



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 94 | Ausgabe 1

Mai 2016

AGRARWISSENSCHAFT
FORSCHUNG
—
PRAXIS



Güllefeststoffvergärung in Biogasanlagen: Ein Beitrag zur Verminderung regionaler Nährstoffüberschüsse?

RHENA KRÖGER, WELF GUENTHER-LÜBBERS und LUDWIG THEUVSEN

1 Einleitung

Das Grundwasser ist eine wichtige natürliche Ressource, die sich ständig erneuert, jedoch nur begrenzt vorhanden ist und nicht mittels anderer Ressourcen substituiert werden kann (11). Der europäische Gesetzgeber hat dies erkannt und mit der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) einen juristischen Rahmen dafür geschaffen, alle aquatischen Ökosysteme einschließlich der Grundwasserkörper zu schützen (30). Nach Artikel 4 der WRRL soll ein ökologisch und chemisch "guter Zustand" der betrachteten Gewässer erreicht werden. Als Indikatoren für einen "guten Zustand" dienen bei Grundwasserkörpern der mengenmäßige (quantitative) sowie der chemische Zustand. Ersterer kann durch übermäßige Entnahme, beispielsweise für Zwecke der Feldberegnung, gefährdet (5), letzterer durch unterschiedliche Stoffeinträge, beispielsweise durch Nitratreinträge, negativ beeinflusst werden (2).

Einer der wesentlichen Verursacher von Nitratauswaschungen ins Grundwasser ist die Landwirtschaft (4; 6). Die wachsende Spezialisierung tierhaltender Betriebe und die Konzentration der Viehhaltung auf Gunststandorten (22; 3) sowie der in der Vergangenheit zu beobachtende starke Ausbau der Biogasproduktion und die Ausdehnung des damit verbundenen Maisanbaus haben eine zunehmende Ausbringung von tierischen und pflanzlichen Wirtschaftsdüngern (17) auf nur begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Folge. Dies führt in immer mehr Regionen zu einem Ungleichgewicht in Form von Nährstoffüberschüssen (12; 31). Obwohl in den vergangenen Jahren vielfältige Maßnahmen ergriffen wurden, um regionale Nährstoffüberschüsse abzubauen, bestehen weiterhin Brennpunkte, in denen noch keine oder nur geringfügige Verbesserungen zu beobachten sind (12).

Insbesondere in Regionen mit hohen Viehdichten nimmt das Düngemanagement daher eine wichtige Rolle ein. Dazu steht ein breites Maßnahmenspektrum zur Verfügung. Je nach dem Einfluss der Maßnahmen auf die unternehmerische Freiheit der Landwirte wird zwischen freiwilligen Maßnahmen (zum Beispiel Beratung von Landwirten), marktkonformen wirtschaftlichen Anreizen (Subventionen, Steuern), Command and Control-Regulierungen (gesetzliche Standards, zum Beispiel ordnungsrechtliche Vorgaben) sowie staatlichem Landnutzungsmanagement (etwa Ausweisung von Wasserschutzgebieten) unterschieden (29). In einigen Ländern wird versucht, durch Einsatz umweltpolitischer Instrumente die Nitratauswaschungen zu verringern. In Dänemark beispielsweise existiert ein kombiniertes Quote-Abgabe-Instrument mit einer betriebsindividuellen Stickstoffquote für größere landwirtschaftliche Betriebe. Wird diese überschritten, muss eine Abgabe gezahlt werden. Kleinere Betriebe zahlen stattdessen eine Stickstoffsteuer auf Mineraldünger (26). Ordnungsrechtliche Instrumente wie beispielsweise Sperrfristen für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern oder auch Vorgaben zur Ausbringungstechnik sieht zum Beispiel die deutsche Düngeverordnung vor. Darüber hinaus werden freiwillige Strategien verfolgt, um Nährstoffüberschüsse abzubauen. Eine in Deutschland diskutierte und zwischenzeitlich durch den Gesetzgeber geförderte Maßnahme ist der Einsatz anfallender Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen mit anschließender Nutzung der daraus entstehenden Gärreste als Mineraldüngersubstitut.

Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern als Gärsubstrat in Biogasanlagen wurde in Deutschland spätestens mit der Einführung des Güllebonus im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Jahr 2009 populär. Während Geflügelmist und Hühnertrockenkot eine hohe Transportwürdigkeit aufweisen und daher in erheblichem Umfang in Nährstoffbedarfsregionen verbracht werden, sind Rinder- und Schweinegülle aufgrund ihres hohen Wassergehaltes deutlich schlechter für eine überregionale Verbringung von Nährstoffen geeignet. Um diesem Problem zu begegnen, wird daher in jüngerer Zeit weniger über den Transport von Gülle, sondern vielmehr über den Transport von Feststoffen aus der Gülleseparation diskutiert.

Zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen existieren bereits eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien (unter anderem 28; 27; 32; 15). Die Verwendung von Güllefeststoffen als Gärsubstrat ist dagegen bisher nur in Ansätzen erforscht (7; 18; 19; 20) und in der Praxis bislang kaum zu beobachten. Vor diesem Hintergrund hat die vorliegende Studie zum Ziel, die Wirtschaftlichkeit des Güllefeststoffeinsatzes in Biogasanlagen im Vergleich zur Vergärung von Rohgülle und zum ausschließlichen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) zu analysieren und das Potenzial der Güllefeststoffvergärung zum Abbau von Nährstoffüberschüssen in viehdichten Regionen zu identifizieren. Weiterhin werden Gründe für die bislang geringe Praxisrelevanz der Güllefeststoffvergärung auf der Grundlage einer Befragung von Biogasanlagenbetreibern herausgearbeitet.

Die Untersuchung ist wie folgt aufgebaut: Im folgenden Kapitel 2 erfolgt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Güllefeststoffvergärung am Beispiel der Umstellung einer bislang ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen betriebenen Biogasanlage auf den Einsatz von Gülle und Güllefeststoffen. Anschließend erfolgt in Kapitel 3 die Analyse des Potenzials der Güllefeststoffvergärung zum Abbau von Nährstoffüberschüssen. In Kapitel 4 werden empirische Ergebnisse zur Akzeptanz von Güllefeststoffen als Gärsubstrat dargestellt, bevor die Studie in Kapitel 5 mit der Diskussion und einem Fazit abschließt.

2 Ökonomische Analyse der Gülle- und Güllefeststoffvergärung

2.1 Studiendesign

Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern exemplarisch für die Umstellung einer Beispiel-Biogasanlage auf NawaRo-Basis auf den Einsatz von Gülle- und Güllefeststoffen betrachtet. Den Berechnungen liegen die Betriebsdaten der Beispielanlage, ausgewählte KTBL-Daten zum Bau und Betrieb von Biogasanlagen sowie Werte, die im Wege der Durchführung von Experteninterviews ermittelt wurden, zugrunde. Die in die Erhebung einbezogenen Experten umfassen sowohl Biogasanlagenbetreiber und Komponentenhersteller als auch Unternehmen, die mit dem Bau und dem Betrieb von Biogasanlagen als Bau- oder Generalunternehmer befasst sind. Diese Gesprächspartner wurden mittels eines leitfadengestützten Telefoninterviews zu verschiedenen Sachverhalten befragt, die mit der Veränderung der Substratzusammensetzung und des Vergärungsprozesses bei der betrachteten Beispiel-Biogasanlage einhergehen können. Zur Erhellung veterinärmedizinischer, betriebswirtschaftlicher und rechtlicher Themengebiete wurden darüber hinaus die Officialberatung sowie spezialisierte private Berater in die Expertenbefragung eingebunden.

Beispielhaft betrachtet wurde eine bereits durch SCHMEHL et al. (2012; 24) ökobilanziell bewertete Biogasanlage in Südniedersachsen. Diese Anlage wurde im Dezember 2005 in Betrieb genommen; dementsprechend wird sie nach dem EEG 2004 vergütet. Es handelt sich um eine NawaRo-Anlage, die bislang keine Wirtschaftsdünger einsetzt, aber aufgrund ihrer Lage für den Bezug von Wirtschaftsdüngern insbesondere aus der durch intensive Nutztierhaltung geprägten Weser-Ems-Region im nordwestlichen Niedersachsen in Betracht kommt. Die installierte elektrische Leistung beträgt $2 \times 300 \text{ kW}_{\text{el}}$, wobei davon ausgegangen wird, dass die beiden Blockheizkraftwerke zwecks Optimierung der Vergütung als eigenständige Anlagen betrieben werden. Die jährlich erzeugte elektrische Energie beträgt 5.086 MWh, die Wärmeenergieproduktion 5.120 MWh. Weiterhin verfügt die Anlage über ein Reaktorvolumen von 4.400 m^3 im Hauptfermenter und im Nachgärer. Entsprechend den Einsatzstoffen, der Rationsgestaltung und den baulichen Gegebenheiten (Eintrags-, Rühr- und Pumpentechnik) beträgt die durchschnittliche Verweilzeit in der Anlage 134 Tage. Das angeschlossene Gärrestlager umfasst ein Volumen von insgesamt 4.500 m^3 . Die anfallende Wärme wird zur Trocknung von Getreide, Körnermais und Scheitholz verwendet. Die Anlage erhält

den Technologiebonus für die Trockenfermentation (TF-Bonus) nach EEG 2004 und setzt Maissilage (8.040 t, 67 Prozent), Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) und Zuckerrüben (je 1.800 t oder 15 Prozent) sowie Getreidekörner (360 t; drei Prozent) als Gärsubstrate ein.

Die wirtschaftlichen Berechnungen sind mit Hilfe einer Leistungs-Kostenrechnung (LKR) durchgeführt worden. Die LKR kann unter anderem zur Ermittlung des jährlichen Betriebserfolgs einer Biogasanlage durch die Ermittlung der Differenz zwischen den Leistungen und den Kosten des Anlagenbetriebs dienen. Dabei werden in die Erfolgsermittlung gegebenenfalls auch kalkulatorische Kosten, namentlich für eigene Produktionsfaktoren, mit einbezogen (8).

Mit Blick auf den Wirtschaftsdüngereinsatz in der Beispiel-Biogasanlage werden zwei Szenarien betrachtet: (1) der Einsatz von flüssiger Schweinegülle sowie (2) der Einsatz von mittels eines Dekaners (Dekanterzentrifuge) separierter Schweinegülle (Schweinegüllefeststoffe oder Schweinegülle Dekanter). Die zwei Szenarien sind so angelegt, dass die in der Ausgangssituation, in der nur nachwachsende Rohstoffe in den oben genannten Mengenanteilen eingesetzt werden, produzierten Mengen an Biogas, Strom und Wärme konstant gehalten werden. Die jeweils neu hinzukommenden Wirtschaftsdüngerkomponenten substituieren annahmegemäß ausschließlich die Fütterungskomponente Silomais, während die Einsatzmengen der übrigen Substrate unverändert bleiben. In beiden Szenarien wird der jeweilige Wirtschaftsdünger zu einem Anteil von 33 Prozent eingesetzt. Diese Menge orientiert sich am EEG 2009, das zur Aktivierung des Güllebonus verlangt, dass jederzeit mindestens 30 Masse-Prozente Wirtschaftsdünger in der Futtermittelration vorhanden sind. In der Praxis wird in der Regel aus Sicherheitsgründen ein gewisser Zuschlag realisiert, sodass die folgenden Berechnungen auf der Annahme basieren, dass 33 Prozent Wirtschaftsdünger eingesetzt werden. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die jeweiligen Wirtschaftsdünger aus 150 km Entfernung zur Biogasanlage transportiert werden müssen. Dabei wird angenommen, dass bei Inkaufnahme einer Zwischenfahrt von insgesamt 50 km Länge eine Beladung der Transportfahrzeuge für die Rückfahrt zur Verfügung steht. In den folgenden Berechnungen wird weiterhin unterstellt, dass auf der bestehenden Anlage aufgrund veränderter Bedingungen, beispielsweise der Novellierung der Düngeverordnung (DüV), die Mindestlagerzeit für Gärreste von sechs auf neun Monate erhöht werden muss, um den rechtlichen Anforderungen gerecht zu werden und die Gärreste zum pflanzenbaulich idealen Zeitpunkt auf den Bedarfsflächen ausbringen zu können.

2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

2.2.1 Notwendige Investitionen

Aufgrund der Umstellung der Anlage von einer reinen NawaRo-Vergärung auf den Einsatz von Schweinegülle oder Schweinegüllefeststoffen muss eine entsprechende Einfriedung (Umzäunung) geschaffen werden. Weiterhin müssen eine automatische Toreinfahrt und eine Waageeinrichtung installiert werden, um zum einen die Verschließbarkeit der Anlage praxistauglich gewährleisten und zum anderen die gesetzlichen Auflagen bezüglich der Dokumentation des Wirtschaftsdüngereinsatzes einhalten zu können. Ferner sind infrastrukturelle Veränderungen auf der Biogasanlage nötig. So müssen an den Fahrwegen Änderungen vorgenommen werden, um deren Desinfektionsfähigkeit sicherzustellen. Diese ist dann gegeben, wenn die Fahrbahn aus einer glatten Oberfläche (Teer, Beton oder Pflasterstein) besteht, auf die eine Desinfektionslösung aufgebracht werden kann.

Weiterhin entstehen Kosten für die Erstellung der Lagerstätten des jeweiligen Wirtschaftsdüngers. Im Szenario 1 muss eine Vorgrube zur Lagerung der Schweinegülle gebaut werden. Das Volumen der Grube sollte so ausgelegt sein, dass für mindestens zehn Tage Einsatzstoff zwischengelagert werden kann. Die für den Einsatz von Gülle erforderliche Technik, wie zum Beispiel Pumpe, Rührwerk und Eintragstechnik, muss ebenfalls neu installiert werden. Schließlich muss im Szenario 1 das Gärrestlager rechnerisch um 6.031 m³ vergrößert werden; dabei eingerechnet ist bereits die Sicherstellung der Lagerfähigkeit für mindestens neun Monate. Für die weiteren Berechnungen wurde der Neubau eines 6.500 m³ umfassenden Gärsubstratlagers unterstellt. Um die vorhandene Anlage auf den Einsatz von 33 Masse-Prozent Schweinegülle umzubauen, sind insgesamt Investitionen im Umfang von rund 482.180 Euro nötig (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ermittlung des Investitionsbedarfs

Bemessungsgrößen / Investitionen	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 1		Szenario 2	
		NawaRo 100 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle- feststoffe 33 %	
		in %	in t	in %	in t	in %	in t
Substrateinsatz							
Silomais		67	8.040	44	7.440	42	6.445
GPS		15	1.800	11	1.800	12	1.800
Zuckerrübe		15	1.800	11	1.800	12	1.800
Getreidekörner		3	360	2	360	2	360
Schweinegülle flüssig		0	0	33	5.619	0	0
Schweinegülle Dekanter		0	0	0	0	33	5.121
Summe Substrate	t/a		12.000		17.019		15.526
Summe Gärreste	t/a		8.990		14.041		12.694
vorh. Hauptfermentervolumen	m ³		2.400		2.400		2.400
vorh. Nachgärervolumen	m ³		2.000		2.000		2.000
vorh. Gärsubstratlager	m ³		4.500		4.500		4.500
zusätzl. benötigtes Gärsubstrat- vol. (rechnerisch) praktisch	m ³	(2.242)	2.500	(6.031)	6.500	(5.021)	5.500
Einfriedung	lfd m			400		400	
20,00 €/lfd m	€ gesamt				8.000		8.000
Toreinfahrt (automatisch)					20.000		20.000
18.000 € - 20.000 €	pauschal						
Waageeinrichtung					4.000		4.000
4.000 € - 8.000 €	pauschal						
Infrastruktur auf der Anlage	m ²			300		300	
55,00 - 65,00 €/m ²	€				16.500		16.500
Planungs-, Gutachten- und Genehmigungskosten							
15.000 € - 40.000 €	pauschal		15.000		25.000		25.000
Lager feste Wirtschaftsdünger	t bzw. m ³					140	
Betonplatte	150 €/m ²					7 m*12 m	12.600
Betonwand (2,5 m Höhe) m	250 €/lfd m						6.500
Bedachung u. Seitenverkleidung	150 €/m ²					120	18.000
Lager flüssige Wirtschaftsdünger	m ³			154			
Tief- oder Hochbehälter	120 €/m ³			300 m ³	36.000		
Rührwerk 8.000 €/Stück	€				8.000		
Abtankplatz	160 €/m ²				7.680		
Leitung und Elektrik	pauschal				10.000		
Gärstrecke							
Nassvermahlung integriert	pauschal €						
zusätzliches Rührwerk	€						
modifizierte Eintragstechnik	pauschal €				10.000		
zusätzliche Heizleitung	pauschal €				5.000		
Gärsubstratlager							
Lagerraum	€/m ³	73	182.500	44	286.000	44	242.000
Rührwerk 8.000 €/Stück	€		16.000		16.000		16.000
Zuwegung/Entnahmestation							
Rohrleitungen/Technik/Elektrik	pauschal €		30.000		30.000		30.000
Investitionssumme	€		243.500		482.180		398.600

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Soll die NawaRo-Biogasanlage (Ausgangssituation) auf den Einsatz von 33 Masse-Prozenten Schweinegüllefeststoffe umgestellt werden (Szenario 2), muss ebenfalls eine entsprechende Lagerstätte geschaffen werden. Im betrachteten Fall wurde eine in der Praxis übliche Variante in Form einer auf der Giebelseite offenen Lagerhalle (7 m x 12 m) mit einer säurebeständigen Betonbodenplatte und 2,5 m hohen Stahlbetonwänden auf drei Seiten vorgesehen. Dadurch wird ein Lagervolumen für mindestens zehn Tage sichergestellt. Die Dachkonstruktion ist in Leichtbauweise ausgeführt und erlaubt ein Abkippen der angelieferten Substrate unter dem Dach. Die vorhandene Eintragstechnik muss nicht verändert werden; auch der vorhandene Hauptvergärer sowie der Nachgärer sind für das neu anstehende Volumen noch ausreichend (hydraulische Verweilzeit 103 Tage). Dagegen muss das Gärrestlager rechnerisch um 5.021 m³ vergrößert werden; dabei eingerechnet ist bereits die Sicherstellung der Lagerfähigkeit für mindestens neun Monate. Für die weiteren Berechnungen wurde der Neubau eines 5.500 m³ umfassenden Gärsubstratlagers unterstellt. Insgesamt erfordert das Szenario 2 ein Investitionsvolumen von 398.600 Euro.

Wird auf die Umstellung der Anlage auf den Einsatz von Schweinegülle oder Schweinegüllefeststoffen verzichtet, muss nur die Lagerkapazität für Gärreste von sechs auf neun Monate erweitert werden. Dies geht mit Investitionen in Höhe von 243.500 Euro einher. Dies sind 238.680 Euro weniger als im Szenario 1 und 155.100 Euro weniger als im Szenario 2.

2.2.2 Leistungs-Kostenrechnung

Um eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit des Wirtschaftsdüngereinsatzes machen zu können, werden in einer Leistungs-Kostenrechnung (LKR) die beiden betrachteten Szenarien (Einsatz von 33 Masse-Prozenten Schweinegülle oder Schweinegüllefeststoffe) der Ausgangssituation gegenübergestellt (Tabelle 2). Die Leistungen verändern sich durch die Möglichkeit der Inanspruchnahme des Güllebonus nach EEG 2009, den Wegfall des TF-Bonus in Szenario 1 sowie den möglichen Verkauf von überschüssigem Gärrest. Die Wertigkeit des Gärrests wurde über die Nährstoffzusammensetzung (NPK) je m³ und unter Ansatz aktueller Mineraldüngerpreise (0,67 €/kg N; 0,71 €/kg P₂O₅; 0,60 €/kg K₂O) errechnet. Da in der Praxis dieser Wert jedoch aus verschiedenen Gründen (unter anderem arbeitstechnische Gründe oder Kalkulierbarkeit der Verfügbarkeit) regelmäßig nicht erzielt werden kann (18), sind nur 50 Prozent des über die Nährstoffzusammensetzung ermittelten Wertes der überschüssigen Gärreste als Leistung angesetzt worden.

Tabelle 2: Leistungs-Kostenrechnung zum Einsatz verschiedener Wirtschaftsdüngerarten

Leistungs-/Kostenart		Preis/ Einheit	Ausgangssituation NawaRo 100 %		Szenario 1 Schweinegülle flüssig 33 %		Szenario 2 Schweinegülle- feststoffe 33 %	
Gesamteinvestitionssumme (€)			243.500		482.180		398.600	
Abschreibungen								
Technik/Maschinen	8 Jahre	€	31.000	3.875	76.000	9.500	43.000	5.375
bauliche Anlagen	20 Jahre	€	197.500	9.875	381.180	19.059	330.600	16.530
jährliche Abschreibung			13.750		28.559		21.905	
Leistungen								
EEG-Einspeisevergütung		€/kW _{el}	0,2073		0,2128		0,2328	
Stromerlöse		€/a		1.054.162		1.082.142		1.183.862
Preis für Wärmeverkauf		€/kW _{th}	0,02		0,02		0,02	
Wärmeerlöse		€/a		n.r.		n.r.		n.r.
Gärsubstraterlöse	€/m ³	€/a		n.r.	4,41	27.414	6,89	68.236
Summe Leistungen			1.054.162		1.109.556		1.252.098	
Veränderung Leistungen			0		55.394		197.936	
Variable Kosten			Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€
Silomais	34	€/t FM	8.040	n.r.	-600	-20.400	-1.595	-54.230
GPS	35	€/t FM	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Zuckerrübe	30	€/t FM	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Getreidekörner	140	€/t FM	360	n.r.	360	n.r.	360	n.r.
Schweinegülle flüssig	0	€/m ³	0	0	5.619	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	12	€/t	0	0	0	0	5.121	61.452
Ausbringung								
Gärsubstrat	4,14	€/m ³		n.r.	5.051	20.910	3.704	15.334
Betriebsstoffe (Strom, Diesel, etc.)		€/a		n.r.		14.132		17.607
Wartung/Reparaturen	1-1,5 %	€/a		2.285		6.858		5.604
Laboranalysen (1x/Monat)		€/a		n.r.		1.500		1.500
Sonstiges		€/a		n.r.		1.500		1.500
Veränderung variable Kosten			2.285		24.499		48.767	
Fixe Kosten								
Abschreibungen		€/a		13.750		28.559		21.905
Zinskosten Anlagekapital	2 %	€/a		5.916		11.716		9.685
Planungs- und Genehmigungskosten		€/a		750		1.250		1.250
Zinskosten Planung u. Genehmigung	2 %	€/a		364		607		607
Versicherungen	0,5 %	€/a		1.218		2.411		1.993
Netto-Arbeitszeitbedarf		AKh/a			183		183	
Lohnkosten		€/a		n.r.		3.285		3.285
Gemeinkosten		€/a		n.r.		n.r.		n.r.
Veränderung fixe Kosten			21.998		47.828		38.725	
kalkulatorische Gewinnbeitragsveränderung			-24.283		-16.933		+110.444	

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Die jährlichen Kosten setzen sich aus variablen und fixen Kosten zusammen. Die in Abschnitt 2.2.1 ermittelten Investitionssummen werden in der LKR in Form jährlicher Abschreibungen als fixe Kosten berücksichtigt. Dabei werden Technik und Maschinen über acht und die baulichen Anlagen über 20 Jahre abgeschrieben. In der Ausgangssituation erhöhen sich die variablen Kosten durch Wartung und Reparatur des größeren Gärsubstratlagers um 2.285 Euro pro Jahr. In den beiden Szenarien reduzieren sich die Substratkosten durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger. Im Szenario 1 werden 600 t Silomais weniger eingesetzt. Dies bedeutet eine Ersparnis von 20.400 Euro, da angenommen wird, dass die abgebenden Betriebe die Transportkosten des Wirtschaftsdüngers tragen und die Schweinegülle der Biogasanlage daher kostenlos zur Verfügung steht. Durch den geänderten Betriebsablauf erhöhen sich jedoch insgesamt die jährlichen variablen Kosten um 24.499 Euro im Vergleich zum Status quo.

Im Szenario 2 reduziert sich der Einsatz von Silomais um 1.595 t; dies bedeutet eine Verminderung der Substratkosten um 54.230 Euro. Dem stehen jedoch die Beschaffungskosten der Schweinegüllefeststoffe in Höhe von 61.452 Euro gegenüber. Bei dieser Kalkulation wird unterstellt, dass die abgebenden Betriebe die Kosten der Gülleseparation übernehmen, während der Biogasanlagenbetreiber die Transportkosten in Höhe von zwölf Euro pro Tonne trägt. Aufgrund der geänderten Betriebsabläufe und Einsatzstoffe erhöhen sich insgesamt die jährlichen variablen Kosten im Szenario 2 um 48.767 Euro im Vergleich zum Status Quo.

Insgesamt liegt der kalkulatorische Gewinnbeitrag im Vergleich zum Status quo bei - 24.283 Euro pro Jahr in der durch eine Erweiterung des Gärrestlagers gekennzeichneten Ausgangssituation, bei - 16.933 Euro pro Jahr bei Einsatz von Schweinegülle (Szenario 1) und bei + 110.444 Euro pro Jahr bei Einsatz von Schweinegüllefeststoffen (Szenario 2). Der Einsatz von Schweinegüllefeststoffen erweist sich somit unter den getroffenen Annahmen als die wirtschaftlich vorteilhafteste Variante für die betrachtete Beispiel-Biogasanlage.

3 Potenzialanalyse

Wie der Nährstoffbericht des Wirtschaftsjahres 2013/2014 der LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2015; 21) deutlich macht, ist der Nordwesten Niedersachsens durch erhebliche Nährstoffüberschüsse gekennzeichnet, während in südlichen und östlichen Landesteilen noch beachtliche Kapazitäten zur Aufnahme von Nährstoffen aus Wirtschaftsdünger vorhanden sind. Vor dem Hintergrund soll im Folgenden analysiert werden, inwieweit der Export von Nährstoffen in Form von Gülle und Güllefeststoffen mit anschließender Vergärung in NawaRo-Biogasanlagen in Ackerbauregionen einen Beitrag zur Entschärfung des Nährstoffüberschussproblems in Nordwestniedersachsen leisten kann. Der Fokus liegt hierbei auf den Phosphorüberschüssen, die als problematischer zu bewerten sind als die Stickstoffüberschüsse. Bei Betrachtung aller Landkreise in Niedersachsen, die einen Phosphorüberschuss aufweisen (Cloppenburg, Emsland, Grafschaft Bentheim, Oldenburg LK, Osnabrück, Vechta), ergibt sich ein Gesamtüberschuss von rund 32.990 t Phosphor pro Jahr.

Landkreise, in denen freie Kapazitäten zur Aufnahme von Nährstoffen zur Verfügung stehen, sind vor allem in den Ackerbauregionen im südlichen und östlichen Niedersachsen zu finden (Braunschweig, Celle, Gifhorn, Goslar, Göttingen, Hameln-Pyrmont, Harburg, Heidekreis, Helmstedt, Hildesheim, Holzminden, Lüchow-Dannenberg, Lüneburg, Northeim, Peine, Region Hannover, Schaumburg, Uelzen, Wolfenbüttel, Wolfsburg). Entsprechend eines Auszuges aus der Biogasinventur Niedersachsens werden in diesen Landkreisen 149 NawaRo-Biogasanlagen mit einer Gesamtanlagenleistung von 93.871 kWel betrieben. Im Folgenden soll für die in der Wirtschaftlichkeitsberechnung betrachteten Szenarien abgeleitet werden, welches Phosphorreduktionspotenzial bestünde, wenn anstelle von NawaRo auch Gülle oder Güllefeststoffe vergoren würden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ergebnisse der Potenzialanalyse

	Einsatz Wirtschaftsdünger	Einsparung		Äquivalent für Mineraldünger			Rest P-Überschuss ausgew. LK
		Substratmenge	landw. Fläche	Stickstoff	Phosphor	Kalium	
	t/a	t/a	ha/a	N t/a	P ₂ O ₅ t/a	K ₂ O t/a	t/a
Szenario 1: Schweinegülle 33 %	879.102	93.871	1.877	4.396	2.813	3.253	30.177 (- 9 %)
Szenario 2: Schweinegüllefeststoffe 33 %	801.189	249.540	4.991	7.852	12.499	3.125	20.491 (- 38 %)

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Würden die betrachteten 149 Biogasanlagen neben NawaRo auch 33 Prozent Wirtschaftsdünger einsetzen, würde dies einen jährlichen Bedarf von 879.102 t Schweinegülle im Szenario 1 oder 801.789 t Schweinegüllefeststoffen im Szenario 2 bedeuten. Durch die Verbringung der genannten Wirtschaftsdüngermengen würden 2.813 t P₂O₅ pro Jahr (Szenario 1) oder 12.499 t P₂O₅ pro Jahr (Szenario 2) aus Nährstoffüberschuss- in Ackerbauregionen exportiert und der Nährstoffüberschuss (32.990 t pro Jahr) um rund neun Prozent auf 30.177 t P₂O₅ pro Jahr oder um 38 Prozent auf 20.491 t P₂O₅ pro Jahr vermindert. Unter der Annahme, dass Mais substituiert wird, ergäbe sich zudem eine Verminderung der Maisanbaufläche um 1.877 oder 4.991 Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF). Deutlich wird somit, dass vor allem die Verbringung von Feststoffen aus der Gülleseparation einen bedeutenden Beitrag zum überregionalen Nährstoffausgleich leisten kann.

4 Bedeutung von Güllefeststoffen als Gärsubstrat

4.1 Studiendesign und Stichprobenbeschreibung

Im Frühjahr 2014 erfolgte eine deutschlandweite quantitative Datenerhebung bei Biogasanlagenbetreibern zum Einsatz von Feststoffen aus der Gülleseparation. Die standardisierte Online-Umfrage wurde mit Hilfe des EFS Surway Global Park durchgeführt. Insgesamt beantworteten 110 Probanden den Fragebogen (annähernd vollständig). Es wurden Fragen mit fünfstufigen Likert-Skalen (1 = stimme voll und ganz zu bis 5 = stimme überhaupt nicht zu), Rangierungsfragen (1 = weniger wichtig bis 9 = sehr wichtig) sowie Ja-Nein-Fragen gestellt.

Rund 32 Prozent der Teilnehmer an der Befragung kamen aus Niedersachsen, etwa 23 Prozent aus Bayern sowie je etwa elf Prozent aus Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg. Die restlichen Teilnehmer stammten aus Hessen, Schleswig-Holstein, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern. Bundesländer, in denen die Biogasproduktion von großer Bedeutung ist (14), waren somit auch in der Stichprobe stark vertreten. Das durchschnittliche Alter der Teilnehmer lag zum Zeitpunkt der Befragung bei etwa 38 Jahren; der jüngste Teilnehmer war 20, der älteste 65 Jahre alt. Die Teilnehmer an der Befragung weisen im Mittel einen hohen Bildungsstand auf. Rund 34 Prozent der Befragten haben einen Universitäts- oder Fachhochschulabschluss; der Anteil landwirtschaftlicher Meister beträgt rund 25 Prozent.

65 Prozent der befragten Biogasanlagenbetreiber bewirtschaften ihre Anlagen alleine, 33 Prozent in Kooperationen. Die übrigen Teilnehmer machten dazu keine genaueren Angaben. Der größte Teil der Biogasanlagen (65 Prozent) wird nach dem EEG 2009 vergütet, 22 Prozent nach dem EEG 2004, zehn Prozent nach dem EEG 2012 und nur drei Prozent nach dem EEG 2000. Die Anlagenleistung beträgt nach Angaben der

Befragungsteilnehmer durchschnittlich 494 kW_{el} (n = 100). In der Grundgesamtheit der Biogasanlagen in Deutschland lag im Jahr 2014 die durchschnittliche Anlagenleistung nach Angaben des FACHVERBANDES BIOGAS E.V. (14) bei 485 kW_{el}. Die Stichprobe weist somit eine gegenüber dem Bundesdurchschnitt geringfügig höhere mittlere Anlagenleistung auf. Als Gärsubstrate wird von Mais bis Landschaftspflegematerial ein breiter Mix an Substraten eingesetzt. Mais wird mit Abstand am häufigsten vergoren, während Gärsubstrate wie Grün- und Rasenschnitt nur selten eingesetzt werden. Auch dies lässt sich durch Daten der Grundgesamtheit der Biogasanlagen in der Bundesrepublik Deutschland bestätigen; Mais ist demnach das mit Abstand am häufigsten eingesetzte Gärsubstrat aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe (13).

4.2 Akzeptanz von Güllefeststoffen durch Biogasanlagenbetreiber

Der aus der Beobachtung der betrieblichen Praxis gewonnene Eindruck, dass Güllefeststoffe als Gärsubstrat bislang nahezu keine Relevanz besitzen, konnte durch die Umfrage bestätigt werden. Während rund 82 Prozent der Befragten den Einsatz von Güllefeststoffen grundsätzlich für sinnvoll halten, ist die Bereitschaft, Feststoffe aus der Gülleseparation auch tatsächlich einzusetzen, vergleichsweise gering; bei lediglich 18 Prozent der Probanden liegen konkrete Planungen zur Güllefeststoffvergärung vor.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, warum viele Anlagenbetreiber die Güllefeststoffvergärung für sinnvoll halten. Zum einen zeigt sich, dass den befragten Biogasanlagenbetreibern das Problem der regionalen Nährstoffüberschüsse bekannt ist. Ihnen ist bewusst, dass die anfallenden Wirtschaftsdüngermengen nicht ausschließlich zu Düngezwecken in ihrer Ursprungsregion genutzt werden sollten und alternative Verwertungsmöglichkeiten für Wirtschaftsdünger gesucht werden (Zustimmung 53 Prozent). Zum anderen hat die Vergangenheit gezeigt, dass sich die Bedingungen der Biogaserzeugung stetig ändern und die Anlagenbetreiber somit gezwungen sind, den Anlagenbetrieb zu optimieren und vor allem die Substratkosten zu reduzieren. Anlagenbetreiber müssen daher über den Einsatz alternativer günstigerer Gärsubstrate zum Mais nachdenken. Welche Alternativen dabei von Bedeutung sind, wird aus Tabelle 4 ersichtlich. Die Befragungsteilnehmer wurden gebeten, neun Substratalternativen zum Energiemais nach der durch sie wahrgenommenen aktuellen Bedeutung zu rangieren. Es zeigt sich, dass zum Zeitpunkt der Befragung Güllefeststoffe nur eine geringe Bedeutung hatten. Sie rangieren mit zum Teil deutlichem Abstand hinter der Ganzpflanzensilage aus Getreide (GPS), Zuckerrüben, Grassilage, Geflügelmist und Rindergülle auf dem sechsten Platz. Während die Ganzpflanzensilage ein Substrat ist, das in nahezu allen Regionen geerntet werden kann, sind die Möglichkeiten zum Anbau von Zuckerrüben aufgrund ihrer Standortansprüche regional sehr unterschiedlich. Immerhin wird den Güllefeststoffen eine größere Bedeutung als den alternativen Gärsubstraten der zweiten Generation wie Durchwachsene Silphie und Schnittgut von Grünanlagen beigemessen.

Tabelle 4: Bedeutung ausgewählter alternativer Gärsubstrate zum Mais

Substrate	Mittelwert	Standard-abweichung	Rang
GPS	6,57	2,31	1
Zuckerrüben	6,33	2,67	2
Grassilage	5,77	2,07	3
Geflügelmist	5,47	2,49	4
Rindergülle	5,47	2,34	4
Feststoffe	5,16	2,03	6
Durchwachsene Silphie	3,83	2,13	7
Schweinegülle	3,49	2,26	8
Schnittgut	2,91	2,27	9

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

In einem weiteren Schritt wurden die Probanden gebeten, ausgewählte Eigenschaften von Güllefeststoffen nach ihrer Bedeutung zu rangieren, wobei der wichtigsten Eigenschaft der Wert neun und dem unwichtigsten Merkmal der Wert eins zugeordnet werden sollte. Das Ergebnis ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Kosten, die Gasausbeute, der geringe Flächenbedarf sowie die Verfügbarkeit sind die vier wichtigsten Eigenschaften. Die hohe Bedeutung der Kosten ist nicht verwunderlich, da die Substratkosten in der Regel 40 bis 60 Prozent der Gesamtkosten einer Biogasanlage ausmachen (10; 25; 9). Der besondere Stellenwert der Kosten für die Akzeptanz von Güllefeststoffen als Gärsubstrat wird auch daran deutlich, dass von den 66 Prozent der Probanden, bei denen bisher keine Planungen zum Einsatz von Güllefeststoffen in der Biogasanlage vorliegen, 74 Prozent Güllefeststoffe einsetzen würden, wenn deren Einsatz wirtschaftlich wäre.

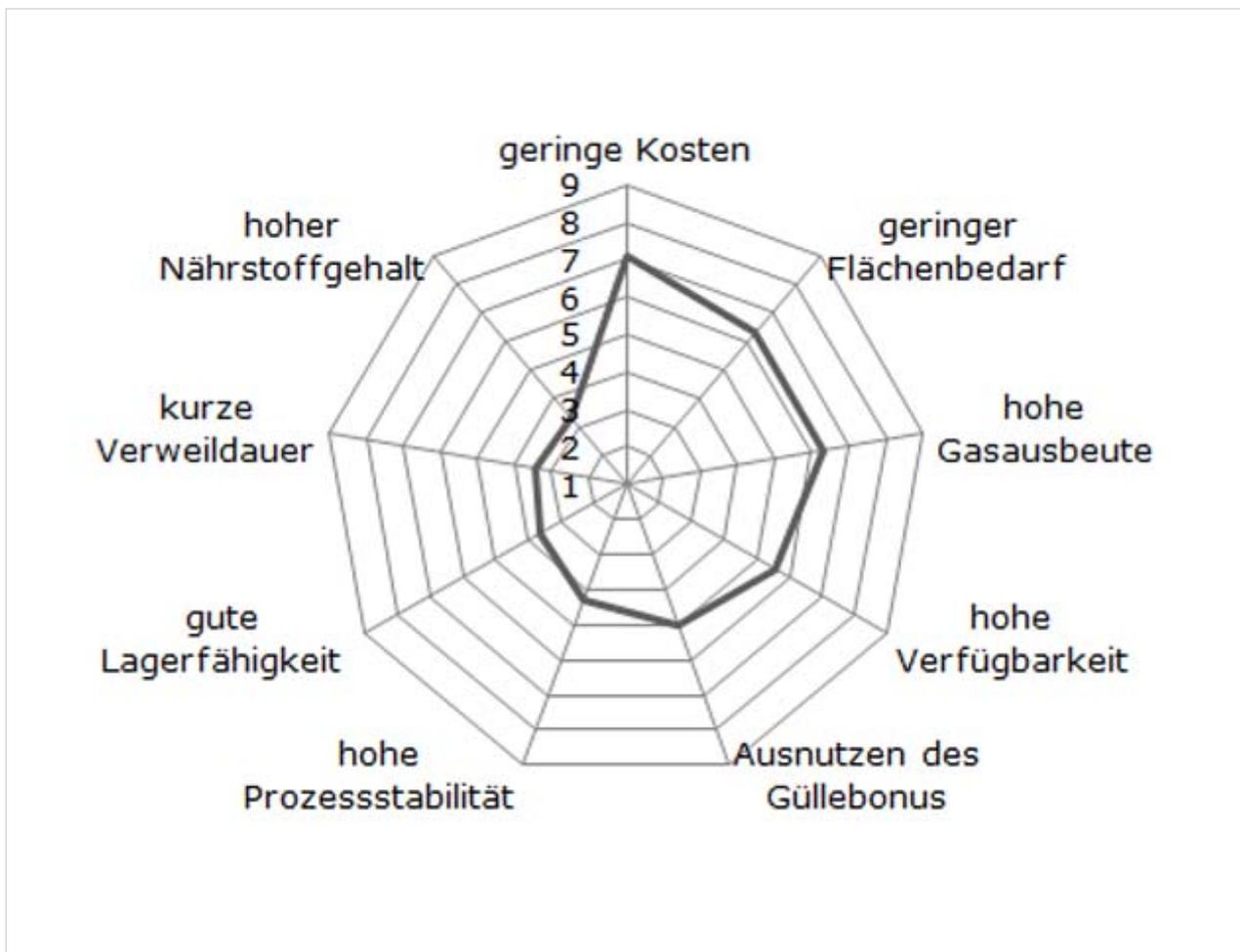


Abbildung 1: Bedeutung der Eigenschaften von Güllefeststoffen.

Quelle: Eigene Darstellung.

5 Diskussion und Fazit

Der Einsatz von Wirtschaftsdünger als Gärsubstrat in Biogasanlagen außerhalb von Nährstoffüberschussregionen ist ein in jüngerer Zeit verstärkt diskutierter Ansatz, um einen überregionalen Nährstoffausgleich herbeizuführen (1; 18). Doch während dieser Ansatz in der Forschung schon verschiedentlich diskutiert wurde (19; 15), ist die Umsetzung in der Praxis nur selten zu beobachten. Als Grund wird vor allem die fehlende Wirtschaftlichkeit genannt. Da die Substratkosten 40 bis 60 Prozent der jährlichen Gesamtkosten einer Biogasanlage ausmachen (10; 25), ist dies nicht verwunderlich. Doch die Ergebnisse der durchgeführten Leistungs-Kostenrechnung konnten zeigen, dass der Einsatz von Schweinegüllefeststoffen vorteilhaft sein kann und die fehlende Wirtschaftlichkeit kein grundsätzliches Ausschlusskriterium für den Einsatz von Feststoffen aus der Gülleseparation sein sollte.

Durch die Separierung der Schweinegülle, die der wesentliche Verursacher der Nährstoffüberschüsse unter anderem im nordwestlichen Niedersachsen ist, wird eine Nährstoffanreicherung in den Güllefeststoffen erreicht und die Transportwürdigkeit verbessert. Zugleich könnte der Einsatz von Schweinegüllefeststoffen – wie die Ergebnisse der Potenzialanalyse gezeigt haben – einen wichtigen Beitrag zur Entschärfung der Nährstoffproblematik in der Weser-Ems-Region leisten. Wie die Ergebnisse der Akzeptanzanalyse verdeutlichen, stößt dieses Verfahren jedoch trotz seiner ökonomischen und ökologischen Vorzüge nur auf eine geringe Resonanz auf Seiten der Biogasanlagenbetreiber. Damit das beschriebene Potenzial für den überregionalen Nährstoffausgleich genutzt werden kann, müssen daher Anreize für Biogasanlagenbetreiber gesetzt und eventuell bestehende Informationsdefizite abgebaut werden.

Die durchgeführten ökonomischen Analysen basieren auf der Annahme, dass die betrachtete Biogasanlage nach der Umstellung auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger weitere 20 Jahre unter den derzeitigen Bedingungen betrieben werden kann. Da die betrachtete Beispielanlage bereits seit 2005 Biogas einspeist, sind die Einspeisevergütungen nach dem EEG jedoch nicht mehr so lange garantiert. Unter Risikoaspekten müssten die für die Umstellung auf den Wirtschaftsdüngereinsatz zu tätigen Investitionen daher möglicherweise eher über die verbleibende Zeit mit einer garantierten Einspeisevergütung als – wie in dieser Studie geschehen – über die steuerlich akzeptierte Nutzungsdauer abgeschrieben werden. Dies hätte einen wesentlichen Einfluss auf die wirtschaftliche Attraktivität des Wirtschaftsdüngereinsatzes. Soll diese gesteigert werden, müsste von Seiten der Politik über eine Verlängerung des Zeitraums für eine garantierte Einspeisevergütung für NawaRo-Anlagen, die sich zum Einsatz von Wirtschaftsdünger entschließen, nachgedacht werden, um das Risiko nachträglicher Investitionen zur Vorbereitung einer Biogasanlage auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger zu mindern.

Neben einer finanziellen Unterstützung in Form einer über einen längeren Zeitraum garantierten Einspeisevergütung ist auch die Bereitstellung von Informationen zur Güllefeststoffvergärung in Biogasanlagen eine wichtige Maßnahme. Dadurch könnte es gelingen, sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Vorteile des Einsatzes von Güllefeststoffen unter den Biogasanlagenbetreibern bekannter zu machen. Außer den Biogasanlagenbetreibern sollten auch der Bevölkerung Informationen zur Verfügung gestellt werden, da die Biogaserzeugung nach wie vor öffentlicher Kritik ausgesetzt ist (33) und oftmals auf Ablehnung bei der örtlichen Bevölkerung stößt (16).

Der Einsatz von Güllefeststoffen in Biogasanlagen setzt die Gülleseparation auf viehhaltenden Betrieben voraus. Aufgrund geringerer Investitions- und Verfahrenskosten ist die Gülleseparation mittels Pressschneckenseparatoren derzeit die gängige Lösung. Pressschneckenseparatoren erreichen jedoch im Vergleich zu Dekanterzentrifugen nur vergleichsweise geringe Abscheidegrade, speziell bei Phosphor. Der überregionale Nährstoffausgleich erfordert jedoch hohe Nährstoff- und Energiedichten, um die Transportwürdigkeit der Güllefeststoffe zu steigern. Seitens des Gesetzgebers sollte daher darüber nachgedacht werden, Investitionen in Separations- und Transporttechniken, die den Einsatz von Güllefeststoffen in Biogasanlagen in Ackerbauregionen begünstigen, zu fördern.

Des Weiteren gilt es, Kooperationen von Wirtschaftsdünger abgebenden und aufnehmenden Betrieben zu fördern. Da der richtigen Ausgestaltung von Lieferverträgen zwischen den Parteien dabei eine wichtige Rolle zukommt (23), tut sich hier ein wichtiges Feld für die betriebliche Beratung auf. Der Gesetzgeber wiederum könnte prüfen, ob es sinnvoll ist, die Regelung des § 51a Bewertungsgesetz (BewG) auf den überregionalen Nährstoffausgleich auszudehnen, um langfristige Beziehungen zwischen Wirtschaftsdünger abgebenden Betrieben und Biogasanlagen in Ackerbauregionen zu fördern.

Bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse sind einige Limitationen der Untersuchung zu beachten. So ist zu berücksichtigen, dass die Wirtschaftlichkeitsberechnung nur für eine einzige Beispiel-Biogasanlage durchgeführt wurde. Die Ergebnisse können somit keinen Anspruch auf Repräsentativität erheben und sind nur bedingt verallgemeinerungsfähig. In weiterführenden Studien sollte daher die ökonomische Betrachtung auf weitere unterschiedliche Anlagentypen und andere Regionen ausgeweitet werden. Auch müssten Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, um die Abhängigkeit der Ergebnisse von bestimmten Planungsannahmen, etwa die Möglichkeit der Aktivierung des Güllebonus, zu prüfen. Die Aussagekraft der Akzeptanzanalyse ist ebenfalls aufgrund der fehlenden Repräsentativität der Studie limitiert. Vertiefende Analysen sollten eine genauere Untersuchung der Rolle von Politikmaßnahmen sowie eine Vergrößerung des Stichprobenumfangs zum Ziel haben.

Abschließend ist festzuhalten, dass der Export von Güllefeststoffen aus Nährstoffüberschussregionen in Nährstoffbedarfsregionen und der anschließende Einsatz der Feststoffe in Biogasanlagen ein unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten prinzipiell vorteilhaftes Verfahren ist. Um es jedoch tatsächlich in größerem Umfang zum Einsatz kommen zu lassen, bedarf es noch erheblicher Anstrengungen speziell von Seiten des Gesetzgebers, um die Akzeptanz des Verfahrens sowohl unter den Biogasanlagenbetreibern als auch in der Bevölkerung zu steigern.

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft ist einer der Hauptverursacher für die in Teilen Deutschlands zu beobachtende Verschlechterung der Grundwasserqualitäten. Die zunehmende Konzentration der Viehhaltung auf Gunststandorten und der damit einhergehende Anstieg der Viehdichten führen in den betroffenen Regionen zu Ungleichgewichten zwischen den anfallenden Nährstoffmengen aus Wirtschaftsdüngern einerseits und der zur Ausbringung der Nährstoffe zur Verfügung stehenden landwirtschaftlich genutzten Fläche andererseits. Der überregionale Transport von Güllefeststoffen aus Nährstoffüberschussregionen in Nährstoffbedarfsregionen und die anschließende Vergärung der Feststoffe in Biogasanlagen ist ein derzeit in Deutschland verstärkt diskutiertes Konzept, um dieses Problem zu verringern. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieses Beitrags, die Wirtschaftlichkeit, das Potenzial und die Akzeptanz dieses Konzepts näher zu beleuchten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kovergärung von nachwachsenden Rohstoffen und Güllefeststoffen wirtschaftliche Vorteile haben kann. Die überregionale Nutzung von Güllefeststoffen kann zudem einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung regionaler Nährstoffüberschüsse leisten. Trotz Kenntnis dieser Vorteile verzichten viele Biogasanlagenbetreiber darauf, Güllefeststoffe als Gärsubstrat einzusetzen. Aus den Ergebnissen lassen sich vielfältige Schlussfolgerungen ziehen, um das Potenzial zum Abbau regionaler Nährstoffüberschüsse durch Umsetzung des genannten Konzepts besser als bislang zu nutzen.

Summary

Fermentation of manure solids in biogas plants: A contribution towards reducing regional nutrient surpluses?

Agriculture is identified as one of the major causes of the observed deterioration in groundwater quality. The increasing concentration of livestock production in advantageous regions, coupled with increasing livestock densities, lead to an imbalance between regional amounts of nutrients and the available land. The supraregional transport of manure solids from nutrient surplus areas to regions characterized by nutrient deficits and their subsequent fermentation in biogas plants is currently a much debated concept in Germany as a way of alleviating this problem. It is thus the object of this article to expand on the economic efficiency, potential, and acceptance of this approach. The study's results show that the conversion of a plant that only ferments renewable resources into a plant for the co-fermentation of renewable resources and slurry solids can be profitable. Furthermore, the supraregional use of slurry solid in biogas plants can considerably contribute to a reduction of regional nutrient surpluses. Although many biogas plant operators see manure solids as an interesting fermentation substrate, only few actually use these solids. These findings provide manifold starting points for measures for harnessing potential to reduce regional nutrient surpluses to better effect.

Résumé

Décomposition des matières solides du lisier dans les installations de biogaz : une contribution à la réduction des excédents régionaux en substances nutritives ?

L'agriculture constitue une des raisons principales pour la détérioration de la qualité des eaux phréatiques que l'on observe dans certaines parties de l'Allemagne. La concentration de l'élevage dans des régions favorisées et, par conséquent, une plus forte densité du bétail entraînent un déséquilibre entre la quantité des substances nutritives d'une part et la surface agricole disponible d'autre part. Pour réduire ce problème on discute davantage en Allemagne sur le concept d'un transport supraregional de matières solides du lisier des régions à excédent en substances nutritives vers des régions déficitaires et la fermentation suivante des substances solides dans les exploitations de biogaz. Le but de l'étude est de mieux cerner la rentabilité, le potentiel et l'acceptabilité de ce concept. Les résultats montrent que la co-fermentation de matières premières renouvelables et de matières solides du lisier peut être profitable. Par ailleurs, l'utilisation supraregionale de matières solides du lisier peut largement contribuer à une réduction des excédents régionaux en substances nutritives. Malgré ces avantages beaucoup d'opérateurs d'exploitations de biogaz renoncent à l'utilisation des matières solides comme substrat de fermentation. Les résultats obtenus permettent de tirer des conclusions multiples sur une meilleure utilisation du concept en question dans le but

LITERATUR

1. ALBERS, D., 2010: Möglichkeiten und Nutzen der Gülleseparation in Milchviehbetrieben. URL: ► <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/tier/nav/1092/article/14252.html> (Abrufdatum: 14. August 2012).
2. ARLE, J.; BLONDZIK, K.; CLAUSSEN, U.; DUFFEK, A.; GRIMM, S.; HILLIGES, F.; HOFFMANN, A.; LEUJAK, W.; MOHAUPT, V.; NAUMANN, S.; PIRNTKE, U.; RICHTER, S.; SCHILLING, P.; SCHROETER-KERMANI, C.; ULLRICH, A.; WELLMITZ, J.; WERNER, S.; WOLTER, R., 2013: Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 2 – Gewässergüte. Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.), Dessau-Roßlau. URL: ► <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wasserwirtschaft-in-deutschland-teil-2> (Abrufdatum: 10. August 2015).
3. BÄURLE, H.; TAMÁSY, C., 2012: Regionale Konzentrationen der Nutztierhaltung in Deutschland; ISPA Mitteilungsheft 79, Vechta; URL: ► http://www.uni-vechta.de/fileadmin/user_upload/ISPA/Publikationen/ISPA_Mitteilungen/ISPA_Mitteilungsheft_79.pdf (Abrufdatum: 18. Dezember 2015).
4. BARUNKE, A., 2002: Die Stickstoffproblematik in der Landwirtschaft: Erfahrungen mit Stickstoffminderungspolitikern. Kiel.
5. BATTERMANN, H. W.; THEUVSEN, L., 2010: Wassermanagement für die Feldberegnung unter dem Einfluss der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Einzelbetriebliche Auswirkungen alternativer umweltpolitischer Instrumente. In: Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht, 33. Jg., Heft 2: 139-164.
6. BMU; BMELV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), 2012: Nitratbericht 2012. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.), Bonn. URL: ► http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Nitratbericht-2012.pdf?__blob=publicationFile (Abrufdatum: 10. Juli 2015).
7. BRAUCKMANN, H.-J.; HERING J.; BROLL G. (2014): Nährstoffgehalte und Biogaserträge separierter Gülle. In: GUENTHER-LÜBBERS, W.; KRÖGER R.; THEUVSEN L. (Hrsg.): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärreste – Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Göttingen: 43-56.
8. DABBERT, S.; BRAUN, J., 2012: Landwirtschaftliche Betriebslehre, Grundwissen Bachelor. 3. Auflage. Stuttgart.
9. DAHLHOFF, A., 2011: Wirtschaftliche Bedeutung der Effizienz für die Biogasanlage. Vortrag im Rahmen der NaRoTec-Fachtagung vom 11. November 2011 im Haus Düsse (NRW). URL: ► <http://www.duesse.de/znr/pdfs/2011/2011-11-10-biogas-01.pdf> (Abrufdatum: 23. Januar 2015).
10. DÖHLER, H.; HARTMANN, S.; ECKL, H., 2007: Kosten der Energiepflanzenbereitstellung. In: Energiepflanzen im Aufwind. Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz. Bornimer Agrartechnische Berichte 61, Potsdam-Bornim. URL: ► <https://opus4.kobv.de/opus4-slbp/frontdoor/index/index/docId/4088> (Abrufdatum: 25. Juli 2015).

11. Europäische Kommission, 2012: Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Ein Blueprint für den Schutz der europäischen Wasserressourcen. URL: ► <http://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp7/coop/2013-Com-Blueprint-Schutz-europaeischer-Wasserressourcen-de.pdf> (Abrufdatum: 17. März 2015).
12. Europäische Kommission, 2013: Bericht der Kommission an den Rat und das europäische Parlament über die Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen auf der Grundlage der Berichte der Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2008-2011. URL: ► <https://www.rottenburger-gruppe.de/export/download.php?id=228> (Abrufdatum: 17. März 2015).
13. FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), 2014: Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen. Infografik. URL: ► <https://mediathek.fnr.de/massebezogener-substrateinsatz-in-biogasanlagen.html> (Abrufdatum: 16. März 2015).
14. FVB (Fachverband Biogas e.V.), 2014: Branchenzahlenprognose für die Jahre 2014 und 2015. URL: ► [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_PM-32-14/\\$file/14-11-07_Biogas%20Branchenzahlen_Prognose_2014-2015.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_PM-32-14/$file/14-11-07_Biogas%20Branchenzahlen_Prognose_2014-2015.pdf) (Abrufdatum: 18. Dezember 2015).
15. GUENTHER-LÜBBERS, W.; DIEKMANN, A.; THEUVSEN, L., 2014: Rechtliche und ökonomische Aspekte des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen – Eine Szenarioanalyse. In: GUENTHER-LÜBBERS, W.; KRÖGER, R.; THEUVSEN, L. (Hrsg.): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärreste – Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Göttingen: 81-104.
16. HENKE, S., 2014: Social Life Cycle Assessment: Multikriterielle Bewertung erneuerbarer Energien. Göttingen.
17. IGLU (Ingenieursgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt), 2011: Handlungsvorschläge zur Novellierung des EEG 2012 aus Sicht des Grundwasserschutzes. Langfassung. URL: ► <https://www.yumpu.com/de/document/view/3642612/handlungsvorschlaege-zur-novellierung-des-eeegs-2012-aus-intwa> (Abrufdatum: 18. Dezember 2015).
18. KOWALEWSKY, H. H., 2009: Güllefeststoffe in Biogasanlagen einsetzen – Überprüfung der Separierung und Vergärung. Unveröffentlichter Bericht.
19. KRÖGER, R.; L. THEUVSEN, 2014: Akzeptanz und Potentiale der Vergärung von Feststoffen aus der Gülleseparation in Biogasanlagen. In: GUENTHER-LÜBBERS, W.; KRÖGER, R.; THEUVSEN, L. (Hrsg.): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärreste – Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Göttingen: 57-80.
20. KRÖGER, R.; THEUVSEN, L.; KONERDING, J. R., 2014: Güllefeststoffe als Gärsubstrat für Biogasanlagen – Ergebnisse einer empirischen Erhebung unter Biogasanlagenbetreibern. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 92, Heft 3. URL: ► <http://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/58> (Abrufdatum: 10. August 2015).
21. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2015: Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2013/2014. URL: ► <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/74/nav/1787/article/26964.html> (Abrufdatum: 31. März 2015).
22. LASSEN, B.; ISERMEYER, F.; FRIEDRICH, C., 2008: Milchproduktion im Übergang – eine Analyse von regionalen Potenzialen und Gestaltungsspielräumen. Arbeitsbericht aus der vTI - Agrarökonomie, Braunschweig. URL: ► <http://hdl.handle.net/10419/39428> (Abrufdatum: 24. Juni 2013).
23. REISE, C., 2012: Nachhaltige Nutzung von Erneuerbaren Energien – Unternehmerisches Innovationsverhalten und Vertragsgestaltung. Dissertation an der Georg-August-Universität Göttingen.

24. SCHMEHL, M.; HESSE, M.; GELDERMANN, J., 2012: Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse. Research Paper Nr. 11, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen. URL: ► <http://www.uni-goettingen.de/de/document/download/6ab9107e51a217634eea5665ade21c4a.pdf/%C3%96kobilanzielle%20Bewertung%20von%20Biogasanlagen%20Schmehl%20et%20al.pdf> (Abrufdatum: 10. August 2015).
25. SCHÜSSELER, P., 2008: Zielsetzung des Fachgesprächs "Messen, Steuern, Regeln bei der Biogaserzeugung". In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche – Messen, Steuern, Regeln bei der Biogaserzeugung. Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Hannover; Gülzow, Band 27: 8-16. URL: ► http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/Downloads/pdf_328-gf_band_27_biogaserzeugung_bf.pdf (Abrufdatum: 13. Mai 2014).
26. SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen), 2015: Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem. Sondergutachten. URL: ► http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_HD.pdf?__blob=publicationFile (Abrufdatum: 17. März 2015).
27. THIERING, J.; BAHRS, E., 2011: Biogasproduktion in Deutschland – Sollte die energetische Nutzung von Wirtschaftsdüngern explizit gefördert werden? In: German Journal of Agricultural Economics, 60. Jg., Nummer 4: 259-275. URL: ► http://www.gjae-online.de/news/pdfstamps/freeoutputs/GJAE-645_2011.pdf (Abrufdatum: 11. Mai 2014).
28. WEGENER, J.; LÜCKE, W.; HEINZEMANN, J., 2006: Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen. In: Landtechnik 5/2006: 268-269. URL: ► <https://www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/2006-5-268-269/1922> (Abrufdatum: 10. August 2015).
29. WEINGARTEN, P., 1997: Agri-environmental Policy in Germany – Soil and Water Conservation. Discussion Paper No. 4, Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa, Halle (Saale). URL: ► <http://www.iamo.de/fileadmin/documents/dp04.pdf> (Abrufdatum: 25. Juli 2015).
30. WRRL – Wasserrahmenrichtlinie, 2000: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. URL: ► http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF (Abrufdatum: 03. August 2015).
31. WÜSTHOLZ, R. F., 2014: Ökologische Erfordernisse und ökonomische Auswirkungen ordnungsrechtlicher Veränderungen bezüglich des Nährstoffeinsatzes in der Landwirtschaft im Kontext der europäischen Nitrat- und Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation an der Universität Hohenheim.
32. ZENTHER, G.; SÜSSENBACHER, E., 2012: Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen – Evaluierung hinsichtlich Klimaschutzrelevanz. Perspektiven für Umwelt und Gesellschaft – Umweltbundesamt, Report REP-0377. Wien. URL: ► <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0377.pdf> (Abrufdatum: 01. April 2015).
33. ZSCHACHE, U.; VON CRAMON-TAUBADEL, S.; THEUVSEN, L., 2010: Öffentliche Deutungen im Bioenergiediskurs. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 88, Heft 3: 502-512. URL: ► http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/BerichteLandwirtschaft/2010_Heft3_Band88.pdf?__blob=publicationFile (Abrufdatum: 20. Oktober 2014).

Autorenanschrift

Dr. Rhena Kröger
Dr. Welf Guenther-Lübbbers
Prof. Dr. Ludwig Theuvsen
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung (DARE)
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

E-Mail: ► theuvsen@uni-goettingen.de.