

Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Biogaserzeugung

Richard Beisecker & Daniel Petry

Manuskript zum Vortrag auf dem 25. Mülheimer Wassertechnischem Seminar „Biogaserzeugung und Wasserwirtschaft – Chancen und Risiken“ des IWW GmbH Mülheim am 24.04.2012

1 Einleitung

Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland hat sich seit dem Jahr 2000 verdreifacht und lag 2011 bei 12 %. Allein 8,2 % des Endenergieverbrauchs entfallen auf Energie aus Biomasse [1]. Neben den Biokraftstoffen spielt hierbei die Produktion von Biogas eine zentrale Rolle und das mit stetig wachsender Bedeutung.

Als Ausgangssubstrat der Biogaserzeugung werden bislang überwiegend nachwachsender Rohstoffe (Mais) sowie Wirtschaftsdünger (Gülle) aus der Landwirtschaft eingesetzt. Die Anbauflächen für nachwachsende Rohstoffe (Industrie- und Energiepflanzen) haben sich in Deutschland seit 1998 mehr als vervierfacht, bis 2011 sind sie auf knapp 2,3 Mio ha gestiegen, wovon ca. 87 % energetisch genutzt werden. Das entspricht ca. 19 % der Ackerflächen in Deutschland. Knapp 2 Mio. ha entfielen davon auf den Energiepflanzenanbau, wobei derzeit noch der Anbau von Raps für die Biodieselproduktion dominiert (siehe Bild 1:). Der Energiepflanzenanbau für die Biogasproduktion lag in 2011 bei ca. 800.000 ha.

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2011 und der damit einhergehenden Veränderung der Förderstrukturen für die Biogasanlagen wird der Anteil anderer biogener Reststoffe, v.a. Siedlungsabfälle und Abfälle der lebensmittelverarbeitenden Industrie, in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen. Damit ändert sich auch die Zusammensetzung der Ausgangssubstrate der Biogaserzeugung, was wiederum Konsequenzen für die stoffliche Zusammensetzung der Gärreste hat. Dies wirkt sich auch auf die damit verbundenen Gefährdungspotenziale für Böden und Gewässer aus.

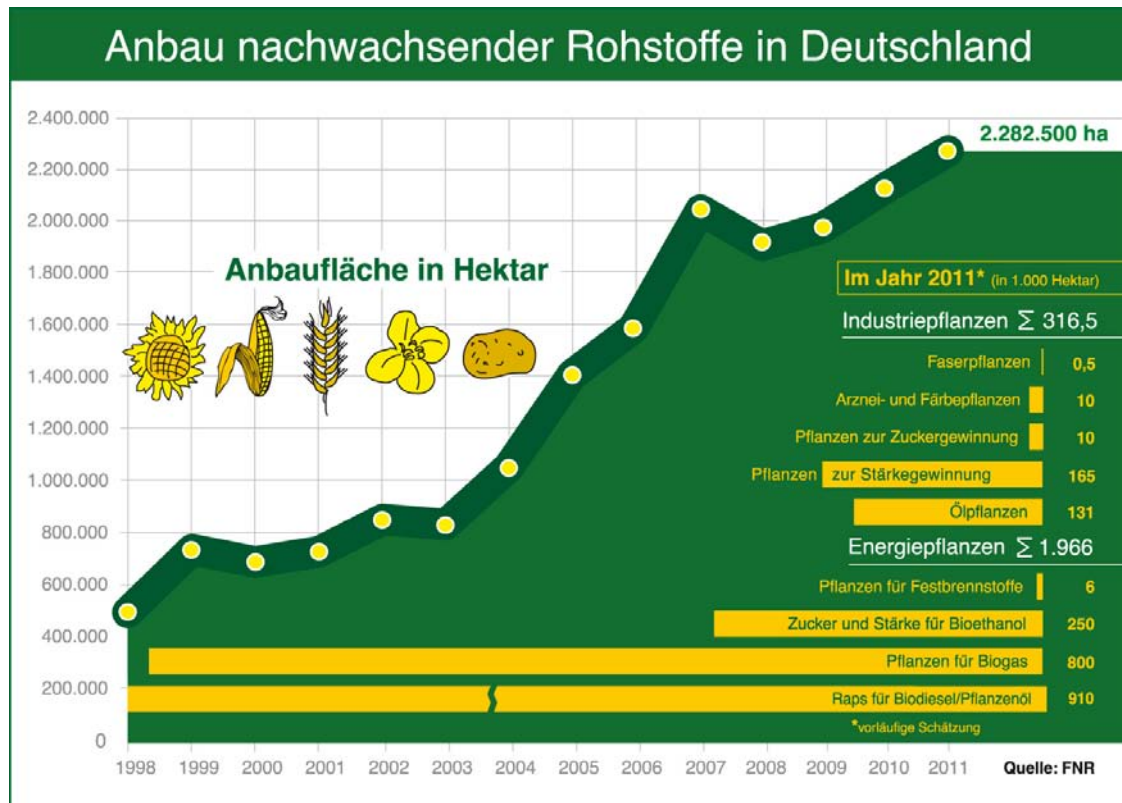


Bild 1: Entwicklung des Anbauflächenumfangs für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland [2]

Für den Gewässerschutz stellt die Biogaserzeugung im Hinblick auf den Energiepflanzenanbau und die landwirtschaftliche Verwertung der Gärreste ein Gefährdungspotenzial dar. Hinzu kommen die Risiken von Havarien beim Bau und dem Betrieb der Biogasanlagen selbst, auf die aber in diesem Beitrag nicht weiter eingegangen wird.

Dem DVGW als technischem Regelsetzer sowohl für die Biogaserzeugung als auch für den Gewässerschutz in Wassergewinnungsgebieten kommt eine besondere Verantwortung für die Formulierung von Anforderungen an eine Gewässer schützende Biogaserzeugung zu. Dieser Verantwortung wird er durch die Erarbeitung fachlicher Grundlagen für den Anbau von Energiepflanzen und der Verwertung der Gräreste sowie durch die Formulierung der Anforderungen an eine Gewässer schützende Biogaserzeugung gerecht [3, 4].

2 Gefährdungspotenziale für die Beschaffenheit von Grundwasser und Oberflächengewässern

Mit der Biogasproduktion sind verschiedene Gefährdungspotenziale für den Boden- und Gewässerschutz verbunden. Neben den Flächen- und Bewirtschaftungseffekte durch den Anbau der Energiepflanzen (Gärsubstrate) steht vor allem die gewässerverträgliche Verwertung der Gärreste im Vordergrund der nachfolgenden Betrachtungen (siehe Bild 2). Auf die Gefährdungen durch den Bau und Betrieb der Biogasanlagen selbst wird nicht eingegangen.

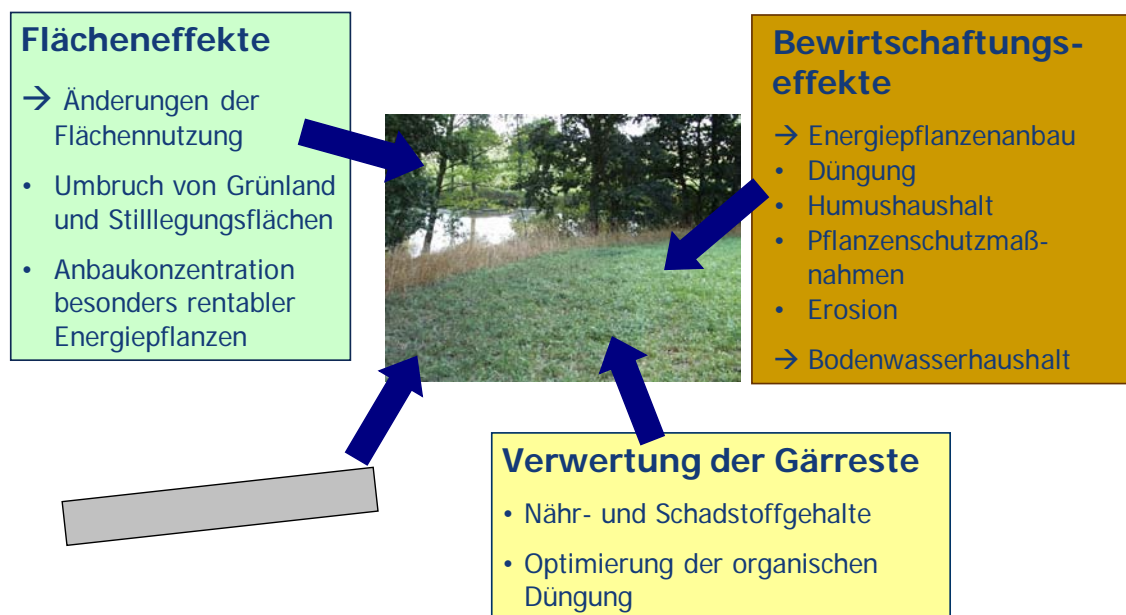


Bild 2: Gefährdungspotenziale der Biogasproduktion für den Boden- und Gewässerschutz

2.1 Flächeneffekte

Die Zunahme des Energiepflanzenanbaus hat zu einer deutlichen Veränderung der landwirtschaftlichen Flächennutzung geführt. Durch die in den letzten Jahren deutlich gestiegenen Agrarpreise und den zusätzlichen Flächenbedarf für den Energiepflanzenanbau wurden bislang nicht mehr ackerbaulich genutzte Flächen wieder in Kultur genommen. Neben der Inkulturnahme von Stilllegungsflächen betrifft dies auch die Umwandlung von Grünland in Ackerland. Der Grünlandanteil ist bundesweit zwischen 2003 und 2008 um 154.000 ha oder 3,4 % zurückgegangen, in Bundesländern mit einer hohen Biogasanla-

gendichte sind es sogar zwischen 5 und 7,5 % [5]. Dies ist neben der rentablen Bewirtschaftung bisher ungünstiger oder ertragsschwacher Standorte aufgrund der gestiegenen Agrarpreise auch auf die Zunahme des Energiepflanzenanbaus zurück zu führen. Zudem kommt es in den Schwerpunktregionen der Biogaserzeugung zu einer Anbaukonzentration besonders rentabler Energiepflanzen wie dem Silomais. Die Verteilung der Biogasanlagen in Deutschland (siehe Bild 3:) macht deutlich, dass dies neben Ostdeutschland vor allem die nordwestdeutschen und süddeutschen Veredelungsregionen mit hoher Viehbesatzdichte und intensivem Maisanbau betrifft.

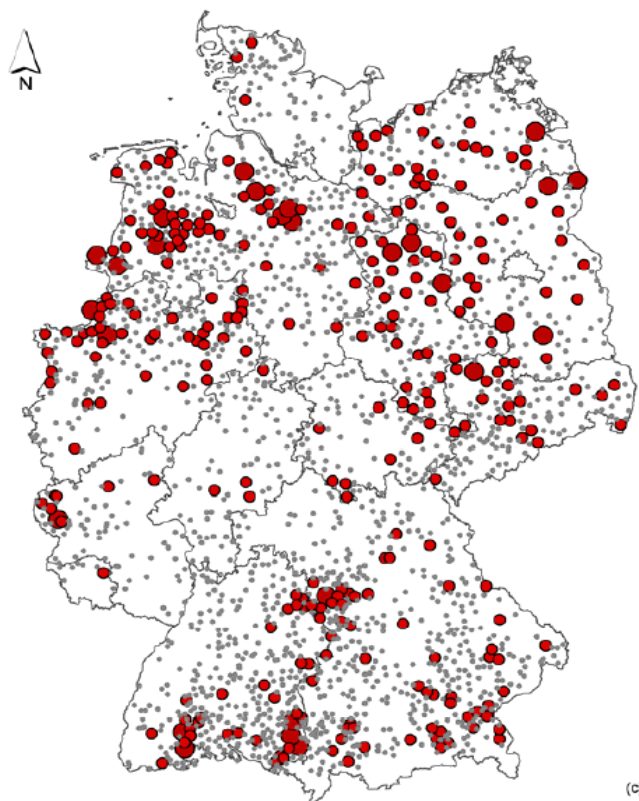


Bild 3: Räumliche Verteilung der Biogasanlagen in Deutschland [6]

Bild 4 und Bild 5: verdeutlichen die Vorrangstellung des Maises als Energiepflanze für die Biogaserzeugung. Wie eine Biogasanlagen-Betreiberbefragung aus 2009 [6] zeigt, hatte die Maissilage einen Anteil von 78 % an der Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe für die Biogaserzeugung. Dies liegt daran, dass der flächenbezogene Methanertrag und die Substratbereitstellungskosten beim Silomais mit ca. 26-28 ct/m³ Biogas am günstigsten sind. Auch die mittlerweile vielfältigen Forschungsarbeiten zum Einsatz alternativer Energiepflan-

zen für die Biogasproduktion [7] haben an der ökonomischen Vorzüglichkeit des Maisanbaus bisher nichts geändert.

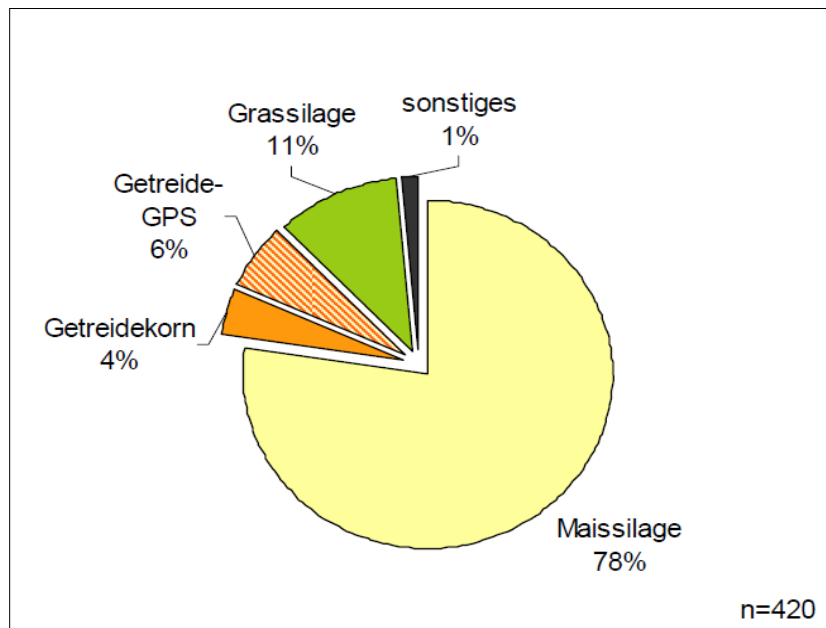


Bild 4: Einsatz massebezogener nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen [6]

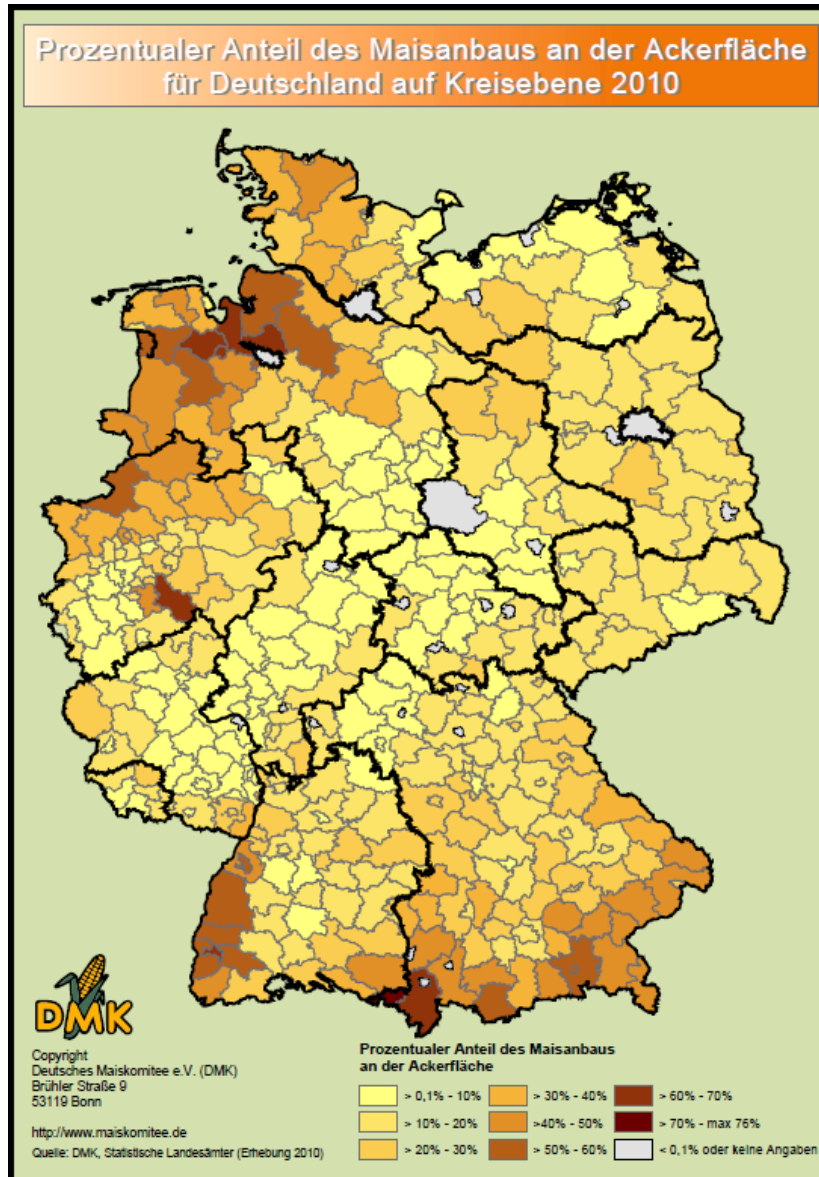


Bild 5: Räumliche Verteilung des Maisanbaus in Deutschland [8]

2.2 Bewirtschaftungseffekte

Aus Gewässerschutzsicht ist besonders problematisch, dass ausgerechnet der Maisanbau die Kulturart im Energiepflanzenanbau mit dem mit Abstand größten Gefährdungspotenzial darstellt (siehe Bild 6:). Problematisch dabei sind weniger die spezifischen Eigenschaften der Kulturpflanze selbst, sondern die Effekte der in der landwirtschaftlichen Praxis gängigen Anbauverfahren. Der späte Reihenschluss hat eine hohe Erosionsgefährdung des lange Zeit unbewachsenen Bödens zur Folge. Zudem ist Maisanbau mit dem Einsatz von Herbiziden mit persistenten Wirkstoffen und Metaboliten sowie einem in der Praxis häufig erhöhten Einsatz von organischen Düngern (Gülle, Gärreste) verbunden. Dies

bedingt eine entsprechende Auswaschungs- und Eintragsgefährdungen in die Gewässer.

Bewertungsparameter	Mais**	Sonnenblumen**	Sorghumarten**	GPS-Getreide	Ackergras	Zwischenfrucht*	Grünland
Stickstoff-Düngebedarf	Rot	Grün	Rot	Gelb	Rot	Grün	Gelb
Nachernte/ Herbst-Nmin	Rot	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
N-Saldo	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
N-Auswaschung	Rot	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
PSM-Austrag	Rot	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün
Wasserbedarf	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Rot	Gelb	Gelb
Humusbilanz	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün
Bodenerosion	Rot	Rot	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
Standortansprüche***	Mittel	Mittel	Hoch	Gering	Gering	Gering	sehr gering
Energieertrag/ha***	Hoch	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel-Hoch	gering	Mittel

* Als Optimierung des Hauptfruchtanbaus, Ernte optional
 ** Optimierung u.a. durch reduzierte Bodenbearbeitung möglich
 *** Weitere Bewertungsparameter

Legende: Risiko für den Wasserschutz...
 Hoch (Rot)
 Mittel (Gelb)
 Gering (Grün)

Bild 6: Bewertung der Gefährdungspotenziale verschiedener Energiepflanzen zur Biogasproduktion [9]

Auch die im Energiepflanzenanbau, insbesondere dem Maisanbau, häufig auftretenden Stickstoffüberschüsse lassen sich mit den gesetzlich verankerten Zielen des Gewässerschutzes nur schwer vereinbaren. Aus Sicht des Gewässerschutzes sind hinsichtlich der Nitratbelastung des Grundwasser und der flächendeckenden Einhaltung des Qualitätsziels von 50 mg/l Nitrat aus den Regelungen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) max. 40 kg N/ha als Bilanzüberschuss tolerierbar. Praxisbeispiele aus einem Modellvorhaben zur Umsetzung der WRRL [10] zeigen dagegen, dass gerade bei den ertragreichen Kulturen wie Mais und Raps bei kombinierter mineralischer und organischer Düngung N-Bilanzüberschüsse bis zu 180 kg/ha beim Mais und bis über 200 kg/ha beim Raps auftreten können. Solche hohen N-Überschüsse verursachen erhöhte Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, die erheblich über den vorgenannten Qualitätszielen des Gewässerschutzes liegen.

In den für die Biogasproduktion besonders bedeutenden Veredelungsregionen werden die mit dem Feldfruchtanbau verbundenen Gefährdungspotenziale durch die aus der Viehhaltung entstehende atmosphärische Stickstoffdeposition nochmals erhöht. Die gasförmigen N-Verluste aus der Landwirtschaft werden als trockene (Transportreichweite ca. 500 m) oder als feuchte und nasse Deposition (Transportreichweite bis ca. 25 km) wieder in der jeweiligen Region als Ammoniak-Emission in die Böden eingetragen [11].

2.3 Gärrestverwertung

Gärreste aus der Biogaserzeugung werden in der Regel als organischer Dünger auf den landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Das ist im Sinne der Kreislaufwirtschaft grundsätzlich zu begrüßen, so lange diese Düngermengen gemäß der guten fachlichen Praxis bei der Düngebedarfsermittlung berücksichtigt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass der Flächenbedarf für die Ausbringung der Gärreste um den Faktor 1,1 bis 1,6 höher ist als für den Anbau der Energiepflanzen (Mais). Die zunehmende Nutzung von Kofermenten als Gärsubstrate der Biogaserzeugung führt jedoch auch zu einer Veränderung der stofflichen Zusammensetzung der Gärreste im Vergleich zu Biogasanlagen, die nur Mais und Gülle als Gärsubstrat einsetzen (NaWaRo-Anlagen). So werden in Gärresten mit Kofermenten regelmäßig auch Benzole, Phenole, PAKs, Flammenschutzmittel oder verschiedene Biozide nachgewiesen [12, 13].

Stoffklassen	Gehalte in Gärresten [µg/kg TS _{lyo}]				Gehalte in Biokomposten [µg/kg TS _{lyo}]				Grün- gut kom- post MW
	MW ¹⁾	Med ¹⁾	Min-Max	n ¹⁾	MW	Med	Min-Max	n	
4-Nonylphenole	3.850	3.743	1.251-6.102	5	822	560	106-1.926	19	132
DEHP (Di-(2-Ethylhexyl)-phthalat)	3.400	3.500	2.700-3.900	5	1.400	1.400	900-2.100	19	1.500
PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)	3.180	3.498	1.903-3.985	5	2.407	2.659	1.132 - 3.248	19	2.171
TCPP (Flammenschutzmittel) Tris-(chlorpropyl)-phosphat	156	177	29-268	5	326	16	<5-2.054	19	6
AHTN (Synthetischer Duftstoff)	98	67	25-226	5	23	6	<3-119	19	n.n.
4-tert-Octylphenol	96	115	30-146	5	70	15	< 286	19	6
DDE (DDT-Abbauprodukt)	77	7,5	2-363	5	8	5	0,4-37	19	3
PCB (polychlorierte Biphenyle) ²⁾	59	32	30-170	5	35	33	20-57	19	22
PBDE (Brom. Flammenschutzmittel)	29	14	10-94	5	14	13	8-22	19	7
Chlorbenzole	11	--	0,1-13	5	4,9	--	n.n.- 6	19	1,6
Brombenzole	0,6	--	0,01 – 1,5	5	0,6	--	n.n.- 4	19	0,2
TBPAE	--	--	< 1	5	9	7	2-34	19	2
TBPDBPE	--	--	n.n.	5	2	2	<1-7		1
Triclosan (Desinfektionsmittel)	--	--	< 10,3	1 ³⁾	--	--	< 11,6	4 ³⁾	n.n.
Tertrabrombiphenol A (Flammenschutzmittel)	--	--	n.n.	0 ³⁾	1,3	1,2	< 3	14 ³⁾	< 2

1) = MW: Mittelwert; Med: Medianwert; n: Anzahl der untersuchten Proben

2) = Summe der Einzelkonzentrationen PCB-28, -52, -101, -138, -153, -180

3) = Anzahl der positiven Proben (Gesamtzahl 5 bzw. 19)

Bild 7: Ausgewählte Schadstoffgehalte in Vergärungsrückständen, Biokomposten (überwiegend Bioabfälle) und Grüngutkomposten [12]

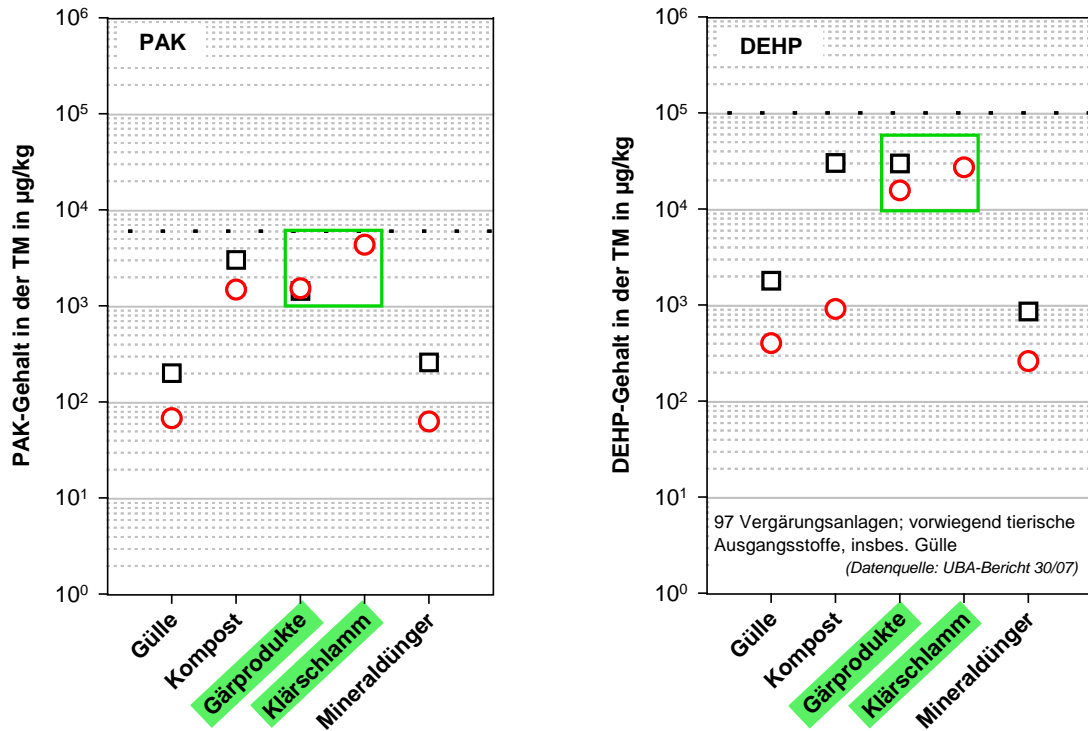


Bild 8: Belastung von Gärresten mit organischen Schadstoffen [10];

□ Median, ○ Mittelwert, ---- vorgeschlagener Grenzwert in EU-Klärschlamm-Richtlinie
(Entwurf)

Bei der Gärresteverwertung hinzu kommen hygienische Gefährdungen aufgrund mikrobiologischer Belastungen, da durch die bei der Vergärung auftretenden Temperaturen keine ausreichende Hygienisierung erreicht wird. Aufgrund der moderaten Temperaturen auch bei der mesophilen Vergärung ist die mikrobiologische Unbedenklichkeit der Gärreste nicht gewährleistet, weshalb deren Ausbringung in der Schutzzone II von Wassergewinnungsgebieten generell nicht zulässig ist.

3 Lösungsansätze zur Minimierung der Gefährdungspotenziale

Am Beispiel der Minimierung der Nitratauswaschungsgefährdung werden im Folgenden Lösungsansätze veranschaulicht. Bild 9 macht deutlich, dass der maximal tolerierbare N-Überschuss zur Einhaltung des Qualitätsziels von 50 mg/l Nitrat in Abhängigkeit der Sickerwasserrate und der Wasserspeicherkapazität des Bodens (Austauschhäufigkeit) höchsten 40-60 kg N/ha betragen darf. Dies entspricht auch dem Zielwert der LAWA, wonach die Stickstoff-

Bilanzsalden zur Einhaltung der Gewässerqualitätsziele max. 10-40 kg N/ha und Jahr betragen dürfen.

Austauschhäufigkeit des Bodenwassers	Sickerwasserrate [mm/a]			
	100	150	200	300
50 %	23	34	45	68
75 %	15	23	30	45
100 %	11	17	23	34
150 %	8	11	15	23
200 %	6	8	11	17

Bild 9: Maximal tolerierbare N-Überschüsse in kg N/ha zur Einhaltung von 50 mg Nitrat/l im Sickerwasser

3.1 Organische Düngung

Mit Gärresten aus der Biogaserzeugung gelangen zusätzliche Mengen organischen Düngers auf die landwirtschaftlichen Flächen. Pflanzenbauliche Studien [z. B. aus 14] zeigen, dass eine pflanzenbaulich optimale und effiziente Verwertung des Stickstoffs aus organischer Düngung zwischen 100 und 140 kg/(ha*a) Gesamtstickstoff liegt. Diese Mengen an organischer Düngung decken bereits 60-70 % des Stickstoffbedarfs der meisten landwirtschaftliche Kulturen und lassen unter Berücksichtigung der N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat noch Spielraum für eine ggfs. erforderliche mineralische Ergänzungsdüngung. Höhere organische Düngegaben führen zu einer deutlichen Erhöhung der Stickstoffüberschüsse und der Nitratauswaschung. Aus Sicht des Gewässerschutzes ist die organische Düngung aus pflanzlichen und tierischen Stoffen einschließlich Gärresten daher auf max. 120 kg/(ha*a) netto (Stall- und Lagerungsverluste bereits berücksichtigt) zu begrenzen [3, 4]. Daraus lassen sich für den Gewässerschutz max. zulässige Viehbesatzdichten von 1,7 bis 1,9 Großvieheinheiten (GV) pro ha bei Rindern und 1,9 bis 2,1 GV/ha bei Schweinen ableiten. In Wasserschutzgebieten können auch diese Besatzdichten noch zu hoch sein. Hier ist in Abhängigkeit der konkreten Standort- und Nutzungsverhältnisse ggfs. eine Reduzierung des Viehbesatzes auf max. 1,4 GV/ha erforderlich.

Um bei flächenbezogenen Stickstoffbilanzierungen und in der Düngeberatung auf praktikable und zielführende Werten zu kommen, sind zudem die atmosphärische N-Deposition und die N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat stärker als bisher zu berücksichtigen. Der DVGW finanziert zurzeit ein Forschungsvorhaben zur Abschätzungen der N-Nachlieferung des Bodens zur Optimierung der gewässerschonenden N-Düngeberatung [15].

3.2 Gärresteverwertung

Der DVGW hat bereits seit mehreren Jahren eine Klassifizierung der Gärreste im Hinblick auf das mit ihnen verbundene Gewässergefährdungspotenzial erarbeitet. Die Nähr- und Schadstoffgehalte der Gärreste von Biogasanlagen sind dabei stark abhängig von der Art und Menge der Ausgangssubstrate. Da die laufende und flächendeckende Kontrolle und Analyse der Gärreste auf deren Nähr- und insbesondere Schadstoffgehalte nicht möglich ist, verbleibt als einzig sinnvolle und zielführende Strategie die Begrenzung und Kontrolle der Ausgangsstoffe der Gärsubstrate im Rahmen einer Qualitäts- und Gütesicherung.

In einem ersten Schritt wurde im Rahmen eines F&E-Vorhabens eine Einteilung der Ausgangsstoffe der Gärsubstrate in vier Gefährdungsstufen vorgenommen (s. Bild 10). Aus der Art und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe ergibt sich die Zulässigkeit bzw. Unzulässigkeit der Ausbringung von Gärresten in der Zone III von Wasserschutzgebieten [16]. In den WSG-Zonen I und II ist eine Ausbringung von Gärresten grundsätzlich unzulässig, da die hygienische Unbedenklichkeit der Gärreste generell nicht gegeben ist.

	Gärrückstände			
	Gruppe 1 (NAWARO)	Gruppe 2 (+ Gülle)	Gruppe 3 (+ Ko-Substrate)	Gruppe 4 (+ Ko-Substrate)
Ausgangsmaterialien	Aus land- und forstwirtschaftlicher Grundproduktion	Wirtschaftsdünger	Aus Rückständen der Be- und Verarbeitung <u>landwirtschaftlicher</u> Produkte	andere biogene Reststoffe = Abfälle (Bioabfall, Tierische Nebenprodukte)
Ausbringung in Wassergewinnungsgebieten	Nicht zulässig in Zone II, bzw. innerhalb 50-Tage-Linie		Nicht zulässig in Wasserschutz- und -einzugsgebieten sowie empfindlichen Gebieten. Ausnahmegenehmigung in Schutzzone III durch zuständige Behörde bei Durchführung zusätzlicher Untersuchungen und Einhaltung von Obergrenzen; regionale Sonderregelungen möglich.	Nicht zulässig in Wasserschutz- und -einzugsgebieten sowie empfindlichen Gebieten; keine Ausnahme !

Bild 10: Einteilung der Gärreste nach Art und Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien [16]

Diese Einteilung der Ausgangssubstrate für die Biogasherstellung ist allerdings aufgrund der Änderungen des neuen EEG (2012) für neu errichtete Biogasanlagen nicht mehr zutreffend, da die neue Vergütungsstruktur andere Einsatzstoffvergütungsklassen vorgibt und die Vergärung von Bioabfällen in allen Vergütungsklassen möglich ist.

3.3 Stoffliste Ausgangssubstrate Biogasherstellung

Der DVGW und die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. haben eine detaillierte Listung mit Bewertung der unterschiedlichen Ausgangsstoffe für Gärprodukte erarbeitet, die Eingang in die RAL-Gütesicherung finden soll. Der Liste zulässiger Ausgangsstoffe bei der Biogasherstellung für die Ausbringung von Gärresten in Wasserschutzgebieten liegt folgendes Bewertungsschema zu Grunde:

- Grundsätzliches Ausbringungsverbot für Gärreste in der WSG-Zone II.
- Ausbringung von Gärresten in der WSG-Zone III nur mit RAL-Gütesicherung *„Für die Ausbringung in der Schutzzone III von Wasserschutzgebieten geeignet“*.

Die bekannten Ausgangsstoffe der Substrate für die Biogasherstellung wurden dabei in eine der drei nachfolgenden Kategorien eingeteilt:

- Liste zulässiger Ausgangsstoffe für Herstellung gütegesicherter Gärprodukte mit Zuordnung der Gärsubstrate (RAL-Prüfzeugnis)
 - x = für den Einsatz in Schutzzone III geeignet
 - O = für den Einsatz in Schutzzone III nur nach Einzelfallprüfung geeignet
 - = nicht für den Einsatz in Wasserschutzgebieten geeignet

Die vollständige Liste der Ausgangsstoffe für die Biogasproduktion mit deren Bewertung kann bei den Verfassern bezogen werden.

4 Wasserwirtschaftlichen Kernforderungen an eine Gewässer schützende Biogaserzeugung

Eine Gewässer schützende Biogaserzeugung ist unverzichtbarer Bestandteil einer nachhaltigen Energiewende. Aus Sicht des DVGW müssen daher die folgenden Anforderungen erfüllt sein:

1. Flächeneffekte

- Umsetzung regionaler Kreisläufe bezüglich Beschaffung der Gärsubstrate und Verwertung der Gärreste
- Kein Umbruch von fakultativem Grünland
- Obligatorische Erstellung eines Qualifizierten Flächennachweises (QFN) im Genehmigungsverfahren
- Zertifizierung der gesamten Biogasproduktionskette

2. Bewirtschaftungseffekte

- Erhalt und Erweiterung mehrgliedriger Fruchtfolgen beim Anbau von Energiepflanzen
- Sicherstellung ausreichender Lagerkapazitäten (9 Monate) für die Lagerung von Silage und Gärresten

3. Gärresteverwertung

- Keine Ausbringung von Gärresten in der Schutzzone II von WSG
- Begrenzung der organischen Düngung auf max. 170 kg N/ha (netto) einschließlich der tierischen Anteile im Gärrest; in Wassereinzugsgebieten auf max. 120 kg N/ha (netto)
- Güte- und Qualitätssicherung für Gärrückstände
- Keine Ausbringung von Gärresten aus Ko-Fermenten ohne chargenbezogenes Gütesiegel in Wassereinzugsgebieten (z. B. RAL-Gütezeichen „für den Einsatz in WSZ III geeignet“)

5 Literatur

[1] AGEE-Stat - Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik der Bundesregierung (2012): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011. Laufend aktualisierte Berichterstattung (<http://www.erneuerbare-energien.de>; letzter Zugriff am 22.5.2012).

[2] FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2012): Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Laufend aktualisierte Berichterstattung (<http://www.nachwachsende-rohstoffe.de>; letzter Zugriff am 22.5.2012).

[3] DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (2010): Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. DVGW-Information Wasser Nr. 73, Ausgabe 8/2010.

[4] DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (2010): Energiepflanzenproduktion und Einsatz von Gärrückständen aus Sicht des Gewässerschutzes. DVGW-Positionspapier, Ausgabe 2010.

[5] Taube, F (2011): Wie „bio“ ist Biogas? Klima- und Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus in S-H. Vortrag beim Fachverband Biogas e.V.: Biogas aus Energiepflanzen – Fluch oder Segen für Schleswig-Holstein.

[6] DBFZ (2011): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Kurztitel: Stromerzeugung aus Biomasse; FKZ: 03MAP138. Deutsches Biomasseforschungszentrum GmbH, Berlin.

[7] Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (2010): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Ergebnisse des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I“.

[8] Deutsches Maiskomitee (2010): Prozentualer Anteil des Maisanbaus an der Ackerfläche für Deutschland auf Kreisebene (<http://www.maiskomitee.de/web/>

[upload/pdf/statistik/dateien_pdf/Vergleich_PAM_AF_PAM_LN_2010.pdf](#); letzter Zugriff am 31.05.2012).

[9] Buttlar, C. v., Kräling, B. Mund, H., Reulein, J. und A. Rode (2009): Modell- und Pilotvorhaben „Untersuchung zur Optimierung des Biomaisanbaus sowie des Betriebs von Biogasanlagen unter den Anforderungen des Gewässerschutzes zur Sicherung einer nachhaltigen Nutzung von Bioenergie“. Studie im Auftrag des NLWKN Aurich.

[10] Mauden, R., Beisecker, R., Tappe, N., Böge, S., Fink, M. (2007): Das Modellvorhaben Flussgebietsmanagement Weida. Reduzierung des diffusen Stickstoffeintrags aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet der Weida (Thüringen). Thüringer Fernwasserversorgung, Erfurt.

[11] Niederau, H., Jedrusiak, Th., Bartels, U. (2005): Gewässerbelastung durch Stickstoffeinträge im Münsterland. Umsetzung der WRRL. Hg. v. Staatliches Umweltamt Münster.

[12] Kuch, B., Rupp, S., Fischer, K., Kranert, M., Metzger, J.W. (2007): Untersuchungen von Komposten und Gärsubstraten auf organische Schadstoffe in Baden-Württemberg; Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Förderkennzeichen BWR 24026. Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart.

[13] Kiefer, J. (2011): Energie aus Biomasse im Einklang mit de Gewässerschutz? In: Innovationen und Praxisforschung für das Wasserfach – 16. TZW-Kolloquium, 6.12.2011. Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe 50, S. 15-30.

[14] Gutser, R. Ebertseder, Th. und Holz, F. (2008): Reicht das Fachrecht für die Umsetzung der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie aus? In: Isermeyer, F., Christen, O., Erhardt, G., Flessa, H., Hoffmann, V. und Otte, A. (Hrsg.): Landnutzung und Wasserqualität – Herausforderungen bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Agrarspectrum, Schriftenreihe des Dachverbandes der Agrarforschung, DAF e.V., Bd. 41, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 39-60.

[15] IfÖL (2012): Abschätzung der standortspezifischen Stickstoffnachlieferung zur Optimierung der gewässerschonenden N-Düngeberatung. DVGW F&E-Vorhaben W1-01-11 (Laufzeit 2011-2013). Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft, Malsfeld/Kassel.

[16] Ball, Th., Kiefer, J., Geiges, M. (2008): Beurteilung der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung aus Sicht des Gewässerschutzes. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W1/03/05 (Literaturstudie). TZW, Karlsruhe, August 2008.