



Beurteilung der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung aus Sicht des Gewässerschutzes

Im Rahmen des am Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe durchgeführten DVGW-Forschungsvorhabens W1/03/05 (Literaturstudie) wurden die möglichen Auswirkungen des zunehmenden Anbaus von Energiepflanzen auf die Trinkwasserressourcen betrachtet.

In Deutschland wurde im Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG), insbesondere im Interesse des Klima-, Natur- und Umweltschutzes, das Ziel vorgegeben, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12,5 Prozent und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20 Prozent zu erhöhen. Die im EEG verankerte Förderung bewirkte bei der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen ein starkes Wachstum. Bereits im Jahr 2007 wurde ein Anteil von etwa 14,2 Prozent am gesamten Stromverbrauch durch erneuerbare Energien erzeugt [1]. Entsprechend dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm wird derzeit von der Bundesregierung sogar ein

Anteil von 25 bis 30 Prozent am Bruttostromverbrauch bis 2020 anvisiert [2].

Energie aus Biomasse

Die Stromerzeugung aus Biomasse hat sich nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zwischen 2004 und 2006 nahezu verdoppelt. Im Jahr 2007 lag sie mit 21,7 Mrd. kWh (inkl. biogene Abfälle) erstmals vor der Wasserkraft und wies damit den zweitgrößten Anteil bei den erneuerbaren Energien auf. Hierbei war die Stromerzeugung aus Biogas (7,4 Mrd. kWh = 8,5 Prozent der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien) zusammen mit den bioge-

nen Festbrennstoffen (7,3 Mrd. kWh = 8,4 Prozent) am bedeutendsten [1].

Biogas wird in Deutschland vorwiegend zur Produktion von Strom genutzt. Die Stromproduktion erfolgte Ende 2007 durch mehr als 3.700 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 1.270 MW (elektrisch) [3]. Zudem wurden 2007 3,5 Mrd. kWh Wärme erzeugt. Als Substrate werden in Biogasanlagen neben tierischen Ausscheidungen (insbes. Gülle) vor allem nachwachsende Rohstoffe, wie z. B. Mais-silage, Getreide oder Gras, verwendet. Zudem werden in vielen Biogasanlagen Abfälle aus der Be- und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte, aus der Lebensmit-



Quelle: www.photocase.com/crocodile

produkten verstärkt dazu, in Biogasanlagen mit agrarindustriellen Nebenprodukten Strom zu produzieren, der nach dem EEG eingespeist und vergütet wird [4].

Biogas (Biomethan) kann nach Aufbereitung auf Erdgasqualität auch ins Erdgasnetz eingespeist bzw. als Kraftstoff verwendet werden. Während die Einspeisung in Deutschland erstmals im Dezember 2006 erfolgte und seither an Bedeutung gewinnt, spielt die Nutzung als Kraftstoff bislang nur eine untergeordnete Rolle.

Bei der Erzeugung von Biokraftstoffen war in den vergangenen Jahren ebenfalls ein starkes Wachstum zu beobachten. Grund ist die von der EU im Jahr 2003 verabschiedete so genannte „Biokraftstoff-Richtlinie“ (EU-Richtlinie 2003/30/EG), in der ein Richtwert für den Mindestanteil von Biokraftstoffen auf dem Kraftstoffmarkt von 5,75 Prozent für 2010 festgelegt wurde. Im Januar 2008 legte die EU-Kommission eine Überarbeitung der Biokraftstoff-Richtlinie vor, in der festgelegt ist, dass in allen Mitgliedstaaten bis 2020 10 Prozent der Kraftstoffe im Verkehrsbereich durch Biokraftstoffe ersetzt werden sollen.

Der Anteil biogener Kraftstoffe am Kraftstoffverbrauch stieg in Deutschland seit dem Jahr 2000 deutlich von 0,4 auf 6,9 Prozent im Jahr 2007. Bislang wird der Markt nahezu vollständig von den Kraftstoffen der ersten Generation dominiert (Tab. 1), wobei im Jahr 2007 Biodiesel mit 3,2 Mio. Tonnen vor Pflanzenöl mit 0,76 Mio. Tonnen und Bioethanol mit 0,47 Mio. Tonnen den größten Absatz aufwies [1]. Biodiesel wird als Reinkraftstoff, aber auch über die Beimischung zu normalem Diesel genutzt. Weiterhin findet in Deutschland Pflanzenöl als Reinkraftstoff in umgerüste-

ten Motoren Verwendung, während Bioethanol überwiegend in Form von ETBE über die Beimischung zu Ottokraftstoff vertrieben wird. Aufgrund der bisherigen steuerlichen Bevorzugung und der aktuellen gesetzlichen Regelungen wird MTBE, das Kraftstoffen zur Erhöhung der Klopfestigkeit zugegeben wird, in den letzten Jahren zunehmend durch ETBE ersetzt.

Die derzeit marktbeherrschenden Biokraftstoffe der ersten Generation benötigen beträchtliche Landflächen und sind weniger effizient als die Prozesse der zweiten Generation oder als Kraftstoff genutztes Biogas. So zeigt ein Vergleich der einzelnen Verfahren bezüglich der Kraftstoffträge pro Hektar (in Kraftstoffäquivalent), dass Biodiesel (1.420 L pro ha) und Bioethanol (1.660 L pro ha) im Vergleich zu BtL-Kraftstoff (bis 3.900 L pro ha) und Biogas (4.950 L pro ha) deutlich schlechter abschneiden [5].

Wie eine Studie der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) aus dem Jahr 2007 zur ökologischen Bewertung von Biotreibstoffen zeigt, treten beim Anbau der Rohstoffe für Biotreibstoffe teilweise gravierende Umweltbelastungen, wie z. B. Überdüngung und Versauerung des landwirtschaftlich genutzten Bodens, auf. Beim Anbau in gemäßigten Klimazonen wirken sich die teils intensive Düngung und die mechanische Bearbeitung des Bodens sowie der niedrige Flächenertrag negativ auf die Umwelt aus. Die extrem hohe Umweltbelastung durch in Europa produziertes Ethanol aus Roggen – das von allen untersuchten Biotreibstoffen die mit Abstand schlechteste Ökobilanz aufwies – wurde durch den niedrigen Ernteertrag erklärt. Eine hohe Kilometerleistung bei relativ geringer Umweltbelastung resultierte bei Produktion in der Schweiz dagegen für Bioethanol

tel- und Getränkeherstellung sowie weitere Bioabfälle (z. B. Biotonne, überlagerte Lebensmittel, Rückstände aus Fettabscheidern, tierische Nebenprodukte etc.) als Substrat eingebracht, die im Folgenden als Kofermente (Bioabfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs gemäß Anhang 1 BioAbfV) bezeichnet werden. Nach einer Erhebung des IE Leipzig werden z. B. Küchen- und Speiseabfälle, für die aufgrund des Verfütterungsverbotes andere Entsorgungs- bzw. Verwertungswege genutzt werden müssen, zum Großteil in Vergärungsanlagen verwertet. Weiterhin führen zurückgehende Erlöse für Futtermittel aus der industriellen Verarbeitung von Agrar-

Tabelle 1: Ausgangsstoffe für Biokraftstoffe und Biogasanlagen

Biokraftstoffe der ersten Generation	Ausgangsstoffe	Biokraftstoffe der zweiten Generation	Ausgangsstoffe
Biodiesel (in Deutschland bislang wichtigster Biokraftstoff)	Ölpflanzen: Raps-, Sonnenblumenöl (Importe: Soja-, Palmöl), Altfette, Altspeiseöl	Synthesekraftstoffe BtL = (Biomass to liquid) Bioethanol aus Lignozellulose	gesamter Pflanzenaufwuchs, z. B. auch Stroh, Restholz
Pflanzenöl (als Reinkraftstoff in umgerüsteten Motoren)			
Bioethanol (in Deutschland überwiegend in Form von ETBE als Beimischung in Ottokraftstoffen)	Getreide (Weizen, Roggen, Triticale), Zuckerrüben, Körnermais, Kartoffeln		

Biogas: Maissilage, Getreide, Gras, Gülle, Rückstände der Be- und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte (z. B. Biertreber, Schlempe, Rapskuchen etc.), andere biogene Abfälle (z. B. Bioabfall, Speisereste)

Quelle: TZW

aus Zuckerrüben und Gras [6, 7]. Bei Rapsanbauflächen ist aus Sicht des Grundwasserschutzes zudem das hohe Nitratauswaschungspotenzial nach der Ernte als negativ zu bewerten. Allerdings ist auch die Herstellung von Biogas nicht grundlegend unproblematisch. Zu nennen wären hier beispielsweise die Probleme infolge der Ausbringung von Gärresten.

Unter der Annahme, dass zukünftig evtl. ein Großteil der Biodieselproduktion durch den heimischen Rapsanbau gedeckt würde und die Beimischungsgrenze für Biodiesel zuzüglich hydriertem Pflanzenöl zum 1. Januar 2009 von 5 auf 10 Vol.-Prozent ansteigt (10. und 38. BImSchV), wäre theoretisch eine Verdoppelung der derzeitigen Anbaufläche auf ca. 2,1 bis 2,4 Mio. Hektar notwendig. Aufgrund der erforderlichen Anbaupause nach Raps von vier bis fünf Jahren ist eine derartige Rapsanbaufläche in Deutschland jedoch aus Gründen der Fruchtfolge nicht erreichbar. Das gesamte Anbaupotenzial für Raps in Deutschland wird derzeit nur auf etwa 1,6 bis 1,8 Mio. Hektar geschätzt, sodass eine nahezu vollständige Ausschöpfung der möglichen Anbaufläche zu erwarten ist [8]. Der Biodiesel- bzw. Pflanzenölbedarf wäre dennoch auch zukünftig nicht ohne Importe von Pflanzenölen zu decken, insbesondere wenn man zusätzlich den Bedarf an Rapsöl für die Nahrungsmittelindustrie mit berücksichtigt.

Der Absatz von Bioethanol wird in den kommenden Jahren infolge der Anhebung der im Biokraftstoffquotengesetz festgelegten Mindestquote zur Beimischung zum Ottokraftstoff von 1,2 Prozent (Energieäquivalent) im Jahr 2007 auf 3,6 Prozent (Energieäquivalent) im Jahr 2010 ebenfalls zunehmen. Umgerechnet in Kraftstoffmenge bedeutet dies eine Verdreifachung des Bioethanolabsatzes von ca. 0,4 Mio. Tonnen im Jahr 2007 auf ca. 1,2 Mio. Tonnen im Jahr 2010. In Deutschland dürfte diese Zunahme zu wesentlichen Teilen durch Getreideanbau oder über Importe erzielt werden.

Bei Weizenanbau zur Ethanolherstellung sind keine hohen Eiweißgehalte wie bei der Qualitätsweizenerzeugung erforderlich. Daher kann auf die Qualitätsdüngung verzichtet werden und es sind eher niedrigere Nitratstickstoffgehalte zum Erntetermin zu erwarten als bei herkömmlichem Getreideanbau. Der Anbau von Getreide für die Bioethanolproduktion ist daher aus Sicht des Grundwasserschutzes als eher unbedenklich einzuschätzen. Ähnliches gilt für Getreide, das als Ganzpflanzensilage (GPS) genutzt wird.

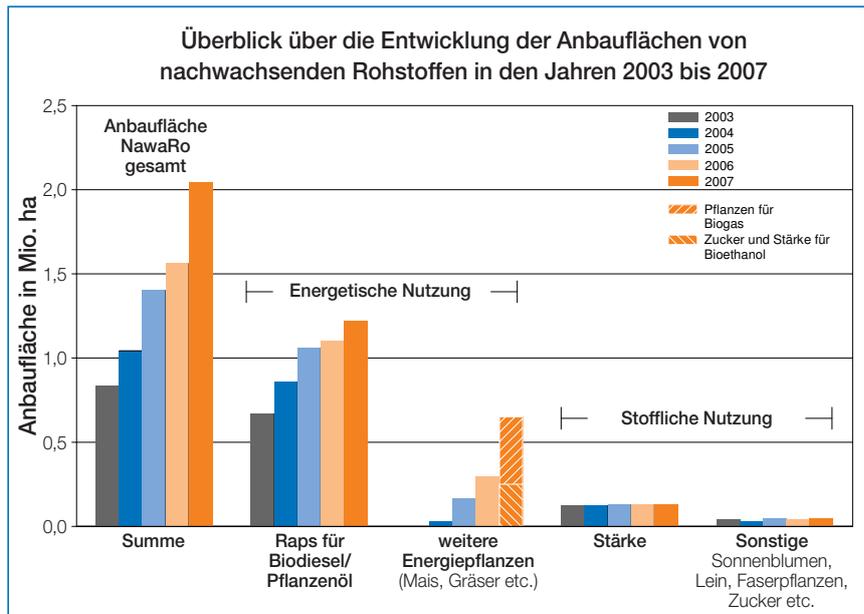


Abb. 1: Entwicklung der Anbauflächen für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland

Quelle: TZW, Datenbasis FNR

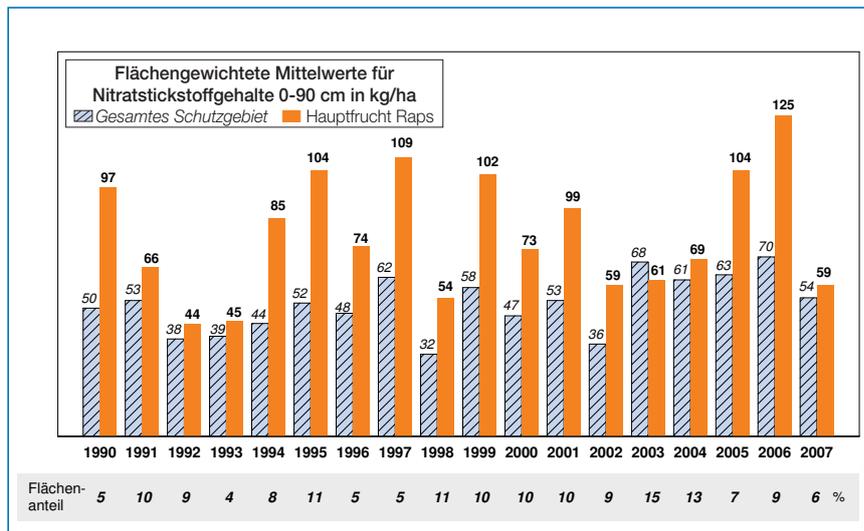


Abb. 2: Nitratstickstoffrestgehalte von Rapsflächen im Vergleich zu anderen Hauptfrüchten bei Herbstkontrollen in einem Wasserschutzgebiet

Quelle: TZW

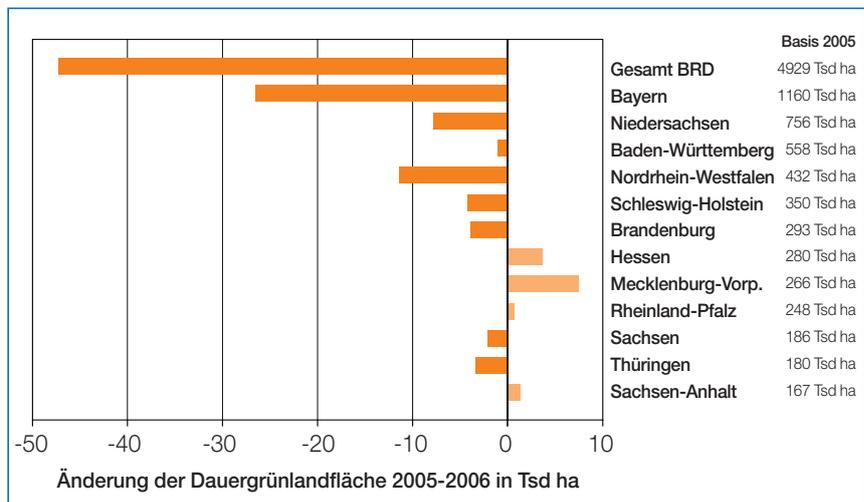


Abb. 3: Änderung der Dauergrünlandfläche zwischen 2005 und 2006

Quelle: TZW, Datenbasis Statistisches Bundesamt, 2007

Im Gegensatz zu den Prozessen der ersten Generation können bei den Prozessen der zweiten Generation nicht nur die öl-, stärke- bzw. zuckerhaltigen Bestandteile, sondern der gesamte Pflanzenaufwuchs verwendet werden. Damit können z. B. auch Reststoffe wie Stroh und Restholz als Energielieferanten genutzt werden. Am 17. April 2008 startete im sächsischen Freiberg die erste großtechnische Anlage zur Produktion von Biosprit der zweiten Generation, die in wenigen Monaten Biodiesel liefern soll (jährlich insgesamt 18 Mio. Liter). Zunächst werden Waldholz und unbelastetes Recyclingholz (Holzhackschnitzel) verwendet. In den kommenden Jahren sollen landwirtschaftliche Schnellwuchsplantagen einen zunehmenden Rohstoffanteil abdecken.

Nach einer Einschätzung von ZEDDIES vom Oktober 2006 könnten mit Restholz und Reststroh in Deutschland im Jahr 2020 maximal 10 Prozent des Diesel- und Ottokraftstoffverbrauchs substituiert werden [9]. Nach einer Studie der Deutschen Energieagentur (dena) vom Dezember 2006 könnte bereits jetzt ausreichend Biomasse zur Verfügung gestellt werden, um 20 Prozent des Kraftstoffbedarfs durch BtL zu decken, bis 2030 ist die Substitution von ca. 35 Prozent des prognostizierten Kraftstoffbedarfs möglich [10].

Anbauflächen

Trotz der aktuell erkennbaren Zurückhaltung beim Neubau von Biogasanlagen – bedingt durch die aktuelle Preisentwicklung für landwirtschaftliche Produkte, die sich auch auf den Zukauf von Substraten auswirkt – und der aktuell schwierigen Lage beim Absatz von reinem Biodiesel und Bioethanol, nehmen die Anbauflächen für nachwachsende Rohstoffe und Energiepflanzen noch deutlich zu. Zwischen 2004 und 2006 hat sich die Anbaufläche in Deutschland von rund 1 auf rund 1,6 Mio. Hektar erhöht und bis 2007 auf 2,05 Mio. Hektar verdoppelt. Davon entfielen rund 1,8 Mio. Hektar auf die Erzeugung von Energiepflanzen. Dies entspricht einem Anstieg gegenüber 2006 um rund 500.000 Hektar (Abb. 1). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen geht davon aus, dass bis zum Jahre 2030 eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen zum Anbau von Biomasse auf 3 bis 4 Mio. Hektar möglich ist [12]. Dies würde rund einem Drittel der im Jahr 2007 ackerbaulich genutzten Fläche entsprechen.

Zur energetischen Nutzung wurden 2007 auf den Flächen Raps zur Herstellung von Pflanzenöl und Biodiesel (ca. 1,2 Mio. ha), Mais und weitere Pflanzen als Substrat für

Biogasanlagen (0,4 Mio. ha) sowie Pflanzen für die Erzeugung von Bioethanol (0,25 Mio. ha) angebaut. Der verstärkte Anbau von Energiemais, der sich von rund 70.000 Hektar im Jahr 2005 auf ca. 240.000 Hektar im Jahr 2007 mehr als verdreifachte, hat zu einer Zunahme der gesamten Maisanbaufläche in Deutschland von rund 1,7 Mio. Hektar im Jahr 2005 auf 1,86 Mio. Hektar im Jahr 2007 geführt [13]. Damit besitzen Raps und Mais flächenmäßig die größte Bedeutung beim Energiepflanzenanbau in der deutschen Landwirtschaft.

Folgen für die Gewässer

Um einerseits Biomasse für die Erzeugung von Biokraftstoffen und Strom in ausreichenden Mengen zur Erreichung der energiepolitischen Zielvorgaben bereitstellen zu können, insbesondere aber durch die aktuell gestiegenen Marktpreise für landwirtschaftliche Erzeugnisse, sind eine Intensivierung der Landnutzung sehr wahrscheinlich und dadurch ist auch eine zunehmende Gefährdung für Grund- und Oberflächenwässer nicht auszuschließen. Die Wasserversorger sind von den Entwicklungen besonders betroffen, da viele Trinkwasserschutz- und -einzugsgebiete in ländlichen Regionen liegen und zu großen Anteilen landwirtschaftlich genutzte Flächen enthalten.

Die erforderliche Flächeninanspruchnahme und Intensivierung steht bei insgesamt knapper werdender Ackerfläche in Konkurrenz zu Extensivierungsmaßnahmen, die in den letzten Jahren zumindest regional zu einer Entspannung der Konfliktsituation zwischen Wasserversorgern und Landwirtschaft bei den Problemkreisen Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückstände in den Gewässern geführt hatten. Zusätzlichen Schub zur Bewirtschaftung von extensiv genutzten Flächen leistet der Beschluss des EU-Agrarministerrats vom September 2007, die obligatorische Flächenstilllegung für Herbst 2007 und 2008 auszusetzen. Von Seiten der Landwirtschaftspolitik wurde im April ein Ausbau der Agrarproduktion in Deutschland, der gesamten EU und in den Entwicklungsländern gefordert. Die EU-weit 3,8 Mio. Hektar stillgelegten landwirtschaftlichen Nutzflächen sollen dauerhaft wieder in die Produktion einbezogen werden.

Weder in der europäischen noch in der deutschen Politik wird die Förderung derzeit an spezifische Vorgaben im Hinblick auf einen gewässerschützenden Anbau von Energiepflanzen geknüpft. Die Wasserversorgungswirtschaft sieht sich mit einem zunehmenden Gefährdungspotenzial für die Trinkwasserressourcen konfrontiert, da als Folge der

Intensivierung der Landwirtschaft eine Beeinträchtigung der Grund- und Oberflächenwasserqualität durch Nährstoffeinträge eintreten könnte [14, 15, 16]. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen empfiehlt im Hinblick auf mögliche Auswirkungen eines gesteigerten Biomasseanbaus u. a. Schutzgebietsverordnungen darauf zu überprüfen, ob sie Umweltgefährdungen, die mit dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen einhergehen, hinreichend ausschließen. Gegebenenfalls sind Anpassungen, insbesondere in Form von Anbaurestriktionen, erforderlich [12]. Zudem können bei einer unsachgemäßen Lagerung von festen Substraten mit relativ geringem Trockenmassegehalt, wie z. B. Grünroggen oder Sudangras, Silagesickersäfte austreten. Mit diesem Silagesickersaft können Stickstoff, Phosphat oder organische Säuren in die Umwelt, in angrenzende Gewässer oder in das Grundwasser gelangen.

Neben dem Energiepflanzenbau selbst, der Lagerung der Substrate vor der Verarbeitung in Biogasanlagen und der Zunahme der Stickstoffmengen im Nährstoffkreislauf, vor allem in viehstarken Regionen, wird insbesondere die landwirtschaftliche Verwertung der anfallenden Gärrückstände wegen möglicher Schadstoffgehalte kritisch beobachtet. Auch außerhalb von Wasserschutz- oder -einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungen steht die Intensivierung der Landwirtschaft den Zielen der EU-Nitratrichtlinie und der Wasserrahmenrichtlinie entgegen. Dies ist insbesondere deshalb bedeutsam, da bereits heute 52 Prozent der bewerteten Grundwasserkörper in Deutschland den guten chemischen Zustand ohne weitere Maßnahmen wahrscheinlich nicht erreichen werden [17].

Die beiden bedeutendsten Kulturen Raps und Mais bereiten den Wasserversorgern oft Probleme infolge hoher Nitratstickstoff-Restgehalte und daraus resultierenden Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Insbesondere eine Ausweitung der Rapsanbauflächen ist im Hinblick auf einen nachhaltigen Grundwasserschutz sehr kritisch zu sehen. Raps kann als Folgekultur zwar aufgrund seines hohen Stickstoffaufnahmevermögens in der Jugendphase und der daraus resultierenden Abschöpfung hoher Stickstoffrestgehalte vor der Auswaschungsperiode aus Sicht des Grundwasserschutzes zunächst positiv bewertet werden. Nach der Rapsernte und auch im Folgejahr führen die mengenmäßig bedeutsamen stickstoffreichen Erntereste jedoch oftmals zu einem erhöhten Stickstoffauswaschungsrisiko. Flächen mit Raps als Haupt-

Tabelle 2: Schema zur Einteilung der Gärrückstände auf Basis der Ausgangsmaterialien und daraus abgeleitete Anforderungen im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung

		Gärrückstände			
Ausgangsmaterialien	Gruppe 1 Aus land- und forstwirtschaftlicher Grundproduktion	Gruppe 2 Wirtschaftsdünger	Gruppe 3 Aus Rückständen der Be- und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte	Gruppe 4 Andere biogene Reststoffe (Bioabfall, tierische Nebenprodukte)	
Ausbringung in Wassereinzugsgebieten	Nicht zulässig in Zone II bzw. innerhalb 50-Tage-Linie und nicht in sensiblen Gebieten	Nicht zulässig in Zone II bzw. innerhalb 50-Tage-Linie und nicht in sensiblen Gebieten	Nicht zulässig in Wasserschutz- und -einzugsgebieten sowie sensiblen Gebieten, Ausnahmegenehmigung in Schutzzone III durch zuständige Behörde bei Durchführung zusätzlicher Untersuchungen und Einhaltung von Obergrenzen möglich	Nicht zulässig in Wasserschutz- und -einzugsgebieten sowie sensiblen Gebieten, keine Ausnahme	

Beispiele für die einzelnen Gruppen:

Gruppe 1: z. B.: Energiepflanzen, Grünschnitt von Wiesen, Golfplätzen, Gewässerrandstreifen; Spelze, Spelzen- und Getreidestaub, Futtermittelabfälle, Altstroh, pflanzliche Marktabfälle

Gruppe 2: z. B.: Schweine- und Rindergülle, Geflügelkot, Mist

Gruppe 3: z. B.: Obst-, Getreide- und Kartoffelschlempen, Rückstände aus der Herstellung von Getränken (z. B. Trester, Malztreber, Schlamm aus Brennereien, Brauereien und der Weinbereitung)

Gruppe 4: z. B.: Fettabfälle, Inhalt von Fettabscheidern und Flotate, Magen- und Darminhalte, Proteinabfälle (Arzneimittelrückstände), getrennt erfasste Bioabfälle, wie z. B. Biotonne, überlagerte Lebensmittel

Quelle: TZW

frucht fallen bei Herbstkontrollen zur Bestimmung der Nitratstickstoff-Restgehalte in den Böden von Wasserschutzgebieten immer wieder durch hohe Werte auf, die durch Stickstoffmineralisierung der Erntereste nach der Einarbeitung verursacht werden (Abb. 2). Ohne entsprechende Maßnahmen kann diese Stickstoffanreicherung nach der Ernte durch Auswaschung zu massiven Nitratreinträgen ins Grundwasser führen.

Mais ist in vielen Anbauregionen insbesondere bei langjähriger Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in die Bestände als Problemkultur anzusehen, da die Böden unter Maisflächen günstige Stickstoff-Mineralisierungsbedingungen aufweisen, was bei engen Maisfruchtfolgen mit langjähriger organischer Düngung zu einer hohen bodenbürtigen Nitratstickstofffreisetzung führen kann. Bei Energiemais orientiert sich der Erntetermin grundsätzlich nicht mehr an der physiologischen Reife, sondern an der bestehenden Nachfrage. Infolge der dann oftmals frühzeitigen Ernte verlängern sich die Brachezeiten der Flächen. Wenn dies nicht durch den sofortigen Anbau von Zwischenfrüchten oder Winterungen mit entsprechendem Stickstoffbedarf vermieden wird, besteht hier eine erhöhte Gefahr der Nitratauswaschung über die Grundwasserneubildungsperiode. Zusätzlich kann Erosion zu Abschwemmungen von Nährstoffen wie

Stickstoff und Phosphat, aber auch von Pflanzenschutzmitteln in die Gewässer führen. Dies ist insbesondere im Frühjahr als Folge des sich erst spät schließenden Pflanzenbestandes von Bedeutung. Daher sind Vorgaben für einen grundwasser-schonenden Maisanbau als Rohstoff zur Energiegewinnung und die Folgenutzungen erforderlich.

Auch wenn der Anbau der Energiepflanzen im Rahmen der derzeitigen Bestimmungen der guten fachlichen Praxis bzw. der Cross-Compliance-Auflagen der Europäischen Union (EU) erfolgt, besteht nach dem Sachverständigenrat für Umweltfragen bei einem weiteren Ausbau von intensiv bewirtschafteten Raps- und Maismonokulturen ein erhebliches Belastungspotenzial für den Naturhaushalt. Dieses bedarf einer vorherigen Risikobewertung, um eine weitere Zunahme von Düngemittel- und PSM-Einträgen in Wasser und Boden zu vermeiden [12].

Die mit der Wiederaufnahme einer intensiven Bewirtschaftung auf bisher extensiv genutzten oder stillgelegten Flächen bekanntermaßen einhergehenden, erhöhten Stickstoffauswaschungen können zu deutlichen Nitratkonzentrationsanstiegen im Grundwasser führen. In noch stärkerem Maße gilt dies für Grünlandumbrüche: Grünlandflächen dienen in weiten Bereichen, wie z. B.

in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungen, zur Verdünnung der Nitratauswaschung, da unter Grünland selbst bei nicht ausschließlich extensiver Nutzung in der Regel sehr niedrige Nitratstickstoffauswaschungen festgestellt werden. Dieser Nutzen würde bei einem Umbruch zukünftig nicht nur entfallen, als weiterer negativer Aspekt ist die Freisetzung von großen Stickstoffmengen durch die Mineralisierung der organischen Substanz bei der Einarbeitung der Grasnarbe zu nennen, die zu enormen Stickstoffauswaschungen und damit zu einer lang andauernden Erhöhung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser führt. Deshalb wird von den Wasserversorgern ein generelles Grünlandumbruchverbot zum Zweck des Energiepflanzenanbaus gefordert. Die zwischen 2005 und 2006 zu beobachtende Abnahme der gesamten Dauergrünlandfläche um 47.300 Hektar (1 Prozent der Grünlandfläche Deutschlands [18]) dürfte u. a. auch eine Folge des zunehmenden Energiepflanzenanbaus sein (Abb. 3).

Als weiteres Problem sind die bei Raps und Mais erforderlichen Pflanzenschutzmaßnahmen anzusehen, da entsprechende Wirkstoffe relativ häufig in Gewässern gefunden werden. Bei einer im Rahmen der DVGW-Studie W 1/02/05 [19] durchgeführten Befragung unter deutschen Wasserversorgungsunternehmen zu Pflanzenschutzmitteln in Gewässern wurden vier

Wirkstoffe, die in Mais und/oder in Raps eingesetzt werden, unter den TOP 10 der in der Umfrage genannten PSM-Befunde in Gewässern gefunden. Eine deutliche Ausweitung der Mais- und Rapsanbauflächen für die Energiegewinnung würde daher einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässerbelastungen mit Pflanzenschutzmittelrückständen zuwiderlaufen, falls die PSM mit häufig gefundenen Wirkstoffen unverändert auch weiterhin eingesetzt werden.

Der Anbau von Getreide zur Herstellung von Bioethanol ist aus den bereits genannten Gründen aus Sicht des Gewässerschutzes zwar eher als unbedenklich einzuschätzen, aus der zunehmenden Verwendung von ETBE, für dessen Produktion Bioethanol als Bio-Komponente herangezogen wird, zeichnen sich jedoch schon heute Probleme für die Trinkwasserversorgung ab. Sowohl MTBE als auch ETBE sind mikrobiell schlecht abzubauen und praktisch nicht mit Aktivkohle zu entfernen und daher als trinkwasserrelevant einzustufen. Aktuelle Untersuchungen am TZW haben gezeigt, dass der Einsatz von ETBE bereits dazu geführt hat, dass vermehrt Positivbefunde von ETBE in den Gewässern auftreten.

Regelungen zur nachhaltigen Produktion von Biokraftstoffen als Voraussetzung für eine Förderung und die Anrechnung auf EU-Biokraftstoffziele sind von der EU-Kommission in ihrem im Januar 2008 vorgelegten Vorschlag zu einer Erneuerbaren-Energien-Richtlinie vorgesehen. Zum Nachweis der Einhaltung der rechtlich definierten Anforderungen sollen Zertifizierungssysteme dienen, für die derzeit in Studien Vorschläge erarbeitet werden. Die Richtlinie soll voraussichtlich 2010 in Kraft treten. Falls entsprechende Vorgaben über die europäische Gesetzgebung vorgeschrieben werden, würden in Abhängigkeit der darin aufgestellten Forderungen, vermutlich zumindest zu Beginn, Importe von außerhalb Europas erschwert und der Anbau von Biomasse in Europa und damit auch in Deutschland indirekt gefördert werden, da hier der Aufbau von Zertifizierungssystemen und die Erfüllung von Nachhaltigkeitskriterien leichter fallen dürfte als in vielen außereuropäischen Ländern. Auch vor diesem Hintergrund kann insbesondere von einem Rückgang des Rapsanbaus in Deutschland nicht ausgegangen werden. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass die geplanten Nachhaltigkeitskriterien und Vorgaben in Zertifizierungssystemen unter den in Wassereinzugsgebieten erforderlichen Auflagen für einen gewässerschützenden Anbau liegen werden.

Verwertung von Gärresten in der Landwirtschaft

Die bei der Biogasgewinnung anfallenden Gärrückstände werden im Sinne eines geschlossenen Nährstoffkreislaufes überwiegend der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt und als Düngemittel eingesetzt. Erfolgt die Ausbringung von Gärrückständen zusätzlich zu einer bereits erfolgten Gülleausbringung oder anderweitigen Düngung, so besteht die Gefahr der Nährstoffübersorgung der Böden und Kulturen insbesondere bei nahe zur Anlage liegenden Anbauflächen. Ein zusätzlicher Input in den Nährstoffkreislauf ist bei Zukauf von Futtermitteln, weiteren Gärsubstraten und dem zusätzlichen Einsatz von Kofermenten gegeben. Dies kann zu einem weiteren Anstieg der teilweise bereits heute hohen Stickstoffüberschüsse führen, die eine hohe Nitratbelastung der regionalen Grundwasservorkommen nach sich ziehen können. Zudem bestehen derzeit in der landwirtschaftlichen Praxis noch relativ große Unsicherheiten bei der Anrechnung des in den Gärrückständen enthaltenen Stickstoffs bei der Düngung, deren Gehalte z. T. relativ große Schwankungen aufweisen können.

Gärrückstände aus Biogasanlagen mit Einsatz von Kofermenten können mit Schwermetallen, Industriechemikalien und organischen Schadstoffen belastet sein. Zudem kann es unter bestimmten Randbedingungen zu Einträgen von Bakterien, Viren und Parasiten in Böden und Gewässern kommen.

Gehalte an organischen Schadstoffen sind in Gärrückständen wiederholt nachgewiesen und auf den Einsatz belasteter Ausgangsmaterialien zurückgeführt worden [20]. Untersuchungen in Österreich aus dem Jahr 2005 ergaben vor allem bei jenen Anlagen, in denen Kosubstrate wie Biotonnenmaterial und Rückstände aus Fettabscheidern vergärt wurden, höhere Gehalte an organischen Schadstoffen wie Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS) oder Adsorbierbare Aromatische Halogenverbindungen (AOX) [21]. Gärrückstände aus Biogasanlagen, die ausschließlich Reststoffe aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie verarbeiteten, hatten tendenziell niedrigere Gehalte.

Eine systematische Zusammenstellung von anorganischen und organischen Schadstoffen in Mineräldüngern, Wirtschaftsdüngern und Klärschlamm, Kompost und Gärrückständen sowie parallel dazu in den landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland enthält eine vom Umweltbundesamt beauf-

tragte und im Juli 2007 veröffentlichte Studie [22]. Dabei wurde z. B. festgestellt, dass bei Wirtschaftsdüngern von Schweinen und Geflügel die vom UBA vorgeschlagenen Bewertungswerte für Zink und Kupfer bereits im Mittel überschritten werden.

Gärprodukte zeigten im Vergleich zu Gülle und Kompost deutlich höhere Gehalte hinsichtlich der untersuchten Detergenzien sowohl für LAS als auch für Nonylphenol und Nonylphenolethoxylaten, die auf Stallreinigungen mit Industriereinigern zurückgeführt wurden. Die niedrigeren Gehalte von Komposten wurden darauf zurückgeführt, dass im Ausgangsmaterial vorhandene Detergenzien während der aeroben Vorbehandlung der Kompostherstellung weitestgehend abgebaut wurden. Weiterhin wurden in der Studie bei den Gärprodukten auch für Phthalate und Organozinnverbindungen (Monobutylzinn) deutlich höhere Gehalte als bei Gülle und bei den Komposten festgestellt. Für PAK lagen die Gehalte ähnlich hoch wie in Kompost, jedoch deutlich über den Gehalten in der Gülle. Im Vergleich zu Klärschlämmen lagen die Mittelwerte für LAS und PAK etwa um den Faktor 3 niedriger, für Phthalate und Organozinnverbindungen lagen die Gehalte in ähnlicher Größenordnung wie bei den Klärschlämmen, teilweise sogar höher, jedoch noch unter den in der EU-Klärschlammrichtlinie vorgeschlagenen Grenzwerten für die entsprechenden Stoffe.

Die anhaltende Ausbringung von belasteten Gärrückständen auf die Felder kann zu einer Schadstoffanreicherung im Boden oder in der Sickerwasserzone und damit auch im Grundwasser führen. Die Schadstoffe können darüber hinaus durch Abschwemmung in die Oberflächengewässer gelangen. Im Sinne des Ressourcenschutzes ist demnach in vielerlei Hinsicht große Sorgfalt bei der Abwägung von Risiken für eine mögliche Belastung der Gewässer geboten, insbesondere wenn die landwirtschaftliche Verwertung von Gärresten aus der Biogasproduktion in Wasserschutzgebieten erfolgen soll.

Unter Berücksichtigung des Gewässerschutzes und der verschiedenen in Biogasanlagen eingesetzten Substrate wurde im Rahmen der Studie W 1/03/05 vom TZW ein Schema zur Einteilung der Gärrückstände erarbeitet, in dem die anfallenden Gärreste in vier Gruppen eingeteilt werden (Tab. 2). Dabei wurde nach Gärresten ohne Kofermente (Gruppen 1 und 2) und Gärresten der Gruppen 3 und 4 mit Kofermenten (Bioabfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs gemäß Anhang 1 BioAbfV) unterschieden. Auf

Basis der vorliegenden Erkenntnisse wurden jeder Gruppe der als notwendig erachtete Analysenumfang zugeordnet und Forderungen hinsichtlich der Ausbringung aufgestellt. Dies sind im Wesentlichen:

- Keine Ausbringung von Gärresten der Gruppen 1 und 2 in Schutzzone II: Aufgrund der möglichen mikrobiologischen Belastung von Gärresten, die aus Substraten der Gruppe 1 und insbesondere der Gruppe 2 bestehen, sollte eine Ausbringung in der Zone II von Wasserschutzgebieten bzw. innerhalb der 50-Tage-Linie und in sensiblen Gebieten grundsätzlich vermieden und durch entsprechende Regelungen verboten werden. Im Hinblick auf Wirtschaftsdünger existieren teilweise in einigen Bundesländern bereits entsprechende Regelungen.

Auch wenn die Gärreste aus reinen Nawaro-Anlagen in der Regel deutlich weniger mikrobiologisch belastet sein dürften als die Gärreste der Gruppe 2, beinhaltet die Zulassung der Ausbringung von reinen Nawaro-Gärresten innerhalb der Schutzzone II ein Risiko für die Gewässer und bedingt eine hohe, in der Praxis kaum zu gewährleistende Überwachungsdichte sowohl hinsichtlich der in die Biogasanlage eingebrachten Substrate als auch hinsichtlich der Ausbringung in der Schutzzone II.

- Keine Ausbringung von Gärresten der Gruppen 3 und 4 (Kofermente) in Wasserschutzgebieten, Wassereinzugsgebieten und sensiblen Gebieten: Die ausgewerteten Untersuchungsergebnisse aus der Literatur zeigen, dass Gärrückstände bei Verwendung von Kofermenten (Bioabfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs gemäß Anhang 1 BioAbfV), insbesondere wenn es sich dabei um Kofermente der Gruppe 4 handelt, mit Schadstoffen belastet sein können. Da eine Schadstoffanreicherung im Boden infolge der Ausbringung von Gärresten unbedingt zu vermeiden ist, wird eine generelle Zulassung von Gärrückständen der Gruppe 3 in Wasserschutzgebieten abgelehnt, auch wenn zu vermuten ist, dass die Gärreste der Gruppe 3 weniger belastet sind als diejenigen der Gruppe 4.

Eine landwirtschaftliche Verwertung von Gärrückständen aus Biomasse mit Kosubstraten der Gruppe 3 in der Schutzzone III sollte in Ausnahmefällen nur mit Genehmigung der Wasserbehörde und nur dann möglich sein, wenn zusätzlich auch die Schadstoffgehalte der Gärrückstände bestimmt werden. Neben den

Parametern der BioAbfV (z. B. Schwermetalle) sind darüber hinaus weitere organische Schadstoffe zu bestimmen, wobei mindestens die Gehalte von PAK, AOX und Tensiden zu bestimmen sind. Im Verdachtsfall ist dieser Untersuchungsumfang um weitere Parameter zu erweitern, insbesondere dann, wenn sich bei diesen ersten Analysen Auffälligkeiten ergeben. Vor der Genehmigung ist gegebenenfalls ein umfassendes Schadstoffmonitoring erforderlich, das durch die zuständigen Behörden festzulegen ist.

- Allgemeine Forderungen bezüglich der Ausbringung von Gärresten: Die Ausbringung muss nach guter fachlicher Praxis pflanzenbedarfs- und standortgerecht erfolgen. Es ist eine stickstoffvermindernde Ausbringungstechnik einzusetzen und die Gärrückstände sind so weit möglich einzuarbeiten. Dabei ist zu Oberflächengewässern ein Abstand von 10 Metern einzuhalten. Die Nährstoffgehalte (N, P, K) der Gärrückstände müssen bei der Düngung berücksichtigt werden. Hier ist insbesondere auch zu beachten, dass die Düngewirkung in der Regel über mehrere Jahre reicht. Es dürfen nur Gärrückstände ausgebracht werden, deren Qualität durch ein verbindliches Gütesystem gesichert wird.

Als Mindestuntersuchungshäufigkeit der Gärrückstände werden bei den aufgeführten Untersuchungen (Nährstoffe, ggf. Schwermetalle und organische Substanzen) zwei Untersuchungen pro Jahr gefordert. Darüber hinaus werden zusätzliche Untersuchungen bei wesentlicher Änderung der Nährstoffgehalte empfohlen sowie insbesondere bei Änderungen der Art und Zusammensetzung der Kosubstrate oder Änderung des Gärverfahrens.

Forderungen für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau

Viele Trinkwasserversorger betrachten den zunehmenden Energiepflanzenanbau derzeit mit Sorge, da durch die Intensivierung der Landwirtschaft, die derzeit durch steigende Marktpreise ohnehin forciert wird, eine Beeinträchtigung der Grund- und Oberflächenwasserqualität durch Nitrat, Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und als Folge der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärrückständen auch durch organische Spurenstoffe befürchtet wird. Weder durch die europäische noch durch die deutsche Gesetzgebung werden bislang über die gute fachliche Praxis hinausgehende Vorgaben im Hinblick auf einen gewässerschützenden Anbau von Energiepflanzen gemacht. Ein nachhaltiger Schutz der Gewässer vor Schadstoffeinträgen aus dem Anbau von

Energiepflanzen zur Biogasproduktion und zur Erzeugung von Biokraftstoffen ist aus der Sicht der Wasserversorger nur bei Beachtung verschiedener Grundsätze für eine gewässerschützende Bewirtschaftungsweise zu erreichen. Wenn dies sichergestellt ist, dann bieten sich hinsichtlich der Nitrat- und Pflanzenschutzmittelrückstandsproblematik Chancen für den Ressourcenschutz. Die Wasserversorger fordern unter anderem:

- Die finanzielle Förderung des Anbaus von Biomasse zur energetischen Nutzung muss an die Einhaltung von Leitlinien für eine gewässerschützende Bewirtschaftung gekoppelt werden. Bereits im DVGW-Arbeitsblatt W 104 sind Grundsätze und Maßnahmen für eine gewässerschützende Landbewirtschaftung beschrieben, die auch für den Energiepflanzenanbau gelten [23]. Aufbauend darauf wurden im Rahmen der DVGW-Studie W 1/03/05 vom TZW Karlsruhe darüber hinausgehende, speziell auf den Energiepflanzenanbau ausgerichtete Leitlinien entwickelt, die eine Berücksichtigung des Gewässerschutzes beim Energiepflanzenanbau und der Ausbringung von Gärresten bewirken sollen.
- Der Umbruch von Grünland und mehrjährigen Brachen zum Zweck des Energiepflanzenanbaus ist zu vermeiden.
- Beim Anbau von Energiepflanzen ist durch spezielle Fruchtfolgen eine ganzjährige Bodenbedeckung sicherzustellen.
- Auf den Einsatz von bekanntermaßen gewässerrelevanten Pflanzenschutzmitteln ist zu verzichten. Zumindest sind deren Einsatzmengen zu minimieren.
- Alle zur Ausbringung vorgesehenen Gärrückstände müssen einem verbindlichen Gütesystem unterliegen.
- Zur ordnungsgemäßen Verwertung der in Gärrückständen enthaltenen Nährstoffe müssen ausreichend Flächen zur Verfügung stehen und der Nährstoffbedarf der Pflanzen muss berücksichtigt werden.
- Die Ausbringung von Gärrückständen der Gruppe 1 (z. B. Energiepflanzen) und der Gruppe 2 (z. B. Gülle) in der Zone II von Wasserschutzgebieten bzw. innerhalb der 50-Tage-Linie und in sensiblen Gebieten, wie z. B. flachgründigen Böden oder Karst, ist zu verbieten.
- Die Ausbringung von Gärrückständen aus der Biogasproduktion mit Kosubstraten (Stoffe gemäß Anhang 1 der Bioabfallverordnung) in Wasserschutzgebieten, Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen sowie in sensiblen Gebieten ist zu verbieten.
- Der Bau von Biogasanlagen einschließlich der zugehörigen Anlagen (wie z. B. Substratlager) sollte nur außerhalb von Was-

serschutzgebieten erfolgen, da beim Betrieb von einem hohen Risiko für die Gewässer auszugehen ist. Evtl. Ausnahmen von dieser Regelung sollten daher auf die Schutzzone IIIB beschränkt werden.

- Vor der Genehmigung neuer Biogasanlagen ist ein Gesamtkonzept zu erstellen. Über die gesetzlich geforderten Vorgaben hinaus sollten dabei insbesondere die Bereitstellung der Substrate (Art, Herkunft, Menge), die verbindliche Teilnahme an einem Gütesystem sowie der Flächennachweis für die Rückführung der Gärreste geklärt sein.
- Für Substrate und Gärrückstände sind flüssigkeitsdichte Lager mit ausreichenden Lagerkapazitäten erforderlich, wobei anfallende Sickersäfte dem Gärprozess zuzuführen sind.

Im Hinblick auf den gewässerschützenden Anbau der Energiepflanzen und spezielle Fruchtfolgen sollte eine zusätzliche Beratungsmöglichkeit für Landwirte angeboten werden. Beim Anbau von Energiepflanzen innerhalb von Wasserschutzgebieten ist es erforderlich, durch spezielle Verträge zwischen den Anlagenbetreibern (insbesondere wenn es sich dabei um Wasserversorger handelt) und den Landwirten einen gewässerschützenden Anbau von Energiepflanzen festzuschreiben. Insbesondere für den oft als problematisch einzuschätzenden Anbau von Raps und von Energiemais wurden im Rahmen der Studie Vorgaben, vor allem im Hinblick auf die Düngung und die Folgenutzungen aufgestellt, die eine gewässerschützende Produktion, z. B. in den Einzugsgebieten von Trinkwasserfassungen, ermöglichen.

Literatur

[1] BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, AGEE-Stat (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik) 12.03.2008: Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2007. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Berlin.

- [2] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 12.2007: Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung. BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.); abrufbar unter: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf, Stand April 2008.
- [3] Fachverband Biogas e. V. (2007): Deutlich weniger neue Biogasanlagen. Fachverband Biogas e. V. (Hrsg.), Freisingen. Pressemitteilung vom 24.10.2007.
- [4] Scholwin F., Thrän D., Daniel J., Weber M., Weber A., Fischer E., Jahraus B., Klinski S., Vetter A. & J. Beck (2007): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse (Endbericht). IE Leipzig (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH) (Hrsg.).
- [5] Steckbrief Biodiesel 2008 FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.) (Hrsg.); abrufbar unter: www.bio-kraftstoffe.info/cms35/Biodiesel.831.0.html, Stand April 2008.
- [6] Bundesamt für Energie BFE 22.05.2007: Nicht jeder Biotreibstoff ist umweltfreundlich, Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.), abrufbar unter: www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=12653, Stand April 2008.
- [7] Zah R., Böni H., Gauch M. & R. Hirschier (2007): Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen, EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt).
- [8] Mehr Rapsanbau durch Biodiesel 2007: abrufbar unter: www.biosicherheit.de/de/raps/landwirtschaft/50.doku.html, Stand April 2008.
- [9] Zeddies J. (2006): Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU-25.
- [10] DENA (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (2006): Biomass to Liquid – BtL. Realisierungsstudie.
- [11] Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (2007): Statistik über den Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, abrufbar unter: www.fnr-server.de/cms35/Statistik.64.0.html, Stand April 2008.
- [12] SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 12.07.2007: Klimaschutz durch Biomasse, Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hrsg.).
- [13] Maisanbaufläche in Deutschland in Hektar, 2006 und 2007 (vorläufig) nach Bundesländern und Nutzungsrichtung in Hektar 2007; DMK, Statistisches Bundesamt, ZMP (Hrsg.), abrufbar unter: www.maiskomitee.de/dmk_download/fb_fakten/dateien_pdf/flaeche_06-07_vorlaeufig.pdf (Stand: 13.08.2007), Abruf April 2008.
- [14] Kiefer, J. (2007): Nachwachsende Rohstoffe/Biogasanlagen und Gewässerschutz – Bewertung aus Sicht der Wasserversorgung, In: gwf Wasser/Abwasser 148 (2007) 13.
- [15] Kiefer, J. & T. Ball (2007): Energiepflanzenanbau und Gewässerschutz, In: DVGW energie | wasser-praxis (58) 3, 79.
- [16] DVGW (2007): DVGW-Position zum Thema Energiepflanzen aus Sicht des Gewässerschutzes, In: DVGW energie | wasser-praxis (58) 3, 80 – 81.
- [17] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): 3. Bericht gemäß Artikel 10 der Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen.
- [18] Statistisches Bundesamt 09.2007: Das Statistische Jahrbuch 2007. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden, ISBN: 978-3-8246-0803-4.
- [19] Sturm, S. & J. Kiefer (2006): Befunde von Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächenwässern und deren Eintragspfade – Bedeutung für die Wasserwirtschaft und das Zulassungsverfahren. Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser, Nr. 31, S. 185 – 312, Karlsruhe.
- [20] Kuch, B., Rupp, S. & K. Fischer et al. (2007): Untersuchungen von Komposten und Gärsubstraten auf organische Schadstoffe in Baden-Württemberg. Forschungsbericht FZKA-BWPlus, Februar 2007.
- [21] Pfundtner, E. (2006): Neufassung der Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Biogäülle und Gärrückständen im Acker und Grünland. 12. Alpenländisches Expertenforum Irdning, März 2006, S. 25 – 28.
- [22] Kördel W., Herrchen M., Müller J., Kratz S., Fleckenstein J., Schnug E., Saring, Thomas J, Reinhold 07.2007: Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung. Umweltbundesamt (Hrsg.); Forschungsbericht 202 33 305 und 202 74 271; UBA-FB 001017, Texte 30/07. Dessau.
- [23] DVGW (2004): Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landwirtschaft. Arbeitsblatt W 104, Technische Regeln Ausg. 10/2004. wvgw mbH Bonn.

Autoren:

Dipl.-Geol. Joachim Kiefer

Dipl.-Ing. Thomas Ball

DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)

Abteilung Grundwasser und Boden

Karlsruher Str. 84

76139 Karlsruhe

Tel.: 0721 9678-200 /-202

Fax: 0721 9678-102

E-Mail: kiefer@tzw.de, ball@tzw.de

Internet: www.tzw.de

Wir machen Ihnen die Suche nach dem passenden Mitarbeiter leicht!

Jeden Monat branchenspezifische Stellenanzeigen in der ewp



wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft
Gas und Wasser mbH

E-Mail: thies@wvgw.de
www.wvgw.de

ENERGY MEDIENSERVICE
Anzeigenverwaltung

E-Mail: mail@energy-medien-service.de
www.energy-medien-service.de