteln einzuhalten. Auch nach einem intensiven Anbau von Energiepflanzen muss die Rückkehr zur Produktion von Nahrungs- und Futtermittel auf den selben Flächen ohne zusätzliche Risiken möglich sein. Aus der Forderung nach angemessenem Umweltschutz ergeben sich deshalb keine höheren Anforderungen an die gute fachliche Praxis.

Zur Lösung der beim verstärkten Anbau von Energiepflanzen entstehenden möglichen Konflikte mit Umweltzielen werden die folgenden Hinweise gegeben.

### 4.1 Bodenschutz

#### 4.1.1 Schonung der Bodenstruktur

Bei der Ernte- und Transportlogistik (Mais, GPS) und bei der Ausbringung der Gärreste aus Biogasanlagen ist größter Wert darauf zu legen, dass trotz höherer Kosten nur Verfahren mit geringem Bodendruck eingesetzt werden. Konkret bedeutet das die konsequente Verwendung von Breitreifen mit möglichst niedrigem Reifeninnendruck auf dem Feld (bei feuchten, wenig tragfähigen Böden max. 1 bar, bei tragfähigen, bis unter die Krume abgetrockneten Böden unter 2 bar (siehe Richtlinie VDI 6101). Die Radlast sollte bei größt möglicher Bereifung 10 t nicht überschreiten. Die Schlagkraft bei Ernte, Gärsubstratausbringung und Transport ist so auszulegen, dass nasse Böden nicht befahren werden müssen. Die Trennung von Feld- und Straßentransport kann wegen der differierenden Anforderungen an die Mechanisierung notwendig werden.

#### 4.1.2 Minimierung des Bodenabtrags

In erosionsgefährdeten Lagen sind Erosionsschutzmaßnahmen (Zwischenfrüchte und Mulchsaat von Reihenkulturen) Standard der guten fachlichen Praxis. Der Aufwuchs nicht abfrierender Zwischenfrüchte (z. B. Winterraps, Winterroggen) vor Mais kann energetisch verwertet werden, deren Anbau kommt somit einem auf Energienutzung ausgerichteten Pflanzenbausystem entgegen. Winterroggen als Zwischenfrucht zwischen zwei aufeinander folgende Maiskulturen bietet ein hohes und in erosionsgefährdeten Lagen auch notwendiges Maß an Erosionsschutz.

In Fruchtfolgen mit zwei Kulturen pro Jahr fallen der Umbruch im Mai/Juni und die Bestellung der Folgekultur in eine Zeit mit sehr hoher Regenerosivität. In erosionsgefährdeten Lagen sollte die Bestellung deshalb konservierend (pfluglos) erfolgen. Das Erosionsrisiko wird neben dem Maisanteil in der Fruchtfolge entscheidend durch die Anwendung von Erosionsschutzmaßnahmen bestimmt. Folgende Bedingungen können in Zukunft die Anwendung von Erosionsschutzmaßnahmen fördernd oder hindernd beeinflussen:

- Mit der geplanten Änderung der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung ab 2009 werden Erosionsschutzmaßnahmen auf erosionsgefährdeten Ackerflächen verpflichtend. Es ist damit zu rechnen, dass in stark erosionsgefährdeten Lagen ein hohes Maß an Erosionsschutz sichergestellt ist.
- Die Bereitschaft, die Böden in Energiepflanzenfruchtfolgen konservierend und damit erosionsmindernd zu bearbeiten, steigt, wenn Getreide nicht zur Futter- oder Nahrungsmittelverwertung (erhöhtes Risiko der Mycotoxinbelastung von Weizen bei pflugloser Bodenbearbeitung) angebaut wird. Die von der Klimaänderung begünstigte Ausbreitung von Maisschädlingen könnte aber eine gegenläufige Entwicklung begünstigen (Unterpflügen des Maisstrohs als Bekämpfungsmaßnahme).

Die Bereitschaft, erosionshemmende Strukturen an kritischen Stellen im Feld anzulegen (Grasstreifen, Hecken), dürfte bei Flächenknappheit sinken. Andererseits könnte eine Verwertung von Gras in Biogasanlagen die Erhaltung oder Etablierung einer aus Erosions- oder Gewässerschutzgründen erwünschten Grünlandnutzung erleichtern.

Die ganzjährige Bodendeckung bei *Kurzumtriebskulturen* und ihr tiefgreifendes Wurzelsystem machen diese Bodennutzungsart insbesondere für stärker erosionsgefährdete Standorte geeignet.

#### 4.1.3 Erhaltung der Humusvorräte

Im Einzugsbereich großer Biogasanlagen mit weiten Transportwegen für das Gärsubstrat könnte die Rückführung der Gärreste auf Grund zu hoher Transportkosten unterlassen werden, so dass hier ein verstärkter Humusabbau zu befürchten ist. Eine Rückführung der Gärreste auf die Flächen, auf denen die Ausgangssubstrate für die Biogasanlage erzeugt wurden, ist deshalb dringend anzuraten. Dabei ist eine Stickstoff- bzw. Phosphorübersorgung zu vermeiden. Die Rückführung der Gärreste alleine ist aber nicht ausreichend, um einen ausgeglichenen Kohlenstoffhaushalt aller betroffenen Ackerflächen zu erreichen. Von den bewährten landwirtschaftlichen Maßnahmen, die den Humusgehalt und die Humusqualität erhalten und fördern, ist deshalb insbesondere auf eine ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz in Form von Ernterückständen, Zwischenfrüchten und Wirtschaftsdüngern (Stallmist, Gülle, Kompost) zu achten, auch wenn dies in Konkurrenz zu einer energetischen Nutzung des Grünmasseaufwuchses und der Wirtschaftsdünger steht.

Als zusätzliche Möglichkeit für die Versorgung der Ackerflächen mit organischer Substanz kommt die Ausbringung von Grüngut in Frage, das in Biogasanlagen nicht oder nur schlecht verwertet werden kann, z. B. überständiges, strukturreiches Gras oder gehäckseltes Holzschnittgut aus der Landschaftspflege. Allerdings gilt es auch hier, eine Stickstoff- und Phosphorübersorgung zu vermeiden (Capriel, 2003).

Grünlandumbruch zum Anbau von Energiepflanzen soll wegen des massiven Humusabbaus vermieden werden.

Aus Sicht des Bodenschutzgesetzes und der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist entscheidend, ob der Humusgehalt ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ) und die Humusqualität ( $C_{\text{org}} / N_t$ ) noch im standorttypischen Bereich liegen. Für Bayern liegen die standorttypischen Spannweiten für Humusgehalte und Humusqualitäten von Ackerböden vor, so dass eine Bewertung des Humusgehalts und der Humusqualität problemlos möglich ist (Capriel, 2006).



Die regelmäßige Humusuntersuchung, das heißt die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs ( $C_{\text{org}}$ ) und des Gesamtstickstoffs ( $N_t$ ) im Boden, ist der einzige Weg, um die Humusversorgung von Ackerböden sicher zu erfassen. Die Humusuntersuchung soll in einem Turnus von 6 Jahren durchgeführt werden. Ausführliche Hinweise zur Humusuntersuchung sind im „Leitfaden für die Düngung von Acker und Grünland“ zu finden (Wendland et al., 2007).

Die Humusbilanzierung ist generell mit Fehlern behaftet und deshalb kein geeignetes Instrument für die Erfassung der Humusversorgung eines Ackerbodens. Die alleinige Anwendung der Humusbilanzierung ohne begleitende Humusuntersuchung ist nicht ratsam. Selbst wenn mehrere Jahre in Folge positive Humussalden errechnet werden, ist ungewiss, ob die Humusversorgung ausreichend ist. Es besteht das Risiko, dass trotz positiver Humussalden der tatsächliche Humusgehalt abnimmt (Wendland et al., 2007).

#### 4.1.4 Minimierung des Stoffeintrags

##### 4.1.4.1 Pflanzenschutzmittel

Auch beim Anbau von Energiepflanzen ist die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis auf das notwendige Maß zu beschränken (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2005). Bei konsequenter Anwendung der verschiedenen Maßnahmen lässt sich dadurch auch beim Energiepflanzenanbau die Befruchtung der Böden entsprechend minimieren. So kann z. B. über eine vielseitige Fruchtfolge, eine standortgerechte Bodenbearbeitung, geeignete Saattermine und Saatstärken, möglichst resistente Sorten und eine ausgewogene Düngung einem hohen Schaderregerdruck vorgebeugt werden. Treten Schadorganismen auf, sollten Pflanzenschutzmittel nur bei bekämpfungswürdigem Befall zum Einsatz kommen. Bei Reihenkulturen besteht häufig auch die Möglichkeit der mechanischen Unkrautbekämpfung. Allerdings ergeben sich hierbei regelmäßig Zielkonflikte. Eine höhere Intensität der Bodenbearbeitung kann ein erhöhtes Erosionsrisiko, insbesondere bei Zwei-Kultur-Systemen, bedingen. Vielfältige Fruchtfolgen scheitern zur Zeit noch an der begrenzten Anzahl leistungsfähiger Energiepflanzen und an praxistauglichen Anbausystemen. Über den Einsatz gentechnisch veränderter Maissorten besteht sowohl für die Bekämpfung des Maiszünslers, als möglicherweise zukünftig auch für die Ausbreitungsbegrenzung des Maiswurzelbohrer ein Ansatz zur Verfügung, der ohne bzw. mit deutlich verringertem Aufwand an chemischen Pflanzenschutzmitteln auskommt. Hierfür ist jedoch zur Zeit keine gesellschaftliche Akzeptanz vorhanden (siehe Kap. 2.3.10).

Im Anbau von *Gehölzen in Kurzumtriebskulturen* kann eine Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln durch die Verwendung von besonders schädlings- und krankheitsresistenten Klonen erreicht werden. Da Schadorganismen meist baumarten- oder klonspezifisch auftreten (Bacher, 1989) ist der Anbau mehrerer Sorten auf einer Kurzumtriebsfläche anzustreben.

#### 4.1.4.2 Schadstoffe und Krankheitserreger aus GÄRRÜCKSTÄNDEN UND BIOMASSE-ASCHEN

Werden bei der Vergärung nur Substrate eingesetzt, die nach dem EEG den NaWaRo-Bonus erhalten, ist durch die Gärreste keine nennenswerte Schadstoffbelastung des Bodens zu erwarten. Bei Vergärung von Energiepflanzen zusammen mit Bioabfällen sind für den gesamten Gärrest die Anforderungen der BioAbfV und der DüMV einzuhalten. Bei Anlagen, die das nach BioAbfV und DüMV mögliche Spektrum der Ausgangssubstrate ausnützen, besteht allerdings auch bei Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen ein gewisses Risiko für eine langfristige Anreicherung von Schwermetallen im Boden, da die tatsächlichen und zulässigen Frachten in der Regel höher sind als die Pflanzenentzüge. Eine möglichst weitgehende Rückführung der Gärreste auf die Herkunftsflächen ist anzustreben.

Zur Hygienisierung von Gülle wird eine 2-stufige Prozessführung (thermophil – mesophil) empfohlen.

Bei der landbaulichen Verwertung von Biomasseaschen sind die Vorgaben der DüMV (nur Feuerraumasche, Schwermetallgrenzwerte) zu beachten. Aschen aus der Verbrennung von Stroh und Ganzpflanzen sind im Hinblick auf mögliche Schadstoffeinträge in Böden günstiger zu beurteilen als Holz.

## 4.2 Gewässerschutz

### 4.2.1 Minimierung des Eintrags von Pflanzennährstoffen

Um einen Eintrag in das Grundwasser zu vermeiden, ist eine genaue Düngeplanung notwendig, die sich am Entzug der angebauten Kulturen ausrichtet. Dazu gehören Kenntnisse über den Nährstoffgehalt der Gärreste. Dieser ist von der Zusammensetzung der Ausgangssubstrate und deren Nährstoffgehalte abhängig. Ergebnisse von 44 Gärrestuntersuchungen aus Praxisbetrieben (Tab. 9) zeigen, dass die TS- und Nährstoffgehalte selbst bei ähnlichen Ausgangsstoffen stark schwanken. Daher können keine allgemein gültigen Tabellenwerte abgeleitet werden. Für eine pflanzenbaulich und umweltschonende Verwertung des Gärsubstrats sind daher betriebsspezifische Untersuchungen unerlässlich.

Tab. 9: Nährstoffuntersuchungen Gärreste (Untersuchungen der LfL, n=44)

	TS in %	N ges. kg/m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> kg/m <sup>3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/m <sup>3</sup>	K <sub>2</sub> O kg/m <sup>3</sup>
niedrigster Wert	2,9	2,4	1,5	0,9	2,0
höchster Wert	13,2	9,1	6,8	6,0	10,6
Durchschnitt	6,7	5,4	3,5	2,5	5,4

Insgesamt soll die Düngung so bemessen werden, dass der Nährstoffkreislauf ausgeglichen ist. Bezogen auf Biogasbetriebe bedeutet dies, dass die mit den Gärresten angefallenen Nährstoffmengen auf die Flächen zurückgeführt werden sollten, auf denen die Ausgangssubstrate für die Biogasanlage erzeugt wurden. Wird auf Mineraldünger verzichtet, kann der Anteil der unvermeidbaren Verluste auch durch aus zugekauften Substraten entstandenen Gärresten ersetzt werden. Werden diese Mengen überschritten, muss Gärsubstrat abgegeben werden, vorzugsweise an die Betriebe, die das Ausgangsmaterial geliefert haben. Andernfalls besteht die Gefahr, die in der Düngeverordnung festgelegten Werte für eine gute fachliche Praxis zu überschreiten.

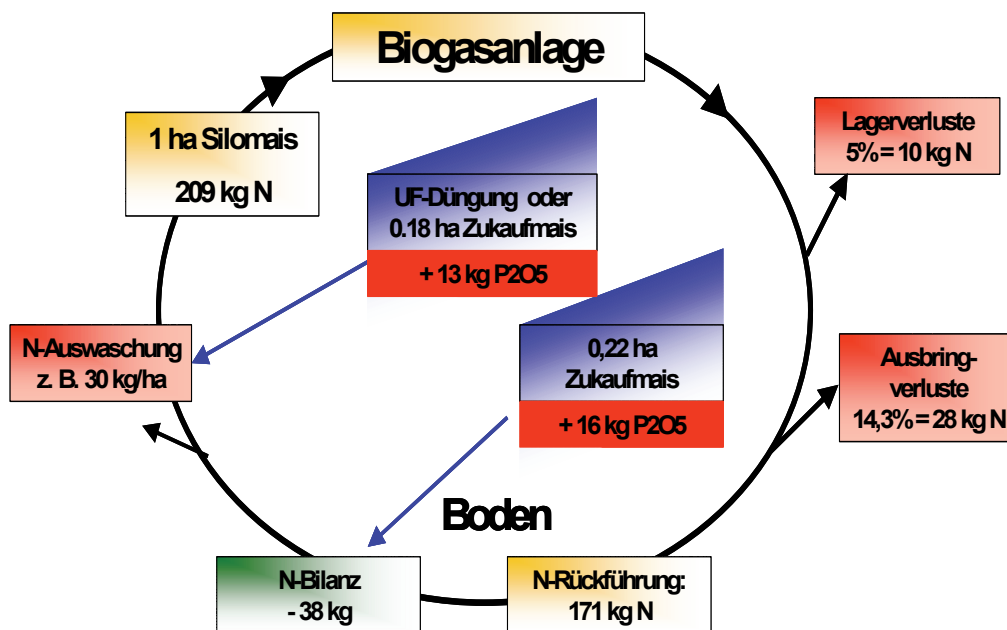


Abb. 7: Nährstoffkreislauf bei Silomaisanbau für eine Biogasanlage

Das Beispiel der Abb. 7 verdeutlicht den Nährstoffkreislauf auf einer Silomaisfläche. Die durch Lager- und Ausbringverluste verlorene Stickstoffmenge von 38 kg kann entweder durch Mineraldünger ersetzt werden oder durch Gärreste, die einem Zukauf von 0,22 ha Silomais entsprechen. Weiterer Spielraum zum Einsatz zugekauften Materials besteht beim Ausgleich der unvermeidbaren Standortverluste (hier 30 kg N-Auswaschung), allerdings muss dann im Sinne einer ausgeglichenen Bilanz sowohl für Stickstoff als auch Phosphat auf eine Unterfußdüngung verzichtet werden.

Zur Vermeidung von Einträgen in Oberflächengewässer sind neben erosionshemmenden Maßnahmen (siehe Kap. 4.1.2) wie ganzjährige Bodenbedeckung und Mulchsaaten ausreichende Abstände zu Gewässern bei der Substratausbringung einzuhalten. In gefährdeten Lagen werden Ausbringergeräte empfohlen, die das Substrat direkt in den Boden einbringen.

#### 4.2.2 Minimierung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln

Auch der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer lässt sich über die Berücksichtigung der guten fachlichen Praxis minimieren. Bei Pflanzenschutzmitteln mit einem höheren wassergefährdenden Potenzial wird durch spezielle Anwendungsaufgaben (z. B. Abstandsauflagen zu Gewässern, vorgeschriebene abdriftmindernde Düsentechnik, Verbot der Anwendung bei stärkerer Hangneigung ohne Mulchsaat oder bewachsenem Schutzstreifen, zeitliche Befristung der Ausbringung, Anwendungsverbote bei drainierten Flächen oder auswaschungsgefährdeten Böden) das Risiko einer Befruchtung von Gewässern vermindert. Die entsprechenden, allgemein gültigen Beratungsempfehlungen sollen genutzt werden (z. B. Gehring, 2006). Die Einhaltung der Auflagen ist gemäß Pflanzenschutzgesetz für jeden Landwirt verpflichtend und wird auch entsprechend kontrolliert (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2006).

Jedes Anbausystem, das für weniger Oberflächenabfluss und Bodenabtrag sorgt (siehe Kap. 4.1.2), vermindert auch den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer.

#### 4.3 Reduzierung der Abgasung umweltschädlicher Gase

Während der Lagerung des Gärrestes kann durch eine geeignete Abdeckung der  $\text{NH}_3$ -Verlust nahezu unterbunden werden. Bei der Ausbringung des Gärrestes soll auf geeignete Ausbringverfahren, günstige Rahmenbedingungen (Temperatur, Windverhältnisse, Konsistenz) und eine möglichst rasche Einarbeitung des Gärrestes geachtet werden.

#### 4.4 Schutz der heimischen Flora

Zur Beurteilung der botanischen Biodiversität reicht es nicht aus, nur die für die Erzeugung von Energiepflanzen genutzten Flächen zu betrachten, vielmehr muss die gesamte Kulturlandschaft mit ihren vielfältigen Vernetzungen gesehen werden. Zwischen den entsprechenden Acker- und Grünlandschlägen gibt es noch eine Vielzahl von (meist kleineren, oft linienhaften) Flächen, die für die landwirtschaftliche Nutzung von untergeordneter Bedeutung sind, aber für den Schutz der Flora wichtige Beiträge liefern. Insbesondere gehören dazu Hecken, Feldgehölze, Einzelbäume, Alleen, Raine, Waldsäume, Altgrasstreifen, ungenutzte Zwickel, fließende und stehende Gewässer mit ihren Randstreifen etc.

Das Bayerische Kulturlandschafts-Programm (KULAP) bietet eine Reihe von Möglichkeiten, solche Flächen zu erhalten bzw. anzulegen, z. B.:

- Umweltorientierte Dauergrünlandnutzung (A 21),
- Extensive Grünlandnutzung entlang von Gewässern und sonstigen sensiblen Gebieten (A 24),
- Agrarökologische Ackernutzung und Blühflächen (A 36, A 37),
- Streuobstbau (A 45),
- Heckenpflegeprämie (A 51).

Dennoch ist es von Bedeutung, auch auf den Anbauflächen selbst die Intensität der Bewirtschaftung zu begrenzen und auch dort den wildwachsenden Pflanzenarten eine Chance zu geben.

In wald- und strukturarmen Landschaften kann durch *Kurzumtriebskulturen* die Biodiversität gefördert werden. Es entsteht ein Ökosystem, das in seiner ökologischen Wirkung wohl zwischen Hochwald und landwirtschaftlich genutzter Fläche eingeordnet werden kann.

#### **4.5 Schutz der heimischen Fauna einschließlich des Wildes**

Für die endogäische Fauna sind Bodenbearbeitung, Humus- und Wasserhaushalt von größerer Bedeutung als die Pflanzenart selbst und ihre Bestandesstruktur. Negative Folgen eines forcierten Energiepflanzenanbaus können deshalb mit verschiedenen Maßnahmen wie z. B. Minimalbodenbearbeitung, ausreichende Versorgung mit organischer Substanz und einem schonenden Umgang mit dem Bodenwasservorrat gemildert werden.

Für die Fauna an der Bodenoberfläche und in den Pflanzenbeständen kann der Anbau von Energiepflanzen als Ergänzung vorhandener Nutzungsmodelle neue Strukturen in der Agrarlandschaft schaffen und damit prinzipiell auch eine Bereicherung darstellen. Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass

- nicht die ohnehin schon dominierenden Kulturen präferiert werden,
- der Offenland-Charakter der Agrarlandschaft prinzipiell gewahrt bleibt,
- Saumstrukturen und Habitate für Charakterarten der Kulturlandschaft nicht verloren gehen.

Insbesondere in waldarmen Landschaften sind *Kurzumtriebskulturen* geeignet, als Dauerkultur die faunistische Vielfalt zu erhöhen.

#### **4.6 Erhaltung einer funktionsfähigen Kulturlandschaft**

Ein vielfältiges Nutzungsmosaik mit unterschiedlichen (Klein-)Strukturen ist wichtig für eine attraktive Kulturlandschaft und eine ausreichende Biodiversität. Alle bisher genannten Maßnahmen tragen hierzu bei. Darüber hinaus kann mit Maßnahmen im Rahmen von Förderprogrammen ein Ausgleich für ungünstige Auswirkungen auf die Kulturlandschaft erreicht werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Zunahme des Energiepflanzenanbaus zeigt sich in vermehrtem Anbau bereits verbreiteter oder auch neuer Kulturarten auf Kosten anderer oder in einem Wechsel in der Verwertung der gleichen Frucht. In diesem Sinn hat der Anbau von Energiepflanzen, insbesondere von Mais und Raps, in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen.

Die künftige Entwicklung des Energiepflanzenanbaus hängt entscheidend von den ökonomischen Rahmenbedingungen ab. Veränderungen im Fruchtartenspektrum zeichnen sich bisher kaum ab, an der relativen Vorzüglichkeit des Maisanbaues wird sich auf lange Sicht wenig ändern. Als neue Kulturen bestehen mittelfristig gewisse Potentiale für Sorghum-Hirsen und Kurzumtriebskulturen.

Der Anteil der für energetische Zwecke angebauten wichtigsten Kulturpflanzen Raps und Mais an der Ackerfläche in Bayern macht heute etwa 8 % aus. Einige der mit zunehmendem Anbau verbundenen oder möglichen Probleme sind bereits real. Dies trifft insbesondere für die bestehenden regionalen Anbauswerpunkte für Energiepflanzen zur Biogas-erzeugung zu.

Je nach Art und Umfang einer Ausdehnung des Anbaus von Energiepflanzen werden die Auswirkungen auf die Umwelt künftig stärker oder schwächer ausfallen.

Für Bodenstruktur, Bodenerosion, Humusversorgung, Schadstoffeintrag in den Boden sowie Gewässerschutz werden Möglichkeiten positiver wie auch negativer Auswirkungen gesehen. Letztere können durch produktionstechnische Maßnahmen weitgehend vermieden werden.

Für den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in den Boden und die Emission umweltschädlicher Gase sind ebenfalls positive wie negative Potenziale für die Umwelt zu erkennen.

Überwiegend negative Auswirkungen eines zunehmenden und einseitigen Anbaus von Energiepflanzen sind für die Artenvielfalt (Flora und Fauna) und damit auch für die Kulturlandschaft und den Wildschutz zu erwarten. Gerade für diese Bestandteile der Kulturlandschaft fehlt es bisher an einfach anwendbaren Indikatoren für deren Wertigkeit.

Von einer Intensivierung der Flächennutzung für den Energiepflanzenanbau durch Aufgabe der Stilllegung oder durch Umbruch von Grünland wird i. d. R. eine negative Wirkung auf nahezu alle Umweltbestandteile ausgehen.

Eine abschließende Beurteilung der Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus ist wegen der verschiedenen Möglichkeiten der Produktionsverfahren, der Komplexität der Zusammenhänge und der fehlenden langfristigen Beobachtungs- und Untersuchungsdaten noch nicht möglich. Ohne konsequente Anwendung der genannten Maßnahmen zur Minderung negativer Auswirkungen wirkt sich aber eine von der Energienutzung initiierte Zunahme der Maisanbaufläche für die Verwertung in Biogasanlagen negativ auf die Umwelt aus. Grünland und - in wald- und strukturarmen Landschaften - die Anlage von Kurzumtriebskulturen von Gehölzen stellen nach heutigem Wissensstand die umweltfreundlichste Art des Anbaus von Energiepflanzen dar.

Insgesamt besteht für die Auswirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus auf die Umwelt Forschungsbedarf.

## 6 Autoren (in alphabetischer Reihenfolge)

(LfL = Landesanstalt für Landwirtschaft; LWF = Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; TFZ = Technologie- und Förderzentrum Straubing)

Aigner, Alois, LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Pflanzenbausysteme bei Zuckerrüben, Öl- u. Eiweißpflanzen und Zwischenfruchtanbau)

Brandhuber, Robert, LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Bodenphysik, Standortbeurteilung)

Burger Frank, LWF, Abteilung Waldbewirtschaftung (Holz und Logistik)

Capriel, Peter, Dr., LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Humushaushalt)

Dabizzi, Daniel, LWF, Abteilung Waldbewirtschaftung (Holz und Logistik)

Doleschel, Peter, Dr., LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Eder, Joachim, Dr., LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Pflanzenbausysteme und Züchtungsforschung bei Körner- und Silomais)

Fritz, Maendy, Dr., TFZ, Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse)

Gehring, Klaus, LfL, Institut für Pflanzenschutz (Herbologie)

Goldhofer, Herbert, LfL, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (Ökonomik des Marktfruchtbaus einschließl. Industriepflanzen)

Hartl, Lorenz, Dr., LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Züchtungsforschung Weizen und Hafer)

Hartmann, Stephan, Dr., LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Züchtungsforschung bei Futterpflanzen, Pflanzenbausysteme bei Grünland und Feldfutterbau)

Huber, Thomas, LWF, Abteilung Waldbewirtschaftung (Holz und Logistik)

Keymer Ulrich, LfL, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (Ökonomik der regenerativen Energien)

Kaemmerer, Dorothee, Dr., LfL, Institut für Pflanzenschutz (Quarantänemaßnahmen bei Kartoffeln)

Kreuter, Thomas, Dr., LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Agrarfauna, Bodentiere)

Kuhn, Gisbert, Dr., LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Vegetationskunde)

Müller, Christa, LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Bodenschadstoffe)

Müller, Martin, Dr., LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Gentransfer, GVO-Sicherheitsforschung, Genkonstrukte)

Neser, Stefan, Dr., LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung (Emissionen und Immissionsschutz)

Rippel, Rudolf, LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Redaktion)

Sticksel, Ewald, Dr., LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Pflanzenbausysteme und Züchtungsforschung bei Körner- und Silomais)

Unger, Hans-Jürgen, LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Kulturlandschaft)

Weigand, Stephan, LfL, Institut für Pflanzenschutz (Agrarmeteorologie, Prognosemodelle, Warndienst)

Wendland, Matthias, Dr., LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Düngung des Ackerlands)



## 7 Literatur

Adam, L., Fahlenberg, E., Barthelmes, G. (2007): Aktuelle Strategien für den Bioethanol-Getreideanbau in Brandenburg. In: Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurordnung, „Kurzfassung Bioethanoltagung 2007“, 3-13

Agroplan (2006): Bioenergie und Biogasförderung nach dem neuen EEG und ihre Auswirkungen auf Natur und Landschaft, 160 S.

[http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf\\_288agroplan.pdf](http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_288agroplan.pdf)

Bacher, H. (1989): Abschätzung von Forstschutzproblemen in Energieholzplantagen. Diplomarbeit Universität für Bodenkunde, Wien. 113 S.

Bachmaier, J. u. Gronauer, A (2007): Klimabilanz von Biogasstrom. LfL-Information. [www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_27453.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_27453.pdf)

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2006): Energieholzmarkt Bayern. LWF-Wissen Nr. 53

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007): Biogashandbuch Bayern, Kap. 1.6 Umweltwirkungen. [www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm)

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hrsg. (2006): Wasser in Bayern – Gewässerkundlicher Jahresbericht für Bayern 2005, 55 S. <http://www.lfu.bayern.de/wasser/daten/>

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2003): Grünlandwirtschaft in Bayern, Status- und Entwicklungsbericht. München, 8 S.

[www.lfl.bayern.de/iab/gruenland](http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (ehemals Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen) (2000): Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Materialien H. 154, 2000.

[http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch/ern\\_energie/festbrennstoffe.pdf](http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch/ern_energie/festbrennstoffe.pdf)

Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2007): Totalerhebung bei allen Landwirten, 121.422 Betriebe (interne Mitteilung)

Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG vom 18. Dezember 2006 (BGBl I S. 3180)

Blick, T., Weiss, I., Burger, F. (2003): Spinnentiere einer neu angelegten Pappel-Kurzumtriebsfläche (Energiewald) und eines Ackers bei Schwarzenau (Lkr. Kitzingen, Unterfranken, Bayern). In: Arachnologische Mitteilungen Nr. 25/2003

Brandhuber, R. (2006): Bodenbelastung durch Landmaschinen - Wirkungsmechanismen und Risikobeurteilung. In: Ackerbau vor neuen Herausforderungen. LfL-Schriftenreihe 21/2006, S. 53-74

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Hrsg. (2006): Pflanzenschutz-Kontrollprogramm – Jahresbericht 2005. <http://www.bvl.bund.de>

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Hrsg. (2002): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bund-Länder-Papier, Bonn

- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005): Grundsätze für die Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz, Bundesanzeiger Nr 58a vom 24. März 2005
- Burger, F. (2004): Ökologische Auswirkungen von Energiewäldern. In: Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35, Potsdam-Bornim
- Burger, F. (2005): Energiewälder - Leistungsvermögen und Ökologie. In: Tagungsband des 9. Statusseminars des Kuratoriums für Forstliche Forschung.
- Burger, F. (2005): Energiewälder und Ökologie - Positive Auswirkungen auf Flora, Fauna und Boden. In: LWFaktuell Nr. 48
- Burger, F. (2006): Zur Ökologie von Energiewäldern. In: Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege (2006), Heft 79, S. 74 – 80
- Capriel, P. (2003): Humusuntersuchungen. Tagungsband des 2. Kulturlandschaftstages „Verwertung von Grüngut aus der Landschaftspflege“; Schriftenreihe der LfL 4/2003; 34 - 40
- Capriel, P. (2005): Humus-Gehalts- und Qualitätsveränderungen seit 1985. Tagungsband des 4. Kulturlandschaftstages „20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern“; Schriftenreihe der LfL 8/2005; 53 - 56
- Capriel, P. (2006): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der LfL 16/2006
- Capriel, P. (2007): Humusversorgung der Ackerböden  
<http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenbearbeitung/>
- Clausen, I. H. S. (1986): The use of spiders (Araneae) as ecological indicators. Bull. Br. arachnol. Soc. 7: 83-86.
- Deike, S., Pallutt, B., Christen, O. (2006): Bedeutung des chemischen Pflanzenschutzes beim Anbau von Pflanzen zur Energienutzung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 18, 132-133
- Eberhard, W. und Scheffknecht, Ch. (2008): Biogasgülle – Nähr- und Schadstoffgehalte in Gärrückständen. Korrespondenz Abwasser, Abfall 01/2008. 45-50
- Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534), geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3180)"
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2005): Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen
- Flaig, H., Mohr, H., Hrsg. (1993): Energie aus Biomasse – Eine Chance für die Landwirtschaft, Springer – Verlag, Heidelberg
- Gehring, K. (2006): Umweltschonende chemische Unkrautbekämpfung im Maisanbau  
<http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/20782/>
- Håkansson, I. (2005): Machinery-induced compaction of arable soils: Incidence – consequences – counter-measures. Swedish University of Agricultural Sciences, Reports from the division of Soil Management, Uppsala 2005

- Harms, K., Meyer, K. (2006): Antibiotika-Rückstände in Gülle. Tagungsband des 5. Kulturlandschaftstages „Schweinegülle-Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe?. Schriftenreihe der LfL 12/2006; 15-20. Druckversion unter [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe\\_url\\_1\\_45.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe_url_1_45.pdf)
- Hartmann, H., Kaltschmitt, M. (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe Band 3. Landwirtschaftsverlag, Münster
- Hofmann, M. (1999): Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Nr. 13, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- Jug, A. (1997): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushaltes. Hieronymus Buchreproduktion GmbH, München
- Kaemmerer, D. (2008): Schneller Tod im Reaktor. BLW 198, 8, S. 46-47
- Kiechle (1992): Die Bearbeitung landschaftsökologischer Fragestellungen anhand von Spinnen, in Trautner J., Hrsg.: Arten- und Biotopschutz in der Planung, Ökologie in Forschung und Anwendung 5, S. 119-134
- Kluge, R., Mokry, M., Wagner, W. (2006): Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärrückständen aus Biogasanlagen. Kurzfassung Tagungsband 118. VDLUFA-Kongress Freiburg
- Kreuter, T., Nitzsche, O. (2005): Entwicklung der Biodiversität von Ackerflächen bei umweltgerechtem Ackerbau. Sächs. LfL, Schriftenreihe, Heft 9, 97 S.
- Kuhn, G. (2007): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern - Teil 2: Vegetation. - in: Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, in Vorbereitung
- Lebuhn, M., Effenberger, M., Bachmaier, J. und Gronauer, A. (2007): Biogastechnologie für Hygiene und Umwelt in wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten. LfL-Information, Druckversion unter [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_27458.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_27458.pdf)
- Liesebach, M., Mulsow, H. (2003): Der Sommervogelbestand einer Kurzumtriebsplantage, der umgebenden Feldflur und des angrenzenden Fichtenwaldes im Vergleich. - Die Holzzucht 54 (1-4), 27-31.
- Marvier, M., McCreedy, C., Regetz, J. and Kareiva, P. (2007): A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates. Science, 316, 1475-1477.
- Mineralölwirtschaftverband, MWV-Prognose 2025 für die Bundesrepublik Deutschland, Hamburg, 2006
- Müller, C. (2006): Schwermetalle und Spurenelemente in Gülle. Tagungsband des 5. Kulturlandschaftstages „Schweinegülle-Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe?. Schriftenreihe der LfL 12/2006; 27-34. [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe\\_url\\_1\\_45.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe_url_1_45.pdf)
- Peretzki F., Müller Ch., Dittmann T. (2005): Düngerfabrik Biogasanlage. BLW 7, 19.2.2005, S. 42-44
- Reinhold G., König V., Herold L. (2004): Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Eigenschaften der Gärsubstrate. 116. VDLUFA-Kongress, 13.-17. September 2004, Rostock

- Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (ABl. EU Nr. L 123 S. 42), Artikel 3 Abs. 1
- Richtlinie VDI 6101 (Entwurf, 2006): Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden. Beuth Verlag, Berlin
- Röhling, I., Keymer, U. (2007): Biogasanlagen in Bayern 2006 - Ergebnisse einer Umfrage. LfL-Informationen 2007
- Rossberg, D., Gutsche, V., Enzian, S., Wick, M.. (2002): NEPTUN 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. BBA-Berichte Heft 98. <http://www.bba.bund.de>
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten
- Schardt, M., Burger, F., Blick, T. (2007): Ökologischer Vergleich der Spinnenfauna (Arachnida: Araneae) von Energiewäldern und Ackerland. Abstract zur Posterausstellung der Entomologentagung, Supplementum 17
- Scholz, V., Hellebrand, H. J. (2004): Energiepflanzen im Vergleich. In: energie pflanzen, 4/2004
- Schwertmann, U., Vogl, W., Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2. Auflage
- Stetter, U., Makeschin, F. (1996): Humushaushalt ehemals landwirtschaftlich genutzter Böden nach Aufforstung mit schnellwachsenden Baumarten, Endbericht für das Forschungsprojekt 93 NR 037-F-A
- Tischner, H. u. Schenkel, B. (2002): Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in landwirtschaftlichen Naturräumen. Schule und Beratung Heft 4/02, IV-8 – IV-14
- Richtlinie VDI 6101 (2007): Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden. Beuth Verlag, Berlin
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (2004): Humusbilanz - Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Standpunkt
- Wendland, M., Diepolder M., Capriel, P. (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. LfL-Information, 8. überarbeitete Auflage 2007
- Würfl, P. (2007): Grünlandstudie Bayern. (in Vorbereitung)
- Zöphel, B., Kreuter, T. (2001): Nachwachsende Rohstoffe (Hanf, Flachs, Salbei und Kamille) - Anbau und Bedeutung für den Lebensraum Acker in Sachsen. Sächs. LfUG, Sonderheft, 64 S.