

Einführung von Ökosystemdienstleistungen und Verbesserung des Wasserschutzes durch Biogas

Finanzierungswerkzeuge und optimiertes Düngemanagement

Berichtszeitraum 2020

Gefördert von:



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable
et des Infrastructures



Laufzeit des Projektes: 2016 – 2020

Autoren:

Joachim Pertagnol,

Katharina Laub,

Bernhard Wern

IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme

Altenkessler Str. 17

66115 Saarbrücken

Tel.: +49-(0)681-8449720

Saarbrücken, den 23.11.2020

Inhalt

1	Einleitung.....	6
2	Gewässerschonender Substratmix.....	8
2.1	Material und Methode.....	8
2.1.1	Ackerbau.....	9
2.1.2	Grünland.....	10
2.2	Ergebnis.....	10
2.2.1	Ackerbau.....	11
2.2.2	Grünland.....	13
2.3	Fazit & Diskussion.....	16
3	Optimiertes Düngemanagement.....	18
3.1	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	18
3.1.1	Europäische Nitratrichtlinie.....	18
3.1.2	Exkurs –Deutschland: Düngeverordnung 2020.....	19
3.1.3	Auswirkungen der rechtlichen Rahmenbedingungen auf die Gärprodukte.....	22
3.2	Eigenschaften von Gärprodukten.....	23
3.3	Gewässerschonende Ausbringung von Gärprodukten.....	26
3.3.1	Ausbringungszeitpunkt.....	26
3.3.2	Ausbringungstechniken.....	27
3.3.3	Anbaupraktiken.....	28
	Literaturverzeichnis.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flächendruck durch Viehhaltung und Biogasanlagen im Bezug zur landwirtschaftlichen Nutzfläche.	6
--	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Substrat- und Flächenbedarf der Referenzanlage.....	8
Tabelle 2: Anteil der durch die Landwirtschaft verursachten Aufbereitungskosten an der Trinkwassergewinnung.....	9
Tabelle 3: Übersicht Flächenerträge, Flächenbedarf und Substratkosten der betrachteten Kulturen ..	9
Tabelle 4: N-Gabe je Pflanzenart und Jahr im Ackerbau.....	10
Tabelle 5: Übersicht Flächenertrag, Flächenbedarf und Substratkosten bei einer extensiven Grünlandnutzung.....	10
Tabelle 6: Ertragsdifferenz zwischen Referenzanlage und Modellanlage bei einem unterschiedlichen Substratmix	11
Tabelle 7: Stickstoffbedarf der Modelle.....	11
Tabelle 8: Einsparungen für die Wasserwirtschaft pro Hektar Ackerfläche durch geringere Nitratdüngung für einzelne Szenarien.	12
Tabelle 9: Einsparungen bei der Wasserwirtschaft durch alternativen Substrateinsatz der Modell-BGA.....	13
Tabelle 10: Ertragsdifferenz zwischen Referenzanlage und Modellanlage bei einem unterschiedlichen Substratmix	14
Tabelle 11: Stickstoffbedarf der Modelle.....	14
Tabelle 12: Einsparungen für die Wasserwirtschaft pro Hektar Grünland durch geringere Nitratdüngung für einzelne Szenarien	15
Tabelle 13: Einsparungen bei der Wasserwirtschaft durch alternativen Substrateinsatz der Modell-BGA.....	16
Tabelle 14: Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis (basierend auf Richtlinie 91/676/EWG).....	18
Tabelle 15 Maßnahmen der Aktionsprogramme (basierend auf Richtlinie 91/676/EWG)	19

Tabelle 16 Vorgaben der DüV 2020 für alle Gebiete seit 1.Mai 2020 (DüV, 2020).....	20
Tabelle 17 Zusätzliche Vorlagen in nitratgefährdeten Gebieten (DüV, 2020)	21
Tabelle 18 Rechtliche Bestimmungen im Umgang mit Gärresten (DLG, 2017)	23
Tabelle 19 Eigenschaften von Gärrest (Fachverband Biogas (2019); Faßbender & Dörr (2012))	24
Tabelle 20 Durchschnittliche Nährstoffgehalte unterschiedlicher Gärprodukte (DLG, 2017).....	25
Tabelle 21 Minderung der Ammoniakverluste nach der Ausbringung von flüssigen Gärresten; Referenz zu Breiverteiler ohne Einarbeitung 15°C Lufttemperatur bei Ausbringung (FNR 2010: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen; Ergebnisse des Verbundprojektes EVA, Gülzow).....	27

1 Einleitung

In der Großregion stellt die Belastung des Grundwassers ein Problem da, dem sich auch die Landwirtschaft stellen muss. In Deutschland lassen beispielsweise die Überschneidungen der Regionen mit einem hohen Viehbestand und Anlagenzahl (siehe Abbildung 1) sowie einer Nitratbelastung im Grundwasser auf eine Korrelation der Landwirtschaft (Viehhaltung und Biogas) und der Nitratbelastung schließen (Eulenstein et al. 2018).

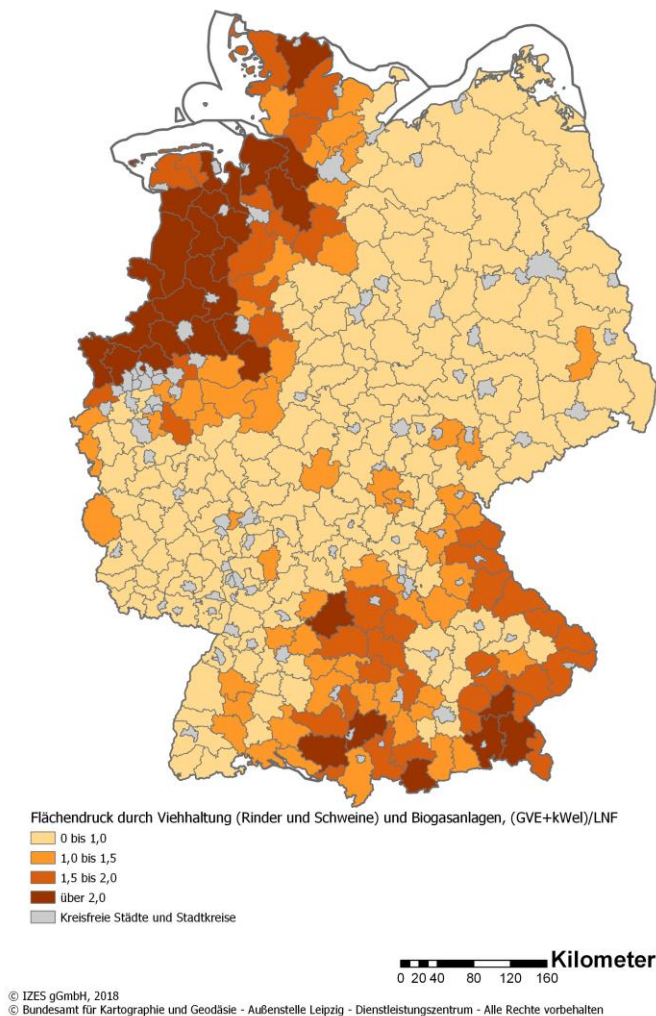


Abbildung 1: Flächendruck durch Viehhaltung und Biogasanlagen im Bezug zur landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Grundlage dieser Untersuchung ist es vor diesem Hintergrund zum einen mittels eines angepassten Substratmixes mögliche Einträge von Nitrat in das Grundwasser zu senken. Zum anderen sollen die allgemeinen Einflüsse durch die Düngung von Feldern und Wiesen beschrieben bzw. optimiert werden.

In Deutschland bestand der Strommix im Jahr 2018 aus rund 35 % erneuerbarer Energie. Dies waren 225 Mrd. kWh (AEE 2019ⁱ). Die drei Säulen der erneuerbaren Energieproduzenten bilden Wind, Biomasse und Photovoltaik. Dieses Beispiel zeigt, dass Biomasse auch in dem sonnenreichen Jahr 2018 den zweitwichtigsten Produzenten nach Wind an erneuerbaren Energien darstellte. Zudem zählen insbesondere Biogasanlagen als Hauptstromproduzenten im Bereich der Biomassenutzung. Der größte Zuwachs an Biogasanlagen in Deutschland konnte zwischen den Jahren 2004 bis 2014 verzeichnet

werden. In 2019 beläuft sich der Bestand auf über 9.400 Anlagen mit einer installierten Leistung von 5.600 MW (Steubing et al. 2020). Einhergehend mit dem Zubau von Biogasanlagen stieg auch deren Bedeutung in der Landwirtschaft. Ursache für den Zubau von Biogasanlagen und auch den späteren Rückgang war das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das am 1. April 2000 in Kraft trat und seitdem fünf Novellierungen durchlaufen hat. Durch zusätzliche Vergütungen unterschiedlicher Substrate wirken sich die einzelnen Fassungen sehr stark auf den Substratmix der Biogasanlagen aus. Gleichwohl ist der Zubau in den Jahren 2012 – 2020 abgeschwächt und kommt fast zum Erliegen (Steubing et al. 2020). Im Jahr 2018 wurden auf rund 1,3 Mio. ha in Deutschland Substrate für Biogasanlagen angebaut (BMEL 2019). Dabei stellt Mais mit rund 900 Tsd. ha die wichtigste Energiepflanze dar.

Dieses Beispiel aus Deutschland zeigt die Bedeutung der Bioenergie und der Biomasse auf. Auf Grund seiner guten Eigenschaften zur Biogasproduktion (geringe spezifische Anbaukosten, hoch optimierte Anbautechniken, Zuchtfortschritt) ist ein Ersatz durch andere Pflanzen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur schwer realisierbar. Er geht dabei meist mit einem Downsizing von Anlagenleistungen (Noll et al. 2020) und damit auch von Klimaschutzleistungen einher (Matschoss et al 2020).

Jedoch offenbarten sich durch den Anbau von Mais in der Vergangenheit mehrere Probleme. Diese reichen von der Erosionsgefahr durch das langsame Auflaufen der Pflanzen im Frühjahr, Akzeptanzproblemen in der Öffentlichkeit (Rüskamp 2010) bis hin zu einem hohen Düngereinsatz, der für die Nitratbelastungen im Grundwasser mit verantwortlich gemacht wird (Buttlar und Willms 2016). In Folge hoher Nitratbelastungen im Grundwasser müssen im Zuge der Trinkwasserbereitstellung kostenintensive Anlagen zur Nitratentfernungen bereitgestellt werden. Dies wird auch in den Studien des WWF (2008) und des Umweltbundesamts (2017) beschrieben. In den Studien wird die gesamte Landwirtschaft unabhängig von Produktionszweigen fokussiert. Dennoch wird auf den Einfluss der Biogasproduktion und deren Druck auf die Ökosysteme in einigen Teilregionen Deutschlands rekurriert. Insbesondere handelt es sich hierbei um Gebiete, die durch eine hohe Viehdichte und zusätzlich einen hohen Anteil an Biogasanlagen gekennzeichnet sind. UBA (2017) geben Kosten zwischen 580 Mio. € pro Jahr und 767 € pro Jahr an, die bundesweit zusätzlich für die Wasserversorger im Zuge der Nitratreinigung anfallen.

Problemstellung & Zielsetzung

Im Rahmen des Interreg V A-Projektes PERSEPHONE (Production d'Énergie RenouvelableS, Engrais et Produits Harmonieux d'Origines Naturelles – Integration von Biogas in das Zukunftsfeld der Bioökonomie) sollen die Länder Frankreich, Belgien, Luxemburg und Deutschland betrachtet werden. Die Zielsetzung des Projekts ist es, die Biogaserzeugung im Untersuchungsgebiet der Großregion Wallonie, Lorraine, Luxemburg, Saarland und Rheinland-Pfalz wirtschaftlich und ökologisch neu aufzustellen. Die Basis des Projekts bildet die ökologische und ökonomische Analyse von Landwirten, welche zugleich Biogasanlagenbetreiber sind. Das Projekt untersucht zusätzliche Einkommensmöglichkeiten für Biogasanlagenbetreiber. So kann neben der Produktion von Energie auch die Wirtschaftsdüngerproduktion oder die Förderung von Ökosystemdienstleistungen eine Rolle für neue Einkommensmöglichkeiten einnehmen.

Der vorliegende Bericht untersucht, inwieweit ein stickstoffreduzierter Substratanbau der Wasserwirtschaft dienen kann, anstatt die Wasserwirtschaft zu belasten. Hierzu werden die Kosten ermittelt, die durch die Landwirtschaft für die Wasserwirtschaft derzeit entstehen. Eine

Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen mit Biogassubstraten kann zu einer Verringerung der Grundwasserbelastung führen. Diese „Ökosystemleistung“ kann monetär bewertet werden und wird in diesem Bericht in ersten Ansätzen beschrieben. Im Weiteren werden die Möglichkeiten eines angepassten Gärrestmanagements sowie die geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen zur Gärrestausrückführung eruiert.

2 Gewässerschonender Substratmix

In dem folgenden Kapitel wird anhand alternativer Substratmixe versucht ein gewässer- bzw. grundwasserschonender Pflanzenanbau zu realisieren. Dabei steht die Wirtschaftlichkeit der Anbausysteme im Focus. Es wird dabei zwischen Ackerbau und Grünlandbewirtschaftung unterschieden.

2.1 Material und Methode

Als Grundlage dient eine Biogasanlage (Referenzanlage), die rund 500 kW_{el} installierte Leistung bei 4.830 Vollbenutzungsstunden besitzt. Für diese Anlage wird ein Substratmix basierend auf Mais, Gras und Gülle angenommen (siehe Tabelle 1). Der Substratmix der Referenzanlage basiert auf den Ergebnissen der Befragung und dem Monitorbericht des DBFZ (2015). Hierbei wurden am häufigsten von den Anlagenbetreibern Mais, Gülle und Gras eingesetzt. Für die einzelnen Modelle mit einem reduzierten Maisanbau wurden abhängig vom jeweiligen Modell eigene Substratmixe berechnet. Die Ertragswerte der einzelnen Pflanzen wurden mittels einer Literaturrecherche (KTBL 2018, LfL 2019) und Praxisbefragungen eruiert und hieraus der Flächenbedarf berechnet. Hierbei wurden keine ertragsreichen Standorte (angelehnt an die Großregion) zu Grunde gelegt.

Tabelle 1: Substrat- und Flächenbedarf der Referenzanlage.

Substrat	Jahresbedarf (t FM)	Flächenertrag t (FM/ha)	Flächenbedarf (ha)
Mais	3525	43,2	81,5
Gras (4 Schnitte)	110	24,2	45,5
Gülle	2500		

Auf Grund der Tatsache, dass Ackerbauflächen in der Regel intensiver bewirtschaftet werden als Grünlandflächen wird auch in dem Beispiel „Ackerbau“ die kompletten Grundwasseraufbereitungskosten, die durch die Landwirtschaft verursacht werden, auf den Hektar Acker umgelegt. Bei Grünland wird hingegen die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche als Nitratreintrag gesehen.

Im Bereich der Kosten der Trinkwasseraufbereitung durch den landwirtschaftlichen Nitratreintrag wird sich auf die Ansätze der Studie Pertagnol et al. (2019) bezogen. In der Tabelle 2 sind alle neun Möglichkeiten dieser Untersuchung abgebildet. Dabei reicht das Spektrum von Gebieten, in denen die Wasseraufbereitungskosten gering sind und die Landwirtschaft einen geringen Anteil daran hat (5% Aufbereitungskosten an Gesamtgrundwasserkosten und davon 10 % durch die Landwirtschaft verursacht), bis hin zu Gebieten, die hohe Aufbereitungskosten haben und die Landwirtschaft für einen

hohen Anteil verantwortlich ist (75 % Aufbereitungskosten und davon 60 % durch die Landwirtschaft verursacht).

Tabelle 2: Anteil der durch die Landwirtschaft verursachten Aufbereitungskosten an der Trinkwassergewinnung

	Variante A (10 %)	Variante B (27 %)	Variante C (60 %)
Szenario 1 (Geringe Aufbereitungskosten 5 %)	Landwirtschaft trägt geringen Anteil an Aufbereitungskosten	Landwirtschaft trägt mittleren Anteil an Aufbereitungskosten	Landwirtschaft trägt hohen Anteil an Aufbereitungskosten
Szenario 2 (mittlere Aufbereitungskosten 44 %)	Landwirtschaft trägt geringen Anteil an Aufbereitungskosten	Landwirtschaft trägt mittleren Anteil an Aufbereitungskosten	Landwirtschaft trägt hohen Anteil an Aufbereitungskosten
Szenario 3 (Hohe Aufbereitungskosten 75 %)	Landwirtschaft trägt geringen Anteil an Aufbereitungskosten	Landwirtschaft trägt mittleren Anteil an Aufbereitungskosten	Landwirtschaft trägt hohen Anteil an Aufbereitungskosten

Die Kosten der Trinkwassergewinnung werden für die Länder der Großregion ermittelt. Gleiches gilt auch für die landwirtschaftlich genutzten Flächen. Zusätzlich wird in die Untersuchung Belgien mit betrachtet, da hier als Vergleich auch regionale Probleme mit Nitratbelastungen vorhanden sind und so ein weiterer Vergleichswert in die Untersuchung mit eingeht.

Die Anlagenkosten werden anhand des Onlinetool „KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas“¹ ermittelt und berechnet. Weitere Daten wie beispielsweise Ertrag und Nitratbedarf je Hektar werden dem Onlinetool „Lfl Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten“² entnommen.

2.1.1 Ackerbau

Grundlage für einen geringeren Nitratreintrag im Ackerbau ist ein alternativer Substratmix bei der Modellanlage, bei dem weniger Nitrat auf den Flächen ausgebracht werden muss. Hierbei wird der Substratanteil von Gras und Gülle nicht verändert. Begrenzender Faktor ist die aus der Referenzanlage resultierende Fläche im Ackerbau. Auf dieser wird die Maiskultur ergänzt durch die Durchwachsene Silphie, GPS und Ackergras. Bis auf die Durchwachsene Silphie sind die Werte in Tabelle 3 in der KTBL-Betriebsplanung bzw. beim Statistischen Bundesamt gelistet. Da es sich bei der Durchwachsenen Silphie noch um eine Pflanze handelt, die keine großflächige Nutzung erfährt, muss hier auf gemittelte Werte aus Anbauversuchen zurückgegriffen werden (Dauber et al. 2016, Lfl 2019, LTZ 2012, TLL 2013).

Tabelle 3: Übersicht Flächenerträge, Flächenbedarf und Substratkosten der betrachteten Kulturen

Substrat	Jahresbedarf (t FM)	Flächenertrag t (FM/ha)	Flächenbedarf (ha)	Substratkosten (€/t)
Mais	1300	43,2	30,1	35,00
Getreide-GPS	370	35,2	10,5	34,00
Klee gras	492	35,9	13,7	27,00
Durchwachsene Silphie	850	31,2	27,2	23,00
Gras (4 Schnitte)	1100	24,2	45,5	31,00
Gülle	2500			0,00

¹ <https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=71A5FF9D85BCB4748116E36F9A8F16B6>

² <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>

Gegenüber der Referenzanlage werden bei der Modellanlage Mehrkosten für eine zusätzliche Substrataufbereitungsanlage berücksichtigt. Wegen höherer Anteile an Gras sollen mit einem Bioextruder Probleme wie Schwimmschichtbildung verhindert werden und eine bessere Gasausbeute gewährleistet sein.

Der N-Bedarf der Ackerpflanzen wurde für die Substratmixe bestimmt und berechnet. Für die N-Gabe wird Literatur von KTBL (2018) und LfL (2019) genutzt (vgl. Tabelle 4). Hierbei wird verglichen, wie hoch die N-Düngemengeneinsparungen gegenüber dem Referenzsubstratanbau ausfallen.

Tabelle 4: N-Gabe je Pflanzenart und Jahr im Ackerbau

Annahme N-Gabe je Hektar	
Anbauart	kg/ha* a
Mais	170
Getreide GPS	170
Kleegras	110
Durchwachsene Silphie	95

Am Ende werden die Mehrkosten des alternativen Substratanbaus und dessen Nutzung in der Biogasanlage mit den möglichen Einsparkosten durch eine geringere Grundwasserreinigung auf Seiten der Wasserversorger verglichen.

2.1.2 Grünland

In der Grünlandwirtschaft besteht nur die Möglichkeit die Nitratdüngung zu senken, indem die Intensität der Nutzung reduziert wird. In der hiesigen Untersuchung wird dabei von vier Schnitten auf einen Schnitt pro Jahr reduziert (siehe Tabelle 5). Hierdurch sinkt auch der Ertrag je Hektar, was letztendlich zu einer Reduktion des Stromertrages bei der Biogasanlage führt. Da in diesem Beispiel nur das Grünland betrachtet wird, ändert sich an dem Flächenbedarf des Ackerlandes nichts.

Tabelle 5: Übersicht Flächenertrag, Flächenbedarf und Substratkosten bei einer extensiven Grünlandnutzung

Substrat	Jahresbedarf (t FM)	Flächenertrag t (FM/ha)	Flächenbedarf (ha)	Substratkosten [€/t]
Mais	3525	43,2	81,5	35,00
Gras (1 Schnitt)	501	11	45,5	31,00
Gülle	2500			0,00

Der N-Bedarf des Grünlands sinkt durch die geringeren Schnittintervalle von 230 kg/ha auf 40 kg/ha.

2.2 Ergebnis

Im Ergebnisteil werden zunächst die Reduktionspotenziale der gesenkten Düngung auf Acker- bzw. Grünland gezeigt. Des Weiteren ergeben sich durch den gesenkten Substrateinsatz in den beiden Modellanlagen geringere Strom- und Wärmeerträge. Diesem Kostendefizit werden die möglichen Erlöse von Seiten der Wasserwirtschaft gegenübergestellt.

2.2.1 Ackerbau

Unter den in Kapitel 2.1.1 angenommenen Substratmischen ergeben sich nach KTBL Wirtschaftsrechner Biogas (online)¹ für die Referenzanlage Produktionsmengen für Strom von rund 2,17 Mio. kWh und Wärme von 2,3 Mio. kWh (siehe Tabelle 6). Dem gegenüber steht eine Stromproduktion mit einem alternativen Substratmix bei der Modellanlage von 1,7 Mio. kWh und Wärme von 1,9 Mio. kWh. Für die Stromvergütung wird ein Preis von 16 Cent/kWh angesetzt. Dieser Preis lehnt sich an das aktuelle EEG an und dient als Anhaltspunkt für die Vergütung aus dem Stromverkauf. Hieraus ergibt sich eine Differenz zwischen Referenzanlage und Modellanlage von 71.776 €. Bei einer Wärmenutzung von 35 % zu einem Preis von 3,5 Cent je Kilowattstunde (thermisch) werden rund 28.400 € bei der Referenzanlage erzielt. Die Differenz zur Modellanlage beträgt dabei rund 4.500 €. Einsparungen ergeben sich für die Modellanlage durch den alternativen Substratmix. Dahingegen entstehen Kosten für die zusätzliche Aufbereitungstechnik, die die eingesparten Kosten fast wieder tilgen. Auf ähnliche Mehrkosten kommen auch Wagner et al. (2017) in ihrer Untersuchung zur Durchwachsenen Silphie.

Tabelle 6: Ertragsdifferenz zwischen Referenzanlage und Modellanlage bei einem unterschiedlichen Substratmix

Modell	Referenz	Modellanlage
Eingespeiste Strommenge [kWh _{el.} /a]	2.171.900	1.723.300
Erzeugte Wärmemenge [kWh _{th.} /a]	2.321.000	1.953.343
Substratkosten [€]	157.475,00	125.014,00
Vergütung		
Strom [€]	347.504,00	275.728,00
Wärme [€]	28.432,25	23.928,45
Differenz zu Referenzmodell		
Strom [€]		-71.776,00
Wärme [€]		-4.503,80
Substrat [€]		+32.461,00
Zusätzliche Substrataufbereitungs-technik [€]		-29.535,00

Insgesamt werden bei der Modellanlage gegenüber der Referenzanlage 73.354 € eingenommen. Dieser Wert schwankt in der Praxis in Abhängigkeit der Wärmenutzung und Vergütung wie auch in den Kosten der Aufbereitungstechnik.

Neben den wirtschaftlichen Kosten haben die einzelnen Anbausysteme unterschiedliches Einsparpotenzial bei der Stickstoffdüngung. So werden an der Modellanlage insgesamt gegenüber der Referenzbiogasanlage auf dem Ackerland 27,1 % Stickstoff eingespart (vgl. Tabelle 7). Die Reduktion des Stickstoffes sagt zwar noch nichts über eine mögliche Verbesserung des Grundwassers aus, da diese von bodenphysikalischen Gegebenheiten, der Geländemorphologie, den angebauten Früchten und dem Klima abhängt. Die Reduktion bedeutet jedoch eine geringere Grundbelastung mit Stickstoff und eine damit einhergehende geringere Wahrscheinlichkeit der Grundwasserverunreinigung. Für die Berechnung wurde nur der Anbau auf dem Ackerland berücksichtigt, da auf diesem der Mais und damit die Düngegaben ersetzt werden sollen.

Tabelle 7: Stickstoffbedarf der Modelle.

N-Bedarf	Referenz	Modellanlage
----------	----------	--------------

¹ <https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do>

t/ha Ackerland	0,170	0,124
N-Gabe Ackerland gesamt [t]	13,9	10,1
N-Einsparung zu Referenz Modell [%]		27,1

In der Untersuchung Pertagnol et al. (2019) wurden Kosten von 3,55 bis 862,87 €/ha und Land ermittelt, die durch die Landwirtschaft entstehen. Vorausgesetzt, dass durch den alternativen Substratmix auf dem Ackerland rund 27 % Nitratdünger eingespart werden können und dadurch auch im gleichen Maße die Aufbereitungskosten sinken, ergibt sich ein Einsparpotenzial von 0,96 bis 233,84 €/ha Ackerland (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Einsparungen für die Wasserwirtschaft pro Hektar Ackerfläche durch geringere Nitratdüngung für einzelne Szenarien.

	Einsparung je Hektar Ackerland (5%)		
Land	10%	27%	60%
Deutschland	1,18 €	3,16 €	7,09 €
Frankreich	0,96 €	2,57 €	5,77 €
Niederlanden	1,85 €	4,95 €	11,13 €
Belgien	2,60 €	6,94 €	15,59 €
Luxemburg	1,36 €	3,63 €	8,16 €
	Einsparung je Hektar Ackerland (44%)		
Land	10%	27%	60%
Deutschland	10,29 €	27,47 €	61,72 €
Frankreich	8,37 €	22,34 €	50,19 €
Niederlanden	16,13 €	43,07 €	96,79 €
Belgien	22,60 €	60,35 €	135,63 €
Luxemburg	11,84 €	31,61 €	71,03 €
	Einsparung je Hektar Ackerland (75%)		
Land	10%	27%	60%
Deutschland	17,74 €	47,36 €	106,42 €
Frankreich	14,42 €	38,51 €	86,54 €
Niederlanden	27,81 €	74,26 €	166,88 €
Belgien	38,97 €	104,06 €	233,84 €
Luxemburg	20,41 €	54,49 €	122,46 €

Wenn man diese Summen der einzelnen Szenarien auf den Flächenbedarf der Modellanlage (81,5 ha) umlegt, ergeben sich zusätzliche Erlöspotenziale von rund 78 bis 19.000 € je Modellbiogasanlage je nach Land (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Einsparungen bei der Wasserwirtschaft durch alternativen Substrateinsatz der Modell-BGA.

	Einsparung je BGA (5%)		
	10%	27%	60%
Deutschland	96,37 €	257,30 €	578,20 €
Frankreich	78,37 €	209,24 €	470,21 €
Niederlanden	151,12 €	403,50 €	906,73 €
Belgien	211,75 €	565,38 €	1.270,51 €
Luxemburg	110,89 €	296,09 €	665,37 €
	Einsparung je BGA (44%)		
	10%	27%	60%
Deutschland	838,39 €	2.238,51 €	5.030,35 €
Frankreich	681,81 €	1.820,42 €	4.090,84 €
Niederlanden	1.314,76 €	3.510,42 €	7.888,58 €
Belgien	1.842,24 €	4.918,79 €	11.053,46 €
Luxemburg	964,78 €	2.575,97 €	5.788,70 €
	Einsparung je BGA (75%)		
	10%	27%	60%
Deutschland	1.445,50 €	3.859,50 €	8.673,02 €
Frankreich	1.175,53 €	3.138,66 €	7.053,18 €
Niederlanden	2.266,83 €	6.052,45 €	13.601,00 €
Belgien	3.176,28 €	8.480,67 €	19.057,69 €
Luxemburg	1.663,42 €	4.441,33 €	9.980,51 €

Die Tabelle 9 zeigt, dass in keinem Land der Erlösdefizit von rund 73.000 € durch die Wasserschutzmaßnahmen auf Seiten der Wasserwirtschaft eingespart wird. Allerdings ist hier festzuhalten, dass zum einen nicht alle Vergütungssätze von Seiten der Biogasanlagen berücksichtigt wurden. Das bedeutet, bei einem geringeren Erlös für Strom und Wärme werden die Grenzkosten schneller erreicht. Genauso wurden nicht alle Regionen mit ihren unterschiedlichen Wasserkosten berücksichtigt. Das heißt, bei steigendem Wasserpreis und in dem Modell damit steigenden Aufbereitungskosten, können ebenfalls die Grenzkosten für Wasserschutz mit alternativen Substraten erreicht werden.

2.2.2 Grünland

Wie auch im Teil der Ergebnisdarstellung zum Ackerland werden auch für das Grünland die gleichen Daten für die Referenzanlage und der erstellte Substratmix aus Kapitel 2.1.2 übernommen. Damit ergeben sich keine Änderungen bei der Referenzanlage (siehe Tabelle 10). Dem gegenüber steht die Modellanlage für das Grünland mit nur einem Schnitt und einem geringeren Substrateinsatz. Die Stromproduktion beträgt 1,9 Mio. kWh und Wärme von 2,0 Mio. kWh. Für die Stromvergütung werden wie zuvor 16 Cent/kWh angesetzt. Hieraus ergibt sich eine Differenz zwischen Referenzanlage und Modellanlage von rund 41.000 €. Bei einer Wärmenutzung beträgt die Differenz 3.360 €. Mit der Reduktion des Substrates ergeben sich Einsparungen der Substratkosten von rund 18.500 €. Für die Modellanlage ist keine zusätzliche Aufbereitungsanlage vorgesehen, da der Substratmix nur von der Menge im Grasbereich verändert wird und dies zu keinen Komplikationen im Prozess führt.

Tabelle 10: Ertragsdifferenz zwischen Referenzanlage und Modellanlage bei einem unterschiedlichen Substratmix

Modell	Referenz	Modellanlage Grünland
Eingespeiste Strommenge [kWh _{el.} /a]	2.171.900	1.915.214
Erzeugte Wärmemenge [kWh _{th.} /a]	2.321.000	2.046.660
Substratkosten [€]	157.475,00	138.906,00
Vergütung		
Strom [€]	347.504,00	306.434,24
Wärme [€]	28.432,25	25.071,59
Differenz zu Referenzmodell		
Strom [€]		-41.069,76
Wärme [€]		-3.360,66
Substrat [€]		+18.569,00

Insgesamt werden bei der Modellanlage gegenüber der Referenzanlage 25.861 € eingenommen.

Neben den wirtschaftlichen Kosten haben die einzelnen Anbausysteme unterschiedliches Einsparpotenzial bei der Stickstoffdüngung. So werden an der Modellanlage insgesamt gegenüber der Referenzbiogasanlage auf dem Grünland 82,4 % Stickstoff eingespart (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Stickstoffbedarf der Modelle.

N-Bedarf	Referenz	Modellanlage
t/ha Grünland	0,228	0,04
N-Gabe Grünland gesamt [t]	10,4	1,8
N-Einsparung zu Referenz Modell [%]		82,4

Wie auch schon bei der Berechnung für einen alternativen Substratmix bei Ackerfrüchten werden auch bei der Grünlandbetrachtung die Ergebnisse aus der Untersuchung Pertagnol et al. (2019) genutzt. Hier ergeben sich, bezogen auf das Grünland, Kosten zwischen 2,32 und 556,48 €/ha, die durch die Landwirtschaft verursacht werden. Bei einer Reduktion der Nitratdüngung von rund 82 % und einer gleichen Reduktion der Wasseraufbereitungskosten liegt das Einsparpotenzial zwischen 1,91 und 459 €/ha Grünland (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Einsparungen für die Wasserwirtschaft pro Hektar Grünland durch geringere Nitratdüngung für einzelne Szenarien

Einsparung je Hektar landw. Fläche (5%)			
Land	10%	27%	60%
Deutschland	2,56 €	6,83 €	15,35 €
Frankreich	1,91 €	5,11 €	11,48 €
Niederlanden	3,21 €	8,56 €	19,23 €
Belgien	5,09 €	13,60 €	30,57 €
Luxemburg	1,98 €	5,28 €	11,86 €
Einsparung je Hektar landw. Fläche (44%)			
Land	10%	27%	60%
Deutschland	22,25 €	59,41 €	133,51 €
Frankreich	16,65 €	44,46 €	99,90 €
Niederlanden	27,88 €	74,45 €	167,30 €
Belgien	44,33 €	118,35 €	265,95 €
Luxemburg	17,20 €	45,93 €	103,21 €
Einsparung je Hektar landw. Fläche (75%)			
Land	10%	27%	60%
Deutschland	38,37 €	102,44 €	230,20 €
Frankreich	28,71 €	76,65 €	172,24 €
Niederlanden	48,08 €	128,36 €	288,45 €
Belgien	76,42 €	204,05 €	458,54 €
Luxemburg	29,66 €	79,19 €	177,96 €

Bei einer Umlegung der Einsparpotenziale aus Tabelle 12 ergeben sich für die Modellanlage mit einem einmaligen Schnitt des Grünlandes bei 45,5 ha Summen zwischen rund 87 bis 20.900 € pro Jahr und Land, abhängig von den gewählten Szenarien (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Einsparungen bei der Wasserwirtschaft durch alternativen Substrateinsatz der Model-BGA

Einsparung je BGA (5%)			
Land	10%	27%	60%
Deutschland	116,38 €	310,73 €	698,27 €
Frankreich	87,08 €	232,50 €	522,46 €
Niederlanden	145,83 €	389,37 €	874,98 €
Belgien	231,82 €	618,95 €	1.390,90 €
Luxemburg	89,97 €	240,21 €	539,80 €
Einsparung je BGA (44%)			
Land	10%	27%	60%
Deutschland	1.012,49 €	2.703,34 €	6.074,91 €
Frankreich	757,57 €	2.022,71 €	4.545,42 €
Niederlanden	1.268,72 €	3.387,48 €	7.612,31 €
Belgien	2.016,80 €	5.384,85 €	12.100,79 €
Luxemburg	782,71 €	2.089,84 €	4.696,28 €
Einsparung je BGA (75%)			
Land	10%	27%	60%
Deutschland	1.745,66 €	4.660,92 €	10.473,99 €
Frankreich	1.306,16 €	3.487,44 €	7.836,94 €
Niederlanden	2.187,45 €	5.840,48 €	13.124,68 €
Belgien	3.477,24 €	9.284,23 €	20.863,43 €
Luxemburg	1.349,50 €	3.603,18 €	8.097,03 €

Die Ergebnisse aus Tabelle 13 zeigen, dass die entfallenen Erlöse der Modellanlage von 25.861 € auch bei den Szenarien für den Ackerbau nicht durch die Wasserschutzmaßnahmen von Seiten der Wasserwirtschaft ausgeglichen werden können. Allerdings gilt auch hier festzuhalten, dass zum einen nicht alle Vergütungssätze von Seiten der Biogasanlagen berücksichtigt wurden. Das bedeutet, bei einem geringeren Erlös für Strom und Wärme werden die Grenzkosten schneller erreicht. Genauso wurden nicht alle Regionen mit ihren unterschiedlichen Wasserkosten berücksichtigt. Das heißt, bei steigendem Wasserpreis und in dem Modell damit steigenden Aufbereitungskosten, können ebenfalls die Grenzkosten für Wasserschutz mit alternativen Substraten erreicht werden. Des Weiteren ist die Differenz zwischen der Referenzanlage und der Modellanlage beispielsweise für Belgien mit 4.998 € bei Berücksichtigung aller Kosten und Einsparungen nicht allzu groß, so dass dieses Modell Ansätze bietet, die es durch praktische Untersuchungen zu überprüfen gilt.

2.3 Fazit & Diskussion

In den Varianten können sowohl bei einer Anpassung des Substratmixes im Ackerbau als auch in der Grünlandwirtschaft in Gebieten bzw. Ländern, in denen keine Nitratbelastungen oder nur geringe Nitratbelastungen im Grundwasser herrschen, keine Einsparungen für die Wasserwirtschaft generiert werden, so dass sich das alternative Anbauverfahren lohnen würde. Dennoch können die Ansätze in der Untersuchung für Gebiete mit hohen Nitratwerten im Grundwasser von Interesse sein. Hier ergeben sich zwei Ansätze. Zum einen sind die Belastungen schon so hoch, dass es für die Wasserwirtschaft lohnenswert ist, den Landwirten die Ausgleichskosten zu zahlen, womit diese ihren

finanziellen Verlust ausgleichen können. Oder die Nitratwerte steigen in einem Gebiet, so dass die Wasserwirtschaft in absehbarer Zeit in neue „teure“ Aufbereitungstechnik investieren muss. Um diesem entgegen zu wirken, kann es im Vorab für die Wasserwirtschaft günstiger sein, den Landwirten bzw. Biogasanlagenbetreiber Ausgleichszahlungen anzubieten.

Insgesamt wurden bei den Untersuchungen nur einzelne Möglichkeiten von Anbauverfahren und Substratmischen berechnet. Bei der Grünlandnutzung sind neben nur einem oder vier Schnitten auch viele weitere Varianten zu betrachten. Gleiches gilt für den Substratmix von Ackerland. Hier gilt es, in zukünftigen Projekten diese Varianten zu untersuchen. Neben den angesprochenen Kosten seitens der Wasserwirtschaft haben auch die Vergütungskosten der Biogasanlagen einen maßgebenden Einfluss auf die Umsetzung und die Wirtschaftlichkeit der alternativen Anbauvarianten. Insbesondere auf deutscher Seite können für Anlagen, die keine EEG Vergütung mehr erhalten und deren Produktionskosten unter 16 Cent/kWh liegen, die genannten Ansätze in belasteten Gebieten eine zusätzliche Einkommensmöglichkeit darstellen.

3 Optimiertes Düngemanagement

3.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.1.1 Europäische Nitratrichtlinie

Die Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen ist eine der ersten Dokumente der EU-Umweltschutzgesetzgebung. Ziel der Richtlinie ist es, die aus der Landwirtschaft stammenden Nitratreinträge und die damit einhergehende Gewässerverunreinigung zu verringern und weitere Verunreinigungen z.B. durch eine Förderung guter landwirtschaftlicher Praktiken in der Landwirtschaft vorzubeugen. Die Nitratrichtlinie gibt für alle EU-Länder die Eckssäulen für den Gewässerschutz und überprüft in einem Zeitraum von 4 Jahren die nationalen Umsetzungen (EUR-Lex, 2015).

Die vorgegebenen Eckssäulen umfassen:

- Ausweis von Flächen, die in Gewässer entwässern und entweder durch hohe Nitratwerte und Eutrophierung bereits belasten oder zukünftig belasten könnten. Verzeichnis muss alle 4 Jahre überprüft und gegebenenfalls geändert werden
- Verbindliche Aktionsprogramme für ausgewiesene Flächen festlegen und deren Wirksamkeit überwachen
- Messstellen mindestens einmal monatlich und häufiger bei Hochwasser die Nitratkonzentration von Grundwasser und Oberflächengewässer messen
- Umfassendes Überwachungsprogramm, alle 4 Jahre Berichterstattung
- Die Regeln zur guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft dienen der Verringerung der Nitratverunreinigung unter Berücksichtigung der Verhältnisse in den verschiedenen Regionen. Die jeweiligen Bestimmungen sollen die in Tabelle 14 dargestellten Punkte wie sie in den verschiedenen Regionen von Belang sind enthalten.
- Angebot von Schulungs- und Informationsmaßnahmen für Landwirte

Tabelle 14: Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis (basierend auf Richtlinie 91/676/EWG)

Vorgeschriebene Bestimmungen zur Regelung der guten landwirtschaftlichen Praxis
- Sperrfrist für Wirtschaftsdüngerausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen
- Düngung auf stark geneigten landwirtschaftlichen Flächen
- Ausbringung in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen (schneebedeckt, wassergesättigt, gefroren, überschwemmt)
- Ausbringung von Düngemitteln auf landwirtschaftlichen Flächen in Gewässernähe
- Fassungsvermögen und Bauweise zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern
- Nährstoffverlustarme Ausbringungsverfahren auf landwirtschaftlichen Flächen (Häufigkeit/ Gleichmäßigkeit) von Mineraldünger und organischen Düngern
Optionale Bestimmungen zur Regelung der guten landwirtschaftlichen Praxis
- Bodenbewirtschaftung (Fruchtfolgegestaltung, Anbauverhältnisse)
- Beibehaltung einer Mindestbodenbedeckung während bestimmter Zeiten
- Aufstellung von Düngeplänen für landwirtschaftliche Betriebe und Aufzeichnungspflicht bei Düngemittelverwendung

- Verhinderung von Gewässerverunreinigung durch Abfluss bzw. Versickern von Wasser in Bewässerungssystemen über Reichweite von Pflanzenwurzeln hinaus

Alle EU-Mitgliedstaaten haben diese Aktionsprogramme für gefährdete Gebiete aufgestellt und ihre Qualität hat sich verbessert. Ziel dieser Aktionsprogramme ist eine Verhinderung von Nitratgehalten von über 50 mg/l (UBA, 2019). Ein Aktionsprogramm kann sich auf alle gefährdeten Gebiete eines Mitgliedsstaates beziehen oder es können verschiedene Aktionsprogramme innerhalb eines Mitgliedsstaates festgelegt werden. Deutschland zum Beispiel hatte wie viele andere Länder sich entschieden nicht einzelne nitratgefährdete Gebiete auszuweisen, sondern die Schutzmaßnahmen auf das gesamte Hoheitsgebiet auszudehnen (Europäische Union, 2010). Die Aktionsprogramme decken die wichtigen Maßnahmen ab (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15 Maßnahmen der Aktionsprogramme (basierend auf Richtlinie 91/676/EWG)

Maßnahmen der Aktionsprogramme
- Sperrfristen zur Ausbringung von Düngemitteln
- Lagerung von Wirtschaftsdüngern
- Begrenzung der Düngemittelausbringung entsprechend der Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis und Berücksichtigung folgender Merkmale des besonders betroffenen Gebiet: Bodenbeschaffenheit & Bodenneigung, klimatische Verhältnisse, Bodennutzung & Bewirtschaftungsweise mit dem Ziel den voraussichtlichen Stickstoffbedarf der Pflanzen und die Stickstoffversorgung aus dem Boden und der Düngung im Gleichgewicht zu halten
- Grenzwert für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sind 170 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr (Ausnahmeregelungen sind möglich wenn sie die Ziele der Aktionsprogramme nicht gefährden)

In der Vergangenheit bemängelte die Europäische Kommission den anhaltenden Verstoß Deutschlands gegen die EU- Nitratrichtlinie. Hauptkritikpunkte waren die schlechte Grundwasserqualität in Deutschland, da insbesondere in einigen Bundesländern mehr als 30% des Grundwassers den Grenzwert für Nitrat von 50 mg/l deutlich übersteigen. Der Europäische Gerichtshof bemängelte die korrekte Überarbeitung des deutschen Aktionsprogrammes (Europäische Kommission, 2019). Mit der darauffolgenden Novellierung der Düngeverordnung 2020 wurde eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten verabschiedet und die Ausweisung einzelner nitratgefährdeter Gebiete wird zukünftig anvisiert. (BMEL, 2020).

3.1.2 Exkurs –Deutschland: Düngeverordnung 2020

Zentrales Element zur Umsetzung der Nitrat-Richtlinie ist die Düngeverordnung (DüV). Die Düngeverordnung definiert die gute landwirtschaftliche Praxis und gibt vor wie die mit der Düngung verbundenen Risiken reduziert werden können. Sie regelt sowohl die mineralische als auch die organische Düngung von landwirtschaftlichen Kulturen. Die organische Düngung umfasst die Düngung mit Wirtschaftsdüngern, Kompost und Gärprodukten.

Die Düngeverordnung ist wesentlicher Bestandteil des nationalen Aktionsprogrammes zur Umsetzung der EU- Nitrat-Richtlinie in Deutschland. Im Jahr 2017 verabschiedete die Bundesregierung eine neue

Düngeverordnung mit verschärften Regelungen für die Landwirtschaft. Diese reichten der EU-Kommission jedoch nicht aus sodass im Februar 2020 die von der EU verlangten Nachbesserungen in einem neuen Entwurf eingearbeitet wurden. Dieser Entwurf ist seit dem 1.Mai 2020 in Kraft getreten.

Mit der Änderung der DüV werden insbesondere in stark belasteten Gebieten weitere Maßnahmen für die Landwirtschaft eingeführt, mit dem Ziel die Nitrateinträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt zu reduzieren. Zur bundeseinheitlichen Ausweisung der belasteten Gebiete wurde am 12.August 2020 die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belastenden und eutrophierten Gebieten beschlossen. Die dort zusätzlich geregelten Maßnahmen für die besonders belastenden Gebiete gelten ab Januar 2021 (BMEL, 2020a).

Ein weiterer zentraler Punkt der DüV 2020 ist die Ablösung des Nährstoffvergleichs durch die Dokumentation der tatsächlichen Düngemaßnahmen. Bei der Düngedarfsermittlung bezieht sich das tatsächlich zu berücksichtigende Ertragsniveau der angebauten Kultur auf die letzten 5 Jahre um den zunehmenden Witterungsextremen Rechnung zu tragen. Tritt ein höherer Düngedarf infolge nachträglich eintretender Umstände auf, darf der ursprünglich ermittelte Düngedarf nur noch um 10% überschritten werden, welcher schriftlich zu begründen ist. Die neu eingeführte schriftliche Dokumentation der Düngemaßnahmen beinhaltet die Schlaggröße, Art und Menge des Nährstoffträgers, aufgebrauchte Menge an Gesamt-N, Phosphat, bei organischen Düngemitteln zusätzlich die Menge an verfügbarem Stickstoff. Spätestens ab 31. März 2022 wird die Aufsummierung der Düngung zu einer jährlichen betrieblichen Gesamtsumme des Nährstoffeinsatzes bis zum 31. März des folgenden Kalenderjahres verpflichtend. Ausgenommen von der Dokumentationspflicht zur Düngedarfsermittlung sind Betriebe mit weniger als 15 ha, max. 2 ha Gemüse-, Erdbeeranbau und einem Nährstoffanfall von max. 750 kg N pro Jahr und keine Aufbringung von Wirtschaftsdüngern (inkl. Gärprodukte) (LWK Nordrhein-Westfalen, 2020a).

Des Weiteren enthält die novellierte DüV weitere Regelungen für alle Gebiete, unabhängig davon ob eine Nährstoffbelastung vorliegt oder nicht. Diese sind bereits seit Inkrafttreten 2020 zu berücksichtigen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16 Vorgaben der DüV 2020 für alle Gebiete seit 1.Mai 2020 (DüV, 2020)

Neue Vorgaben für alle Gebiete seit Inkrafttreten der DüV 2020
Düngedarfsermittlung <ul style="list-style-type: none"> - Betriebsspezifisches Ertragsniveau im Mittel von 5 Jahren - Abzug Herstdüngung zu Winterraps, Wintergerste bei N-Bedarfsermittlung im Frühjahr - Nachträgliche Erhöhung des N- Düngedarfs um max. 10%
Aufzeichnungspflicht von jeder Düngemaßnahme spätestens 2 Tage nach Aufbringung
Erhöhung N-Mindestwirksamkeit von Rinder, Schweinegülle und flüssigen Gärprodukten um 10% bei Aufbringung auf Ackerland ab 2020 und Grünland ab 1.2.2025
Ausbringungsverbot von N- und P- haltigen Stoffen auf gefrorenem Boden
Einarbeitung von organischen Düngern mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff innerhalb 1 Stunde ab 1.2.2025
Sperrfrist Ausbringung Festmist von Huf- und Klautieren und Kompost auf Acker und Grünland vom 1.12 bis 15.1
Sperrfrist für die Ausbringung P-haltiger Düngemittel (> 0,5%/TM) auf Acker und Grünland vom 1.12 bis 15.01
Begrenzung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngern auf Dauergrünland und mehrjährigem Feldfutter auf 80 kg N pro Hektar vom 1.9 bis Beginn der Sperrfrist

Bei Berechnung der 170 kg N Obergrenze pro Hektar für organische Dünger, Abzug bzw. Teilanrechnung aller Flächen, die Düngungsverboten oder – einschränkungen unterliegen

Abstände zu Gewässern ohne Düngung:

- 3m bei Flächen ab 5% Hangneigung
- 5m bei Flächen ab 10% Hangneigung
- 10m bei Flächen ab 15% Hangneigung

Weitere Auflagen im Zusammenhang mit der Hangneigung:

- Ab 5% Hangneigung sind Düngemittel auf unbestelltem Ackerland sofort einzuarbeiten, auf bestelltem Ackerland
- Ab 5% Hangneigung auf bestelltem Ackerland ist die Düngung bei Reihenkultur ≥ 45 cm nur mit Untersaat oder sofortiger Einarbeitung und ohne Reihenkultur nur bei hinreichendem Pflanzenbestand bzw. Mulch/Direktsaat zulässig
- Ab 10% Hangneigung Aufteilung der Düngegabe wenn der Düngebedarf höher als 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar ist

Der Einsatz von allen organischen Düngern, nicht allein Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, wie z.B. Gülle, Gärprodukte, Kompost und Champost ist auf 170 kg N/ha und Jahr im Betriebsdurchschnitt begrenzt. Flächen auf denen die Ausbringung N-haltiger Dünger verboten ist müssen bei der Berechnung des Betriebsdurchschnitts vorab abgezogen werden. Selbiges gilt für Flächen mit Düngebeschränkungen, hier darf nur die tatsächlich zulässige Teilmenge angesetzt werden.

Düngemittel mit wesentlichem Stickstoffgehalt ($>1,5\%$ in TM) wie z.B. Gärprodukte dürfen auf Ackerland nach der Ernte der Hauptfrucht bis 31. Januar nicht ausgebracht werden. Für Grünland (Dauergrünland und mehrjähriger Feldfutterbau) gibt es eine Sperrfrist vom 1.11 bis 31.1. Ausnahmen von der Sperrfrist sind weiterhin möglich und richten sich nach dem bestehenden Düngebedarf. Dies erlaubt eine Herbsdüngung von max. 30 kg/ ha Ammonium-N oder 60 kg/ha Gesamt-N in Abhängigkeit von der Vorfrucht und Zwischenfrucht zu Winterraps (Saat bis 15.9) und Wintergerste (Saat bis 1.10).

Insbesondere Gärreste sind betroffen durch die Regelung, dass flüssige organische Dünger auf Dauergrünland und mehrjährigem Feldfutter (Aussaat bis 15.Mai) im Herbst vom 1. September bis Beginn der Sperrfrist auf 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar begrenzt ist. Hinzu kommt dass es keine Ausnahmeregelung für Stickstoff- und phosphathaltige Dünger bei gefrorenem Boden gibt. Eine Düngung ist somit bei überschwemmten, wassergesättigten, gefrorenen und schneebedeckten Böden untersagt. Dies bezieht sich auf feste wie auch auf flüssige Dünger (LWK Nordrhein-Westfalen, 2020a).

Für nitratbelastete Gebiete gelten ab 1. Januar 2021 sieben zusätzliche Maßnahmen, die nach Ausweisung der Gebiete in den einzelnen Bundesländern, von den Bundesländern um mindestens zwei weitere Maßnahmen ergänzt werden (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17 Zusätzliche Vorlagen in nitratgefährdeten Gebieten (DüV, 2020)

Zusätzliche Auflagen in nitratbelasteten Gebieten ab 1. Januar 2021	
1.	N- Düngung unter Bedarf 20% unter errechnetem Düngebedarf im Durchschnitt der Flächen*
2.	Schlagbezogene N-Obergrenze 170 kg/ ha für organische Dünger auf Schlag bzw. Bewirtschaftungseinheit*

<p>3. Herstdüngung nur noch in Ausnahme: - Ausnahme für Winterraps mit Bodenprobenachweis verfügbare Stickstoffmenge im Boden unter 45 kg Stickstoff je Hektar - Ausnahme Zwischenfrüchte ohne Futternutzung wenn Festmist oder Kompost bis max. 120 kg/ha Gesamt-N ausgebracht werden oder Bauantrag zur Erweiterung Lagerkapazität vorliegt</p>
<p>4. Begrenzung N-Düngung im Herbst auf Grünland Aufbringung flüssiger organischer Dünger zu Dauergrünland und mehrjährigem Feldfutterbau vom 1.9 bis Beginn der Sperrfrist auf 60 kg Gesamtstickstoff je Hektar</p>
<p>5. Verpflichtender Zwischenfruchtanbau Stickstoffdüngung bei Kulturen mit Aussaat nach 1. Februar wenn im Herbst eine Zwischenfrucht angebaut wurde und nicht vor 15.1 umgebrochen wird. Ausnahmen bei Ernte der letzten Hauptfrucht nach 1.10 oder für besonders trockene Gebiete (< 550 m durchschnittliche Jahresniederschläge)</p>
<p>6. Sperrfristverlängerung Festmist und Kompost Verlängerung auf 3 Monate vom 1.11 bis 31.01.</p>
<p>7. Sperrfristverlängerung Grünland Verlängerung der Sperrfrist für Ausbringung von Düngern mit wesentlichem Stickstoffgehalt auf Grünland um 4 Wochen vom 1.10 bis 31.01</p>
<p>*Ausnahme: Betriebe die weniger als 160 kg Gesamtstickstoff je Hektar und davon nicht mehr als 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar Mineraldünger</p>

Werden die Gebiete nach Ausweisung hinsichtlich der Nitratbelastung und Eutrophierungsgefährdung, als eutrophierte Gebiete ausgewiesen, ergeben sich weitere Anforderungen der DüV an die Ausbringung phosphathaltiger Düngemittel. Die Ausweisung eines eutrophierten Gebietes erfolgt nach der Erfüllung eines der folgenden Kriterien (DüV, 2020).

1. Die Werte überschreiten den guten ökologischen Zustand für Orthophosphat-Phosphor oder für Gesamtposphor laut Oberflächengewässerverordnung.
2. Die biologischen Qualitätskomponenten laut Oberflächengewässerverordnung erreichen nicht die Klassifizierung „guter Zustand“.
3. Mittels Modellierung- oder Monitoring Ergebnissen konnte Eutrophierung durch signifikante Phosphoreinträge aus landwirtschaftlichen Quellen nachgewiesen werden.

Die Einstufung als eutrophiertes Gebiet führt zu einer Verringerung der erlaubten Phosphatausbringungsmengen bzw. zu einer Ausbringungsverbot für phosphathaltige Düngemittel. Zudem kann die Sperrfrist um bis zu 2 Wochen verlängert werden (Fachverband Biogas, 2020).

Zusammengefasst führt die Novellierung der Düngeverordnung zu verschärften Herausforderungen an das richtige Management von Gärprodukten in der Zukunft.

3.1.3 Auswirkungen der rechtlichen Rahmenbedingungen auf die Gärprodukte

Die Anwendung und das Inverkehrbringen von Gärprodukten werden in Deutschland durch das Düngegesetz geregelt. Die Einstufung der Gärprodukte als Düngemittel, Wirtschaftsdünger, Bodenhilfsstoffe oder Kultursubstrat erfolgt je nach den Einsatzstoffen während des Vergärungsprozesses, dem Nährstoffgehalt und der geplanten Anwendung. Feststellen lässt sich, dass Gärprodukte einer Vielzahl von rechtlichen Rahmenbedingungen unterliegen und diese betriebsindividuell unterschiedlich sein können (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18 Rechtliche Bestimmungen im Umgang mit Gärresten (DLG, 2017)

Verwendete Rohstoffe für das Gärsubstrat	Betriebseigene Dünger	Betriebsfremde Dünger
Gülle, Stallmist, Jauche oder andere Wirtschaftsdünger, Energiepflanzen	Düngegesetz Düngeverordnung EU-Hygieneverordnung 1069 Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung	zusätzlich: Düngemittelverordnung Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung Kreislaufwirtschaftsgesetz
Getreidespelzen, Lebensmittelabfälle, Biotonne, Garten- und Parkabfälle oder andere pflanzliche Bioabfälle	Düngegesetz Düngeverordnung Düngemittelverordnung Bioabfallverordnung	
Speisereste lebensmittelabfälle Magen- und Darminhalte oder andere Abfälle tierischer Herkunft	Düngegesetz Düngeverordnung Düngemittelverordnung EU-Hygieneverordnung 1069/2009 Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung	

Werden in der Biogasanlage nur nachwachsende Stoffe und Gülle eingesetzt, so wird das Gärprodukt als Wirtschaftsdünger eingestuft. Werden im Prozess Abfälle, die nicht in der Landwirtschaft anfallen, eingesetzt, wird das Gärprodukt abhängig von den Nährstoffgehalten als organischer Ein- und Mehrnährstoffdünger definiert. Gärprodukte mit keinen wesentlichen Nährstoffgehalten an Stickstoff, Phosphat und Kalium werden hingegen als Bodenhilfsstoffe eingestuft. Kultursubstrate sind als Mischungen mit Erden definiert. Diese Einstufung ist bei der düngemittelrechtlichen Kennzeichnung nach Düngemittelverordnung (DüMV) relevant, die bei der Abgabe von Gärprodukten an andere Betriebe in Frage kommt. Ab einem bestimmten Schwellenwert sind Schadstoffe zu kennzeichnen. Außerdem haben zusätzlich Abgeber, Beförderer und Empfänger von Wirtschaftsdüngern Aufzeichnungs-, Melde- und Mitteilungspflichten der in Verkehr gebrachten Stickstoff- und Phosphatmengen (Fachverband Biogas, 2019). Die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln auf landwirtschaftlichen Flächen sind aus der in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Düngeverordnung (DüV) zu entnehmen.

3.2 Eigenschaften von Gärprodukten

Beim Vergärungsprozess in einer Biogasanlage besteht aufgrund der geringen Nährstoffverluste, ein nahezu geschlossener Nährstoffkreislauf. Insbesondere die Nährstoffe Phosphor und Kalium bleiben fast vollständig bestehen. Gärprodukte stellen ein nährstoffreiches Düngemittel dar, dass aufgrund des hohen organischen Masseanteils auch positive Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit sowie die Bodenstruktur hat (Fachverband Biogas, 2019).

Innerhalb des Vergärungsprozesses im Fermenter werden die Kohlenstoffverbindungen zu Methan abgebaut, dies führt zu einem geringeren Kohlenstoffgehalt und einem höheren Anteil an

pflanzenverfügbarem Stickstoff. Mineralischer Stickstoff liegt in Form von Ammonium und Ammoniak, die in Abhängigkeit vom pH-Wert im Gärprodukt ein Gleichgewicht bilden, vor. Der Anteil an Ammoniak steigt mit dem Anstieg des pH-Wertes an. Aufgrund des höheren pH-Wertes ist das Potenzial für Ammoniakverluste bei Gärprodukten höher als bei Gülle (siehe Tabelle 19). Die hohen Ammoniumgehalte und das basische Milieu können bei unsachgemäßer Ausbringung zu Ammoniakemissionen insbesondere direkt nach der Ausbringung führen (Fachverband Biogas (2019); Faßbender & Dörr (2012)).

Der geringere Kohlenstoffgehalt im Gärprodukt kann dazu führen, dass die Humusbilanzen der Böden auch durch die Ausbringung von Gärprodukten als Alternative für Mineraldünger, nicht ausgeglichen werden können. Dem kann durch pflanzenbautechnische Maßnahmen wie z.B. der Integration von Zwischenfrüchten in der Fruchtfolge entgegengewirkt werden. Gärprodukte haben im Vergleich mit Stroh und anderen kompostierten organischen Düngern die niedrigste Humuswirkung je ausgebrachter Einheit im Boden (DLG, 2017).

Flüssige Gärprodukte aus der Separation haben einen hohen Anteil löslicher Nährstoffe (v. a. Stickstoff) und geringere Gehalte an organischer Substanz. Feste Gärprodukte aus der Separation haben einen hohen Anteil organisch gebundener Nährstoffe (N, P) und einen höheren Anteil an organischer Substanz (vgl. Tabelle 20). Feste Gärprodukte aus der Trockenfermentation werden haben meist einen höheren Anteil organisch gebundener Nährstoffe und höhere Gehalte an organischer Substanz (DLG, 2017).

Eine entscheidende Rolle spielt die Zusammensetzung der Biogassubstrate für den anschließenden Nährstoffgehalt der Endprodukte. Aufgrund dessen ist es schwierig pauschal den Nährstoffgehalt von Gärprodukten zu bewerten. Grundsätzlich lässt sich jedoch sagen, dass ein hoher Gülleanteil im Substratmix höhere Gehalte an Stickstoff im Endprodukt begünstigt. Während ein hoher Anteil an Silomais zu höheren Anteilen an organischer Substanz führt. Mit der Vergärung von Bioabfällen steigen die Stickstoffgehalte im Gärprodukt (DLG, 2017). Eine Spanne der wichtigsten Nährstoffe (siehe Tabelle 20) kann angegeben werden, aber die genaue Zusammensetzung der Gärprodukte sollte mehrmals im Labor analysiert werden, um eine betrieblich angepasste Düngestrategie zu entwickeln (Fachverband Biogas, 2019). Die Tabelle 19 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Qualitätskriterien und Eigenschaften von Gärresten.

Tabelle 19 Eigenschaften von Gärrest (Fachverband Biogas (2019); Faßbender & Dörr (2012))

	Charakteristika Gärrest	Vorteile	Nachteile	Besonderheiten Gärrestseparation
Trockensubstanz	Grundsätzlich niedriger als im Inputsubstrat (ca. 2%) Abhängig von Inputmaterial und Fermentationsverfahren; bei flüssigen Gärprodukten 4-6%	hohe Fließfähigkeit der flüssigen Fraktion, wodurch kann gut von der Pflanze abtropfen und in den Boden eintreten; bessere Transportwürdigkeit der festen Fraktion		flüssige Fraktion 5,7 % (1-8%); feste Fraktion 24,3 % (20-40%)

pH-Wert	Hoch ca. pH 8, bis 9 bei separierten Gärresten		erhöhte Ammoniakverluste	
C/N- Verhältnis	Enger als bei Gülle; Gärrest ca 5-6 und bei Rohgülle 10	schnellere Stickstoffverfügbarkeit bei engem C/N-Verhältnis		feste Gärprodukte haben ein weites C/N- Verhältnis ² und können zum Humusaufbau verwendet werden
Nährstoffe	flüssiges Gärprodukt: 5,1 N _{gesamt} [kg/m ³], 3,2 NH ₄ [kg/m ³] (62,7 % von N _{gesamt}), 2,3 P ₂ O ₅ [kg/m ³], 5,5 K ₂ O [kg/m ³]		die Gefahr von gasförmigen Ammoniakverlusten	flüssige Fraktion: 4,9 N _{gesamt} kg/m ³ , 3,1 NH ₄ [kg/m ³] (63,3 % von N _{gesamt}) 2,0 P ₂ O ₅ [kg/m ³], 5,4 K ₂ O [kg/m ³] feste Fraktion: 5,8 N _{gesamt} [kg/m ³], 2,7 NH ₄ [kg/m ³] (46,5 % von N _{gesamt}), 5,0 P ₂ O ₅ [kg/m ³], 5,8 K ₂ O [kg/m ³]
Schwer-metalle	Werden durch Fermentation nicht abgebaut und verbleiben im Gärprodukt, Anteile abhängig vom Input, meist Einhaltung der Grenzwerte, vereinzelt Überschreitung bei Cu und Zn			

Phosphor ist in Gärprodukten zum Teil organisch gebunden ist. Dieser P-Anteil wird erst mit der Mineralisation pflanzenverfügbar. Auf P unterversorgten Böden sollte nicht die gesamte vorgesehene P-Düngung mittels Gärprodukten erfolgen. Bei kalter Witterung entspricht die Löslichkeit des Phosphors aufgrund komplexer Bindungsformen nicht immer der von wasserlöslichen P-Düngern. Kalium wird nicht organisch verbunden und ist daher sofort pflanzenverfügbar. Magnesium ist ebenfalls zu 100% sofort verfügbar. Die unerwünschten Bestandteile wie Unkrautsamen oder Krankheitserreger, werden im Gärprozess nachweislich reduziert (vgl. DLG, 2017).

Tabelle 20 Durchschnittliche Nährstoffgehalte unterschiedlicher Gärprodukte (DLG, 2017)

Merkmale	NawaRo-Gärrest (flüssig)	NawaRo-Gärrest (fest)	Gärrest (Bioabfälle) flüssig	Gärrest (Bioabfälle) fest
Trockenmasse (%)	6,9 4,6 – 10,1	27,5 21,1 – 30,1	6,5 2,5 – 13,6	35,6 24,5 – 48,1

Gesamtstickstoff (N) (kg/t bzw. kg/m ³)	4,9 3,3 – 7,1	6,8 4,3 – 9,6	4,8 2,7 – 6,7	9,2 4,6 – 21,2
Stickstoff, mineral. (kg/t bzw. kg/m ³)	2,4 1,0 – 4,5	1,4 0,7 – 3,1	3,0 1,3 – 4,8	1,3 0,2 – 3,3
Phosphat (P ₂ O ₅) (kg/t bzw. kg/m ³)	2,0 0,9 – 3,6	6,9 2,8 – 21,2	1,8 0,7 – 2,8	6,6 3,0 – 11,8
Kalium (K ₂ O) (kg/t bzw. kg/m ³)	5,2 3,7 – 6,6	7,5 3,5 – 7,8	2,5 1,2 – 4,3	4,3 2,8 – 6,3
Kalkgehalt (CaO) (kg/t bzw. kg/m ³)	3,4 2,0 – 5,8	7,2 1,7 – 18,5	5,5 2,4 – 9,1	23,6 5,5 – 50,8
Magnesium (MgO) (kg/t bzw. kg/m ³)	0,8 0,3 – 1,4	3,1 1,7 – 7,9	0,6 0,01 – 1,6	3,8 1,9 – 6,4
pH-Wert	7,9 7,5 – 8,3	8,6 8,1 – 8,9	8,1 7,7 – 8,6	8,1 7,5 – 8,7
C/N-Verhältnis	6,2 4,4 – 8,8	21,7 13,1 – 29,2	4,6 1,7 – 8,8	15,4 5,0 – 23,4
Organ. Substanz (kg/t bzw. kg/m ³)	29,2 18,5 – 43,4	134 96,8 – 143,7	20,0 8,0 – 39,1	113,2 77,4 – 148,2
Humuswirksames-C (kg/t bzw. kg/m ³)	8,8 5,5 13,0	47,2 33,9 – 50,3	6,0 2,4 – 11,7	39,6 27,1 – 51,9
Probenzahl	107	34	879	62

Bei der Ausbringung von Gärresten sind folgende Punkte zu beachten:

- Ermittlung der genauen Nährstoffgehalte
- Ermittlung der verfügbaren Nährstoffmengen (insbesondere N und P) im Boden
- Aufgrund der Nährstoffzusammensetzung ist häufig der Phosphatgehalt der limitierende Faktor bei der Ausbringung
- Durchführung der Düngebedarfsermittlung nach Vorgaben der Düngeverordnung.

3.3 Gewässerschonende Ausbringung von Gärprodukten

3.3.1 Ausbringungszeitpunkt

Ein standortangepasstes Gärrestmanagement lässt Nährstoffeinträge in die Gewässer minimieren und Mineraldüngergaben reduzieren. Gärreste sollten bevorzugt im Spätwinter bis Sommer eingesetzt werden, um eine hohe Nährstoffausnutzung durch die Pflanzen zu gewährleisten. Der Ausbringungstermin bei flüssigen Gärresten und Fugaten sollte möglichst nahe zu Beginn der Vegetation bzw. bei Sommerungen unmittelbar vor der Bestellung liegen, um Nitratauswaschung und gasförmige N-Verluste zu vermindern (Faßbender & Dörr., 2012). Die festen Gärreste sollten einige Wochen vor der N-Aufnahme der Pflanzen unter Berücksichtigung der Sperrfristen ausgebracht werden, so dass eine N-Mineralisierung erfolgen kann. Eine Gärrestausrückführung kann auch nach der Ernte von mehrfachgenutzten Pflanzen (z.B. Ackergras) oder vor Aussaat von Zwischenfrüchten erfolgen. Die gesetzlichen Sperrfristen und Düngehöchstmengen müssen bei der Ausbringung

beachtet werden. Aufgrund der hohen N-Verluste wird von einer Ausbringung von flüssigen Gärprodukten im Herbst abgeraten (Faßbender & Dörr., 2012). Eine Grundvoraussetzung ist die Einhaltung günstiger Witterungsbedingungen um Ammoniakemissionen auf bewachsenem Boden zu vermindern. Schlussfolgernd, sollte die Ausbringung von Gärresten möglichst bei kühler und feuchter Witterung, bewölktem Himmel erfolgen. Zudem reduzieren anschließende Niederschläge reduzieren die gasförmigen Ammoniakverluste. Von einer Einarbeitung per Pflug wird indes abgeraten, da so die Gärreste in Bereiche mit schlechteren Mineralisierungsbedingungen gelangen und das Risiko für Verluste ansteigt (DLG, 2017). Zusätzlich beeinflusst die Umgebungstemperatur die Verluste von Ammoniak während und nach der Ausbringung. Mit steigender Temperatur werden die Ammoniakemissionen höher. Sodass eine Ausbringung bei höheren Temperaturen zu erhöhten Ammoniakverlusten führt und nicht zu empfehlen ist (Faßbender & Dörr., 2012).

3.3.2 Ausbringungstechniken

Oberstes Ziel der Ausbringung ist die Reduktion der Ammoniakverluste, da diese zum einen den Stickstoff-Düngewert verringern und gleichzeitig eine Umweltbelastung darstellen. Die Ammoniakverluste schwanken je nach Ausbringungsverfahren erheblich. Eine sofortige Einarbeitung reduziert die Ammoniakverluste deutlich. Insbesondere in höheren Beständen wie z.B. bei der Kopfdüngung oder im Grünland ist der richtige Ausbringungszeitpunkt (bewölkt) und die bodennahe, großtropfige Ausbringung zielführend. In Tabelle 8 werden verschiedene Ausbringungsverfahren hinsichtlich ihres Emissionsminderungspotenzial mit der Breitverteilterchnik verglichen. Die Verfahren mit Schleppschauch, Schlepp- oder Schlitzschuhverteiler und flache Injektionsverfahren sind Techniken zur bodennahen Ausbringung von flüssigen Gärprodukten (von Butlar & Meyer, 2020). Die Breitverteilung ist zwar nach DüV noch zugelassen, aber sie ist sehr witterungsabhängig. Der Vorteil der Breitverteilung ist die günstige Anwendung. Die Ergebnisse in Tabelle 21 zeigen, dass bei bodennaher Ausbringung mit geringer Oberflächenverteilung die Ammoniumionen im Boden gebunden werden und die Emissionsminderung am höchsten ist. Jedoch führt die konzentrierte Ausbringung auf eine kleine Oberfläche durch die Schleppschauchverteilung aufgrund von punktuellen denitrifizierenden Bedingungen im Vergleich zu einer Breitflächenausbringung zu erhöhten Lachgasemissionen (Faßbender & Dörr., 2012).

Tabelle 21 Minderung der Ammoniakverluste nach der Ausbringung von flüssigen Gärresten; Referenz zu Breiverteiler ohne Einarbeitung 15°C Lufttemperatur bei Ausbringung (FNR 2010: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen; Ergebnisse des Verbundprojektes EVA, Gülzow)

Emissionsminderung [%] Gärrest				
Minderungstechniken/ -maßnahmen	Einsatzgebiete	dickflüssig	düninflüssig	Beschränkungen
Schleppschauchverfahren Legt die Gärreste streifenförmig auf der Bodenoberfläche ab	Ackerland: unbewachsen	8	30	Hangneigung nicht zu stark, Größe und Form der Fläche, dickflüssiger Gärrest, Abstand der Fahrgassen. Bestandshöhe
	Bewuchs > 30 cm	30	50	
	Grünland: Bewuchs bis 10 cm	10	30	
	Bewuchs bis >30 cm	30	50	
Schleppschuhverfahren, -kuven Legt die Gärreste in den obersten Krumbereich des Bodens ab	Ackerland	30	60	wie oben, nicht auf steinigen Böden
	Grünland	40	60	
Schlitzverfahren	Grünland	60	80	wie oben, nicht auf steinigen Böden, zu

Gärreste werden direkt in den Boden eingebracht				trockenen und verdichteten Böden, hoher Zugkraftaufwand
Güllegrubberverfahren Gärreste werden direkt in den Boden eingebracht	Ackerland	>80	>80	wie oben, nicht auf sehr steinigen Böden, sehr hoher Zugkraftaufwand, nur bedingt auf bewachsenem Ackerland (ggf. Reihenkulturen) einsetzbar
unverzögliche Einarbeitung (innerh. 1 h)	Ackerland	90	90	mit leichtem Gerät (Egge) nach Primärbodenbearbeitung, mit Grubber/ Pflug nach Ernte

Die Ausbringung mittels Schleppschläuchen sorgt für eine bessere Querverteilung und geringere NH_3 -Verluste. Die Methode gewährleistet dank großer Arbeitsbreiten, einfacher Technik und geringem Gewicht eine hohe Schlagkraft. Allerdings kann das Gärprodukt im wachsenden Bestand oder auf Grünland zum Teil auf Pflanzen abgelegt werden und bei ungünstiger Witterung zu Pflanzenschäden führen. Eine weitere Ausbringungsmethode ist der Schleppschuh. Die Bodenkufen an der Unterseite der Schleppschuhe öffnen den Pflanzenbestand und brechen den Boden leicht auf, so dass ein Infiltrieren der Gärprodukte in den Boden erleichtert wird. So können Pflanzenschäden verhindert werden. Zugleich erhört dieses Verfahren das Gewicht des Geräts und den Investitionsaufwand (DLG, 2017).

Das nächste Verfahren ist die Injektion mittels Schlitzgeräten, bei der die Gärprodukte direkt in den Boden eingebracht werden. Die Anwendung dieser Methode ist auch im wachsenden Bestand möglich aber verschiedene Versuche zeigen dass die Verletzung der Grasnarbe negative Folgen für die hinsichtlich Unkrautwachstum mit sich bringen kann (LWK Nordrhein-Westfalen, 2020b). Hinzu kommt dass diese Technik einen großen Zugkraftbedarf hat (DLG, 2017).

Eine weitere Variante des Schlitzgerätes ist der Güllegrubber, bei dem gleichzeitig die Gärprodukte ausgebracht und eingearbeitet werden in einem Arbeitsgang. Der Güllegrubber ist nur im unbewachsenen Acker einsetzbar. Aufgrund des enormen Zugkraftbedarfs und des hohen Gewichts hat diese Technik eine geringere Arbeitsbreite.

Die Ausbringung von festen oder separierten Gärprodukten erfolgt per Breittellerstreuer mit vertikal bzw. horizontal angeordneten Walzen. Auch getrocknete und pelletierte Gärprodukte lassen sich mit diesem Verfahren ausbringen. Für die gezielte Düngung ist es unabdingbar diese den unterschiedlichen Beschaffenheiten des Materials bezüglich Wurf- und Verteileigenschaften anzupassen (DLG, 2017).

3.3.3 Anbaupraktiken

Die Ergebnisse in dem vorangegangenen Kapitel 2 zeigen dass insbesondere das Anbausystem eine große ökonomische und ökologische Rolle spielt. Hierzu gehören die verschiedenen Bewirtschaftungsmethoden sowie die langfristige Fruchtfolgestaltung. Der Energiepflanzenanbau bietet die Möglichkeit Zwischenfruchtanbau, Untersaaten in Mais, Getreide-Ganzpflanzennutzung und die Nutzung von Dauerkulturen wie beispielsweise Ackergras, Klee gras oder Durchwachsene Silphie zu kombinieren. Die positive Auswirkung dieser Maßnahmen auf die Humusanreicherung im Boden sowie

den Erosionsschutz kann dazu beitragen Nährstoffeinträge insbesondere über Winterperiode zu vermindern (vgl. von Butlar & Meyer, 2020). Des Weiteren führen eine Ausweitung der Fruchtfolgen und die Integration von Zwischenfrüchten und Dauerkulturen zu einer Steigerung der Biodiversität. Der Zwischenfruchtanbau wird genutzt, um einen hohen Gesamtertrag in einer Fruchtfolge erzielen zu können. Die Zwischenfrucht dient als zusätzliche Produktion von Biomasse und trägt zur Vermeidung von Nitratauswaschung durch die Nutzung des im Boden enthaltenen Reststickstoffs zwischen zwei Hauptfrüchten bei. Der Zwischenfruchtanbau verbessert die Humusbilanz in der Fruchtfolge und vermindert die Bodenerosion durch die ganzjährige Bedeckung. Allerdings entstehen zusätzliche Kosten (Faßbender & Dörr., 2012).

Eine weitere Option ist das Zweikultur-Nutzungssystem. In diesem System werden im Jahr zwei Kulturen angebaut und jeweils unreif geerntet. Als Erstfrucht wird im Herbst eine Winterung wie z. B. Wintergetreide oder –leguminosen gesät und als Zweitfrucht im Frühjahr eine Sommerung wie Sonnenblume, Weidelgras, Sudangras, Hirse oder Mais. In diesem System wird die Sonneneinstrahlung während der Vegetationsperiode optimal genutzt, was zum höheren Gesamtjahresbiomasseertrag führt. Dieses Anbausystem sichert eine hohe Flächenproduktivität, einen ganzjährigen Bodenschutz und sorgt für die Minimierung von Nährstoffausträgen durch optimiertes N-Management und hilft bei der Verteilung von Arbeitsspitzen. Die Nachteile dieses Systems sind die Störung von Bodenbrütern, und die erforderliche Zuverlässigkeit hinsichtlich ausreichender Niederschläge zur Aussaat der Zweitfrucht (Faßbender & Dörr., 2012).

Eine weitere Möglichkeit ist die Untersaat. Untersaat erfolgt hauptsächlich im Frühjahr in einen bereits bestehenden Getreidebestand oder im Zusammenhang mit Mais. Keine weitere Bodenbearbeitung wird durchgeführt. Untersaaten führen zu einer begünstigten Bodenfruchtbarkeit und verminderten Bodenerosionsneigung. Als Aussaaten eignen sich besonders Gräser und Ackerfuttermischungen mit Leguminosen. Ein Problem bei diesem Anbausystem stellt die Konkurrenz zwischen der Untersaat und der Hauptfrucht dar z.B. Wasserknappheit (von Butlar & Meyer, 2020; Faßbender & Dörr., 2012).

Als letztes zu erwähnen wäre der Mischfruchtanbau. Hier werden verschiedene Feldfrüchte auf dem gleichen Feld in der gleichen Vegetationsperiode angebaut. Dieses System kann Vorteile aufweisen, wenn Blattpflanzen mit Halmfrüchten, Tiefwurzler mit Flachwurzlern und wenn Pflanzen mit verschiedenen Nährstoffbedürfnissen miteinander vermengt werden. Die Bodenfläche und die Sonnenenergie kann so effektiver genutzt werden. Solche Mischsaaten haben eine gute Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern und Schädlingen und eine gute Anpassbarkeit an unterschiedliche Standortbedingungen. Dieses System erzielt auch eine gute Humusbilanz. Grundsätzlich müssen sowohl die Zusammensetzung der Mischungen als auch Erntetechniken dem Standort angepasst werden (Faßbender & Dörr., 2012).

Der Anbau von ein- und mehrjährigen Kulturen lässt sich sehr gut in den Biomasseanbau für Biogasanlagen integrieren. Die Erweiterung von bestehenden Fruchtfolgen führt langfristig zu höheren Biomasseerträgen, gesündere Bestände, geringere Erosionsverluste, Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und durch die gezielte Nutzung von Vorfrüchten und dem dadurch verbundenen geringeren Düngebedarf zu einer optimalen Nährstoffausnutzung.

Literaturverzeichnis

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020). Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie: gemeinsame Erklärung von BMU und BMEL. Online.

<https://www.bmel.de/SharedDocs/Meldungen/DE/Presse/2020/200918-nitratrichtlinie.html>

BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020)a. Düngung. Online.

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/duengung.html#doc12312bodyText4>.

Dauber, J., Müller, A.L., Schittenheim, S., Schoo, B., Schorpp, Q., Schrader, S., Schroetter, S. (2016). Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft, Schlussbericht FKZ 11NR044 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Braunschweig.

DBFZ (2015): Stromerzeugung aus Biomasse, Vorhaben Ila Biomasse, Zwischenbericht Mai 2015, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Leipzig

DüV- Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis bei Düngen (2020).

Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist. Online. https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf

DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2017). Gärreste im Ackerbau effizient nutzen. In: DLG-Merkblatt 397, 2017. Online.

https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_397.pdf

Eulenstein, F., Cremer, N., Schindler, R., Pickert, J. (2018): Stickstoffeintrag in Oberflächengewässer und Grundwasser in Deutschland auf Basis bundesweiter Auswertungen. IN: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 11, Nr.6. 2018.

https://www.dbges.de/de/system/files/Aktuelles/2018/sonderdruck_nitrat.pdf.814

Europäische Kommission (2019). Nitrat im Grundwasser: Kommission mahnt Deutschland zur Umsetzung des EuGH-Urteils. Pressemitteilung Europäische Kommission – Vertretung in Deutschland. Online. https://ec.europa.eu/germany/news/20190725-nitrat_de.

Fachverband Biogas e.V. (2020). Vereinheitlichung ermöglicht flächenschärfere Abgrenzung der belasteten Gebiete. Biogas Journal, 5, 44-46. Online.

[https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE-Biogas-Journal-5-2020-Duengeverordnung-Vereinheitlichung-ermoeglicht-aechenschaerfere-Abgrenzun/\\$file/Biogas_5_2020_44-46_belastete%20Gebiete.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE-Biogas-Journal-5-2020-Duengeverordnung-Vereinheitlichung-ermoeglicht-aechenschaerfere-Abgrenzun/$file/Biogas_5_2020_44-46_belastete%20Gebiete.pdf)

Fachverband Biogas e.V. (2019). Düngung mit Gärprodukten. Online.

[https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/BJHCNF-DE-Duengen-mit-Gaerprodukten/\\$file/Gaerproduktaufbroschuere.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/BJHCNF-DE-Duengen-mit-Gaerprodukten/$file/Gaerproduktaufbroschuere.pdf)

Faßbender, B., Dörr, M. (2012). Handbuch Gewässerschonende und standortangepasste Fruchtfolgen und Anbauverfahren für Energiepflanzen zur Nutzung in Biogasanlagen für die Region III-Theel. Zweckverband Natura III-Theel, Schullandheim.

EUR-Lex (2015). Bekämpfung der Gewässerverunreinigung durch Nitrate aus der Landwirtschaft <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=LEGISSUM:l28013>

Europäische Union (2010). Die Nitratrichtlinie der EU. Europäische Kommission. <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/nitrates/de.pdf>

KTBL (2018a): Faustzahlen der Landwirtschaft, 15. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt ISBN 978-3-945088-59-3

KTBL (2018b): Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/19, 26. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt ISBN 978-3-945088-62-3

LfL (2019): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten, Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising www.stmelf.bayern.de/idb/default.html [16.07.2019]

LWK- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2020)a. Die neue Düngeverordnung 2020 – was ändert sich? Online. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverordnung/du-ev-2020.htm>.

LWK- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2020)b. Technik der Gülleausbringung. Online. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/guelle/technik/index.htm#breitverteiler>.

Noll, F., B. Wern, W. Peters, S. Schicketanz, P. Kinast, G. Müller-Rüster, D. Clemens (2020): Naturschutzbezogene Optimierung der Rohstoffbereitstellung für Biomasseanlagen Endbericht im Projekt BiogasNatur, https://www.researchgate.net/publication/340032141_Naturschutzbezogene_Optimierung_der_Rohstoffbereitstellung_fur_Biomasseanlagen_Endbericht_im_Projekt_BiogasNatur

Pertagnol, J., Laub, K., Wern, B. (2019). Verbesserung des Wasserschutzes durch Biogas – Möglichkeiten der Integration von Wasserschutz und Naturschutz in die Substratgewinnung. Projektbericht Persephone, IZESg GmbH – Institut für ZukunftsEnergie und Stoffstromsysteme. Saarbrücken.

Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (ABl. L 375 vom 31.12.1991, S.1) zuletzt geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1137/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2008 (ABl. L 311 vom 21.11.2008). 91/676/EWG, in: Amtsblatt der Europäischen Union (ABl) 1991, L 375, 1.

TLL (2018): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Durchwachsener Silphie, 2. Auflage, Hg. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

UBA –Umweltbundesamt (2019): Indikator: Nitrat im Grundwasser. Online <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-nitrat-im-grundwasser#wie-ist-die-entwicklung-zu-bewerten>

Von Butlar, C., Meyer, C. (2020). Tipps zur Steigerung der N-und P-Effizienz. In: Gewässerschutz mit Nachwachsenden Rohstoffen – Steigerung der Gewässerschutzleistung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, 2020.
