



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



UNIVERSITÄT
OSNABRÜCK

Georg-August-Universität Göttingen
Universität Osnabrück

Abschlussbericht

Nachhaltige Biomassenutzung in Biogasanlagen auf der
Grundlage der Wirtschaftsdüngerpotenziale in Niedersachsen
„Bauernhof Niedersachsen“

Erstellt von:

Welf Guenther-Lübbers, Matthias Garbs, Hans-Jörg Brauckmann, Jutta Geldermann, Gabriele Broll und Ludwig Theuvsen

Mit Unterstützung von:

Antonius Diekmann, Karsten Schacht, Johanna Hering

im Januar 2015

Projektgeber:

Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung
Referat (105) für nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie
Calenberger Str. 2
30169 Hannover

Projektnehmer:

Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agrarökonomie und RURALE Entwicklung
Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

Georg-August-Universität Göttingen
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Professur für Produktion und Logistik
Platz der Göttinger Sieben 3
37073 Göttingen

Universität Osnabrück
Institut für Geographie / Forschungsstelle Nachhaltige Biogaserzeugung
Seminarstr. 19a/b
49074 Osnabrück

Autoren:

Prof. Dr. Ludwig Theuvsen, Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness

Dipl.-Ing. agr. Welf Guenther-Lübbers, Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness

Prof. Dr. Jutta Geldermann, Professur für Produktion und Logistik

M. Sc. Matthias Garbs, Professur für Produktion und Logistik

Prof. Dr. Gabriele Broll, Institut für Geographie

Dr. Hans-Jörg Brauckmann, Forschungsstelle Nachhaltige Biogaserzeugung

Göttingen/Osnabrück, Januar 2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Kurz gefasst.....	1
1 Einleitung	4
2 Ausgangssituation in Niedersachsen.....	4
2.1 Nährstoffsituation - Wirtschaftsdüngeranfall und Nährstoffbedarf.....	6
2.2 Wirtschaftsdüngerpotentiale	8
2.3 Status Quo Biogasanlagen	10
3 Rahmenbedingungen zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern.....	13
3.1 Baurechtliche Anforderungen.....	14
3.2 Veterinärrechtliche Anforderungen	15
3.3 Rechtliche Aspekte des Gülletransports	17
3.4 Bauliche Maßnahmen an bestehenden Anlagen	18
3.5 Logistische Betrachtung	21
3.5.1 Transportmittel	22
3.5.2 Finanzielle Auswirkungen des Transports	23
3.6 Ökologische Betrachtung	25
4 Szenariobetrachtung	31
4.1 Szenarien 1a-c (Schweinegülle flüssig).....	32
4.1.1 Bauliche Maßnahmen.....	33
4.1.2 Transporte.....	36
4.1.3 Ökonomische Bewertung	41
4.1.4 Ökologische Bewertung	43
4.2 Szenarien 2a-c (Schweinegülle Dekanter).....	52
4.2.1 Bauliche Maßnahmen.....	53
4.2.2 Transporte.....	55
4.2.3 Ökonomische Bewertung	58
4.2.4 Ökologische Bewertung	60
4.3 Szenario 3 (Schweinegülle Dekanter 100%)	68
4.3.1 Bauliche Maßnahmen.....	69
4.3.2 Transporte.....	71
4.3.3 Ökonomische Bewertung	72

4.3.4	Ökologische Bewertung	74
4.4	Szenario 4a-c (Geflügelmist).....	76
4.4.1	Bauliche Maßnahmen.....	77
4.4.2	Transporte.....	80
4.4.3	Ökonomische Bewertung	83
4.4.4	Ökologische Bewertung	85
5	Betrachtung als niedersächsisches Gesamtkonzept.....	93
	Literaturverzeichnis.....	100
	Anhang: Projektskizze.....	103
	Projekthintergrund und -ziel.....	103
	Projektpartner und Arbeitspakete.....	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tierbestände von Rindern, Schweinen und Geflügel 2012 in Niedersachsen	6
Abbildung 2: Phosphatsaldo für Wirtschaftsdünger und Gärreste 2012.....	7
Abbildung 3: Anzahl, Entwicklung und installierte Leistung der Biogasanlagen in Niedersachsen 2009-2011	13
Abbildung 4: Einordnung tierischer Nebenprodukte	16
Abbildung 5: Ökonomische Faktoren zum Einsatz von Wirtschaftsdünger in BGA.....	23
Abbildung 6: Stoffströme im Referenzsystem	26
Abbildung 7: Stoffströme in den Szenarien	26
Abbildung 8: Ökologische Faktoren bei Einsatz von Wirtschaftsdünger in der BGA	27
Abbildung 9: Treibhausgasemissionen pro kWh	51
Abbildung 10: Emissionen bezüglich Versauerung pro kWh.....	51
Abbildung 11: Treibhausgasemissionen pro kWh	67
Abbildung 12: Emissionen bezüglich Versauerung pro kWh.....	68
Abbildung 13: Treibhausgasemissionen pro kWh	92
Abbildung 14: Emissionen bezüglich Versauerung pro kWh.....	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Niedersächsische Landkreise nach landwirtschaftlichen Regionen.....	5
Tabelle 2: Phosphatsalden für LK mit Nährstoffüberschuss bezogen auf Wirtschaftsdünger und Gärreste	8
Tabelle 3: Wirtschaftsdüngeräquivalente zur Verbringung von Phosphat.....	10
Tabelle 4: Biogasanlagenanzahl in der Ackerbauregion nach Einsatzstoffen 2012	11
Tabelle 5: Szenarien zum Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen der Ackerbauregion	12
Tabelle 6: Emissionswerte für die Produktion von Mineraldünger	28
Tabelle 7: Emissionswerte durch die Ausbringung verschiedener Düngemittel	28
Tabelle 8: Emissionswerte für die Produktion von Energiepflanzen.....	28
Tabelle 9: Erträge von Energiepflanzen pro Hektar.....	30
Tabelle 10: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall in den Szenarien 1a-c	33
Tabelle 11: Investitionsrechnung Szenarien 1a-c.....	35
Tabelle 12: Ausgewählte Entfernungen (km) zwischen Veredelungs- und Ackerbauregion ..	36
Tabelle 13: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 1a.....	38
Tabelle 14: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 1b.....	39
Tabelle 15: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 1c.....	40
Tabelle 16: Leistungs-Kostenrechnung Szenarien 1a-c	42
Tabelle 17: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 1a im Vergleich zum Status Quo.....	45
Tabelle 18: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 1b im Vergleich zum Status Quo	47
Tabelle 19: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 1c im Vergleich zum Szenario 1b	49
Tabelle 20: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall in den Szenarien 2a-c	52
Tabelle 21: Investitionsrechnung Szenarien 2a-c.....	54
Tabelle 22: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 2a.....	56
Tabelle 23: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 2b	57
Tabelle 24: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 2c	58
Tabelle 25: Leistungs-Kostenrechnung Szenarien 2a-c	60
Tabelle 26: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 2a im Vergleich zum Status Quo.....	62
Tabelle 27: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 2b im Vergleich zum Status Quo	64
Tabelle 28: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 2c im Vergleich zum Szenario 2b	66
Tabelle 29: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall im Szenario 3.....	69

Tabelle 30: Investitionsrechnung Szenario 3	70
Tabelle 31: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 3	72
Tabelle 32: Leistungs-Kostenrechnung Szenario 3.....	73
Tabelle 33: Emissionsdifferenz pro Jahr im Vergleich zum Status Quo	76
Tabelle 34: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall in den Szenarien 4a-c	77
Tabelle 35: Investitionsrechnung Szenarien 4a-c.....	79
Tabelle 36: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 4a	81
Tabelle 37: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 4b	82
Tabelle 38: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 4c	83
Tabelle 39: Leistungs-Kostenrechnung Szenarien 4a-c	84
Tabelle 40: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 4a im Vergleich zum Status Quo.....	87
Tabelle 41: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 4b im Vergleich zum Status Quo	89
Tabelle 42: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 4c im Vergleich zum Szenario 4b	91
Tabelle 43: Kurzüberblick Investitionssumme und kalkulatorischer Gewinnbeitrag Szenarien 1-4.....	94
Tabelle 44: Wirtschaftsdüngeräquivalente und Rest P-Überschüsse Szenarien 1-4.....	95
Tabelle 45: Emissionseinsparungen pro Jahr	96
Tabelle 46: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des CO ₂ -Äquivalents in den Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a	96
Tabelle 47: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des SO ₂ -Äquivalents in den Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a.....	97
Tabelle 48: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des CO ₂ -Äquivalents in den Szenarien 1c, 2c und 4c	97
Tabelle 49: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des SO ₂ -Äquivalents in den Szenarien 1c, 2c und 4c.....	97
Tabelle 50: CO ₂ -Äquivalent-Emissionseinsparungen im Szenario 2a verschiedener Landkreiskombinationen.....	99

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs.	Absatz
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
d	day (Tag)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FM	Frischmasse
GMP+	Good Manufacturing Practice
GWh	Gigawattstunden
GPS	Ganzpflanzensilage
HTK	Hühnertrockenkot
Kap.	Kapitel
kW _{el}	Kilowatt elektrisch
kWh	Kilowattstunde
LF	landwirtschaftliche Nutzfläche
LF WD	Landwirtschaftliche Nutzfläche zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger
lfd	laufende
LKR	Leistungs- Kostenrechnung
Lkw	Lastkraftwagen
m ³	Kubikmeter
Masse-%	Masseprozent
Mio.	Millionen
MKS	Maul- und Klauenseuche
MW _{el}	Megawatt elektrisch
MWh	Megawattstunde
NawaRo	nachwachsende Rohstoffe
Nm ³	Normkubikmeter
NPK	Stickstoff, Phosphor, Kalium
u.a.	unter anderem
t	Tonne
TF	Trockenfermentation

WD Wirtschaftsdünger

Kurz gefasst

Ausgangssituation (vgl. Kap. 2)

Das Bundesland Niedersachsen weist nach Angaben des aktuellen Nährstoffberichts in Bezug auf Wirtschaftsdünger in den Veredelungsregionen einen deutlichen Nährstoffüberhang von bis zu 54 kg P₂O₅/ha LF aus tierischen Ausscheidungen und Gärresten auf; es müssen daher jährlich ca. 33.000 t Phosphat aus diesen Regionen exportiert werden. Andererseits liegen in den Ackerbauregionen im südlichen und östlichen Niedersachsen Phosphatdefizite vor, die bislang mit mineralischen Düngemitteln ausgeglichen werden. Um das Potential für die Verbringung von phosphorhaltigen Wirtschaftsdüngern in diese Ackerbauregionen abschätzen zu können, werden die absoluten jährlichen Phosphatsalden aus dem Wirtschaftsdüngeranfall aller Tierarten und den Gärresten sowie der Phosphatbedarf für die Landkreise mit Nährstoffüberschuss errechnet. Nach einer vorhergehenden energetischen Nutzung der überschüssigen Wirtschaftsdünger in den bereits vorhandenen Biogasanlagen der Ackerbauregionen sollen die Nährstoffe den angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen zugeführt werden.

Wirtschaftsdüngerpotentiale (vgl. Kap. 2)

Aus der skizzierten Ausgangssituation ergibt sich ein großes theoretisches Potential zum überregionalen Nährstoffausgleich innerhalb Niedersachsens. Um die Verbringung der ca. 33.000 t Phosphat pro Jahr aus den Überschusskreisen wirtschaftlich realisieren zu können, sollten die Wirtschaftsdünger nach der Reihenfolge der Transportwürdigkeit bzw. Nährstoffgehalte verbracht werden. Nachdem theoretisch der gesamte Geflügelmist (HTK und Hähnchenmist) exportiert wurde, bleiben als Restüberschuss ca. 13.500 t Phosphat in den Überschussregionen übrig. Aufgrund der hohen Phosphatabscheidung mit der Dekantertechnik könnte die zu transportierende Phosphatmenge im Jahr mit nur 0,8 Mio. t Schweinegüllefeststoff (Dekanter) realisiert werden. Damit reduziert sich der Transportaufwand auf ein Fünftel gegenüber der Rohgülle. Allerdings müsste dazu fast die komplette in der Region anfallende Schweinegülle separiert werden.

Biogasanlagenpotentiale (vgl. Kap. 2)

In den Ackerbauregionen Niedersachsens produzieren knapp 500 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 272 MW_{el} Strom und Wärme. Davon setzen 149 Biogasanlagen ausschließlich Anbaubiomasse ein. Die übrigen Biogasanlagen (337 Anlagen) haben bereits zu einem bestimmten Anteil Wirtschaftsdünger in den Substratmix integriert. Vor diesem Hintergrund wird in mehreren Szenarien der erstmalige Einsatz verschiedener Wirtschaftsdüngerformen in Höhe von 33 % am Substratmix für die 149 NawaRo-Biogasanlagen modelliert. Darüber hinaus wird in weiteren Szenarien für die 337 Biogasanlagen, die bereits Wirtschaftsdünger einsetzen, angenommen, dass der Anteil der Wirtschaftsdünger am Substratmix von 33 % auf 50 % erhöht wird. In allen Szenarien wird davon ausgegangen, dass die erzeugte jährliche Energiemenge jeder einzelnen Anlage gleich bleibt und der Biomasseanteile am Gesamtsubstratmix zurückgeht.

Veränderte Rahmenbedingungen für die aufnehmende Biogasanlage (vgl. Kap. 3)

Biogasanlagen, welche erstmalig Gülle als Substrat einsetzen möchten, haben zahlreiche zusätzliche Gesetze und Verordnungen aus den Bereichen Bau-, Veterinär- und Transportrecht zu beachten. Darüber hinaus müssen die baulichen, organisatorischen und prozesstechnischen Voraussetzungen geschaffen werden, um einen stapelbaren oder flüssigen Wirtschaftsdünger in den bereits vorhandenen Vergärungsprozess integrieren zu können. Die Belieferung von Biogasanlagen in den Ackerbauregionen mit Wirtschaftsdünger von tierhaltenden Betrieben aus den Veredelungsregionen verursacht einerseits einen hohen logistischen Aufwand, da der relativ transportunwürdige Wirtschaftsdünger über große Distanzen transportiert werden muss. Die mit dem erhöhten Einsatz an Wirtschaftsdünger einhergehende Einsparung an Energiepflanzen hat aber andererseits den Vorteil, die Flächenabhängigkeit der Anlage zu reduzieren und Ackerflächen wieder für den Anbau alternativer landwirtschaftlicher Kulturpflanzen freizugeben.

Wirtschaftliche Analyse aus Sicht der aufnehmenden Biogasanlage (vgl. Kap. 4 + 5)

Die Umstellung einer Biogasanlage auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger hat weitreichende betriebswirtschaftliche Auswirkungen. Nachfolgend sind die einzelnen in der Untersuchung berücksichtigten Szenarien zusammenfassend dargestellt. Die Analysen haben gezeigt, dass unter den getroffenen Annahmen der Einsatz von an Nährstoffen höher konzentrierter Wirtschaftsdüngern gepaart mit der Einsatzreduktion der Biomasse, die je Flächeneinheit den geringsten Methanertrag aufweist, betriebswirtschaftlich am sinnvollsten ist (Szenarien 2b + 4b).

Wirtschaftlichkeit der Szenarien 1 bis 4

Szenario	Szenario	Ausgangssituation 100 % NawaRo	WD-Einsatz 33 % (100 %)*	WD-Einsatz 33 %	WD-Einsatz Erhöhung von 33 % auf 50 % (c)
	in Euro		(a)	(b)	
1 Schweinegülle	Investitionssumme	243.500	482.180	482.180	272.000
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	-17.229	-12.976	-2.741
2 Schweinegülle Dekanter	Investitionssumme	243.500	398.600	398.600	261.000
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	110.439	121.408	13.238
3 Schweinegülle Dekanter	Investitionssumme	243.500	1.440.000		
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	96.342		
4 Geflügelmist	Investitionssumme	243.500	403.600	390.600	42.250
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	177.834	207.078	50.732

* gilt nur für Szenario 3

Ökologische Betrachtung (vgl. Kap.4 + 5)

Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern aus den niedersächsischen Überschussregionen in Biogasanlagen der Ackerbauregion kann unter den getroffenen Annahmen zur Minderung der CO₂- und der SO₂-Emissionen der Landwirtschaft und der Biogaserzeugung beitragen. Werden die vorhandenen 149 Biogasanlagen der Ackerbauregion, die bislang noch keinen Wirtschaftsdünger einsetzen, zukünftig mit 33 Masse-% des jeweils unten stehenden Wirtschaftsdüngers betrieben, können niedersachsenweit die entsprechenden Emissionen um die abgebildeten Werte (kg/Jahr) reduziert werden.

Jährliches Einsparungspotential ganz Niedersachsens an CO₂- und SO₂-Äquivalenten

Szenario	Szenario	WD-Einsatz 33 % (100 %)* (a)	WD-Einsatz Erhöhung von 33 % auf 50 % (c)	Theoretisches Gesamt- sparpotential (a) + (c)
	in kg/Jahr			
1 Schweinegülle	CO ₂ -Äquivalente	86.369.923	146.841.245	233.211.168
	SO ₂ -Äquivalente	782.707	1.299.009	2.081.716
2 Schweinegülle Dekanter	CO ₂ -Äquivalente	129.543.082	241.717.365	371.260.447
	SO ₂ -Äquivalente	825.286	1.116.864	1.942.150
3 Schweinegülle Dekanter	CO ₂ -Äquivalente	918.881.136		918.881.136
	SO ₂ -Äquivalente	5.579.759		5.579.759
4 Geflügelmist	CO ₂ -Äquivalente	201.559.281	228.510.130	430.069.411
	SO ₂ -Äquivalente	7.826.247	8.874.576	16.700.823

* gilt nur für Szenario 3

Addiert man die Potentiale der Biogasanlagen hinzu, die den Wirtschaftsdüngereinsatz von theoretisch 33 auf 50 Masse-% erhöhen, steigen die Einsparungen noch einmal deutlich auf die in der oben stehenden Tabelle angegebenen Werte an. Die Emissionseinsparungen durch die Integration des Wirtschaftsdüngers in die Biogasanlagen in den Ackerbauregionen werden vor allem durch eine dann ganzjährige gasdichte Lagerung und die merkliche Einsparung an Mineraldünger erreicht. Die durch den nötigen Transport über teilweise weite Strecken (auch >150 km) anfallenden CO₂-Emissionen fallen mit ca. 0,1 % bis 7 % (je nach Szenario) an den netto eingesparten THG-Emissionen kaum ins Gewicht.

1 Einleitung

Das Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten hat in der jüngeren Vergangenheit verstärkte Aufmerksamkeit gefunden. Ein Grund dafür ist sicherlich die zunehmende räumliche Konzentration der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, die in viehdichten Regionen zu erheblichen Nährstoffüberschüssen führt. Dies bewirkt wachsende Schwierigkeiten der tierhaltenden Betriebe bei der Einhaltung der nach Düngeverordnung zulässigen Ausbringungsmengen. Die Situation ist durch den massiven Ausbau der Biogasproduktion im vergangenen Jahrzehnt verschärft worden. Speziell die Einführung des Güllebonus durch das EEG 2009 hat viele tierhaltende Betriebe dazu veranlasst, in die Biogasproduktion einzusteigen. Durch den vermehrten Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion stiegen die Futtermittel- und damit die Nährstoffimporte in die Regionen mit intensiver Viehhaltung. Darüber hinaus sanken durch den Bau von Biogasanlagen die wirtschaftlichen Anreize zum Export von eigentlich transportwürdigen Wirtschaftsdüngern, etwa Geflügelmist. Die Nährstoffsituation hat sich daher in vielen Regionen weiter verschärft. Gegenwärtig zeichnen sich zudem erhebliche Veränderungen im Bereich des Landwirtschaftsrechts ab. Nach Auffassung der EU-Kommission verstößt die deutsche Düngeverordnung in mehrfacher Hinsicht gegen geltendes europäisches Recht, in diesem Fall die Nitratrichtlinie. Die Kommission eröffnete daher im Juli 2014 mit dem Versand einer Stellungnahme die zweite Stufe des Vertragsverletzungsverfahrens. Die zwingend notwendig erscheinende Novellierung der Düngeverordnung wird daher mit großer Wahrscheinlichkeit verschiedene der durch die Bund-Länder-Arbeitsgruppe im Zuge der Evaluierung dieser Verordnung formulierten Fragestellungen und Empfehlungen aufgreifen, so etwa die Einbeziehung von Gärresten aus Biogasanlagen in die Ausbringungsobergrenzen für Stickstoff (WÜSTHOLZ, 2014).

Diese auftretenden Nährstoffüberhänge in Form von Wirtschaftsdüngern werden daher in Zukunft nach einem überregionalen Nährstoffausgleich durch Verteilung in Bedarfsregionen verlangen. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es vor diesem Hintergrund, die Potenziale und Vorteile einer umfassenderen Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen vornehmlich in Ackerbauregionen aufzuzeigen. Hierbei stehen ökonomische und stoffliche Aspekte in den abgebenden und den aufnehmenden Regionen im Mittelpunkt. Des Weiteren werden technisch-organisatorische Aspekte, vor allem Fragen der Transportlogistik, und die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit des Gesamtprozesses analysiert. Niedersachsen wird dabei gleichsam als ein großer Bauernhof betrachtet, auf dessen Flächen der erforderliche Nährstoffausgleich herbeigeführt wird.

2 Ausgangssituation in Niedersachsen

Das Land Niedersachsen lässt sich anhand der Agrarstruktur in vier Regionen gliedern (vgl. Abbildungen 1 und 2, Tabelle 1). In der Marsch und der nördlichen Geest konzentriert sich die Milchwirtschaft. Entgegen dem bundesweiten Trend der Abnahme der Milchviehbestände, wachsen diese in den meisten Kreisen der niedersächsischen Milchviehregion in den letzten Jahrzehnten stetig (NIER et al., 2013). Die Veredelungsregion, in der vorwiegend Schweine und Geflügel gehalten werden, umfasst die südlichen Kreise des ehemaligen Regierungsbe-

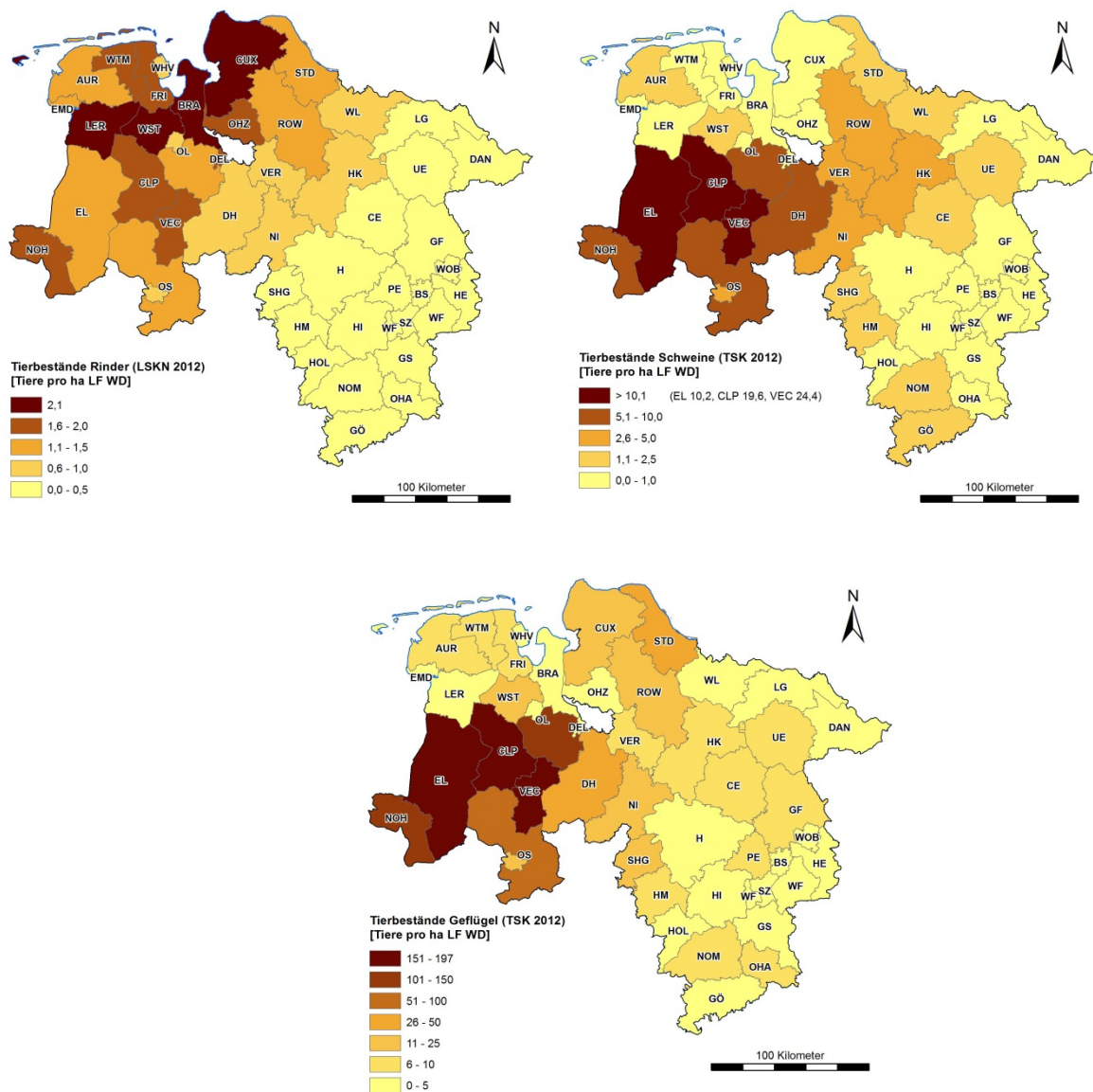
zirkes Weser-Ems und den Landkreis Diepholz. Im Osten und Südosten des Landes befindet sich die Ackerbauregion, in der je nach Standortbedingungen Kartoffel- bzw. Getreide- und Zuckerrübenanbau dominieren. Besonders deutlich wird diese Einteilung bei der Betrachtung der Tierdichten bezogen auf die verfügbare Fläche für die Aufbringung von Wirtschaftsdüngern, Gärresten und sonstigen organischen Düngemitteln (LF WD), die im Wirtschaftsdüngerbericht 2013 (LWK NIEDERSACHSEN, 2013) berechnet wurde. Die LF WD gibt wieder, dass nicht alle landwirtschaftlich genutzten Flächen für die Aufbringung von Wirtschaftsdüngern, Gärresten oder Klärschlamm geeignet sind. Solche Flächen sind z.B. extensives Grünland oder Obst- und Gemüseanbauflächen sowie Flächen, die aufgrund von Auflagen des Agrar- und Umweltprogramms nicht organisch gedüngt werden dürfen (LWK NIEDERSACHSEN, 2013).

Tabelle 1: Niedersächsische Landkreise nach landwirtschaftlichen Regionen

Milchviehregion	Veredelungsregion	Mischregion	Ackerbauregion
Ammerland	Cloppenburg	Nienburg	Braunschweig
Aurich	Diepholz	Rotenburg	Celle
Cuxhaven	Emsland	Verden	Gifhorn
Friesland	Grafschaft Bentheim		Goslar
Leer	Oldenburg		Göttingen
Osterholz	Osnabrück		Hameln
Stade	Vechta		Hannover
Wesermarsch			Harburg
Wittmund			Heidekreis
			Helmstedt
			Hildesheim
			Holz Minden
			Lüchow-Dannenberg
			Lüneburg
			Northeim
			Osterode
			Peine
			Salzgitter
			Schaumburg
			Uelzen
			Wolfenbüttel

Quelle: Eigene Darstellung nach KOMPETENZZENTRUM 3N, unveröffentlicht

Abbildung 1: Tierbestände von Rindern, Schweinen und Geflügel 2012 in Niedersachsen



Quelle: LWK NIEDERSACHSEN (2013), je Hektar verfügbarer Fläche für die Aufbringung von Wirtschaftsdüngern, Gärresten und sonstigen organischen Düngemitteln.

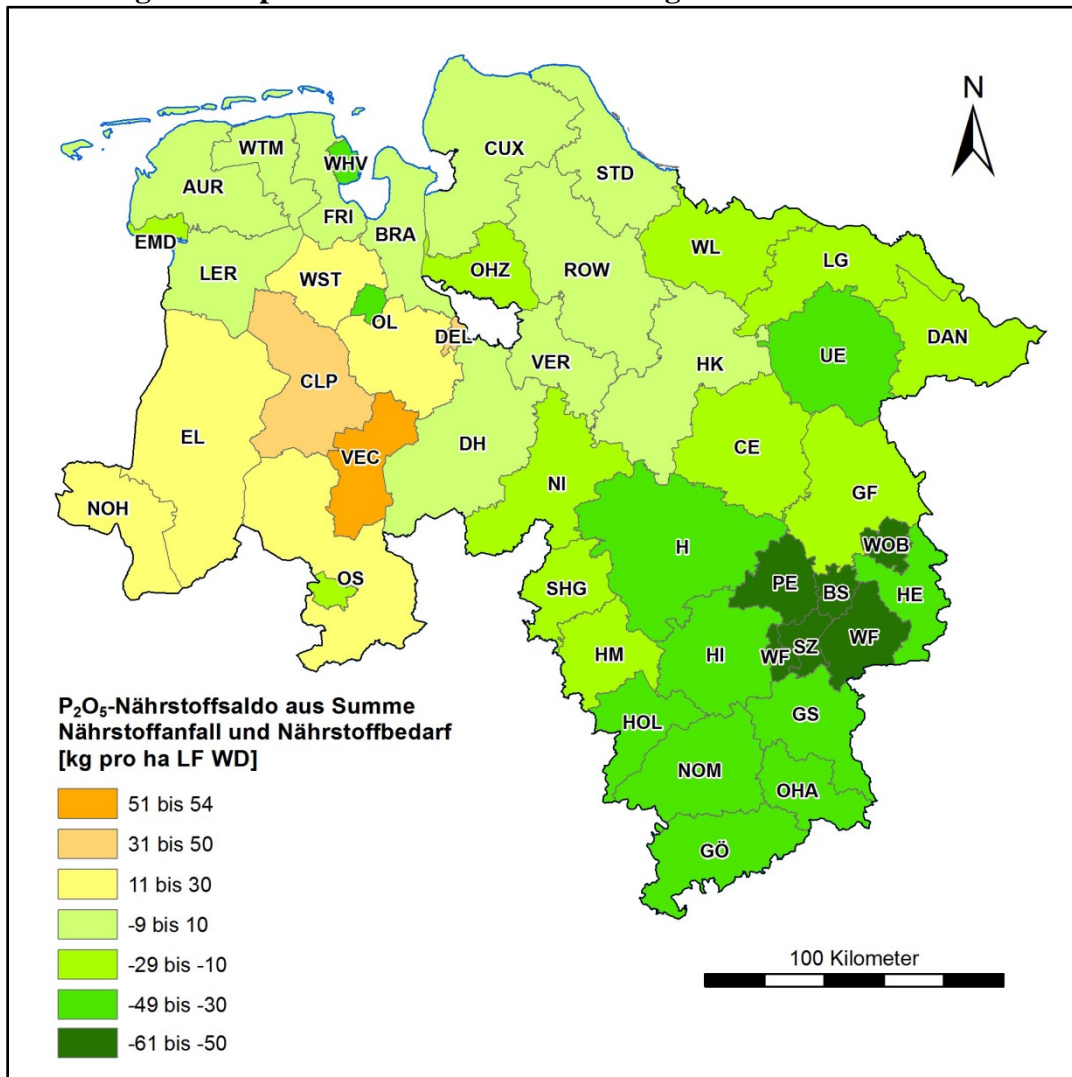
2.1 Nährstoffsituation - Wirtschaftsdüngeranfall und Nährstoffbedarf

Im Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013 (LWK NIEDERSACHSEN, 2013), im folgenden Wirtschaftsdüngerbericht 2013 genannt, werden der Anfall an Nährstoffen aus der Tierhaltung und aus Biogasanlagen, der Nährstoffbedarf bei der pflanzlichen Produktion sowie Im- und Exporte von Wirtschaftsdünger auf Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte bilanziert.

In den Nährstoffüberschuss-Kreisen ist vor allem das Phosphatsaldo relevant, das in der Abbildung 2 für die Kreise und kreisfreien Städte Niedersachsens dargestellt ist. Abweichend zum Wirtschaftsdüngerbericht (LWK NIEDERSACHSEN, 2013 S. 29) wird der ausgeglichene Saldo herangezogen, da die nach Düngeverordnung (DüV) zulässige Überschreitung des aus-

geglichenen Saldos mittelfristig zu einer Erhöhung der Phosphatgehalte im Boden führt und damit nicht nachhaltig ist.

Abbildung 2: Phosphatsaldo für Wirtschaftsdünger und Gärreste 2012



Quelle: LWK NIEDERSACHSEN (2013); *berechnet nach dem Nährstoffanfall und dem Nährstoffbedarf der Kulturen auf der LF WD.

Die Phosphatsalden der Kreise in der Milchvieh- und der Mischregion sind mehr oder weniger ausgeglichen. In der Ackerbauregion weisen stark negative Salden auf einen hohen Bedarf an Mineraldüngern hin. In der Veredelungsregion bestehen deutliche Phosphatüberhänge von bis zu 54 kg P₂O₅/ha LF WD. Daraus ergibt sich ein großes Potential zum überregionalen Nährstoffausgleich innerhalb Niedersachsens.

Innerhalb der Veredelungsregion weisen nur die beiden kreisfreien Städte Oldenburg und Osnaabrück negative Phosphatsalden auf. Der Landkreis Diepholz hat mit einem Überhang von 3 kg P₂O₅/ha LF WD ein fast ausgeglichenes Saldo und wird im Folgenden nicht als Abgaberegion behandelt. Die übrigen Landkreise haben einen erheblichen Phosphatüberschuss und werden als abgebende Kreise betrachtet. Um das Potential für die Verbringung von Wirtschaftsdüngern in die Ackerbauregion abschätzen zu können, wurden in Tabelle 2 die absoluten jährlichen Phosphatsalden aus dem Wirtschaftsdüngeranfall aller Tierarten und den Gärresten sowie dem Phosphatbedarf für die Landkreise mit Nährstoffüberschuss errechnet. Hier-

zu wurden schon realisierte Im- und Exporte nicht berücksichtigt, da unterstellt wird, dass die energetische Nutzung mit anschließender Nährstoffnutzung in der Ackerbauregion nachhaltiger ist als die derzeitige Verbringung nach Entsorgungsgesichtspunkten. In der Veredelungsregion besteht aus in der Region anfallenden Nährstoffen ein Überhang von 30.689 t Phosphat im Jahr. Damit fällt dort knapp doppelt so viel Phosphat in Wirtschaftsdüngern und Gärresten an, wie sinnvoll ackerbaulich verwendet werden kann.

Hinsichtlich der nachhaltigen Ausgestaltung der Verteilung der Nährstoffträger ist deren Transportwürdigkeit zu beachten. Diese reiht sich anhand des Biogaspotentials und der Nährstoffgehalte wie folgt:

Hühnertrockenkot > Geflügelmist > Festmist > Rindergülle > Schweinegülle >> Gärreste.

Gärreste aus Biogasanlagen können und dürfen nicht in Biogasanlagen eingesetzt werden und haben daher nur den Düngewert. Daher wäre es sinnvoll, sie vor Ort zu verwenden und energiereiche Wirtschaftsdünger zu exportieren. In der Praxis werden häufig Gärreste z.T. nach einer Separation oder Trocknung verbracht. Dies ist jedoch vor allem auf die gegenüber den viehhaltenden Betrieben erhöhte Zahlungsbereitschaft bzw. Zahlungsfähigkeit der Biogasbetriebe zurückzuführen. So wird die Gärresttrocknung über den KWK-Bonus vergütet.

Tabelle 2: Phosphatsalden für LK mit Nährstoffüberschuss bezogen auf Wirtschaftsdünger und Gärreste

Parameter	Bedarf nach Kulturen und LF WD	Anfall aus WD alle Tierarten	Anfall Gärrest ohne WD Input	Anfall aus WD alle Tierarten + Gärrest ohne WD Input	Saldo
Einheit/Kreis	t P ₂ O ₅ /a	t P ₂ O ₅ /a	t P ₂ O ₅ /a	t P ₂ O ₅ /a	t P ₂ O ₅ /a
Cloppenburg	-6.434	14.970	1.397	16.368	9.934
Emsland	-11.248	16.565	1.955	18.520	7.271
Grafschaft Bentheim	-4.251	6.272	570	6.842	2.592
Oldenburg LK	-4.538	5.733	1.106	6.839	2.592
Osnabrück	-8.189	9.829	814	10.643	2.454
Vechta	-4.276	12.115	600	12.715	8.438
Summe	-38.936	65.484	6.442	71.927	32.990

Quelle: Eigene Darstellung nach LWK Niedersachsen (2013)

2.2 Wirtschaftsdüngerpotentiale

Potential zur Abgabe

Da im Folgenden zunächst das theoretische Potential zur energetischen Nutzung im Sinne von KALTSCHMITT et al. (2009) von Wirtschaftsdüngern mit anschließender Nutzung der Nährstoffe betrachtet wird, sind die aktuellen Im- und Exporte von Wirtschaftsdüngern nicht berücksichtigt. Um die Verbringung der ca. 33.000 t Phosphat pro Jahr aus den Überschusskreisen zu realisieren, sind verschiedene Optionen möglich. Zunächst wäre es sinnvoll, sämtlichen Geflügelmist und HTK aus der Region zu verbringen. Damit könnten ca. 19.500 t Phos-

phat abtransportiert und bei Nutzung in Biogasanlagen ca. 370 GWh/a elektrischer Strom sowie 450 GWh/a Wärme erzeugt werden (entspricht einer installierten elektrischen Leistung von ca. 40 MW_{el}). Die Verbringung von Hühnertrockenkot und Geflügelmist aus den Überschusskreisen zur Bioenergieerzeugung und/oder zur Düngung ist gängige Praxis (LWK NIEDERSACHSEN, 2013), reicht aber alleine nicht, um die Phosphatsalden dort auszugleichen. Um die verbleibenden 13.500 t Phosphatüberschüsse aus der Region zu transportieren, bestehen verschiedene Optionen (vgl. Tabelle 3).

- Verbringung von Rindergülle: Um 13.500 t P₂O₅ zu exportieren, müssten 6,7 Mio. t Rindergülle aus der Region transportiert werden. Damit ließe sich eine relativ hohe Stromerzeugung entsprechend einer installierten Leistung von 51 MW_{el} erzeugen. Die Menge übertrifft jedoch die in der Region anfallende Rindergüblemenge. Die rinderhaltenden Betriebe sind in der Regel stärker flächengebunden als die schweine- und geflügelhaltenden Betriebe und nehmen daher kaum an der überregionalen Verbringung von Nährstoffen teil.
- Verbringung von Schweinegülle: Mit 4,2 Mio. t müsste knapp die Hälfte der in der Region anfallenden Schweinegülle transportiert werden. Aufgrund des hohen Wassergehaltes ist der Energieertrag je transportiertem m³ eher gering.
- Verbringung von Güllefeststoff aus separierter Rindergülle: Die Separation von Rindergülle mit Pressschnecke stellt keine Option zum Nährstoffausgleich dar, da im Güllefeststoff kaum mehr Phosphat vorhanden ist als in der Rohgülle. Daher müssten 6,4 Mio. t Feststoff transportiert werden, für dessen Erzeugung 35 Mio. t Rindergülle separiert werden müssten. Das übertrifft die in der Region produzierte Menge um das Sechsfache.
- Verbringung von Güllefeststoff aus separierter Schweinegülle (Pressschneckenseparator): Obwohl die Verbringung von mittels Pressschnecken separierter Schweinegülle die zu transportierende Menge im Vergleich zur Rohgülle fast halbiert, müsste viermal so viel Gülle separiert werden, wie in der Region anfällt.
- Verbringung von Güllefeststoff aus separierter Schweinegülle (Dekanter): Aufgrund der hohen Phosphatabscheidung der Dekantertechnik könnte die zu transportierende Phosphatmenge von 13.500 t im Jahr mit nur 0,8 Mio. t Güllefeststoff realisiert werden. Damit reduziert sich der Transportaufwand auf ein Fünftel gegenüber der Rohgülle. Allerdings müsste dazu fast die komplette in der Region anfallende Schweinegülle separiert werden.

Tabelle 3: Wirtschaftsdüngeräquivalente zur Verbringung von Phosphat

Tierart	Qualität	Wirtschaftsdünger zur Verbringung*	Anfall*	Zur Separation benötigte Rohgülle	Gehalt*	Ab-scheide-grad Mittel	Methan-ertrag	Mögliche installierte Leistung
		*1.000 t/a	*1.000 t/a	*1.000 t/a	kgP ₂ O ₅ /t	%	Nm ³ /t FM	MW _{el}
Rinder	Gülle roh	6.750	6.114	-	2	-	17**	51
Schweine	Gülle roh	4.219	9.631	-	3	-	12**	23
Rinder	Feststoff Press-schnecke	6.429	6.114	35.367	2	18	30***	88
Schweine	Feststoff Press-schnecke	2.368	9.631	39.474	6	6	35***	37
Schweine	Feststoff Dekanter	860	9.631	6.614	16	13	35***	14

*Für die Verbringung von 13.500 t Phosphat pro Jahr notwendige Wirtschaftsdüngermengen, deren P₂O₅ Gehalte sowie Methanerträge und die aus den transportierten Mengen zu betreibende elektrische Leistung

Quelle: *LWK Niedersachsen (2013), **KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas, ***BRAUCKMANN et al. (2014)

2.3 Status Quo Biogasanlagen

Um die Aufnahmefähigkeit von Biogasanlagen in der Ackerbauregion für Wirtschaftsdünger aus der Veredelungsregion zu ermitteln, wurden die Werte der Biogasinventur 2012 (Kompetenzzentrum 3N, unveröffentlicht) und des Berichtes „Biogas in Niedersachsen“, herausgegeben durch das NIEDERSÄCHSISCHE MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG (2012), herangezogen. Ein deutlicher Schwerpunkt der Biogaserzeugung in Niedersachsen befindet sich in der Veredelungsregion (vgl. Abbildung 3). Allerdings sind die Anlagenanzahl und die installierte elektrische Leistung in der Ackerbauregion ähnlich hoch, verteilen sich aber auf mehrere und kleinere Landkreise (ML NIEDERSACHSEN, 2012).

Tabelle 4: Biogasanlagenanzahl in der Ackerbauregion nach Einsatzstoffen 2012

Landkreise der Ackerbauregion	nur NawaRo		NawaRo + Gülle	
	Anzahl	gesamte Anlagenleistung [kW _{el}]	Anzahl	gesamte Anlagenleistung [kW _{el}]
Braunschweig	0	0	0	0
Celle	31	15.999	30	11.078
Gifhorn	4	3.250	35	18.127
Goslar	2	1.130	8	3.693
Göttingen	7	2.085	12	8.479
Hameln-Pyrmont	6	5.440	19	11.488
Harburg	6	3.470	19	13.990
Heidekreis*	3	1.393	69	32.045
Helmstedt	5	4.041	6	3.959
Hildesheim	6	3.366	18	11.386
Holz Minden	3	1.438	5	1.425
Lüchow-Dannenberg	4	4.110	29	15.483
Lüneburg	7	7.410	17	11.917
Northeim	9	6.226	16	8.463
Peine	10	7.967	1	500
Region Hannover	25	13.390	17	7.655
Schaumburg	2	90	15	7.574
Uelzen	11	7.350	17	8.165
Wolfenbüttel	6	3.116	4	2.593
Wolfsburg	2	2.600	0	0
Summe	149	93.871	337	178.020

*Aufteilung der 72 BGA im Heidekreis wurde nach Rücksprache mit dem Landkreis korrigiert und die Anlagenleistung anteilig berechnet.

Quelle: KOMPETENZZENTRUM 3N (unveröffentlicht).

In der Ackerbauregion produzieren fast 500 NawaRo-Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 272 MW_{el} Strom und Wärme. Davon setzen 149 Biogasanlagen ausschließlich Anbaubiomasse ein. Es ist davon auszugehen, dass die meisten dieser Betriebe den Technologiebonus für die Trockenfermentation nach dem EEG 2004 beziehen. Auf regionaler Ebene und auf betrieblicher Ebene werden Szenarien des Wirtschaftsdüngereinsatzes berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die erzeugte jährliche Energiemenge gleich bleibt und ein Teil der Anbaubiomasse durch Wirtschaftsdünger substituiert wird. Die Tabelle 5 zeigt die Art und Menge des berechneten Wirtschaftsdüngereinsatzes sowie substituierte Anbaubiomasse. Die Grundlage für die Szenarien bildet eine Biogasanlage, die von Schmehl et al. (2012) ökobilanziell bewertet worden ist. Es handelt sich um eine NawaRo-Biogasanlage, die ausschließlich Maissilage, GPS, Zuckerrüben und Getreidekorn einsetzt und den Technologiebonus für die Trockenfermentation erlöst. In den Szenarien 1a, 2a und 4a wird ein Einsatz von 33 % Wirtschaftsdünger am Input berechnet, um den Güllebonus generieren zu können. Dabei wird für die Berechnungen angenommen, dass ausschließlich Maissilage durch die Wirtschaftsdünger substituiert wird. In der Realität würde prioritär andere Anbaubiomasse mit geringerer Methanhektarproduktivität als Mais, wie Ganzpflanzensilage und Getreidekorn, aus der Fütterung genommen. Dies spiegeln die Szenarien 1b, 1c, 2b, 2c, 4b und 4c wi-

der, bei denen je nach Methanpotential der eingesetzten Wirtschaftsdünger und deren Menge die Anbaubiomasse in der Reihenfolge GPS – Getreidekorn – Maissilage substituiert wird.

Selbst in der Ackerbauregion Niedersachsens, in der nur wenig Wirtschaftsdünger aus der Viehhaltung anfällt, setzen bereits fast 70 % der Anlagen Gülle ein. Dabei ist davon auszugehen, dass der überwiegende Anteil dieser Anlagen den Güllebonus nach EEG 2009 bezieht und damit über 30 % Gülle einsetzt. Es wird angenommen, dass diese Betriebe eigene Gülle einsetzen oder bestehende Handelsbeziehungen zu Lieferanten haben. Im Folgenden wird überprüft, inwieweit es für diese Betriebe sinnvoll sein kann, zusätzlich Wirtschaftsdünger aus der Veredlungsregion aufzunehmen. Dazu wird der Wirtschaftsdüngeranteil von – angenommenen – 33 % am Input in den Szenarien (1b, 2b und 4b) auf 50 % (Szenarien 1c, 2c und 4c) bzw. 100 % (Szenario 3) erhöht.

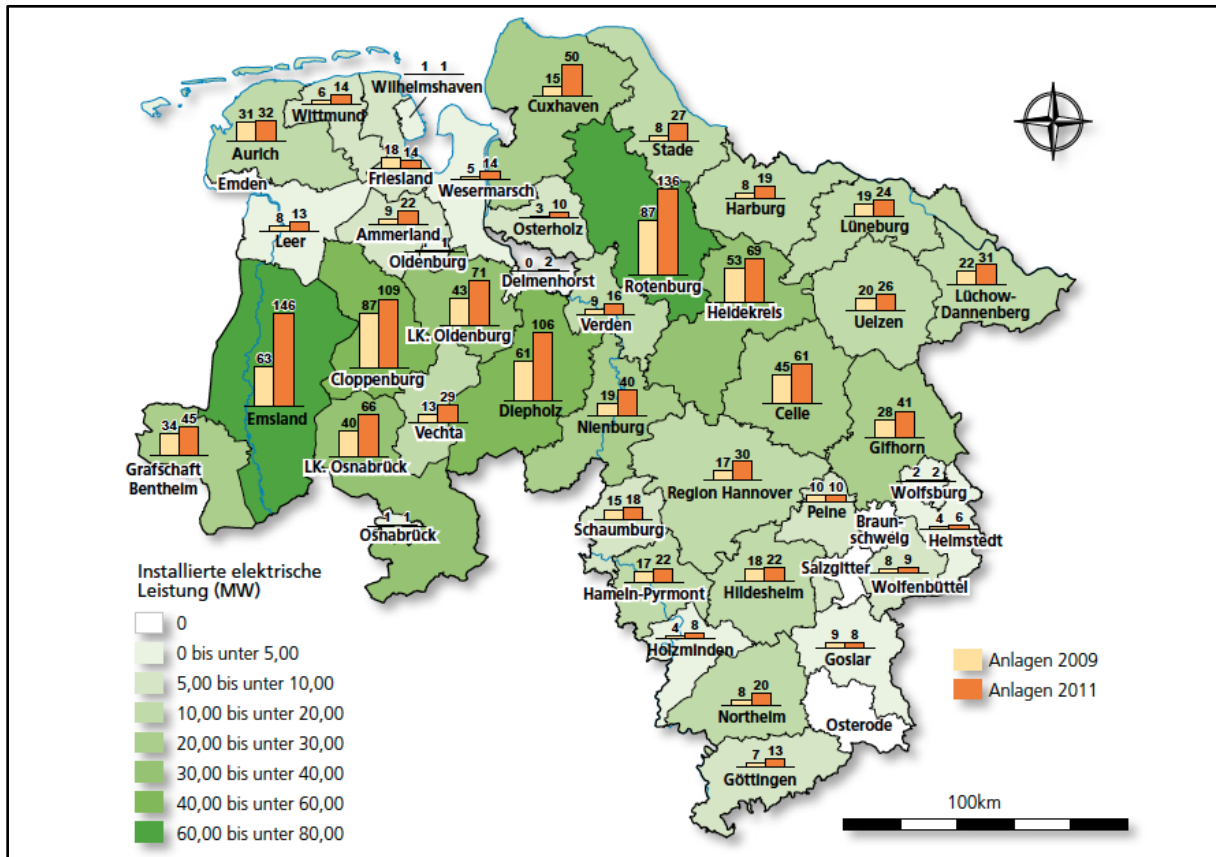
Tabelle 5: Szenarien zum Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen der Ackerbauregion

Szenario	Wirtschaftsdünger	Anteil WD am Input	Substituierte Anbaubiomasse
		%	
1a	Schweinegülle roh	33	Maissilage
1b	Schweinegülle roh	33	GPS
1c	Schweinegülle roh	50	GPS
2a	Schweinegülle Dekanter	33	Maissilage
2b	Schweinegülle Dekanter	33	GPS + Getreidekorn
2c	Schweinegülle Dekanter	33	GPS + Getreidekorn + Maissilage
3	Schweinegülle Dekanter	100	Anbaubiomasse komplett
4a	HTK + Geflügelmist	33	Maissilage
4b	HTK + Geflügelmist	33	GPS + Getreidekorn + Maissilage
4c	HTK + Geflügelmist	50	GPS + Getreidekorn + Maissilage

Quelle: Eigene Darstellung

Für die Abschätzung des theoretischen Potentials der 149 bisher ohne Gülle betriebenen Na-waRo Biogasanlagen in der Ackerbauregion Niedersachsens, Wirtschaftsdünger einzusetzen, werden in Tabelle 5 die Basisszenarien, bei denen die neu aufgenommenen Wirtschaftsdünger-mengen ausschließlich die Maissilage substituieren (1a, 2a, 3, 4a), dargestellt. In der Realität würde prioritär andere Anbaubiomasse mit geringerer Methanhektarproduktivität als Mais, wie Ganzpflanzensilage und Getreidekorn aus der Fütterung genommen – jedoch liegen zur speziellen Fütterung der Trockenfermentations-Biogasanlagen auf regionaler Ebene keine Daten vor. Dieser Faktor wird im Folgenden bei den betrieblichen Szenarien berechnet. Würden alle Anlagen zu 33 % des Inputs Schweinegülle einsetzen, so würden sie 897.000 t/a aufnehmen und damit 93.800 t Mais einsparen. Nutzen sie stattdessen 33 % Feststoff aus Schweinegülle, die mittels eines Dekanters separiert wurden, so könnten sie 801.000 t aufnehmen und 249.500 t Mais im Jahr einsparen.

Abbildung 3: Anzahl, Entwicklung und installierte Leistung der Biogasanlagen in Niedersachsen 2009-2011



Quelle: ML NIEDERSACHSEN (2012)

3 Rahmenbedingungen zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern

Dieses Kapitel stellt die Rahmenbedingungen und speziellen Anforderungen an den Einsatz von stapelbaren und flüssigen Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen dar. Zum einen werden die entsprechenden Vorgaben aus bau-, veterinär- und transportrechtlicher Sicht erläutert und entsprechend analysiert. Zum anderen wird beispielhaft dargestellt, was an einer in Betrieb befindlichen NawaRo-Biogasanlage sowohl baulich als auch organisatorisch und prozess-technisch verändert werden muss, um einen stapelbaren oder flüssigen Wirtschaftsdünger in den Vergärungsprozess zu integrieren. Weiterhin werden auch die transporttechnischen Herausforderungen an die Wirtschaftsdüngerlogistik erarbeitet. Die Beschaffung von Wirtschaftsdüngern für Biogasanlagen in Regionen mit einem geringen eigenen Aufkommen dieses Substrates sowie die anschließende weitere Verteilung der anfallenden großvolumigeren Gärreste stellen große Herausforderungen für die Logistikkette dar. Dabei werden sowohl ökonomische als auch ökologische Einflussfaktoren und Stellgrößen im Hinblick auf die Vorzüglichkeit des Einsatzes der verschiedenen Formen des Wirtschaftsdüngers erarbeitet.

3.1 Baurechtliche Anforderungen

Vor der Errichtung einer Biogasanlage ist eine entsprechende Genehmigung zu beantragen. Neben dem klassischen baurechtlichen Genehmigungsverfahren nach Baugesetzbuch (BauGB) kann auch eine Genehmigung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) erforderlich werden. Das BImSchG-Verfahren muss bei größeren Anlagen in Abhängigkeit von der Feuerungswärmeleistung oder der erzeugten Rohgasmenge durchgeführt werden. Das BImSchG-Verfahren ist ferner für Anlagen verpflichtend, deren Güllelagerkapazität die Menge von 6.500 m³ pro Jahr überschreitet (GABLER et al., 2013). Das immissionsrechtliche Genehmigungsverfahren ist komplexer und teurer als ein baurechtliches Genehmigungsverfahren, bietet dafür aber eine höhere Rechtssicherheit für die Anlage. Im BImSchG-Verfahren wird geprüft, ob von der Anlage schädliche Umweltwirkungen ausgehen und ob Benachteiligungen für die Nachbarschaft entstehen können (FNR, 2013). Das Genehmigungsverfahren nach BImSchG entfaltet eine sogenannte Konzentrationswirkung; es schließt daher baurechtliche, abfallrechtliche und veterinärrechtliche Genehmigungsverfahren mit ein.

Im Jahr 2013 wurde das Baugesetzbuch novelliert und im Zuge dessen u.a. die Privilegierung von Biogasanlagen und gewerblichen landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen im Außenbereich geändert bzw. eingeschränkt. Trotzdem wird nach Auskunft des Rechtsanwalts LOIBL die Privilegierung für BGA im Außenbereich nach § 35 Abs. 1 Nr. 6 BauGB weiterhin gegeben sein. BGA dürfen somit weiterhin am Standort eines landwirtschaftlichen Betriebes errichtet werden, sofern der Landwirt der Eigentümer der Anlage ist und mindestens die Hälfte des eingesetzten Substrats aus dem eigenen Betrieb oder aus der näheren Umgebung stammt (FNR, 2013). Die vormalige Privilegierungsobergrenze von Anlagen bis 500 kW elektrischer Leistung wurde im novellierten Baugesetzbuch ersetzt durch die Bedingung, dass die maximale Erzeugungskapazität der Anlage von 2,3 Mio. Normkubikmetern (Nm³) Biogas pro Jahr nicht überschritten werden darf (GABLER et al., 2013). Die Produktion von 2,3 Mio. Nm³ Biogas entspricht in etwa einer elektrischen Leistung von 500 kW_{el}, weswegen große Anlagen im Außenbereich weiterhin nicht privilegiert sind (TOP AGRAR, 2011). Es besteht bei der Nichterfüllung dieser Bedingungen aber weiterhin die Möglichkeit, die BGA als „sonstiges Vorhaben“ im Außenbereich genehmigen zu lassen, falls das Vorhaben keinen anderen allgemeinen öffentlichen Belangen entgegensteht (FNR, 2013).

Die Bund-Länder-Arbeitsgruppe hat im Jahr 2012 in ihrem Abschlussbericht zur Novellierung der Düngeverordnung vorgeschlagen, die Mindestlagerdauer für BGA-Gärreste von sechs auf neun Monate zu erhöhen (BLAG, 2012). Falls es zur Umsetzung dieser Regelung kommt, hätte dies Konsequenzen für alle BGA. Nach Auskunft eines Biogasberaters des Westfälischen Landwirtschaftsverbandes (WLV) genießen die in Betrieb befindlichen BGA aber Bestandsschutz und wären von der Änderung der Düngeverordnung nicht direkt betroffen (SCHMIDT, 2014). Anders verhält es sich bei einer wesentlichen Änderung einer nach BImSchG genehmigten BGA. Hier wird eine Änderungsgenehmigung nach § 16 BImSchG erforderlich. In diesem Fall würde im Änderungsgenehmigungsverfahren von der Behörde u.a. die Nachrüstung auf eine neunmonatige Mindestlagerkapazität gefordert werden (LOIBL, 2014).

Im Weiteren soll die Umstellung einer NawaRo-Biogasanlage auf eine Gülle-NawaRo-Biogasanlage betrachtet werden. Aufgrund der geringeren Energieausbeute von z.B. Gülle im

Vergleich zu Mais (KTBL, 2013) wird eine Erhöhung der Lagerkapazität für die Gärreste notwendig werden (KOWALEWSKY, 2014). Bei einer derartigen Umstellung des Fermentationsprozesses handelt es sich um eine wesentliche Nutzungsänderung, weshalb eine Änderungsgenehmigung erforderlich ist. Unterschieden werden muss in diesem Zusammenhang wiederum zwischen Anlagen, bei denen eine Genehmigung gemäß BImSchG notwendig ist, und kleineren Anlagen, die nicht nach BImSchG, sondern nach Baugesetzbuch (BauGB) genehmigt worden sind. Im zweiten Fall ist bei einer Erweiterung der Lagerkapazität nur eine Baugenehmigung für das Lager notwendig (LOIBL, 2014).

Der Anteil reiner NawaRo-Biogasanlagen in den Ackerbauregionen ist relativ hoch (vgl. Tabelle 4). Der Einsatz tierischer Exkremate kann für diese Anlagen unter bestimmten Gesichtspunkten sinnvoll sein. Biogasanlagen, welche während der Gültigkeit des EEG 2009 in Betrieb gegangen sind, können den Güllebonus in Anspruch nehmen, sofern sie mindestens 30 % Wirtschaftsdünger als Substrat einsetzen. Nach Anlage 2 Nummer II 2 zum EEG 2009 handelt es sich bei Wirtschaftsdünger bzw. Gülle um alle Stoffe, welche in der EG-Hygieneverordnung 1774/2002 aufgeführt sind. Das Recht, diesen Bonus erstmals in Anspruch zu nehmen, ist nach Ansicht des Rechtsanwalts LOIBL auch mit der Einführung des neuen EEG 2012 nicht verlorengegangen. Dies bedeutet, dass eine NawaRo-Biogasanlage, welche zwischen 2009 und 2011 und zwischen 2012 und Mitte 2014 in Betrieb gegangen ist, auch heute noch den Güllebonus, in der entsprechenden Ausgestaltung des jeweiligen gültigen EEG zur erstmaligen Inbetriebnahme, in Anspruch nehmen kann. Zur Vergütung von Altanlagen hat der Bundesgerichtshof am 12.12.2013 ein Urteil gefällt, dessen Auslegung Einfluss auf diesen Sachverhalt hat (LOIBL, 2014).

3.2 Veterinärrechtliche Anforderungen

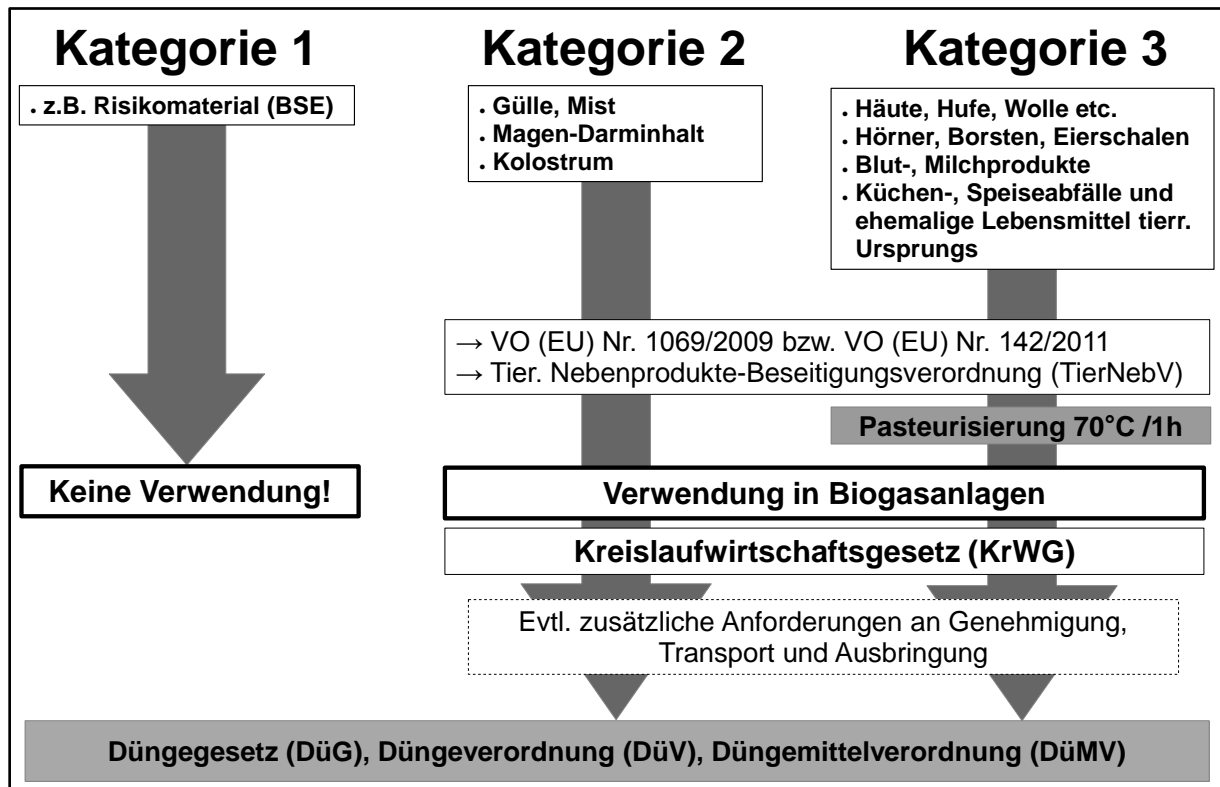
Biogasanlagen, welche bereits Gülle einsetzen oder diese zukünftig als Substrat einsetzen möchten, haben zahlreiche veterinärrechtliche Verordnungen zu beachten. Durch den Einsatz von Gülle unterliegen die Biogasanlagen dem Tierische Nebenprodukte-Recht (TierNebG). In diesem Zusammenhang sind u.a. folgende Rechtsvorschriften zu beachten:

- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)
- Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte
- Durchführungsverordnung (EU) Nr. 142/2011
- Tierisches Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG)
- Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV)
- Schweinehaltungshygieneverordnung (SchHaltHygV)

Die BGA ist nach Art. 24 der VO (EG) 1069/2009 zulassungspflichtig, und der Betreiber unterliegt der Informationspflicht. Die Zulassung wird von der jeweiligen Landesbehörde ausgestellt (MAHNKEN, 2014). Die Einsatzmöglichkeiten von tierischen Nebenprodukten in BGA hängen von deren Risikoeinstufung ab. Gemäß der Verordnung werden Tierische Nebenprodukte in drei Risikokategorien eingeteilt. Besonders risikoreiches Material, z.B. mit BSE-Erregern belastetes Material, wird in die Kategorie 1 eingestuft und darf nicht in BGA eingesetzt werden. In die Kategorie 3 fallen beispielsweise Schlachtabfälle und Küchenabfälle tierischen

Ursprungs. Diese dürfen nur nach mindestens einstündiger vorangegangener Pasteurisierung bei 70°C in einer BGA eingesetzt werden. Gülle und Mist werden der Kategorie 2 zugerechnet, welche keine Pasteurisierung vorsieht (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Einordnung tierischer Nebenprodukte



Quelle: Eigene Darstellung nach WILKEN (2013)

Das Risiko einer Seuchenverbreitung wird abgestuft beurteilt. Es wird zwischen einer BGA, welche mit einer Tierhaltungsanlage gemeinsam an einem Standort betrieben wird, und einer räumlich abgegrenzt errichteten BGA unterschieden. Im ersten Fall werden als Genehmigungsauflagen die Errichtung eines Zaunes sowie eine separate Zufahrt zur BGA gefordert. Das höchste Risiko besteht bei BGA, welche gemeinsam mit einer Tierhaltung betrieben werden und zusätzlich noch Fremdgülle einsetzen. In diesem Fall ist eine strikte physische Trennung zwischen Fremdgülle und z.B. Futtermitteln oder Einstreu der betriebseigenen Tierhaltung einzuhalten. Zudem sind eine Reinigung der Transportfahrzeuge und der Einsatz von Desinfektionsschleusen vorgeschrieben (WILKEN, 2014). Für Schweinegülle aus Fremdbetrieben gilt die Auflage, dass diese gemäß der Schweinehaltungshygieneverordnung mindestens acht Wochen auf dem Herkunftsbetrieb gelagert werden muss, bevor sie in die BGA verbracht werden darf (SCHULZE SIEVERT, 2014).

In einer Studie der Tierärztlichen Hochschule Hannover wurde das mikrobiologische Risikopotenzial von Gärsubstraten und Gärresten untersucht. Im Zuge dessen wurde zunächst der Gesamtkeimgehalt im Gärsubstrat und anschließend im Gärrest gemessen; sodann wurden beide Werte miteinander verglichen. Es konnte festgestellt werden, dass es zu keiner mikrobiellen Anreicherung der Keime (insbesondere *E. coli* und Salmonellen) während des Fermentationsprozesses kam (BREVES, 2012). Die Gefahr einer Seuchenverbreitung durch eine BGA wurde somit wissenschaftlich bisher nicht bestätigt.

Grundsätzlich unterliegt Gülle, welche zur Verwendung in BGA vorgesehen ist, dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und somit auch der Bioabfallverordnung. Die Gülle ist entweder als Bioabfall oder als tierisches Nebenprodukt einzustufen, woraus sich unterschiedliche Konsequenzen ergeben. Bioabfälle werden in § 2 der Bioabfallverordnung definiert als Abfälle tierischer und pflanzlicher Herkunft zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. Biogasanlagen, welche Bioabfälle einsetzen, müssen die Auflagen der Bioabfallverordnung beachten. Alle eingesetzten Bioabfälle unterliegen einer Registrierpflicht seitens des BGA-Betreibers. Die Bioabfallverordnung schreibt eine Hygienisierung der eingesetzten Inputstoffe vor. Des Weiteren werden konkrete Grenzwerte für die Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen vorgegeben. Das nordrhein-westfälische Landwirtschaftsministerium hat einen Vollzugshinweis zur Einstufung der Gülle bekanntgegeben. Gärreste aus einem Gemisch von Gülle und NawaRo unterliegen gemäß KrWG § 2 Abs. Nr. 4 nicht dem Anwendungsbereich des Abfallrechts, sofern eine spätere Verwendung als landwirtschaftlicher Dünger vorgesehen ist. Diese Auffassung wird auch vom Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit geteilt. Demnach fällt die Gülle als reines Substrat (Inputstoff) nicht unter die Bioabfallverordnung, sondern ist als tierisches Nebenprodukt gemäß VO (EG) 1069/2009 anzusehen (MAHNKEN, 2014). Die strengen Anforderungen des Bioabfallrechts gelten somit für den Einsatz von Gülle in BGA nicht. Falls Gülle und NawaRo aber gemeinsam mit Bioabfällen fermentiert werden, wie dies in Kofermentationsanlagen geschieht, unterliegen die anfallenden Gärreste den Anwendungsbestimmungen des Abfallrechts.

Die Regelungen zum Transport der Gülle im Tierseuchenfall können bei Eintreten eines Seuchenfalls große Auswirkungen auf den Betrieb der BGA haben. Der Transport tierischer Nebenprodukte wird in den verschiedenen Tierseuchenspezialverordnungen vorgeschrieben (u.a. MKS-VO, Geflügelpest-VO). Die Möglichkeit einer weiteren Verbringung der Gülle hängt insbesondere von der jeweiligen Tierseuche und dem Ausbreitungspotenzial der Tierseuche ab (SCHULZE SIEVERT, 2014). Ein weiterer entscheidender Punkt ist, ob der Betrieb im Sperrgebiet (z.B. 3 km um einen Seuchenbetrieb) oder Beobachtungsgebiet (z.B. 10 km um einen Seuchenbetrieb) liegt. Der Transport der Gülle im Sperrgebiet ist untersagt bzw. die Gülle ist zu desinfizieren, bevor sie verbracht werden darf. Die verschiedenen Desinfektionsmaßnahmen (z.B. mit Branntkalk) sind in einer Desinfektionsrichtlinie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zusammengefasst. Weiterführende Desinfektionsmaßnahmen und die Vorgaben zur Ausbringung der betroffenen Gülle sind in den Tierseuchenspezialverordnungen detailliert beschrieben. Im Beobachtungsgebiet ist beispielsweise eine bodennahe Ausbringung der Gülle mit Schleppschläuchen weiterhin möglich. In jedem Fall ist nach MAHNKEN (2014) der Transport der Gülle in den von der Tierseuche betroffenen Gebieten nur mit einer Sondergenehmigung durch die zuständige Behörde möglich (MAHNKEN, 2014).

3.3 Rechtliche Aspekte des Gülletransports

Der überregionale Transport von Gülle wird durch die Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (WDüngV) geregelt. Diese Verbringungsverordnung ergänzt die Anforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) und der Düngeverordnung (DüV) und ist von Tierhaltern, Biogasanlagenbetreibern und am Nährstofftransport beteiligten

Lohnunternehmern und Händlern einzuhalten. Jeder, der Wirtschaftsdünger gewerbsmäßig in Verkehr bringt, muss sich bei der zuständigen Behörde vor der erstmaligen Tätigkeit registrieren lassen. Die Verbringungsverordnung soll durch umfangreiche Dokumentationspflichten die Nährstofftransporte nachvollziehbarer machen. Die abgebenden Betriebe, die Beförderer und die aufnehmenden Betriebe von Wirtschaftsdüngern müssen Aufzeichnungen in Form von Nährstofflieferscheinen über die Verbringung und den Empfang von Wirtschaftsdüngern führen. Falls die empfangenen Wirtschaftsdünger aus einem anderen Bundesland stammen, ist dies der zuständigen Behörde bis zum 31. März des Folgejahres zu melden (LWK NRW, 2014). Die Wirtschaftsdünger abgebenden Betriebe sind dazu verpflichtet, die zuständige Behörde über die Nährstofflieferungen zu informieren. Seit dem Jahr 2012 müssen die Meldungen in Niedersachsen im Internet mit dem Meldeprogramm der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt werden.

Die überregionalen Transporte von Gülle zwischen den Veredelungsregionen und den Ackerbauregionen haben zugenommen. So wird Futtergetreide aus den Ackerbauregionen in die Veredelungsregionen transportiert und der organische Wirtschaftsdünger (fest oder flüssig) teilweise aus den Veredelungsregionen zurücktransportiert (KOWALEWSKY, 2014). Zur Reduktion der Transportkosten werden auch Fahrzeuge eingesetzt, welche sowohl Gülle als auch Getreide transportieren können. Der Transport von Gülle und Getreide in einem Fahrzeug ist allerdings aus hygienischer Sicht bedenklich. Die eingesetzten innovativen Transportfahrzeuge, sogenannte „Duo-Liner“ oder „Kombiliner“, verfügen daher über voneinander getrennte Ladekammern. Somit wird gewährleistet, dass kein Wirtschaftsdünger in demselben Laderaum transportiert wird wie z.B. Futtermittel. Die Zertifizierung dieser Transportfahrzeuge im Rahmen des „GMP+“-Systems ist möglich. Die Reinigung der Fahrzeuge nach jedem Transportvorgang muss dokumentiert werden und vor jedem Beladen mit Getreide ist eine optische Kontrolle der Ladefläche durchzuführen (BIELEFELD, 2014).

3.4 Bauliche Maßnahmen an bestehenden Anlagen

Im Folgenden werden einzelne, möglicherweise nötige Umbaumaßnahmen an einer bestehenden NawaRo-Biogasanlage dargestellt. Die verschiedenen Anlagenbereiche sowie Prozessschritte werden hierbei separat betrachtet. Dabei wird gezeigt, welche Umbaumaßnahmen in Abhängigkeit von der Ausstattung der Biogasanlage und der zukünftig geplanten Wirtschaftsdüngereinsatzstoffe und -mengen nötig werden können.

Einfriedung

Eine allein mit NawaRo betriebene Biogasanlage muss aus baurechtlichen Gründen nicht mit einer Umzäunung versehen sein. In diesen Fällen kann ein Hecken- oder Sträucherwall angelegt werden, um die Abgrenzung zu benachbarten Grundstücken kenntlich zu machen und die Anlage im Außenbereich möglichst neutral und unauffällig in das Landschaftsbild einzubinden. Auch wenn aus baurechtlichen Gründen keine Umzäunung nötig ist, so kann es doch aus versicherungstechnischen Gründen sowie zur Verbesserung des Diebstahlschutzes sinnvoll sein, eine geschlossene und verschließbare Umzäunung zu installieren. Bei einer Umstellung auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern ist dagegen eine geschlossene Umzäunung der Anlage vorgeschrieben.

Einfahrtsbereich

Eine weitere Modifizierung ist ggf. an der Einfahrt zur Biogasanlage nötig. Da die Biogasanlage aus rechtlichen Gründen verschließbar sein muss, ist eine entsprechende Toranlage einzubauen oder nachzurüsten. Sofern in der bestehenden Anlage bereits ein verschließbares Tor vorhanden ist, entspricht dies grundsätzlich den gesetzlichen Anforderungen. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass u.a. aus zeitlichen und organisatorischen Gründen ein automatisiertes Tor sinnvoll ist. Eine Möglichkeit ist eine Öffnungs- und Schließanlage, welche per Telefon gesteuert werden kann oder mit einem Zugangscode versehen ist. Dadurch ist die kontinuierliche Verschließbarkeit sichergestellt; zudem können Transporte, z.B. von Wirtschaftsdüngern, zeitlich flexibel und unabhängig von der Anwesenheit von Personal auf der BGA durchgeführt werden. Daher ist bei Umstellung auf Wirtschaftsdünger sogar bei bereits vorhandener verschließbarer Toranlage eine Nachrüstung häufig erforderlich.

Wiege- und Dokumentationstechnik

Im Zuge des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern (fest oder flüssig) ist es von essentieller Bedeutung, dass lückenlos dokumentiert werden kann, welcher Transporteur welche Stoffe auf der Biogasanlage angeliefert hat. Als Wirtschaftsdünger aufnehmender Betrieb und Biogasanlagenbetreiber, der den Güllebonus in Anspruch nimmt, ist man nach WDüngV, DüMV, DüV und EEG 2009 verpflichtet, zum einen zu dokumentieren, welche Wirtschaftsdüngermengen wann und in welchem Umfang von wo aufgenommen wurden, und zum anderen nachzuweisen, dass zu jeder Zeit mindestens 30 Masse-% des eingesetzten Substrates Wirtschaftsdünger sind. Um dies sicherstellen zu können und eine Kontrolle für die eigene Bewirtschaftung der Anlage zu haben, ist eine entsprechende Anlagenausstattung mit Waage, Kamera und automatischer Wiegeverbuchung notwendig.

Zuwegung und Infrastruktur auf der Biogasanlage

Die Umstellung auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage bringt entsprechende Anforderungen an das Wegenetz und die Beschaffenheit der Fahrwege mit sich. So muss das Wegenetz so angelegt sein, dass sich die Fahrwege eines Wirtschaftsdünger anliefernden Fahrzeuges und eines zweiten Fahrzeuges während ihres Aufenthaltes auf der Anlage nicht kreuzen. Dies wird zum Beispiel dann relevant, wenn gerade Wirtschaftsdünger angeliefert und zeitgleich Gärsubstrat zur Auslieferung verladen wird. Die Grundkonzeption der meisten Biogasanlagen sieht bereits vor, dass sich nicht überschneidende Fahrmöglichkeiten auf der Anlage gegeben sind. Ein Engpass in einem solchen Szenario ist jedoch fast immer die Waage. Auf den Biogasanlagen ist – von wenigen Ausnahmen abgesehen – nur eine Wiegeeinheit vorhanden. Ein- und ausfahrende bzw. be- und entladene Fahrzeuge werden über eine Waage gewogen. Um trotzdem getrennte Fahrstrecken sicherzustellen, wird zum Zeitpunkt des Wiegens jeweils nur ein Fahrzeug auf der Biogasanlage zugelassen. Weiterhin sollten die Fahrwege so angelegt sein, dass ein Rundparcours oder zumindest ein großzügig ausgelegter Wendehammer vorhanden ist. Dies ist außerordentlich wichtig um sicherzustellen, dass zum einen ein Befahren der Anlage auch mit Straßen-Lkw zu jeder Jahreszeit und Witterung möglich ist und zum anderen ein reibungsloser Verkehr gesichert ist, auch wenn sich mehrere Fahrzeuge auf der Biogasanlage befinden.

Lagereinrichtungen (stapelbare Einsatzstoffe)

Wenn eine reine NawaRo-Biogasanlage auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger umgestellt wird, dann werden aller Voraussicht nach entweder feste oder flüssige Wirtschaftsdünger-

komponenten eingesetzt werden. Der Lagerraum für die einzusetzenden Substrate für eine reine NawaRo-Biogasanlage besteht meist aus mehreren voneinander getrennten Fahrsilos. Diese Siloanlagen sind nicht überdacht, aber mit einem separaten Sicker- und Regenabwassersystem ausgestattet, welches sicherstellt, dass Abwasser getrennt von dem auf der übrigen Biogasanlage gesammelten Regenwasser abgeführt und anschließend gelagert wird. Durch die Substitution der alternativ eingesetzten Substrate (GPS, Silomais, Zuckerrübe) wird vorhandener Lagerplatz frei. Weil aber die zusätzliche Lagerung des Wirtschaftsdüngers mit anderen Auflagen verbunden ist, kann der freiwerdende Lagerplatz in den meisten Fällen nicht ausgenutzt werden. Weiterhin kommt hinzu, dass entsprechend der unterschiedlichen Energiedichte der jeweiligen Substrate unterschiedliche Substratmengen und somit Lagermöglichkeiten benötigt werden. Durch den zukünftigen Einsatz von Wirtschaftsdüngern wird nicht nur ein im Verhältnis energieärmeres Substrat eingesetzt, sondern auch eines, an das differenzierte und aufwendigere Lagerungsanforderungen gestellt werden als an NawaRo. Die Lagerung von festem Wirtschaftsdünger (HTK, Geflügelmist, Tret- und Festmist) kann nach einer Umstellung in zwei Varianten erfolgen.

1. Der angelieferte Wirtschaftsdünger wird auf einer befestigten Platte (Beton/Asphalt) abgeladen. Ein bereits vorhandenes Fahrsilo könnte theoretisch dazu genutzt werden, jedoch wird innerhalb der vorhandenen Möglichkeiten nicht über das gesamte Kalenderjahr genügend Platz vorhanden sein. Daher muss eine neue Lagerstätte errichtet werden. Neben dem befestigten Untergrund sollte auch eine sogenannte Gegenschneide mindestens an einer Seite des Lagerplatzes vorhanden sein, um den gelagerten Wirtschaftsdünger dort problemlos wieder aufnehmen zu können. Die Verpflichtung zur Abdeckung zwecks Immissionsreduktion könnte in diesem Fall durch ein kostengünstiges, aber sehr zeit- und arbeitsintensives Abdecken mit einem Rübenvlies sichergestellt werden.
2. Die Lagerung des festen Wirtschaftsdüngers zieht eine größere Baumaßnahme nach sich. Aufgrund der Verpflichtung, Immissionen zu reduzieren, indem der Wirtschaftsdünger abgedeckt bzw. überdacht gelagert wird, wird ein zusätzliches Gebäude auf der Anlage errichtet, das neben der einseitig offenen Lagerhalle für den Wirtschaftsdünger einen Büro-/ Werkstatt-/ Garagenteil umfassen kann. Das reine Lager sollte dabei mindestens 100 m³ umfassen, um auch die entsprechenden Mengen inkl. Pufferbestände für mindestens 10 Tage aufnehmen zu können. Auch hier muss einseitig eine feste Betonmauer integriert werden, sodass bei erneutem Aufnehmen des Ladegutes keine Probleme entstehen.

Lagereinrichtungen (flüssige Einsatzstoffe)

Annahmegemäß verfügt die reine NawaRo-Anlage über keine Lagerkapazitäten für flüssige Wirtschaftsdünger. Gemäß den gesetzlichen Vorschriften muss eine Lagerung für flüssige Wirtschaftsdünger folgende Kriterien erfüllen: Die Lagerstätte muss garantieren, dass der Inhalt emissionsfrei gelagert werden kann. Dies bedeutet, dass der Behälter zum einen mit einer doppelwandigen Hülle ausgestattet und zum anderen gegen Emissionen in die Umgebungsluft nach oben hin verschlossen sein muss. Um dies sicherstellen zu können, gibt es zwei gängige Varianten, den Hoch- und den Tiefbehälter. Der Hochbehälter ist ungefähr einen Meter in die Erde eingelassen und wird je nach Bedarf nach oben hin aufgebaut. Verschlossen ist dieser Behälter in der Regel mit einer leichten Betondecke. Der Tiefbehälter schließt in der Regel mit der angrenzenden Bodenoberfläche bündig ab. Der Betondeckel ist meist befahrbar und verfügt über einen kleinen Schachtdeckel, über den der flüssige Wirt-

schaftsdünger in den Behälter eingelassen werden kann. Der Tiefbehälter hat den Vorteil, dass die anliefernden Fahrzeuge über keine eigene Pumptechnik verfügen müssen, sondern den fließfähigen Wirtschaftsdünger problemlos in die Grube ablaufen lassen können. Je nach Geländebeschaffenheit kann diese Variante der Lagerung jedoch zu Problemen führen. In sehr felsigem Untergrund oder in Gebieten mit hohem Grundwasserbestand ist diese Variante mit hohen Erstellungs- oder Unterhaltskosten verbunden. Daher wird in der Regel der Hochbehälter verbaut. Ebenso ist weitere Pumptechnik nötig, um den flüssigen Wirtschaftsdünger in den Gärprozess einbringen zu können.

Gärstrecke

Entlang der gesamten Gärstrecke müssen Erneuerungen und/oder Veränderungen vorgenommen werden, um u.a. der veränderten Viskosität, Zusammensetzung und Verweildauer sowie den anderen Wärmeleiteigenschaften des Substrates gerecht zu werden. Zu den notwendigen Maßnahmen zählen in Abhängigkeit von der Art und dem Volumen des eingesetzten Wirtschaftsdüngers Veränderungen in der Eintrags-, Rührwerks-, Steuerungs- und Pumptechnik, in der Bereitstellung des Volumens des Haupt- und Nachvergärers und zuletzt des Gärrestlagers. Weiterhin kann es nötig sein, entlang der Gärstrecke Veränderungen vorzunehmen, um evtl. aufgrund der geänderten Einsatzstoffe nötige Zusatzstoffe, z.B. Fällungsmittel o.ä., zuzuführen zu können.

Gärrestlagerung

Die Gärrestlagerung muss bei der Umstellung der Anlage auf Wirtschaftsdünger angepasst werden. Zum einen kann durch die Umwandlung der Anlage ein BImSchG-Genehmigungsverfahren notwendig und die Gärrestlagerung an die neuen rechtlichen Anforderungen angepasst werden. Zum anderen könnte die Novellierung der DüMV in absehbarer Zeit dazu führen, dass sich die Ausbringungsverfahren und die Ausbringungszeiten verändern sowie die Mindestlagerdauer von flüssigem Wirtschaftsdünger von momentan 6 auf 9 Monate erhöht wird. Weiterhin erhöht sich durch die Substitution der vorher eingesetzten energiereicheren Substrate durch die weniger energiereichen Wirtschaftsdünger sowie durch die unterschiedlichen Fugatfaktoren das Gesamtgärsubstratvolumen (KTBL, 2013).

3.5 Logistische Betrachtung

Die Belieferung von Biogasanlagen in den Ackerbauregionen mit Wirtschaftsdünger von tierhaltenden Betrieben aus den Veredelungsregionen verursacht logistischen Aufwand, da der Wirtschaftsdünger über große Distanzen transportiert werden muss. Je nach Lage des abgebenden Betriebes und der aufnehmenden Biogasanlage kann die Transportstrecke 150 bis über 300 Kilometer betragen. Bei diesen Entfernungen ist zu klären, in welcher Art und Weise der Wirtschaftsdünger transportiert werden soll und ob der Transport von Wirtschaftsdünger über so große Distanzen noch einen finanziellen Vorteil mit sich bringt bzw. ab welcher Distanz ein Transport nicht mehr lohnenswert für die Biogasanlage ist. Ferner sollten die Emissionen durch den Straßentransport berücksichtigt werden.

3.5.1 Transportmittel

Bei Entfernungen ab 150 km werden für den Transport von Gülle Lkw mit Gülleauflieger verwendet, die bis zu 27 Tonnen Gülle laden können. Problematisch bei den Gülleaufliegern ist, dass in dem Tank nur Gülle transportiert werden darf. Das hat zur Folge, dass der Lkw kein Transportgut aus den Ackerbauregionen in die Veredelungsregionen mit sich führen kann und somit eine leere Rückfahrt in Kauf nehmen muss.

Kombiliner

Da durch die fehlende Rückfracht für Lkw mit Gülleauflieger die Transportkosten für die Gülle sehr hoch sind und auch aus ökologischen Gesichtspunkten leere Rückfahrten vermieden werden sollten, wurde vor einigen Jahren der Kombiliner entwickelt. Kombiliner sind Auflieger, die getrennte Ladekammern haben und somit sowohl Flüssigfracht als auch Feststoffe transportieren können. Dies ermöglicht es, Gülle aus den Veredelungsregionen in die Ackerbauregionen zu transportieren und auf dem Rückweg Feststoffe zurück in die Veredelungsregionen zu liefern, womit die leere Rückfahrt entfällt und Transportkosten gespart werden können. Für die Rückfracht bietet sich unter anderem Futter für die Tierhaltung an.

Kombiliner gibt es in verschiedenen Variationen. Die GS-Agri zum Beispiel bietet zwei verschiedene Typen von Kombiliner an. Das eine Modell hat die Kammern für die Ladungen hintereinander angeordnet. Die vordere und hintere Kammer wird für Gülle, die mittlere Kammer für Feststoffe genutzt. Das andere Modell hat in der Mitte eine Y-förmige Ladekammer für Feststoffe und seitliche Ladekammern für die Gülle (HESSELBARTH, 2014). Ähnlich ist das Modell von Wiese aufgebaut. In der Mitte des Aufliegers befindet sich eine Mulde, in der Feststoffe transportiert werden können. Die Mulde ist halb umschlossen von der Ladekammer für die Gülle (BENSING, 2013). Bei einem etwas anderen Modell befindet sich mittig vom Auflieger ein runder Tank, in dem die Gülle transportiert werden kann. Die darum herum angeordnete Ladekammer ist für Feststoffe vorgesehen.

Der Nachteil von Kombiliner ist, dass die Nutzlast ungefähr zwei Tonnen geringer ist als bei normalen Aufliegern und sie damit nur eine Nutzlast von ungefähr 24,5 Tonnen haben. Das liegt zum einen daran, dass der Kombiliner über mehrere Wände verfügt, die den Auflieger in die verschiedenen Ladekammern unterteilen. Zum anderen sind Kombiliner größer als normale Auflieger, da die Ladekammern auch für den Fall groß genug sein müssen, dass nur ein Transportgut transportiert wird.

Gülleseparierung

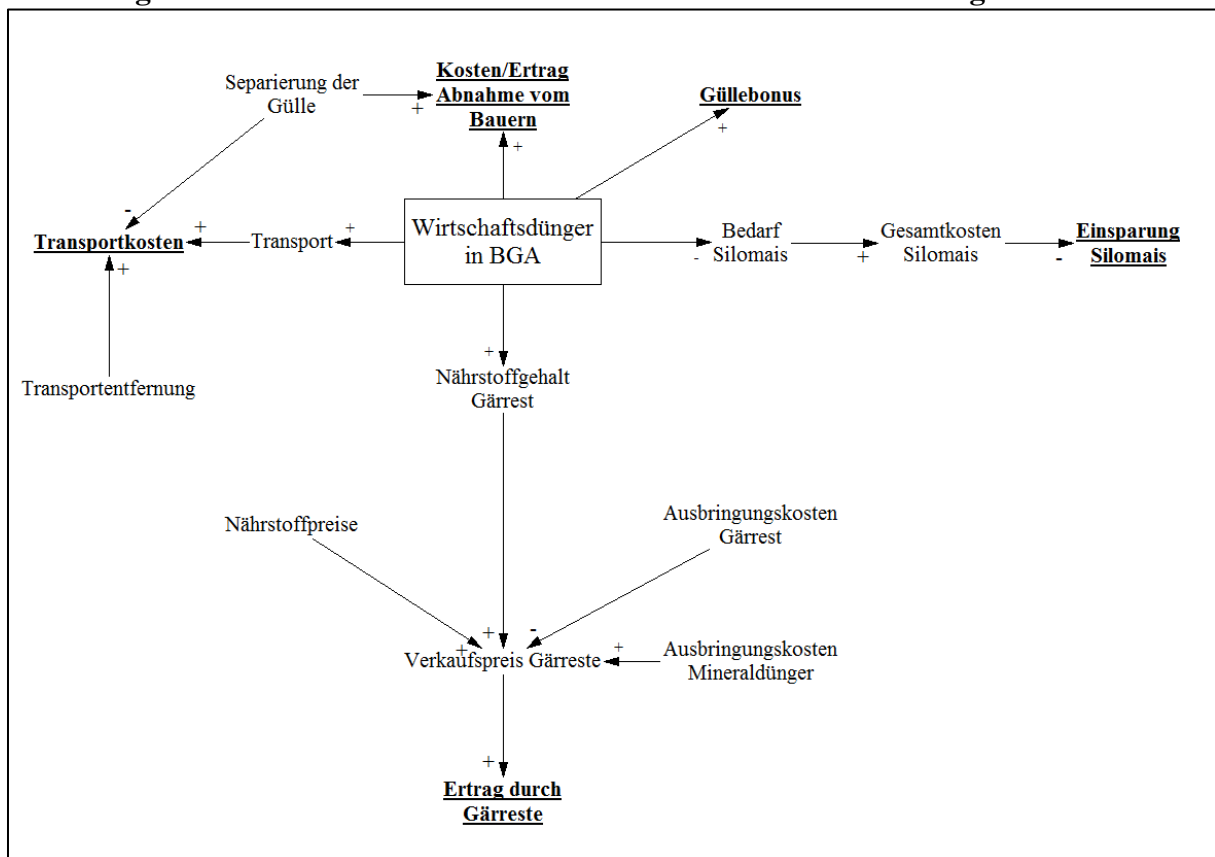
Neben der leeren Rückfahrt ist ein weiteres Problem des Gülletransports in Gülleaufliegern, dass Gülle zu einem großen Teil aus Wasser besteht. Dadurch ist die Menge an Nährstoffen in der transportierten Menge relativ gering (KTBL, 2013). Um die Nährstoffdichte zu erhöhen und damit die transportierte Nährstoffmenge zu vergrößern, kann die Gülle vor dem Transport separiert werden (BRAUCKMANN et al., 2014). Durch die Gülleseparation wird die Gülle in eine feste und eine dünne Fraktion aufbereitet. Die feste Fraktion hat eine wesentlich höhere Nährstoffdichte als normale Gülle und macht damit den Transport effizienter. Des Weiteren handelt es sich um einen Feststoff, der genauso wie der Geflügelmist mit einem Abschiebe- oder einem Kipp-Lkw transportiert werden kann. Dies ermöglicht als weiteren Vorteil auch

den Rücktransport von anderen Feststoffen, die nicht zur menschlichen oder tierischen Ernährung vorgesehen sind.

3.5.2 Finanzielle Auswirkungen des Transports

Für den Wirtschaftsdüngertransport aus der Veredelungsregion in die Ackerbauregion fallen hohe Transportkosten an. Um entscheiden zu können, ob ein Einsatz von Wirtschaftsdünger trotz hoher Kosten in bisherigen NawaRo-Biogasanlagen lohnenswert ist, muss den Transportkosten der Nutzen des Wirtschaftsdüngers gegenübergestellt werden. Abbildung 5 zeigt schematisch, welche Auswirkungen der Einsatz von Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage hat und welche finanziellen Auswirkungen sich daraus ergeben. Die Pfeile in Abbildung 5 zeigen die kausalen Zusammenhänge zwischen den Variablen und Parametern, während die Plus- und Minuszeichen angeben, ob der kausale Zusammenhang gleich- oder entgegengerichtet ist. Ist ein kausaler Zusammenhang gleichgerichtet, so führt eine Zunahme respektive Abnahme bei einer Variablen zu einer Zunahme respektive Abnahme bei der anderen Variablen. Bei einem entgegengerichteten Zusammenhang verhält es sich genau anders herum.

Abbildung 5: Ökonomische Faktoren zum Einsatz von Wirtschaftsdünger in BGA



Quelle: Eigene Darstellung

Durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger steigen der Transportaufwand und damit auch die Kosten des Transports. Zusätzlich sind die Transportkosten aber auch abhängig von der Transportentfernung und davon, ob die Gülle vorher separiert wurde, und folglich davon, ob fester oder flüssiger Wirtschaftsdünger transportiert wird.

Für die Abnahme des Wirtschaftsdüngers vom tierhaltenden Betrieb erhalten die Betreiber einer Biogasanlage je nach Art des Wirtschaftsdüngers entweder eine Vergütung oder es entstehen der Biogasanlage Beschaffungskosten. Aufgrund der gesetzlich limitierten Obergrenze zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen kommt es in den Veredelungsregionen Niedersachsens vermehrt zu Nährstoffüberschüssen (LWK NIEDERSACHSEN, 2013). Um die Tierhaltung in dem momentanen Umfang beibehalten zu können, sind einzelne Betriebe auf die Abgabe von anfallenden Wirtschaftsdüngern angewiesen. Im Zuge dessen sind diese Betriebe bereit, aufnehmenden Betrieben einen gewissen monetären Betrag zur Abnahme dieser überschüssigen Nährstoffe zu bezahlen. Durch die Separierung der Gülle und die damit verbundene Erhöhung der Nährstoffdichte wird der Wert des Wirtschaftsdüngers gesteigert. Dadurch verringern sich zugleich die Abnahmekosten bzw. kann eventuell auch ein Ertrag durch den Verkauf der festen Fraktion der Gülle erzielt werden. Hühnertrockenkot bzw. Geflügelmist hat eine noch höhere Nährstoffdichte und kann aufgrund dessen vom Landwirt verkauft werden.

Wird eine gleichbleibende Leistungsfähigkeit der Biogasanlage angenommen, so substituiert der Einsatz von Wirtschaftsdüngern den Einsatz von Energiepflanzen. Steigt also der Wirtschaftsdüngereinsatz, so sinkt der Bedarf an Energiepflanzen. Die Biogasanlage muss daher weniger Energiepflanzen einkaufen, was zu geringeren Gesamtkosten für den Einkauf von Energiepflanzen führt. Insgesamt kann sich daraus eine Ersparnis für die Biogasanlage durch den Wirtschaftsdüngereinsatz ergeben (vgl. Tabellen 10, 13, 16, 19).

Schließlich ergeben sich durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger Änderungen für den Ertrag, der durch den Gärrest erzielt wird, der als Abfallprodukt von der Biogasanlage an Landwirte als Düngemittel verkauft wird. Durch die Substitution von Energiepflanzen durch Wirtschaftsdünger erhöht sich der Nährstoffgehalt des Gärrests. Die genaue Änderung der Menge an Stickstoff, Phosphat und Kaliumoxid ist dabei abhängig von der Art des eingesetzten Wirtschaftsdüngers. Zur Ermittlung des Verkaufspreises des Gärrests reicht es allerdings nicht aus, einfach die zusätzliche Menge an Nährstoffen mit den Nährstoffpreisen zu bewerten und aufzaddieren. Gärrest hat den Nachteil, dass die Ausbringung auf das Feld höhere Kosten verursacht als die Ausbringung von Mineraldünger. Des Weiteren gibt es bezüglich des Stickstoffes Ausbringungsverluste beim Gärrest, so dass mehr Stickstoff eingesetzt werden muss, um die gleiche Düngewirkung wie beim Einsatz von Mineraldünger zu erreichen. Dies sind zwar Kosten, die nicht direkt in der Biogasanlage anfallen, sondern beim abnehmenden Landwirt, aber diese Kosten spiegeln sich im Verkaufspreis des Gärrests wider und müssen daher berücksichtigt werden.

Den Transportkosten stehen demnach ein möglicher Ertrag für die Abnahme der Gülle, die Einsparung durch die geringeren Gesamtkosten für Energiepflanzen und der erhöhte Ertrag aus dem Verkauf von Gärresten gegenüber. Der kumulierte Ertrag, also die zusätzlichen Einnahmen bzw. Einsparung verringert um die Kosten für den Einsatz von Wirtschaftsdünger, lässt sich formal beschreiben mit der Formel

$$E = EP + GV \pm GA - T$$

wobei E für den kumulierten Ertrag steht, EP für Ertrag aus Energiepflanzeneinsparung, GV für Gärrestverkauf, GA für Gülleabnahme und T für Transportkosten. Die Kosten und Erträge auf der rechten Seite der Gleichung können auch als Funktionen aufgefasst werden, da sie von

verschiedenen Parametern und Variablen abhängig sind. Wie bereits erwähnt, sind zum Beispiel die Transportkosten abhängig von der Transportdistanz, der Art des Wirtschaftsdüngers und dem eingesetzten Transportmittel. Falls die Transportkosten größer sind als die anderen Erträge, ergibt sich ein negativer kumulierter Ertrag, was einen Verlust bedeutet. Auf die genauen Parameter und Berechnungen wird an dieser Stelle nicht eingegangen, sondern erst im nächsten Abschnitt, in dem verschiedene Szenarien vorgestellt werden. Dort wird dann für die einzelnen Szenarien berechnet, welcher kumulierte Ertrag erzielt werden kann bezogen auf eine Tonne (FM) verwendeten Wirtschaftsdünger, um die Transportwürdigkeit zu bewerten. Hierbei ist anzumerken, dass bei dieser Betrachtung nur die direkten finanziellen Auswirkungen berücksichtigt werden, die durch den Einsatz einer gewissen Menge an Wirtschaftsdünger entstehen. Kosten für den Umbau oder Neuanschaffungen zur Verwertung von Wirtschaftsdünger oder anderweitig fixe Kosten, wie sie in Kapitel 3.4 beschrieben wurden, werden nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, dass sämtliche notwendigen Installationen und Geräte bereits vorhanden sind. Damit ist die Entscheidungsfrage, ob zusätzlicher Wirtschaftsdünger aus der Veredelungsregion für eine Biogasanlage in der Ackerbauregion verwendet werden soll, nur abhängig vom oben aufgeführten kumulierten Ertrag E.

3.6 Ökologische Betrachtung

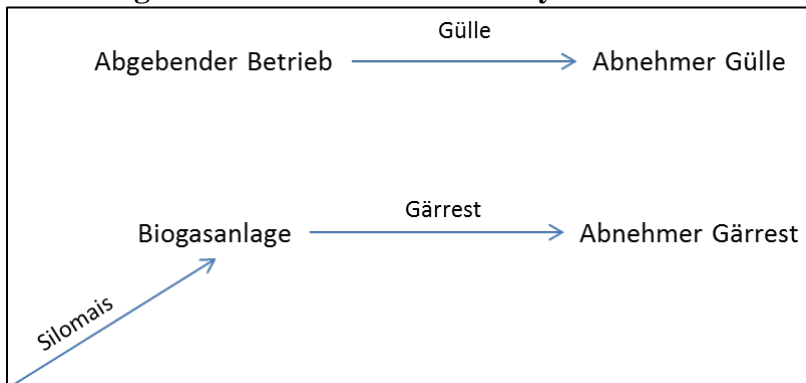
Neben den finanziellen Auswirkungen hat die Substitution von Silomais durch Wirtschaftsdünger auch ökologische Auswirkungen. Da die Auswirkungen durch die Substitution verursacht werden, ist eine Differenzberechnung der ökologischen Folgen sinnvoll. Aus diesem Grund wird hier auf die Erstellung einer kompletten Ökobilanz für die Biogasanlagen verzichtet, zumal eine Ökobilanz der Biogasanlage auch nicht alle ökologischen Folgen der Substitution erfassen würde. Die Differenzberechnung wird für die Wirkungskategorien „Klimawandel“ und „Versauerung“ durchgeführt. Unter Klimawandel sind alle Emissionen zusammengefasst, die zur globalen Erwärmung beitragen. Aufgrund der unterschiedlichen Treibhausgase wird für das Treibhauspotential die Einheit CO₂-Äquivalent verwendet. Für die Versauerung ist hauptsächlich die Emission von Stickoxiden, Ammoniak und Schwefeldioxid ursächlich. Das Versauerungspotential wird in der Einheit SO₂-Äquivalent gemessen.

Referenzsystem

Für die Differenzberechnung ist die Festlegung eines Referenzsystems notwendig. Für das Referenzsystem wird eine Biogasanlage aus der Ackerbauregion in Südniedersachsen herangezogen, die in SCHMEHL et. al (2012) betrachtet wird. Es wird angenommen, dass der Wirtschaftsdünger im Status Quo direkt in der Veredelungsregion ausgebracht wird und dort keinen Düngewert besitzt. Für den Transport des Wirtschaftsdüngers wird angenommen, dass die Entfernungen so gering sind, dass sie nicht weiter berücksichtigt werden müssen. Entsprechendes wird angenommen für den Transport des Silomais, der durch den Wirtschaftsdünger ersetzt wird. Der Wirtschaftsdünger liegt im Referenzsystem dabei jeweils immer in der Form vor, die jeweils in den Szenarien betrachtet werden. Für die Substratmischung der Biogasanlage wird angenommen, dass sie aus 8.040 t Silomais, 1.800 t Zuckerrüben, 1.800 t GPS und 360 t Getreidekörnern besteht. Der Gärrest der Anlage wird zur Düngung in der näheren Umgebung eingesetzt. In Abbildung 6 sind die Stoffströme des Referenzsystems dargestellt. Die

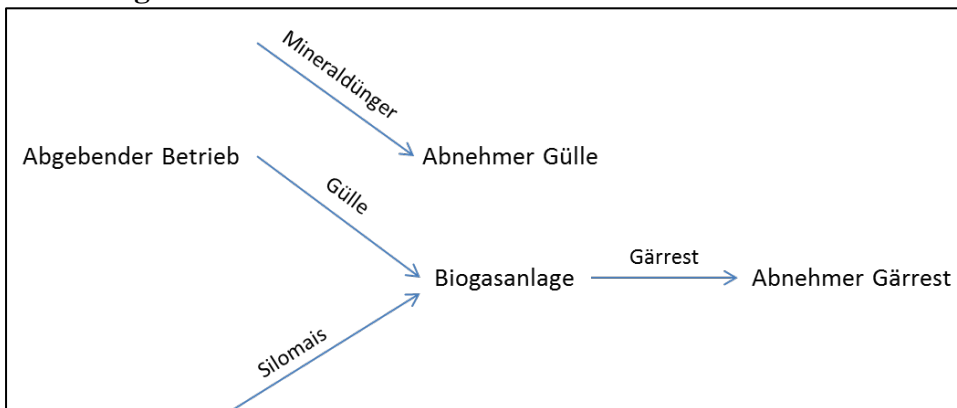
veränderten Stoffströme aufgrund des Einsatzes der Gülle in der Biogasanlage sind in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 6: Stoffströme im Referenzsystem



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 7: Stoffströme in den Szenarien

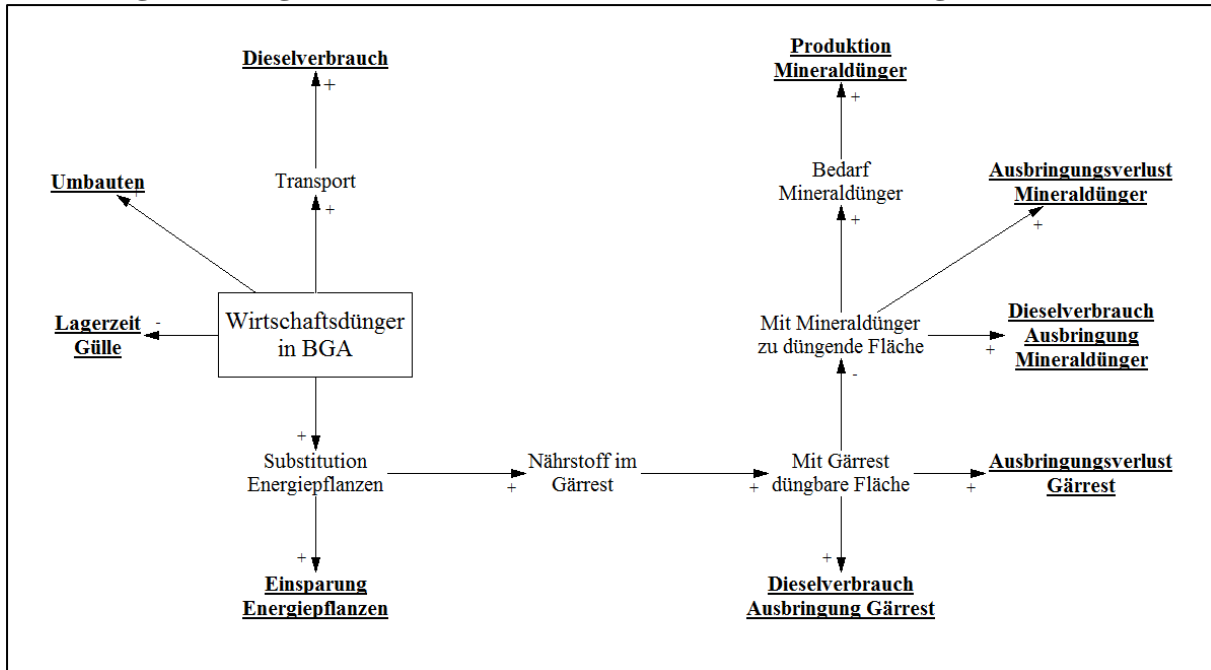


Quelle: Eigene Darstellung

Ökologische Auswirkungen

Der Einsatz von Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage hat Auswirkungen auf verschiedene Bereiche, was wiederum zu einer veränderten Emission in diesen Bereichen führt. Die Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Änderungen, die im Folgenden noch erläutert werden. Die Pfeile in der Abbildung 8 zeigen die kausalen Zusammenhänge zwischen den Variablen und Parametern, während die Plus- und Minuszeichen angeben, ob der kausale Zusammenhang gleich- oder entgegengerichtet ist. Durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger aus der Veredelungsregion in einer Biogasanlage der Ackerbauregion entstehen zusätzliche Emissionen durch den Transport. Der Wirtschaftsdünger muss aus der Veredelungsregion in die Ackerbauregionen transportiert werden, was große Transportdistanzen zur Folge hat. Durch die großen Transportentfernungen erhöht sich der Dieserverbrauch erheblich, was wiederum zu den zusätzlichen Emissionen führt. Zur Berechnung der zusätzlichen Emissionen in den Szenarien wurden mit Hilfe von GEMIS (Version 4.9) die CO₂- und SO₂-Äquivalente von einem Liter Diesel (Diesel-DE-2020) sowie der durchschnittliche Dieserverbrauch eines Lkw mit 40 t Gesamtgewicht bei einer angenommenen Fahrtaufteilung von 10 % innerorts, 30 % außerorts und 60 % Autobahn (Lkw-Diesel-40 t-Zug-DE-2020-Basis) bestimmt. Die Berechnung ergab einen CO₂-Äquivalent von 2,8653 kg/l und einen SO₂-Äquivalent von $3,56 \cdot 10^{-5}$ kg/l. Für den Verbrauch errechnete sich ein Wert von 37,703 l pro 100 km.

Abbildung 8: Ökologische Faktoren bei Einsatz von Wirtschaftsdünger in der BGA



Quelle: Eigene Darstellung

Weitere Auswirkungen durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage ergeben sich für die Lagerzeit der Gülle. Wird Gülle als Dünger verwendet, so entstehen Lagerzeiten, die im Vergleich zu den Lagerzeiten bei der Verwendung in einer Biogasanlage wesentlich länger sind. Während der Lagerung von Wirtschaftsdünger entstehen unvermeidbar Emissionen von Methan. Durch die verkürzte Lagerzeit bei der Verwendung in einer Biogasanlage wird auch die Menge an Emissionen vermindert, da ein Großteil des Methans für die Energiegewinnung eingesetzt wird. Für die Szenarien wird jeweils angenommen, dass sich die Emissionen durch Verwendung in einer Biogasanlage um 90 % verringern. Ausgehend von den Emissionsfaktoren nach RÖSEMANN et al. (2013) ergeben sich beim Geflügelmist eine Einsparung von 56,51 kg CO₂-Äquivalent und 7,82 kg SO₂-Äquivalent pro t FM und bei der Schweinegülle eine Einsparung von 53,41 kg CO₂-Äquivalent und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro t FM.

In Relation zum Referenzsystem ändert sich auch die Menge an benötigtem Mineraldünger. Durch die Verwendung des Wirtschaftsdüngers in der Biogasanlage erhöht sich der Nährstoffgehalt des Gärrests. Dies hat zur Folge, dass Mineraldünger eingespart werden kann. Für die Berechnung der zusätzlichen Emissionen ist zu berücksichtigen, welche Menge an Mineraldünger äquivalent ist zum Gärrest. So ersetzt der Stickstoff im Gärrest nur rund 60 % Stickstoff aus Mineraldünger (GUTSER et al., 2010). Phosphat und Kaliumoxid aus dem Gärrest hingegen ersetzen im gleichen Maße Phosphat und Kaliumoxid aus Mineraldüngern. Die eingesparten Mengen sind dann mit den produktionsbedingten Emissionen zu bewerten. In Tabelle 6 sind die produktionsbedingten Emissionen von Mineraldünger aufgeführt (aus Umberto-Datenbank). Da der Wirtschaftsdünger nicht für die Düngung verwendet wird, ergeben sich weitere Auswirkungen. Durch die Änderung der Stoffströme ändern sich die Gesamtmengen an Gärrest und Mineraldünger, die für die Düngung verwendet werden im Vergleich zum Referenzsystem. Beiden ist gleich, dass bei der Ausbringung auf das Feld Emissionen entstehen, da Ammoniak sich in die Atmosphäre löst.

Tabelle 6: Emissionswerte für die Produktion von Mineraldünger

CO ₂ -Äquivalent Produktion Stickstoff kg/kg	7,51
CO ₂ -Äquivalent Produktion Phosphat kg/kg	1,19
CO ₂ -Äquivalent Produktion Kaliumoxid kg/kg	0,67
SO ₂ -Äquivalent Produktion Stickstoff kg/kg	0,03
SO ₂ -Äquivalent Produktion Phosphat kg/kg	0,02
SO ₂ -Äquivalent Produktion Kaliumoxid kg/kg	0,0011

Quelle: Eigene Darstellung

Weil bei der Ausbringung auf das Feld bei den unterschiedlichen Düngemitteln unterschiedliche Emissionen von Ammoniak (NH₃) in die Atmosphäre entstehen, ändern sich die Emissionen durch die Ausbringungen im Vergleich zum Referenzsystem. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass keine Emissionen mehr bei der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers entstehen, wie es im Status Quo der Fall ist. In Tabelle 7 sind die Emissionen der verschiedenen Düngemittel aufgeführt (basierend auf den Emissionsfaktoren nach RÖSEMANN et al. (2013)).

Tabelle 7: Emissionswerte durch die Ausbringung verschiedener Düngemittel

CO ₂ -Äquivalent Ausbringung Gärrest kg/t	5,67
CO ₂ -Äquivalent Ausbringung Mineraldünger kg/t	5,77
CO ₂ -Äquivalent Ausbringung Schweinegülle kg/t	5,73
CO ₂ -Äquivalent Ausbringung Geflügelmist (Hühnertrockenkot) kg/t	5,92
SO ₂ -Äquivalent Ausbringung Gärrest kg/t	0,22
SO ₂ -Äquivalent Ausbringung Mineraldünger kg/t	0,02
SO ₂ -Äquivalent Ausbringung Schweinegülle kg/t	0,10
SO ₂ -Äquivalent Ausbringung Geflügelmist (Hühnertrockenkot) kg/t	0,29

Quelle: Eigene Darstellung nach RÖSEMANN et al. (2013)

Wie bereits erwähnt, substituiert der Wirtschaftsdünger angebaute Energiepflanzen für die Biogasproduktion. Dadurch sinkt der absolute Bedarf an Energiepflanzen und landwirtschaftliche Nutzfläche wird zur Kultivierung alternativer Feldfrüchte frei. Die Emissionen für den Anbau der substituierten Energiepflanzen können also durch die Verwendung des Wirtschaftsdüngers in der Biogasanlage eingespart werden. Die Emissionen, die bei der Produktion von Energiepflanzen entstehen, sind in Tabelle 8 aufgeführt (SCHMEHL et al., 2012).

Tabelle 8: Emissionswerte für die Produktion von Energiepflanzen

CO ₂ -Äquivalent Anbau Silomais kg/t FM	72,41
CO ₂ -Äquivalent Anbau GPS kg/t FM	72,47
CO ₂ -Äquivalent Anbau Zuckerrüben kg/t FM	443,14
CO ₂ -Äquivalent Anbau Getreidekörner kg/t FM	40,53
SO ₂ -Äquivalent Anbau Silomais kg/t FM	0,89
SO ₂ -Äquivalent Anbau GPS kg/t FM	0,59
SO ₂ -Äquivalent Anbau Zuckerrüben kg/t FM	1,56
SO ₂ -Äquivalent Anbau Getreidekörner kg/t FM	0,16

Quelle: Eigene Darstellung

Durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger sind auch Umbauten an der Biogasanlage erforderlich, wie bereits in Kapitel 3.4 beschrieben wurde. Die Materialaufwendungen für diese Umbauten erhöhen zusätzlich die Emissionen. Die Berechnungen für die Szenarien wurden mit Umberto durchgeführt und basieren auf den vorhandenen Berechnungen für die Referenzbio-

gasanlage aus SCHMEHL et al. (2012). Bei den Berechnungen werden Materialaufwendungen für die Umbauten auf 20 Jahre abgeschrieben. Aufgrund der Komplexität der Berechnungen wird in den einzelnen Szenarien auf die Berechnung nicht weiter eingegangen, sondern es werden nur die Ergebnisse der Berechnungen wiedergegeben.

Schließlich ergeben sich Änderungen für die Ausbringung des Gärrests und des Mineraldüngers. Wie bereits erwähnt, ändern sich die Mengen an Gärrest und Mineraldünger, die auf Ackerflächen ausgebracht werden. Da sich die Düngung mit Gärrest und Mineraldünger unterscheiden und unterschiedliche Emissionen verursachen, muss dies berücksichtigt werden. Zur Berechnung der Emissionsdifferenz wird die Änderung im Dieserverbrauch bestimmt. Dazu wird zuerst bestimmt, welche Flächen an Ackerland mit dem Gärrest im Szenario und im Status Quo düngbar sind. Mit Hilfe des Dieserverbrauchsrechners auf der KTBL-Homepage wird der Dieserverbrauch für diese Flächen bestimmt. Von der Differenz ist der Dieserverbrauch für die Mineraldüngerdüngung der Fläche, die sich aus der Differenz der düngbaren Fläche im Szenario und der düngbaren Fläche im Status Quo ergibt, abzuziehen.

Veränderung der Emissionen

Durch Aufrechnen der Emissionen ergibt sich die Gesamtänderung der Emissionen, die durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage verursacht wird. Die Gesamtänderung lässt sich formal mit der Formel beschreiben:

$$E = T - L - M + A - S + U + D$$

mit E für die Gesamtänderung der Emissionen,
T für die Emissionsänderungen durch die veränderten Transportentfernungen,
L für die Emissionsänderungen durch die Lagerzeitverkürzung,
M für die Emissionsänderung durch die Einsparung an Mineraldünger,
A für die Emissionsänderungen bei den Ausbringungsverlusten,
S für die Emissionsänderungen durch die Substitution von Energiepflanzen,
U für die Emissionsänderungen durch benötigte Umbauten und
D für die Emissionsänderungen durch die veränderte Düngung.

Für die Berechnung in den Szenarien wird für den Transport des Wirtschaftsdüngers eine Entfernung von 150 km angenommen. Es ist allerdings auch möglich, die Emissionen als Funktion in Abhängigkeit von der Transportdistanz darzustellen, da die Transportwürdigkeit des Wirtschaftsdüngers über lange Transportdistanzen eine wichtige Fragestellung ist. Im Kapitel 5 wird darauf weiter eingegangen. In den nachfolgend beschriebenen Szenarien werden die Berechnungen noch genauer aufgeführt. Die Berechnung der gesamten Emissionsänderung bezieht sich jeweils auf ein Jahr.

Landnutzungsänderungen

Die Einsparung an Energiepflanzen hat nicht nur den Vorteil, dass die beim Anbau entstehenden Emissionen eingespart werden. Ackerflächen, deren ursprünglicher Verwendungszweck zu Gunsten des Anbaus von Energiepflanzen geändert wurde, werden durch die Einsparung an Energiepflanzen wieder frei und können anderweitig verwendet werden. Die Auswirkungen der Landnutzungsänderungen werden unterschieden in direkte (direct land-use change, dLUC) und indirekte Auswirkungen (indirect land-use change, iLUC). Die direkten Auswir-

kungen der Landnutzungsänderung beziehen sich auf den Wechsel der angebauten Biomasse und der damit verbundenen Menge an Kohlenstoff, der in der Biomasse gebunden ist. Indirekte Auswirkungen der Landnutzungsänderung entstehen, wenn Flächen für die Lebensmittel- oder Gebrauchsgüterproduktion für andere Zwecke verwendet werden und dafür die Produktion von Lebensmitteln oder Gebrauchsgütern auf anderen Flächen stattfinden muss. Dies gilt auch für den umgekehrten Fall. Für die Berechnung der daraus resultierenden CO₂-Emissionen gibt es verschiedene Ansätze.

Für die folgenden Szenarien werden nur die indirekten Auswirkungen der Landnutzungsänderung untersucht. Dabei beschränkt sich dieser Bericht auf die Berechnung der freigewordenen Ackerfläche durch die Einsparung der Energiepflanzen. Auf eine Berechnung der Einsparung an CO₂-Emissionen wird in diesem Bericht verzichtet.

Die verschiedenen Energiepflanzen, die in den Szenarien durch den Wirtschaftsdünger ersetzt werden, haben einen unterschiedlichen Ertrag pro Hektar. Eine Auflistung der Erträge findet sich in Tabelle 9. Anhand dieser Ertragswerte wird in den Szenarien die freiwerdende Ackerfläche bestimmt.

Tabelle 9: Erträge von Energiepflanzen pro Hektar

Ertrag GPS (t/ha)	48,9
Ertrag Zuckerrüben (t/ha)	71,3
Ertrag Getreidekörner (t/ha)	8,9
Ertrag Silomais (t/ha)	60,8

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHMEHL et al. (2012)

Energiebilanz

In der Energiebilanz wird der energetische Nutzen, der aus der dem Wirtschaftsdünger erzielt werden kann, der Energie gegenübergestellt, die benötigt wird, um diese Energie bereitzustellen. Aus dem Wirtschaftsdünger wird ein energetischer Nutzen erzielt, indem das im Wirtschaftsdünger enthaltene Methan in der Biogasanlage zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt wird. Der Methangehalt des Wirtschaftsdüngers ist dabei abhängig von der Art des Wirtschaftsdüngers. Eine Tonne flüssige Schweinegülle enthält 12 l_n Methan, eine Tonne feste Schweinegülle enthält 35 l_n Methan und im Geflügelmist sind 82 l_n Methan pro Tonne enthalten. Da Methan einen Heizwert von 35,883 MJ/m³ hat (HAHNE, 2010), hat eine Tonne flüssige Schweinegülle einen Heizwert von 0,43 MJ, eine Tonne feste Schweinegülle einen Heizwert von 1,26 MJ und Geflügelmist hat einen Heizwert von 2,94 MJ/t. Dem energetischen Nutzen des Wirtschaftsdüngers steht der Energieverbrauch für den Transport des Wirtschaftsdüngers gegenüber. Der Dieserverbrauch beträgt beim Kipp-LKW pro 150 km und pro Tonne 2,3 l Diesel. Beim Kombiliner beträgt der Verbrauch 2,46 l und der Transport im Gülleauflieger verbraucht 2,94 l Diesel. Da ein Liter Diesel einen Heizwert von 35,4432 MJ hat (HAHNE, 2010), beträgt der Energieaufwand, der für den Transport von einer Tonne Wirtschaftsdünger im Kipp-LKW getätigt werden muss, 81,52 MJ. Analog ergibt sich für den Transport im Kombiliner ein Energieaufwand von 87,19 MJ/t; für den Transport im Gülleauflieger beträgt der Energieaufwand 104,20 MJ/t.

Insgesamt ergibt sich damit für alle betrachteten Wirtschaftsdünger und Transportmöglichkeiten eine negative Energiebilanz. Dabei ist zu berücksichtigen, dass andere positive Effekte wie beispielsweise die Einsparung von Mineraldünger oder Energiepflanzen nicht berücksich-

tigt werden. Für den Transport einer Tonne flüssiger Schweinegülle im Gülleauflieger beträgt der kumulierte Energieaufwand 103,77 MJ und für den Transport im Kombiliner 86,76 MJ. Der Transport von fester Schweinegülle im Kipp-LKW hat einen kumulierten Energieaufwand von 80,26 MJ/t, während der Geflügelmist einen kumulierten Energieaufwand von 78,58 MJ/t hat.

4 Szenariobetrachtung

Um die Mineraldüngersubstitution, die ökonomische Bewertung und letztlich die Ökobilanz des Transports von Gülle aus den Überschusskreisen in Biogasanlagen in der Ackerbauregion und die anschließende ackerbauliche Nutzung der Nährstoffe erfassen zu können, muss eine konkrete Biogasanlage betrachtet werden. Dazu wird eine bereits von SCHMEHL et al. (2012) ökobilanziell bewertete Biogasanlage in Südniedersachsen herangezogen. Die Biogasanlage wurde im Dezember 2005 in Betrieb genommen und unterliegt damit dem EEG 2004. Es handelt sich um eine NawaRo-Anlage, die keine Gülle einsetzt. Die installierte elektrische Leistung beträgt $2 \times 300 \text{ kW}_{\text{el}}$, wobei davon ausgegangen wird, dass die beiden Blockheizkraftwerke zum Zwecke der Vergütung als eigenständige Anlagen betrachtet werden. Die pro Jahr erzeugte Energiemenge an Strom beträgt ca. 5.086 MWh und an Wärme 5.120 MWh. Die Beispielanlage verfügt über ein Reaktorvolumen von 4.400 m^3 im Hauptfermenter und Nachgärer. Entsprechend den Einsatzstoffen, der Rationsgestaltung und der baulichen Gegebenheiten (Eintrags-, Rühr- und Pumptechnik) beträgt die Verweilzeit in der Anlage 134 Tage. Das angeschlossene Gärrestlager umfasst insgesamt 4.500 m^3 in separaten gasdichten Lagerbehältern. Die Wärmenutzung wird zur Trocknung von Getreide, Körnermais und Scheitholz verwendet. Die Anlage erhält den Technologie-Bonus für die Trockenfermentation (TF-Bonus) nach EEG 2004 und setzt Maissilage (67 %¹), Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) (15 %), Zuckerrübe (15 %) und Getreidekörner (3 %) ein. Ausgehend vom Status quo werden verschiedene Szenarien zum Einsatz von Wirtschaftsdünger betrachtet (vgl. Tabellen 10, 20, 33). Das Ziel ist es, die gleiche Biogas-, Strom- und Wärmemenge zu erzeugen wie in der Ausgangssituation. Die jeweils neu hinzugekommene Wirtschaftsdüngerkomponente ersetzt Anbaubiomasse in der Beschickung der Biogasanlage.

Bei den Szenarien 1a-c wird unbehandelte Schweinegülle mit einem Anteil von 33 % bzw. 50 % eingesetzt. Dies orientiert sich am EEG 2009, das zur Erlangung des Güllebonus verlangt, dass jederzeit mindestens 30 % Gülle in die Anlage gefüttert werden müssen. In der Praxis wird in der Regel ein gewisser Zuschlag realisiert. Im Szenario 1a ersetzen 5.619 t Schweinegülle 600 t Maissilage in der jährlichen Ration, was einem Anteil von 33 % entspricht. Im Szenario 1b werden dagegen 700 t der Ganzpflanzensilage durch 5.479 t Schweinegülle substituiert. Im Szenario 1c wird der Schweinegülleanteil von 33 % auf 50 % erhöht und ersetzt somit weitere 1.350 t Ganzpflanzensilage pro Jahr. In der weiteren Auswertung ist dieses Szenario im Vergleich zu Szenario 1b zu betrachten und stellt den Fall dar, dass eine Biogasanlage bereits Gülle zur Erlangung des Güllebonus einsetzt und diesen Anteil steigert um mehr Nährstoffe in den Betrieb aufzunehmen.

¹ Die %-Sätze sind als Gewichtsprozente zu interpretieren.

In den Szenarien 2a-c wird der feste Anteil von mittels Dekantern separierter Schweinegülle eingesetzt und ersetzt in Szenario 2a die Maissilage und in den Szenarien 2b sowie 2c die Ganzpflanzensilage und das Getreide. Im Szenario 2c wird ebenso wie in Szenario 1c der Einsatz von Wirtschaftsdünger von 33 Masse-% an der Gesamtration auf 50 % erhöht. Im Szenario 3 wird der Anteil von Feststoff aus mittels eines Dekantern separierter Schweinegülle auf 100 % gesetzt, so dass keine Anbaubiomasse mehr eingesetzt wird. Die Szenarien 4a-c stellen den Einsatz von Geflügelmist und die Substitution von Maissilage (Szenario 4a) und Ganzpflanzensilage (Szenarien 4b, 4c) dar. Durch den hohen Methanertrag des Geflügelmistes ersetzen bereits 33 % des Inputs die Ganzpflanzensilage, das Getreide und einen Teil des Mais.

Weiterhin wird in den ökonomischen Berechnungen (vgl. Kapitel 4.1.3, 4.2.3, 4.3.3, 4.4.3) davon ausgegangen, dass die jeweiligen Wirtschaftsdünger 150 km transportiert werden müssen. Für die einzelnen Transporte wurde hinterlegt, dass – mit einer Zwischenfahrkilometeranzahl von insgesamt 50 km – eine Beladung für die Hin- und Rücktour zur Verfügung steht. Ebenso ist die Annahme getroffen worden, dass im Falle des Schweinegülle-Dekantern der abgebende Betrieb den Dekanter frei Hof kostenlos bereitstellt. In den folgenden Berechnungen wurde für die betrachtete Biogasanlage die Ausgangssituation angenommen, dass in Erwartung der Novellierung der Düngeverordnung (DüV) die Mindestlagerzeit für Gärreste von 6 auf 9 Monate erhöht wird und dass eine Zaunanlage errichtet werden muss. Die folgenden Tabellen zu den jeweiligen Vergleichen weisen für die einzelnen Szenarien jeweils die monetären Veränderungen zur Ausgangssituation aus. Die Zeilen, die mit n.r. (nicht relevant) versehen sind, besagen, dass an dieser Stelle keine Veränderungen aufgrund der Umstellung der Anlage zu erwarten sind.

4.1 Szenarien 1a-c (Schweinegülle flüssig)

In den Szenarien 1a-c soll ein Schweinegülleeinsatz von 33 Masse-% bzw. 50 Masse-% am Gesamtsubstratinput realisiert werden. Dazu werden zunächst im Szenario 1a pro Jahr ca. 5.600 t Schweinegülle benötigt, die 600 t Mais substituieren. Durch den um ca. 5.000 t/a erhöhten Input reduziert sich die mittlere hydraulische Verweilzeit von 134 Tagen in der Ausgangssituation auf 94 Tage. Eine Verkürzung der mittleren hydraulischen Verweilzeit birgt die Gefahr einer schlechteren Substratausnutzung und höherer Restgaspotentiale im Gärrest. Jedoch tritt eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit erhöhter Restgaspotentiale erst bei Werten unter 75 Tagen auf (BUNDESMESSPROGRAMM BIOGAS II), so dass im gesamten Szenario 1 kein Fermentervolumen zugebaut werden muss.

Hinsichtlich der Vergütung bedeutet der Gülleeinsatz, dass der Trockenfermentationsbonus aus dem EEG 2004 nicht weiter geltend gemacht werden kann. Im Gegenzug kann aber der Güllebonus nach dem EEG 2009 auch unter dem EEG 2014 neu in Anspruch genommen werden. Das Szenario 1b geht ebenso von einem Schweinegülleeinsatz von 33 Masse-% am Input aus. Abweichend zum Szenario 1a ersetzt die Schweinegülle jedoch Ganzpflanzensilage (GPS):

Dazu werden pro Jahr ca. 5.500 t Schweinegülle benötigt, die 700 t Ganzpflanzensilage substituieren. Da die Methanhektarerträge von Getreide-Ganzpflanzen niedriger sind als von Mais,

werden auf dem Ackerbaubetrieb mehr Flächen zum Anbau von Marktfrüchten frei als in Szenario 1a.

Tabelle 10: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall in den Szenarien 1a-c

Benennung	Ausgangssituation		Szenario 1a		Szenario 1b		Szenario 1c	
	NawaRo 100 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle flüssig 50 %	
Beschreibung	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a
Silomais	67	8.040	44	7.440	48	8.040	38	8.040
GPS	15	1.800	11	1.800	7	1.100	2	450
Zuckerrübe	15	1.800	11	1.800	11	1.800	8	1.800
Getreidekörner	3	360	2	360	2	360	2	360
Geflügelmist	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle flüssig	0	0	33	5.619	33	5.479	50	10.567
Schweinegülle Dekanter	0	0	0	0	0	0	0	0
Input		12.000		17.019		16.779		21.217
Gärreste		8.990		14.041		13.835		18.334
N		50		76		75		98
P ₂ O ₅		21		39		38		54
K ₂ O		58		76		74		89

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Im Szenario 1c soll ein Schweinegülleinsatz von 50 Masse-% am Input realisiert werden. Dazu werden pro Jahr ca. 5.600 t Schweinegülle benötigt, die weitere 650 t Ganzpflanzensilage substituieren. Durch den um ca. 5.100 t/a erhöhten Input reduziert sich die mittlere hydraulische Verweilzeit von 94 Tagen bei einem Einsatz von 33 Masse-% Schweinegülle auf 76 Tage. Da erst bei Werten unter 75 Tagen eine Verkürzung der mittleren hydraulischen Verweilzeit mit der Gefahr einer schlechteren Substratausnutzung und höherer Restgaspotentiale im Gärrest einhergeht (BUNDESMESSPROGRAMM BIOGAS II), muss im Szenario 1c ebenfalls kein Fermentervolumen zugebaut werden. Jedoch ist zu empfehlen, das Restgaspotential einer so gefahrenen Anlage regelmäßig zu kontrollieren und im Falle einer Beeinträchtigung der Substratausnutzung Maßnahmen zu ergreifen. Das Szenario 1c ist in Bezug zu Szenario 1b zu setzen; es stellt den Fall dar, dass eine Biogasanlage, die bereits den Güllebonus erhält, den Gülleinsatz weiter steigert.

4.1.1 Bauliche Maßnahmen

Im folgenden Kapitel werden die notwendigen Investitionen aufgezeigt, die sich aus der Umstellung der reinen NawaRo-Biogasanlage (Ausgangssituation) in eine Anlage, die zu 33 Masse-% Schweinegülle in zwei verschiedenen Substrat-Substitutionsvarianten einsetzt (Szenarien 1a+b), ergeben würden. In einem dritten Szenario (1c) wird verdeutlicht, welche Veränderungen nötig werden, wenn eine bestehende Biogasanlage, die bereits zu 33 Masse-% Schweinegülle einsetzt, diesen Anteil auf 50 Masse-% erhöht. In Tabelle 10 werden die Szenarien 1a-c und die beschriebene Ausgangssituation miteinander verglichen (vgl. auch Kapitel 4). Da sich die Substrateinsatzmengen ändern, sind die folgenden baulichen Veränderungen nötig: Um den Güllebonus zu erlangen, wird in der Anlage jetzt zu 33 Vol% Schweinegülle

eingesetzt; daher 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 sicherstellen und zum anderen die gesetzlichen Auflagen bezüglich der Dokumentation einhalten zu können. Weiterhin sind infrastrukturelle Veränderungen auf der Biogasanlage nötig. Wie schon in Kap. 3.4 beschrieben, müssen besonders an den Fahrwegen Änderungen vorgenommen werden, um die Desinfektionsfähigkeit sicherstellen zu können. Das ist dann gegeben, wenn die Fahrbahn aus einer glatten Oberfläche (Teer oder Pflasterstein) besteht, um eine Desinfektionslösung aufbringen zu können. Weiterhin entstehen Kosten für die Erstellung einer Vorgrube zur Lagerung der Gülle. Das Volumen der Grube sollte so ausgelegt sein, dass für mindestens 10 Tage Einsatzstoff zwischengelagert werden kann. Entsprechende Technik, wie z.B. Pumpe, Rührwerk und Eintragstechnik, müssen ebenfalls neu installiert werden. Schließlich muss das Gärrestlager rechnerisch um 6.031 m³ (Szenario 1a) und 5.876 m³ (Szenario 1b) vergrößert werden. Dabei eingerechnet ist bereits die Lagerfähigkeit für mindestens 9 Monate. Für die Szenarioberechnung wurde der Neubau eines 6.500 m³ umfassenden Gärsubstratlagers unterstellt. Die notwendigen baulichen Veränderungen des Szenario 1c im Vergleich zum Szenario 1b sind deutlich geringer. In diesem Fall müssen lediglich das Gärrestlager um praktisch 3.000 m³ und das Vorratsvolumen für Schweinegülle theoretisch um 140 m³ erhöht werden. Um an dieser Stelle eine praktikable und realitätsnahe Annahme zu treffen, wird eine weitere Vorratsgrube von 300 m³ nötig, jedoch ohne zusätzlichen Abtankplatz.

Um die vorhandene Anlage im Szenario 1a und 1b auf den Einsatz von 33 Vol% Schweinegülle umzubauen, ist eine Investitionsvolumen von ca. **482.000 €** nötig. Dem gegenüber stehen die Kosten aufgrund der unterstellten gesetzlichen Forderung nach Lagerkapazitätserhöhung (von 6 auf 9 Monate) in der Ausgangssituation in Höhe von **243.500 €** (vgl. Tabelle 11). Das Szenario 1c weist lediglich Kosten in Höhe von **272.000 €** auf. Hauptsächlich setzen sich diese aus der Errichtung eines weiteren Substrat- und Gärrestelagers zusammen. Der Vergleich ist jedoch so zu verstehen, dass sich die bestehende Biogasanlage bereits auf dem technischen Ausstattungsstand des Szenarios 1b befindet. Aus diesem Grund sind bspw. auch keine weiteren Kosten im Bereich der Einfriedung oder der Infrastruktur der Biogasanlage notwendig.

Tabelle 11: Investitionsrechnung Szenarien 1a-c

Bemessungsgrößen/ Investitionen	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 1a		Szenario 1b		Szenario 1c	
		NawaRo 100 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle flüssig 50 %	
Methanertrag	Nm³/a	1.325.512		1.325.512		1.325.512		1.325.512	
Substrateinsatzmenge		in %	in t	in %	in t	in %	in t	in %	in t
Silomais		67	8.040	44	7.440	48	8.040	38	8.040
GPS		15	1.800	11	1.800	7	1.100	2	450
Zuckerrübe		15	1.800	11	1.800	11	1.800	8	1.800
Getreidekörner		3	360	2	360	2	360	2	360
Geflügelmist (Gemisch)		0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle flüssig		0	0	33	5.619	33	5.479	50	10.567
Schweinegülle Dekanter		0	0	0	0	0	0	0	0
Substratmenge	t/a	12.000		17.019		16.779		21.217	
Gärreste	t/a	8.990		14.041		13.835		18.334	
vorh. Hauptvermentervolumen	m ³	2.400		2.400		2.400		2.400	
vorh. Nachgärervolumen	m ³	2.000		2.000		2.000		2.000	
vorh. Gärsubstratlager	m ³	4.500		4.500		4.500		4.500	
zusätzl. benötigtes Vergärervolumen	m ³								
zusätzl. benötigtes Gärsubstrat- lager (rechnerisch) praktisch	m ³	2.243	2.500	6.031	6.500	5.876	6.500	2.750	3.000
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									
10.000 € - 40.000 €	pauschal	15.000		25.000		25.000		10.000	
Lager feste Wirtschaftsdünger									
10 Tage Vorrat	t bzw. m ³								
Betonplatte	150 €/m ²								
Betonwand (2,5 m Höhe)	250 €/lfd m								
Bedachung u. Seitenverkleidung	150 €/m ²								
Lager fl. Wirtschaftsdünger									
10 Tage Vorrat	m ³			154		150		290	
Tief- oder Hochbehälter	120 €/m ³			300 m ³	36.000	300 m ³	36.000	300 m ³	36.000
Rührwerk 8.000 €/Stck.	€			8.000		8.000		8.000	
Abtankplatz	160 €/m ²			7.680		7.680			
Leitung und Elektrik	pauschal			10.000		10.000		5.000	
Hauptvermenter/Nachgärer									
Vermenter	€								
Nassvermahlung integriert	pauschal €								
zusätzliche Rührwerke	€								
evtl. modifizierte Eintragstechnik	pauschal €			10.000		10.000			
zusätzliche Heizleitung	pauschal €			5.000		5.000		5.000	
Gärsubstratlager									
Lagerraum	€/m ³	73	182.500	44	286.000	44	286.000	54	162.000
Rührwerk 8.000 €/Stck.	€	16.000		16.000		16.000		16.000	
Zuwegung/Entnahmestation									
Rohrleitungen/Technik/Elektrik	pauschal €	30.000		30.000		30.000		30.000	
Investitionssumme	€	243.500		482.180		482.180		272.000	

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2009c), KTBL (2013), EXPERTENINTERVIEW (2014)

4.1.2 Transporte

Um die Transportwürdigkeit der flüssigen Schweinegülle für dieses Szenario zu bewerten, wird der kumulierte Ertrag, also die zusätzlichen Einnahmen bzw. die Einsparung verringert um die Kosten, für eine transportierte Tonne Gülle in Abhängigkeit von der Transportentfernung bestimmt. Zur Berechnung des kumulierten Ertrags wird wie in Abschnitt 3.5 skizziert vorgegangen. Darauf aufbauend werden die Gesamterträge für die Transporte aus den Landkreisen der Veredelungsregion in ausgewählte Landkreise der Ackerbauregion (Göttingen, Uelzen, Helmstedt, Hildesheim und Gifhorn) bestimmt. Zur Bestimmung der Distanzen zwischen den Landkreisen wurden mit dem Programm ArcGIS die Schwerpunkte der Landkreise festgestellt. Darauffolgend wurden die kürzesten Wege zwischen den Schwerpunkten mit Google Maps berechnet. Die berechneten Distanzen sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Ausgewählte Entfernungen (km) zwischen Veredelungs- und Ackerbau-region

Entfernung von/nach	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	315	237	268	228	248
Diepholz	229	211	181	142	165
Emsland	345	283	313	274	294
Grafschaft Bentheim	320	319	319	280	301
Oldenburg	280	205	233	193	213
Osnabrück	226	233	225	186	208
Vechta	313	238	266	227	246

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Transportkosten

Da im Szenario 1a flüssige Schweinegülle als Substitutionsgut für den Silomais verwendet wird, kann als Transportmittel nur ein Kombiliner oder ein Gülleauflieger verwendet werden. Der Transport mit einem Gülleauflieger hat den Nachteil, dass es keine Rückfracht gibt. Somit müssen sämtliche Kosten für die Hin- und Rückfahrt als Transportkosten der Gülle betrachtet werden. Für einen Gülleauflieger mit 26 Tonnen Ladung und einem Stundensatz von 70 € ergeben sich fixe Kosten von 2,60 € pro Tonne Gülle und variable Kosten von 8,50 ct/km pro Tonne Gülle (ALBERS et al., 2014). Die Transportkostenfunktion in Abhängigkeit der Distanz (d) pro Tonne Gülle für den Gülleauflieger lautet daher:

$$T(d) = 2,6 \text{ €} + d \text{ km} \cdot 0,085 \text{ €/km}$$

Wird die Gülle mit einem Kombiliner transportiert, verringern sich die Transportkosten, da es eine Rückfracht gibt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass zusätzliche Leerfahrten entstehen können zwischen dem Ort des Auf- bzw. Abladens von Gülle und dem Ort des Auf- bzw. Abladens der Rückfracht. Bei angenommenen Zwischenfahrten mit einer Länge von jeweils 25 km, einer Ladung von 24,5 Tonnen und einem Stundensatz von 74 € ergeben sich für den Kombiliner fixe Transportkosten von 4 € pro Tonne Gülle (beinhaltet die Kosten für die Zwischenfahrten). Die variablen Kosten betragen 5 ct/km pro Tonne Gülle (ALBERS et al., 2014), womit sich die folgende Transportkostenfunktion ergibt:

$$T(d) = 4 \text{ €} + d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Es zeigt sich, dass im Vergleich zum Kombiliner die Transportkosten pro Tonne Gülle beim Gülleauflieger aufgrund der leeren Rückfahrt deutlich teurer sind, obwohl der Gülleauflieger 1,5 Tonnen mehr Gülle transportieren kann. Bei den fixen Kosten für die Zwischenfahrten und das Auf- bzw. Abladen ist der Gülleauflieger günstiger, da es keine Zwischenfahrten gibt. Ein Gleichsetzen der Transportfunktionen und anschließendes Auflösen der Gleichung nach der Distanz (d) ergibt, dass ab einer Transportentfernung von 40 km der Transport mit dem Kombiliner günstiger ist. Da sämtliche Distanzen aus der Tabelle 12 über 100 km betragen, ist für diese Transporte unter den getroffenen Annahmen der Kombiliner immer günstiger als der Gülleauflieger.

Kosten/Ertrag Abnahme des Wirtschaftsdüngers

Für die Abgabe von flüssiger Schweinegülle sind die Landwirte in den Veredelungsregionen bereit, Geld zu bezahlen. Durch das hohe Aufkommen an Gülle kann nicht alles selber verwendet werden, und eine Entsorgung ist sehr teuer. Dazu kommt, dass die Schweinegülle einen niedrigen Nährstoffgehalt hat. Es wird angenommen, dass der Landwirt der Biogasanlage 12 € pro abgenommene Tonne Gülle bezahlt.

Einsparung Energiepflanzen

Durch den Einsatz von 33 % flüssiger Schweinegülle werden 600 t Silomais durch 5.619 t Schweinegülle substituiert. Damit ersetzt eine Tonne Gülle 0,107 t Silomais. Für den Kauf und Transport einer Tonne Silomais werden Kosten von 34 € angenommen. Damit werden durch jede Tonne Schweinegülle 3,64 € für den Kauf von Silomais eingespart.

Ertrag Gärrest

Der Gärrest von einer Tonne Silomais enthält 4,3 kg Stickstoff, 1,8 kg Phosphat und 5,1 kg Kaliumoxid. Im Vergleich dazu hat der Gärrest von einer Tonne flüssiger Schweinegülle 5 kg Stickstoff, 3,2 kg Phosphat und 3,7 kg Kaliumoxid. Da eine Tonne flüssige Schweinegülle 0,107 Tonnen Silomais substituiert, erhöhen sich die Nährstoffe des Gärrests durch die Substitution um 4,54 kg für den Stickstoff, 3,01 kg für das Phosphat und 3,15 kg für Kaliumoxid pro Tonne flüssiger Schweinegülle. Bei angenommenen Preisen von 0,67 €/kg für Stickstoff, 0,71 €/kg für Phosphat und 0,60 €/kg für Kaliumoxid (Stand: 30.07.2014), ergibt dies für die erhöhte Nährstoffmenge des Gärrestes einen Mehrwert von 5,85 € pro Tonne flüssiger Schweinegülle. Dabei wird berücksichtigt, dass der Stickstoff im Gärrest im Mittel nur zu 60 % Mineraldünger substituiert (GUTSER et al., 2010).

Davon abzuziehen sind die erhöhten Ausbringungskosten, da diese für Gärreste größer sind als für Mineraldünger. Ein Vergleich der Ausbringungskosten ist im Allgemeinen sehr schwierig, weil sie von verschiedenen Faktoren wie der Gärrestzusammensetzung, der Mechanisierung oder der Anbaukultur auf dem Feld abhängig sind. Aus diesem Grund wird zur Vereinfachung bei der Berechnung nur der Stickstoff betrachtet und es wird angenommen, dass der Bedarf an Stickstoff 70 kg/ha beträgt. Des Weiteren wird unterstellt, dass eine Tonne Gärrest ein Volumen von einem m³ hat.

Die Beispiel-Biogasanlage produziert 14.041 t Gärrest, in dem 75.963 kg Stickstoff enthalten sind. Mit der Annahme, dass eine Tonne Gärrest ein Volumen von einem m³ hat, ergibt sich ein Stickstoffgehalt von 5,41 kg/m³, wovon aber nur 3,25 kg/m³ anrechenbar sind aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 %. Der Bedarf an Gärrest beträgt somit 21,56 m³/ha. Die Ausbringungskosten für dieses Volumen bei einer mittleren Mechanisierung, einer

Schlaggröße von 15 ha und einer Gärrestlager-Feld-Entfernung von 5 km betragen ca. 3,55 €/m³ (KTBL, 2009a). Umgerechnet auf einen Hektar ergeben sich Ausbringungskosten von 76,55 €/ha. Für die Ausbringung des Mineraldüngers wird eine Düngung mit losem Dünger angenommen, der mit einem Anhängeschleuderstreuer ausgebracht wird. Des Weiteren wird eine Traktornennleistung von 54 kW unterstellt, eine Arbeitsbreite von 24 m, eine Ausbringungsmenge von 300 kg/ha und eine Schlaggröße von 20 ha. Unter diesen Annahmen betragen die Ausbringungskosten pro Hektar 5,09 € (KTBL, 2009b). Der Vergleich zeigt, dass die Ausbringung von Gärrest pro Hektar 71,46 € teurer ist als die Ausbringung von Mineraldünger. Da die Substitution des Silomais mit einer Tonne flüssiger Schweinegülle die Menge an Stickstoff um 4,54 kg erhöht, können 0,0389 ha zusätzlich mit Gärrest gedüngt werden. Somit entstehen durch die Substitution zusätzliche Ausbringungskosten von 2,78 €. Verrechnet mit dem Mehrwert aus der erhöhten Nährstoffmenge ergibt sich insgesamt ein Ertrag von 3,07 €

Kumulierter Ertrag

Werden sämtliche anfallenden Kosten und Erträge aufaddiert, die der Transport der Schweinegülle mit sich führt, so ergibt sich für den kumulierten Ertrag für den Einsatz einer Tonne flüssiger Schweinegülle eine Funktion in Abhängigkeit von der Transportdistanz d . Für den Transport mit dem Gülleauflieger lautet diese Funktion:

$$E(d) = 17,10 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,085 \text{ €/km}$$

Die Funktion für den Transport mit dem Kombiliner lautet:

$$E(d) = 15,70 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Die Tabelle 13 zeigt die Erträge/Verluste für die Transporte mit einem Kombiliner aus den Veredelungsregionen in die Landkreise Göttingen, Uelzen, Helmstedt, Hildesheim und Gifhorn bezogen auf eine Tonne Schweinegülle. Bei einigen Landkreiskombinationen entstehen Verluste durch den Transport der Gülle. Die Distanz, ab welcher ein Verlust entsteht, beträgt 314 km. Ab dieser Entfernung sind die Kosten für den Transport höher als die oben beschriebenen Einnahmen und Einsparungen.

Tabelle 13: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 1a

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	-1,05 €	2,84 €	1,32 €	3,28 €	2,30 €
Diepholz	3,26 €	4,14 €	5,65 €	7,59 €	6,47 €
Emsland	-2,55 €	0,54 €	-0,96 €	1,00 €	0,02 €
Grafschaft Bentheim	-1,31 €	-1,26 €	-1,24 €	0,70 €	-0,34 €
Oldenburg	0,71 €	4,45 €	3,08 €	5,04 €	4,06 €
Osnabrück	3,42 €	3,04 €	3,46 €	5,41 €	4,30 €
Vechta	-0,94 €	2,80 €	1,43 €	3,39 €	2,41 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Szenario 1b

Die Transportkosten und der Abnahmeertrag einer Tonne flüssiger Schweinegülle sind unabhängig davon, welche Energiepflanzen durch die flüssige Schweinegülle ersetzt werden. Daher entsprechen diese Werte den Werten aus dem Szenario 1a. Nur für den Ertrag aus Gärrest und der Einsparung bei den Energiepflanzen ergeben sich andere Werte.

Einsparung Energiepflanzen

Durch den Einsatz von 33 % flüssiger Schweinegülle reduziert sich der Einsatz von GPS von 1.800 t auf 1.100 t. Die 700 t werden durch 5.479 t Schweinegülle substituiert. Damit ersetzt eine Tonne Gülle 0,13 t GPS. Für den Kauf und Transport einer Tonne GPS werden Kosten von 35 € angenommen. Damit werden durch jede Tonne Schweinegülle 4,47 € für den Kauf von Energiepflanzen eingespart.

Ertrag Gärrest

Durch die Substitution von 0,13 t GPS durch eine Tonne fester Schweinegülle erhöht sich der Nährstoffgehalt des Gärrests um 4,49 kg, Stickstoff, 3,02 kg Phosphat und 2,96 kg Kaliumoxid. Dies ergibt einen Mehrwert an Nährstoffen von 5,72 € pro eingesetzter Tonne fester Schweinegülle. In diesem Szenario 1b beträgt die Gesamtmenge an Stickstoff im eingesetzten Substrat 75.043 kg. Bei einer Gesamtgärrestmenge von 13.875 t ergibt sich ein Stickstoffanteil von 5,41 kg/m³, von dem nur 3,25 kg/m³ angerechnet werden können aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 %. Somit ergibt sich ein Bedarf von 21,56 m³ Gärrest pro Hektar Ackerfläche. Für diese Ausbringungsmenge betragen die Kosten ca. 3,71 €/m³ (KTBL, 2009a) unter den in Szenario 1a getroffenen Annahmen. Für einen Hektar errechnen sich Ausbringungskosten von 76,58 €/ha. Verglichen mit den Ausbringungskosten von Mineraldünger von 5,09 €/ha entstehen durch die Gärrestdüngung Mehrkosten von 71,49 €/ha. Da aufgrund der zusätzlichen Menge an Stickstoff, die sich durch den Einsatz von einer Tonne fester Schweinegülle ergibt, 0,0385 ha Ackerfläche zusätzlich gedüngt werden können, betragen die Mehrkosten für die Ausbringung 2,75 € pro Tonne Schweinegülle. Zusammen mit dem Mehrwert aufgrund der zusätzlichen Nährstoffe errechnet sich ein zusätzlicher Ertrag aus Gärrest von 2,97 € pro Tonne fester Schweinegülle.

Kumulierter Ertrag

Für den kumulierten Ertrag ergibt sich für den Transport mit dem Gülleaufleger die folgende Funktion in Abhängigkeit von der Transportdistanz d :

$$E(d) = 16,85 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,085 \text{ €/km}$$

Für den Kombiliner lautet die Funktion:

$$E(d) = 15,45 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Bis zu einer Entfernung von 309 km ist der Transport von flüssiger Schweinegülle mit dem Kombiliner damit rentabel. Die Erträge/Verluste der verschiedenen Landkreiskombinationen für den Kombiliner sind in Tabelle 14 enthalten.

Tabelle 14: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 1b

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	-0,31 €	3,58 €	2,06 €	4,02 €	3,04 €
Diepholz	4,00 €	4,88 €	6,39 €	8,33 €	7,21 €
Emsland	-1,81 €	1,28 €	-0,22 €	1,74 €	0,76 €
Grafschaft Bentheim	-0,57 €	-0,52 €	-0,50 €	1,44 €	0,40 €
Oldenburg	1,45 €	5,19 €	3,82 €	5,78 €	4,80 €
Osnabrück	4,16 €	3,78 €	4,20 €	6,15 €	5,04 €
Vechta	-0,20 €	3,54 €	2,17 €	4,13 €	3,15 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Szenario 1c

Die Transportkosten einer Tonne flüssiger Schweinegülle sind unabhängig von der Gesamtmenge an eingesetzter Schweinegülle und bleiben daher ebenso wie der Ertrag für die Abnahme der Gülle gleich. Die Einsparung an Energiepflanzen entspricht für eine Tonne flüssiger Schweinegülle dem Wert der Einsparung aus Szenario 1b, da bei der Erhöhung des Anteils an Wirtschaftsdünger auf 50 % weiterhin nur GPS durch die flüssige Schweinegülle substituiert wird.

Ertrag Gärrest

Da nur GPS durch die flüssige Schweinegülle ersetzt wird, errechnet sich der Mehrwert an Nährstoffen pro Tonne flüssiger Schweinegülle wie in Szenario 1b und beträgt ebenfalls 5,72 € Durch den höheren Einsatz an flüssiger Schweinegülle ändert sich aber der Stickstoffgehalt im Gärrest. Insgesamt enthält der Gärrest eine Stickstoffmenge von 97.883 kg, während die Menge an Gärrest 18.469 t beträgt. Somit ergibt sich ein Stickstoffgehalt von 5,30 kg pro m³ Gärrest, von dem aufgrund des Mineraldüngeräquivalents 3,18 kg/m³ anrechenbar sind. Folglich werden 22,01 m³ Gärrest für ein Hektar benötigt. Für diesen Wert ergeben sich unter den in Szenario 1a genannten Voraussetzungen Ausbringungskosten von ca. 3,54 €/m³ (KTBL, 2009a). Insgesamt betragen damit die Ausbringungskosten für einen Hektar 77,93 €, was unter der Berücksichtigung der Ausbringungskosten für Mineraldünger von 5,09 €/ha zu Mehrkosten der Ausbringung von 72,84 €/ha führt. Mit der Erhöhung an Stickstoff im Gärrest, der sich durch den Einsatz von einer Tonne flüssiger Schweinegülle ergibt, können zusätzlich 0,0385 ha mit Gärrest gedüngt werden. Damit beträgt der Mehraufwand für die Ausbringung 4,25 € pro eingesetzter Tonne Schweinegülle. Verrechnet mit dem Mehrwert durch die Nährstoffe folgt ein Ertrag durch Gärrest von 2,92 € pro Tonne flüssiger Schweinegülle.

Kumulierter Ertrag

Für den kumulierten Ertrag ergibt sich für den Transport mit dem Gülleaufleger die folgende Funktion in Abhängigkeit der Transportdistanz d :

$$E(d) = 16,79 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,085 \text{ €/km}$$

Für den Kombiliner lautet die Funktion:

$$E(d) = 15,39 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Damit erzielen Transporte im Kombiliner mit Entfernungen unter 307,8 km positive Erträge. Die Erträge/Verluste der verschiedenen Landkreiskombinationen für den Kombiliner sind in Tabelle 15 enthalten.

Tabelle 15: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 1c

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	-0,37 €	3,52 €	2,00 €	3,96 €	2,98 €
Diepholz	3,94 €	4,82 €	6,33 €	8,27 €	7,15 €
Emsland	-1,87 €	1,22 €	-0,28 €	1,68 €	0,70 €
Grafschaft Bentheim	-0,63 €	-0,58 €	-0,56 €	1,38 €	0,34 €
Oldenburg	1,39 €	5,13 €	3,76 €	5,72 €	4,74 €
Osnabrück	4,10 €	3,72 €	4,14 €	6,09 €	4,98 €
Vechta	-0,26 €	3,48 €	2,11 €	4,07 €	3,09 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

4.1.3 Ökonomische Bewertung

Um eine umfassende Aussage zur Wirtschaftlichkeit der Szenarien geben zu können, wird in der folgenden Tabelle 16 eine vergleichende Leistungs- Kostenrechnung (LKR) zwischen der Ausgangssituation und den Szenarien 1a-c mit Einsatz von 33 Vol% bzw. 50 Vol% Schweinegülle wiedergegeben. Die in Kap 4.1.1 dargestellten Investitionssummen werden in der LKR in Form der jährlichen Abschreibungen (fixe Kosten) berücksichtigt. Steuerrechtlich werden Technik und Maschinen über 8 Jahre und bauliche Anlagen über 20 Jahre abgeschrieben; entsprechend ist dies in den folgenden Berechnungen berücksichtigt worden. Unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten könnten die baulichen Anlagen aufgrund des Endes der Abschreibung der restlichen Anlagenkomponenten, des Auslaufens der garantierten Vergütung nach EEG etc. auch mit einer Abschreibungszeit von 10 Jahren in die Kalkulationen eingehen. Unter dieser Annahme würden sich die fixen Kosten in den Szenarien 1a+b um ca. 20.000 €/a, in Szenario 1c um ca. 10.000 €/a erhöhen.

Die sich erhöhenden Einnahmen entstehen durch die Möglichkeit der Inanspruchnahme des Güllebonus nach EEG 2009 und durch den möglichen Verkauf von überschüssigem Gärrest. Die Wertigkeit des Gärrests wurde über die Nährstoffzusammensetzung (NPK) je m³ errechnet. Da in der Praxis dieser Wert jedoch aus verschiedenen Gründen (u.a. arbeitstechnische Gründe, Kalkulierbarkeit der Verfügbarkeit etc.) nicht erzielt werden kann, sind nur 50 % des Wertes als Einnahme auf Seiten der Biogasanlage verrechnet worden. Die jährlichen Kosten setzen sich aus variablen und fixen Kosten zusammen. Die Gärsubstratkosten reduzieren sich je nachdem, welches Substrat durch die eingesetzte Schweinegülle substituiert wird. Im Szenario 1a wird der Silomais um 600 t reduziert mit einer Ersparnis von zunächst 20.400 Euro, im Szenario 1b werden 700 t GPS eingespart, was eine Einsparung von 24.500 €herbeiführt. Das Substitut Schweinegülle hingegen verursacht für die Biogasanlage keine weiteren Kosten, da – wie in Kapitel 4 beschrieben – die abgebenden Betriebe den Transport der Gülle bis zu einer Entfernung von 150 km (äquivalent 12 €/m³) bezahlen würden. Durch den geänderten Betriebsablauf und Einsatzstoff erhöhen sich insgesamt die jährlichen variablen Kosten um **24.499 €** bzw. **19.545 €** im Vergleich zum Status Quo. Im Vergleich steigen die variablen Kosten bedingt durch Wartung und Reparatur des größeren Gärsubstratlagers in der Ausgangssituation lediglich um **2.285 €**. Die fixen Kosten erhöhen sich entsprechend der in der Tabelle aufgeführten Kostenarten. Der Zinssatz wurde der aktuellen Kapitalmarktlage angepasst und auf 2 % reduziert. Der gestiegene Arbeitskraftbedarf (0,5 Akh/d) ergibt sich größtenteils durch die erhöhte Büroarbeitszeit zur Organisation sowie Dokumentation des Schweinegülleeinsatzes. Das Szenario 1c ist auch hier in Bezug zu Szenario 1b zu setzen. Die Leistungen des Szenarios 1c liegen noch einmal etwa 22.500 € über denen des Szenarios 1b. Die variablen Kosten reduzieren sich bedingt durch den verringerten Einsatz der GPS zunächst um 22.750 € werden jedoch durch Kosten der erhöhten Menge an auszubringenden Gärresten relativiert. Das Szenario 1c zeichnet sich im Vergleich zu Szenario 1b durch leicht reduzierte variable Kosten aus. Wie in den alternativen Szenarien 1a/1b erhöhen sich die fixen Kosten auch in diesem Szenario. Den bedeutendsten Anteil daran haben die Abschreibungen für die Lagereinrichtungen der Schweinegülle sowie des anfallenden Gärrests. Letztendlich liegt der kalkulatorische Gewinnbeitrag des Szenario 1a bei **-17.229 €**, der des Szenario 1b bei **-12.976 €**.

Tabelle 16: Leistungs-Kostenrechnung Szenarien 1a-c

Leistungs-/Kostenart	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 1a		Szenario 1b		Szenario 1c		
		NawaRo 100 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle flüssig 33 %		Schweinegülle flüssig 50 %		
Gesamtinvestitionssumme	€	243.500		482.180		482.180		272.000		
Abschreibungen										
Technik/Maschinen	8 Jahre	€	31.000	3.875	76.000	9.500	76.000	9.500	49.000	6.125
bauliche Anlagen	20 Jahre	€	197.500	9.875	381.180	19.059	381.180	19.059	213.000	10.650
jährliche Abschreibung		€/a	13.750		28.559		28.559		16.775	
Leistungen										
EEG Einspeisevergütung		€/kW _{el}	0,2073		0,2128		0,2128		0,2128	
Stromerlöse		€/a	1.054.162		1.082.142		1.082.142		1.082.142	
Preis für Wärmeverkauf		€/kW _{th}	0,02		0,02		0,02		0,02	
Wärmeerlöse		€/a	n.r.		n.r.		n.r.		n.r.	
Preis für Gärsubstrat 50 % äquiv. Mineraldünger (P)		€/m ³			4,41		4,41		4,29	
Gärsubstraterlöse		€/a	0		27.118		26.417		22.551	
Summe Leistungen		€/a	1.054.162		1.109.260		1.108.559		1.131.110	
Saldo Summe Leistungen		€/a			55.098		54.397		22.551	
Variable Kosten										
			Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€
Silomais	34	€/t FM	8.040	273.360	7.440	-20.400	8.040	n.r.	8.040	n.r.
GPS	35	€/t FM	1.800	63.000	1.800	n.r.	1.100	-24.500	450	-22.750
Zuckerrübe	30	€/t FM	1.800	54.000	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Getreidekörner	140	€/t FM	360	50.400	360	n.r.	360	n.r.	360	n.r.
Geflügelmist	20	€/t FM	0	0		0		0		0
Schweinegülle flüssig	0	€/m ³	0	0	5.619	0	5.479	0	5.088	0
Schweinegülle Dekanter	12	€/t	0	0	0	0	0	0	0	0
Ausbringung Gärsubstrat	4,14	€/m ³	n.r.		5.051	20.910	4.844	20.056	4.499	18.625
Betriebsstoffe (Strom, etc.)		€/a	n.r.		14.132		14.132		0	
Wartung/Reparaturen	1-1,5 %	€/a	2.285		6.858		6.858		3.930	
Laboranalysen (1x/Monat)		€/a	n.r.		1.500		1.500		0	
Sonstiges		€/a	n.r.		1.500		1.500		0	
Summe Variable Kosten		€/a	2.285		24.499		19.545		-195	
Saldo Summe Variable Kosten		€/a			22.214		17.260			
Fixe Kosten										
Abschreibungen		€/a	13.750		28.559		28.559		16.775	
Zinsen Anlagekapital	2 %	€/a	5.916		11.716		11.716		6.609	
Planungs- und Genehmigungskosten		€/a	750		1.250		1.250		500	
Zinsen Planungs- u. Genehmigungskosten	2 %	€/a	364		607		607		243	
Versicherungen	0,5 %	€/a	1.218		2.411		2.411		1.360	
Netto-Arbeitszeitbedarf		Akh/a	n.r.		183		183		n.r.	
Lohnkosten	18 €/Akh	€/a	n.r.		3.285		3.285		n.r.	
Gemeinkosten		€/a	n.r.		n.r.		n.r.		n.r.	
Summe Fixe Kosten		€/a	21.998		47.828		47.828		25.487	
Saldo Summe Fixe Kosten		€/a			25.830		25.830			
kalkulatorischer Gewinn- beitrag		€/a	-24.283		-17.229		-12.976		-2.741	
Saldo kalkulatorischer Gewinnbeitrag		€/a			7.054		11.307			

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2013), EEG (2009), DLG (2006), GÖRISCH und HELM (2007), EXPERTENINTERVIEW (2014)

Begründet ist dies durch den unterschiedlichen Substrataustausch. Anders ausgedrückt, würde die Umstellung der bestehenden Anlage im Szenario 1a den momentanen Gewinn um 17.229 € und im Szenario 1b um 12.976 € pro Jahr reduzieren. Im Hinblick auf die Ausgangssituation, in der die bestehende Anlage zukünftig das Gärsubstratlager erweitern müsste, wäre ein

theoretischer Vorteil von **7.054 €** bzw. **11.307 €** erzielbar (vgl. Tabelle 16). Die Erhöhung des Schweinegülleeinsatzes von 33 Masse-% auf 50 Masse-% würde unter den getroffenen Annahmen einen geringen Gewinnrückgang zur Folge haben (Szenario 1c).

Unter Berücksichtigung der genannten betriebswirtschaftlichen Abschreibungsmodalitäten (10 statt 20 Jahre) würden sich die jeweiligen kalkulatorischen Gewinnbeiträge um den entsprechenden erhöhten jährlichen Abschreibungsbetrag reduzieren.

4.1.4 Ökologische Bewertung

Zur Beurteilung der Änderung der Emissionen in Bezug zum Referenzsystem werden die im Abschnitt 3.6 erläuterten Emissionsdifferenzen bestimmt.

Transport

Die Änderungen in den Emissionen vom Transport sind abhängig von der Wahl des Transportmittels. Für die flüssige Schweinegülle gibt es die Möglichkeit, den Transport mit einem Kombiliner oder einem Gülleauflieger durchzuführen. Beim Gülleauflieger wird angenommen, dass die Rückfahrt leer ist und somit dem Gülletransport voll zuzurechnen ist. Dazu wird eine Nutzlast von 26 t angenommen. Beim Kombiliner wird davon ausgegangen, dass die Rückfahrt nicht leer ist; sie wird daher nicht dem Gülletransport zugerechnet. Dafür wird aber eine Leerfahrt von 25 km zwischen dem Ort des Abladens und des Aufladens angenommen. Die Nutzlast wird auf 24,5 t festgelegt.

Für die Transportentfernung vom abgebenden Betrieb zur Biogasanlage werden 150 km angenommen. Da die leere Rückfahrt dem Gülletransport zugerechnet wird, ergibt sich für die Leerfahrten dieselbe Fahrdistanz von 150 km. Für die volle Fahrt beträgt der Verbrauch 37,7 l/100 km. Für die Leerfahrt wird ein Verbrauch von 12,3 l/100 km angesetzt bei einem angenommenen Leergewicht von 14 t.

Mit diesen Daten errechnet sich für eine Tonne flüssiger Schweinegülle ein Verbrauch von 2,94 Liter Diesel für den Transport im Gülleauflieger und 2,31 Liter für den Transport im Kombiliner. Da pro Jahr 5.619 t Schweinegülle transportiert werden muss, ergibt sich mit einem CO₂-Äquivalent von 2,8653 kg pro Liter Diesel und einem SO₂-Äquivalent von $3,56 \cdot 10^{-5}$ kg pro Liter Diesel für den Gülleauflieger insgesamt eine Emission von 47.277,77 kg CO₂- und 0,59 kg SO₂-Äquivalent. Für den Kombiliner betragen die jährlichen Emissionen 39.564,90 kg CO₂- und 0,49 kg SO₂-Äquivalent. Der Kombiliner ist somit aus ökologischer Sichtweise günstiger als der Gülleauflieger.

Lagerung

Für die Lagerung ergibt sich, wie bereits im Abschnitt 3.6 erwähnt, bei der Schweinegülle eine Einsparung von 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro t FM. Für das Jahr ergibt sich damit aufgrund der eingesetzten 5.619 t Wirtschaftsdünger eine Emissionseinsparung von insgesamt 300.110,79 kg CO₂- und 6.068,52 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Durch den Einsatz von flüssiger Schweinegülle in der Biogasanlage erhöht sich der gesamte jährliche Nährstoffgehalt des Gärrests um 25.515 kg Stickstoff, 16.900,80 kg Phosphat und

um 17.730,30 kg Kaliumoxid. Aufgrund des höheren Nährstoffgehalts des Gärrests kann die äquivalente Menge an Mineraldünger eingespart werden. Bei Phosphat und Kaliumoxid ist die Menge an eingespartem Mineraldünger gleich. Da aber der Stickstoff im Gärrest nur einen Mineraldüngeräquivalent von 60 % hat (GUTSER et al., 2010), werden nur 15.309 kg Stickstoff an Mineraldünger eingespart. Die Emissionsäquivalente, die während der Produktion der Mineraldünger entstehen, sind in Tabelle 6 im Abschnitt 3.6 aufgeführt. Insgesamt ergibt sich damit eine Abnahme an Emissionen in Höhe von 146.961,84 kg CO₂- und 816.79 kg SO₂-Äquivalenten pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Bei der Ausbringung von Stickstoff auf die Ackerfläche entstehen Ausbringungsverluste, da sich Ammoniak in die Atmosphäre löst. Bekanntermaßen erhöht sich durch den Einsatz der flüssigen Schweinegülle die Stickstoffmenge im Gärrest um 25.515 kg. Dagegen werden 15.309 kg Stickstoff weniger in Form von Mineraldünger verwendet. Berücksichtigt werden müssen auch die 28.095 kg Stickstoff, die im Status Quo in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Kapitel 3.6 ergibt sich für das CO₂-Äquivalent eine Emissionsreduzierung von 104.647,23 kg und für das SO₂-Äquivalent eine zusätzliche Emission von 2.497,62 kg für jedes Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Der jährliche Einsatz von 5.479 kg flüssiger Schweinegülle substituiert insgesamt 600 t Silomais. Bei produktionsbedingten Emissionen von 72,41 kg CO₂- und 0,89 kg SO₂-Äquivalent pro t ergibt sich pro Jahr eine Ersparnis an Emissionen in Höhe von 43.446 kg CO₂- und 534 kg SO₂-Äquivalent.

Umbauarbeiten

Wie bereits in Abschnitt 3.6 erwähnt, wird auf die Ausführung der Berechnungen an dieser Stelle aufgrund der Komplexität verzichtet. Für die Umbauarbeiten ergeben sich zusätzliche Emissionen von 6.338,83 kg CO₂- und 18,6 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Im Szenario erhöht sich die Gärrestmenge durch den Einsatz der flüssigen Schweinegülle auf 14.041 t. Sie enthält insgesamt 75.963 kg Stickstoff, von dem aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % nur 45.578 kg anrechenbar sind. Da die Annahme getroffen wurde, dass eine Tonne Gärrest ein Volumen von einem m³ hat, beträgt die verwendbare Stickstoffmenge 3,25 kg pro m³ Gärrest. Für die Ausbringung des Gärrests wird angenommen, dass ein Pumptankwagen mit einer Füllmenge von 24 m³ und ein Schleppschlauchverteiler mit 12 m verwendet werden. Pro Tankwagen beträgt daher der verwendbare Stickstoff 77,91 kg. Somit kann mit einer Tankfüllung 1,11 ha Ackerfläche gedüngt werden, bei einem angenommenen Stickstoffbedarf von 70 kg/ha. Folglich werden pro Hektar 21,56 m³ Gärrest ausgebracht. Der Dieserverbrauch beträgt gemäß dem Dieserverbrauchsrechner auf der KTBL-Homepage bei dieser Ausbringungsmenge 13,7 l pro Hektar. Insgesamt lassen sich mit der Gesamtmenge an Stickstoff 651 ha Ackerfläche mit Gärrest düngen, was einen Dieserverbrauch von 9.353,95 l zur Folge hat. Von diesem Wert ist der Dieserverbrauch für die Gärrestdüngung im Status Quo und der Dieserverbrauch für die Düngung der Differenzfläche mit Mineraldünger abzu-

ziehen. Differenzfläche bezeichnet hierbei die Menge an Hektar, die im Szenario zusätzlich mit Gärrest im Vergleich zum Status Quo gedüngt werden kann.

Die Berechnung des Dieserverbrauchs für die Düngung mit Gärrest im Status Quo ist analog durchzuführen. Aufgrund der Gärrestmenge von 8.990 t und einem Stickstoffgehalt von 50.448 kg enthält ein m³ Gärrest 3,37 kg anrechenbaren Stickstoff. Ein Tankwagen enthält folglich 80,81 kg anrechenbaren Stickstoff und es kann damit 1,15 ha Ackerfläche gedüngt werden. Die ausgebrachte Menge an Gärrest beträgt 20,79 m³/ha. Für diesen Wert beträgt der Dieserverbrauch 13,4 l/ha gemäß dem Dieserverbrauchsrechner. Die Fläche, welche mit Gärrest gedüngt werden kann, beträgt 432 ha, so dass sich insgesamt ein Dieserverbrauch für die Gärrestdüngung im Status Quo von 5.794,31 l ergibt.

Die Differenzfläche beträgt in diesem Szenario 219 ha. Unter der Annahme, dass der Minereraldünger mit einem 4 m³ (bzw. 4.000 l) Anhängeschleuderstreuer und einer Arbeitsbreite von 24 m ausgebracht wird, beträgt der Dieserverbrauch für die Düngung mit Minereraldünger 1,05 l pro Hektar (KTBL, 2009a). Die Düngung der Differenzfläche benötigt daher insgesamt 229,64 l. Insgesamt ergibt sich somit für das Szenario ein Mehrverbrauch von 2.896,28 l Diesel. Für einen Liter Diesel betragen die Emissionen 2,8653 kg CO₂- und 3,56 · 10⁻⁵ kg SO₂-Äquivalent. Für den Mehrverbrauch von 2.896,28 l entstehen daher zusätzliche Emissionen von 8.283,36 CO₂- und 0,1 kg SO₂-Äquivalent.

Emissionsdifferenz

Die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung sind für den Transport mit dem Kombiliner in Tabelle 17 zusammengefasst. Insgesamt würden durch den Einsatz von flüssiger Schweinegülle in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 540.978,77 kg CO₂- und 4.902,49 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 17: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 1a im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	39.564,90	0,49
Einsparung Minereraldünger	-146.961,84	-816,79
Einsparung Energiepflanzen	-43.446,00	-534,00
Lagerung	-300.110,79	-6.068,52
Ausbringungsverluste	-104.647,23	2.497,60
Umbauten	6.338,83	18,60
Dieserverbrauch Ausbringung	8.283,36	0,10
Emissionsdifferenz gesamt	-540.978,77	-4.902,49

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung

Landnutzungsänderungen

Es werden insgesamt 600 t Silomais substituiert. Da pro Hektar 60,8 t Silomais geerntet werden können, wird durch den Einsatz der flüssigen Schweinegülle eine Ackerfläche von 9,87 ha frei zur anderweitigen Nutzung.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die im Kombiliner transportierten 5.619 t flüssige Schweinegülle beträgt 487.502,62 MJ. Bei einem Transport mit dem Gülleaflieger würde der kumulierte Energieaufwand 583.097,18 MJ betragen.

Szenario 1b

Durch die Änderungen der Substitutionsreihenfolge der Energiepflanzen ändern sich die Werte der Emissionen. Die Art der Berechnung entspricht allerdings der Berechnung in Szenario 1a.

Transport

Der Dieserverbrauch pro transportierte Tonne Wirtschaftsdünger ist unabhängig davon, welche Energiepflanze durch den Wirtschaftsdünger substituiert wird. Wie im Szenario 1a beträgt daher der Verbrauch von Diesel für den Transport im Gülleauflieger 2,94 l und 2,31 l für den Transport im Kombiliner für die Transportdistanz von 150 km. Allerdings ändert sich durch die Substitutionsreihenfolge die Menge an Wirtschaftsdünger, die transportiert wird. In diesem Szenario werden 5.479 t flüssige Schweinegülle eingesetzt. Dies resultiert in Emissionen von 38.579,13 kg CO₂- und 0,48 kg SO₂-Äquivalent für den jährlichen Transport der flüssigen Schweinegülle im Kombiliner und 46.099,82 kg CO₂- und 0,57 kg SO₂-Äquivalent für den jährlichen Transport im Gülleauflieger.

Lagerung

Wie beim Transport ergibt sich die Änderung zum Szenario 1a nur aus der Änderung der eingesetzten Menge an Wirtschaftsdünger. Für die eingesetzten 5.479 t Wirtschaftsdünger ergibt sich eine Emissionseinsparung von insgesamt 292.633,39 kg CO₂- und 5.917,32 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Die jährlich eingesetzten 5.479 t flüssige Schweinegülle substituieren 700 t GPS, was einen Anstieg der Nährstoffe im Gärrest zur Folge hat. Insgesamt steigt durch die Substitution die Menge an Stickstoff um 24.595 kg, die Menge an Phosphat um 16.272,8 kg und die Menge an Kaliumoxid um 16.702,3 kg an. Durch den Anstieg des Nährstoffgehalts kann Mineraldünger eingespart werden. Bei Phosphat und Kaliumoxid können die gleichen Mengen an Mineraldünger eingespart werden. Aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % ersetzt der Stickstoff im Gärrest nur 14.757 kg Stickstoff aus Mineraldünger. Zusammen mit den Emissionswerten für die Produktion der Mineraldünger aus Tabelle 6 ergeben sich durch die Einsparung an Mineraldünger ein verminderter CO₂-Äquivalent von 141.380,24 kg und ein verminderter SO₂-Äquivalent von 786,54 kg pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz der flüssigen Schweinegülle in der Biogasanlage wird die Gülle nicht mehr ausgebracht. Die enthaltenen 27.395 kg Stickstoff erhöhen aber die Stickstoffmenge im Gärrest um 24.595 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Dem gegenüber stehen 14.757 kg Stickstoff aus Mineraldünger, die weniger verwendet werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Kapitel 3.6 ergeben sich bezüglich der Ausbringungsverluste zum einen eine Emissionseinsparung von 102.667,59 kg CO₂-Äquivalent und zum anderen zusätzliche Emissionen von 5.115,76 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Die jährliche Substitution von 700 t GPS führt aufgrund der produktionsbedingten Emissionen von 72,47 CO₂-Äquivalent und 0,59 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne GPS zu einer Ersparnis von 50.729 kg CO₂-Äquivalent und 413 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Umbauarbeiten

Für die notwendigen Umbauarbeiten entstehen pro Jahr zusätzliche Emissionen von 6.338,83 kg CO₂- und 18,60 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Die anfallenden 13.875 t Gärrest enthalten 75.043 kg Stickstoff, wovon 45.026 kg anrechenbar sind. Somit ist in einem m³ Gärrest 3,25 kg anrechenbarer Stickstoff enthalten, und mit einer Tankfüllung von 24 m³ lässt sich bei einem Bedarf von 70 kg/ha eine Fläche von 1,11 ha düngen. Dies entspricht einer Gärrestmenge von 21,57 m³ pro Hektar. Für die Ausbringung dieser Menge beträgt der Dieserverbrauch gemäß dem Dieserverbrauchsrechner des KTBL 13,7 l/ha. Mit dem im Gärrest enthaltenen Stickstoff lässt sich insgesamt eine Fläche von 643 ha düngen. Folglich beträgt der Dieserverbrauch für die Gärrestdüngung in diesem Szenario 8.812,19 l. Die Berechnung des Dieserverbrauchs im Status Quo wurde bereits im Szenario 1a durchgeführt und das Ergebnis von 5.794,31 l kann übernommen werden. Die Flächen-differenz beträgt 211 ha. Der Dieserverbrauch für die Mineraldüngerdüngung beträgt unter den in Szenario 1a getroffenen Annahmen 1,05 l/ha. Somit entsteht bei der Mineraldünger-ausbringung für die Differenzfläche ein Dieserverbrauch von 221,36 l. Insgesamt erhöht sich der Dieserverbrauch im Szenario im Gegensatz zum Status Quo um 2,796,52 l, was zusätzli-che Emissionen von 7.998,06 kg CO₂- und 0,10 kg SO₂-Äquivalent zur Folge hat.

Emissionsdifferenz

In Tabelle 18 sind die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhausef-fekts und der Versauerung zusammengefasst. Insgesamt würden durch den Einsatz von flüssi-ger Schweinegülle in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 534.494,21 kg CO₂- und 4.721,42 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 18: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 1b im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	38.579,13	0,48
Einsparung Mineraldünger	-141.380,24	-786,54
Einsparung Energiepflanzen	-50.729,00	-413,00
Lagerung	-292.633,39	-5.917,32
Ausbringungsverluste	-102.667,59	2.376,26
Umbauten	6.338,83	18,60
Dieserverbrauch Ausbringung	7.998,06	0,10
Emissionen gesamt	-534.494,21	-4.721,42

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Durch die flüssige Schweinegülle wird 700 t GPS substituiert. Der Ertrag von GPS pro Hektar beträgt 48,9 t. Folglich wird eine Ackerfläche von 14,31 ha frei zur anderweitigen Nutzung.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die im Kombiliner transportierten 5.479 t flüssige Schweinegülle beträgt 475.356,26 MJ. Beim Einsatz von Gülleaufliegern entsteht ein kumulierter Energieaufwand von 568.569,05 MJ.

Szenario 1c

Im Gegensatz zu den Szenarien 1a und 1b baut dieses Szenario nicht auf dem Status Quo, sondern auf dem Szenario 1b auf. Die Berechnungen der neuen Werte können allerdings wieder analog zu den Berechnungen aus Szenario 1a durchgeführt werden.

Transport

Der Dieserverbrauch pro Tonne Wirtschaftsdünger ist wieder unabhängig von der gesamten Transportmenge und der Substitutionsreihenfolge und kann daher aus Szenario 1a übernommen werden. Die Menge an zu transportierendem Wirtschaftsdünger beträgt in diesem Szenario 5.088 t. Zusammen mit den bekannten Emissionswerten für einen Liter Diesel ergeben sich für das Jahr transportbedingte Emissionen von 35.825,99 kg CO₂- und 0,44 kg SO₂-Äquivalent für den Kombiliner sowie 42.809,98 kg CO₂- und 0,53 kg SO₂-Äquivalent für den Gülleauflieger.

Lagerung

Die Einsparung durch die Lagerung der festen Schweinegülle beträgt bekanntermaßen 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro t FM. Bei einer Menge von 5.088 t flüssiger Schweinegülle ergibt sich eine jährliche Einsparung an Emissionen von 271.750,08 kg CO₂- und 5.495,04 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Durch die Substitution von 650 t GPS mit 5.088 t flüssiger Schweinegülle erhöhen sich die Nährstoffmengen des Gärrests um 22.840 kg Stickstoff, 15.111,6 kg Phosphat und 15510,6 kg Kaliumoxid. Wie in den anderen Szenarien auch, ist beim Stickstoff zu beachten, dass das Mineraldüngeräquivalent bei 60 % liegt und somit nur 13.704 kg Stickstoff aus Mineraldünger ersetzt werden. Für die Produktion des Mineraldüngers errechnet sich aus dem Bedarf und den Emissionswerten in Tabelle 6 eine Einsparung an Emissionen von 131.291,95 kg CO₂- und 730,41 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz von flüssiger Schweinegülle erhöht sich die Stickstoffmenge im Gärrest um 22.840 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Dem gegenüber stehen 13.704 kg Stickstoff aus Mineraldünger, die weniger verwendet werden. Berücksichtigt werden müssen auch die 25.440 kg Stickstoff, die im Status Quo in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Abschnitt 3.6 ergibt sich eine Emissionseinsparung von 95.340,48 kg CO₂-Äquivalent und eine zusätzliche Emission von 4.750,72 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Die jährliche Substitution von 650 t GPS führt aufgrund der produktionsbedingten Emissionen von 72,47 CO₂- und 0,59 kg SO₂-Äquivalent für eine Tonne GPS zu einer Ersparnis von 47.105,5 kg CO₂- und 383,5 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Umbauarbeiten

Die Emissionen für die Umbauten betragen auf das Jahr umgerechnet 7.425,17 kg CO₂- und 23,51 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Da in diesem Szenario auf eine Gärrestmenge von 18.469 t eine Stickstoffmenge von 97.883 t kommt, von der 58.730 kg anrechenbar sind, enthält ein m³ Gärrest 3,18 kg anrechenbaren Stickstoff. Ein Tankwagen mit Füllmenge von 24 m³, beinhaltet daher 76,32 kg Stickstoff. Mit dieser Menge kann 1,09 ha Ackerfläche gedüngt werden, bei einem angenommenen Bedarf von 70 kg/ha. Die Gärrestmenge, die pro Hektar ausgebracht wird, beträgt dann 22,01 m³. Für diese Ausbringungsmenge beträgt der Dieserverbrauch 13,8 l/ha gemäß dem Dieserverbrauchsrechner des KTBL. Da mit dem Stickstoff des Gärrests eine Fläche von 839 ha gedüngt werden kann, benötigt die Gärrestausbringung im Szenario 1c 11.578,16 l. Davon abzuziehen ist der Dieserverbrauch der Gärrestausbringung im Szenario 1b und der Dieserverbrauch der Mineraldüngerausbringung der Differenzfläche. Die Differenzfläche beträgt insgesamt 196 ha, womit sich ein Dieserverbrauch von 205,8 l errechnet bei einem angenommenen Dieserverbrauch von 1,05 l/ha. Insgesamt beträgt der Mehrverbrauch für die Ausbringung im Szenario 2.560,17 l Diesel. Dies entspricht zusätzlichen Emissionen von 7.322,1 kg CO₂- und 0,09 kg SO₂-Äquivalent.

Emissionsdifferenz

Die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung für den Transport im Kombiliner sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Insgesamt würden durch den Einsatz von flüssiger Schweinegülle in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 494.914,75 kg CO₂- und 4.378,19 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 19: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 1c im Vergleich zum Szenario 1b

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	35.825,99	0,44
Einsparung Mineraldünger	-131.291,95	-730,41
Einsparung Energiepflanzen	-47.105,50	-383,50
Lagerung	-271.750,08	-5.495,04
Ausbringungsverluste	-95.340,48	2.206,72
Umbauten	7.425,17	26,40
Dieserverbrauch Ausbringung	7.322,10	0,09
Emissionen gesamt	-494.914,75	-4.378,19

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Im Vergleich zum Szenario 1b werden weitere 650 t GPS durch den Wirtschaftsdünger substituiert. Es werden dadurch 13,29 ha Ackerfläche zusätzlich frei zur anderweitigen Nutzung, da pro Hektar 48,9 t GPS geerntet werden können.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die im Kombiliner transportierten 5.088 t flüssige Schweinegülle beträgt 441.433,23 MJ. Für den Transport im Gülleauflieger beträgt der kumulierte Energieaufwand 527.994,03 MJ.

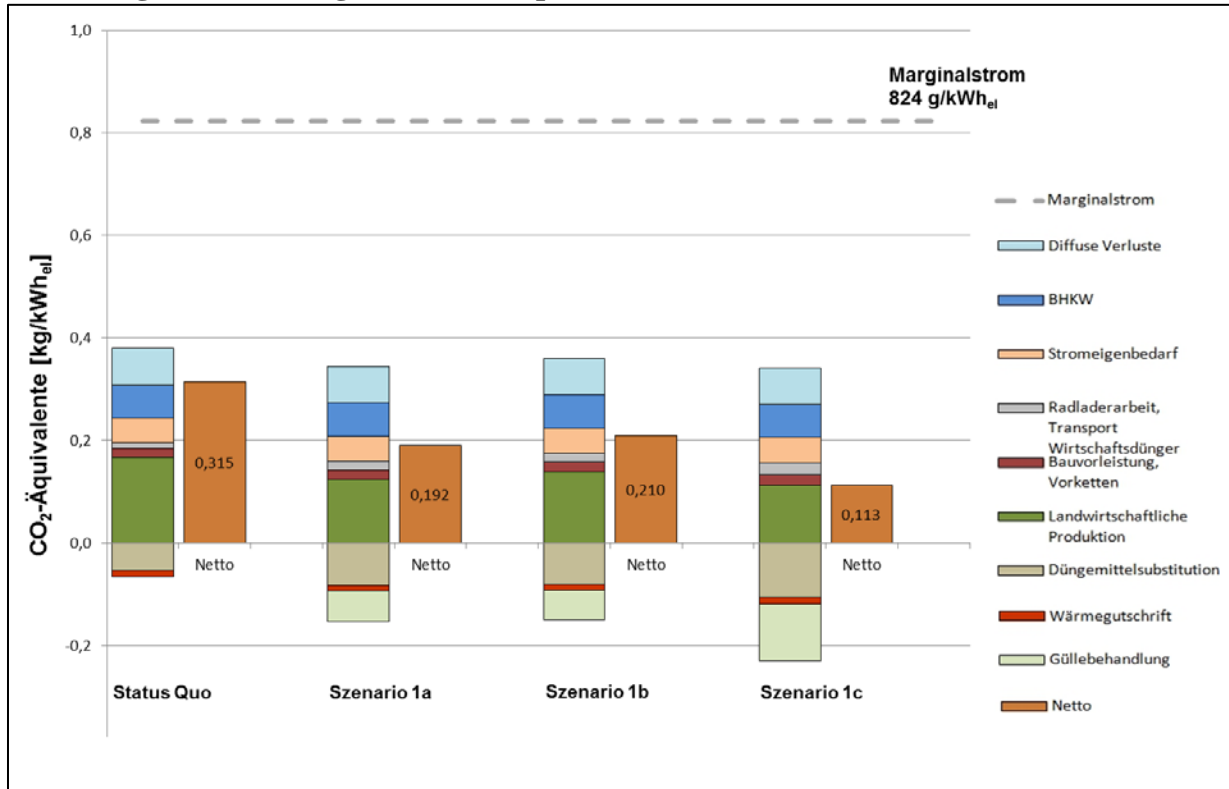
Zusammenfassung

In den drei Szenarien ergeben sich jeweils Emissionseinsparungen bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung. Die größte Einsparung an Emissionen wird dabei durch die Verkürzung der Lagerungsdauer des Wirtschaftsdüngers erreicht. Bei den Ausbringungsverlusten ergibt sich bezüglich des Treibhauseffekts eine Einsparung, während bezüglich der Versauerung zusätzliche Emissionen entstehen. Die Emissionseinsparungen in den Szenarien 1a und 1b ähneln sich sehr. Die Substitutionsreihenfolge der Energiepflanzen hat daher nur eine geringe Auswirkung.

In den Abbildungen 9 und 10 sind die CO₂- bzw. die SO₂-Äquivalente dargestellt, die bei der Erzeugung von einer kWh_{el} entstehen. Die Darstellung basiert dabei auf den Ergebnissen einer Ökobilanzierung der Referenzanlage (SCHMEHL et al., 2012). Die Emissionsveränderungen in den Szenarien, die durch den zusätzlichen Transportaufwand hervorgerufen werden, sind in der Rubrik „Radlader, Transport“ berücksichtigt. Die Emissionsänderungen durch die Einsparung an Mineraldünger befinden sich in der Rubrik „Düngemittelsubstitution“. In der Rubrik „Landwirtschaftliche Produktion“ werden die Einsparung an Energiepflanzen, die Ausbringungsverluste und der Dieselverbrauch bei der Ausbringung berücksichtigt. Die Einsparungen durch die Lagerungszeitverkürzung des Wirtschaftsdüngers werden in der Rubrik „Güllebehandlung“ dargestellt.

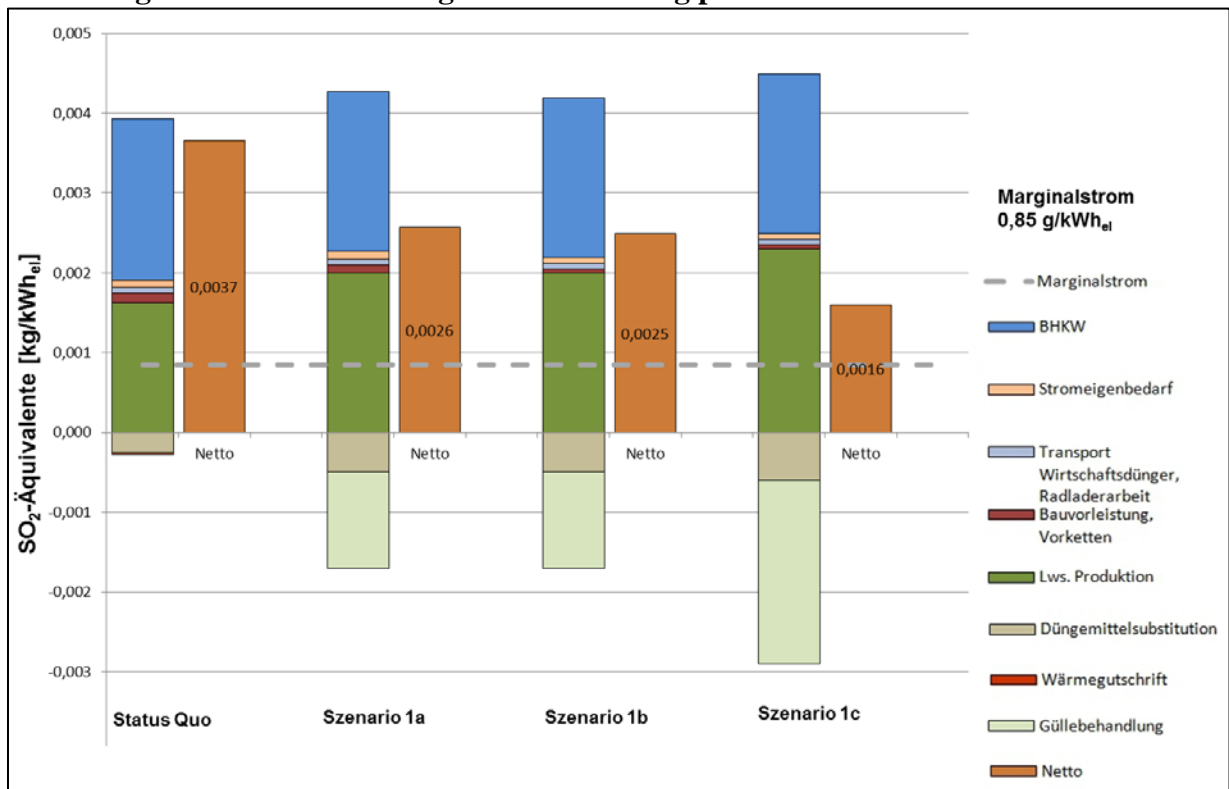
Durch die Emissionseinsparungen, die in den Szenarien erzielt werden, sind auch die CO₂- und die SO₂-Äquivalente in den Szenarien niedriger als im Status Quo. Bezüglich des Treibhauseffekts liegen die Emissionen für die Erzeugung einer kWh_{el} unterhalb der Emissionen des Marginalstroms. Bezüglich der Versauerung liegen die Emissionen oberhalb der Emissionen des Marginalstroms. Es zeigt sich aber, je mehr Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage eingesetzt wird, desto niedriger sind die Emissionen, die bei der Erzeugung von einer kWh_{el} erzeugt werden. So beträgt der CO₂-Äquivalent pro kWh_{el} im Szenario 1c nur 0,113 kg im Vergleich zu 0,210 kg im Szenario 1b. Beim SO₂-Äquivalent betragen die Emissionen im Szenario 1c 0,0016 kg/kWh_{el} und 0,0025 kg/kWh_{el} im Szenario 1b.

Abbildung 9: Treibhausgasemissionen pro kWh



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 10: Emissionen bezüglich Versauerung pro kWh



Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Szenarien 2a-c (Schweinegülle Dekanter)

In den Szenarien 2a-c wird der Güllefeststoff aus mittels eines Dekanters separierter Schweinegülle eingesetzt. Dabei ersetzen im Szenario 2a ca. 5.000 t Güllefeststoff rund 1.600 t Mais-silage pro Jahr (vgl. Tabelle 20). Der Gesamtinput erhöht sich um ca. 3.500 t/a. Die mittlere hydraulische Verweilzeit reduziert sich von 134 auf 103 Tage, was keinen Fermenterzubau notwendig macht. Hinsichtlich des Eintrags und der Pump- und Rührbarkeit des Fermenter-inhalts werden durch den Güllefeststoff keine besonderen Anforderungen gestellt. Der Gärrest-anfall steigt um 3.500 t/a. Mit dem Güllefeststoff werden erhebliche Nährstoffmengen, vor allem Phosphat (78 t/a), in den Betrieb aufgenommen. Diese führen zu sehr nährstoffreichen Gärresten, die gut ackerbaulich zu verwerten sind. Hinsichtlich der Vergütungsstruktur ist der Erhalt des Trockenfermentationsbonus möglich, wenn der Dekanter so eingestellt wird, dass er hohe Trockenmassegehalte im Feststoff erzeugt. Zusätzlich kann der Güllebonus neu geltend gemacht werden.

Tabelle 20: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall in den Szenarien 2a-c

Benennung	Ausgangssituation		Szenario 2a		Szenario 2b		Szenario 2c	
	NawaRo 100 %		Schweinegülle Dekanter 33 %		Schweinegülle Dekanter 33 %		Schweinegülle Dekanter 50 %	
Beschreibung	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a
Silomais	67	8.040	42	6.445	53	8.040	40	7.640
GPS	15	1.800	12	1.800	0	0	0	0
Zuckerrübe	15	1.800	12	1.800	12	1.800	10	1.800
Getreidekörner	3	360	2	360	2	350	0	0
Geflügelmist	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle flüssig	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	0	0	33	5.121	33	4.971	50	9.458
Input		12.000		15.526		15.161		18.898
Gärreste		8.990		12.694		12.410		16.326
N		50		94		92		129
P ₂ O ₅		21		99		97		163
K ₂ O		58		70		67		80

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Der Unterschied zwischen den Szenarien 2a zu 2b besteht darin, dass nicht Mais substituiert wird, sondern Getreide-Ganzpflanzensilage und Getreidekörner ersetzt werden, also zuerst die Inputstoffe, die bezogen auf die Flächeneinheit den geringsten Methanertrag liefern. Ansonsten stimmt das Szenario 2b weitgehend mit dem Szenario 2a überein. So werden gegenüber dem Szenario 2a mehr Flächen zum Anbau von Futter- und Nahrungsmitteln frei. Hinsichtlich der notwendigen baulichen Maßnahmen unterscheiden sich beide Szenarien kaum. Das Szenario 2c baut auf dem Szenario 2b auf, indem der Anteil separierter Schweinegülle von 33 % auf 50 % gesteigert wird. Dies soll den Fall darstellen, dass eine Biogasanlage, die bereits den Güllebonus erhält und die in Szenario 2b aufgeführten Investitionen getätigt hat, den Wirtschaftsdüngeranteil weiter steigert. Durch den Einsatz von ca. 9.500 t des festen Anteils separierter Schweinegülle werden 1.800 t Ganzpflanzensilage, 360 t Getreidekörner und zusätzlich 400 t Maissilage pro Jahr gegenüber der reinen Anbaubiomassevergärung eingespart.

4.2.1 Bauliche Maßnahmen

Im Folgenden werden die nötigen Investitionen aufgezeigt, die sich aus der Umstellung der reinen NawaRo-Biogasanlage (Ausgangssituation) auf eine Anlage, die zu 33 Masse-% Schweinegülle Dekanter in zwei verschiedenen Substrat-Substitutionsvarianten (Szenarien 2a+b) einsetzt, ergeben würden. In einem dritten Szenario 2c wird verdeutlicht, welche Veränderungen nötig werden, wenn eine bestehende Biogasanlage, die bereits zu 33 Masse-% Schweinegülle Dekanter einsetzt, diesen Anteil auf 50 Masse-% erhöht. In Tabelle 14 werden die Szenarien 2a-c und die Ausgangssituation (vgl. Kapitel 4) einander gegenübergestellt. Durch die sich ändernden Substrate und Einsatzmengen sind die folgenden baulichen Veränderungen nötig: Um den Gülle- und Trockenfermentationsbonus zu erhalten, wird in der Anlage zu 33 Masse-% Schweinegülle Dekanter eingesetzt (Szenario 2a+b); daher muss nun eine entsprechende Einfriedung (Umzäunung) geschaffen werden. Weiterhin müssen eine automatische Toreinfahrt und eine Waageeinrichtung installiert werden, um die Verschließbarkeit der Anlage praxistauglich sicherzustellen und die gesetzlich geforderten Auflagen zur Dokumentation einhalten zu können. Weiterhin sind infrastrukturelle Umbaumaßnahmen auf der Biogasanlage durchzuführen. Wie schon im Kap. 3.4 beschrieben, müssen besonders an den Fahrwegen Veränderungen vorgenommen werden, um die Desinfektionsfähigkeit sicherstellen zu können. Diese ist dann gegeben, wenn die Fahrbahn aus einer glatten Oberfläche (Teer oder Pflasterstein) besteht, um eine Desinfektionslösung aufbringen zu können. In diesen Szenarien muss eine Lagerstätte für den Schweinegülle Dekanter geschaffen werden. Wie bereits in Kap. 3.4 beschrieben, gibt es zwei Möglichkeiten zur Lagerung stapelbarer Wirtschaftsdünger. In diesem Fall wurde die in der Praxis übliche Variante der auf der einen Giebelseite offenen Lagerhalle gewählt. Die ausgewiesenen Kosten von in der Summe **37.100 €** umfassen eine Lagerhalle (7 m * 12 m) mit einer säurebeständigen Betonbodenplatte. Drei Seiten sind mit einer 2,5 m hohen Stahlbetonwand versehen, um ein Lagervolumen für mindestens 10 Tage sicherstellen zu können. Die Dachkonstruktion ist in Leichtbauweise gefasst und erlaubt ein Abkippen der angelieferten Substrate unter dem Dach (vgl. Tabelle 21). Die vorhandene Eintragstechnik muss nicht verändert werden; auch der vorhandene Hauptvergärer sowie der Nachgärer sind noch für das neu anstehende Volumen ausreichend (hydraulische Verweilzeit 103 Tage). Schließlich muss das Gärrestlager rechnerisch um 5.021 m³ (Szenario 2a) bzw. 4.808 m³ (Szenario 2b) vergrößert werden. Dabei eingerechnet ist bereits die Sicherstellung der Lagerfähigkeit für mindestens 9 Monate. Für die Szenarioberechnungen wurde jeweils der Neubau eines 5.500 m³ umfassenden Gärsubstratlagers unterstellt. Die nötigen baulichen Veränderungen des Szenario 2c im Vergleich zum Szenario 2b sind deutlich geringer. Es muss lediglich das Gärrestlager um praktisch 2.500 m³ und das Vorratsvolumen für Schweinegülle Dekanter theoretisch um 123 t erhöht werden. Um an dieser Stelle eine praktikable und realitätsnahe Annahme zu treffen, wird in diesem Szenario ein Teil der nun freigewordenen Flachlager überdacht, um die zusätzlichen nötigen Mengen an Schweinegülle Dekanter überdacht lagern zu können. Durch die geänderte Zusammensetzung der Substrate wird in Szenario 1c ebenfalls eine Erhöhung des Gärrestlagervolumens nötig. Praktisch werden im Vergleich zum Szenario 2b 2.500 m³ mehr benötigt.

Um die vorhandene Anlage im Szenario 2 auf den Einsatz von 33 Masse-% Schweinegülle Dekanter umzubauen, ist ein Investitionsvolumen von ca. **398.600 €** (Szenario 2a+b) nötig.

Tabelle 21: Investitionsrechnung Szenarien 2a-c

Bemessungsgrößen/ Investitionen	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 2a		Szenario 2b		Szenario 2c	
		NawaRo 100 %		Schweinegülle Dekanter 33 %		Schweinegülle Dekanter 33 %		Schweinegülle Dekanter 50 %	
Methanertrag	Nm³/a	1.325.512		1.325.512		1.325.512		1.325.512	
Substrateinsatzmenge		in %	in t	in %	in t	in %	in t	in %	in t
Silomais		67	8.040	42	6.445	53	8.040	40	7.640
GPS		15	1.800	12	1.800	0	0	0	0
Zuckerrübe		15	1.800	12	1.800	12	1.800	10	1.800
Getreidekörner		3	360	2	360	2	350	0	0
Geflügelmist (Gemisch)		0	0		0		0		0
Schweinegülle flüssig		0	0		0		0		0
Schweinegülle Dekanter		0	0	33	5.121	33	4.971	50	9.458
Substratmenge	t/a	12.000		15.526		15.161		18.898	
Gärreste	t/a	8.990		12.694		12.410		16.326	
vorh. Hauptvermentervolumen	m ³	2.400		2.400		2.400		2.400	
vorh. Nachgärervolumen	m ³	2.000		2.000		2.000		2.000	
vorh. Gärsubstratlager	m ³	4.500		4.500		4.500		4.500	
zusätzl. benötigtes Vergärervolumen	m ³								
zusätzl. benötigtes Gärsubstrat- lager (rechnerisch) praktisch	m ³	2.243	2.500	5.021	5.500	4.808	5.500	2.245	2.500
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									
10.000 € - 40.000 €	pauschal	15.000		25.000		25.000		10.000	
Lager feste Wirtschaftsdünger									
10 Tage Vorrat	t bzw. m ³			140		136		259	
Betonplatte	150 €/m ²			7 m * 12 m	12.600	7 m * 12 m	12.600	vorh. Fahrsilo	
Betonwand (2,5 m Höhe)	250 €/lfd m			6.500		6.500		15 m * 10 m * 2,8 m	
Bedachung u. Seitenverkleidung	150 €/m ²			120	18.000	120	18.000	150	22.500
Lager fl. Wirtschaftsdünger									
10 Tage Vorrat	m ³								
Tief- oder Hochbehälter	120 €/m ³								
Rührwerk	8.000 €/Stck.								
Abtankplatz	160 €/m ²								
Leitung und Elektrik	pauschal								
Hauptvermenter/Nachgärer									
Vermenter	€								
Nassvermahlung integriert	pauschal €								
zusätzliche Rührwerke	€								
evtl. modifizierte Eintragstechnik	pauschal €								
zusätzliche Heizleitung	pauschal €								
Gärsubstratlager									
Lagerraum	€/m ³	73	182.500	44	242.000	44	242.000	73	182.500
Rührwerk	8.000 €/Stck.			16.000		16.000		16.000	
Zuwegung/Entnahmestation									
Rohrleitungen/Technik/Elektrik	pauschal €	30.000		30.000		30.000		30.000	
Investitionssumme	€	243.500		398.600		398.600		261.000	

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2009c), KTBL (2013), EXPERTENINTERVIEW (2014)

Dem gegenüber stehen die Kosten für die Erfüllung der unterstellten gesetzlichen Forderung nach einer Erhöhung der Lagerkapazität (6 auf 9 Monate) in der Ausgangssituation in Höhe von **243.500 €**. Dies würde einen erhöhten Investitionsbedarf von **155.100 €** für die Szenarien

2a+b bedeuten. Szenario 2c benötigt Investitionen in Höhe von **261.000 €** um die Anlage von bereits 33 auf 50 Masse-% Schweinegülle Dekanter-Einsatz zu erhöhen, sofern bei der ursprünglichen Errichtung der Anlage nicht schon weitere Lagerkapazitäten eingeplant worden sind.

4.2.2 Transporte

Wie in Szenario 1 wird der kumulierte Ertrag für die Substitution von Silomais durch eine Tonne feste Schweinegülle aus dem Dekanter in Abhängigkeit von der Transportdistanz bestimmt und anschließend für die jeweiligen Landkreispaarungen berechnet.

Transportkosten

Da die Schweinegülle im Dekanter separiert wird, liegt sie in fester Form vor. Die Gülle kann also in einem normalen Abschiebe- oder Kipp-Lkw transportiert werden. Somit kann auch davon ausgegangen werden, dass es keine leeren Rückfahrten gibt. Für die Zwischenfahrten zwischen dem Ort des Abladens und dem Ort des Aufladens werden wieder 25 km angenommen. Mit diesen Annahmen ergeben sich die gleichen Kosten wie beim Transport mit dem Kombiliner (ALBERS et al., 2014). Folglich lautete die Transportfunktion pro Tonne transportierter Schweinegülle:

$$T(d) = 4 \text{ €} + d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Kosten/Ertrag Abnahme des Wirtschaftsdüngers

Durch die Separierung der flüssigen Schweinegülle mit einem Dekanter entstehen zusätzliche Kosten beim abgebenden Betrieb. Dafür steigt der Wert der Gülle pro Tonne, da die Nährstoffdichte wesentlich größer ist als bei flüssiger Schweinegülle. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch den Wertanstieg die Landwirte nun ohne Bezahlung die Gülle abgeben können. Die Biogasanlage hat also durch die Abnahme der festen Schweinegülle weder einen Verlust noch einen Ertrag.

Einsparung Energiepflanzen

Durch die Hinzunahme von 5.121 t fester Schweinegülle verringert sich der Bedarf an Silomais um 1.595 t. Eine Tonne feste Schweinegülle substituiert somit 0,278 Tonnen Silomais. Mit einem angenommenen Preis von 34 € pro Tonne Silomais ergibt sich eine Einsparung von 9,45 € pro Tonne Schweinegülle.

Ertrag Gärreste

Der Gärrest einer Tonne fester Schweinegülle enthält 9,80 kg/t Stickstoff, 15,60 kg/t Phosphat und 3,90 kg/t Kaliumoxid. Bei einer Substitutionsrate von 0,278 erhöht sich damit der Nährstoffgehalt des Gärrests pro Tonne eingesetzter Gülle um 8,60 kg Stickstoff, 15,10 kg Phosphat und 2,48 kg Kaliumoxid. Mit den angenommenen Preisen aus Szenario 1 und dem Mineräldüngeräquivalent von 60 % ergibt sich ein Mehrwert der Gülle von 15,67 €. Der Gärrest der Beispielanlage hat einen Stickstoffgehalt von 7,39 kg/m³, von dem allerdings nur 60 % anrechenbar sind. Somit werden 15,79 m³ Gärrest benötigt, um einen Hektar Ackerfläche mit einem Bedarf von 70 kg Stickstoff pro Hektar zu düngen. Die Ausbringungskosten bei mittlerer Mechanisierung, einer Schlaggröße von 20 ha und einer Gärrestlager-Feld-Entfernung von 5 km belaufen sich bei diesem Volumen auf ungefähr 3,66 €/m³ und somit 57,80 € pro Hektar

(KTBL, 2009a). Die Ausbringungskosten für den Mineraldünger sind schon in Szenario 1 berechnet worden und betragen 5,09 € was zu einer Differenz von 52,71 €/ha führt. Durch den Zuwachs an Stickstoff in Höhe von 8,60 kg pro Tonne Schweinegülle kann 0,0738 ha mehr Land mit Gärrest gedüngt werden. Folglich entstehen zusätzliche Ausbringungskosten von 3,89 € Verrechnet mit dem Mehrwert durch die erhöhte Nährstoffmenge ergibt sich ein Ertrag von 11,78 €

Kumulierter Ertrag

Aus den vorangehenden Kosten und Erträgen ergibt sich für die separierte Schweinegülle pro Tonne die folgende Ertragsfunktion:

$$E(d) = 17,23 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Ab einer Distanz von 344,6 km wird der Funktionswert negativ und somit ergeben sich für diese Distanzen Verluste. Für die Transporte aus den Veredelungsregionen in die Ackerbau-regionen sind die Erträge, die sich durch den Einsatz von einer Tonne Schweinegülle ergeben, in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Erträge/Verluste je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 2a

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	1,47 €	5,36 €	3,84 €	5,80 €	4,82 €
Diepholz	5,78 €	6,66 €	8,17 €	10,11 €	8,99 €
Emsland	-0,03 €	3,06 €	1,56 €	3,52 €	2,54 €
Grafschaft Bentheim	1,21 €	1,26 €	1,28 €	3,22 €	2,18 €
Oldenburg	3,23 €	6,97 €	5,60 €	7,56 €	6,58 €
Osnabrück	5,94 €	5,56 €	5,98 €	7,93 €	6,82 €
Vechna	1,58 €	5,32 €	3,95 €	5,91 €	4,93 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Szenario 2b

Im Vergleich zum Szenario 2a ändern sich im Szenario 2b nur der Ertrag aus Gärrest und die Einsparung bei den Energiepflanzen, da die Transportkosten und der Abnahmeertrag einer Tonne flüssiger Schweinegülle unabhängig davon sind, welche Energiepflanzen durch die flüssige Schweinegülle ersetzt werden.

Einsparung Energiepflanzen

Der Bedarf an GPS verringert sich um 1.800 t und der Bedarf an Getreidekörner um 10 t durch die Zunahme von 4.971 t fester Schweinegülle. Somit werden 0,36 t GPS und 0,002 t Getreidekörner durch eine Tonne feste Schweinegülle substituiert. Mit einem angenommenen Preis von 35 € pro Tonne GPS und 140 € pro Tonne Getreidekörner ergibt sich eine Einsparung von 12,96 € pro Tonne Schweinegülle.

Ertrag Gärreste

Da eine Tonne feste Schweinegülle 0,36 t GPS und 0,002 t Getreidekörner substituiert, erhöht sich der Nährstoffgehalt des Gärrests pro Tonne eingesetzter Gülle um 8,32 kg Stickstoff, 15,08 kg Phosphat und 1,79 kg Kaliumoxid. Mit den angenommenen Preisen aus Szenario 1 und dem Mineraldüngeräquivalent von 60 % ergibt sich ein Mehrwert der Gülle von 15,12 €. Der Gärrest der Beispielanlage hat einen Stickstoffgehalt von 7,48 kg/m³, von dem 4,49 kg/m³

anrechenbar sind. Somit werden 15,60 m³ Gärrest benötigt, um einen Hektar Ackerfläche zu düngen. Die Ausbringungskosten bei mittlerer Mechanisierung, einer Schlaggröße von 20 ha und einer Gärrestlager-Feld-Entfernung von 5 km belaufen sich bei diesem Volumen auf ungefähr 3,66 €/m³ und somit 57,11 €/pro Hektar (KTBL, 2009a). Die Ausbringungskosten für den Mineraldünger sind schon im Szenario 1 berechnet worden und betragen 5,09 €, was zu einer Differenz von 52,02 €/ha führt. Durch den Zuwachs an Stickstoff in Höhe von 8,32 kg pro Tonne Schweinegülle kann 0,0713 ha mehr Land mit Gärrest gedüngt werden. Folglich entstehen zusätzliche Ausbringungskosten von 3,71 € Verrechnet mit dem Mehrwert durch die erhöhte Nährstoffmenge ergibt sich ein Ertrag von 11,41 €

Kumulierter Ertrag

Für den kumulierten Ertrag ergibt sich für den Transport mit dem Kombiliner die folgende Funktion:

$$E(d) = 20,37 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Damit erzielen Transporte mit Entfernungen bis zu 407,4 km positive Erträge. Die Erträge der verschiedenen Landkreiskombinationen für den Kombiliner sind in Tabelle 23 enthalten.

Tabelle 23: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 2b

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	4,61 €	8,50 €	6,98 €	8,94 €	7,96 €
Diepholz	8,92 €	9,80 €	11,31 €	13,25 €	12,13 €
Emsland	3,11 €	6,20 €	4,70 €	6,66 €	5,68 €
Grafschaft Bentheim	4,35 €	4,40 €	4,42 €	6,36 €	5,32 €
Oldenburg	6,37 €	10,11 €	8,74 €	10,70 €	9,72 €
Osnabrück	9,08 €	8,70 €	9,12 €	11,07 €	9,96 €
Vechta	4,72 €	8,46 €	7,09 €	9,05 €	8,07 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Szenario 2c

Auch in diesem Szenario hat die Erhöhung des Anteils an Wirtschaftsdünger keine Auswirkungen auf die Transportkosten und die Abnahmekosten pro Tonne Wirtschaftsdünger. Daher kann die Transportfunktion für den Abschiebe- oder Kipp-Lkw aus Szenario 2a übernommen werden. Änderungen ergeben sich aber bei den Einsparungen aus Energiepflanzen, die nun in einem anderen Verhältnis substituiert werden, und beim Ertrag aus Gärresten.

Einsparung Energiepflanzen

Während im Szenario 2b hauptsächlich GPS durch Wirtschaftsdünger ersetzt wird, werden beim Wechsel von 33 % auf 50 % Wirtschaftsdüngereinsatz nur Getreidekörner und Silomais substituiert. Eine Tonne feste Schweinegülle ersetzt 0,08 t Getreidekörner und 0,09 t Silomais. Für die Getreidekörner wird ein Preis von 140 €/t angesetzt, während der Preis für den Silomais 34 €/t beträgt. Insgesamt errechnet sich damit eine Einsparung von 13,95 € pro eingesetzter Tonne fester Schweinegülle.

Ertrag Gärrest

Durch die Substitution von 0,08 t Getreidekörnern und 0,09 t Silomais durch eine Tonne fester Schweinegülle erhöht sich der Nährstoffgehalt des Gärrests um 8,24 kg, Stickstoff, 14,82 kg Phosphat und 2,98 kg Kaliumoxid. Dies ergibt einen Mehrwert an Nährstoffen von 15,62 € pro eingesetzter Tonne fester Schweinegülle.

In diesem Szenario beträgt die Gesamtmenge an Stickstoff im eingesetzten Substrat 128.780 kg. Bei einer Gesamtgärrestmenge von 16.155 t ergibt sich ein Stickstoffanteil von 7,97 kg/m³, von dem nur 4,78 kg/m³ angerechnet werden können aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 %. Somit ergibt sich ein Bedarf von 14,64 m³ Gärrest pro Hektar Ackerfläche. Für diese Ausbringungsmenge betragen die Kosten ca. 3,71 €/m³ unter den in Szenario 1a getroffenen Annahmen. Für einen Hektar errechnen sich Ausbringungskosten von 54,30 €/ha. Verglichen mit den Ausbringungskosten von Mineraldünger von 5,09 €/ha entstehen durch die Gärrestdüngung Mehrkosten von 49,21 €/ha. Da aufgrund der zusätzlichen Menge an Stickstoff, die sich durch den Einsatz von einer Tonne fester Schweinegülle ergibt, 0,0706 ha Ackerfläche zusätzlich gedüngt werden können, betragen die Mehrkosten für die Ausbringung 3,47 € pro Tonne Schweinegülle. Zusammen mit dem Mehrwert aufgrund der zusätzlichen Nährstoffe errechnet sich ein zusätzlicher Ertrag aus Gärrest von 12,14 € pro Tonne fester Schweinegülle.

Kumulierter Ertrag

Die Funktion für den kumulierten Ertrag für den Transport lautet:

$$E(d) = 22,09 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Damit stellen sich erst ab Entfernungen von 441,8 km Verluste ein. Die Tabelle 24 enthält die Erträge, die bei den verschiedenen Landkreiskombinationen entstehen.

Tabelle 24: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 2c

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	6,33 €	10,22 €	8,70 €	10,66 €	9,68 €
Diepholz	10,64 €	11,52 €	13,03 €	14,97 €	13,85 €
Emsland	4,83 €	7,92 €	6,42 €	8,38 €	7,40 €
Grafschaft Bentheim	6,07 €	6,12 €	6,14 €	8,08 €	7,04 €
Oldenburg	8,09 €	11,83 €	10,46 €	12,42 €	11,44 €
Osnabrück	10,80 €	10,42 €	10,84 €	12,79 €	11,68 €
Vechta	6,44 €	10,18 €	8,81 €	10,77 €	9,79 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

4.2.3 Ökonomische Bewertung

Um eine umfassende Aussage zur Wirtschaftlichkeit der Szenarien 2a-c geben zu können, wird in der folgenden Tabelle 25 eine vergleichende Leistungs-Kostenrechnung (LKR) zwischen der Ausgangssituation und den Szenarien 2a+b mit Einsatz von 33 Masse-% Schweinegülle Dekanter dargestellt. Das Szenario 2c ist im Vergleich zum Szenario 2b zu interpretieren. Die in Kap 4.2.1 dargestellten Investitionssummen gehen als jährliche fixe Kosten entsprechend ihrer steuerrechtlichen Abschreibungsdauern (Technik und Maschinen: 8 Jahre; bauliche Anlagen: 20 Jahre) in die Gesamtkalkulation ein. Unter betriebswirtschaftlichen Ge-

sichtspunkten sollten die baulichen Anlagen – wie oben bereits begründet – mit einer Abschreibungszeit von 10 Jahren in die Kalkulationen eingehen. Unter dieser Annahme würden sich die fixen Kosten im Szenario 2a+b um ca. 16.500 €/a erhöhen, in Szenario 2c um rund 11.000 €/a.

Die sich erhöhenden Einnahmen entstehen durch die Möglichkeit der Inanspruchnahme des Güllebonus nach EEG 2009 und durch den möglichen Verkauf von überschüssigem Gärrest. Die Wertigkeit des Gärrests wurde über die Nährstoffzusammensetzung (NPK) auf 13,72 bis 15,33 €/m³ errechnet. Da in der Praxis dieser Wert jedoch aus verschiedenen Gründen (u.a. arbeitstechnische Gründe, Kalkulierbarkeit der Verfügbarkeit etc.) nicht erzielt werden kann, sind nur 50 % des Wertes als Einnahme auf Seiten der Biogasanlage verrechnet worden. Die jährlichen Kosten setzen sich aus den anfallenden variablen und fixen Kosten zusammen. Die Substratkosten reduzieren sich in dem Maße, in dem die Substrate durch Schweinegülle Dekanter ersetzt werden. Dem stehen die Beschaffungskosten des Schweinegülle Dekanters (vgl. Kapitel 4) gegenüber. Durch geänderte Betriebsabläufe und Einsatzstoffe erhöhen sich insgesamt die jährlichen variablen Kosten um **48.767 €** (Szenario 2a) bzw. **35.620 €** (Szenario 2b) im Vergleich zum Status Quo. In der Ausgangssituation steigen die variablen Kosten lediglich um **2.285 €/a**, bedingt durch das größere Gärsubstratlager (vgl. Tabelle 25).

Die fixen Kosten erhöhen sich entsprechend der in der Tabelle aufgeführten Kostenarten. Der Zinssatz wurde der aktuellen Kapitalmarktlage angepasst und auf 2 % reduziert. Der gestiegene Arbeitskraftbedarf (0,5 Akh/d) entsteht größtenteils durch erhöhte Büroarbeitszeit zur Organisation sowie Dokumentation des Schweinegülle Dekanter-Einsatzes. Das Szenario 2c verdeutlicht die Auswirkungen durch die Erhöhung des Einsatzes von Schweinegülle Dekanter von 33 auf 50 Masse-%. Die variablen Kosten erhöhen sich um 11.211 € im Vergleich zum Szenario 2b, die fixen Kosten um 26.550 €. Maßgeblich werden diese Kosten durch die nötige Bereitstellung von weiterem Lagerraum verursacht (vgl. Tabelle 25).

Letztlich liegt der kalkulatorische Gewinnbeitrag bei **110.439 €** im Szenario 2a bzw. **121.408 €** im Szenario 2b. Anders ausgedrückt, würde die Umstellung der bestehenden Anlage auf das Szenario 2a/2b den momentanen Gewinn um den jeweiligen Betrag erhöhen. Im Vergleich zur Ausgangssituation, in der die bestehende Anlage das Gärsubstratlager erweitern müsste, wäre sogar ein Vorteil in Höhe von 134.722 € bzw. 145.692 € erzielbar. Im Szenario 2c wird deutlich, dass eine Ausdehnung des Dekantereinsatzes von 33 auf 50 Masse-% unter den beschriebenen Annahmen den kalkulatorischen Gewinn noch einmal um **13.238 €/a** erhöhen würde. Unter Berücksichtigung der betriebswirtschaftlichen Abschreibungsmodalitäten würden sich die jeweiligen kalkulatorischen Gewinnbeiträge um den entsprechenden erhöhten jährlichen Abschreibungsbetrag reduzieren.

Szenario 2 weist somit unter den getroffenen Annahmen deutliche wirtschaftliche Vorteile auf.

Tabelle 25: Leistungs-Kostenrechnung Szenarien 2a-c

Leistungs-/Kostenart	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 2a		Szenario 2b		Szenario 2c		
		NawaRo 100 %		Schweinegülle Dekanter 33 %		Schweinegülle Dekanter 33 %		Schweinegülle Dekanter 50 %		
Gesamtinvestitionssumme	€	243.500		398.600		398.600		261.000		
Abschreibungen										
Technik/Maschinen	8 Jahre	€	31.000	3.875	43.000	5.375	43.000	5.375	31.000	3.875
bauliche Anlagen	20 Jahre	€	197.500	9.875	330.600	16.530	330.600	16.530	220.000	11.000
jährliche Abschreibung		€/a	13.750		21.905		21.905		14.875	
Leistungen										
EEG Einspeisevergütung		€/kW _{el}	0,2073		0,2328		0,2328		0,2328	
Stromerlöse		€/a	1.054.162		1.183.862		1.183.862		1.183.862	
Preis für Wärmeverkauf		€/kW _{th}	0,02		0,02		0,02		0,02	
Wärmeerlöse		€/a	n.r.		n.r.		n.r.		n.r.	
Preis für Gärsubstrat 50 % äquiv. Mineraldünger (P)		€/m ³			6,89		6,86		7,67	
Gärsubstraterlöse		€/a	0		68.232		66.054		51.009	
Summe Leistungen		€/a	1.054.162		1.252.094		1.249.916		1.300.925	
Saldo Summe Leistungen		€/a			197.932		195.754		51.009	
Variable Kosten										
			Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€
Silomais	34	€/t FM	8.040	273.360	6.445	-54.230	8.040	n.r.	7.640	-13.600
GPS	35	€/t FM	1.800	63.000	1.800	n.r.	0	-63.000	0	n.r.
Zuckerrübe	30	€/t FM	1.800	54.000	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Getreidekörner	140	€/t FM	360	50.400	360	n.r.	350	-1.400	0	-49.000
Geflügelmist	20	€/t FM	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle flüssig	0	€/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	12	€/t	0	0	5.121	61.452	4.971	59.652	4.487	53.844
Ausbringung Gärsubstrat	4,14	€/m ³	n.r.		3.704	15.334	3.420	14.157	3.916	16.212
Betriebsstoffe (Strom, etc.)		€/a	n.r.		17.607		17.607		0	
Wartung/Reparaturen	1-1,5 %	€/a	2.285		5.604		5.604		3.765	
Laboranalysen (1x/Monat)		€/a	n.r.		1.500		1.500		0	
Sonstiges		€/a	n.r.		1.500		1.500		0	
Summe Variable Kosten		€/a	2.285		48.767		35.620		11.221	
Saldo Summe Variable Kosten		€/a			46.482		33.335			
Fixe Kosten										
Abschreibungen		€/a	13.750		21.905		21.905		14.875	
Zinsen Anlagekapital	2 %	€/a	5.916		9.685		9.685		6.342	
Planungs- und Genehmigungskosten		€/a	750		1.250		1.250		500	
Zinsen Planungs- u. Genehmigungskosten	2 %	€/a	364		607		607		243	
Versicherungen	0,5 %	€/a	1.218		1.993		1.993		1.305	
Netto-Arbeitszeitbedarf		AKh/a	n.r.		183		183		183	
Lohnkosten	18 €/Akh	€/a	n.r.		3.285		3.285		3.285	
Gemeinkosten		€/a	n.r.		n.r.		n.r.		n.r.	
Summe Fixe Kosten		€/a	21.998		38.725		38.725		26.550	
Saldo Summe Fixe Kosten		€/a			16.727		16.727			
kalkulatorischer Gewinn- beitrag		€/a	-24.283		110.439		121.408		13.238	
Saldo kalkulatorischer Gewinnbeitrag		€/a			134.722		145.692			

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2013), EEG (2009), DLG (2006), GÖRISCH und HELM (2007), EXPERTENINTERVIEW (2014)

4.2.4 Ökologische Bewertung

Zur Bestimmung der Änderungen der Emissionen, die durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage verursacht werden, wird analog zum Szenario 1 vorgegangen. Daher werden einige Berechnungen verkürzt dargestellt.

Transport

Für den Transport der festen Schweinegülle wird angenommen, dass dieser mit einem Kipp- oder Abschiebe-LKW mit einer Nutzlast von 26 t durchgeführt wird. Diese Art des Transports ermöglicht es, dass auf der Rückfahrt andere Ware transportiert werden kann. Somit wird in diesem Szenario und im Referenzsystem die Rückfahrt nicht dem Gülletransport zugerechnet. Allerdings wird eine leere Zwischenfahrt von 25 km zwischen dem Ort des Abladens und Aufladens des Transportgutes angenommen. Somit entspricht die Berechnung der Emissionen den Berechnungen für den Kombiliner mit dem Unterschied, dass die Nutzlast 26 t statt 24,5 t beträgt. Bei der angenommenen Entfernung von 150 km beträgt der Dieselverbrauch pro Tonne fester Schweinegülle damit 2,18 l Diesel. Da insgesamt 5.121 Tonnen feste Schweinegülle im Jahr transportiert werden und ein Liter Diesel einen CO₂-Äquivalent von 2,8653 kg und einen SO₂-Äquivalent von $3,56 \cdot 10^{-5}$ kg hat, belaufen sich die Emissionen pro Jahr auf 33.778,58 kg CO₂- und 0,42 kg SO₂-Äquivalent.

Lagerung

Wie im Szenario 1 beträgt die Einsparung für die Lagerung der Schweinegülle 53,41 kg für den CO₂- und 1,08 kg für das SO₂-Äquivalent pro t FM. Im Jahr werden 5.121 t feste Schweinegülle in der Biogasanlage verwendet. Somit beträgt die jährliche Einsparung an Emissionen 273.512,61 kg CO₂- und 5.530,68 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Die jährlich eingesetzten 5.121 t feste Schweinegülle substituieren 1.595 t Silomais, was einen Anstieg der Nährstoffe im Gärrest zur Folge hat. Insgesamt steigt durch die Substitution die Menge an Stickstoff um 43.327,3 kg an, die Menge an Phosphat um 77.016,6 kg und die Menge an Kaliumoxid um 11.837,4 kg. Durch den Anstieg des Nährstoffgehalts kann Mineraldünger eingespart werden. Bei Phosphat und Kaliumoxid können die gleichen Mengen an Mineraldünger eingespart werden. Aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % ersetzt der Stickstoff im Gärrest nur 25.996,38 kg Stickstoff aus Mineraldünger. Zusammen mit den Emissionswerten für die Produktion der Mineraldünger aus Tabelle 6 ergeben sich durch die Einsparung an Mineraldünger ein verminderter CO₂-Äquivalent von 294.813,63 kg und ein verminderter SO₂-Äquivalent von 2.333,24 kg pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz der festen Schweinegülle erhöht sich die Stickstoffmenge im Gärrest um 43.327,30 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Dem gegenüber stehen 25.996,38 kg Stickstoff aus Mineraldünger, die weniger verwendet werden. Berücksichtigt werden müssen auch die 50.185 kg Stickstoff, die im Status Quo in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Abschnitt 3.6 ergibt sich bezüglich der Ausbringungsverluste eine Emissionseinsparung von 191.897,96 kg CO₂-Äquivalent und eine zusätzliche Emission von 3.993,50 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Die jährliche Substitution von 1.595 t Silomais führt aufgrund der produktionsbedingten Emissionen von 72,41 CO₂- und 0,89 kg SO₂-Äquivalent zu einer Ersparnis von 115.493,95 kg CO₂- und 1.419,55 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Umbauarbeiten

Für die notwendigen Umbauarbeiten entstehen pro Jahr zusätzliche Emissionen von 4.854,29 kg CO₂- und 14,42 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Die anfallenden 12.964 t Gärrest enthalten 93.273 kg Stickstoff, wovon 55.964 kg anrechenbar sind. Somit ist in einem m³ Gärrest 4,32 kg anrechenbarer Stickstoff enthalten und mit einer Tankfüllung von 24 m³ lässt sich bei einem Bedarf von 70 kg/ha eine Fläche von 1,48 ha düngen. Dies entspricht einer Gärrestmenge von 16,22 m³ pro Hektar. Für die Ausbringung dieser Menge beträgt der Dieserverbrauch gemäß dem Dieserverbrauchsrechner des KTBL 11,7 l/ha. Mit dem im Gärrest enthaltenen Stickstoff lässt sich insgesamt eine Fläche von 799 ha düngen. Folglich beträgt der Dieserverbrauch für die Gärrestdüngung in diesem Szenario 9.353,95 l. Die Berechnung des Dieserverbrauchs im Status Quo wurde bereits im Szenario 1a durchgeführt und das Ergebnis von 5.794,31 l kann übernommen werden. Die Flächendifferenz beträgt 367 ha. Der Dieserverbrauch für die Mineraldüngerdüngung beträgt unter den in Szenario 1a getroffenen Annahmen 1,05 l/ha. Somit entsteht bei der Mineraldüngerdüngung der Differenzfläche ein Dieserverbrauch von 385,43 l. Insgesamt erhöht sich der Dieserverbrauch im Szenario im Gegensatz zum Status Quo um 3.174,21 l, was zusätzliche Emissionen von 9.078,24 kg CO₂- und 0,11 kg SO₂-Äquivalent zur Folge hat.

Emissionsdifferenz

In Tabelle 26 sind die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung zusammengefasst. Insgesamt werden durch den Einsatz von fester Schweinegülle in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 828.007,03 kg CO₂-Äquivalent und 5.275,02 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 26: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 2a im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	33.778,58	0,42
Einsparung Mineraldünger	-294.813,63	-2.333,24
Einsparung Energiepflanzen	-115.493,95	-1.419,55
Lagerung	-273.512,61	-5.530,68
Ausbringungsverluste	-191.897,96	3.993,50
Umbauten	4.854,29	14,42
Dieserverbrauch Ausbringung	9.078,24	0,11
Emissionen gesamt	-828.007,03	-5.275,02

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Es wird insgesamt 1.595 t Silomais substituiert. Der Ertrag von Silomais pro Hektar beträgt 60,8 t. Somit wird eine Ackerfläche von 26,23 ha frei zur anderweitigen Nutzung.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 5.121 t feste Schweinegülle beträgt 411.029,15 MJ.

Szenario 2b

Transport

Auch für den Transport mit dem Kipp-Lkw bzw. Abschiebe-Lkw ist der Dieserverbrauch pro Tonne Wirtschaftsdünger unabhängig davon, welche Energiepflanzen substituiert werden und wieviel feste Schweinegülle insgesamt transportiert wird. Somit kann der Dieserverbrauch von 2,18 l/t für die Transportdistanz von 150 km aus dem Szenario 2a übernommen werden. Da in diesem Szenario insgesamt 4.971 t feste Schweinegülle transportiert werden, betragen die Emissionen für den Transport pro Jahr 32.789,17 kg CO₂- und 0,41 kg SO₂-Äquivalent.

Lagerung

Auch die Einsparungen der Emissionen durch die verkürzte Lagerungszeit sind unabhängig davon, welche Energiepflanzen substituiert werden. Pro Tonne beträgt die Einsparung 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent. Für die Gesamtmenge von 4.971 t feste Schweinegülle errechnet sich damit eine jährliche Emissionseinsparung von 265.501,11 kg CO₂- und 5.368,68 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Pro Jahr werden 1800 t GPS und 10 t Getreidekörner durch 4.971 t feste Schweinegülle substituiert, was einen Anstieg der Nährstoffe im Gärrest zur Folge hat. Durch die Substitution steigt die Menge an Stickstoff um 41.472,8 kg, die Menge an Phosphat um 74.289,6 kg und die Menge an Kaliumoxid um 10.155,9 kg an, wodurch Mineraldünger eingespart werden kann. Bei Phosphat und Kaliumoxid können die gleichen Mengen an Mineraldünger eingespart werden. Aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % ersetzt der Stickstoff im Gärrest nur 24.883,68 kg Stickstoff aus Mineraldünger. Zusammen mit den Emissionswerten für die Produktion der Mineraldünger aus Tabelle 6 in Abschnitt 3.6 ergeben sich durch die Einsparung an Mineraldünger eine Einsparung von 282.085,51 kg CO₂- und 2.243,47 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz der festen Schweinegülle in der Biogasanlage wird der Wirtschaftsdünger mit einem Stickstoffgehalt von 48.715 kg nicht mehr ausgebracht. Dafür erhöht sich die Stickstoffmenge im Gärrest um 41.472,8 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Dafür wird 24.883,68 kg Stickstoff aus Mineraldünger weniger verwendet. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Abschnitt 3.6 ergibt sich bezüglich der Ausbringungsverluste eine Emissionseinsparung von 187.569,59 kg CO₂-Äquivalent und eine zusätzliche Emission von 3.754,76 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Der Einsatz der festen Schweinegülle substituiert in diesem Szenario 1800 t GPS und 10 t Getreidekörner. Gemäß den produktionsbedingten Emissionen für diese Energiepflanzen (vgl.

Tabelle 8) beträgt die jährliche Einsparung 134.877,4 kg CO₂- und 1.077,6 kg SO₂-Äquivalent.

Umbauarbeiten

Für die notwendigen Umbauarbeiten entstehen pro Jahr zusätzliche Emissionen von 4.854,29 kg CO₂- und 14,42 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Die Gärrestmenge beträgt in diesem Szenario 12.280 t. Darin enthalten sind 88.873 kg Stickstoff, wovon allerdings nur 60 % anrechenbar sind. Damit ergibt sich ein anrechenbarer Stickstoffgehalt von 4,34 kg pro m³ Gärrest. Ein Tankwagen mit einer Füllmenge von 24 m³ beinhaltet daher 104,22 kg anrechenbaren Stickstoff, womit eine Fläche von 1,49 ha gedüngt werden kann. Die Gärrestmenge pro Hektar beträgt dabei 16,12 m³/ha. Für diese Ausbringungsmenge beträgt der Dieserverbrauch 11,7 l/ha gemäß dem Dieserverbrauchsrechner des KTBL. Da durch den erhöhten Stickstoffgehalt des Gärrests die düngbare Fläche insgesamt 762 ha beträgt, ergibt sich für die Gärrestaubsbringung ein Dieserverbrauch von 8.912,67 l. Dem gegenüber stehen zum einen die 5.794,31 l Dieserverbrauch für die Gärrestaubsbringung im Status Quo und der Dieserverbrauch für die Mineraldüngerausbringung auf der Differenzfläche. Diese Fläche beträgt hier 329 ha. Somit ergibt sich bei einem Dieserverbrauch von 1,05 l/ha für die Mineraldüngerausbringung insgesamt ein Dieserverbrauch von 345,82 für die Düngung der Differenzfläche mit Mineraldünger. Zusammengefasst bedeutet dies einen Mehrverbrauch an Diesel von 2.772,54 l, was in zusätzlichen Emissionen von 7.929,45 kg CO₂- und 0,1 kg SO₂-Äquivalent resultiert.

Emissionsdifferenz

Die Emissionsänderungen pro Jahr in den verschiedenen Bereichen sind zusammengefasst in Tabelle 27. Pro Jahr ergibt sich durch den Einsatz der festen Schweinegülle eine Einsparung an Emissionen in Höhe von 824.460,71 kg CO₂- und 4.920,07 kg SO₂-Äquivalent.

Tabelle 27: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 2b im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	32.789,17	0,41
Einsparung Mineraldünger	-282.085,51	-2.243,47
Einsparung Energiepflanzen	-134.877,40	-1.077,60
Lagerung	-265.501,11	-5.368,68
Ausbringungsverluste	-187.569,59	3.754,76
Umbauten	4.854,29	14,42
Dieserverbrauch Ausbringung	7.929,45	0,10
Emissionen gesamt	-824.460,71	-4.920,07

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Durch die feste Schweinegülle werden 1.800 t GPS und 10 t Getreidekörner substituiert. Mit den Ertragswerten aus Tabelle 9 im Abschnitt 3.6 ergibt sich eine zusätzlich nutzbare Ackerfläche von 37,93 ha.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 4.971 t feste Schweinegülle beträgt 398.989,63 MJ.

Szenario 2c

Transport

Der Dieserverbrauch pro Tonne fester Schweinegülle beträgt bekanntermaßen 2,18 l für die Transportdistanz von 150 km. Bei einer Gesamtmenge an fester Schweinegülle von 4.487 t ergeben sich transportbedingte Emissionen von 29.596,66 kg CO₂- und 0,37 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Lagerung

Für die Lagerung ergibt sich bei der Schweinegülle eine Einsparung von 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro t FM. Für das Jahr ergibt sich damit aufgrund der eingesetzten 4.487 t Wirtschaftsdünger eine Emissionseinsparung von insgesamt 239.650,6 kg CO₂- und 4.845,96 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Durch den Einsatz von fester Schweinegülle in der Biogasanlage und der damit verbundenen Substitution von 350 t Getreidekörner und 400 t Silomais erhöht sich der gesamte jährliche Nährstoffgehalt des Gärrests um 40.747,6 kg Stickstoff, 68647,2 kg Phosphat und 13674,3 kg Kaliumoxid. Bei Phosphat und Kaliumoxid ist die Menge an eingespartem Mineraldünger gleich. Da aber der Stickstoff im Gärrest nur einen Mineraldüngeräquivalent von 60 % hat, werden nur 24.448,56 kg Stickstoff an Mineraldünger eingespart. Mit den in Tabelle 6 aufgeführten produktionsbedingten Emissionen ergibt sich damit insgesamt eine Abnahme an Emissionen in Höhe von 274.460,63 kg CO₂- und 2.121,44 kg SO₂-Äquivalenten pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz von fester Schweinegülle erhöht sich die Stickstoffmenge im Gärrest um 40.747,6 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Dem gegenüber stehen 24.448,56 kg Stickstoff aus Mineraldünger, die weniger verwendet werden. Berücksichtigt werden müssen auch die 43.972,6 kg Stickstoff, die im Status Quo in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Abschnitt 3.6 ergibt sich bezüglich der Ausbringungsverluste eine Emissionseinsparung von 161.992,30 kg CO₂-Äquivalent und eine zusätzliche Emission von 4.078,24 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Die jährliche Substitution von 350 t Getreidekörnern und 400 t Silomais führt aufgrund der produktionsbedingten Emissionen aus Tabelle 8 in Abschnitt 3.6 zu einer Ersparnis von 184.063 kg CO₂- und 902 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Umbauarbeiten

Die Emissionen für die Umbauten betragen auf das Jahr umgerechnet 7.358,41 kg CO₂- und 26,40 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Da in diesem Szenario auf eine Gärrestmenge von 16.155 t eine Stickstoffmenge von 128.780 kg kommt, von der 77.268 kg anrechenbar sind, enthält ein m³ Gärrest 4,78 kg anrechenbaren Stickstoff. Ein Tankwagen mit einer Füllmenge von 24 m³ beinhaltet daher 114,79 kg Stickstoff. Mit dieser Menge können 1,64 ha Ackerfläche gedüngt werden, bei einem angenommenen Bedarf von 70 kg/ha. Die Gärrestmenge, die pro Hektar ausgebracht wird, beträgt dann 14,64 m³. Für diese Ausbringungsmenge beträgt der Dieserverbrauch 11,1 l/ha gemäß dem Dieserverbrauchsrechner des KTBL. Da mit dem Stickstoff des Gärrests eine Fläche von 1.104 ha gedüngt werden kann, benötigt die Gärrestausrückführung im Szenario 12.2552,54 l. Davon abzuziehen sind der Dieserverbrauch der Gärrestausrückführung aus Szenario 2b, der 8.912,67 l beträgt, und der Dieserverbrauch der Mineraldüngerausbringung der Differenzfläche. Die Differenzfläche beträgt insgesamt 342 ha, womit sich ein Dieserverbrauch von 358,92 l errechnet bei einem angenommenen Dieserverbrauch von 1,05 l/ha. Insgesamt beträgt der Mehrverbrauch für die Ausbringung im Szenario 2.980,94 l Diesel. Dies entspricht zusätzlichen Emissionen von 8.525,49 kg CO₂- und 0,11 kg SO₂-Äquivalent.

Emissionsdifferenz

Die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung sind in Tabelle 28 zusammengefasst. Insgesamt würden durch den Einsatz von fester Schweinegülle in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 814.686,04 kg CO₂- und 3.764,29 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 28: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 2c im Vergleich zum Szenario 2b

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	29.596,66	0,37
Einsparung Mineraldünger	-274.460,63	-2.121,44
Einsparung Energiepflanzen	-184.063,00	-902,00
Lagerung	-239.650,67	-4.845,96
Ausbringungsverluste	-161.992,30	2.206,72
Umbauten	7.358,41	26,40
Dieserverbrauch Ausbringung	8.525,49	0,11
Emissionen gesamt	-814.686,04	-3.764,29

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

In diesem Szenario werden weitere 350 t Getreidekörner und 400 t Silomais ersetzt. Mit den Ertragswerten aus Tabelle 9 im Abschnitt 3.6 ergibt sich eine zusätzlich nutzbare Ackerfläche von 45,90 ha.

Energiebilanz

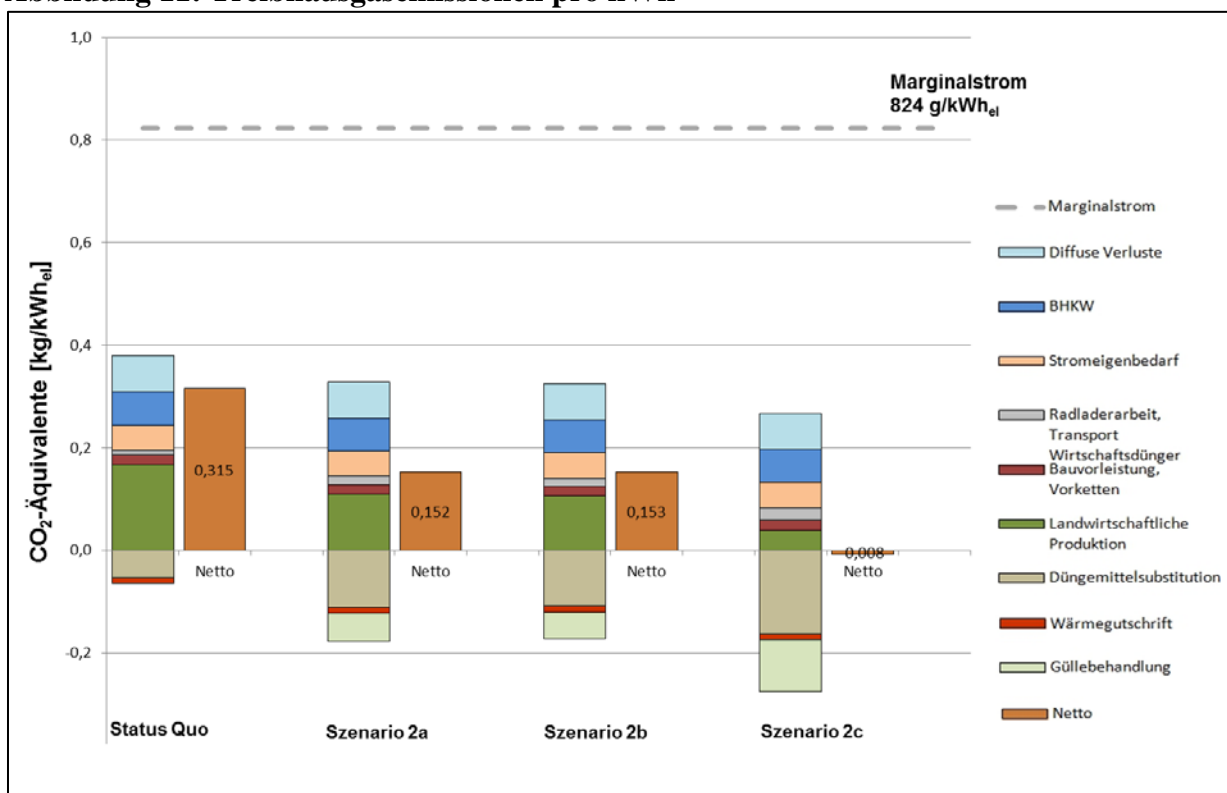
Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 4.487 t feste Schweinegülle beträgt 360.142,12 MJ.

Zusammenfassung

Wie bei der flüssigen Schweinegülle ergeben sich auch bei der festen Schweinegülle in allen Szenarien Emissionseinsparungen. Die Substitutionsreihenfolge hat beim Einsatz des Wirtschaftsdüngers nur geringe Auswirkungen. Im Vergleich zur flüssigen Schweinegülle sind die Einsparungen an Treibhausgasemissionen bei der festen Schweinegülle wesentlich höher. Dies liegt größtenteils daran, dass bei der Mineraldüngersubstitution deutlich mehr Emissionen eingespart werden können. Bezüglich der Versauerung entsprechen die Emissionseinsparungen ungefähr den Einsparungen bei der flüssigen Schweinegülle. Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die CO₂- bzw. SO₂-Äquivalente, die in den einzelnen Szenarien bei der Erzeugung einer kWh_{el} entstehen.

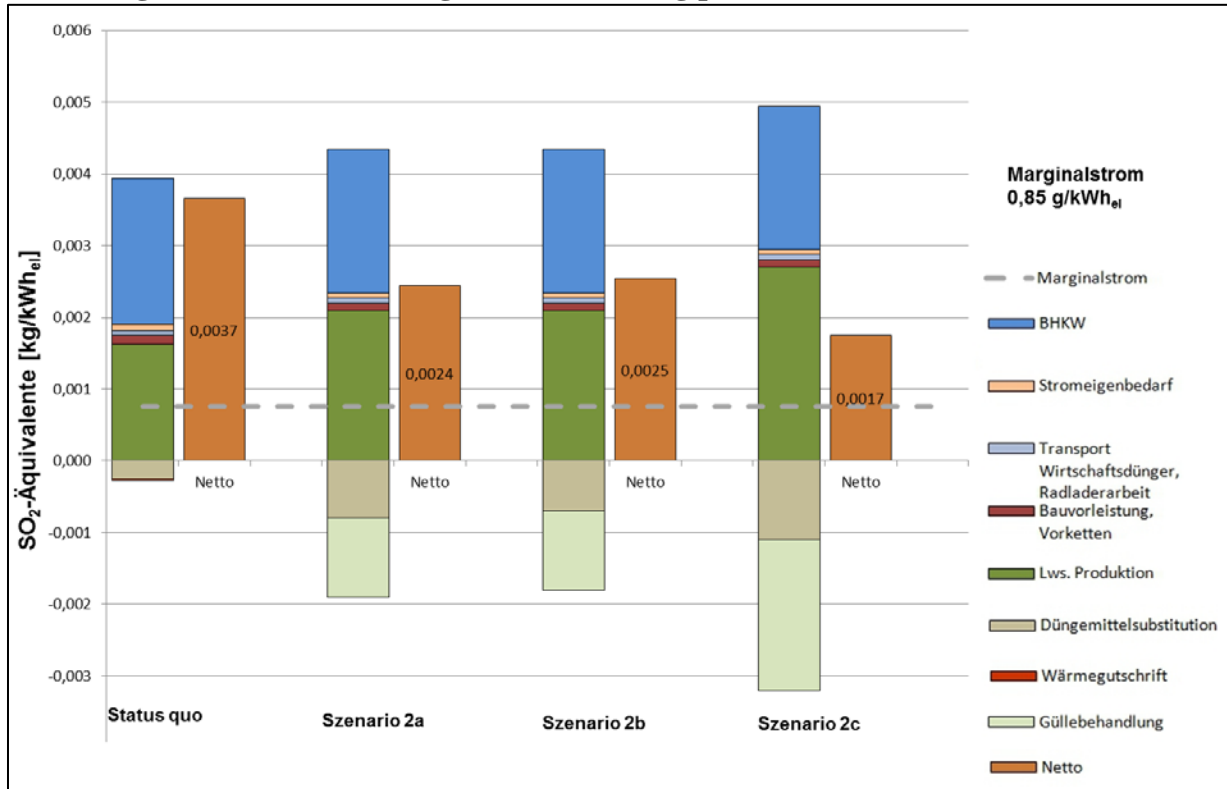
Auch bei der festen Schweinegülle liegen die Treibhausgasemissionen unter den Emissionen des Marginalstroms, während die Emissionen bezüglich der Versauerung größer sind. Mit zunehmender Menge an eingesetztem Wirtschaftsdünger sinken die Emissionen, die bei der Energieerzeugung entstehen. So ergibt sich für das Szenario 2c ein negativer Emissionswert bezüglich des CO₂-Äquivalents.

Abbildung 11: Treibhausgasemissionen pro kWh



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12: Emissionen bezüglich Versauerung pro kWh



Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Szenario 3 (Schweinegülle Dekanter 100%)

Im Szenario 3 erfolgt eine vollständige Umstellung von Anbaubiomasse auf Wirtschaftsdünger, indem 100 % Güllefeststoff aus mittels eines Dekanters separierter Schweinegülle aufgenommen wird. Dazu werden fast 38.000 t Güllefeststoff pro Jahr benötigt, um die gleiche Anlagenleistung zu erzielen wie in der Ausgangssituation. Dabei verkürzt sich die mittlere hydraulische Verweilzeit auf 42 Tage. Da die Güllefeststoffe eine gegenüber pflanzlicher Biomasse deutlich verlangsamte Biogasbildung zeigen, ist mit hohen Restgaspotentialen im Gärrest zu rechnen, so dass in diesem Szenario Fermentervolumen zugebaut werden muss. Jedoch ist der mögliche Fermentervolumenzubau begrenzt, wenn weiterhin der Trockenfermentationsbonus bezogen werden soll, da für diesen eine Raumbelastung von >3,5 kg organische Trockenmasse pro Kubikmeter Fermenter und Tag eingehalten werden muss. Daher werden in diesem Szenario 2.400 m³ Fermentervolumen zugebaut und die Verweilzeit wird auf 66 Tage erhöht. Soweit die Güllefeststoffe als stapelbare Biomasse eingestuft werden können, kann der Trockenfermentationsbonus erhalten bleiben. Zusätzlich kann der Güllebonus geltend gemacht werden. Die erhebliche Steigerung des Inputs und der Gärrestmengen sowie die hohen Nährstofffrachten bedürfen jedoch umfangreicher Investitionen in die Biogasanlage und einer sinnvollen Gärrestverwertung.

Tabelle 29: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall im Szenario 3

Benennung	Ausgangssituation		Szenario 3	
Beschreibung	NawaRo 100 %		Schweinegülle Dekanter 100 %	
	%	t/a	%	t/a
Silomais	67	8.040	0	0
GPS	15	1.800	0	0
Zuckerrübe	15	1.800	0	0
Getreidekörner	3	360	0	0
Geflügelmist	0	0	0	0
Schweinegülle flüssig	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	0	0	100	37.885
Input		12.000		37.885
Gärreste		8.990		36.370
N		50		371
P ₂ O ₅		21		591
K ₂ O		58		148

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

4.3.1 Bauliche Maßnahmen

Wie im vorangegangenen Kap. 4.3 bereits beschrieben, wird im Szenario 3 die Anlage komplett umgestellt. Als Einsatzstoff kommt nun ausschließlich Schweinegülle Dekanter zum Einsatz. Daraus ergeben sich umfangreiche Umbauarbeiten an der vorhandenen Anlage, nicht zuletzt aufgrund der deutlich gestiegenen Substrateinsatzmengen und der anfallenden Gärreste. Die folgenden Investitionen (vgl. Tabelle 30) sind vor allem auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass sich im Szenario 3 im Vergleich zur Ausgangssituation folgende Warenumsatzmengen ändern: Anstieg der jährlichen Substrateinsatzmenge von 12.000 t auf ca. 38.000 t, der täglichen Einsatzmenge an Substrat von 33 t auf 104 t sowie des Gärresteanfalls von 9.000 t/a auf 36.000 t/a. Besonders zu beachten ist, dass die Substrateinsatzmengen nun nicht mehr zwei oder dreimal pro Jahr in einer Stoßzeit angeliefert werden, sondern täglich etwa 5 Lkw das Gelände befahren; legt man eine 5 Tage-Woche zu Grunde, sind es sogar 7 Lkw je Tag. Um dem Verkehr auf der Anlage gerecht zu werden, müssen eine automatische Toreinfahrt und eine Waageeinrichtung installiert werden, um die Verschleißbarkeit der Anlage praxistauglich zu machen und die Erfüllung der gesetzlichen Dokumentationsauflagen sicherstellen zu können. Weiterhin sind infrastrukturelle Maßnahmen auf der Biogasanlage durchzuführen. Wie schon in Kap. 3.4 beschrieben, müssen besonders an den Fahrwegen Veränderungen vorgenommen werden, damit die gesetzlich geforderte Desinfektionsfähigkeit, aber auch die Befahrbarkeit durch Straßen-Lkw zu jeder Witterung und Jahreszeit sichergestellt werden können. Die Lagerung des Schweinegülle Dekanters soll in den vorhandenen Fahrsilos stattfinden, um die versunkenen Kosten in diesem Bereich so gering wie möglich zu halten. Um die gesetzlichen Vorgaben einhalten zu können, werden ein Teil der Fahrsilos mit einem Dach versehen, sodass der Dekanter dort überdacht gelagert werden kann und somit die geforderte Emissionsvermeidung gewährleistet ist.

Tabelle 30: Investitionsrechnung Szenario 3

Bemessungsgrößen/ Investitionen	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 3	
		NawaRo 100 %		Schweinegülle Dekanter 100 %	
Methanertrag	Nm³/a	1.325.512		1.325.512	
Substrateinsatzmenge		in %	in t	in %	in t
Silomais		67	8.040	0	0
GPS		15	1.800	0	0
Zuckerrübe		15	1.800	0	0
Getreidekörner		3	360	0	0
Geflügelmist (Gemisch)			0	0	0
Schweinegülle flüssig			0	0	0
Schweinegülle Dekanter			0	100	37.885
Substratmenge	t/a	12.000		37.885	
Gärreste	t/a	8.990		36.370	
vorh. Hauptvermentervolumen	m³		2.400		2.400
vorh. Nachgärervolumen	m³		2.000		2.000
vorh. Gärsubstratlager	m³		4.500		4.500
zusätzl. benötigtes Vergärervolumen	m³				2.400
zusätzl. benötigtes Gärsubstrat- lager (rechnerisch) praktisch	m³	2.243	2.500	22.777	25.000
Einfriedung	lfd m			600	
20,00 €/lfd m	€ gesamt				12.000
Toreinfahrt (automatisch)					
18.000 € - 20.000 €	pauschal				20.000
Waageeinrichtung					
4.000€ - 8.000€	pauschal				4.000
Infrastruktur auf der Anlage	m²			300	
55,00 - 65,00 €/m²	€				16.500
Planungs-, Gutachten- und Genehmigungskosten					
10.000 € - 40.000 €	pauschal		15.000		40.000
Lager feste Wirtschaftsdünger					
10 Tage Vorrat	t bzw. m³			1.038	
Betonplatte	150 €/m²			vorh. Fahrsilo	
Betonwand (2,5 m Höhe)	250 €/lfd m			15 m * 55 m * 2,8 m	
Bedachung u. Seitenverkleidung	150 €/m²			550	82.500
Lager fl. Wirtschaftsdünger					
10 Tage Vorrat	m³				
Tief- oder Hochbehälter	120 €/m³				
Rührwerk 8.000 €/Stck.	€				
Abtankplatz	160 €/m²				
Leitung und Elektrik	pauschal				
Hauptvermenter/Nachgärer					
Vermenter	€				200.000
Nassvermahlung integriert	pauschal €				50.000
zusätzliche Rührwerke	€				16.000
evtl. modifizierte Eintragstechnik	pauschal €				
zusätzliche Heizleitung	pauschal €				
Gärsubstratlager					
Lagerraum	€/m³	73	182.500	35	875.000
Rührwerk 8.000 €/Stck.	€		16.000		64.000
Zuwegung/Entnahmestation					
Rohrleitungen/Technik/Elektrik	pauschal €		30.000		60.000
Investitionssumme	€	243.500		1.440.000	

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2009c), KTBL (2013), EXPERTENINTERVIEW (2014)

Im Verlauf der vorhandenen Gärstrecke sind ebenfalls Veränderungen nötig. Ein weiterer Fermenter (2.400 m³) mit kompletter technischer Ausstattung muss errichtet werden, weiterhin sollte eine Nassvermahlung zu Beginn der Gärstrecke eingebaut werden. Schließlich muss das Gärrestlager rechnerisch um 22.777 m³ vergrößert werden, um insgesamt die geforderte Lagerfähigkeit für mindestens 9 Monate zu ermöglichen. Für die Szenarioberechnung wurde der Neubau von 25.000 m³ Gärsubstratlagervolumen unterstellt. Entsprechend der technischen Möglichkeiten würde sich dieses Volumen auf zwei oder drei Gärsubstratbehälter aufteilen lassen (mit den entsprechenden technischen Ausstattungen wie u.a. Rührwerke, Abtankplatz, Pumptechnik etc.).

Um die vorhandene Anlage im Szenario 3 auf den Einsatz von 100 Masse-% Schweinegülle Dekanter umzubauen, ist ein Investitionsvolumen von ca. **1.440.000 €** nötig. Dem gegenüber steht die Erfüllung der gesetzlichen Forderung nach Lagerkapazitätserhöhung (von 6 auf 9 Monate) in der Ausgangssituation, die mit Investitionen in Höhe von **243.500 €** verbunden ist.

4.3.2 Transporte

Die spezifischen Transportkosten der festen Schweinegülle sind unabhängig vom Anteil an eingesetzter Schweinegülle in der Biogasanlage. Daher ergibt sich für dieses Szenario die gleiche Transportkostenfunktion wie in Szenario 2a. Auch der Abnahmepreis für die Gülle entspricht dem Wert aus Szenario 2a. Änderungen ergeben sich nur für den Mehrertrag für Gärrest und die Einsparung von Energiepflanzen.

Einsparung Energiepflanzen

In diesem Szenario werden sämtliche Energiepflanzen ersetzt. Eine Tonne feste Schweinegülle ersetzt in der Beispiel-Biogasanlage insgesamt 0,3167 t Substratmischung, die sich aus 0,212 t Silomais, jeweils 0,046 t Zuckerrüben und GPS sowie 0,009 t Getreidekörner zusammensetzt. Zur Bewertung der Einsparung wird ein Preis von 30 €/t für Zuckerrüben angenommen, wobei der Preis für Zuckerrüben immer davon abhängt, wieviel die Zuckerunternehmen für Übrüben bezahlen. Für GPS werden 35 €/t, für Getreidekörner 140 €/t und für Silomais 34 € angesetzt. Für die Einsparung ergibt sich demgemäß ein Wert von 11,63 € pro Tonne fester Schweinegülle.

Ertrag Gärreste

Da in diesem Szenario 37.885 t feste Schweinegülle eingesetzt werden und im Ausgangsszenario die Gesamtsubstratmenge 12.000 t beträgt, ersetzt eine Tonne Schweinegülle 0,3167 t der ursprünglichen Substratmischung. Der Gärrest dieser Substratmischung enthält bei dieser Menge 1,33 kg Stickstoff, während der Gärrest einer Tonne Schweinegülle 9,81 kg Stickstoff enthält. Somit ergibt sich durch die Substitution ein Zuwachs von 8,47 kg Stickstoff pro Tonne Schweinegülle. Mit der gleichen Berechnung ergibt sich ein Zuwachs von 15,03 kg Phosphat und 2,37 kg Kaliumoxid. Folglich hat der Gärrest einen Mehrwert an Nährstoffen von 15,50 €. Durch den Einsatz von 100 % fester Schweinegülle weist der Gärrest der Beispielanlage einen Stickstoffgehalt von 10,21 kg/m³ auf, von dem 6,12 kg/m³ anrechenbar sind. Pro Hektar werden damit 11,43 m³ Gärrest benötigt. Für die Ausbringung werden eine mittlere Mechanisierung, eine Schlaggröße von 20 ha und eine Gärrestlager-Feld-Entfernung von 5 km angenommen. Unter der Annahme, dass die Kosten dafür 4,08 €/m³ betragen, entstehen

Kosten für die Ausbringung auf einem Hektar von 46,63 €/ha. Im Vergleich zu den Ausbringungskosten für Mineraldünger von 5,09 €/ha ergibt sich pro Hektar ein Mehraufwand von 41,54 €. Der Zuwachs an Stickstoff von 8,47 kg ermöglicht eine Düngung von zusätzlichen 0,0726 ha Feld. Für diesen Anteil betragen die zusätzlichen Ausbringungskosten 3,02 €. Insgesamt ergibt sich somit ein Ertrag durch den Gärrest in Höhe von 12,48 € pro eingesetzter Tonne Schweinegülle.

Kumulierter Ertrag

Für den Einsatz von einer Tonne Schweinegülle Dekanter lautet die Ertragsfunktion in Abhängigkeit von der Transportentfernung

$$E(d) = 20,11 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Ausgehend von dieser Funktion ergibt sich eine Distanz von 402,2 km, ab der die Transporte Verluste bringen. In Tabelle 31 sind die Erträge für die einzelnen Landkreiskombinationen dargestellt.

Tabelle 31: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 3

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	4,35 €	8,24 €	6,72 €	8,68 €	7,70 €
Diepholz	8,66 €	9,54 €	11,05 €	12,99 €	11,87 €
Emsland	2,85 €	5,94 €	4,44 €	6,40 €	5,42 €
Grafschaft Bentheim	4,09 €	4,14 €	4,16 €	6,10 €	5,06 €
Oldenburg	6,11 €	9,85 €	8,48 €	10,44 €	9,46 €
Osnabrück	8,82 €	8,44 €	8,86 €	10,81 €	9,70 €
Vechta	4,46 €	8,20 €	6,83 €	8,79 €	7,81 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

4.3.3 Ökonomische Bewertung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für dieses Szenario macht die Tabelle 32 deutlich. Die in Kap 4.3.1 dargestellten notwendigen Investitionssummen werden in der LKR in Form der jährlichen Abschreibungen (fixe Kosten) berücksichtigt.

Den steuerrechtlichen Vorgaben folgend, werden in den folgenden Berechnungen Technik und Maschinen über 8 Jahre und bauliche Anlagen über 20 Jahre abgeschrieben. Unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sollten die baulichen Anlagen aus verschiedenen Gründen mit einer Abschreibungszeit von 10 Jahren in die Kalkulationen eingehen. Unter dieser Annahme würden sich die fixen Kosten im Szenario 3 um ca. 60.000 €/a erhöhen.

Die höheren Einnahmen entstehen durch die Möglichkeit der zusätzlichen Inanspruchnahme des Güllebonus nach EEG 2009 und des Verkaufs von Gärresten. Die Wertigkeit des Gärrests wurde über die Nährstoffzusammensetzung (NPK) je m³ errechnet. Da in der Praxis dieser Wert jedoch aus verschiedenen Gründen (u.a. arbeitstechnische Gründe, Kalkulierbarkeit der Verfügbarkeit etc.) nicht erzielt werden kann, sind nur 50 % des Wertes als Einnahme auf Seiten der Biogasanlage verrechnet worden. Im Szenario 3, in dem alle anfallenden Gärreste annahmegemäß verkauft werden können, stellt diese Leistungsart einen erheblichen Anteil an den Erlösen dar. Im Vergleich zur Ausgangssituation werden durch den Einsatz von 100 Masse-% Schweinegülle Dekanter ca. **500.000 €/a** mehr Erlöse erzielt (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Leistungs-Kostenrechnung Szenario 3

Leistungs-/Kostenart	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 3	
		NawaRo 100 %		Schweinegülle Dekanter 100 %	
Gesamtinvestitionssumme	€	243.500		1.440.000	
Abschreibungen					
Technik/Maschinen	8 Jahre €	31.000	3.875	172.000	21.500
bauliche Anlagen	20 Jahre €	197.500	9.875	1.228.000	61.400
jährliche Abschreibung	€/a	13.750		82.900	
Leistungen					
EEG Einspeisevergütung	€/kW _{el}	0,2073		0,2328	
Stromerlöse	€/a	1.054.162		1.183.862	
Preis für Wärmeverkauf	€/kW _{th}	0,02		0,02	
Wärmeerlöse	€/a	n.r.		n.r.	
Preis für Gärsubstrat 50 % äquiv. Mineraldünger (P)	€/m ³			10,41	
Gärsubstraterlöse	€/a	0		364.629	
Summe Leistungen	€/a	1.054.162		1.548.491	
Saldo Summe Leistungen	€/a			494.329	
Variable Kosten					
		Mengen	€	Mengen	€
Silomais	34 €/t FM	8.040	273.360	0	-273.360
GPS	35 €/t FM	1.800	63.000	0	-63.000
Zuckerrübe	30 €/t FM	1.800	54.000	0	-54.000
Getreidekörner	140 €/t FM	360	50.400	0	-50.400
Geflügelmist	20 €/t FM	0	0	0	0
Schweinegülle flüssig	0 €/m ³	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	12 €/t	0	0	37.885	454.620
Ausbringung Gärsubstrat	4,14 €/m ³		n.r.	27.379	113.350
Betriebsstoffe (Strom, etc.)	€/a		n.r.		96.507
Wartung/Reparaturen	1-1,5 % €/a		2.285		21.000
Laboranalysen (1x/Monat)	€/a		n.r.		1.500
Sonstiges	€/a		n.r.		4.000
Summe Variable Kosten	€/a		2.285		250.217
Saldo Summe Variable Kosten	€/a				247.932
Fixe Kosten					
Abschreibungen	€/a		13.750		82.900
Zinsen Anlagekapital	2 % €/a		5.916		34.988
Planungs- und Genehmigungskosten	€/a		750		2.000
Zinsen Planungs- u. Genehmigungskosten	2 % €/a		364		972
Versicherungen	0,5 % €/a		1.218		7.200
Netto-Arbeitszeitbedarf	AKh/a	n.r.		1.095	
Lohnkosten	18 €/Akh €/a		n.r.		19.710
Gemeinkosten	€/a		n.r.		n.r.
Summe Fixe Kosten	€/a		21.998		147.770
Saldo Summe Fixe Kosten	€/a				125.772
kalkulatorischer Gewinn- beitrag	€/a		-24.283		96.342
Saldo kalkulatorischer Gewinnbeitrag	€/a				120.626

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2013), EEG (2009), DLG (2006), GÖRISCH und HELM (2007), EXPERTENINTERVIEW (2014)

Die jährlichen Kosten setzen sich aus variablen und fixen Kosten zusammen. Die variablen Kosten erhöhen sich im Vergleich zur Ausgangssituation um ca. **247.000 €a**. Maßgeblich bestimmt werden diese durch erhöhte Gärsubstratausbringungs-, Betriebsstoff- und Maschinenkosten. Die Substratkosten variieren jedoch nicht sehr stark. Die angenommenen 12 €/t Schweinegülle Dekanter frei Biogasanlage sind jedoch vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Transportentfernung 150 km beträgt (vgl. Kapitel 4). Die fixen Kosten erhöhen sich entsprechend der in der Tabelle 20 aufgeführten Kostenarten. Der Zinssatz wurde der aktuellen Kapitalmarktlage angepasst und auf 2 % reduziert. Der Anstieg des Arbeitskraftbedarfs um ca. 1.950 Akh/a ist größtenteils durch erhöhte Substrateinsatzmengen bedingt. Die täglich benötigte Zeit, um die 104 t Substrat in die Anlage zu bringen, erhöht sich deutlich gegenüber der Ausgangssituation. Büroarbeitszeit zur Organisation sowie Dokumentation des Schweinegülle Dekanter-Einsatzes sowie zur Vermarktung des anfallenden Gärrests (ca. 36.000 t) muss ebenfalls hinzugerechnet werden. Letztlich liegt der kalkulatorische Gewinnbeitrag im Szenario 3 bei **110.222 €a**. Anders ausgedrückt, würde die Umstellung der bestehenden Anlage auf das Szenario 3 das momentane Betriebsergebnis um **110.222 €a** verbessern. Im Hinblick auf die Ausgangssituation, in der die bestehende Anlage zukünftig um das Gärsubstratlager erweitert werden müsste, wäre sogar ein Vorteil in Höhe von **134.505 €a** erzielbar. Unter Berücksichtigung der genannten betriebswirtschaftlichen Abschreibungsmodalitäten würden sich die jeweiligen kalkulatorischen Gewinnbeiträge um den entsprechenden erhöhten jährlichen Abschreibungsbetrag reduzieren.

4.3.4 Ökologische Bewertung

Abweichend von den anderen Szenarien wird in diesem Szenario die gesamte Menge an Energiepflanzen substituiert. Die Art der Berechnung entspricht aber wieder den Berechnungen aus den vorherigen Szenarien.

Transport

Wie in Szenario 2 wird für den Transport angenommen, dass die feste Schweinegülle mit einem Kipp-LKW oder Abschiebe-LKW mit einer Nutzlast von 26 Tonnen transportiert wird und dass es eine leere Zwischenfahrt von 25 km zwischen dem Ort des Abladens und Aufladens des Transportgutes gibt. Unter diesen Annahmen beträgt der Dieserverbrauch für jede Tonne fester Schweinegülle bekanntermaßen 2,18 l Diesel für die Transportdistanz von 150 km. Insgesamt werden pro Jahr 37.885 Tonnen feste Schweinegülle transportiert und somit 108.729,95 Liter Diesel verbraucht. Der Liter Diesel hat einen CO₂-Äquivalent von 2,8653 kg/l und einen SO₂-Äquivalent von $3,56 \cdot 10^{-5}$ kg/l. Für das Jahr ergeben sich somit zusätzliche Emissionen von 249.892,90 kg CO₂- und 3,10 kg SO₂-Äquivalent.

Lagerung

Die Einsparung durch die Lagerung der festen Schweinegülle beträgt 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne. Bei einer Menge von 37.885 Tonnen fester Schweinegülle ergibt sich eine jährliche Einsparung an Emissionen von 2.023.437,85 kg CO₂- und 40.915,8 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Im Status Quo enthält der Gärrest der Substratmischung 50.448 kg Stickstoff, 21.672 kg Phosphat und 58.104 kg Kaliumoxid. Im Szenario wird die gesamte Substratmenge durch 37.885 kg fester Schweinegülle ersetzt. Der Gärrest aus dieser Menge fester Schweinegülle enthält 371.273 kg Stickstoff, 591.006 kg Phosphat und 147.751,5 kg Kaliumoxid. Somit erhöht sich die Nährstoffmenge durch die Substitution um 320.825 kg Stickstoff, 569.334 kg Phosphat und 89.647,5 kg Kaliumoxid. Unter Berücksichtigung des Mineraldüngeräquivalents von 60 % für den Stickstoff ersetzt der Stickstoff im Gärrest 192.495 kg Stickstoff aus Mineraldünger. Die zusätzlichen Mengen an Phosphat und Kaliumoxid im Gärrest ersetzen die gleichen Mengen an Phosphat und Kaliumoxid aus Mineraldünger. Die Emissionswerte für die Produktion von Mineraldünger sind in Tabelle 6 in Abschnitt 3.6 aufgeführt. Für das Jahr ergeben sich daher Einsparungen an Emissionen in Höhe von 2.183.208,74 CO₂- und 17.260,14 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringungsverluste

Durch die Substitution der Substratmenge mit fester Schweinegülle enthält der Gärrest zusätzliche 320.825 kg Stickstoff, die Ammoniak bei der Ausbringung an die Atmosphäre abgeben. Im Gegenzug wird 192.495 kg Stickstoff aus Mineraldünger weniger ausgebracht. Berücksichtigt werden müssen auch die 371.273 kg Stickstoff, die im Status Quo in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Kapitel 3.6 ergeben sich bezüglich der Ausbringungsverluste eine Emissionseinsparung von 1.419.012,69 kg CO₂-Äquivalent und eine zusätzliche Emission von 29.604,30 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Im Gegensatz zu den anderen Szenarien wird die gesamte Menge an Energiepflanzen substituiert. Insgesamt werden pro Jahr 8.040 Tonnen Silomais, 1.800 Tonnen Zuckerrüben, 1.800 Tonnen GPS und 360 Tonnen Getreidekörner durch feste Schweinegülle ersetzt. Die Emissionen, die beim Anbau einer Tonne dieser Kulturen entstehen, sind in der Tabelle 8 im Abschnitt 3.6 aufgeführt. Für die Substitution errechnet sich mit diesen Werten eine Emissionseinsparung von 582.176,4 kg CO₂- und 7.155,6 kg SO₂-Äquivalent.

Umbauarbeiten

Pro Jahr verursachen die notwendigen Umbauten zusätzliche Emissionen von 20.318,68 kg CO₂- und 58,91 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

In diesem Szenario beträgt die Gesamtgärrestmenge 36.370 t. Darin enthalten sind 371.273 kg Stickstoff, wovon aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % nur 222.764 kg anrechenbar sind. Pro m³ Gärrest beträgt damit die Menge an anrechenbarem Stickstoff 6,12 kg. Ein Tankwagen mit 24 m³ enthält folglich 147 kg anrechenbaren Stickstoff. Unter der bekannten Annahme, dass 70 kg Stickstoff pro Hektar ausgebracht werden sollen, errechnet sich pro Tankwagen eine düngbare Fläche von 2,1 ha. Pro Hektar wird somit 11,43 m³ Gärrest ausgebracht. Gemäß dem Dieselverbrauchsrechner des KTBL resultiert dies in einem Dieselverbrauch von 9,8 l/ha. Durch die erhöhte Stickstoffmenge ist im Vergleich zum Status Quo

mehr Ackerfläche mit Gärrest düngbar. Im Szenario 3 beträgt die düngbare Fläche 3.182 ha. Dementsprechend entfällt auf die Gärrestdüngung ein Dieserverbrauch von 31.186,93 l. Dem gegenüber steht der Dieserverbrauch von 5.794,31 l im Status Quo, der schon im Szenario 1a berechnet wurde. Zu berücksichtigen ist dabei auch die Diesermenge für die Mineraldüngerdüngung der Differenzfläche. Die Differenzfläche beträgt 2.750 ha. Wie im Szenario 1a schon angegeben, wird ein Verbrauch von 1,05 l/ha angenommen, womit sich für die Mineraldüngerausbringung der Differenzfläche ein Dieserverbrauch von 2.887,43 l ergibt. Insgesamt errechnet sich für das Szenario ein Mehrverbrauch von 22.505,19 l Diesel. Dies resultiert in zusätzlichen Emissionen von 64.364,85 kg CO₂- und 0,8 kg SO₂-Äquivalent.

Emissionsdifferenz

Die Emissionsänderungen pro Jahr in den verschiedenen Bereichen sind zusammengefasst in Tabelle 33. Pro Jahr ergibt sich durch den Einsatz der festen Schweinegülle eine Einsparung an Emissionen in Höhe von 5.873.259,24 kg CO₂- und 35.664,43 kg SO₂-Äquivalent.

Tabelle 33: Emissionsdifferenz pro Jahr im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	249.892,90	3,10
Einsparung Mineraldünger	-2.183.208,74	-17.260,14
Einsparung Energiepflanzen	-582.176,40	-7.155,60
Lagerung	-2.023.437,85	-40.915,80
Ausbringungsverluste	-1.419.012,69	29.604,30
Umbauten	20.318,68	58,91
Dieserverbrauch Ausbringung	64.364,85	0,80
Emissionen gesamt	-5.873.259,24	-35.664,43

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Sämtliche Energiepflanzen werden durch Wirtschaftsdünger ersetzt. Dies resultiert in freiwerdenden Flächen von 234,74 ha gemäß den Ertragswerten aus Tabelle 9 im Kapitel 3.6.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 37.885 t feste Schweinegülle beträgt 3.040.780,99 MJ.

4.4 Szenario 4a-c (Geflügelmist)

In den Szenarien 4a-c werden 33 bzw. 50 Masse-% des Inputs durch Geflügelmist und Hühnertrockenkot substituiert. Dabei ersetzen im ersten Szenario (4a) 4.351 t Geflügelmist ca. 3.175 t Maissilage pro Jahr. Bei der Berechnung wurde ein Gemisch aus verschiedenen Qualitäten von Geflügelmist und Hühnertrockenkot angesetzt. Durch die geringe Erhöhung des Inputs auf 13.200 t/a reduziert sich die mittlere hydraulische Verweilzeit nur wenig auf 122 Tage. Ein Problem beim Einsatz von Geflügelmist und Hühnertrockenkot in Biogasanlagen stellen Störstoffe dar, einerseits in der Sandfraktion durch die Magensteine in der Fütterung bei Legehennen, andererseits durch metallische oder mineralische Artefakte aus den Ställen und Armaturen oder aus der Lagerung des Materials. Der Sand kann kaum abgeschieden werden und lagert sich teilweise im Fermenter ab, so dass die Sedimente gelegentlich entfernt

werden müssen. Die Artefakte unterschiedlicher Größe können erhebliche Schäden an der Eintragstechnik, den Pumpen und Rührwerken verursachen und sollten möglichst vorher abgetrennt werden. Dazu wird eine Vermahlung, die auch noch einen zusätzlichen mechanischen Aufschluss des Materials bewirkt, installiert.

Tabelle 34: Substrat-, Gärrest- und Nährstoffanfall in den Szenarien 4a-c

Benennung	Ausgangssituation		Szenario 4a		Szenario 4b		Szenario 4c	
Beschreibung	NawaRo 100 %		Geflügelmist 33 %		Geflügelmist 33 %		Geflügelmist 50 %	
	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a
Silomais	67	8.040	37	4.865	54	7.280	38	5.360
GPS	15	1.800	14	1.800	0	0	0	0
Zuckerrübe	15	1.800	14	1.800	13	1.800	13	1.800
Getreidekörner	3	360	3	360	0	0	0	0
Geflügelmist	0	0	33	4.351	33	4.476	50	7.075
Schweinegülle flüssig	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	0	0	0	0	0	0	0	0
Input		12.000		13.176		13.556		14.235
Gärreste		8.990		10.058		10.554		11.174
N		50		128		128		175
P ₂ O ₅		21		90		91		132
K ₂ O		58		138		140		187

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Im Szenario 4b ersetzen 4.500 t Geflügelmist die Ganzpflanzensilage, das Getreidekorn und 760 t Maissilage pro Jahr. Damit werden im Vergleich zum Szenario 4a mehr Anbauflächen zum alternativen Anbau freigesetzt. Die notwendigen Investitionen beider Varianten stimmen überein. Auch in diesem Szenario kann der Güllebonus zusätzlich zum Technologiebonus für die Trockenfermentation geltend gemacht werden.

Das Szenario 4c baut auf dem Szenario 4b auf, indem der Anteil des Geflügelmistes von 33 % auf 50 % gesteigert wird. Da die Investitionen für den Einsatz von Geflügelmist bereits dem Szenario 4b zugerechnet worden sind, werden nur die zusätzlich notwendigen baulichen Maßnahmen berücksichtigt, die für die weiteren 2.000 t Geflügelmist im Jahr anfallen.

4.4.1 Bauliche Maßnahmen

In der folgenden Darstellung werden die nötigen Investitionen aufgezeigt, die sich aus der Umstellung der reinen NawaRo-Biogasanlage (Ausgangssituation) auf eine Anlage, die zu 33 Masse-% Geflügelmist in zwei verschiedenen Substrat-Substitutionsvarianten (Szenario 4a+b) einsetzt, ergeben würden. In einem weiteren dritten Szenario (4c) wird verdeutlicht, welche Veränderungen nötig werden, wenn eine bestehende Biogasanlage, die bereits zu 33 Masse-% Geflügelmist einsetzt, diesen Anteil auf 50 Masse-% erhöht. In der unten stehenden Tabelle 23 werden die Szenarien 4a-c und die Ausgangssituation (vgl. Kapitel 4) vergleichend gegenübergestellt. Obwohl sich die Substrateinsatzmengen nur geringfügig verändern (ca. +1.176 bis +1.556 t/a), sind die folgenden baulichen Veränderungen nötig: Um zusätzlich

den Güllebonus erhalten zu können, wird in der Anlage jetzt zu 33 Masse-% Geflügelmist eingesetzt. Daher muss eine entsprechende Einfriedung (Umzäunung) geschaffen werden, da Wirtschaftsdünger betriebsfremder Herkunft aufgenommen wird. Weiterhin müssen eine automatische Toreinfahrt und eine Waageeinrichtung installiert werden, um die Verschließbarkeit der Anlage praxistauglich sicherstellen und die gesetzlichen Dokumentationsauflagen einhalten zu können. Ein automatisches Wiege- und Aufzeichnungssystem ist zwar nicht zwingend nötig; um jedoch eine vorteilhafte Verhandlungsposition gegenüber potentiellen Transport- und Handelsunternehmen zu erlangen, sollte die Biogasanlage zu jeder Zeit befahr- und belieferbar sein. Eine automatische Waage- und Dokumentationseinrichtung kann zudem die Einhaltung der vereinbarten Rahmenbedingungen schriftlich dokumentieren. Weiterhin sind infrastrukturelle Maßnahmen auf der Biogasanlage notwendig. Wie schon in Kap. 3.4 beschrieben, müssen besonders an den Fahrwegen Veränderungen vorgenommen werden, um die Desinfektionsfähigkeit sicherzustellen. Das ist dann gegeben, wenn die Fahrbahn aus einer glatten Oberfläche (Teer oder Pflasterstein) besteht, um eine Desinfektionslösung aufbringen zu können. Weiterhin muss eine Lagerstätte für den Geflügelmist geschaffen werden. Wie bereits in Kap. 3.4 beschrieben, gibt es zwei Möglichkeiten zur Lagerung stapelbarer Wirtschaftsdünger. In diesem Fall wurde die in der Praxis übliche Variante der auf der einen Giebelseite offenen Lagerhalle gewählt (Szenarien 4a+b). Die ausgewiesenen Kosten in Höhe von 37.100 € umfassen eine Lagerhalle (7m*12m) mit einer säurebeständigen Betonbodenplatte. Drei Seiten sind mit einer 2,5 m hohen Stahlbetonwand versehen, um ein Lagervolumen für mindestens 10 Tage sicherzustellen. Die Dachkonstruktion ist in Leichtbauweise gefasst und erlaubt ein Abkippen der angelieferten Substrate unter dem Dach. Innerhalb der Gärstrecke sind ebenfalls Veränderungen nötig. Wie in Kapitel 4.4 bereits beschrieben, können im angelieferten Geflügelmist leicht sperrige, feste Fremdstoffe enthalten sein, die der Anlagentechnik schaden würden. Aus diesem Grunde ist zusätzlich eine Nassvermahlung eingeplant worden. Sie dient zusätzlich dazu, den grobfaserigen Strohanteil für den folgenden Gärprozess besser aufzuschließen (KALTSCHMITT et al., 2009). Schlussendlich muss das Gärrestlager rechnerisch um 3.044 m³ bzw. 3.415 m³ vergrößert werden. Dabei eingerechnet ist bereits die Sicherstellung der Lagerfähigkeit für mindestens 9 Monate. Für die Szenarioberechnungen 4a und 4b wurde der Neubau eines 3.500 m³ umfassenden Gärsubstratlagers unterstellt. Darin inbegriffen sind die technische Ausstattung und nötige Infrastruktur zur Entleerung des zusätzlichen Behälters. Etwas differenzierter ist hingegen das Szenario 4c anzusehen. Die Substraterweiterung des Geflügelmistes von 33 auf 50 Masse-% (Szenario 4c) beinhaltet zwar ca. 600 t mehr Gärreste, diese können jedoch noch in bereits vorhandenen Lagerkapazitäten untergebracht werden. Daher sind an dieser Stelle keine weiteren Investitionen nötig. Anders hingegen sieht es in der Lagerung und der entsprechenden Bevorratung der erhöhten Menge an Geflügelmist aus. An dieser Stelle muss investiert werden. Die vorhandene Lagerhalle kann die entsprechende Tonnage für eine Mindestbevorratung von 10 Tagen nicht sicherstellen. Daher wurde an dieser Stelle eine Erweiterung der bestehenden Lagerhalle um 5m angenommen. Daraus ergibt sich für das Szenario 4c eine Gesamtinvestitionssumme von **42.250 €**

Um die vorhandene Anlage in den Szenarien 4a und 4b erstmalig auf den Einsatz von 33 Masse-% Geflügelmist umzustellen, ist ein Investitionsvolumen von ca. **403.600 €** bzw. **390.600 €** nötig. Dem gegenüber steht die Erfüllung der gesetzlichen Forderung nach Lager-

kapazitätserhöhung (von 6 auf 9 Monate) in der Ausgangssituation, die mit Investitionen in Höhe von **243.500 €** verbunden ist.

Tabelle 35: Investitionsrechnung Szenarien 4a-c

Bemessungsgrößen/ Investitionen	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 4a		Szenario 4b		Szenario 4c	
		NawaRo 100 %		Geflügelmist 33 %		Geflügelmist 33 %		Geflügelmist 50 %	
Methanertrag	Nm³/a	1.325.512		1.325.512		1.325.512		1.325.512	
Substrateinsatzmenge		in %	in t	in %	in t	in %	in t	in %	in t
Silomais		67	8.040	37	4.865	54	7.280	38	5.360
GPS		15	1.800	14	1.800	0	0	0	0
Zuckerrübe		15	1.800	14	1.800	13	1.800	13	1.800
Getreidekörner		3	360	3	360	0	0	0	0
Geflügelmist (Gemisch)			0	33	4.351	33	4.476	50	7.075
Schweinegülle flüssig			0		0	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter			0		0	0	0	0	0
Substratmenge	t/a	12.000		13.176		13.556		14.235	
Gärreste	t/a	8.990		10.058		10.554		11.174	
vorh. Hauptvermentervolumen	m ³	2.400		2.400		2.400		2.400	
vorh. Nachgärervolumen	m ³	2.000		2.000		2.000		2.000	
vorh. Gärsubstratlager	m ³	4.500		4.500		4.500		4.500	
zusätzl. benötigtes Vergärervolumen	m ³								
zusätzl. benötigtes Gärsubstrat- lager (rechnerisch) praktisch	m ³	2.243	2.500	3.044	3.500	3.415	4.000	-120	0
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									
10.000 € - 40.000 €	pauschal	15.000		25.000		25.000		10.000	
Lager feste Wirtschaftsdünger									
10 Tage Vorrat	t bzw. m ³			119		123		71	
Betonplatte	150 €/m ²			7 m * 12 m	12.600	7 m * 12 m	12.600	5 m * 12 m	9.000
Betonwand (2,5 m Höhe)	250 €/lfd m			6.500		6.500		2.500	
Bedachung u. Seitenverkleidung	150 €/m ²			120	18.000	120	18.000	85	12.750
Lager fl. Wirtschaftsdünger									
10 Tage Vorrat	m ³								
Tief- oder Hochbehälter	120 €/m ³								
Rührwerk	8.000 €/Stck.								
Abtankplatz	160 €/m ²								
Leitung und Elektrik	pauschal								
Hauptvermenter/Nachgärer									
Vermenter	€								
Nassvermahlung integriert	pauschal €			50.000		50.000			
zusätzliche Rührwerke	€			8.000		8.000		8.000	
evtl. modifizierte Eintragstechnik	pauschal €								
zusätzliche Heizleitung	pauschal €								
Gärsubstratlager									
Lagerraum	€/m ³	73	182.500	54	189.000	44	176.000		
Rührwerk	8.000 €/Stck.			16.000		16.000			
Zuwegung/Entnahmestation	€								
Rohrleitungen/Technik/Elektrik	pauschal €	30.000		30.000		30.000		0	
Investitionssumme	€	243.500		403.600		390.600		42.250	

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2009c), KTBL (2013), EXPERTENINTERVIEW (2014)

4.4.2 Transporte

Der Geflügelmist als fester Wirtschaftsdünger kann wie die feste Schweinegülle mit einem Kipp-Lkw transportiert werden. Daher ist die Transportkostenfunktion

$$T(d) = 4 \text{ €} + d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

aus Szenario 2 auch für dieses Szenario gültig.

Kosten/Ertrag Abnahme des Wirtschaftsdüngers

Der Geflügelmist hat eine höhere Nährstoffdichte als feste Schweinegülle und ist daher wertvoller, so dass Landwirte den Geflügelmist nicht kostenlos, sondern nur gegen Bezahlung abgeben. Als Preis, den eine Biogasanlage für eine Tonne Geflügelmist bezahlen muss, werden 10 € angenommen.

Einsparung Energiepflanzen

In diesem Szenario werden 3.175 t Silomais durch 4.351 t Geflügelmist ersetzt. Demnach substituiert eine Tonne Geflügelmist 0,730 t Silomais. Für die Ersparnis beim Einkauf von Silomais errechnet sich damit ein Wert von 24,81 €

Ertrag Gärreste

Im Gärrest einer Tonne Geflügelmist sind 21 kg Stickstoff, 17 kg Phosphat und 22 kg Kaliumoxid enthalten. Mit den Nährstoffwerten für Silomais und einer Substitutionsrate von 0,730 ergibt sich eine Erhöhung des Nährstoffgehaltes des Gärrestes um 17,86 kg Stickstoff, 15,69 kg Phosphat und 18,28 kg Kaliumoxid. Basierend auf den unterstellten Preisen und dem angenommenen Mineräldüngeräquivalent von 60 % errechnet sich ein Mehrwert der Gülle von 29,29 € pro Tonne Geflügelmist. Der Gärrest der Beispielanlage hat einen Stickstoffgehalt von 12,74 kg/m³, wobei nur 7,65 kg/m³ anrechenbar sind. Folglich werden 9,16 m³ Gärrest benötigt, um einen Hektar Feld zu düngen. Für die Ausbringungskosten bei mittlerer Mechanisierung, einer Schlaggröße von 20 ha und einer Gärrestlager-Feld-Entfernung von 5 km wird ein Wert von 4,34 €/m³ angenommen; somit ergeben sich für den Hektar 39,73 €. Die Ausbringungskosten für den Mineräldünger betragen wieder 5,09 €, was zu einer Differenz von 34,64 €/ha führt. Durch die Steigerung des Stickstoffs in Höhe von 17,86 kg pro Tonne Schweinegülle kann 0,1531 ha mehr Land mit Gärrest gedüngt werden. Die daraus resultierenden zusätzlichen Ausbringungskosten von 5,30 €/t ergeben zusammen mit dem Mehrwert aus der Nährstoffhöhung einen Ertrag von 23,98 €/t.

Kumulierter Ertrag

Für den Einsatz von einer Tonne Geflügelmist lautet die Ertragsfunktion in Abhängigkeit von der Transportentfernung

$$E(d) = 34,79 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Die Erträge für die Transporte aus den Landkreisen der Veredelungsregion in die Landkreise der Ackerbauregion sind in Tabelle 36 aufgeführt. Der Ertrag für den Transport wird negativ ab einer Entfernung von 695,8 km. Ab dieser Entfernung sind die Kosten für den Transport höher als die oben beschriebenen Einnahmen und Einsparungen.

Tabelle 36: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 4a

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	19,03 €	22,92 €	21,40 €	23,36 €	22,38 €
Diepholz	23,34 €	24,22 €	25,73 €	27,67 €	26,55 €
Emsland	17,53 €	20,62 €	19,12 €	21,08 €	20,10 €
Grafschaft Bentheim	18,77 €	18,82 €	18,84 €	20,78 €	19,74 €
Oldenburg	20,79 €	24,53 €	23,16 €	25,12 €	24,14 €
Osnabrück	23,50 €	23,12 €	23,54 €	25,49 €	24,38 €
Vechta	19,14 €	22,88 €	21,51 €	23,47 €	22,49 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Szenario 4b

Die Änderung der Substitutionsreihenfolge der Energiepflanzen hat keinen Einfluss auf die Transportkosten oder die Abgabebzahlungen pro Tonne Wirtschaftsdünger. Die Werte können daher aus Szenario 4a übernommen werden.

Einsparung Energiepflanzen

In diesem Szenario werden 1.800 t GPS, 360 t Getreidekörner und 760 t Silomais durch 4.476 t Geflügelmist ersetzt. Folglich substituiert eine Tonne Geflügelmist 0,4 t GPS, 0,08 t Getreidekörner und 0,17 t Silomais. Für die Ersparnis beim Einkauf von Energiepflanzen errechnet sich damit ein Wert von 31,11 €

Ertrag Gärrest

Eine Tonne Geflügelmist substituiert insgesamt 0,65 t Energiepflanzen, wodurch sich eine Erhöhung des Nährstoffgehaltes des Gärrestes von 17,86 kg Stickstoff, 15,69 kg Phosphat und 18,28 kg Kaliumoxid ergibt. Unter Berücksichtigung der angenommenen Preise für die Energiepflanzen und des Mineräldüngeräquivalents von 60 % errechnet sich ein Mehrwert von 29,00 € pro Tonne Geflügelmist. Der Gärrest der Beispielanlage hat einen Stickstoffgehalt von 12,48 kg/m³, von dem aufgrund des Mineräldüngeräquivalents nur 7,49 kg/m³ anrechenbar sind. Um einen Hektar Feld zu düngen, werden folglich 9,35 m³ Gärrest benötigt. Für die Ausbringungskosten bei mittlerer Mechanisierung, einer Schlaggröße von 20 ha und einer Gärrestlager-Feld-Entfernung von 5 km wird ein Wert von 4,31 €/m³ angenommen. Für den Hektar betragen damit die Ausbringungskosten 40,30 €. Die Ausbringungskosten für den Mineräldünger betragen wieder 5,09 €, was zu einer Differenz von 35,21 €/ha führt. Durch die Steigerung des Stickstoffs in Höhe von 17,45 kg pro Tonne Geflügelmist kann 0,1495 ha zusätzliche Fläche mit Gärrest gedüngt werden. Die daraus resultierenden zusätzlichen Ausbringungskosten von 5,27 €/t ergeben zusammen mit dem Mehrwert aus der Nährstoffhöhung einen Ertrag von 23,74 €/t.

Kumulierter Ertrag

Für den kumulierten Ertrag ergibt sich für den Transport mit dem Kombiliner die folgende Funktion:

$$E(d) = 40,84 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Damit erzielen Transporte mit Entfernungen bis zu 816,6 km positive Erträge. Die Erträge der verschiedenen Landkreiskombinationen für den Kombiliner sind in Tabelle 37 enthalten.

Tabelle 37: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 4b

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	25,08 €	28,97 €	27,45 €	29,41 €	28,43 €
Diepholz	29,39 €	30,27 €	31,78 €	33,72 €	32,60 €
Emsland	23,58 €	26,67 €	25,17 €	27,13 €	26,15 €
Grafschaft Bentheim	24,82 €	24,87 €	24,89 €	26,83 €	25,79 €
Oldenburg	26,84 €	30,58 €	29,21 €	31,17 €	30,19 €
Osnabrück	29,55 €	29,17 €	29,59 €	31,54 €	30,43 €
Vechna	25,19 €	28,93 €	27,56 €	29,52 €	28,54 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Szenario 4c

Auch in Szenario 4c können die Transportkosten und Abnahmekosten pro Tonne Geflügelmist aus dem Szenario 4a übernommen werden, da die Einsatzmenge und Substitutionsreihenfolge keinen Einfluss darauf haben.

Einsparung Energiepflanzen

Da die BGA im Szenario 4b schon GPS und Getreidekörner vollständig durch Geflügelmist substituiert wurden, wird bei der Anhebung des Wirtschaftsdüngeranteils auf 50 % nur noch Silomais gegen Geflügelmist ausgetauscht. Eine Tonne Geflügelmist substituiert 0,74 t Silomais. Bei einem Preis für Silomais von 34 €/t beträgt die Einsparung 25,12 €/pro eingesetzter Tonne Geflügelmist.

Ertrag Gärrest

Während der Gärrest von einer Tonne Geflügelmist 21 kg Stickstoff, 17 kg Phosphat und 22 kg Kaliumoxid enthält, enthält der Gärrest von einer Tonne Silomais 4,3 kg Stickstoff, 1,8 kg Phosphat und 5,10 kg Kaliumoxid. Da eine Tonne Geflügelmist 0,74 t Silomais substituiert, erhöht sich die Nährstoffmenge des Gärrests um 17,82 kg Stickstoff, 15,67 kg Phosphat und 18,23 kg Kaliumoxid pro eingesetzte Tonne Geflügelmist. Bewertet mit den in Szenario 1a angegebenen Preisen errechnet sich ein Mehrwert von 29,23 €/pro Tonne Geflügelmist. Der Gärrest der Anlage mit 50 % Wirtschaftsdüngereinsatz enthält 16,14 kg Stickstoff pro m³ Gärrest, von dem 9,68 kg/m³ anrechenbar sind. Somit beträgt der Bedarf zur Düngung eines Hektars Ackerfläche 7,23 m³. Für diese Ausbringungsmenge betragen die Kosten unter den im Szenario 1a getroffenen Annahmen ca. 4,55 €/m³. Insgesamt ergeben sich dann 32,90 € Ausbringungskosten pro Hektar, was im Vergleich zur Mineraldüngerausbringung Mehrkosten von 27,81 €/ha bedeutet. Mit dem zusätzlichen Stickstoff durch den Einsatz von einer Tonne Geflügelmist lassen sich zusätzliche 0,1528 ha Ackerfläche düngen. Pro Tonne Geflügelmist entstehen also 4,25 € an Mehrkosten für die Ausbringung. Zusammen mit dem Mehrwert des Gärrests aufgrund der zusätzlichen Nährstoffe ergibt sich ein Mehrwert des Gärrests von 24,98 €/pro Tonne eingesetztem Geflügelmist.

Kumulierter Ertrag

Für den kumulierten Ertrag lautet die Funktion für den Transport folgendermaßen:

$$E(d) = 36,10 \text{ €} - d \text{ km} \cdot 0,05 \text{ €/km}$$

Die Tabelle 34 zeigt die Erträge für die Transporte mit einem Kombiliner aus den Veredelungsregionen in die Ackerbauregionen. Die Distanz, ab welcher ein Verlust entsteht, beträgt 722 km.

Tabelle 38: Erträge je eingesetzter t Wirtschaftsdünger im Szenario 4c

	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	20,34 €	24,23 €	22,71 €	24,67 €	23,69 €
Diepholz	24,65 €	25,53 €	27,04 €	28,98 €	27,86 €
Emsland	18,84 €	21,93 €	20,43 €	22,39 €	21,41 €
Grafschaft Bentheim	20,08 €	20,13 €	20,15 €	22,09 €	21,05 €
Oldenburg	22,10 €	25,84 €	24,47 €	26,43 €	25,45 €
Osnabrück	24,81 €	24,43 €	24,85 €	26,80 €	25,69 €
Vechta	20,45 €	24,19 €	22,82 €	24,78 €	23,80 €

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

4.4.3 Ökonomische Bewertung

Eine Leistungen und Kosten umfassende einzelbetriebliche Analyse zum Einsatz von 33 bzw. 50 Masse-% Geflügelmist in der Beispielbiogasanlage gibt Tabelle 25 wieder. Dargestellt wird der Vergleich zwischen der Ausgangssituation und dem möglichen Betrieb der Biogasanlage unter den Bedingungen des Szenarios 4a+b. Das Szenario 4c stellt den Unterschied zum Szenario 4b dar, also die Erhöhung des Einsatzes von 33 auf 50 Masse-% Geflügelmist. Die in Kapitel 4.4.1 dargestellten Investitionssummen werden in der LKR in Form der jährlichen Abschreibungen (fixe Kosten) berücksichtigt. Steuerrechtlich werden Technik und Maschinen über 8 Jahre abgeschrieben, bauliche Anlagen über 20 Jahre; so ist es in den folgenden Berechnungen berücksichtigt worden. Unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sollten die baulichen Anlagen mit einer Abschreibungszeit von 10 Jahren in die Kalkulationen eingehen. Unter dieser Annahme würden sich die fixen Kosten im Szenario 4a/4b um rund 13.500 €/a und in Szenario 4c um ca. 2.200 €/a erhöhen.

Die höheren Einnahmen entstehen durch die Möglichkeit der zusätzlichen Inanspruchnahme des Güllebonus nach EEG 2009 und durch den möglichen Verkauf von überschüssigem Gärrest. Durch den im Vergleich zu den Szenarien 1 bis 3 eingesetzten nährstoffreicheren Geflügelmist (KTBL, 2013) lässt sich in diesem Szenario auch der höchste Preis (23,10 €/t bzw. 28,92 €/t) für den zu verkaufenden überschüssigen Gärrest ansetzen. Die Wertigkeit des Gärrests wurde über die Nährstoffzusammensetzung (NPK) je m³ errechnet. Da in der Praxis dieser Wert jedoch aus verschiedenen Gründen (u.a. arbeitstechnische Gründe, Kalkulierbarkeit der Verfügbarkeit etc.) nicht erzielt werden kann, sind nur 50 % des Wertes (11,55 €/t bzw. 14,46 €/t) als Einnahme auf Seiten der Biogasanlage verrechnet worden. Somit ergeben sich im Vergleich zur Ausgangssituation um ca. **218.000 €/a** höhere Leistungen. Die jährlichen Kosten setzen sich aus variablen und fixen Kosten zusammen. Die Substratkosten entwickeln sich sehr unterschiedlich innerhalb der drei Szenarien bei gleichbleibendem Biogasertrag. Alle weiteren variablen Kosten erhöhen sich entsprechend der Tabelle 39. Die bereits in Kapitel 4.4 angesprochene Problematik, dass an der Anlage höherer Verschleiß und Reparaturkosten durch den Einsatz von Geflügelmist entstehen würden, ist unter „Sonstiges“ einbezogen worden. Im Vergleich mit der Ausgangssituation kann ein Vorteil im Bereich der variablen Kosten von ca. **5.700 €/a** (Szenario 4a) bzw. **32.600 €/a** (Szenario 4b) erreicht werden.

Tabelle 39: Leistungs-Kostenrechnung Szenarien 4a-c

Leistungs-/Kostenart	Preis/ Einheit	Ausgangssituation		Szenario 4a		Szenario 4b		Szenario 4c		
		NawaRo 100 %		Geflügelmist 33 %		Geflügelmist 33 %		Geflügelmist 50 %		
Gesamtinvestitionssumme	€	243.500		403.600		390.600		42.250		
Abschreibungen										
Technik/Maschinen	8 Jahre	€	31.000	3.875	101.000	12.625	101.000	12.625	8.000	1.000
bauliche Anlagen	20 Jahre	€	197.500	9.875	277.600	13.880	264.600	13.230	24.250	1.213
jährliche Abschreibung		€/a	13.750		26.505		25.855		2.213	
Leistungen										
EEG Einspeisevergütung		€/kW _{el}	0,2073		0,2328		0,2328		0,2328	
Stromerlöse		€/a	1.054.162		1.183.862		1.183.862		1.183.862	
Preis für Wärmeverkauf		€/kW _{th}	0,02		0,02		0,02		0,02	
Wärmeerlöse		€/a	n.r.		n.r.		n.r.		n.r.	
Preis für Gärsubstrat 50 % äquiv. Mineraldünger (P)		€/m ³			11,55		11,12		14,46	
Gärsubstraterlöse		€/a	0		88.157		89.435		49.960	
Summe Leistungen		€/a	1.054.162		1.272.019		1.273.297		1.323.258	
Saldo Summe Leistungen		€/a			217.857		219.135		49.960	
Variable Kosten										
			Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€	Mengen	€
Silomais	34	€/t FM	8.040	273.360	4.865	-107.950	7.280	-25.840	5.360	-65.280
GPS	35	€/t FM	1.800	63.000	1.800	n.r.	0	-63.000	0	n.r.
Zuckerrübe	30	€/t FM	1.800	54.000	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Getreidekörner	140	€/t FM	360	50.400	360	n.r.	0	-50.400	0	n.r.
Geflügelmist	20	€/t FM	0	0	4.351	87.020	4.476	89.520	2.599	51.980
Schweinegülle flüssig	0	€/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	12	€/t	0	0	0	0	0	0	0	0
Ausbringung Gärsubstrat	4,14	€/m ³	n.r.		1.068	4.421	1.563	6.472	620	2.567
Betriebsstoffe (Strom, etc.)		€/a	n.r.		4.381		4.381		0	
Wartung/Reparaturen	1-1,5 %	€/a	2.285		5.679		5.484		484	
Laboranalysen (1x/Monat)		€/a	n.r.		1.500		1.500		0	
Sonstiges		€/a	n.r.		1.500		1.500		2.000	
Summe Variable Kosten		€/a	2.285		-3.449		-30.383		-8.249	
Saldo Summe Variable Kosten		€/a			-5.734		-32.668			
Fixe Kosten										
Abschreibungen		€/a	13.750		26.505		25.855		2.213	
Zinsen Anlagekapital	2 %	€/a	5.916		9.806		9.491		1.027	
Planungs- und Genehmigungskosten		€/a	750		1.250		1.250		500	
Zinsen Planungs- u. Genehmigungskosten	2 %	€/a	364		607		607		243	
Versicherungen	0,5 %	€/a	1.218		2.018		1.953		211	
Netto-Arbeitszeitbedarf		AKh/a	n.r.		183		183		183	
Lohnkosten	18 €/Akh	€/a	n.r.		3.285		3.285		3.285	
Gemeinkosten		€/a	n.r.		n.r.		n.r.		n.r.	
Summe Fixe Kosten		€/a	21.998		43.472		42.441		7.478	
Saldo Summe Fixe Kosten		€/a			21.473		20.443			
kalkulatorischer Gewinn- beitrag		€/a	-24.283		177.834		207.078		50.732	
Saldo kalkulatorischer Gewinnbeitrag		€/a			202.117		231.361			

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KTBL (2013), EEG (2009), DLG (2006), GÖRISCH und HELM (2007), EXPERTENINTERVIEW (2014)

Im Vergleich zum Status Quo der Beispielbiogasanlage reduzieren sich die variablen Kosten leicht um knapp **3.500 €a** bzw. **30.300 €a**. Die fixen Kosten erhöhen sich entsprechend den

in Tabelle 39 aufgeführten Kostenarten. Der Zinssatz wurde der aktuellen Kapitalmarktlage angepasst und auf 2 % reduziert. Der gestiegene Arbeitskraftbedarf (0,5 Akh/d) ergibt sich größtenteils durch die erhöhte Büroarbeitszeit zur Organisation sowie Dokumentation des Geflügelmisteinsatzes. Das Szenario 4c verdeutlicht die Veränderungen zum Szenario 4b. Durch die aufgeführten Werte des Szenario 4c werden die Veränderungen deutlich, die sich einstellen, wenn der Einsatz von 33 auf 50 Masse-% Geflügelmist in einer Biogasanlage erhöht wird. Die variablen Kosten reduzieren sich in etwa um knapp 10.000 €a, hauptsächlich bedingt durch die Substitution von Silomais durch Geflügelmist. Die fixen Kosten steigen hingegen nur sehr moderat jährlich um ca. **7.500 €**an. Dies ist hauptsächlich darin begründet, dass der benötigte Lagerraum sowohl für den zusätzlichen Geflügelmist als auch für den erhöhten Anfall an Gärresten sehr günstig bereitgestellt werden kann.

Letztendlich liegt der kalkulatorische Gewinnbeitrag des Szenarios 4a bei **177.834 €a** bzw. des Szenarios 4b sogar bei **207.078 €a**. Die Umstellung der bestehenden Anlage auf das Szenario 4a oder 4b würde den jährlichen Betriebserfolg somit deutlich erhöhen. Im Hinblick auf die Ausgangssituation, in der die bestehende Anlage zukünftig das Gärsubstratlager erweitern müsste, wäre sogar ein Vorteil in Höhe von ca. **200.000 €**bzw. **230.000 €**erzielbar. Der kalkulatorische Gewinnbeitrag des Szenario 4c (50 Masse-% Geflügelmist) kann mit ca. **50.000 €** jährlich ausgewiesen werden. Unter Berücksichtigung der genannten betriebswirtschaftlichen Abschreibungsmodalitäten würden sich die jeweiligen kalkulatorischen Gewinnbeiträge um den entsprechenden erhöhten jährlichen Abschreibungsbetrag reduzieren.

4.4.4 Ökologische Bewertung

Transport

Der Transport des Geflügelmists entspricht dem Transport von fester Schweinegülle. Mit den gleichen Annahmen ergibt sich daher wieder ein Dieserverbrauch von 2,18 Liter pro Tonne Geflügelmist. Pro Liter Diesel betragen die Emissionen 2,8653 kg CO₂-Äquivalent und $3,56 \cdot 10^{-5}$ kg/l SO₂-Äquivalent. Für die zu transportierende Menge von 4.351 Tonnen entstehen somit jährlich zusätzliche Emissionen von 28.699,59 kg CO₂- und 0,36 kg SO₂-Äquivalent.

Lagerhaltung

Im Gegensatz zur Schweinegülle betragen die Einsparungen für die Lagerung beim Geflügelmist 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne. Da jährlich 4.351 t Geflügelmist in der Biogasanlage eingesetzt werden, werden an Emissionen insgesamt 245.875,01 kg CO₂- und 34.024,82 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Einsparung Mineraldünger

Durch die Substitution erhöht sich die Nährstoffmenge des Gärrests um 77.719 kg Stickstoff, 68252 kg Phosphat und 79530 kg Kaliumoxid. Wie in den anderen Szenarien auch, ist beim Stickstoff zu beachten, dass das Mineraldüngeräquivalent bei 60 % liegt und somit nur 46.631 kg Stickstoff aus Mineraldünger ersetzt werden können. Für die Produktion des Mineraldüngers errechnet sich aus dem Bedarf und den Emissionswerten in Tabelle 6 in Abschnitt 3.6 eine Einsparung an Emissionen von 484.704,75 kg CO₂- und 2.851,46 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz von Geflügelmist erhöht sich die Stickstoffmenge im Gärrest um 77.718,5 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärrest auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Demgegenüber stehen 46.631,1 kg Stickstoff aus Mineraldünger, die weniger verwendet werden. Die Stickstoffmenge im Wirtschaftsdünger, der im Status Quo ausgebracht wird, beträgt 91.371 kg. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Kapitel 3.6 ergibt sich durch die Ausbringungsverluste eine Einsparung an Emissionen von 369.313,87 kg CO₂- und 10.332,14 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Die jährliche Substitution von 3.175 t Silomais führt aufgrund der produktionsbedingten Emissionen von 72,41 CO₂- und 0,89 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne Silomais zu einer Ersparnis von 229.901,75 kg CO₂- und 2.825,75 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Umbauarbeiten

Die Emissionen für die Umbauten betragen auf das Jahr umgerechnet 3.387,37 kg CO₂- und 10,26 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Da in diesem Szenario auf eine Gärrestmenge von 10.058 t eine Stickstoffmenge von 128.167 t kommt, von der 76.900 kg anrechenbar sind, enthält ein m³ Gärrest 7,65 kg anrechenbaren Stickstoff. Ein Tankwagen mit Füllmenge von 24 m³ beinhaltet daher 183,50 kg Stickstoff. Mit dieser Menge können 2,62 ha Ackerfläche gedüngt werden bei einem angenommenen Bedarf von 70 kg/ha. Die Gärrestmenge, die pro Hektar ausgebracht wird, beträgt dann 9,16 m³. Für diese Ausbringungsmenge beträgt der Dieserverbrauch 8,9 l/ha gemäß dem Dieserverbrauchsrechner des KTBL. Da mit dem Stickstoff des Gärrests eine Fläche von 1.099 ha gedüngt werden kann, benötigt die Gärrestaubsbringung im Szenario 9.777,31 l. Davon abzuziehen ist der Dieserverbrauch der Gärrestaubsbringung im Status Quo, der schon im Szenario 1a berechnet wurde, und der Dieserverbrauch der Mineraldüngerabsbringung der Differenzfläche. Die Differenzfläche beträgt insgesamt 666 ha, womit sich ein Dieserverbrauch von 699,47 l errechnet bei einem angenommenen Dieserverbrauch von 1,05 l/ha. Insgesamt beträgt der Mehrverbrauch für die Ausbringung im Szenario 3.283,53 l Diesel. Dies entspricht zusätzlichen Emissionen von 9.390,89 kg CO₂- und 0,12 kg SO₂-Äquivalent.

Emissionsdifferenz

Die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung sind in Tabelle 26 zusammengefasst. Insgesamt würde durch den Einsatz von Geflügelmist in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 1.288.316,99 kg CO₂- und 50.023,43 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 40: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 4a im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	28.699,59	0,36
Einsparung Mineraldünger	-484.704,21	-2.851,46
Einsparung Energiepflanzen	-229.901,75	-2.825,75
Lagerung	-245.875,01	-34.024,82
Ausbringungsverluste	-369.313,87	-10.332,14
Umbauten	3.387,37	10,26
Dieserverbrauch Ausbringung	9.390,89	0,12
Emissionen gesamt	-1.288.316,99	-50.023,43

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Es werden insgesamt 3.175 t Silomais substituiert. Da pro Hektar 60,8 t Silomais geerntet werden können, wird durch den Einsatz des Geflügelmistes eine Ackerfläche von 52,22 ha zur alternativen Nutzung frei.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 4.351 t Geflügelmist beträgt 341.888,33 MJ.

Szenario 4b

Transport

Der Dieserverbrauch für den Transport von einer Tonne Geflügelmist über eine Entfernung von 150 km kann aus dem Szenario 4a übernommen werden. Eine Änderung ergibt sich nur bei der Gesamtmenge an transportiertem Geflügelmist. Da in diesem Szenario die Transportmenge 4.476 t Geflügelmist beträgt, ergeben sich insgesamt Emissionen von 29.524,10 kg CO₂- und 0,37 kg SO₂-Äquivalent.

Lagerung

Die Einsparung für die Lagerung von Geflügelmist entspricht 53,41 kg CO₂- und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne. Im Jahr werden 4.476 t Geflügelmist in der Biogasanlage verwendet. Somit beträgt die jährliche Einsparung an Emissionen 252.938,76 kg CO₂- und 35.002,32 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Die jährlich eingesetzten 4.476 t Geflügelmist substituieren 1.800 t GPS, 360 t Getreidekörner und 760 t Silomais, was einen Anstieg der Nährstoffe im Gärrest zur Folge hat. Insgesamt steigt durch die Substitution die Menge an Stickstoff um 81.980 kg an, die Menge an Phosphat um 70.836 kg und die Menge an Kaliumoxid um 83.580 kg. Durch den Anstieg des Nährstoffgehalts kann Mineraldünger eingespart werden. Bei Phosphat und Kaliumoxid können die gleichen Mengen an Mineraldünger eingespart werden. Aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % ersetzt der Stickstoff im Gärrest nur 49.188 kg Stickstoff aus Mineraldünger. Zusammen mit den Emissionswerten für die Produktion der Mineraldünger aus Tabelle 6 in Abschnitt 3.6 ergeben sich durch die Einsparung an Mineraldünger ein verminderter

CO₂-Äquivalent von 509.695,32 kg und ein verminderter SO₂-Äquivalent von 2.984,30 kg pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Die Stickstoffmenge im Gärrest erhöht sich durch den Einsatz des Geflügelmists um 81.890 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht wird. Dafür kann 49.188 kg Stickstoff in Form von Mineraldünger weniger verwendet werden. Die Stickstoffmenge im Wirtschaftsdünger, der im Status Quo ausgebracht wird, beträgt 93.996 kg. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Abschnitt 3.6 ergibt sich durch die Ausbringungsverluste eine Einsparung an Emissionen von 375.444,48 kg CO₂- und 10.207 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Die jährliche Substitution von 1.800 t GPS, 360 t Getreidekörner und 760 t Silomais führt aufgrund der produktionsbedingten Emissionen (siehe Tabelle 8 im Abschnitt 3.6) zu einer Ersparnis von 345.008 kg CO₂- und 2.300 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Umbauarbeiten

Für die notwendigen Umbauarbeiten entstehen pro Jahr zusätzliche Emissionen von 4.119,13 kg CO₂- und 17,21 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Die anfallenden 10.302 t Gärrest enthalten 128.540 kg Stickstoff, wovon 77.124 kg anrechenbar sind. Somit ist in einem m³ Gärrest 7,49 kg anrechenbarer Stickstoff enthalten und mit einer Tankfüllung von 24 m³ lässt sich bei einem Bedarf von 70 kg/ha eine Fläche von 2,57 ha düngen. Dies entspricht einer Gärrestmenge von 9,35 m³ pro Hektar. Für die Ausbringung dieser Menge beträgt der Dieselverbrauch gemäß dem Dieselverbrauchsrechner des KTBL 9 l/ha. Mit dem im Gärrest enthaltenen Stickstoff lässt sich insgesamt eine Fläche von 1.102 ha düngen. Folglich beträgt der Dieselverbrauch für die Gärrestdüngung in diesem Szenario 9.915,94 l. Die Berechnung des Dieselverbrauchs im Status Quo wurde bereits im Szenario 1a durchgeführt und das Ergebnis von 5.794,31 l kann übernommen werden.

Die Flächendifferenz beträgt 669 ha. Der Dieselverbrauch für die Mineraldüngerdüngung beträgt unter den im Szenario 1a getroffenen Annahmen 1,05 l/ha. Somit entsteht bei der Mineraldüngerenausbringung der Differenzfläche ein Dieselverbrauch von 702,83 l. Insgesamt erhöht sich der Dieselverbrauch im Szenario im Gegensatz zum Status Quo um 3.418,8 l, was zusätzliche Emissionen von 9.777,77 kg CO₂- und 0,12 kg SO₂-Äquivalent zur Folge hat.

Emissionsdifferenz

In Tabelle 41 sind die einzelnen Emissionsänderungen pro Jahr bezüglich des Treibhauseffekts und der Versauerung zusammengefasst. Insgesamt würden durch den Einsatz von Geflügelmist in der Biogasanlage pro Jahr Emissionen von 1.439.665,55 kg CO₂- und 50.475,92 kg SO₂-Äquivalent eingespart.

Tabelle 41: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 4b im Vergleich zum Status Quo

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	29.524,10	0,37
Einsparung Mineraldünger	-509.695,32	-2.984,30
Einsparung Energiepflanzen	-345.008,00	-2.300,00
Lagerung	-252.938,76	-35.022,32
Ausbringungsverluste	-375.444,48	-10.207,00
Umbauten	4.119,13	17,21
Dieserverbrauch Ausbringung	9.777,77	0,12
Emissionen gesamt	-1.439.665,55	-50.475,92

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Durch den Geflügelmist werden 1.800 t GPS, 360 t Getreidekörner und 760 t Silomais substituiert. Mit den Ertragswerten aus Tabelle 9 im Kapitel 3.6 ergibt sich eine zusätzlich nutzbare Ackerfläche von 89,76 ha.

Energiebilanz

Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 4.476 t Geflügelmist beträgt 351.710,45 MJ.

Szenario 4c

Transport

Der Dieserverbrauch pro Tonne Geflügelmist beträgt bekanntermaßen 2,18 l für die Transportdistanz von 150 km. Bei einer Gesamtmenge an Geflügelmist von 2.599 t ergeben sich transportbedingte Emissionen von 17.143,24 kg CO₂- und 0,21 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Lagerung

Die Einsparung für die Lagerung von Geflügelmist entspricht 53,41 kg CO₂-Äquivalent und 1,08 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne. Im Jahr werden 2.599 t Geflügelmist in der Biogasanlage verwendet. Somit beträgt die jährliche Einsparung an Emissionen 146.869,49 kg CO₂- und 20.324,18 kg SO₂-Äquivalent.

Einsparung Mineraldünger

Pro Jahr werden 1.920 t Silomais durch 2.599 t Geflügelmist substituiert, was einen Anstieg der Nährstoffe im Gärrest zur Folge hat. Durch die Substitution steigt die Menge an Stickstoff um 46.323 kg an, die Menge an Phosphat um 40.727 kg und die Menge an Kaliumoxid um 47.386 kg, wodurch Mineraldünger eingespart werden kann. Bei Phosphat und Kaliumoxid können die gleichen Mengen an Mineraldünger eingespart werden. Aufgrund des Mineraldüngeräquivalents von 60 % ersetzt der Stickstoff im Gärrest nur 27.793,8 kg Stickstoff aus Mineraldünger. Zusammen mit den Emissionswerten für die Produktion der Mineraldünger aus Tabelle 6 in Abschnitt 3.6 ergeben sich durch die Einsparung an Mineraldünger eine Einsparung von 288.945,19 kg CO₂- und 1.700,48 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Ausbringungsverluste

Durch den Einsatz des Geflügelmists erhöht sich die Stickstoffmenge im Gärrest um 46.323 kg, die zusätzlich bei der Düngung mit Gärresten auf die Ackerflächen ausgebracht werden. Dem gegenüber stehen 27.793,8 kg Stickstoff aus Mineraldünger, die weniger verwendet werden. Berücksichtigt werden müssen auch die 54.579 kg Stickstoff, die im Status Quo in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Zusammen mit den Emissionswerten aus Tabelle 7 in Abschnitt 3.6 ergeben sich bezüglich der Ausbringungsverluste Emissionseinsparungen von 220.826,50 kg CO₂- und 6.192,73 kg SO₂-Äquivalent pro Jahr.

Substitution Energiepflanzen

Der Einsatz des Geflügelmists substituiert in diesem Szenario 1.920 t Silomais. Bei produktionsbedingten Emissionen von 72,41 kg CO₂- und 0,89 kg SO₂-Äquivalent pro Tonne beträgt die jährliche Einsparung 139.027,2 kg CO₂- und 1.708,8 kg SO₂-Äquivalent.

Umbauarbeiten

Für die notwendigen Umbauarbeiten entstehen pro Jahr zusätzliche Emissionen von 3.610,63 kg CO₂- und 14,96 kg SO₂-Äquivalent.

Ausbringung

Die Gärrestmenge beträgt in diesem Szenario 10.837 t. Darin enthalten sind 174.863 kg Stickstoff, wovon allerdings nur 60 % anrechenbar sind. Damit ergibt sich ein anrechenbarer Stickstoffgehalt von 9,68 kg pro m³ Gärrest. Ein Tankwagen mit einer Füllmenge von 24 m³ beinhaltet daher 232,35 kg anrechenbaren Stickstoff, womit eine Fläche von 3,32 ha gedüngt werden kann. Die Gärrestmenge pro Hektar beträgt dabei 7,23 m³/ha. Für diese Ausbringungsmenge beträgt der Dieselverbrauch 8 l/ha gemäß dem Dieselverbrauchsrechner des KTBL. Da durch den erhöhten Stickstoffgehalt des Gärrests die düngbare Fläche insgesamt 1.499 ha beträgt, ergibt sich für die Gärrestausringung ein Dieselverbrauch von 11.990,61 l. Dem gegenüber stehen zum einen die 9.915,941 l Dieselverbrauch für die Gärrestausringung aus dem Szenario 4b und der Dieselverbrauch für die Mineraldüngerausbringung auf der Differenzfläche. Diese Fläche beträgt hier 397 ha. Somit ergibt sich bei einem Dieselverbrauch von 1,05 l/ha für die Mineraldüngerausbringung insgesamt ein Dieselverbrauch von 416,67 l für die Düngung der Differenzfläche mit Mineraldünger. Zusammengefasst bedeutet dies ein Mehrverbrauch an Diesel von 1.658 l, was in zusätzlichen Emissionen von 4.741,88 kg CO₂- und 0,06 kg SO₂-Äquivalent resultiert.

Emissionsdifferenz

Die Emissionsänderungen pro Jahr in den verschiedenen Bereichen sind zusammengefasst in Tabelle 42. Pro Jahr ergibt sich durch den Einsatz von Geflügelmist eine Einsparung an Emissionen in Höhe von 770.172,63 kg CO₂- und 29.910,95 kg SO₂-Äquivalent.

Tabelle 42: Emissionsdifferenz pro Jahr Szenario 4c im Vergleich zum Szenario 4b

	CO ₂ -Äquivalent	SO ₂ -Äquivalent
Transport	17.143,24	0,21
Einsparung Mineraldünger	-288.945,19	-1.700,48
Einsparung Energiepflanzen	-139.027,20	-1.708,80
Lagerung	-146.869,49	-20.324,18
Ausbringungsverluste	-220.826,50	-6.192,73
Umbauten	3.610,63	14,96
Dieserverbrauch Ausbringung	4.741,88	0,06
Emissionen gesamt	-770.172,63	-29.910,95

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Landnutzungsänderungen

Im Vergleich zum Szenario 4b werden weitere 1.920 t Silomais durch den Wirtschaftsdünger substituiert. Es werden dadurch 31,58 ha Ackerfläche zusätzlich frei zur anderweitigen Nutzung, da pro Hektar 60,8 t Silomais geerntet werden können.

Energiebilanz

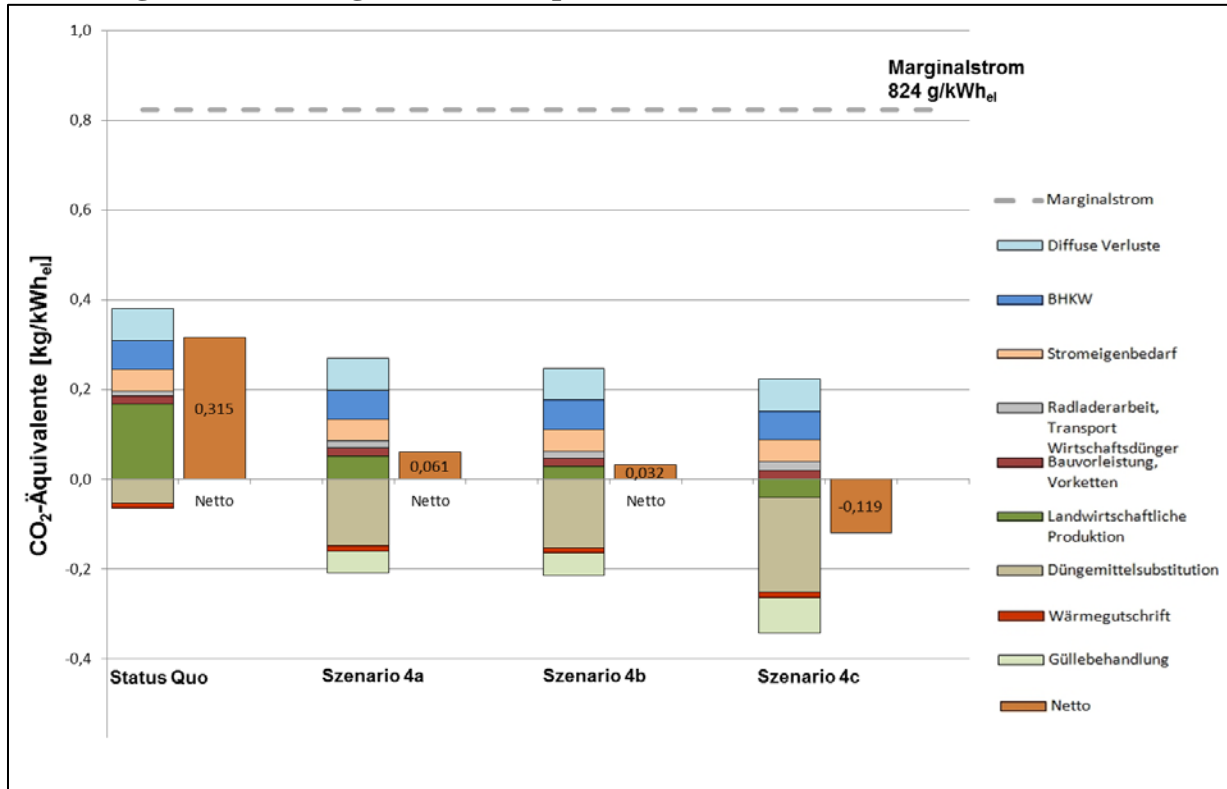
Der gesamte kumulierte Energieaufwand für die transportierten 2.599 t Geflügelmist beträgt 204.221,50 MJ.

Zusammenfassung

In allen Szenarien werden gegenüber dem Status Quo Emissionseinsparungen in den beiden untersuchten Wirkungskategorien erzielt. Der größte Teil an Einsparungen an Treibhausgasemissionen wird dabei wie bei der festen Schweinegülle durch die Mineraldüngersubstitution erreicht. Insgesamt liegen die Einsparungen bezüglich der Treibhausgasemissionen über denen der flüssigen und festen Schweinegülle. Bezüglich der Versauerung liegen die Emissionseinsparungen in allen Szenarien signifikant über den Einsparungen, die beim Einsatz von Schweinegülle erzielt werden können. Dies liegt zum einen daran, dass wesentlich höhere Einsparungen durch die Lagerungszeitverkürzung erreicht werden können. Des Weiteren ergeben sich bei den Ausbringungsverlusten im Gegensatz zur Schweinegülle Emissionseinsparungen. Die Substitutionsreihenfolge hat auch beim Geflügelmisteinsatz nur geringe Auswirkungen.

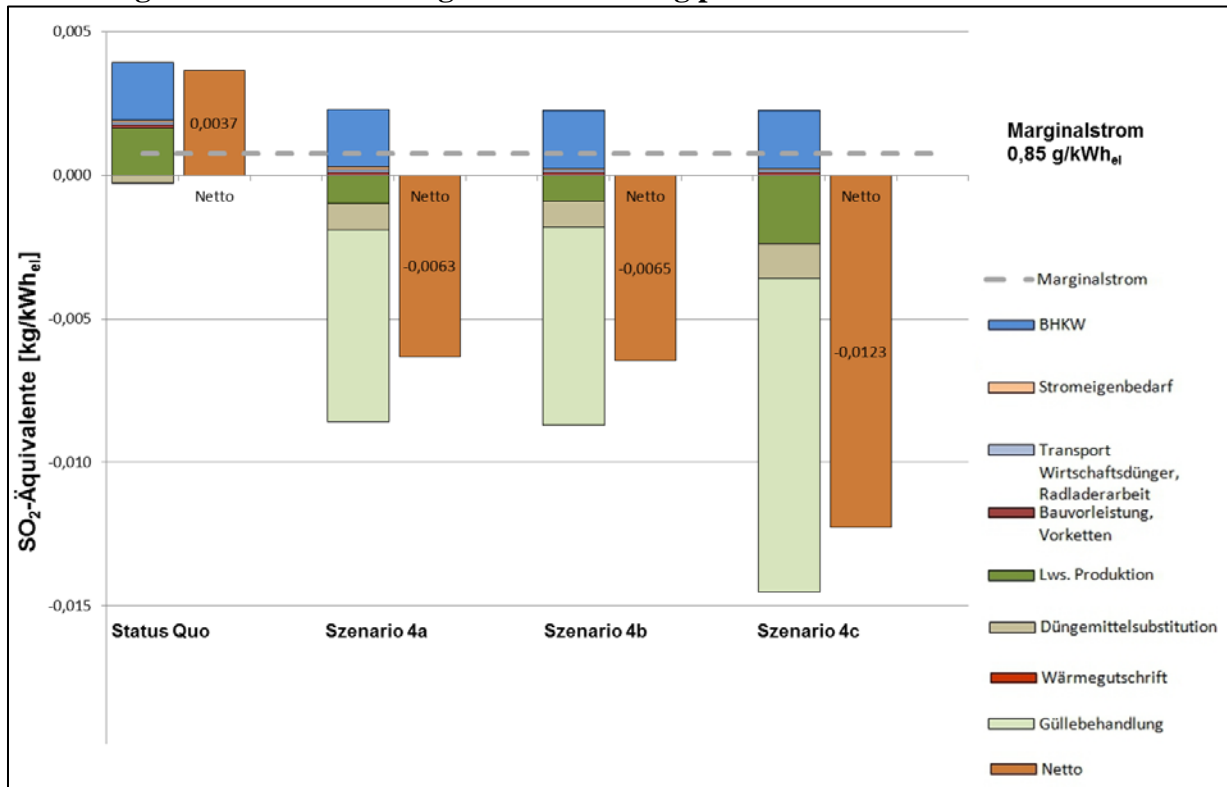
Die Abbildungen 13 und 14 stellen die Emissionen bezüglich des Treibhausgas und der Versauerung dar, die bei der Erzeugung von einer kWh_{el} entstehen. Im Gegensatz zur Schweinegülle liegen nicht nur die Treibhausgasemissionen der Szenarien unterhalb der Emission des Marginalstroms; auch bezüglich der Versauerung sind die Emissionen geringer. Aufgrund der hohen Emissionseinsparungen ergeben sich bezüglich der Versauerung negative Emissionswerte. Bezüglich der Treibhausgasemissionen ergibt sich im Szenario 4c ein negativer Emissionswert.

Abbildung 13: Treibhausgasemissionen pro kWh



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 14: Emissionen bezüglich Versauerung pro kWh



Quelle: Eigene Darstellung

5 Betrachtung als niedersächsisches Gesamtkonzept

Nach Angaben des Nährstoffberichtes 2012/2013 sind in einigen viehstarken Landkreisen in Westniedersachsen, namentlich Cloppenburg, Emsland, Grafschaft Bentheim, Oldenburg LK, Osnabrück LK und Vechta, deutliche Nährstoffüberschüsse zu verzeichnen (vgl. Kapitel 2; LWK NIEDERSACHSEN, 2013). Schwierigkeiten bei der Einhaltung der gesetzlich zulässigen Ausbringungsmengen bereitet in erster Linie das Phosphat (P_2O_5), gefolgt vom Stickstoff (N). Aus den genannten Landkreisen müssten insgesamt 32.990 t Phosphat pro Jahr exportiert werden, um die geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern einhalten zu können.

Die östlichen und südlichen, vieharmen Ackerbauregionen Niedersachsens weisen dagegen negative P-Salden auf, die durch mineralische Düngung gedeckt werden. In einer Gesamtbeurteilung werden daher erhebliche Potenziale für einen überregionalen Nährstoffausgleich erkennbar. Zusätzlich sind in den niedersächsischen Ackerbauregionen viele NawaRo-Biogasanlagen in Betrieb, in denen bislang kein Wirtschaftsdünger eingesetzt wird. Zahlreiche weitere Anlagen setzen Wirtschaftsdünger als Substrat ein, doch könnte der Wirtschaftsdüngeranteil im Substratmix erhöht werden (vgl. Kapitel 2.3). Der Wirtschaftsdüngereinsatz in Biogasanlagen weist zahlreiche Vorteile auf, von der Entschärfung der „Tank oder Teller“-Diskussion über die Erhöhung der Transportwürdigkeit von Wirtschaftsdüngern bis zur Verminderung von Treibhausgasemissionen. Im Konzept eines überregionalen Nährstoffausgleichs spielen Biogasanlagen in Ackerbauregionen daher unter ökonomischen wie ökologischen Aspekten eine zentrale Rolle. Sie können insoweit eine wichtige Systemdienstleistung übernehmen (HÖHER, 2014).

Vor diesem Hintergrund war es die Zielstellung des durchgeführten Projekts, die Potenziale für eine umfassendere Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen in Ackerbauregionen aufzuzeigen. Zu diesem Zweck wurden für eine Beispiel-NawaRo-Biogasanlage insgesamt zehn verschiedene Szenarien zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern dargestellt und unter ökonomischen und ökologischen Aspekten eingehend betrachtet. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen in Ackerbauregionen tatsächlich erhebliche ökonomische und ökologische Vorteile mit sich bringen kann. Wie groß diese Vorteile sind, hängt allerdings in erheblichem Maße vom im Einzelfall realisierten Konzept ab. Die ökonomischen und ökologischen Effekte, die mit den zehn Beispiel-Szenarien verbunden sind, werden daher nachfolgend nochmals im Überblick dargestellt.

Ökonomische Bewertung

Tabelle 43 zeigt, dass unter den zugrunde gelegten Annahmen deutliche Unterschiede hinsichtlich der ökonomischen Vorzüglichkeit der einzelnen Varianten des Einsatzes von Wirtschaftsdünger in der betrachteten Biogasanlage bestehen. Sowohl die Höhe der Investitionen, die erforderlich sind, um die Voraussetzungen für den Einsatz der Wirtschaftsdünger zu schaffen oder zu erweitern, als auch die jährlichen kalkulatorischen Gewinnbeiträge sind sehr unterschiedlich. Die Ergebnisse werden entscheidend dadurch beeinflusst, welcher Wirtschaftsdünger eingesetzt wird (Szenarien 1-4) und welche bisherigen Substrate substituiert werden (a-c).

Der Einsatz von flüssiger Schweinegülle 33 % (Szenarien 1a-c) ist nach diesen Berechnungen ökonomisch eher unattraktiv und wird daher kaum in größerem Umfang realisiert werden. Szenario 3 (Schweinegülle Dekanter 100 %) wiederum setzt erhebliche Investitionen voraus. Die Szenarien 2a+b und 4a+b sind aus Sicht der Betreiber von NawaRo-Biogasanlagen ökonomisch am vorteilhaftesten und haben daher am ehesten Aussichten darauf, umgesetzt zu werden.

Die Szenarien 4a+b (Einsatz von Geflügelmist) sind ökonomisch am attraktivsten. Allerdings ist der Geflügelmist nicht die Hauptursache des Nährstoffproblems in den viehdichten Regionen Niedersachsens, da er bereits jetzt ohne weitere Behandlung transportwürdig ist und aus diesem Grund in erheblichen Mengen an landwirtschaftliche Betriebe und Biogasanlagen in Ackerbauregionen abgegeben wird. Bei der Bewertung dieser Szenarien ist darüber hinaus zu bedenken, dass Geflügelmist nur in begrenztem Umfang zur Verfügung steht und aufgrund seiner sehr geringen Angebotselastizität kurzfristig nicht in sehr viel größeren Mengen bereitgestellt werden kann. Ferner würde der Preis dieses Wirtschaftsdüngers bei einer Nachfrageerhöhung deutlich ansteigen, so dass die Verwendung als Substrat in einer Biogasanlage an Vorzüglichkeit verlieren würde.

Die Szenarien 2a+b (Schweinegülle Dekanter 33 %) bieten dagegen einen Ansatzpunkt zur Realisierung eines überregionalen Nährstoffausgleichs. Zum einen versprechen sie bei vergleichsweise moderaten Investitionskosten (ca. 400.000 €) einen attraktiven Gewinnbeitrag. Zum anderen würde der Einsatz von Schweinegülle Dekanter einen wesentlichen Beitrag zur Entspannung der Nährstoffsituation leisten, da die Nährstoffüberschüsse hauptsächlich auf die Schweinehaltung zurückgehen. Durch Dekantieren wird zudem die Nährstoffkonzentration erhöht und der Wirtschaftsdünger dadurch transportwürdiger.

Tabelle 43: Kurzüberblick Investitionssumme und kalkulatorischer Gewinnbeitrag Szenarien 1-4

Szenario		Ausgangssituation	WD-Einsatz	WD-Einsatz	WD-Einsatz
		100 % NawaRo	33 % (100 %)* (a)	33 % (b)	von 33 % auf 50 % (c)
1 Schweinegülle	Investitionssumme	243.500	482.180	482.180	272.000
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	-17.229	-12.976	-2.741
2 Schweinegülle Dekanter	Investitionssumme	243.500	398.600	398.600	261.000
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	110.439	121.408	13.238
3 Schweinegülle Dekanter 100 %	Investitionssumme	243.500	1.440.000		
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	96.342		
4 Geflügelmist	Investitionssumme	243.500	403.600	390.600	42.250
	kalk. Gewinnbeitrag	-24.283	177.834	207.078	50.732

* gilt nur für Szenario 3; Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Weitere Potenziale für einen überregionalen Nährstoffausgleich würden bei Realisierung des ebenfalls wirtschaftlichen Szenarios 2c (Erhöhung des Wirtschaftsdüngereinsatzes von 30 auf 50 %) erschlossen.

Reduktion der P-Überschüsse

Tabelle 44 zeigt die Wirtschaftsdüngeräquivalente und verbleibenden P-Überschüsse sowie die Einsparungen an NawaRo-Substrat sowie die dadurch frei werdende Ackerfläche für die in der Studie betrachteten Szenarien. Es wird deutlich, dass der wirtschaftlich sinnvolle Einsatz von Wirtschaftsdüngern einen erheblichen Beitrag zur Reduktion des P-Überschusses (Ausgangssituation 32.990 t/a) in den niedersächsischen Veredlungsregionen leisten kann. Bei konsequenter Umsetzung der vorgestellten Szenarien (z.B. 2a, 2c und 4c) ließe sich der jährliche P-Überschuss sogar restlos aus den Überschussregionen verbringen.

Tabelle 44: Wirtschaftsdüngeräquivalente und Rest P-Überschüsse Szenarien 1-4

Szenario	Einsatzstoff	Einsatz Wirtschaftsdünger t/a	Einsparung an NawaRo-Substrat (t/a) und LF (ha/a)*	Äquivalent für Mineraldünger			Rest P-Überschuss ausgew. LK** t/a
				Stickstoff N t/a	Phosphat P ₂ O ₅ t/a	Kalium K ₂ O t/a	
1a	Schweinegülle 33 %	879.102	93.871	4.396	2.813	3.253	30.177
			1.544				
1b	Schweinegülle 33 %	857.199	109.516	4.286	2.743	3.172	30.247
			2.240				
1c	Schweinegülle 33 % auf 50 %	1.509.610	192.855	7.548	4.831	5.586	28.159
			3.944				
2a	Schweinegülle Dekanter 33 %	801.189	249.540	7.852	12.499	3.125	20.491
			4.104				
2b	Schweinegülle Dekanter 33 %	777.721	281.613	7.622	12.132	3.033	20.858
			5.759				
2c	Schweinegülle Dekanter 33 % auf 50%	1.331.293	118.680	13.047	20.768	5.192	12.222
			1.952				
3	Schweinegülle Dekanter 100 %	5.927.171	1.257.871	58.086	92.464	23.116	-59.474
			25.157				
4a	Geflügelmist 33 %	680.721	496.734	14.295	11.572	14.976	21.418
			8.170				
4b	Geflügelmist 33 %	700.278	400.516	14.706	11.905	15.406	21.085
			7.715				
4c	Geflügelmist 33 % auf 50 %	771.123	569.664	16.194	13.109	16.965	19.881
			9.369				

* bei Annahme 60,8t/ha FM (Mais) und 48,9 t/ha FM (GPS);** zusammengefasste Landkreise laut Tabelle 2,

*** dieser Wert zeigt das Potential der bereits WD einsetzenden Anlagen durch die Einsatzmengenerhöhung (Tab.2). Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Emissionseinsparungen

Aus ökologischer Sicht ist der Transport des Wirtschaftsdüngers sinnvoll. In allen Szenarien werden im Vergleich zum Status Quo Emissionen in den Wirkungskategorien „Treibhauseffekt“ und „Versauerung“ eingespart. In Tabelle 45 sind die ermittelten Emissionseinsparungen der Beispiel-Biogasanlage exemplarisch für die Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a dargestellt. Die Einsparung an Mineraldünger und die verminderten Methanemissionen durch die Lagerung machen in den Szenarien den Großteil der Einsparungen bezüglich des CO₂-Äquivalents

aus (vgl. Tabellen 17, 18, 19, 26, 27, 28, 33, 40, 41, 42). Da im Szenario 3 durch den 100 %igen Einsatz von Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage die Menge an eingesetztem Wirtschaftsdünger mit 37.885 Tonnen signifikant größer ist als in den anderen Szenarien, ist auch die Einsparung im Szenario 3 bezüglich des CO₂-Äquivalents signifikant größer. Wird auf eine Tonne Wirtschaftsdünger abgestellt, so sind die Einsparungen beim Geflügelmist am größten. Bezüglich des SO₂-Äquivalents lassen sich die größten Einsparungen durch den Einsatz von Geflügelmist erzielen. Dies basiert darauf, dass die Emissionseinsparung durch eine verkürzte Lagerung wesentlich größer ist als bei der Schweinegülle.

Tabelle 45: Emissionseinsparungen pro Jahr

	Szenario 1a Schweinegülle flüssig 33 %	Szenario 2a Schweinegülle Dekanter 33 %	Szenario 3 Schweinegülle Dekanter 100 %	Szenario 4a Geflügelmist 33 %
CO₂-Äquivalent (kg)	540.979	828.007	5.873.259,24	1.288.317
SO₂-Äquivalent (kg)	4.902	5.275	35.664,43	50.023

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Ausgehend von den theoretischen Potentialen für die Szenarien, die in Tabelle 44 angegeben sind, und den Ergebnissen bezüglich der Emissionseinsparungen lassen sich potentielle Emissionseinsparungen für ganz Niedersachsen berechnen. In Tabelle 46 sind diese potentiellen Emissionseinsparungen für die Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a in der Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ (CO₂-Äquivalent) und in Tabelle 47 die Emissionseinsparungen in der Wirkungskategorie „Versauerung“ (SO₂-Äquivalent) dargestellt.

Tabelle 46: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des CO₂-Äquivalents in den Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a

Wirtschaftsdünger	Szenario 1a Schweinegülle flüssig 33 %	Szenario 2a Schweinegülle Dekanter 33 %	Szenario 3 Schweinegülle Dekanter 100 %	Szenario 4a Geflügelmist 33%
Transport	6.316.731	5.284.715	39.096.158	4.490.097
Mineraldünger	-23.463.181	-46.124.084	-341.566.622	-75.832.758
Einsparung Energiepflanzen	-6.936.368	-18.069.221	-91.082.462	-35.968.501
Lagerung	-47.914.164	-42.791.504	-316.570.203	-38.467.544
Ausbringungsverluste	-16.707.445	-30.022.756	-226.006.886	-57.779.754
Dieserverbrauch Ausbringung	1.322.478	1.420.306	10.069.988	1.469.220
Umbauten	1.012.025	759.462	3.178.891	529.960
Emissionsdifferenz CO₂-Äquivalent gesamt	-86.369.923	-129.543.082	-918.881.136	-201.559.281

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Tabelle 47: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des SO₂-Äquivalents in den Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a

Wirtschaftsdünger	Szenario 1a Schweinegülle flüssig 33 %	Szenario 2a Schweinegülle Dekanter 33 %	Szenario 3 Schweinegülle Dekanter 100 %	Szenario 4a Geflügelmist 33%
Transport	78	66	485	56
Mineraldünger	-130.404	-365.040	-2.700.378	-446.114
Einsparung Energiepflanzen	-85.255	-222.091	-1.119.505	-442.093
Lagerung	-968.869	-865.284	-6.401.345	-5.323.238
Ausbringungsverluste	398.757	624.789	4.631.642	-1.616.480
Dieserverbrauch Ausbringung	16	18	125	18
Umbauten	2.969	2.256	9.217	1.605
Emissionsdifferenz SO₂-Äquivalent gesamt	-782.707	-825.286	-5.579.759	-7.826.247

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Entsprechend sind in den Tabellen 48 und 49 die potentiellen Emissionseinsparungen für die Szenarien 1c, 2c und 4c in der Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ (CO₂-Äquivalent) und „Versauerung“ (SO₂-Äquivalent) dargestellt.

Tabelle 48: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des CO₂-Äquivalents in den Szenarien 1c, 2c und 4c

Wirtschaftsdünger	Szenario 1c Schweinegülle flüssig 50 %	Szenario 2c Schweinegülle Dekanter 50 %	Szenario 4c Geflügelmist 50 %
Transport	10.629.574	8.781.330	5.086.397
Mineraldünger	-38.954.331	-81.432.476	-85.730.004
Einsparung Energiepflanzen	-13.976.206	-54.611.496	-41.249.354
Lagerung	-80.628.270	-71.104.359	-43.576.161
Ausbringungsverluste	-28.287.528	-48.063.118	-65.519.196
Dieserverbrauch Ausbringung	2.172.467	2.529.514	1.406.914
Umbauten	2.203.049	2.183.240	1.071.274
Emissionsdifferenz CO₂-Äquivalent gesamt	-146.841.245	-241.717.365	-228.510.130

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Tabelle 49: Einsparungspotential (kg/Jahr) für ganz Niedersachsen bezüglich des SO₂-Äquivalents in den Szenarien 1c, 2c und 4c

Wirtschaftsdünger	Szenario 1c Schweinegülle flüssig 50%	Szenario 2c Schweinegülle Dekanter 50%	Szenario 4c Geflügelmist 50%
Transport	132	109	63
Mineraldünger	-216.714	-629.432	-504.532
Einsparung Energiepflanzen	-113.784	-267.623	-507.001
Lagerung	-1.630.379	-1.437.796	-6.030.182
Ausbringungsverluste	654.734	1.210.014	-1.837.381
Dieserverbrauch Ausbringung	27	31	18
Umbauten	6.975	7.833	4.439
Emissionsdifferenz SO₂-Äquivalent gesamt	-1.299.009	-1.116.864	-8.874.576

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Für ein gesamt-niedersächsisches Konzept zur Reduzierung der o.g. Emissionen müsste man somit die Gesamtwerte des jeweiligen Szenarios 1a und 1c zusammenaddieren, um ein theoretisches Einsparungspotential in den Ackerbauregionen zu errechnen. Diese Summe verdeutlicht demnach das Potential, das entstünde, wenn die 149 Biogasanlagen, die bislang noch keinen Wirtschaftsdünger einsetzen, dies zu 33 Masse-% täten und somit den Silomais am Substratmix reduzierten, und die 337 Biogasanlagen den theoretisch angenommenen Wirtschaftsdüngereinsatz von bislang 33 Masse-% auf 50 Masse-% erhöhten.

Transportentfernung und Emissionen

In den Szenarien wurde jeweils von einer Entfernung von 150 km zwischen Wirtschaftsdünger abgebendem Betrieb und Biogasanlage ausgegangen. Die Entfernungen zwischen der Überschussregion und den Ackerbauregionen können aber auch über 300 km betragen (vgl. Tabelle 12). Daher ist eine Darstellung der Emissionen in Abhängigkeit von der Transportdistanz sinnvoll. Im Folgenden sind für die Szenarien 1a, 2a, 3 und 4a Funktionen dargestellt, welche die Emissionen bezüglich CO₂-Äquivalent und SO₂-Äquivalent in Abhängigkeit von der Transportdistanz (d) beschreiben.

Szenario 1a

$$E_{CO_2}(d) = -578.143,46 \text{ kg } CO_2 + 247,76 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

$$E_{SO_2}(d) = -4.902,96 \text{ kg } SO_2 + 0,0031 \frac{\text{kg } SO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

Szenario 2a

$$E_{CO_2}(d) = -859.923,80 \text{ kg } CO_2 + 212,78 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

$$E_{SO_2}(d) = -5.275,42 \text{ kg } SO_2 + 0,0026 \frac{\text{kg } SO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

Szenario 3

$$E_{CO_2}(d) = -6.109.418,52 \text{ kg } CO_2 + 1.574,13 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

$$E_{SO_2}(d) = -35.667,36 \text{ kg } SO_2 + 0,0195 \frac{\text{kg } SO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

Szenario 4a

$$E_{CO_2}(d) = -1.315.434,71 \text{ kg } CO_2 + 180,78 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

$$E_{SO_2}(d) = -50.023,77 \text{ kg } SO_2 + 0,0022 \frac{\text{kg } SO_2}{\text{km}} \cdot d \text{ km}$$

Mit diesen Funktionen lässt sich für die einzelnen Szenarien für jede Entfernung berechnen, welche Emissionseinsparung entsteht. Exemplarisch sind in Tabelle 50 für die Beispiel-Biogasanlage die Einsparungen bezüglich des CO₂-Äquivalents für das Szenario 2a angegeben, die sich für die verschiedenen Landkreiskombinationen ergeben. Aus den Funktionen und dargestellten Ergebnissen sowie aus den Ergebnissen des Kapitels 4 lässt sich entnehmen, dass die Transportentfernung auf die gesamte Emissionsdifferenz nur einen geringen Einfluss hat.

Tabelle 50: CO₂-Äquivalent-Emissionseinsparungen im Szenario 2a verschiedener Landkreiskombinationen

kg/Jahr	Göttingen	Uelzen	Helmstedt	Hildesheim	Gifhorn
Cloppenburg	-792.861	-809.403	-802.957	-811.301	-807.127
Diepholz	-811.193	-814.937	-821.357	-829.633	-824.850
Emsland	-786.488	-799.620	-793.256	-801.601	-797.427
Grafschaft Bentheim	-791.744	-791.975	-792.037	-800.314	-795.878
Oldenburg	-800.342	-816.240	-810.438	-818.782	-814.608
Osnabrück	-811.862	-810.274	-812.059	-820.336	-815.641
Vechta	-793.317	-809.227	-803.413	-811.757	-807.583

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Handlungsempfehlungen

Trotz ökonomischer und ökologischer Vorteile werden die Potentiale des Wirtschaftsdüngereinsatzes in Biogasanlagen in Ackerbauregionen nur unzureichend genutzt. Folgende Maßnahmen zur Förderung eines überregionalen Nährstoffausgleichs werden daher empfohlen:

Prüfung einer Verlängerung der Fristen mit garantierter Einspeisevergütung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Kapitel 4 unterstellen, dass die Anlagen nach der Umstellung auf Wirtschaftsdüngereinsatz weitere 20 Jahren unter den derzeitigen Bedingungen betrieben werden können. Dies ist aber häufig unrealistisch, da die Biogasanlagen mittlerweile teilweise schon 10 Jahre in Betrieb sind und die durch das EEG garantierten Einspeisevergütungen bislang nach 20 Jahren auslaufen. Die für den Wirtschaftsdüngereinsatz notwendigen Investitionen müssen daher aus Vorsichtsgründen über die noch verbliebene Betriebszeit mit garantierter Einspeisevergütung abgeschrieben werden. Dies vermindert die wirtschaftliche Attraktivität des Wirtschaftsdüngereinsatzes erheblich. Zur Förderung der Umstellung von Biogasanlagen auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern sollte der Gesetzgeber daher prüfen, ob umstellenden Biogasanlagen eine Verlängerung der Zeiträume mit garantierter Einspeisevergütung im Sinne des EEG gewährt werden kann.

Finanzielle Förderung von Maßnahmen zur Erhöhung der Energiedichte von Wirtschaftsdüngern

Der überregionale Nährstoffausgleich wird wesentlich erleichtert durch vorherige Erhöhung der Energiedichte und damit der Transportwürdigkeit flüssiger Wirtschaftsdünger. Der Gesetzgeber sollte daher Investitionen in Anlagen, vor allem Dekanter, zur Gülleseparation finanziell fördern.

Ausdehnung der § 51a-Regelung (BewG) auf den überregionalen Nährstoffausgleich

Nach § 51a gibt das Bewertungsgesetz (BewG) viehhaltenden Betrieben die Möglichkeit, über die Gründung einer gemeinschaftlichen Gesellschaft die zum Nachweis nötige landwirtschaftliche Nutzfläche, über die eigene unmittelbar verfügbare Fläche hinaus, für die Erweiterung der Viehhaltung am eigenen Standort vorhalten und nutzen zu können. Zur Förderung langfristiger Beziehungen zwischen Wirtschaftsdünger abgebenden Betrieben und Biogasanlagen in Ackerbauregionen sollte der Gesetzgeber prüfen, diese Regelung auch auf die überregionale Verbringung von Wirtschaftsdüngern auszudehnen.

Bereitstellung von Informationen zum Wirtschaftsdüngereinsatz in Biogasanlagen

Untersuchungen u.a. von KRÖGER et al. (2014) zeigen, dass vielen Biogasanlagenbetreiber zwar die Möglichkeit der nachträglichen Umrüstung ihrer Anlagen auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern bewusst ist, sie diesen Schritt jedoch nur selten gehen. Der Gesetzgeber bzw. die Administration sollte daher Maßnahmen ergreifen, um unter Biogasanlagenbetreibern die ökonomischen und ökologischen Vorteile des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern bekannter zu machen.

Biogasanlagenbetreiber zögern auch mit der Umstellung auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern, weil sie negative Reaktionen in ihrem lokalen Umfeld befürchten. Der Gesetzgeber bzw. die Administration sollte daher Maßnahmen ergreifen, um den Informationsstand der Bevölkerung über die Vorteile des Einsatzes von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen zu verbessern und der Entstehung unberechtigter Ängste vorzubeugen.

Vereinheitlichung der Umsetzung von bau- und veterinärrechtlichen Vorgaben

Die behördlichen Interpretationen und Auslegungen der zu dieser Thematik gehörenden Gesetze und Verordnungen fallen zwischen den Veredelungs- und Ackerbauregionen sehr unterschiedlich aus. Entscheidungsfreiräume führen momentan noch dazu, dass die Behörden und zuständigen Stellen der mit dieser Wirtschaftsdüngerthematik noch weniger vertrauten süd- und östlichen Regionen Niedersachsens teilweise die überregionale Wirtschaftsdüngerverbringung erschweren oder gar verhindern. Erschwerte Baugenehmigungen, höhere umweltrechtliche Anforderungen und teilweise die praktische Umsetzbarkeit beschwerende Vorgaben bremsen oder verhindern eine praktikable Verbringung der überschüssigen Wirtschaftsdünger in die entsprechenden Bedarfsregionen. Eine engere Zusammenarbeit und ein intensiverer Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den behördlichen Stellen in Niedersachsen würde an dieser Stelle eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftsdüngerverbringung, Zwischenlagerung und anschließenden Ausbringung herbeiführen können.

Literaturverzeichnis

- ALBERS, K., KOWALEWSKY, H.-H., MUNDHENKE, R. (2014): Überregionale Nährstofftransporte. Auf den Punkt. Bioenergie Region Südoldenburg.
- BENSING, T. (2013): Innen Mais, außen Gülle. Profi Energie. Münster.
- BIELEFELD, K. (2014): Agentur Klare Konzepte. GMP+ Zertifizierung von Transportfahrzeugen. Experteninterview. Stand: 5.2.2014. Hamburg.
- BLAG – BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE (2012): Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Braunschweig.
- 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 Gärresten – Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Göttingen, S. 43-56.

- BREVES, G. (2012): Einschätzung des Risikopotentials der Biogastechnologie in mikrobiologischer Hinsicht. Abschlussbericht. Hannover.
- DLG – DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT (2006): Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen. Frankfurt am Main.
- EEG – ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ (2009): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien.
- FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (2009): Biogas-Messprogramm II. Gülzow-Prüzen.
- FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (2013): Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung bis zur Nutzung. Gülzow-Prüzen.
- GABLER, A., WESCHE, F.A., KASSOW, J. (2013): Das deutsche Regulierungssystem für Biogas – Genehmigung, Vergütungssystem und Netzzugang. In: Böttcher, J. (Hrsg.): Management von Biogasprojekten. Heidelberg, S. 51-109.
- GAWRON (2014): Gawron Zaunbau. Zaunkalkulator für den Selbstbauer. URL: http://www.gawron24.de/kalkulator_neu.php. Abrufdatum: 20.05.2014.
- GÖRISCH, U., HELM, M. (2007): Biogasanlagen, 2. Auflage. Stuttgart.
- GUTSER, R., EBERTSEDER, T., SCHRAML, M., VON TUCHER, S., SCHMIDHALTER, U. (2010): Stickstoffeffiziente und umweltschonende organische Düngung; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): Emission landwirtschaftlich genutzter Böden. Darmstadt.
- HAHNE, E. (2010): Technische Thermodynamik: Einführung und Anwendung. München.
- HESSELBARTH, K. (2014): Gülle raus, Getreide rein. DLG-Mitteilungen Nr. 01/2014, S. 18-19.
- HÖHER, G.C. (2014): Landwirtschaftliche Biogaserzeugung in Niedersachsen: Systemdienstleistungen durch Biogas und Synergien in der Landwirtschaft. In: Guenther-Lübbers, W., Kröger, R., Theuvsen, L. (Hrsg.): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten – Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Göttingen, S. 1-8.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. Heidelberg.
- KOMPETENZZENTRUM 3N – Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. : Biogasinventur 2012, unveröffentlicht. Werlte.
- KOWALEWSKY, H.-H. (2014): Mit „dicker“ Gülle auf große Tour. In: Land & Forst, Nr. 3 2014. Hannover.
- 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, S. 1-18.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2009a): Faustzahlen Biogas. 2. Auflage, Darmstadt.

- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2009b): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Auflage, Darmstadt.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2009c): Investitionsbedarf für Stallanlagen für Schaf- und Ziegenhaltung. Darmstadt.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2013): Faustzahlen Biogas. 3. Ausgabe, Darmstadt.
- LINDENBERG, A. (2014): Niedersächsische Landgesellschaft (NLG) mbH, Geschäftsbereichsleiter Hochbau. Experteninterview. Hannover.
- LOIBL, H. (2014): Rechtsanwalt, Fachanwalt für Verwaltungsrecht. Experteninterview. Regensburg.
- LWK NIEDERSACHSEN – LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013, Stand 10.10.2013. Oldenburg.
- LWK NRW – LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2014): Erläuterungen zur Verbringungsverordnung für Wirtschaftsdünger. <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverordnung/vvoartikel.htm> (Abrufdatum: 13.2.2014).
- MAHNKEN, M. (2014): Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Experteninterview. Oldenburg.
- ML NIEDERSACHSEN – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2012): Biogas in Niedersachsen. 5. Auflage, Hannover
- NIER, S., BÄURLE, H., TAMÁSY, C. (2013): Die deutsche Milchviehhaltung im Strukturwandel. ISPA Mitteilungen 81, Vechta.
- PLUMEYER, C.-H. (2014): Geschäftsführender Gesellschafter bei BP Bioenergie GmbH & Co KG. Experteninterview. Söhlde.
- RÖSEMANN, C., HAENEL, H.-D., DÄMMGEN, U. PODDEY, E., FREIBAUER, A., WULF, S., EURICH-MENDEN, B., DÖHLER, H., SCHREINER, C., BAUER, B., OSTERBURG, B. (2013): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2011. Report on methods and data (RMD) Submissions 2013. Thünen Report 1. Braunschweig.
- SCHMEHL, M., HESSE, M., GELDERMANN, J. (2012): Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse, Research Paper Nr.11, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Georg-August-Universität Göttingen.
- SCHMIDT, L. (2014): WLW-Service GmbH. Auskunft zu baurechtlichen Fragen auf Biogasanlagen, Experteninterview. Stand: 15.1.2014. Münster.
- SCHULZE SIEVERT, U. (2014): Kreisverwaltung Borken, Facheinheit Tiere und Lebensmittel, Veterinärangelegenheiten. Experteninterview. Borken.

- Top agrar (2011): Biogasgenehmigung: 500 kW Grenze soll fallen. <http://www.topagrar.com/news/Energie-News-Biogas-Genehmigung-500-kW-Grenze-soll-fallen-338185.html> (Abrufdatum: 3.2.2014).
- WILKEN, D. (2013): Aktuelles Recht zu Gülle und Gärprodukten. Fachverband Biogas e.V., Vortrag auf der Biogas-Fachtagung Thüringen. Bösleben.
- WILKEN, D. (2014): Fachverband Biogas e.V., Referatsleiter Abfall, Düngung und Hygiene. Experteninterview. Freising.
- 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 Universität Hohenheim.
- ZAUN24 (2014): Zaun24.de - Das Original. Zaunangebote. URL: <http://www.zaun24.de/angebote/komplettzaune/maschendraht.html>. Abrufdatum 20.05.2014.

Anhang: Projektskizze

Projekthintergrund und -ziel

Ausgangslage

In Niedersachsen können verschiedene landwirtschaftliche Produktionszonen unterschieden werden. Südostniedersachsen wird vom Ackerbau dominiert. Der Westen ist dagegen von der intensiven Tierhaltung geprägt und gliedert sich in ein von der Milchviehhaltung geprägtes Gebiet an der Nordseeküste und einen Hochverdichtungsraum der Veredelungswirtschaft vor allem in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta. Neben diesen traditionellen landwirtschaftlichen Produktionszweigen hat sich in den letzten Jahren in Niedersachsen mit der Biogasproduktion eine weitere bedeutende Produktionsrichtung mit Schwerpunkten in Weser-Ems und der Heideregion entwickelt.

Durch die ungleiche Verteilung der Viehbestände entstehen Regionen mit deutlichen Nährstoffüberhängen in Form von Wirtschaftsdüngern, die unter pflanzenbaulichen Aspekten und nach den Reglementierungen der Düngeverordnung nicht vor Ort verwertet werden können. Ein überregionaler Nährstoffausgleich durch Aufnahme der Wirtschaftsdünger in Nährstoffbedarfsregionen ist daher angezeigt. Dadurch könnte nicht nur der Nährstoffüberschuss in viehstarken Regionen reduziert, sondern auch der Einsatz endlich verfügbar oder energieintensiv zu erzeugender mineralischer Dünger in Bedarfsregionen vermindert werden. Neben der direkten Verwertung erfolgt auch eine Nutzung als Substrat für Biogasanlagen. Damit wird eine Erhöhung der Wertschöpfung aus tierischen Exkrementen erreicht, da neben dem Düngerwert ein energetischer Wert erzielt wird. Dieser Zusatznutzen kann zur Deckung der Transportkosten der Wirtschaftsdünger bei der Verbringung in Bedarfsregionen beitragen, sofern sich die aufnehmenden Biogasanlagen in Ackerbauregionen befinden. Das Potenzial für eine energetische Nutzung ist derzeit noch nicht vollständig ausgeschöpft.

Vor diesem Hintergrund ist es daher die Zielstellung des vorliegenden Projektes, Potenziale für eine umfassendere Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen vornehmlich in Ackerbauregionen aufzuzeigen. Hierbei stehen ökonomische und stoffliche Aspekte in den abgebenden und aufnehmenden Regionen im Mittelpunkt. Des Weiteren werden weitere Gesichtspunkte aus technisch-organisatorischer Sicht und unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit des Gesamtprozesses analysiert.

Projektpartner und Arbeitspakete

An dem vorstehenden Projekt sind folgende Institutionen maßgeblich und unterstützend beteiligt:

- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness Prof. Theuvsen
- Universität Osnabrück, Institut für Geographie, Prof. Broll
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Produktion und Logistik, Prof. Geldermann
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V., 3N

Das Projekt untergliedert sich in sieben Arbeitspakete (AP). Die an den jeweiligen AP beteiligten Institutionen sind nachfolgend aufgelistet. In der hier vorliegenden Darstellung sind die einzelnen Arbeitspakete zu einem sich ergänzenden Gesamtabschlussbericht aufgegangen.

AP 1: Auswirkungen in den Veredelungsregionen

(Rohstoffmengen, Flächenbilanz, Nährstoffsituation, Lagerkapazitäten)

Beteiligte:

- Universität Osnabrück, Institut für Geographie Prof. Broll
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness Prof. Theuvsen
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen

AP 2: Auswirkungen in den Ackerbauregionen

(Flächenbedarf, Energiepotential, Energiepflanzen substitution, Ausbringungssysteme)

Beteiligte:

- Universität Osnabrück, Institut für Geographie, Prof. Broll
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness Prof. Theuvsen
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen

AP 3: Auswirkungen auf den Betrieb von Biogasanlagen

(technische Voraussetzungen, Lagerkapazitäten)

- Beteiligte:
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Prof. Theuvsen
 - Universität Osnabrück, Institut für Geographie, Prof. Broll
 - Landwirtschaftskammer Niedersachsen
 - Kompetenzzentrum 3N

AP 4: Auswirkungen auf die Umwelt

(Klima, Wasser, Böden, Ökobilanz)

- Beteiligte:
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Produktion und Logistik, Prof. Geldermann
 - Universität Osnabrück, Institut für Geographie, Prof. Broll
 - Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Prof. Theuvsen

AP 5: Analyse notwendiger Logistiksysteme und Aufstellung von Energiebilanzen

- Beteiligte:
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Produktion und Logistik, Prof. Geldermann
 - Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Prof. Theuvsen

AP 6: Ökonomie und Recht

- Beteiligte:
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Prof. Theuvsen
 - Landwirtschaftskammer Niedersachsen
 - Kompetenzzentrum 3N

AP 7: Identifikation des rechtlichen und technischen Handlungsbedarfs als Grundlage der Entwicklung eines funktionsfähigen Gesamtkonzepts

- Beteiligte:
- Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Prof. Theuvsen
 - Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsbereich Produktion und Logistik, Prof. Geldermann
 - Universität Osnabrück, Institut für Geographie, Prof. Broll
 - Landwirtschaftskammer Niedersachsen
 - Kompetenzzentrum 3N