

TEXTE

80/2015

Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdüngern

TEXTE 80/2015

Sachverständigengutachten

Projektnummer 37240

UBA-FB 002200

Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdüngern

von


Peter Schießl, Christine Krämer, Alois Heißenhuber
Projektbüro mareg (markt+region), Ippesheim

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Projektbüro mareg (markt+region)
Herrnbertchtheim 178
97258 Ippesheim

Abschlussdatum:

Juni 2015

Redaktion:

Fachgebiet I 3.6 Ländliche Entwicklung und Landwirtschaft
Knut Ehlers

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufbereitung-transport-von-wirtschaftsduengern>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Gutachten Projektnummer 37240
gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den
Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Aufgrund der hohen Tierbesatzdichte in einigen Regionen Europas und Deutschlands kommt es in diesen Regionen zu hohen Nährstoffüberschüssen, die vor Ort pflanzenbaulich nicht mehr sinnvoll zu nutzen sind und deren Ausbringung mit der Entstehung von Belastungen für die Ressourcen des Naturschutzes und des menschlichen Wohlbefindens verbunden ist. Dem gegenüber stehen Ackerbauregionen, in denen kaum Wirtschaftsdünger anfällt und in denen die notwendigen Nährstoffe über mineralische Düngemittel eingebracht werden. Neben der Flächenbindung der Tierhaltung könnte die Aufbereitung und der Transport des Wirtschaftsdüngers in Nährstoffmangel-Regionen zu einer besseren Verteilung und dem Recycling der anfallenden Nährstoffe beitragen. Es existieren eine Reihe von Aufbereitungsverfahren, die bisher kaum zum Einsatz kommen, da die geltenden Auflagen zur Ausbringung von Nährstoffen als nicht strikt genug angesehen werden können und darüber hinaus die ökonomischen Rahmenbedingungen der Aufbereitung und des Transportes einen wirtschaftlichen Einsatz der Techniken nicht erlauben. Der vorliegende Bericht greift das Thema der Wirtschaftsdünger-aufbereitung wieder auf und stellt die technischen Möglichkeiten der Aufbereitung sowie die ökonomischen Rahmenbedingungen des Einsatzes der Techniken dar. Darüber hinaus werden die politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen und deren notwendige Weiterentwicklung betrachtet. So kann der Einsatz der Aufbereitung und des Transportes von Wirtschaftsdüngern unter veränderten Rahmenbedingungen durchaus wirtschaftlich erscheinen. Zu beachten ist jedoch, dass der Einsatz der entsprechenden Technik mit Trade Offs verbunden ist, die im Rahmen dieses Projektes nicht abschließend bewertet werden können.

Abstract

Due to high livestock density in some regions of Europe and Germany, in these regions it comes to high nutrient surpluses. Application of nutrients on agricultural land in such a high amount does not lead to higher nutrient uptake of plants. Thus manure application is going along with environmental damage and risks for human health. On the other hand there are farming regions where no manure accrues. In these regions there is a need of application of artificial fertilizer. In order to decrease negative environmental impact of manure application there are two basic solutions to the problem. One is to reducing livestock density in regions with high density and bring livestock farming back to the region where there is a lack of nutrients and agricultural land is available for manure application. In addition to this option manure treatment and transport of manure to this nutrient-deficient regions can lead to less environmental impact of manure application. There are a number of methods for manure treatment. Most of them are rarely applied. One reason is that existing regulations for manure application are not strict enough to avoid damage for environment and quality of live in the region. Another reason is that the high costs for manure treatment avoid application of treatment techniques. Application of artificial fertilizer costs less than transporting manure back to the sink regions. This report provides information concerning the technical options for manure treatment as well as the economic conditions of the use of these techniques. Moreover, the political and economic conditions related to manure treatment and transport are regarded. Goals are set for further development of the techniques in order to reach a better distribution

of nutrients from livestock farming across the regions. Thus, the use of the processing and transport of manure under that changing conditions can economically make sense. However, the use of the manure treatment technique implicates trade-offs that cannot be finally evaluated in the context of this project.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

Zusammenfassung	9
Summary	15
1 Einleitung.....	20
1.1 Problembeschreibung	20
1.2 Wirtschaftsdüngeranfall und -verteilung in Europa und Deutschland	21
1.3 Belastung der Ressourcen des Naturschutzes und des Schutzgutes Mensch durch einen übermäßigen Anfall an Wirtschaftsdünger	23
1.4 Gliederung des Berichtes	26
2 Techniken der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und ihr Einsatz in den Mitgliedsstaaten	27
2.1 Darstellung der Aufbereitungstechniken	27
2.1.1 Aktive und passive Feststoffabtrennung (Separation).....	29
2.1.2 Verdampfung.....	35
2.1.3 Membrantechnik (Ultra-Filtration - Umkehrosmose).....	37
2.1.4 Weitere Aufbereitungsverfahren	39
2.1.4.1 Trocknung	39
2.1.4.2 Strippung.....	39
2.1.4.3 Vergärung	41
2.1.4.4 Kompostierung	41
2.1.4.5 Flockung	42
2.1.4.6 Fällung.....	42
2.1.4.7 Verbrennung.....	42
2.1.4.8 Nitrifikation/Denitrifikation.....	43
2.1.5 Neue Entwicklungen.....	43
2.2 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen bzgl. der Techniken der Wirtschaftsdüngeraufbereitung	44
2.2.1 Zusammenfassender Überblick über die Eigenschaften der Aufbereitungstechniken	44
2.2.2 Zieldefinition für zukünftige Entwicklungen	49

2.3	Einsatzes der Wirtschaftsdüngeraufbereitungstechniken in Europa.....	50
2.4	Fallbeispiele der Wirtschaftsdüngeraufbereitung.....	55
2.4.1	Beispiel des Einsatzes der Umkehrosmose in den Niederlanden.....	55
2.4.2	Beispiel des Einsatzes der Verbrennung in den Niederlanden	55
2.4.3	Beispiel des überbetrieblichen Nährstoffausgleichs in Deutschland.....	55
2.4.4	Beispiel des Einsatzes von Transporttechniken in Deutschland.....	55
2.4.5	Beispiel der zentralen und dezentralen Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Spanien/Katalonien.....	56
2.4.6	Beispiel der Wirtschaftsdüngerabgabe in Italien.....	56
3	Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Europa (Stand 01.10.2014)	57
3.1	Allgemeine Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung	57
3.1.1	Relevante Richtlinien der EU.....	57
3.1.2	Instrumente und Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung.....	59
3.2	Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in ausgewählten Mitgliedsstaaten - Fallbeispiele	62
3.2.1	Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Deutschland.....	62
3.2.2	Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in den Niederlanden	63
3.2.3	Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Flandern/Belgien	66
3.2.4	Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Dänemark	68
3.2.5	Zusammenfassender Überblick über die Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten.....	69
4	Entwicklung von Szenarien eines überbetrieblichen und überregionalen Nährstoffausgleichs auf Basis der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Deutschland.....	72
4.1	Definition der Referenzsituation	72
4.2	Novellierung der Düngeverordnung	75
4.3	Verpflichtende Wirtschaftsdüngeraufbereitung und Nährstoffausgleich.....	79
4.3.1	Einzelbetriebliche Auswirkungen der verpflichtenden Wirtschaftsdüngeraufbereitung und des Nährstoffausgleichs.....	79
4.3.2	Auswirkungen der verpflichtenden Aufbereitung auf die Fleischerzeugungskosten.....	81
4.4	Realisierung von technischem Fortschritt.....	83
4.4.1	Erhöhung der Wasserabscheidegrade.....	83
4.4.2	Zentrale Wirtschaftsdüngerverwertung.....	84

4.5	Besteuerung von Substituten	87
4.6	Stärkere Bindung der Düngung an den Pflanzenbedarf.....	89
4.7	Definition von Qualitätsstandards.....	90
4.8	Dokumentation der innerbetrieblichen Stoffströme.....	90
4.9	Anpassung des Baurechts für Nährstofflager.....	91
4.10	Zusammenfassung.....	91
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	93
5.1	Kritikpunkte des überbetrieblichen/überregionalen Wirtschaftsdüngerenausgleichs.....	93
5.2	Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	96
6	Quellenverzeichnis.....	99
7	Anhang.....	106

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Nährstoffflüsse zwischen den Regionen	20
Abb. 2: Europäische Regionen mit unterschiedlichen Nutzungsschwerpunkten.....	22
Abb. 3: Regionales Aufkommen von N aus tierischen Ausscheidungen in kg N/ha LF im Jahr 2007	23
Abb. 4: Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung.....	28
Abb. 5: Kosten der Aufbereitungsverfahren.....	45
Abb. 6: Entwicklung der Kosten der Fleischerzeugung bei Transport der Nährstoffe in Nährstoffmangelregionen	82
Abb. 7: Konzept der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung	84
Abb. 8: Transportwürdigkeit für Stickstoff im Wirtschaftsdünger	88
Abb. 9: Transportwürdigkeit für Phosphat im Wirtschaftsdünger	89

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Belastungen der Schutzgüter und des Menschen sowie mögliche Gegenmaßnahmen.....	24
Tab. 2: Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdünger	27
Tab. 3: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt - Referenzsituation	29
Tab. 4: Nährstoffgehalte passive Feststoffabtrennung.....	30
Tab. 5: Jährliche Lagerkosten für Gülle je m ³ Lagerraum.....	30
Tab. 6: Trockensubstanz- und Nährstoffaufteilung - Pressschneckenseparator.....	32
Tab. 7: Kennzahlen der Kostenrechnung - Pressschneckenseparator	33
Tab. 8: Trockensubstanz- und Nährstoffaufteilung – Dekantier-Zentrifuge	34
Tab. 9: Kennzahlen der Kostenrechnung - Dekantier-Zentrifuge	34
Tab. 10: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt – Verdampfung	36
Tab. 11: Kennzahlen der Kostenrechnung - Verdampfung	36
Tab. 12: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt – Ultrafiltration	37
Tab. 13: Investitionsbedarf - Ultrafiltration.....	38
Tab. 14: Kennzahlen der Kostenrechnung - Ultrafiltration	38
Tab. 15: Trockensubstanz- und Nährstoffaufteilung – Strippung	40
Tab. 16: Investitionsbedarf - Strippung	40
Tab. 17: Kennzahlen der Kostenrechnung - Strippung	41
Tab. 18: Aufbereitungskosten je Nährstoffeinheit.....	45
Tab. 19: Vergleich ausgewählter Verfahren der Gärrestaufbereitung.....	46
Tab. 20: Überblick über Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung	47
Tab. 21: Übersicht über den Einsatz der Wirtschaftsdüngeraufbereitung nach Aufbereitungsverfahren in den EU-Mitgliedsstaaten.....	51
Tab. 22: Übersicht über den Einsatz der Wirtschaftsdüngeraufbereitung nach EU-Mitgliedsstaaten.....	53
Tab. 23: Mögliche Politikinstrumente	59
Tab. 24: Begrenzung der Ausbringung von mineralischen und Wirtschaftsdüngern in nationalen Regelungen zur Umsetzung der Nitrat-Richtlinie	69
Tab. 25: Definition des Referenzbetriebes - Schweinemast	73
Tab. 26: Definition des Referenzbetriebes - Ackerbau.....	74
Tab. 27: Innerbetriebliche Nährstoffsituation des Referenzbetriebes	74
Tab. 28: Annahmen zur Güllelogistik des Referenzbetriebes.....	75
Tab. 29: Auswirkungen einer schlagbezogenen Ausbring-Obergrenze	76

Tab. 30: Organisatorische Auswirkungen von wirksamen Bilanz-Obergrenzen.....	77
Tab. 31: Ökonomische Auswirkungen von wirksamen Bilanz-Obergrenzen.....	77
Tab. 32: Kennzahlen der Bilanz-Obergrenze und dem Export von separiertem Feststoff.....	78
Tab. 33: Ökonomische Auswirkungen Separation.....	79
Tab. 34: Kennzahlen der verpflichtende Gülleaufbereitung.....	80
Tab. 35: Ökonomische Auswirkungen verpflichtende Gülleaufbereitung.....	81
Tab. 36: Kennzahlen des technischen Fortschritts.....	83
Tab. 37: Kennzahlen der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung.....	87

Abkürzungen

a	Jahr
Abb.	Abbildung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BLAG	Bund- Länder-Arbeitsgruppe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
ca.	circa
d.h.	das heißt
DüV	Düngeverordnung
€	Euro
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
et al.	und andere
EU	Europäische Union
GPS	Global Positioning System
ha	Hektar
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
incl.	inklusive
K	Kalium
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
landw.	Landwirtschaftlich
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
LKW	Lastkraftwagen
MINAS	Mineral Accounting System
Mio.	Millionen
MVC	Manure Processing Certificate
MWe	Mega Watt elektrisch
N	Stickstoff
NPP	Manure-N Production Pressure of the Municipality

NVZ	Nitrate Vulnerable Zone
P	Phosphor
S.	Seite
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t.	Tonne
Tab.	Tabelle
THG	Treibhausgas
TS	Trockensubstanz
u.a.	und andere
US	United States
u.U.	unter Umständen
VO	Verordnung
WBA	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik
WBD	Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen
z.B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

In der Vergangenheit ist es zu einer zunehmenden Spezialisierung zwischen Regionen mit und ohne Tierhaltung gekommen. So existieren in Europa und Deutschland Regionen mit sehr hohen Tierbesatzdichten und einem hohen Anfall an Wirtschaftsdünger und enthaltenen Nährstoffen. Der Eintrag großer Nährstoffmengen in die Umwelt kann zu einer Reihe von Belastungen der Ressourcen des Naturschutzes sowie des menschlichen Wohlbefindens führen. Hierzu zählen bspw. die Eutrophierung von aquatischen und terrestrischen Lebensräumen, direkte toxische Reaktionen bei Pflanzen und Tieren oder Geruchsbelastungen für den Menschen und ein verstärktes Vorkommen von Keimen aus der Tierhaltung. Demgegenüber stehen reine Ackerbauregionen, in denen die notwendigen ackerbaulichen Nährstoffe dem Boden über mineralische Dünger zugeführt werden. Die Herstellung mineralischer Dünger ist dabei teils sehr energieintensiv bzw. die notwendigen fossilen Ressourcen sind begrenzt.

Ausgehend von dieser Problembeschreibung bieten sich zwei Lösungsansätze an: Vermeidung der Entstehung regional großer Mengen an Wirtschaftsdünger durch die Flächenbindung der Tierhaltung und damit eine relativ gleichmäßige Verteilung des Wirtschaftsdüngeranfalls auf alle Regionen bzw. Aufbereitung und Abtransport des übermäßig anfallenden Wirtschaftsdüngers aus viehintensiven Regionen in Regionen mit einem Mangel an Wirtschaftsdünger. Eine Flächenbindung der Tierhaltung kann zu einem regional angepassten Anfall an Wirtschaftdünger führen und damit eine Entstehung von Nährstoffüberschüssen einbinden, allerdings können auch im Zusammenhang mit der Flächenbindung der Tierhaltung geruchliche und hygienische Belastungen durch die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers auftreten. Da eine Durchsetzung der Flächenbindung der Tierhaltung zumindest kurzfristig als kaum umsetzbar erscheint, werden im vorliegenden Bericht die technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen der Aufbereitung und des Transportes von Wirtschaftsdünger betrachtet. Die Aufbereitung und der Transport des Wirtschaftsdüngers dienen dabei der Reduzierung von Nährstoffüberschüssen in viehintensiven Regionen und dem Recycling der Nährstoffe durch Ausbringung in Nährstoffmangelregionen.

Es zeigt sich, dass eine Reihe von Techniken zur Aufbereitung existiert und in der Vergangenheit schon untersucht wurden (KTBL 2008; Döhler 2013; Döhler & Wulf 2013; Kowalewsky 2013 a, b). Ziel dieser Techniken ist es, das Transportvolumen zu reduzieren und damit die Transportwürdigkeit des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers zu erhöhen. Häufig wird in Kombination mit Aufbereitungstechnologien auch die Biogaserzeugung eingesetzt. Diese erlaubt eine Verbesserung der Fließeigenschaften des Gärsubstrates, eine gewisse Hygienisierung sowie die Erzeugung von Wärme, die in weiteren Aufbereitungsschritten eingesetzt werden kann. In einem weiteren vor- oder nachgelagerten Schritt wird i.d.R. die feste Phase von der flüssigen Phase des Wirtschaftsdüngers separiert. Dabei verbleibt ein Großteil des Stickstoffs in der flüssigen Phase, während Phosphor in der festen Phase vorkommt. Der Abtransport der phosphorreichen festen Phase ist vor allem relevant in Regionen, in denen der Zufuhr von Phosphor der limitierende Faktor der Wirtschaftsdüngerabfuhr ist. Allerdings führt die Separierung insgesamt noch zu keiner Volumenreduzierung und erhöht damit insgesamt die Transportwürdigkeit des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers nicht. Die Separierung ist jedoch die Voraussetzung für den Einsatz weiterer Aufbereitungstechnologien. So kann sowohl die feste Phase durch Kompostierung und Trocknung weiter aufbereitet werden, als auch die flüssige Phase durch den Einsatz von

Membrantechnologien, Fällungs- oder Flockungsmitteln, Verdampfung und Trocknung oder Nitrifikation/Denitrifikation. Bei Verfahren der Vollaufbereitung (z.B. Membran-Aufbereitung) entsteht neben einer festen Phase, ein nährstoffangereichertes Konzentrat und einleitfähiges Wasser. Nachteilig sind der oft hohe Energiebedarf sowie die komplexe und kostenintensive Technik. In Europa findet bisher vor allem die Separierung und in einigen Ländern die Biogastechnologie Einsatz. Ebenfalls bis zur Praxisreife entwickelt ist die Membran-Aufbereitung, die ebenfalls schon Anwendung z.B. in den Niederlanden findet.

Die Techniken sind durch unterschiedliche Vor- und Nachteile gekennzeichnet. So sind Verfahren der Separierung wie Pressschnecken-Separatoren und Dekanter zwar relativ kostengünstig und einfach in der Handhabung, jedoch kann durch den Einsatz der Separierung keine Volumenreduzierung erreicht werden und auch geruchliche und hygienische Eigenschaften der Ausgangsprodukte können nicht verbessert werden. Die Separierung kann dennoch ihre Berechtigung haben, da die zwei entstehenden Phasen entsprechend ihrer Nährstoffgehalte, Nährstoffverfügbarkeit, Transportwürdigkeit u.a. eingesetzt werden können (Einstiegstechnologie). Demgegenüber kann durch die Membran-Aufbereitung einleitfähiges Wasser erzeugt werden, neben einem nährstoffreichen Konzentrat. Allerdings stellt diese Technik höhere Ansprüche in der Handhabung und erfordert für den Druckaufbau einen entsprechenden Energieeinsatz. Des Weiteren existieren Techniken, die sich zwar für die Entsorgung nicht jedoch für das Recycling von Nährstoffen eignen, wie z.B.

Nitrifikation/Denitrifikation. Techniken wie die Kompostierung werden hingegen eingesetzt, um den Böden organisches Material zuzuführen und den Humusaufbau zu unterstützen. Würde es zur Aufhebung des Vollzugsdefizits des landwirtschaftlichen Ordnungsrechtes bzw. zu einer Anhebung der Auflagen kommen (siehe Kapitel 4), würden in erster Linie Techniken der Separierung zum Einsatz kommen. Diese ermöglichen es Nährstoffe – vor allem Phosphat – mit der festen Phase abzutransportieren. Des Weiteren wird in Regionen mit intensiver Geflügelhaltung evtl. auch unaufbereiteter Geflügelkot abtransportiert, da dieser sehr trocken ist und damit geringe Wassermengen transportiert werden müssen. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass insbesondere die Anwendung der festen Phase in größerem Umfang, die im Wesentlichen organisch gebundenen Nährstoffe enthält, in Ackerbauregionen auf geringe Akzeptanz bei den Landwirtschaftsbetrieben treffen dürfte, da sich eine Düngung entsprechend des Pflanzenbedarfs schwieriger gestaltet, sowie geruchliche und hygienische Eigenschaften nicht verbessert wurden.

Als wirtschaftliche Option kann unter den gegebenen Rahmenbedingungen in Deutschland bisher nur der Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen angesehen werden, wobei diese Option wesentlich durch die gesetzlichen Fördermechanismen des EEG beeinflusst wird. Die Kosten der Aufbereitung schwanken zwischen 0,6 € (Pressschnecken-Separation) und 7,9 € (Membran-Aufbereitung) pro Tonne Ausgangsmaterial bei der Integration in eine bestehende Anlage (Kapitel 2).

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdünger-aufbereitung werden EU-weit vor allem durch die Umsetzung der Nitratrichtlinie in den Mitgliedsstaaten beeinflusst. Es können Auflagen, ökonomische und kommunikative Instrumente unterschieden werden. Im vorliegenden Bericht werden die Regelungen in Deutschland, den Niederlanden, Flandern/Belgien und Dänemark betrachtet. Dabei zeigt sich, dass in den Niederlanden, Flandern/Belgien und Dänemark hohe Auflagen durch ökonomische und kommunikative Instrumente flankiert werden. So ist bspw. die Haltung von Tieren in den Niederlanden und

Flandern/Belgien durch Tierhaltungsrechte begrenzt und die Aufbereitung bzw. der Abtransport von Nährstoffüberschüssen vorgeschrieben und z.B. in Flandern/Belgien durch entsprechende Zertifikate nachzuweisen. In Dänemark wird jährlich jedem Betrieb eine maximal ausbringbare Menge an Stickstoff zugewiesen, die jedoch unterhalb des ökonomischen Optimums liegt. Demgegenüber sind die Auflagen in Deutschland häufig nicht so hoch und es wird der Ansatz verfolgt, Veränderungen vorwiegend über ökonomische Anreize, flankiert durch Informationsvermittlung, zu erreichen. Aufgrund einer mangelhaften Zielerreichung bzgl. der Nitratgehalte in Gewässern, hat die EU eine Verschärfung der Düngeverordnung in Deutschland angemahnt.

Mögliche Politikoptionen zur Verbesserung der Situation der anfallenden organischen Nährstoffüberschüsse betreffen:

- die Verschärfung des landwirtschaftlichen Ordnungsrechts (z.B. stärkere Bindung der Düngung an den Pflanzenbedarf)
- die Aufhebung des Vollzugsdefizits des landwirtschaftlichen Ordnungsrechtes
- die Verpflichtung zur Wirtschaftsdünger aufbereitung
- die Förderung von Aufbereitungsanlagen
- die weitere technische Entwicklung der Anlagen (technischer Fortschritt)
- die Erfassung und Optimierung innerbetrieblicher Stoffströme
- die Besteuerung von Substituten
- die Definition von Qualitätsstandards für Produkte der Aufbereitung
- die Definition von Standards des Wohn-Umfeld-Schutzes
- die Überprüfung des landwirtschaftlichen Baurechtes im Hinblick auf den Bau von Lagerstätten in den aufnehmenden Regionen
- den Ausbau der Beratung sowie Intensivierung der Forschungsaktivitäten.

Im Rahmen von Kapitel 4 werden für ausgewählte Politikoptionen Szenarien in Bezug auf die Wirtschaftsdünger aufbereitung und deren Auswirkungen auf einen Beispielbetrieb berechnet.

Unter der Verschärfung des Ordnungsrechtes kann sowohl die Flächenbindung der Tierhaltung, die Definition einheitlicher Düngestandards auf Basis der Pflanzen- und Standortansprüche, die entsprechenden Dokumentationspflichten usw. zusammengefasst werden. Im vorliegenden Bericht wird eine Verschärfung des landwirtschaftlichen Ordnungsrechtes in Bezug auf die Reduzierung der maximal ausbringbaren Nährstoffmenge auf 90% des ökonomischen Optimums betrachtet. Ein solcher Ansatz ist bereits in Dänemark umgesetzt. Diese kann zu einer Steigerung der Nährstoffnutzungseffizienz führen, beeinflusst jedoch evtl. auch die Akzeptanz der Landwirte zur Aufnahme von Wirtschaftsdünger bzw. die Mobilisierung von Stickstoffvorräten aus dem Boden negativ.

Es ist jedoch nicht nur das Ordnungsrecht zu verschärfen, sondern auch die entsprechenden Kontroll- und Sanktionsmechanismen anzupassen. So zeigen die vorgestellten Berechnungen, dass eine Aufhebung des Vollzugsdefizits der Düngeverordnung durch Einhaltung von schlagbezogenen Ausbringungsobergrenzen und wirksamen Bilanzierungsobergrenzen zu einer effizienteren Nutzung der Nährstoffe beitragen kann, wobei jedoch höhere

Aufwendungen für die Betriebe entstehen. Höhere Auflagen verbunden mit entsprechenden Sanktionen können evtl. – wie in den Niederlanden und Flandern/Belgien – dazu führen, dass der Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechniken an ökonomischer Vorteilhaftigkeit gewinnt, da die Alternativen der Flächenzupacht bzw. der Bestandsabstockung häufig begrenzt bzw. ökonomisch nachteilhafter sind.

Die Einführung einer verpflichtenden Nährstoffaufbereitung ist für die Betriebe i.d.R. mit hohen zusätzlichen Kosten verbunden, die z.B. durch eine Aufstockung des Bestandes reduziert werden können, was jedoch der Minderung des regionalen Anfalls von Wirtschaftsdünger entgegen stehen würde. Die mit der verpflichtenden Wirtschaftsdünger aufbereitung entstehenden Kosten können des Weiteren z.B. durch staatliche Förderungen verringert werden. Hier kann sich eine Investitionsförderung durch Zuschüsse bzw. Zinsverbilligungen anbieten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass hierdurch relative Wettbewerbsnachteile für Betriebe mit extensiver Tierhaltung entstehen können.

Der technische Fortschritt kann zu einer Reduzierung der Investitionskosten, aber auch zu einer Verbesserung der technischen Vorgänge und Ergebnisse des Aufbereitungsprozesses führen. Dargestellt sind im Bericht zwei Ansätze von überbetrieblichen technischen Ansätzen, die neben der Reduzierung von Investitions- und/oder Betriebskosten evtl. auch zu ökologischen Verbesserungen beitragen können, da z.B. eine verbesserte Erfassung und Dokumentation von Stoffströmen möglich wird.

Nachfrage und Preis der Produkte der Aufbereitung werden im Wesentlichen durch den Preis der Vergleichsprodukte, d.h. den Preis für mineralische Düngemittel, beeinflusst. Um die Wettbewerbsfähigkeit aufbereiteter Wirtschaftsdünger zu erhöhen, bietet sich demnach auch eine Verteuerung der Substitute z.B. durch Abgaben und Steuern auf mineralische Düngemittel an. Eine Verteuerung der Substitute kann die Transportwürdigkeit des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers erhöhen. Im Rahmen des Projektes wurden entsprechende Vergleichsrechnungen durchgeführt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Einführung von Abgaben und Steuern auf mineralische Düngemittel wiederum diejenigen Betriebe vor allem betreffen kann, die nicht zu den Verursachern der Nährstoffüberschussproblematik zählen. Diskutiert wird daher eine Besteuerung aller Nährstoff-Inputs in einen landwirtschaftlichen Betrieb.

Damit die Handelbarkeit der Produkte der Aufbereitung möglich wird, sind des Weiteren Qualitätsstandards für diese Produkte zu definieren wie z.B. Vorgaben zu Nährstoff- und Kohlenstoffgehalt und Gehalt unerwünschter Stoffe wie z.B. Schwermetalle. Weiterhin sind die Produkte in den entsprechenden Anhang der EU Düngemittelverordnung aufzunehmen.

Eine Überarbeitung des landwirtschaftlichen Baurechtes kann darüber hinaus notwendig werden, da es u.U. sinnvoll ist, Wirtschaftsdünger in den aufnehmenden Ackerbauregionen zu lagern. Hierfür sind entsprechende Lagerstätten notwendig, die evtl. von Betriebsgemeinschaften organisiert werden.

Zur Verbesserung der Situation des Düngemanagements, der Aufbereitung und des Transportes sind darüber hinaus die Aktivitäten im Bereich der Beratung und der Forschung zu intensivieren. So flankieren Mitgliedsstaaten wie die Niederlande, Belgien (Flandern) und Dänemark die strengen Auflagen mit dem Einsatz kommunikativer Instrumente und konnten damit bisher gute Erfolge erzielen. Durch die hohen Auflagen waren viele Landwirtschaftsbetriebe gezwungen, sich mit der Problematik des Düngemanagements zu

befassen und konnten durch die Bereitstellung kommunikativer Instrumente das Know-How bzgl. des Themas wesentlich verbessern. Aktivitäten der Forschung können darüber hinaus dazu beitragen, ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zu entwickeln, aber auch den technischen Fortschritt einzelner Aufbereitungstechniken und damit auch Kostensenkungen des Einsatzes der Techniken forcieren.

Des Weiteren macht jedoch auch die abnehmende Akzeptanz der Bevölkerung für die übermäßige Ausbringung von Wirtschaftsdünger, aufgrund der damit verbundenen geruchlichen und hygienischen Belastungen sowie die Beeinflussung durch den zunehmenden Verkehr mit großen landwirtschaftlichen Fahrzeugen, die Festsetzung entsprechender Standards und Grenzwerte notwendig. Dies betrifft die Einschränkung des übermäßigen Austrags von Wirtschaftsdünger, aber auch die zeitnahe Einarbeitung und die Berücksichtigung von Abständen zur Wohnbebauung sowie verkehrstechnischer Belange bei der Planung und Genehmigung von Großstall- bzw. Aufbereitungsanlagen.

Der Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechniken ist jedoch nicht nur mit positiven Effekten wie einer Reduzierung von Nährstoffüberschüssen verbunden, sondern es werden auch eine Reihe von Kritikpunkten genannt, die in Kapitel 5.1. dargestellt sind. So entstehen durch den Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechniken entsprechende Trade-Offs bspw. im ökologischen und sozialen Bereich, die jedoch bisher meist nicht betrachtet werden. Zu den ökologischen Kriterien zählen bspw. der notwendige Energiebedarf sowie die Entstehung von Treibhausgasen mit teils höherem Treibhausgaspotential. Aber auch die Beeinflussung des Landschaftsbildes durch industrielle Überprägung kann zu den negativen Trade Offs der Aufbereitung von Wirtschaftsdünger gerechnet werden. Darüber hinaus werden auch soziale Kriterien wie z.B. die Belastung durch zunehmenden Verkehr beeinflusst. Des Weiteren sind insbesondere die Effekte aufbereiteter Wirtschaftsdünger auf den Boden bisher nicht in die Betrachtung eingeflossen. So ist davon auszugehen, dass mit der festen Phase neben organischem Material und Phosphor auch im Ausgangssubstrat enthaltene Schwermetalle verlagert und angereichert werden. Hingegen kann es in den abgebenden Regionen zu negativen Wirkungen auf den Humusgehalt des Bodens kommen, wenn das organische Material weitgehend exportiert wird, was eine entsprechende Anpassung der Fruchtfolge nötig machen würde. Die Förderung der Aufbereitung und des Transportes kann des Weiteren dazu führen, den Erhalt und den Ausbau der intensiven Tierhaltung zu stützen und weitere Wettbewerbsvorteile dieser intensiven Betriebe gegenüber extensiv wirtschaftenden Betrieben zu realisieren.

Außerdem wird angemerkt, dass andere Lösungen zur Minderung von Nährstoffüberschüssen in die Betrachtung mit eingezogen werden sollten und eine Abwägung dieser unterschiedlichen Lösungsansätze zu erfolgen hat. Zu nennen ist hier unter anderem z.B. die Minderung des Problemdrucks durch nährstoffreduzierte Fütterung.

Abschließend ist festzuhalten, dass eine umfassende Strategie zum Umgang mit der Problematik der Nährstoffüberschüsse bisher fehlt. Meist erfolgt eine Betrachtung einzelner Nährstoffe und eine Definition von Ansätzen zur Behebung der Symptome des übermäßigen Nährstoffeintrages in die Umwelt, eine nährstoffübergreifende Strategie, die an den Ursachen der Problementstehung ansetzt, fehlt meist. Dabei ist auch zu beachten, dass andere Wirkungszusammenhänge der intensiven Tierhaltung, wie z.B. Fragen der Tiergesundheit und des Tierschutzes, ebenfalls zu adressieren sind.

Der Bericht schließt mit der Formulierung von Handlungsempfehlungen. Diese sind unterteilt in die Definition von weiterem Forschungsbedarf und der Ableitung politischer Handlungsempfehlungen. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich zum einen, da eine ganzheitliche Betrachtung der Wirtschaftsdüngerherstellung und des Transportes bisher fehlt und wesentliche Trade Offs dieser Techniken unberücksichtigt bleiben. Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergibt sich auch im Hinblick auf die Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien, da sowohl die Investitionskosten aufgrund des technischen Fortschritts hierdurch zu reduzieren sind, als auch negative Trade Offs (z.B. hoher Energiebedarf und damit entstehende Treibhausgasemissionen, zunehmendes Verkehrsaufkommen, Belastung des Landschaftsbildes durch technische Anlagen) innerhalb der Fortentwicklung Berücksichtigung finden können. Diese Fragestellungen können anhand von Pilotanlagen untersucht werden. Ergebnisse einer ganzheitlichen Betrachtung des Einsatzes der Techniken können dann auch Aussagen zulassen, ob der Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechnologien zu fordern und/oder zu fördern ist.

Hinsichtlich der politischen Handlungsempfehlungen steht die Aufhebung des Vollzugsdefizits durch Kontrollen und Sanktionen an erster Stelle. Die bestehende Gesetzeslage schränkt die übermäßige Ausbringung von Nährstoffen schon heute ein, jedoch bleiben die Gesetze aufgrund fehlender bzw. mangelnder Kontrollen und wenig abschreckend wirkender Sanktionen ohne Wirkung. Zwar wird die Düngeverordnung aktuell überarbeitet und angepasst, jedoch ist fraglich, ob die in der Diskussion befindlichen Anpassungen die Nährstoffproblematik den Anforderungen entsprechend einschränken können. So sind von politischer Seite auch weitere Auflagen wie z.B. ein Ausdehnungsverbot der Tierhaltung in den betroffenen Regionen zu diskutieren. Augenmerk ist besonders auf handlungsorientierte Ansätze gegenüber maßnahmenorientierten Ansätzen zu legen.

Von politischer Seite ist des Weiteren die Festlegung von Standards für die Produkte der Wirtschaftsdüngerherstellung voranzutreiben und deren Aufnahme in die Positiv-Liste der Düngemittelverordnung. Hierdurch wird die Handelbarkeit und somit der Zugang der Produkte zum Markt erleichtert. Durch Maßnahmen der Bewusstseinsbildung kann sowohl auf Seiten der Landwirte, der landwirtschaftlichen Beratung als auch der Verbraucher die Problematik der Nährstoffüberschüsse und der Umgang mit Wirtschaftsdünger als wertvoller Rohstoff in das Bewusstsein gerückt werden.

Zu berücksichtigen ist ebenfalls, dass die Problematik der Nährstoffherstellung und -rückgewinnung nicht nur im Zusammenhang mit der intensiven Tierhaltung zu sehen ist, sondern auch in Städten große Mengen an Nährstoffen z.B. in menschlichen Fäkalien anfallen, deren Aufbereitung und Rückführung in Nährstoffmangelregionen zu diskutieren ist.

Summary

In the past there has been an increasing specialization between regions with livestock farming and arable regions. Thus in Europe and Germany regions with high livestock densities exist. In this regions high accumulation of nutrients contained in the manure occurs. The large input of nutrients into ecosystems can lead to serious problems for the environment and even human wellbeing. This includes eutrophication of aquatic and terrestrial habitats, direct toxic reactions in plants and animals or odor problems for the residents. Along with spreading manure pathogens from animal husbandry can possibly lead to risks for animal and human health. On the other side there are regions with low livestock density where the necessary nutrients are applied on agricultural land by mineral fertilizers. The production of this fertilizer is very energy-intensive or the necessary fossil resources are limited. Based on this problem there are two basic solutions:

- Reducing livestock density in regions with high density
- Transporting manure to regions with low livestock density

By reducing livestock density in regions with high density and relocating it in regions where agricultural land for manure application is available the existing huge regional concentration of manure will be redistributed. Transporting manure to regions with low livestock density also will lead to a constant distribution of nutrients in manure. Leaching of nutrients into ecosystems with undesirable effects can be reduced. In the regions where more manure application will be additional odor impact could occur. Another problem facing regional distribution of manure is the distribution of pathogens contained in the manure. Because reducing livestock density in regions with high density seems to be no option to be implemented in the short-term, this option will not be regarded in this paper Thus the focus of this paper is on the technical and economic framework of manure treatment and transport.

Several techniques for manure treatment do exist. These techniques are there to reduce transport volumes and provide better transport conditions by accumulating nutrients and reducing water content of manure. Other treatment techniques often are combined with biogas production. Anaerobic fermentation leads to improved viscosity of the manure. When biogas production is coupled with generation of electricity the occurring heat can be used for other manure treatment techniques. After - or before - digestion the next step is separation of solid and liquid fraction of manure. Phosphate stays in the solid fraction of the manure where ammonia goes into the liquid fraction. Export of the solid fraction is relevant for regions with high pig density where phosphate accumulation in soil through manure application occurs. However separation does not reduce transport volume generally. The liquid fraction contains more water and lower nutrient contents. This fraction also has to be distributed on farmland. But this technique is needed for further manure treatment steps. The solid fraction can be treated further by composting, drying or incineration. The liquid fraction can be treated by membrane technology, vaporization, nitrification/denitrification or drying processes. Further treatment options are application of precipitation coagulation or flocculation techniques. Full treatment techniques like reverse osmosis combined with separation and ultrafiltration produces solid fraction of manure, concentrate with high nutrient content and residual water with low nutrient concentration. This water can be discharged into surface waters. Disadvantages of full separation techniques often are high demand of thermal and/or electrical

energy and high costs for technical installation. So far, in Europe separation technique and partly biogas production is used in a larger scale. Ultra-filtration and reverse osmosis also have reached practical application standards and can be found e.g. in the Netherlands.

Manure treatment technologies are characterized by different advantages and disadvantages. Thus techniques for solid-liquid-separation like screw presses and decanter centrifuges are relatively cheap and easy to handle. But separation does not reduce transport volume. Also odor and hygienic properties cannot be influenced by separation only. The solid and liquid fraction of manure can be used according to the nutrient contents, types of nutrient and transportability. In contrast, ultrafiltration/reverse osmosis produces clear water that can be discharged into surfaced waters and a nutrient rich concentrate. This technique requires higher standards for handling and technical process. Building up pressure for this treatment needs electricity for operation. Furthermore, techniques exist for manure disposal but are not suitable for nutrient recovery. As an example nitrification/denitrification can be mentioned here. Techniques like composting can be used for bringing organic matter to the soil and building up topsoil humus content. If there was political action to repealing law execution deficits or increasing requirements for manure application separation technique will be likely to be used for nutrient redistribution to arable regions. The liquid fraction would stay in the livestock region, solid fraction would be transported to arable regions. This will allow nutrients especially phosphate being exported from livestock regions. When there is intensive poultry farming it is likely that unprocessed poultry manure with high dry matter content is being transported to arable regions. It might be difficult to introduce solid fraction of manure processing to arable regions due to little acceptance by arable farmers. The reason for this can be found in odor and hygienic properties as well as nutrient release cannot be easily calculated with corresponding problems for cereal production.

In Germany the only treatment option with economic benefits is the biogas production by using manure as input. This technique is significantly influenced by the funding mechanisms of the German Renewable Energy Law. Beside biogas production costs for manure treatment vary between 0.6 € for separation via screw presses and 7.9 € for ultrafiltration/reverse osmosis for one ton of manure if this technique can be integrated in an existing plant for manure treatment (Chapter 2).

The legal framework for manure treatment across the EU mainly is influenced by the implementation of the Nitrate Directive in the Member States. Options for political action concerning manure application are obligations, economic and communicative instruments. This paper concentrates on political regulations in Germany, Netherlands, Flanders/Belgium and Denmark. In Netherlands, Flanders/Belgium and Denmark high obligations combined with economic and communicative instruments are used. In the Netherlands and Flanders/Belgium there is a restriction for the number of livestock kept in the region. Treatment and export for excess manure is obligatory. In Flanders/Belgium this has to be proved by corresponding certificates. In Denmark each farm gets assigned a specific maximum amount for nitrogen application on farmland, which is below the economic optimum. In Germany obligations are not that high. Currently it is approached that changes can be achieved by economic incentives, flanked by information provision. Due to a lack of achieving goals for nitrate levels in groundwater bodies the EU has called for a tightening of the fertilizer ordinance in Germany.

Possible political options for improving the current situation in Germany concerning manure application and excess nutrients are:

- Tightening of agricultural fertilizing law (e.g. stronger regulations concerning fertilizer application and plant uptake)
- Abolition of executive deficit of existing laws
- Obligation for manure treatment
- Subsidies for manure treatment plants
- Further technological development for plants (technical progress)
- Measurement and optimization of farm nutrient flow
- Taxation of substitutes
- Definition of quality standards for treatment products
- Definition of standards for living-environment-protection
- Adaption of land-use-planning
- Additional research and extension service

In Chapter 4 selected political options are being regarded closer and sceneries concerning manure treatment are calculated.

Under tightening of agricultural fertilizing law, both the redistribution of livestock keeping in regions with lower livestock density and the tightening of fertilizing regulations closer to plant fertilizer uptake and soil requirements, can be understood. Additional requirements according documentation of fertilizer application can support this political option. This paper deals with the tightening of fertilizing law is regarded to the maximum nutrient application for nitrogen and phosphate concerning an equal distribution over the farmland of one single farm instead of preferring application closed to the farm site only. Maximum allowance for Phosphate application and the effect on an example farm is calculated, too. Fertilizing regulations below economic optimum can lead to an improved nutrient use and can be negative because the acceptance for manure application could decrease if the regulation is too tight for the assumed nutrient use efficiency for manure.

Besides tightening of fertilizing law one additional option is to adjust mechanisms for controlling and sanctioning. Calculations presented in this paper show that tighter control of existing regulations can lead to higher nutrient use efficiency. One example is compliance of field-related application limits or effective nutrient accounting ceilings. This will lead to higher costs for the application of manure and animal husbandry, respectively. Tighter regulations like applied in the Netherlands or Flanders/Belgium can lead to less economic disadvantages for farmers by using manure treatment technologies and transporting manure to arable regions. The other option, leasing farmland or reducing production could be economically less interesting. Implication of obligatory manure treatment will lead to higher costs for farmers. The costs per production unit can be reduced by higher production. Thus this political option could lead to a higher regional concentration of livestock keeping and higher regional nutrient occurrence. Obligatory manure treatment costs could be reduced by subsidies. Subsidies for investment or reduced interest rates would be possible. By subsidizing more intensive livestock regions this could lead to further economical disadvantages for extensive livestock regions.

Technical progress can lead to reduced investment costs for manure treatment on the one hand. On the other hand it can lead to improvement of technical processes and the results for

manure treatment. This paper shows two options for farm cooperation models that can lead to ecological benefits besides the reduction of investments and operation costs. This is e.g. due to collection, documentation and application of additional information for nutrient flow.

The price for products of the manure treatment and the acceptance of arable farmers could be improved by raising the price for substitutes by introducing taxes for artificial fertilizers. Raising prices for nutrients will improve transportability of treated manure. Also higher nutrient contents or higher transport distances are possible to compensate reductions in nitrogen fertilizer purchase.

The implementation of manure treatment techniques and nutrient transport, however, is not only associated with positive effects such as reduction of nutrient surpluses. There also can be called a number of criticisms that are shown in Chapter 5.1. Thus, arising from the use of this techniques and transportation trade-offs occur. For example ecologically and social issues are usually not considered yet. The ecological issues include, for example the necessary energy demand and the production of greenhouse gases with sometimes higher greenhouse gas potential. Additionally, the influence on the landscape by industrial buildings can be counted among the negative tradeoffs concerning manure treatment. Public acceptance for excessive application of manure is decreasing. This is due to odor and hygienic concerns related to manure application as well as increasing traffic with large agricultural vehicles. This makes setting appropriate standards and limits necessary. This relates to the restriction of the excessive application of manure but also the timely close incubation and considerations of distance to residential areas as well as traffic engineering issues concerning planning and permission for big stables and manure treatment plants. Furthermore, in particular the effects of processed manure on the soil are not included in the analysis so far. Thus, it can be assumed that heavy metals are transported, too and accumulate in the solid fraction of treated manure besides organic matter and phosphorus. On the other hand, it may come to negative impacts in the regions from where manure is exported concerning topsoil humus content because organic matter is mostly exported to arable regions.

It is noted that other options to reduce nutrient surpluses should also be considered in solving problem with negative impacts of manure application. These options should be weighted up with the approaches of political action discussed earlier. One other option is nutrient-reduced feeding for livestock among many other options. Subsidizing manure treatment and transport may further cause advantages for intensive livestock regions and lead to further concentration of livestock densities. It should be avoided that extensive livestock regions are further discriminated against intensive regions in respect of their fewer negative externalities. A comprehensive strategy for dealing with the problem of excess nutrients still is lacking. Usually there are considered single approaches for single nutrients causing negative impact but holistic approaches addressing the holistic character of the problem of excess nutrient entries into the environment are still missing. It should also be included that other casual relationships of intensive animal production like animal health and animal welfare should be addressed.

The report concludes with the formulation of recommendations for action generally dealing with the wider consideration of the problem in context of manure treatment and nutrient exchange. This recommendations can be defined by further need for research and additional political action. Need for further research can be live cycle analysis in regard of developing technologies. Furthermore it is recommended that environmental and social tradeoffs of manure treatment and nutrient exchange are analyzed (e. g. energy demand, GHG emission,

additional traffic, additional buildings in landscape). Pilot plants could supply those information. Gathered information can be used for a holistic view and can lead to statements concerning the application of transporting and treating manure.

Concerning political action it is strongly recommended to remove deficit in existing law. Control should be increased and penalties should be more effective. Existing law yet limits application of manure. Because of lack of control and weak penalties the problem of manure disposal instead of nutrient recycling still exists. The current draft of the new manure decree might be too weak, too. So the goal of decreasing nutrient loss and damage for environment might be missed. Further constraints like the limitation of live stock concentration should be discussed. Here the focus should be on goal orientated approaches instead of measure orientated ones.

The definition of quality standards for manure and processed manure should be pushed forward. The positive list of the manure decree should include products from manure treatment. So trade, application and markets for this products can be promoted. Measures for better awareness concerning nutrient surpluses should be introduced for farmers, consultants and consumers.

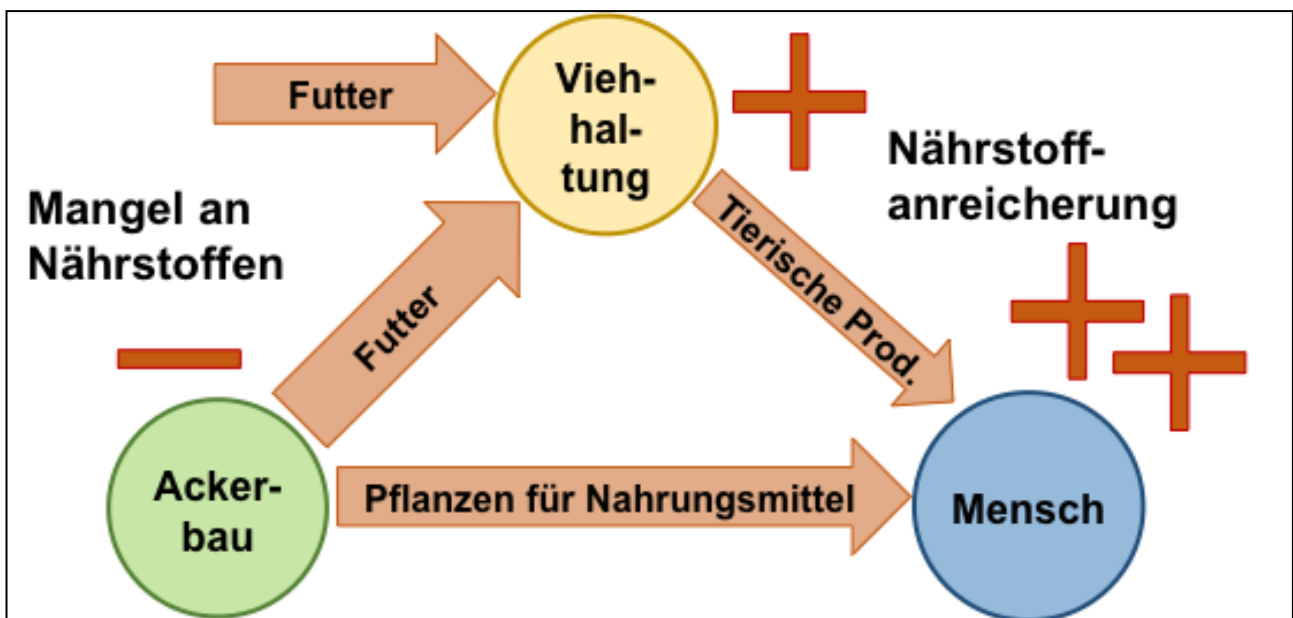
Also should be taken into account that the problem of nutrient treatment and recovery can be seen not only in connection with intensive livestock farming but also large quantities of nutrients occur in cities e.g. in human feces. It is to discuss how these nutrients can be treated and recycled in regions with nutrient deficiency.

1 Einleitung

1.1 Problembeschreibung

Die landwirtschaftliche Tierhaltung ist mit dem Anfall von Exkrementen und den darin enthaltenen Nährstoffen verbunden. Werden diese Exkremente als Wirtschaftsdünger im Ackerbau eingesetzt, können sie zu einem Recycling der Nährstoffe und dem Schließen landwirtschaftlicher Nährstoffkreisläufe beitragen. Jedoch ist in Europa vielfach eine Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe in tierhaltende Betriebe und reine Ackerbaubetriebe zu beobachten. Über diese betrieblichen Spezialisierungen hinaus, sind auch regionale Spezialisierungen in reine Ackerbauregionen und Regionen mit sehr hohem Tierbesatz festzustellen. In diese Regionen werden über die Futtermittel Nährstoffe „importiert“. Zwar fließen Nährstoffe mit den landwirtschaftlichen Produkten auch wieder in die urbanen Zentren ab, doch kommt es zu einem Nährstoffüberhang in den Regionen mit intensiver Tierhaltung, wie auch in den urbanen Zentren. Hingegen tritt in reinen Ackerbauregionen ein Mangel an Nährstoffen aus organischen Quellen auf. Die Nährstoffdefizite werden durch mineralische Düngemittel ausgeglichen, die teils mit einem hohen Energieeinsatz produziert werden (Haber-Bosch-Verfahren) bzw. deren Quellen endlich sind (z.B. Phosphor).

Abb. 1: Nährstoffflüsse zwischen den Regionen



Quelle: eigene Abbildung

Damit kommt es regional zu einem sehr hohen Anfall von Wirtschaftsdünger, dessen Nährstoffe nicht mehr ackerbaulich sinnvoll in der nahen Umgebung genutzt werden können, bzw. deren Einsatz in diesen Regionen zu einer Reihe von Umweltproblemen führen (siehe Kap. 1.3).

Um diese Problematik zu lösen bieten sich generell zwei Ansätze an:

- Bindung der Tierhaltung an die Fläche und damit Vermeidung des regionalen Anfalls großer Wirtschaftsdüngermengen, die ackerbaulich nicht genutzt werden können
- Abtransport der anfallenden Nährstoffe aus den Regionen mit hohem Tierbesatz und Ausbringung in Ackerbauregionen mit einem Mangel an Wirtschaftsdünger

Die Umsetzung des ersten Ansatzes – Bindung der Tierhaltung an die Fläche – wird vielfach priorisiert, da sie sich an den natürlichen Grenzen der Belastbarkeit orientiert und darauf abzielt, eine konfliktreiche Situation – wie oben beschrieben - erst gar nicht entstehen zu lassen. Dennoch zeigt die Entwicklung, dass die Trennung in Regionen mit hohem Tierbesatz und reine Ackerbauregionen weiter voran schreitet und damit insbesondere die Verschärfung der Situation eines übermäßigen Wirtschaftsdüngeranfalls zu beobachten ist. Es erscheint daher sinnvoll, den zweiten Ansatz des Abtransportes der in der Tierhaltung anfallenden Nährstoffe aus den betreffenden Regionen, hinsichtlich der technischen Möglichkeiten, der ökonomischen Konsequenzen und weiterer Vor- und Nachteile, erneut zu betrachten. Mit diesem Ansatz sollen die Nährstoffe gleichmäßiger auf den Flächen verteilt werden und somit die Folgen des übermäßigen Anfalls von Wirtschaftsdünger gemildert werden. Die Ursache der Problementwicklung bleibt jedoch bestehen.

Die beiden Konzepte unterscheiden sich nicht grundsätzlich, sofern das Ziel, die angefallenen Nährstoffmengen effizient zu nutzen, erreicht wird. Demnach gilt die Flächenbindung der Viehhaltung generell. Mit zunehmender Bestandsgröße wächst aber auch der Transportaufwand und aus ökonomischer Sicht, wird ab einer bestimmten Entfernung der Transportaufwand die Kostenvorteile großer Bestände überkompensieren. Es ist lediglich dafür zu sorgen, dass die anfallenden Nährstoffmengen auch genutzt werden

Wirtschaftsdünger kann als Festmist, Gülle und Jauche anfallen. Aufgrund der üblichen Aufstallungsformen entsteht Wirtschaftsdünger in der Schweine- und Rinderhaltung jedoch vor allem als Gülle. Die Eigenschaften des Wirtschaftsdüngers und insbesondere der Gülle erschweren deren Aufbereitung und Transport. So verteuert der hohe Wasseranteil den Transport, Geruchsemissionen bei der Anwendung führen zu Widerstand in der Bevölkerung, mit der Gülle können Krankheitserreger verbreitet werden und darüber hinaus erschweren die Unterschiede in Nährstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit die Bestandesführung im Ackerbau. Um diese negativen Eigenschaften von Wirtschaftsdünger zu verbessern, sind verschiedene Aufbereitungs- und Transporttechniken entwickelt worden und teils bereits im Einsatz.

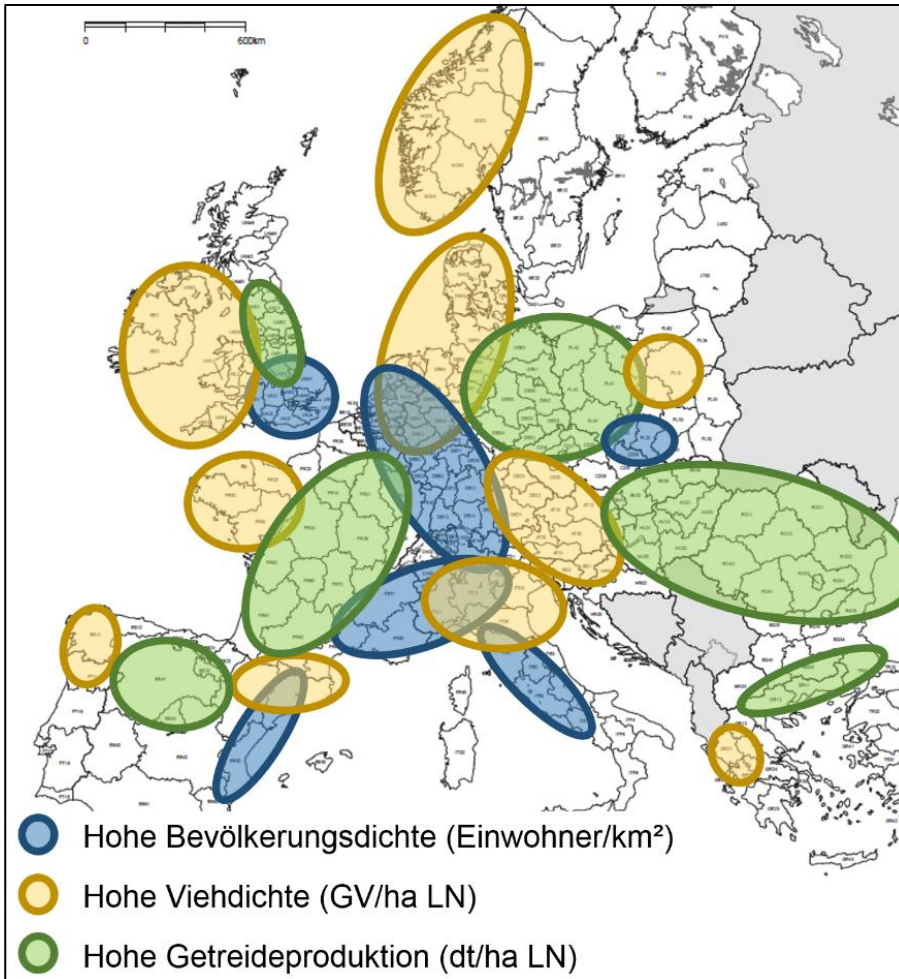
Das Thema der Wirtschaftsdünger aufbereitung und des Transportes ist damit nicht neu, sondern wurde in der Vergangenheit ebenfalls schon untersucht (Döhler 2013; Döhler & Wulf 2013; Foged 2011 b, c; Kowalewsky 2013 a, b; KTBL 2008). Die aktuelle Diskussion um zunehmende Nährstoffüberschüsse sowie um das Schlagwort der „Nachhaltigen Intensivierung“ und die Novellierung der Düngeverordnung, lassen die erneute Auseinandersetzung mit diesen Techniken jedoch wieder interessant erscheinen.

1.2 Wirtschaftsdüngeranfall und –verteilung in Europa und Deutschland

Der Anfall von Wirtschaftsdünger ist in Europa regional sehr ungleichmäßig verteilt. So gibt es Regionen mit einem sehr hohen Aufkommen an Wirtschaftsdünger (z.B. Niederlande, Norddeutschland, Dänemark) und Regionen, in denen vorwiegend Ackerbau betrieben wird

und kaum landwirtschaftlicher Wirtschaftsdünger anfällt (z.B. Ostdeutschland, Polen, Rumänien, Bulgarien) (siehe Abb. 2).

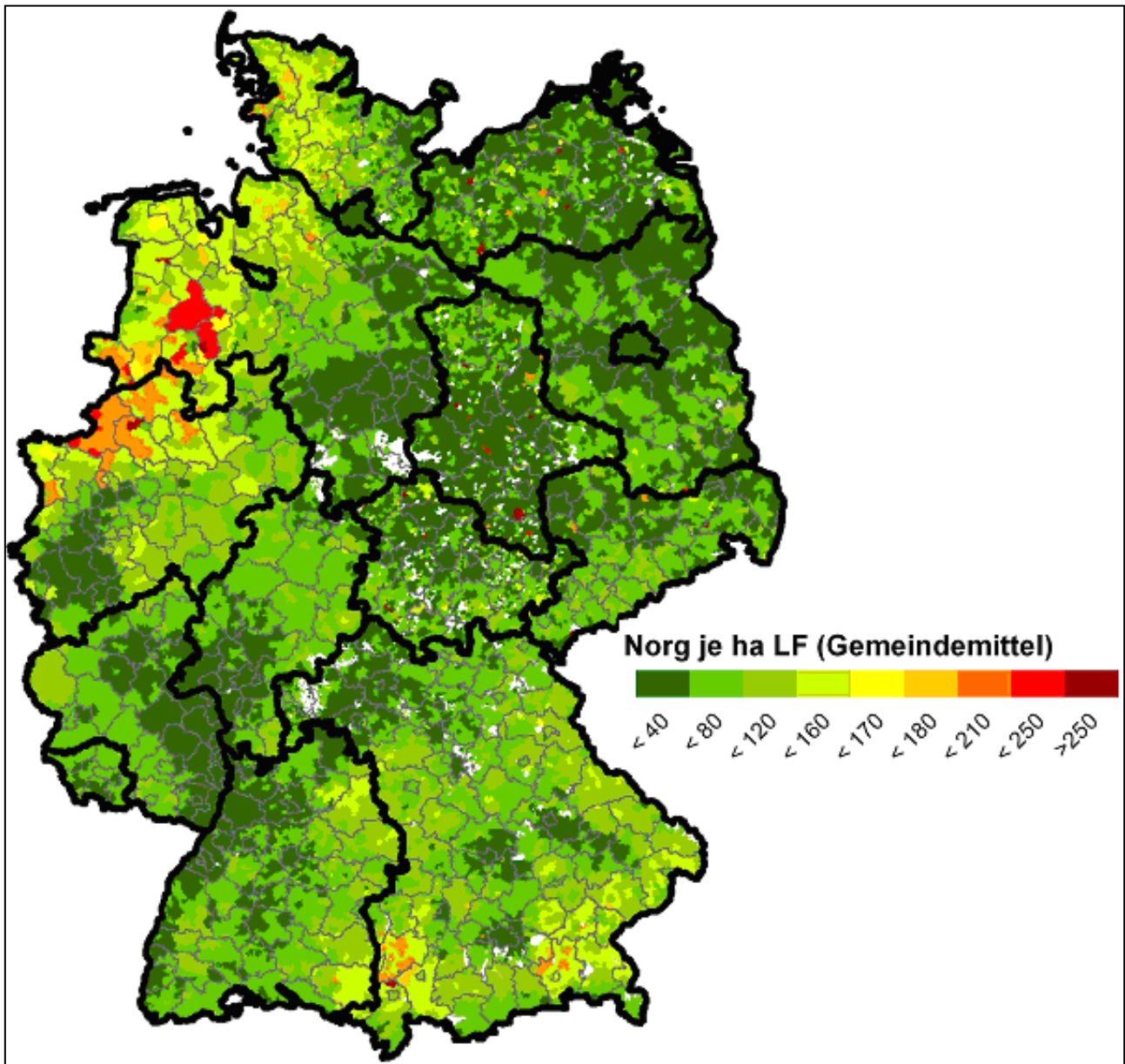
Abb. 2: Europäische Regionen mit unterschiedlichen Nutzungsschwerpunkten



Quelle: eigene Darstellung

In Deutschland kommen entsprechend der verfügbaren Daten die höchsten Viehbesatzdichten und die entsprechenden Nährstoff-Ausscheidungen in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen (BMU & BMELV, 2012), Schleswig-Holstein und Bayern vor (siehe Abb. 3). Damit sind vor allem diese Regionen prädestiniert dafür, aufbereiteten Wirtschaftsdünger abzugeben. Betriebe in Niedersachsen haben im Wirtschaftsjahr 2012/2013 bereits insgesamt 15,6 Mio. t (netto) Wirtschaftsdünger und Gärreste „an andere Betriebe in Niedersachsen oder in andern Bundesländern oder ins Ausland abgegeben“. Den niedersächsischen Überschuss-Landkreisen fehlen „rund 65.000 ha für eine umweltverträgliche N-Düngung“ (die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ist ebenfalls berücksichtigt) (Lehmann, N. 2014). Generell kommen alle Regionen, in denen weniger als 170 kg N/ha LF aus Wirtschaftsdünger anfallen als aufnehmende Regionen in Frage. Jedoch sind die ökonomisch sinnvollen Transportdistanzen unter den bisher gegebenen Umständen der Aufbereitung zu beachten, so dass nur wenige Regionen mit extrem geringem Wirtschaftsdüngeranfall bisher Wirtschaftsdünger aufnehmen.

Abb. 3: Regionales Aufkommen von N aus tierischen Ausscheidungen in kg N/ha LF im Jahr 2007



Norg: tierische N-Ausscheidungen, brutto vor Abzug von N-Verlusten, ohne Geflügelung. Weiße Flächen: Gemeindefreie Gebiete.

Quelle: Osterburg, B.; Röder, N.; Techen, A., 2012

1.3 Belastung der Ressourcen des Naturschutzes und des Schutzgutes Mensch durch einen übermäßigen Anfall an Wirtschaftsdünger

Die dargestellte Situation führt dazu, dass in Regionen mit intensiver Tierhaltung große Mengen an Wirtschaftsdünger und darin enthaltenen Nährstoffen anfallen. Diese können ackerbaulich nicht mehr sinnvoll in diesen Regionen verwendet werden bzw. ihre Ausbringung ist mit der Entstehung einer Reihe von Belastungen der Ressourcen des Naturschutzes sowie für den Menschen verbunden. Insbesondere der Austrag übermäßiger Mengen an Stickstoff und Phosphor führen zu Umweltproblemen. So ist der Eintrag von Nährstoffen in die Umwelt eine der Hauptursache der Gewässerbelastungen und des Biodiversitätsverlustes. Des Weiteren kann

die Entstehung von Treibhausgasen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern zur Klimaveränderung beitragen. Tab. 1 gibt einen Überblick über mögliche Belastungen landwirtschaftlich bedingter Nährstoffeinträge (organisch und mineralisch) auf die Naturschutzressourcen und den Menschen sowie eine Auswahl möglicher Gegenmaßnahmen.

Tab. 1: Belastungen der Schutzgüter und des Menschen sowie mögliche Gegenmaßnahmen

Ressource Naturschutz/ Mensch	Art der Belastung	Verursacher der Belastung	Auswahl mögl. Gegenmaßnahmen
Wasser	Eutrophierung	Nitrat (NO ₃ -) Ammoniak (NH ₃) Phosphor (P)	Vermeidung regionaler Nährstoffüberschüsse Reduzierung der Nährstoffverluste -Bedarfsgerechte Fütterung -Abdeckung der Lagerstätten -Einarbeitung -emissionsarme Ausbringung
	Gesundheitl. Belastung		Vermeidung regionaler Nährstoffüberschüsse Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)
	-Minderung des Blutsauerstofftransportes - Gifte der Algenblüte	Nitrat (NO ₃ -) Phosphor (P)	„Reinigung“ der Trinkwasserreservoirs Abfischen der Algen
	Vergiftung von Wasserorganismen	Nitrit (NO ₂ -)	Vermeidung regionaler Nährstoffüberschüsse Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)
Boden	Versauerung der Böden	Ammoniak (NH ₃)	Vermeidung von Nährstoffüberschüssen Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)
Biodiversität	Direkte Toxizität	Ammoniak (NH ₃)	Vermeidung von Nährstoffüberschüssen Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)
	Lebensraumverlust (z.B. durch Eutrophierung)	Nitrat (NO ₃ -) Ammoniak (NH ₃) Phosphor (P)	Vermeidung regionaler Nährstoffüberschüsse Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)
Klima	Treibhauseffekt	Distickstoffmonoxid (Lachgas) (N ₂ O) Methan (CH ₄)	Vermeidung von Nährstoffüberschüssen Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)

Ressource Naturschutz/ Mensch	Art der Belastung	Verursacher der Belastung	Auswahl mögl. Gegenmaßnahmen
			-Zusätze bei der Güllelagerung- und ausbringung
Luft	Beeinflussung der Ozonentstehung Ausgangsstoff des troposphärischen Ozons	Distickstoffmonoxid (Lachgas) (N ₂ O) Stickstoffmonoxid (NO)	Vermeidung von Nährstoffüberschüssen Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)
Mensch	Geruchsbelastungen	N-haltige Verbindungen (z.B. Ammoniak (NH ₃)) S-haltige Verbindungen (z.B. Schwefelwasserstoff) u.a.	(Vermeidung regionaler Nährstoffüberschüsse) (Reduzierung der Nährstoffverluste (s.o.)) Zusätze bei der Güllelagerung und – ausbringung
	Atemwegserkrankungen	Stickstoffmonoxid (NO)	Hygienisierung des Wirtschaftsdüngers
	Allergische Reaktionen	Ammoniak (NH ₃) Stickstoffmonoxid (NO) Pollenflug	
	Sonstige Erkrankungen	Verbreitung von Keimen mit dem Wirtschaftsdünger	

Quelle: eigene Darstellung angelehnt an De Clercq et al. 2001 zitiert in Martinez&Burton 2003

Tab. 1 zeigt, dass auch direkte Belastungen für die Menschen entstehen können. So sind bspw. „in Tierhaltungsregionen (...) die Ammoniakkonzentrationen der Umgebungsluft um den Faktor sieben bis zwanzig höher als in Ackerbauregionen (Dämmgen und Sutton, 2001 in WBA, WBD, SRU 2013). Verschiedene Untersuchungen deuten an, dass erhöhte Schadstoff-Konzentrationen in der Luft die Entstehung von Atemwegserkrankungen, bzw. die Symptomatik bestehender Erkrankungen fördern können (Umweltbundesamt o.J. S. 26). Ebenso können Reaktionen auf hohe Nitratkonzentration im Trinkwasser, allergische Reaktionen durch vermehrte Pollenproduktion und Geruchsbelästigungen auftreten (Van Grinsven, 2011). Auch der zunehmende Transportverkehr mit größer werdenden Fahrzeugen kann zu Beeinträchtigung der Lebensqualität in den betroffenen ländlichen Regionen beitragen. Zwar wird an Maßnahmen der Problemminderung gearbeitet und einige Ansätze befinden sich in der Umsetzung, wie z.B. der Zusatz von Biokohle zur Gülle, um entsprechende Geruchsminderungen zu erreichen oder die Beimischung von Schwefelsäure bei der Ausbringung von Gülle zur Reduzierung der Ammoniakemissionen (Kai, P. et al. 2008), jedoch sind diese Techniken i.d.R. mit der Entstehung entsprechender Trade-Offs verbunden. So senkt der Einsatz von Schwefelsäure zwar die Entstehung von Ammoniak bei der Gülleausbringung, jedoch werden die Lachgasemissionen und damit die Treibhausgaswirkung erhöht. Der übermäßige Einsatz von Nährstoffen ist auch mit hohen gesamtgesellschaftlichen Kosten verbunden. So werden die Kosten, die mit dem übermäßigen Einsatz von Stickstoff verbunden

sind, für die EU auf 70 bis 320 Milliarden (70 bis 320 Billion) US Dollar jährlich geschätzt (Sutton, M. et al. 2011).

Die Entstehung von Nährstoffüberschüssen und -verlusten kann – wie gezeigt – eine Vielzahl negativer Effekte auf die Ressourcen des Naturschutzes und den Menschen haben. Als Gegenmaßnahmen können Techniken zur Minderung der Verluste und Ansätze zur Vermeidung von Nährstoffüberschüssen ergriffen werden. Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Vermeidung regionaler Nährstoffüberschüsse, indem diese aus den entsprechenden Regionen aufbereitet oder unaufbereitet abtransportiert werden. Andere Ansätze zur Minderung der beschriebenen Belastungen werden im vorliegenden Bericht nicht betrachtet.

1.4 Gliederung des Berichtes

Der vorliegende Bericht stellt in Kapitel 4 die technischen Möglichkeiten der Aufbereitung von Wirtschaftsdünger vor und beleuchtet diese hinsichtlich ökonomischer Parameter sowie ihrer Vor- und Nachteile. Kapitel 5 stellt die politischen Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung im Allgemeinen und in ausgewählten europäischen Mitgliedsstaaten vor. In Kapitel 6 wird anhand von Szenarien dargestellt, welche Voraussetzungen zur Umsetzung der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Deutschland notwendig sind und wie Beispiele der Aufbereitung aussehen könnten. Kapitel 7 werden entsprechende Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen formuliert.

2 Techniken der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und ihr Einsatz in den Mitgliedsstaaten

Im folgenden Kapitel werden die technischen Möglichkeiten der Wirtschaftsdüngeraufbereitung kurz beschrieben und die aktuellen ökonomischen Grundlagen des Einsatzes der Aufbereitungstechniken erläutert. Des Weiteren werden die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Techniken mit Bezug auf das Ziel einer sinnvollen Verwertung des Wirtschaftsdüngers als Nebenproduktes der Tierhaltung bewertet. Da ausführliche Arbeiten des KTBL bzgl. der Thematik vorliegen, werden die technischen Grundlagen der Verfahren an dieser Stelle nur sehr kurz beschrieben und wesentliche Aspekte tabellarisch dargestellt. Darauf folgend wird in diesem Kapitel der Stand des Einsatzes der unterschiedlichen Aufbereitungstechniken in den EU-Mitgliedsstaaten dargestellt.

2.1 Darstellung der Aufbereitungstechniken

Die Verfahren der Aufbereitung lassen sich unterteilen in physikalische, biologische und chemische Verfahren (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdünger

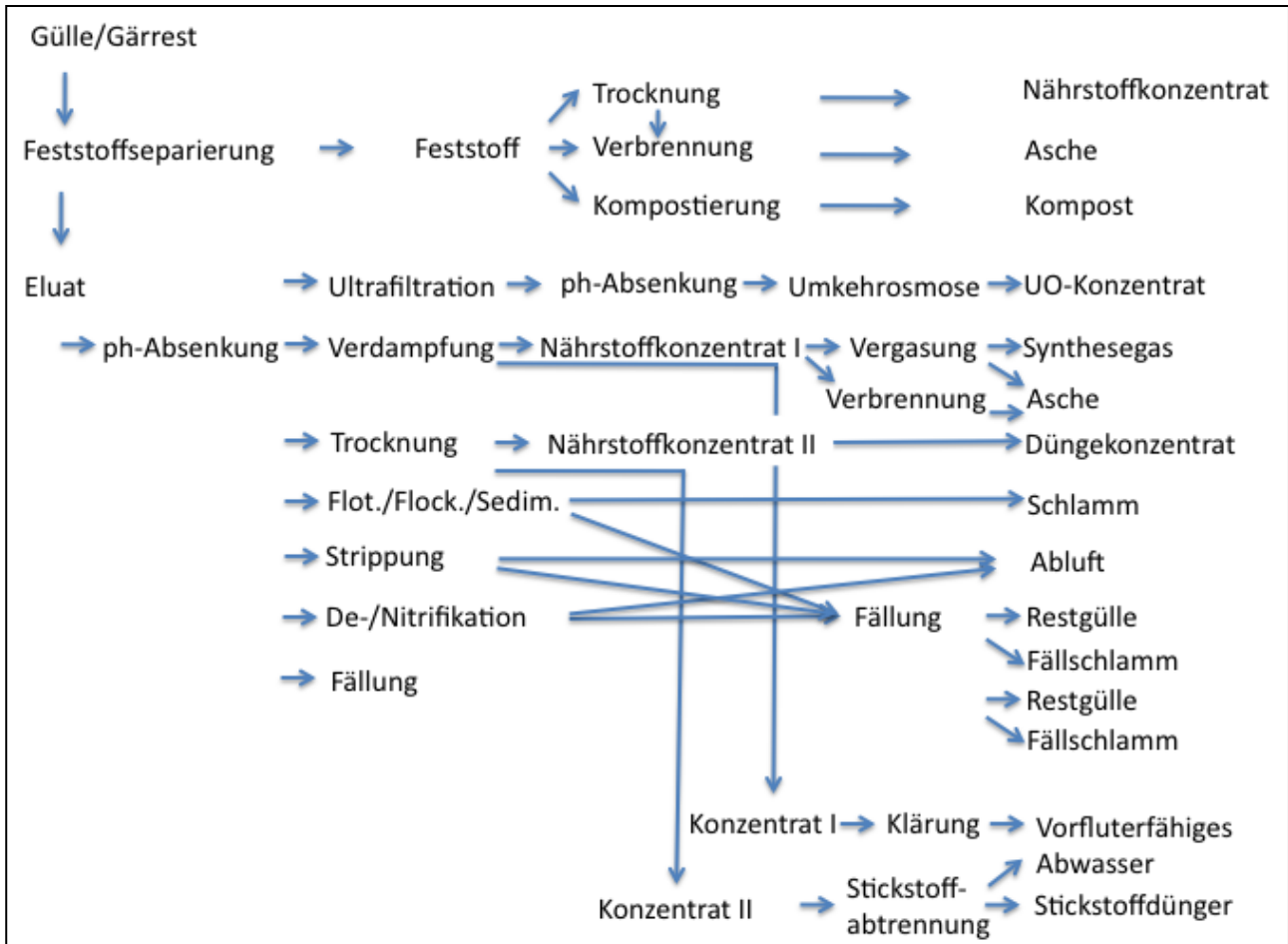
Aufbereitungsverfahren		
physikalisch	biologisch	chemisch
Separierung	Kompostierung	Fällung/MAP-Fällung
Trocknung/Verdampfung	Vergärung	Flockung
Ultrafiltration	Nitrifikation/ Denitrifikation	
Ammoniak-Stripung	Bio-Wasserfilter	
Microblasen-Flotation	P-bac Verfahren	
Evaporation		

Quelle: eigene Darstellung

Darüber hinaus lassen sich die Verfahren hinsichtlich ihres Grades der Aufbereitung unterscheiden. So werden bei Verfahren der Teilaufbereitung die Feststoffe mit einem Teil der Nährstoffe abgetrennt und entweder getrocknet oder kompostiert und die verbleibende flüssige Phase i.d.R. innerbetrieblich oder im näheren Umfeld des Wirtschaftsdüngeranfalls als Dünger genutzt. Bei Verfahren der Vollaufbereitung wird die flüssige Phase weiter behandelt. Es entsteht ein Nährstoffkonzentrat sowie Wasser mit mehr oder weniger einleitfähigem Nährstoffgehalt (KTBL 2008, S. 4). Unter einleitfähig wird die Möglichkeit der Einleitung des Wassers in Oberflächengewässer verstanden. Sollte eine Einleitung aufgrund rechtlicher Anforderung nicht möglich sein, kann das Wasser als Prozesswasser verwendet oder auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche verregnet werden. U. U. wird ein weiterer Aufbereitungsschritt (z. B. in einer Kläranlage) notwendig. In den bereits bestehenden Abwasser-Klärsystemen –

beispielsweise bei kommunalen Kläranlagen – kann Rohgülle aufgrund hoher Stoff-, Nährstoff- und Kohlenstofffrachten nicht geklärt werden, jedoch sollte die Einleitung des nährstoffreduzierten Prozesswassers technisch möglich sein. Im Folgenden werden die technischen Aspekte der unterschiedlichen Verfahren kurz vorgestellt. Dabei wird im Wesentlichen auf Arbeiten des KTBL (2008), Forbes (2006) und Foged (2010) zurückgegriffen.

Abb. 4: Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung



Quelle: eigene Darstellung nach KTBL 2008, S. 5

Nach jeder Beschreibung der Aufbereitungsverfahren wird eine vergleichende Darstellung der Kosten der Wirtschaftsdüngeraufbereitung vorgestellt. Die Kosten pro Kilogramm Nährstoff werden am Ende des Kapitels aufgeführt (siehe Tab. 18). Für die Berechnung der Aufbereitungskosten wurden folgende Ansätze zugrunde gelegt:

- Aufteilung der Herstellungskosten auf die Nutzungsdauer der Teilgewerke
- Berücksichtigung von Zinsen und sonstige Fixkosten
- Wartung und Instandhaltung
- Betreuung der Anlagen
- Zusammensetzung der variablen Kosten: Strom- und Wärmekosten, sonstige Betriebsstoffe und mengenabhängige Aufwendungen

Nicht berücksichtigt werden bei den meisten Verfahren notwendige Anpassungen und Investitionen, die für die getrennte Lagerung der entstehenden Produkte der Aufbereitung notwendig werden können, soweit diese in vorhandenen baulichen Anlagen erfolgen kann. Ebenso werden Investitionen in Ausbringungstechnik für diese Produkte, die bisher am Betrieb nicht vorhanden ist, nicht berücksichtigt. Nebeneffekte, wie höhere Nährstoffnutzungseffizienz durch die Ausbringung von organischem Dünger auf bisher ausschließlich mineralisch gedüngten Flächen und vermiedene Bodenverdichtung durch evtl. geringere Maschinengewichte aufgrund der um den Wasseranteil reduzierte Transportvolumina, werden in die Kostenberechnung der Aufbereitungsverfahren in diesem Kapitel nicht als Gutschrift mit einbezogen. Betrachtet werden somit in diesem Kapitel die Kosten des Einsatzes der Aufbereitungstechnologie ab der gelagerten Gülle/Gärrest bis zum entstandenen Endprodukt.

Anzumerken ist, dass eine betriebliche Situation berücksichtigt wird, d.h. die Kosten der Aufbereitung werden auf eine anfallende Menge an Wirtschaftsdünger umgelegt, die auf einem Beispielsbetrieb anfallen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Aufbereitungsanlagen überbetrieblich installiert werden, wodurch der Durchsatz wesentlich erhöht werden kann und die Kosten der Aufbereitung pro Mengeneinheit Ausgangssubstrat sinken.

Zum Vergleich der Produkte der Aufbereitungsverfahren wird eine Referenzsituation definiert. Für die vorliegende Betrachtung wird ein Gärrest aus einer Biogasanlage mit folgenden Kennwerten als Referenzsubstanz angenommen (Tab. 3).

Tab. 3: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt - Referenzsituation

Bezeichnung	TS (%)	Nges (kg/m ³)	NH ₄ (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Gärrest	5,0	3,8	2,7	2,5	2,5

Quelle: Angepasst nach Wendland und Lichti, 2012; LfL, 2013

Der Gärrest aus einer Biogasanlage weist einen Trockensubstanzgehalt von 5,0 % auf. Der Gesamtstickstoff beträgt 5,1 kg pro Kubikmeter Gärrest. Davon sind 3,2 kg Ammoniumstickstoff. Es wird ein Gehalt von Phosphat in Höhe von 2,3 kg/m³ Gärrest angenommen. Der Kaliumgehalt beziffert sich auf 5,5 kg/m³. Die sonstigen Nährstoffe wie Kalzium, Magnesium, Schwefel oder andere Mikronährstoffe werden nicht weiter betrachtet.

2.1.1 Aktive und passive Feststoffabtrennung (Separation)

Die Feststoffabtrennung dient dem Ziel, die feste und flüssige Phase des Gärrestes/Wirtschaftsdüngers zu trennen (Foged H. et al. 2011a, S. 19). Dabei kann die Feststoffabtrennung zum einen passiv erfolgen, indem sich bei der Lagerung im Güllebehälter verschiedene Schichten ausbilden, die durch entsprechende Entnahme getrennt werden können (feste Schwimmschicht oben, flüssige Phase unten), bzw. die flüssige Phase sich durch mechanischen Druck von der festen Phase trennt. Zum anderen kann eine Feststoffabtrennung aktiv über den Einsatz von Pressschnecke oder Dekanter/ Zentrifugen erfolgen, wobei auch Flockungsmittel zum Einsatz kommen können. Die Separierung ist bei den Aufbereitungsverfahren der erste Schritt, um die Faserstoffe zu entfernen, die in den folgenden Prozessschritten technische Probleme bereiten können.

Passive Feststoffabtrennung

Im Bereich der passiven Feststoffabtrennung werden in Deutschland vorwiegend herkömmliche Güllebehälter bzw. Absetzbecken eingesetzt. Diese können eine Abtrennung von 50% der Feststoffe und 40% des Phosphors des Ausgangsmaterials ermöglichen (Forbes, E.G.A. et al. 2006, S. 16). Des Weiteren können „Weeping Walls“ und Tunnel aus Geotextilien eingesetzt werden. Die flüssige Phase verlässt durch Öffnungen bzw. durch die Textilien die Konstruktion und wird separat aufgefangen (Forbes, E.G.A. et al. 2006, S. 17f.).

In Niedersachsen wurde die passive Feststoffabtrennung näher untersucht (Kowalewsky, 2013b). Nach einer Lagerzeit von mehreren Wochen in einem Güllebehälter wurden die aufgetrennten Phasen entnommen. Daraus ergeben sich die in Tab. 4 dargestellten Nährstoffgehalte für Schweinegülle.

Tab. 4: Nährstoffgehalte passive Feststoffabtrennung

Produkte der Aufbereitung	Masseaufteilung (%)	TM (%)	N _{ges} (kg/m ³)	NH ₄ (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Dickgülle	k.A.	k.A.	5,4	k.A.	4,0	k.A.
Dünngülle	k.A.	k.A.	2,5	k.A.	1,0	k.A.

Quelle: Kowalewsky, 2013b

Um die Feststoffe zu trennen, entstehen zusätzliche Kosten dadurch, dass ein zweiter Güllebehälter zur Lagerung der erzeugten Dünngülle benötigt wird (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Jährliche Lagerkosten für Gülle je m³ Lagerraum

Behälterausführung	Lagerkosten (€/m ³ *Jahr) bei verschiedenen Behältergrößen		
	1.500 m ³	3.000 m ³	5.000 m ³
Rundbehälter, 1 m im Boden	2,6	1,8	1,4
Rundbehälter mit Leckageerkennung	3,3	2,3	1,9
Rundbehälter abgedeckt mit Leckageerkennung	4,5	3,2	2,6

Quelle: KTBL, 2014

Der Berechnung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- 30 Jahre Nutzungsdauer der Behälter
- Zinssatz von 2,5 %
- 0,20 % Aufwendungen für Reparatur
- 0,10 % Aufwendungen für Versicherung

Erhöhte Kosten für die Anwendung der passiven Feststoffabtrennung fallen bei einem kompletten Neubau einer Anlage an, da getrennte Behälter für die Lagerung der Dick- und der Dünngülle notwendig sind. Für eine Kostenberechnung ist somit interessant, welcher zusätzliche Aufwand notwendig ist, um bei einem Neubau statt einer Grube zwei kleinere Gruben zu errichten. Dabei wird von zwei Varianten ausgegangen: benötigte Lagerkapazität

5.000 m³ bzw. benötigte Lagerkapazität 3.000 m³. Diese beiden Varianten werden unter drei verschiedenen gesetzlichen Bestimmungen betrachtet, die jeweils unterschiedliche Auflagen an die Errichtung von Güllegruben erfordern: mit und ohne Leckageerkennung bzw. mit und ohne Abdeckung.

Unter der Annahme von 9 Monaten vorgeschriebener Lagerkapazität, im Vergleich zu den in Tab. 5 dargestellten jährlichen Lagerkosten je m³ gelagerter Gülle, ergeben sich Mehrkosten von 0,3 €/m³ Gülle für die Behältergröße von 3.000 m³ im Vergleich zur Behältergröße von 5.000 m³ (vgl. Tab. 5). Sollte in der kleineren Variante statt einer Grube von 3.000 m³ zwei Gruben à 1.500 m³ gebaut werden, entstehen Kosten ohne Leckageerkennung und Abdeckung von 0,6 €/m³. Unter der Annahme, dass eine Leckageerkennung gefordert wird, belaufen sich die Mehrkosten für einen Behälter von 3.000 m³ im Vergleich zu einem Behälter von 5.000 m³ auf 0,3 €/m³ Gülle. Muss ein Behälter von 1.500 m³ statt einem Behälter von 3.000 m³ mit Leckageerkennung errichtet werden, resultieren daraus Mehrkosten von 0,8€/m³ Gülle. Wird neben der Leckageerkennung eine Abdeckung der Güllebehälter gefordert, entstehen höhere Kosten von 0,6 €/m³ Gülle für Behälter von 3.000 m³ im Vergleich zu Behältern von 5.000 m³ bzw. Mehrkosten von 1,0 €/m³ für die Behältergröße von 1.500 m³ statt einer Größe von 3.000 m³.

Aktive Feststoffabtrennung

Für die aktive Feststofftrennung werden verschiedene Siebseparatoren, Presseparatoren und zyklonische bzw. Zentrifugalseparatoren eingesetzt (Forbes, E.G.A. et al. 2006, S. 20ff.). In Deutschland wird vor allem der Einsatz von Pressschnecken und Dekantern/ Zentrifugen diskutiert (KTBL 2008). Pressschnecken sind „im Allgemeinen (...) verlässlich, wartungsarm und haltbar“. Schwankende Zusammensetzungen der Gärreste und/oder hohe Anteile an „abrasiven Stoffen“ z.B. Sand können den technischen Ablauf negativ beeinflussen (KTBL 2008, S. 8). Der Einsatz von Dekanter erfordert hingegen „eine konstante Zusammensetzung des Eintrittsmaterials“. Außerdem werden die Betriebskosten durch den „im Vergleich zu Separatoren (...) höheren Verschleiß“ negativ beeinflusst (KBTL 2008, S. 10 nach Schliebner 2005). Dekanter können jedoch höhere Abscheidungsgrade der Trockensubstanz in der flüssigen Phase erreichen (unter 3% Rest-TS-Gehalt), welche die Voraussetzung für die Anwendung weiterer Aufbereitungsschritte sind (KBTL 2008, 10). Dekanter werden in Nordamerika und Europa eingesetzt, z.B. als mobile Dekanter auf Schweinemastbetrieben in Dänemark (Forbes, E.G.A. et al. 2006, S. 31).

Durch die Feststoffabtrennung soll ein Trockenmassegehalt der festen Phase von mehr als 25% erreicht werden (Lebuf, V. 2012). Es erfolgt eine Separierung der Nährstoffe, da löslicher mineralischer Stickstoff vorwiegend in der flüssigen Phase verbleibt, während Phosphor, organisch gebundener Stickstoff und organische Bestandteile vorwiegend in der festen Phase zu finden sind. Der Einsatz der flüssigen Phase als Dünger kann aufgrund der höheren Konzentration mineralischen Stickstoffs besser an den Nährstoffbedarf der Pflanze angepasst werden. Des Weiteren können die NH₃-Emissionen während der Ausbringung der flüssigen Phase verringert werden, da die Infiltration in den Boden verbessert wird (KBTL 2008, S. 6). Durch die Abscheidung der Feststoffe reduziert sich auch das Lagervolumen für die flüssige Phase. Die feste Phase kann zur P-Düngung und Anreicherung von Böden mit organischem Material genutzt werden. Auch möglich ist die Kompostierung (siehe Kap. 2.1.4.4) oder die Trocknung (siehe Kap. 2.1.3) und Pelletierung der festen Phase. Dadurch kann das erzeugte

Material als organischer Dünger für den Gartenbau, Einstreu oder Brennstoff genutzt werden. Als Einstreu („Green Bedding“) sollten aus hygienischen Gründen jedoch nur Ausgangsmaterialien vom eigenen Betrieb oder bei vorheriger Hygienisierung genutzt werden (Lehmann, N. 2014). Bei der Nutzung als Brennmaterial sind die Vorgaben der TA Luft zu berücksichtigen (KTBL 2008, S. 9) (siehe Kap. Verbrennung).

Pressschnecken-Separator

Für die ökonomische Bewertung des Pressschnecken-Separators werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Zuführung zum Separator erfolgt direkt vom Gärbehälter der Biogasanlage. Die aus der Separation entstehende Flüssigphase wird in das Gärrestlager eingeleitet. Die Festphase wird im Gärsubstratlager (Fahrsilo) bis zur Ausbringung zwischengelagert. Zur Reduktion der dabei entstehenden Emission und zur Vermeidung der Verflüssigung und des Abfließen des Substrates durch den Eintrag von Niederschlagswasser, wird der Feststoff mit einer gebrauchten Siloplane abgedeckt. Unter diesen Annahmen entstehen keine zusätzlichen Kosten für die Lagerung der entstehenden Produkte. Ob diese Lösungsmöglichkeit umsetzbar ist, muss die Praxis zeigen. Ansonsten werden zusätzliche Kosten für die Lagerung der Produkte der Aufbereitung anfallen.
- Die Produkte der Separation sind in Tab. 6 dargestellt. Die Masseaufteilung zwischen fester und flüssiger Phase kann bei der Separation sehr unterschiedlich sein und ist bautechnisch bedingt oder kann variabel eingestellt werden. Eine Masseaufteilung von nur 10 % in der festen Phase, wie im Beispiel angenommen, lässt auf eine starke Pressung schließen.

Tab. 6: Trockensubstanz- und Nährstoffaufteilung - Pressschneckenseparator

Produkte der Aufbereitung	Masseaufteilung (%)	TM (%)	N _{ges}	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
feste Phase	10 (bis 25 %)	31	7,6 kg/m ³	2,7 kg/m ³	6,3 kg/m ³	2,5 kg/m ³
			20 %	10 %	25 %	10 %
flüssige Phase	90 (bis 75 %)	2,1	3,4 kg/m ³	2,7 kg/m ³	2,1 kg/m ³	2,5 kg/m ³
			80 %	90 %	75 %	90 %

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL, 2008

Der Investitionsbedarf für einen Pressschneckenseparator nach KTBL (2008) beläuft sich auf 50.000 €. Daraus ergibt sich folgende Kostenrechnung (siehe Tab. 7). Im Gegensatz zur verwendeten Literaturstelle (KTBL 2008) wurde aus den oben genannten Gründen angenommen, dass keine Pufferbehälter (Zwischenlager) errichtet werden müssen, sowie keine zusätzliche Investition in ein Lager für die Festphase notwendig ist. Bei einem Durchsatz von 30.000 m³/Jahr ergeben sich somit Mehrkosten nur durch die Separierung mittels Pressschneckenseparator von 0,6 €/m³ Gärrest. Das KTBL (2008) geht, bedingt durch die berücksichtigten Kosten für die Lagerbehälter und Gebäude zur Unterbringung der Technik, von zusätzlichen Kosten in Höhe von 0,4 €/m³ durch die Separierung mit der Pressschnecke aus.

Tab. 7: Kennzahlen der Kostenrechnung - Pressschneckenseparator

Posten	Umfang
Investitionssumme	50.000 €
Nutzungsdauer	12 Jahre
jährliche Abschreibung	4.167 €/Jahr
Zinsaufwand (Zinssatz 2,5 %)	625 €/Jahr
Energiebedarf	0,5 kWh/m ³
Energiepreis	0,2 €/kWh
Energiekosten	0,1 €/m ³
Wartung und Instandhaltung	0,3 €/m ³
Lagerung der Feststoffe	0,1 €/m ³
Aufbereitungskosten*	0,6 €/m ³

*bei 30.000 m³/Jahr

Quelle: KTBL, 2008

Als zusätzlichen Effekt der Separierung kann angeführt werden, dass geringere Rührkosten im Gärrestlager anfallen. Auch kann sich die Infiltration der Flüssigphase in den Boden nach der Ausbringung verbessern, wodurch die Nährstoffverluste reduziert werden können. Bei der Ausbringung der Festphase ist allerdings vor allem bei der Anwendung im Sommer mit höheren Ammoniakverlusten zu rechnen. Auch durch das Fehlen einer Schwimmschicht kann es zu erhöhten Nährstoffverlusten bei nicht abgedeckten Behältern kommen. Es konnte keine Bewertung vorgenommen werden, welcher Effekt überwiegt. Deshalb wurden diese Faktoren bei der ökonomischen Analyse nicht weiter berücksichtigt.

Ebenfalls nicht bewertet werden konnte, ob zusätzlich Arbeitszeit für das Management der Separation notwendig ist. Auch eine Abdeckung des separierten Feststoffs wurde nicht bewertet. Dies könnte zu zusätzlichen Kosten führen, wenn emissionsrechtlich diese Maßnahme gefordert wird.

Dekantier-Zentrifuge

Zur ökonomischen Bewertung der Dekantier-Zentrifuge wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Die Zuführung zum Dekanter erfolgt ebenfalls direkt vom Gärbehälter der Biogasanlage. Die aus der Dekantierung entstehende Flüssigphase wird in das Gärrestlager eingeleitet. Die Festphase wird – wie auch bei der Pressschnecke – im Gärsubstratlager (Fahrsilo) bis zur Ausbringung zwischengelagert. Unter diesen Annahmen entstehen auch hier keine zusätzlichen Kosten für Gebäude.
- Vor der Dekantierung wird kein Flockungsmittel beigefügt. Durch eine solche Maßnahme könnte die Effizienz der Separationstechnik jedoch weiter erhöht werden (Döhler, 2015)

- Die Produkte der Dekantierung sind in Tab. 8 dargestellt. Die Masseaufteilung zwischen fester und flüssiger Phase kann wie bei der Separation sehr unterschiedlich sein und ist bautechnisch bedingt oder kann variabel eingestellt werden.

Tab. 8: Trockensubstanz- und Nährstoffaufteilung – Dekantier-Zentrifuge

Produkte der Aufbereitung	Masseaufteilung (%)	TM (%)	N _{ges}	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
feste Phase	17	22	4,5 kg/m ³	3,2 kg/m ³	10,3 kg/m ³	1,5 kg/m ³
			20 %	20 %	70 %	10 %
flüssige Phase	83	3,3	3,7 kg/m ³	2,6 kg/m ³	0,9 kg/m ³	2,7 kg/m ³
			80 %	80 %	30 %	90 %

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2008)

Aus diesen Zahlen ergibt sich auch ein Effekt der Einsparung bei den Lagerkosten für die flüssige Phase. Dieser Effekt wird nur zum Teil durch höhere Kosten bei der Lagerung der festen Phase aufgebraucht, wenn bereits ein geeignetes Lager für Gärsubstrat (z. B. Siloplatte Ausführung nach entsprechenden Vorschriften) vorhanden ist.

Tab. 9: Kennzahlen der Kostenrechnung - Dekantier-Zentrifuge

Posten	Umfang
jährliche Fixkosten aus Abschreibung und Zinsaufwand	37.000 €
Wartung und Instandhaltung (30.000 m ³ /Jahr)	4.000 €
Energiebedarf	1,7 kWh/m ³
Lagerung Festphase	0,2 €/m ³

Quellen: Eigene Berechnungen nach Block (2012) und Agrotech (2010)

Aus den Kennzahlen der Tab. 9 ergeben sich Kosten für den Dekanter von 1,5 €/m³ Ausgangssubstrat bei einem Durchsatz von 30.000 m³/Jahr. Für die Dekantier-Zentrifugen stellt ein höherer Durchsatz kein Problem dar und es kann eine starke Kostenreduktion bei höherer Durchsatzmenge erreicht werden. So ergeben sich bei einem Durchsatz von 70.000 m³/Jahr Kosten pro Kubikmeter Gülle von 0,7 €/m³.

Durch den Einsatz des Dekanters kann ein sehr hoher Abscheidegrad für Phosphor erreicht werden. Dieser Abscheidegrad kann durch den Zusatz von Flockungsmitteln noch weiter erhöht werden. Wegen des hohen Abscheidegrades an Phosphor ist die Separierung mittels Dekanter vor allem für Schweinehaltende Betriebe interessant, da für diese Betriebe oft der Phosphoranfall den begrenzenden Faktor zur sinnvollen Nährstoffnutzung darstellt. Für einen einzelnen Betrieb ist eine Investition in eine Dekantierzentrifuge allerdings, aufgrund der geringen Auslastung, kaum wirtschaftlich darstellbar. Deshalb werden oft mobile Lösungen angewandt. Hier fallen aber die Kosten für Anlagen dieser Art höher aus, da Kosten für das Trägerfahrzeug, zusätzliche Arbeitskraftstunden und höhere Energiekosten entstehen.

2.1.2 Verdampfung

Bei der Verdampfung handelt es sich um ein Vollaufbereitungsverfahren. Dem separierten Feststoff oder auch der separierten Flüssigphase wird unter Unterdruck bei der Erhitzung auf ca. 80 Grad weiteres Wasser entzogen. Es entstehen Abwasser, ein nährstoffangereicherter Feststoff und ein NH_4^+ angereichertes Nährstoffkonzentrat. Durch eine mögliche Ansäuerung des Eingangssubstrates verbleibt Ammonium mit hoher Wahrscheinlichkeit im Nährstoffkonzentrat, allerdings kann Kohlensäure austreten (Lebuf, V. 2012). Eine Vakuum-Verdampfungsanlage für Feststoffe ermöglicht die Reduzierung der Masse um 70% und es können „4-fach höhere Feststoffkonzentration im Konzentrat (im Vergleich zum Zulauf)“ erreicht werden (KTBL 2008, S. 18). Damit kann der Transport- und Lageraufwand merklich reduziert werden. Das Verfahren hat jedoch einen hohen Wärmebedarf (0,35 kWh/kg separiertem Feststoff oder 0,48 kWh/kg separierter Flüssigphase). Als technisch problematisch zeigt sich, dass es beim Betrieb der Anlage zu Verstopfungen und Korrosion an den Wärmetauschern kommen kann.

Für die ökonomische Betrachtung wird als Beispiel das Verdampfersystem von MKR Metzger betrachtet. Bei diesem System wird die flüssige Phase des Gärrestes weiter verarbeitet. Dazu ist die vorherige Separierung mittels Dekanter notwendig. Die technische Ausführung beschreibt der Hersteller MKR Metzger unter dem Namen Verdampfersystem RT600 ASL. Tab. 10 stellt die Nährstoff- und Massenaufteilung der Produkte der Eindampfung dar.

Das System von MKR Metzger ist als Wärmenutzungskonzept für eine Biogasanlage ausgelegt. So kann der Betreiber der Biogasanlage den Kraftwärme-Kopplungs-Bonus beziehen und die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage erhöhte sich. Durch diesen Effekt konnte kurzfristig für die verbrauchte Wärme ein negativer Preis, also ein Erlös angesetzt werden. Langfristig ist aber ein Erlös aus dem Wärmeverbrauch nicht möglich, da für die bestehenden Anlagen dieser Bonus nach Auslaufen des EEG nicht mehr zur Verfügung steht. Im vorliegenden Fall wird ein Wert von 0 €/kWh Wärme angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass eine alternative Nutzung der vorhandenen Wärme nicht möglich ist. Auch hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Annahme nur kurzfristige gelten kann, da neuere EEG-Novellen ein entsprechendes Wärmekonzept der Anlagen vorschreiben. Die weiteren Kennzahlen der Eindampfung sind in Tab. 11 dargestellt.

Der Investitionsbedarf für die Aufbereitung mittels Verdampfung beträgt 408.000 €. Die Nutzungsdauer der Anlage wird auf 15 Jahre beziffert. Bei einem Zinsansatz von 2,5 %, fallen auf die halbe Investitionssumme 5.100 € jährliche Kosten für die Zinsen an. Die Berechnung der weiteren Kosten ist in Tab. 11 dargestellt. In der Summe ergeben sich unter den gegebenen Annahmen Kosten für das Aufbereitungsverfahren von 5,7 €/m³ Gärrest. Bei einem Wärmeverbrauch von 485 kWh pro m³ Gärrest (Tab. 11) erhöhen sich die Kosten um 4,8 € auf 10,5 €, wenn für die Wärme Kosten von 1 Ct/kWh angesetzt werden. Das KTBL (2008) beziffert die Kosten des Aufbereitungsverfahrens ohne Erlöse aus der Kraft-Wärme-Kopplung, Substitutionswert für Düngemittel und Ausbringkosten mit 10,05 €/m³ unter Berücksichtigung eines Wärmepreises von 1 Ct/kWh.

Tab. 10: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt – Verdampfung

Produkte der Aufbereitung	Masseaufteilung (%)	TM (%)	N _{ges}	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O
feste Phase (Produkt des Dekantereinsatzes)	17	22	4,5 kg/m ³	3,2 kg/m ³	10,3 kg/m ³	1,5 kg/m ³
			20 %	20 %	70 %	10 %
Konzentrat	27	12	3,5 kg/m ³	0 kg/m ³	2,8 kg/m ³	8,3 kg/m ³
			25 %	0 %	30 %	90 %
Destillat	53	>0,1	>0,1 kg/m ³	>0,1 kg/m ³	>0,1 kg/m ³	>0,1 kg/m ³
			>1 %	>1 %	>1 %	>1 %
Ammoniumsulfat-Lösung	3	7	70 kg/m ³	70 kg/m ³	0 kg/m ³	0 kg/m ³
			55 %	80 %	0 %	0 %

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2008)

Für die Einleitung des Destillats in einen Vorfluter ist eine weitere Aufbereitung nötig, da die geforderten Nährstoffwerte für die Einleitung nicht erreicht werden. Möglich wären die Nutzung als Prozesswasser oder die Bewässerung bzw. Verregnung auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche. Auch die Einleitung in eine Kläranlage wäre denkbar.

Tab. 11: Kennzahlen der Kostenrechnung - Verdampfung

Posten	Kosten/Erlöse pro Einheit	Kosten/Erlöse pro m ³ Ausgangssubstrat	Erläuterung
Vorgeschaltet: Separation		0,6 €/m ³	Verarbeiteter Gärrest: 10.880 m ³ /Jahr
Fixkosten	20.070 €/Jahr	1,9 €/m ³	
Wartung und Instandhaltung	12.230 €/Jahr	1,1 €/m ³	
eingesetzte Energie elektrisch	0,2 €/kWh	4,0 €/m ³	Energiebedarf: 20 kWh/m ³ Gärrest
eingesetzte Energie thermisch	0,0 €/MWh	0,0 €/m ³	Wärmebedarf: 5.280 MWh/Jahr
eingesetzte Schwefelsäure	0,2 €/kg	1,1 €/m ³	Schwefelsäurebedarf: 5,6 kg/m ³
eingesetzte Arbeit	15 €/h	0,3 €/m ³	Arbeitszeitbedarf: 0,5 h/Tag
verkaufte Ammonium-Sulfatlösung 7%	- 70 €/t	- 3,2 €/m ³	Anfall an Ammonium-Sulfatlösung: 500 m ³ /Jahr
Aufbereitungskosten		5,7 €/m ³	

Quelle: eigene Berechnung, abgeändert nach MKR (2014)

Neben der Einsparung der Lagerkosten für den Gärrest, können bei diesem System zusätzlich Ausbringkosten in der Menge des anfallenden Destillats eingespart werden. Dieser Effekt ist in der in diesem Kapitel vorgestellten ökonomischen Betrachtung nicht berücksichtigt. Neben Feststoffen, Konzentrat und Destillat fällt auch eine Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL) an. Diese kann als Düngemittel zu einem Preis von 1,0 €/kg N verkauft werden. Der Verkauf ist in der

Berechnung schon berücksichtigt, da der Anfall des Produktes direkt dem Aufbereitungsverfahren zuzurechnen ist.

2.1.3 Membrantechnik (Ultra-Filtration - Umkehrosmose)

Unter dem Begriff der Membrantechnik werden verschiedene Filtrationsverfahren mit abnehmender Porengröße von der Mikrofiltration, über die Ultra- und Nanofiltration bis zur Umkehrosmose zusammengefasst (KTBL 2008, S. 15ff.). Es handelt sich um ein physikalisch-mechanisches Trennprinzip, für welches Drücke zwischen 1 und 10 bar notwendig sind. Der maximale Trockensubstanz-Gehalt des Eingangssubstrates darf einen Wert von 3% nicht übersteigen. Das Verfahren braucht keine (KTBL 2008) bzw. die Umkehrosmose eine geringe (35-40°C) (Forbes, E.G.A. 2006, S. 32) Wärmezufuhr und unterscheidet sich damit von anderen Aufbereitungsverfahren, die häufig einen hohen Wärmebedarf haben. Durch die Membrantechnik teilt sich das Eingangsmaterial in ein Permeat (weitgehend frei von Inhaltsstoffen) und ein Konzentrat (enthält Partikel, Mineralien, Salze) auf (Schulze 2006 in KTBL 2008, S. 16). Durch den Einsatz der Umkehrosmose wird dann einleitfähiges Wasser und ein Nährstoffkonzentrat erzeugt (Forbes, E.G.A. 2006, S. 32; KTBL 2008, S. 17). Probleme beim Einsatz der Membrantechnik entstehen durch das „Dichtsetzen der Poren durch Salzablagerungen (Scaling)“ und den „organischen Bewuchs auf den Membranen (Fouling)“, was eine „regelmäßige Regeneration der Membranen notwendig“ macht (KTBL 2008, S. 16).

Die Kennzahlen der Produkte der Ultrafiltration – Umkehrosmose (kurz: Ultrafiltration) sind in Tab. 12 dargestellt. Auch hier ist die Vorbehandlung des Gärrestes mit einem Dekanter notwendig, um die Feststoffe weitgehend abzutrennen. Die Kosten für diesen Verfahrensschritt sind in der Kostenberechnung bereits berücksichtigt. Vor der Dekantierung wird dem Gärrest ein Flockungsmittel zugesetzt, um den Feststoffgehalt weiter zu reduzieren. Dieser Effekt kann durch den anaeroben Abbau im Biogasprozess unterstützt werden. In diesem Beispiel wird durch die Behandlung 35 % der Masse des Ausgangsmaterials als einleitfähiges Wasser abgetrennt.

Tab. 12: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt – Ultrafiltration

Produkte der Aufbereitung	Masseaufteilung (%)	TM (%)	N _{ges}	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O
feste Phase (Produkt des Dekantereinsatzes)	14	26	5,4 kg/m ³	3,9 kg/m ³	12,5 kg/m ³	1,8 kg/m ³
			20 %	20 %	70 %	10 %
Filtrat Ultrafiltration	17	1,0	2,2 kg/m ³	n.b.	0 kg/m ³	2,2 kg/m ³
			10 %	n.b.	0 %	15 %
Konzentrat UF+UO	34	6,5	7,8 kg/m ³	n.b.	2,2 kg/m ³	5,5 kg/m ³
			70 %	n.b.	30 %	75 %
Permeat Umkehrosmose	35	0	0 kg/m ³	0 kg/m ³	0 kg/m ³	0 kg/m ³
			0 %	0 %	0 %	0 %

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2008)

Für die ökonomische Bewertung wurden die in Tab. 13 und Tab. 14 aufgeführten Daten verwendet.

Tab. 13: Investitionsbedarf - Ultrafiltration

Posten	Investitionsbedarf/Einheit
Pufferbehälter Gärreste Bau	37.000 €
Pufferbehälter Gärreste Technik	7.819 €
Anlagentechnik (ohne Dekanter)	545.000 €
Anlagenhalle	29.700 €
Lager Konzentrat	204.000 €

Quelle: eigene Berechnung, geändert nach KTBL (2008)

Ultrafiltrationsanlagen können hohe Durchsätze bewältigen. Für die Kalkulation wurden 30.000 m³ angenommen. Durch eine weitere Auslastung der installierten Technik kann möglicherweise eine weitere Kostensenkung erreicht werden. Ein Teil der Anlagentechnik wird 20 Jahre genutzt, woraus sich jährliche Abschreibungen von 13.535 € ergeben (Investitionssumme: 270.700 €), ein weiterer Teil der Anlagen wird 12 Jahre genutzt, woraus Abschreibungen von 46.068 € anfallen (Investitionssumme: 552.819 €). Bei einem Zinsansatz von 2,5 % auf die halben Investitionskosten ergeben sich jährliche Zinsaufwendungen von 10.293 €. Die Summe der Fixkosten beläuft sich somit auf 69.896 €. Bei einem jährlichen Durchsatz von 30.000 m³ können die Fixkosten auf 2,3 €/m³ beziffert werden.

Tab. 14: Kennzahlen der Kostenrechnung - Ultrafiltration

Posten	Kosten pro Einheit	Kosten pro m ³ Ausgangssubstrat	Erläuterung
Fixkosten	69.896 €/Jahr	2,3 €/m ³	
Wartung und Instandhaltung		1,7 €/m ³	v.a. Membranersatz
eingesetzte Energie elektrisch	66.900 €/Jahr	2,2 €/m ³	
Betriebsstoffe	28.516 €/Jahr	1,0 €/m ³	
eingesetzte Arbeitszeit	30 €/h	0,5 €/m ³	Arbeitszeitbedarf: 0,5 h/Tag
Lagerung feste Phase		0,2 €/m ³	
Aufbereitungskosten		7,9 €/m ³	

Quelle: eigene Berechnung, geändert nach KTBL (2008)

In der Summe ergeben sich Gesamtkosten von 7,9 €/m³ Ausgangsmaterial. Für diese Anlage sind die hohen Abschreibungen, die Wartungskosten, vorwiegend für Reinigung der Membrane und der Verbrauch an elektrischer Energie für die Pumpen der größte Posten. Die Arbeitszeit könnte bei ausgereiften Anlagen weit unter dem kalkulierten Niveau liegen (Verkooyen, 2014). Laut KTBL (2008) belaufen sich die Kosten für das Verfahren auf 8,0 €/m³. Durch den Einsatz von Ultrafiltrationsanlagen neuerer Bauart können leicht höheren Kosten (8-10 €/m³ Ausgangsmaterial) und höhere Abscheidungsgrade an Vorfluter-fähigem Wasser (bis zu 60 %) erreicht werden (Döhler, 2013).

Für die Ausbringung des Konzentrates wäre eine entsprechende Technik notwendig, da die bestehende Gülletechnik die geringen Gesamtmengen mit einer hohen Nährstoffkonzentration nicht in der ausreichenden Genauigkeit ausbringen kann. Deshalb wird in der Praxis am

aufnehmenden Betrieb eine Mischung des Konzentrates mit nicht aufbereiteten Wirtschaftsdünger vorgenommen, und dann auf die landwirtschaftliche Nutzfläche ausgebracht.

In einer Praxisanlage in den Niederlanden wird die beschriebene Technik bereits verwendet (Verkooyen 2014). Die Kosten für die Aufbereitung des Wirtschaftsdüngers werden hier auf 15 €/m³ Gülle beziffert, die von den Mastbetrieben für die Entsorgung ihres Wirtschaftsdüngers zu erbringen sind. Dabei sind jedoch Kosten für Transport und Ausbringung schon eingerechnet.

2.1.4 Weitere Aufbereitungsverfahren

2.1.4.1 Trocknung

Zur Trocknung können verschiedene Technologien wie Trommel-, Band- und Schubwendrockner eingesetzt werden. Es entstehen getrocknete Feststoffe, die in einem weiteren Schritt häufig pelletiert werden. Diese können als Phosphat- und Kaliumdünger verwendet werden. Aus den getrockneten Feststoffen treten nur noch geringe Stickstoffverluste aus. Sie können gelagert werden und erweisen sich als transportwürdige Dünger bzw. Brennstoffe für die thermische Verwertungen. Die bei der Trocknung ebenfalls entstehende Abluft enthält jedoch Stickstoff, was eine Abluftbehandlung zur Verhinderung von Ammoniakemissionen notwendig machen kann. Auch entstehende Geruchsstoffe können durch eine Abluftreinigung vermindert werden (KTBL 2008; Foged, H.L. 2010).

2.1.4.2 Strippung

Beim Strippen werden Gase (Luft, Wasserdampf, Rauchgas, etc.) durch eine Flüssigkeit geleitet und dadurch Inhaltsstoffe „aus der Flüssigkeit entfernt und in die Gasphase überführt“ (KTBL 2008, S. 21). In einem weiteren Schritt entsteht aus dem gasförmigen Ammoniak i.d.R. Ammoniumsulfat und Ammoniakwasser. Diese können als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Allerdings ist der Energieaufwand für die Erreichung der für das Verfahren notwendigen Temperaturen hoch (KTBL 2008) und es handelt sich um eine sehr komplexe Technologie (Foged, H.L. 2010). Die technische Umsetzbarkeit wird durch Probleme mit Ablagerungen (organisch, Carbonate, Struvite) erschwert (Fuchs, 2013).

Für die ökonomische Betrachtung des Aufbereitungsverfahrens wurden die Aufbereitungsprodukte wie in Tab. 15 dargestellt angesetzt. Das beschriebene Verfahren wird unter dem Markennamen ANA-Strip geführt.

Tab. 15: Trockensubstanz- und Nährstoffaufteilung – Strippung

Produkte der Aufbereitung	Masseaufteilung (%)	TM (%)	N _{ges}	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O
feste Phase (Produkt des Dekantereinsatzes)	14	26	5,4 kg/m ³	3,9 kg/m ³	12,5 kg/m ³	1,8 kg/m ³
			20 %	20 %	70 %	10 %
P-K-Schlamm	12	25	6,3 kg/m ³	1,1 kg/m ³	6,3 kg/m ³	17,1 kg/m ³
			20 %	5 %	30 %	85 %
Kalk	1	80	0 kg/m ³	0 kg/m ³	2,5 kg/m ³	5,0 kg/m ³
			0 %	0 %	1 %	2 %
Ammoniumsulfat-Lösung (38%)	2	38	96,7 kg/m ³	96,7 kg/m ³	0 kg/m ³	0 kg/m ³
			58 %	75 %	0 %	0 %
Abwasser	71	0,10	0,1 kg/m ³	0 kg/m ³	0 kg/m ³	0,1 kg/m ³
			2 %	0 %	0 %	2 %

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2008)

Auch bei der Strippung ist vorher eine Trennung der festen und flüssigen Phase des Gärrests notwendig. Dazu wird ein Dekanter verwendet, um eine möglichst hohe Abscheidung der Feststoffe zu erreichen. Bei diesem Prozess werden 70 % der Masse als Wasser abgetrennt. Die Nährstoffgehalte des Abwassers reichen aber nicht für die Einleitung in ein Oberflächengewässer aus, eine weitere Behandlung ist notwendig.

Bei der Errichtung der Technik fallen Kosten für Gebäude an (siehe Tab. 16), die für die Unterbringung der technischen Anlagen notwendig sind, um einen langfristigen und dauerhaften Betrieb der Aufbereitungsanlage zu ermöglichen. Für die Berechnung der Aufbereitungskosten wurde auch hier die Kalkulation nach KTBL (2008) den Anforderungen dieser Arbeit angepasst. Daraus ergeben sich die in Tab. 17 dargestellten Kennzahlen. Das Verfahren zeichnet sich durch einen hohen Energieverbrauch aus. Bei der Berechnung der Kosten wurde für die thermische Energie ein Preis von 0 Cent angesetzt. Genau wie im Fall der Verdampfung müsste dieser Wert angepasst werden, wenn sich andere Nutzungsoptionen für die Wärme ergeben.

Tab. 16: Investitionsbedarf - Strippung

Posten	Investitionsbedarf/Einheit
Pufferbehälter Gärreste - Bau	37.000 €
Pufferbehälter Gärreste - Technik	7.819 €
Anlagentechnik	710.000 €
Anlagentechnik P-Fällung (ohne Dekanter)	132.000 €
Anlagenhalle	29.700 €
Lager Ammoniumsulfat-Lösung	23.058 €

Quelle: eigene Darstellung, geändert nach KTBL (2008)

Die Fixkosten für die Anlage errechnen sich aus baulichen Anlagen mit 20 Jahren Nutzungsdauer und technischen Einrichtungen mit einer angenommenen Nutzungsdauer von

12 Jahren. Es ergeben sich jährliche Abschreibungen von 4.488 € für die baulichen Anlagen und 70.818 € für die technische Einrichtung. Bei einem Zinsansatz von 2,5 % bezogen auf die Hälfte der Investitionssumme, ergibt dies einen jährlichen Zinsaufwand von 11.743 €. In der Summe ergeben sich jährliche Fixkosten in Höhe von 87.049 €. Die Kosten des gesamten Prozesses je Kubikmeter Gärrest (Ausgangsmaterial) belaufen sich bei dieser Methode auf 5,0 €/m³ für einen jährlichen Durchsatz von 30.000 m³. Durch die Abscheidung von Wasser ergeben sich auch hier Einsparung für die Lagerung und Ausbringung, die in der Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Die Ansätze für den Verkauf der Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL 38 %) wurden berücksichtigt, da diese dem Verfahren direkt zuzurechnen sind.

Tab. 17: Kennzahlen der Kostenrechnung - Strippung

Posten	Kosten pro Einheit	Kosten pro m ³ Ausgangssubstrat	Erläuterung
Fixkosten	62.750 €/Jahr	2,1 €/m ³	
Wartung und Instandhaltung	24.300 €/Jahr	0,8 €/m ³	
eingesetzte Energie elektrisch	36.600 €/Jahr	1,2 €/m ³	
eingesetzte Energie thermisch	0,0 €/MWh		Wärmebedarf: 1.840 MWh Jahr
eingesetzte Betriebsstoffe	19.733 €/Jahr	0,7 €/m ³	
eingesetzte Arbeitszeit	15,0 €/h	0,3 €/m ³	Arbeitszeitbedarf: 0,5 h/Tag
Aufbereitungskosten		5,0 €/m ³	

Quelle: eigene Darstellung, geändert nach KTBL (2008)

Die Anwendung der Technik erzeugt Abwasser mit niedriger Nährstoffkonzentration. Dieses Abwasser kann aber nicht in die Vorfluter eingeleitet werden. Es muss weiter behandelt werden. Deshalb ist das Verfahren nur in Kombination mit anderen Verfahren sinnvoll.

2.1.4.3 Vergärung

Die anaerobe Vergärung wird in erster Linie eingesetzt, um Biogas als Energieträger zu erzeugen. Die Biogastechnologie wird jedoch von einigen Autoren als Tür-Öffner bezeichnet, da viele Aufbereitungstechnologien der Biogasproduktion vor- oder nachgelagert sind (Foged, H. et al. 2011a, S. 40). Häufig wird eine Aufbereitung in einer Biogasanlage den anderen Verfahren vorgeschaltet. Dies verbessert die Eigenschaften des Wirtschaftsdüngers und erleichtert die technische und organisatorische Umsetzbarkeit der Aufbereitung. Als vorteilhaft wird auch die mögliche Nutzung der Abwärme des BHKWs im Aufbereitungsprozess angesehen. Diese Aufbereitungstechnik wird nicht weiter betrachtet, da diese Technik alleine das regionale Nährstoffproblem nicht lösen kann.

2.1.4.4 Kompostierung

Bei der Kompostierung handelt es sich um ein Verfahren, welches der Separierung nachgeschaltet werden kann. Die Kompostierung ist ein Umsetzungsprozess der unter Zuführung von Sauerstoff abläuft. Durch Bakterien wird das organische Material in CO₂, Wasser und verbleibenden Feststoff (Kompost) abgebaut. Das C-N-Verhältnis im Kompost verschiebt sich auf die Seite des Stickstoffs. Die Kompostierung dient „der Stabilisierung organischer

Komponenten, der Abtötung von pathogenen Keimen und Unkrautsamen sowie der Elimination von geruchsintensiven Verbindungen“ (KBTL 2008, S. 10). Des Weiteren wird durch die Kompostierung eine Masse- und Volumenreduktion erreicht (Lebuf, V. 2012). Im Umsetzungsprozess kommt es zu Stickstoffverlusten, die je nach Ausgangsmaterial und Verfahren zwischen 5 % und 70 % liegen können (Raupp und Oltmanns, 2006). Als Vorteile der Kompostierung werden Geruchsfreiheit und Hygienisierung genannt (Steffen et al, 1995). Für eine Aufbereitung nach dieser Methode fallen nach Pitschke et al. (2013) Kosten für den Prozess der Kompostierung zwischen 0,50 und 1,5 €/Tonne an.

2.1.4.5 Flockung

Eine chemische Aufbereitung, wie die Flockung, kann die Trennung von Nährstoffen aber auch die Trennung von Feststoffen fördern (Forbes E.G.A. 2006, S. 35). Hierfür können Flockungsmittel und Koagulation eingesetzt werden. Diese Techniken spielen vor allem in Kläranlagen eine Rolle. Die Flockung wird häufig mit mechanischen Techniken der Separierung kombiniert (Foged, H.L. 2010). Flockungsmittel werden eingesetzt, um die Anlagerung von Partikel zu erhöhen, wodurch die Partikel an Größe zunehmen und sich teils auch andere physikalische Eigenschaften der Partikel ändern. Dadurch können diese Partikel leichter abgetrennt werden. Es können jedoch auch Partikel mit elektrostatischer Aufladung entstehen, die die Aggregation verhindern und wiederum den Einsatz von Fällungsmitteln notwendig machen, um die Flockung zu ermöglichen (Forbes E.G.A. 2006, S. 36). Die Flockung ermöglicht u.a. eine Reduzierung des P-Gehaltes in Gülle/Gärrest und eine Abtrennung der Nährstoffe, die dann auch entsprechend transportwürdig sind (Foged, H.L. 2010).

Als Flockungsmittel werden häufig Polymere auf Erdölbasis eingesetzt, deren Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen gemäß der EU Gesetzgebung verboten ist. Außerdem werden diese Polymere zu Monomeren abgebaut, die kanzerogene Wirkungen haben können (Foged, H.L. 2010).

2.1.4.6 Fällung

Zur Fällung werden i.d.R. Metallsalze oder Alaune wie Aluminiumsulfat, Eisensulfat, Eisenchlorid oder Calciumcarbonat eingesetzt (Forbes E.G.A. 2006, S. 35). Durch den Einsatz von Fällungsmitteln kann z.B. die Ausfällung der Feststoffe in Absetzbecken von 58% auf 72% erhöht werden (Worley 2005 in Forbes, E.G.A. 2006, S. 36). Des Weiteren kann durch Zugabe von Magnesiumchlorid Phosphat als Magnesium-Ammonium-Phosphat gefällt werden (MAP-Fällung) und als Düngemittel aufbereitet werden (Stumpf, D. 2007). Bei der Struvitfällung reagiert P, N und Magnesium zu Magnesium-Ammonium-Phosphat (Struvit) ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Dieses kann „in der Landwirtschaft direkt und hochwertig als langsam nährstofffreisetzendes Düngemittel“ eingesetzt werden (Internet (2014a)). Struvit kann als stabile, trockene Verbindung transportiert werden (Foged, H.L. 2010, S. 78).

2.1.4.7 Verbrennung

Zur Verbrennung eignen sich die durch Abtrennung erhaltenen Feststoffe oder andere trockene Wirtschaftsdünger. Die Eingangsstoffe sollten einen Trockenmassegehalt von 85-95% haben (Lebuf, V. 2012). Zurück bleibt eine phosphor-reiche Asche, die als Dünger oder in der Industrie Verwendung finden kann. Als weiteres Produkt aus der Verbrennung entsteht Warmwasser. Diese kann zu Heizzwecken oder Energiegewinnung genutzt werden. Da die

Festphase von Wirtschaftsdünger/Gärresten als Abfall eingestuft wird (EU Waste Incineration Directive 2000/76/EF), sind für entsprechende Verbrennungsanlagen Auflagen für die Abgase einzuhalten, wodurch kleine Anlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben nicht rentabel zu führen sind (Foged, H.L. 2010).

In Bezug auf den Nährstoff Stickstoff kann die Verbrennung nicht als Recycling-Methode angesehen werden. Der im Wirtschaftsdünger enthaltene Stickstoff entweicht bei der Verbrennung in die Luft und steht somit nicht mehr für die Ausbringung als Düngemittel in der Landwirtschaft zur Verfügung.

2.1.4.8 Nitrifikation/Denitrifikation

Im Prozess der Nitrifikation/Denitrifikation wird der im Wirtschaftsdünger gebundene Stickstoff in freien Stickstoff N und N₂ umgewandelt. Dies erfolgt in zwei Schritten. Zuerst wird Ammoniak zu Nitrat oxidiert bevor Nitrat zu Stickstoff-Gas reduziert wird. An beiden Umwandlungsschritten sind Bakterien beteiligt. Im ersten Verfahrensschritt ist Sauerstoff notwendig, während im zweiten Verfahrensschritt der Sauerstoffgehalt nahe 0 sein muss (Foged, H.L. 2010). Das entstehende Stickstoff-Gas wird in die Luft entlassen, so dass eine Wiederverwendung als Dünger in der Landwirtschaft nicht möglich ist. Das Verfahren ist daher nicht zum Nährstoffrecycling einsetzbar und wird hier nicht weiter betrachtet. Eingesetzt wird das Verfahren in erster Linie in Kläranlagen.

2.1.5 Neue Entwicklungen

Bio-Wasserfilter

Die Neu-Entwicklung der Bio-Wasserfilter ist in ihrer Funktionsweise den Constructed Wetlands (Bio Reactor Water Treatment System) ähnlich. Abwässer oder Wirtschaftsdünger werden mit Hilfe der Separation vorbehandelt und in die feste und flüssige Phase getrennt. In einem zweiten Schritt werden die Feststoffe sedimentiert und die Nährstoffe N, P und K werden abgetrennt. In einem dritten Schritt wird die verbleibende flüssige Phase in Constructed Wetlands (Subsurface Biofilter) eingeleitet. Hier werden die Nährstoffe mikrobiell abgebaut (Nitrifikation/Denitrifikation) und teilweise über den Pflanzenbewuchs der Subsurface Biofilter aufgenommen (Freinecker, 2013).

Elektrochemische MAP-Fällung

Diese vom Fraunhofer-Institut entwickelte Technik kann zur Rückgewinnung von Stickstoff und Phosphor genutzt werden. Voraussetzung für die Technik ist die anaerobe Vorbehandlung. In einem elektrochemischen Prozess werden N und P als MAP (Struvit, Magnesiumammoniumphosphat) ausgefällt. Hierbei sind keine Zusätze von Salzen oder Laugen zum Ausgangsmaterial notwendig. Das entstehende Produkt kann als Pflanzendünger vermarktet werden. Derzeit werden in einer mobilen Demonstrationsanlage weitere Versuche durchgeführt (Fraunhofer, 2014).

P-bac Verfahren

Das P-bac Verfahren dient der Rückgewinnung von Phosphat und wird bisher in der Behandlung von Klärschlämmen eingesetzt. Mikroorganismen setzen dabei die Phosphate frei. Der Prozess wird in zwei Schritte unterteilt. In einem ersten Schritt wird durch die mikrobielle

Bildung von Schwefelsäure der Phosphor und auch die enthaltenen Schwermetalle ausgelöst. Im zweiten Schritt werden Phosphor und Schwermetalle biologisch getrennt. Der Phosphor wird von den Mikroorganismen aufgenommen und die Schwermetalle werden ausgefällt. So kann der Phosphor im Ausgangsmaterial größtenteils zurückgewonnen werden. (INOCRE, 2014). Vorteil ist, dass es zu keiner Konzentration von Schwermetallen kommt.

Microblasen-Flotation

Die Microblasen-Flotation ist eine Technik zur Abtrennung von Feststoffen aus flüssigen Phasen. Durch das Einblasen von Luft in Biogas, Gülle oder Gärsubstrat wird der natürlich stattfindende Prozess des Absinkens oder Aufschwimmens der Feststoffe beschleunigt. Diese Technik könnte vor allem in der Vor-Abscheidung für anschließende Ultrafiltrationsanlagen Verwendung finden (Döhler, 2015).

2.2 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen bzgl. der Techniken der Wirtschaftsdüngerbereitung

2.2.1 Zusammenfassender Überblick über die Eigenschaften der Aufbereitungstechniken

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Aufbereitungstechniken anhand der Kosten, der Wasserabscheidungsgrade, der technischen Reife und anderer Kriterien einander gegenübergestellt. In Tab. 19 werden die Verfahren zur Aufbereitung, hinsichtlich der Kosten pro m³ Ausgangsmaterial und Nährstoffgehalte der Produkte, verglichen.

Zur Berechnung der Kosten je Nährstoffeinheit müssen die Kosten je Kubikmeter Ausgangsmaterial auf die Kosten je Kubikmeter Produkt berechnet werden und dann durch den Nährstoffgehalt geteilt werden. Für die Separationsverfahren ergibt sich bei der Stickstoffabscheidung ein Vorteil der Pressschnecke gegen über dem Dekanter, vor allem auf Grund der niedrigeren Aufbereitungskosten pro m³ Ausgangsmaterial. Für Phosphor sind die Kosten für die beiden Separationsverfahren ähnlich, mit leicht günstigeren Werten für das Verfahren der Aufbereitung mit Dekanter, da dieser höhere Phosphorgehalte im Feststoff erreicht. So ist vor allem für Betriebe, die Phosphor exportieren, die Dekanterlösung vorteilhafter. Durch die Kombination des Dekanters mit Flockungsmitteln könnten noch günstigere Werte erreicht werden (Döhler, 2015). Bei der Vollaufbereitung ergeben sich günstige Werte für Stickstoff, als auch für Phosphorabscheidung bei der Ultrafiltration.

Tab. 18: Aufbereitungskosten je Nährstoffeinheit

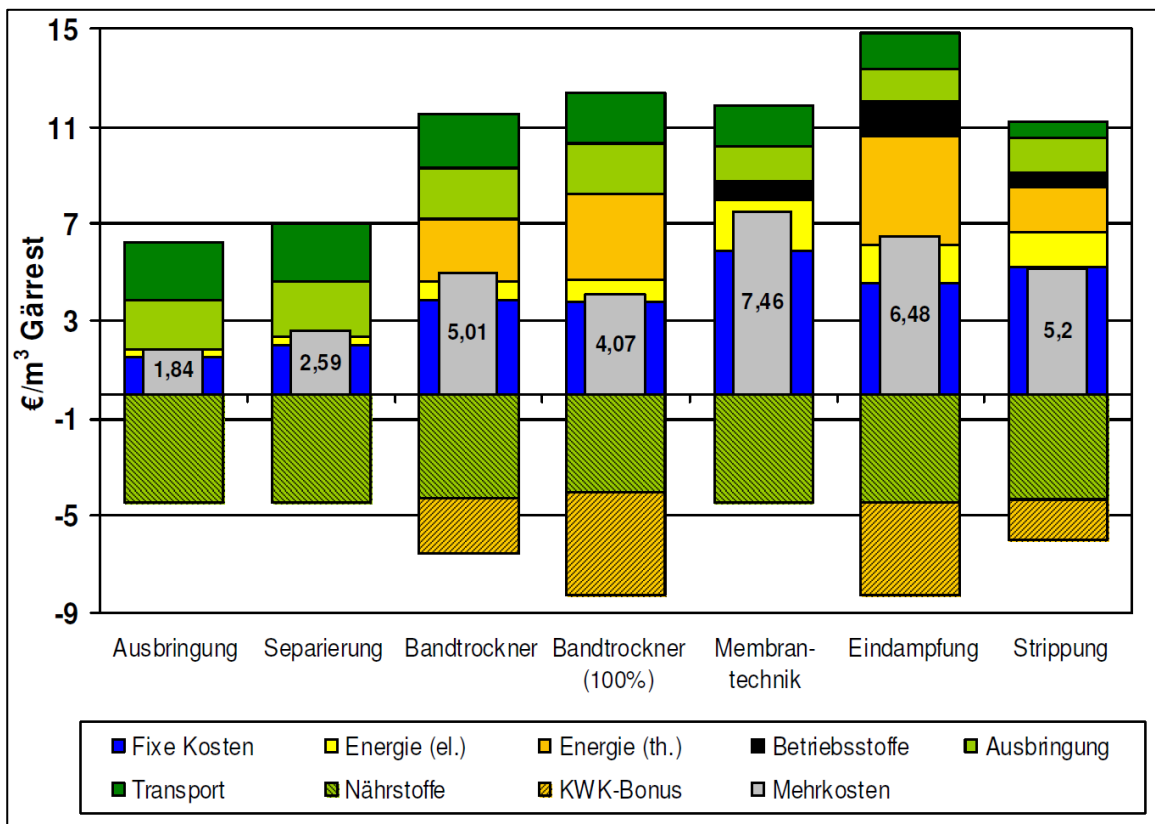
	Press- schnecke	Dekanter	Ver-dampfung ¹	Ultra-filtration
Kosten: €/m ³ Ausgangsmaterial (€)	0,6	1,5	5,7	7,9
N-Gehalt: kg/t Produkt (kg)	7,6	4,5	3,5	7,8
N-Abscheidung (%)	20	20	25	80
Kosten: €/kg Stickstoff (€)	0,8	2,0	5,4	3,0
P ₂ O ₅ -Gehalt: kg/t Produkt (kg)	6,3	10,3	2,8	2,2
P ₂ O ₅ -Abscheidung (%)	25	70	30	30
Kosten: €/kg P ₂ O ₅ (kg)	1,0	0,9	5,3	10,6

Quelle: eigene Berechnung

¹ Bei verfügbarer Abwärme

Die vom KTBL berechneten Kosten der Aufbereitungsverfahren sind in Abb. 5 dargestellt. Die Datengrundlage der vorliegenden Arbeit ist teilweise den Berechnungen des KTBL entnommen (2008). Trotzdem ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Annahmen Abweichungen bei der Bewertung der Kosten (vgl. Abb. 5).

Abb. 5: Kosten der Aufbereitungsverfahren



Quelle: Döhler und Wulf, 2013

Die ökonomische Bewertung der einzelnen Verfahren setzt sich jeweils aus den Posten Fixkosten, Aufwendungen für Energie (elektrisch und thermisch) und Verbrauchsstoffe, Transport- und Ausbringkosten zusammen. Den Kosten wird für den Vergleich der einzelnen Verfahren gegengerechnet, was an Substitutionswert für Düngemittel eingespart werden

könnte und wie hoch die Vergütung für die Wärmenutzung nach dem EEG ist. Negative Kosten, wie in Abb. 5 für den Substitutionswert für Düngemittel (nutrients) und den Wärmebonus (heat bonus) dargestellt, entsprechen der Realisierung von Erlösen für diese Posten.

Die betrachteten Verfahren unterscheiden sich auch im Hinblick auf die technische Anwendbarkeit. Vor allem die Laufsicherheit und die Energiekosten sind hier zu nennen. Tab. 19 gibt einen Überblick über ausgewählte Aufbereitungsverfahren und deren Bewertung nach unterschiedlichen technischen Kriterien.

Tab. 19: Vergleich ausgewählter Verfahren der Gärrestaufbereitung

	Separierung	Verdampfung	Ultrafiltr.	Strippung
Funktionssicherheit	++	0	+	0
Stand der Umsetzung	++	0/-	+	0
Kosten	+	0/-	0/-	+/0
Wasserabscheidung	0	++	+	0

Quelle: KTBL, 2008

In Tab. 20 sind weitere Eigenschaften der Aufbereitungstechniken sowie deren Vor- und Nachteile aufgeführt. Insbesondere diejenigen Verfahren, die verhältnismäßig kosten- und arbeitsexensiv sind, führen zu keiner/geringer Volumenreduzierung der Ausgangsprodukte. Diese Verfahren finden jedoch auch ihre Berechtigung, da insbesondere die P-Zufuhr in einigen Regionen der limitierende Faktor der Wirtschaftsdüngerausbringung ist, und P, welches vorwiegend in der festen Phase der Produkte vorkommt, abtransportiert werden kann. Zu beachten ist jedoch, dass in diesem Fall organische Substanz, die dem Humusaufbau dient, die Region verlässt. Die verbleibende flüssige Phase mit einem hohen Gehalt an mineralischem Stickstoff und der damit verbundenen schnelleren Nährstoffverfügbarkeit kann als Ersatz für mineralische Dünger eingesetzt werden, bzw. es kann ein weiterer Aufbereitungsschritt angeschlossen werden.

Tab. 20: Überblick über Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung

Verfahren	Wasser- abscheidung	Nährstoff- verluste	Produkte und Nährstoffe	Weitere Eigenschaften der Produkte	Vorteile des Verfahrens	Nachteile des Verfahrens	Anmerkung
Separierung	keine	keine	Flüssige Phase: mineral. Stickstoff Feste Phase: P, organisch gebundenes N, organ. Material	Geruch: keine Änderung Hygiene: keine Änderung	Kosten- und Arbeitsextensiv Umsetzung auf einzelbetrieblicher Ebene möglich	Keine Volumen- reduzierung	Voraussetzung für den Einsatz vieler weitere Aufbereitungsverfahren Mobile Lösung: Höherer Aufwand
Eindampfung	52 %	gering	einleitfähiges Wasser Feststoff: nährstoff- angereichert mit P Nährstoffkonzentrat: NH ₄ ⁺		Reduzierung Transport Lageraufwand der Produkte	hoher Wärmebedarf empfindliche Technik: Verstopfung, Korrosion am Wärmetauscher	Aufbereitung des Abwassers evt. notwendig sehr hoher Wärmebedarf
Trocknung	sehr hoch	N: sehr hoch	trockener Feststoff: Phospat, Kalium Abluft: Stickstoff	Geruch: Geruchsstoffe in der Abluft	Feststoffe: lagerfähig, transportwürdig	Abluftbehandlung notwendig (Stickstoff, Geruch) Technik sehr komplex	Produkt pelletierbar, Einsatz auch als Brennmaterial mögl.
Ammoniak- Strippung	70 %	gering	flüssige Phase Ammoniumsulfat, Ammoniakwasser: Stickstoff		Ammoniumsulfat, Ammoniakwasser als Dünger einsetzbar	hoher Energieaufwand Technik sehr komplex	Aufbereitung des Abwassers notwendig Technische Umsetzbarkeit?
Membrantechnik	35 % (Ultrafiltration)	keine (Ultrafiltration)	Permeat: Inhaltsstoffe Konzentrat: Partikel, Mineralien, Salze Einleitfähiges Wasser (Umkehrosiose)		kein/geringer Wärmebedarf	Druck notwendig Regelmäßige Regeneration der Membrane notwendig	hoher Strombedarf (Ultrafiltration)
Vergärung	keine	keine	Methan (Energieträger) Gärrest	Minderung Geruchsbelastung Hygienisierung	Energieerzeugung Abwärmeentstehung bei Verstromung	arbeitsintensiv THG-Bilanz vor allem bei NAWARO-Anlagen ohne	„Tür-Öffner-Technologie“ der Wirtschaftsdüngeraufberei

Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdünger

Verfahren	Wasser- abscheidung	Nährstoff- verluste	Produkte und Nährstoffe	Weitere Eigenschaften der Produkte	Vorteile des Verfahrens	Nachteile des Verfahrens	Anmerkung
					Erhöhung der Nährstoffverfügbarkeit Homogener Gärrest	Wärmeconcept auch negativ	tung
Kompostierung	gering	N: erheblich	CO ₂ Wasser Kompost: organisch gebundene Nährstoffe, organisches Material	Minderung Geruchsbelastung Hygienisierung	stabiles Substrat Masse- und Volumenreduktion	gasförmiger Verlust an Nährstoffen spezialisiertes Verfahren – kaum umsetzbar auf landwirtschaftlichen Betrieben	Humuswirkung
Nitrifikation/ Denitrifikation	gering	N: vollständig	Stickstoff-Gas			Stickstoff-Gas wird in Luft entlassen Technik sehr komplex	kein Recycling der Nährstoffe in der Landwirtschaft Biologische Klärstufe
Flockung	Keine	keine	flüssige Phase größere Feststoffpartikel: hoher Phosphat-Gehalt		Konzentration von Phosphat in fester Phase – Erhöhung der Transportwürdigkeit	Flockungsmittel häufig auf Basis von Erdöl- Einsatz in der Landwirtschaft nicht erlaubt (kanzerogen)	Flockung häufig der Separierung vorgeschaltet. Erhöhung des Nährstoffgehaltes in der festen Phase
Fällung	keine	keine	flüssige Phase feste Phase: P, N (langsamwirkender Dünger)		Stabile, transportwürdige Produkte (Struvit, Magnesiumammoniumphos- phat) Erhöhung der Ausfällung von Feststoffen		
Biologische Fällung		geringe					In Entwicklung
Elektrochemische MAP-Fällung		keine					In Entwicklung

2.2.2 Zieldefinition für zukünftige Entwicklungen

Bisher werden in erster Linie nicht aufbereitete Wirtschaftsdünger abgegeben, weil die entsprechenden Technologien zur Konzentration der Nährstoffe vielfach noch nicht wirtschaftlich sind (Sindhøj, E. & Rodhe, L. Hrsg. 2013, S. 50). Die Einsparungen durch verminderten Düngemitelesatz deckten die Investitionskosten der entsprechenden Anlagen bisher meist nicht (Jakobsson, C. et al. 2002). Einsatz findet im Wesentlichen die Biogas-Technologie, die aufgrund der Honorierung der erzeugten Energie, bzw. der Investitionsförderung der Anlage, wirtschaftlich betrieben werden kann. Allerdings enthalten die erzeugten Gärreste noch große Mengen Wasser, so dass die Transportkosten der Gärreste ohne Nachbehandlung weiterhin hoch sind. Die Biogastechnologie wird jedoch als „Türöffnertechnologie“ bezeichnet, da entsprechende Anlagen zur Aufbereitung der Biogasanlage vor- oder nachgeschaltet werden können (Foged et al. 2011a, S. 40).

Für die Weiterentwicklung von Aufbereitungsverfahren kann es sinnvoll sein, Anforderungen zu definieren, die zukünftige Entwicklungen berücksichtigen sollen. Folgende fünf Punkte sind hier vordergründig zu nennen:

- Kosten der Aufbereitung
- Grad der Wasserabscheidung (Einleitfähig)
- Nährstoffverlust
- Zuverlässigkeit im Betrieb
- Energieverbrauch

Die Kosten der Aufbereitung für die untersuchten Techniken liegen zwischen 0,6 € und 7,9 €. Dabei sind jedoch die Kosten für die Lagerung, den Transport und die Ausbringung der Produkte der Aufbereitung nicht berücksichtigt. Die Betrachtung erlaubt damit aktuell keine Rückschlüsse über die gesamtbetrieblichen Kosten des Einsatzes der Wirtschaftsdünger aufbereitung, des Transportes und der Ausbringung.

Die Kosten des Einsatzes der unterschiedlichen Aufbereitungstechniken hängen stark von der Wasserabscheidung ab. Techniken mit höherer Abscheidung sind im Allgemeinen teurer als Techniken mit geringer oder keiner Wasserabscheidung. Die günstigsten Aufbereitungstechniken (Pressschnecke, Dekanter) trennen nur feste und flüssige Phase des Wirtschaftsdüngers, eine Reduktion der zu transportierenden Masse kann so nicht erreicht werden. Diese Reduktion wird nur durch das Abscheiden von Wasser möglich. Den maximalen Wert der Abscheidung erreicht die Aufbereitungstechnik „Strippung“. Durch diese Technik werden 70 % des Wassers bei Kosten in Höhe von 5,0 €/m³ des Ausgangsmaterials abgeschieden. Es bleibt aber ein Rest-Nährstoffgehalt im Wasser, der eine weitere Aufbereitung notwendig macht, was diese Technik für den Praxiseinsatz wieder weniger interessant macht. Gleiches gilt für die Eindampfung. Hier werden 52 % des Wassers abgeschieden, bei Kosten in Höhe von 5,7 €/m³ Ausgangsmaterial. Zusätzlich fallen für dieses Verfahren hohe Wärmekosten (Wärmebedarf ca. 500 kWh) an, die in die Kosten eingerechnet werden müssen, sollte keine Abwärme zur Nutzung verfügbar sein. Die Ultrafiltration erreicht einen Abscheidungsgrad von 35 % des Wassers in einleitfähiger Qualität. Dabei entstehen Kosten in Höhe von 7,9 €/m³ Ausgangsmaterial. Durch eine Weiterentwicklung der Technik könnte das Ziel einer hohen Abscheidung von Wasser und der Trennung der Nährstofffraktionen Stickstoff

und Phosphor zu geringen Kosten erreicht werden. So können die Transportkosten reduziert werden und ein Nährstofftransport in die Regionen des Nährstoffbedarfs wird rentabler. Zukünftig zu entwickelnde Verfahren können nach Ansicht der Autoren als Fortschritt angesehen werden, wenn die Kosten 7 € pro Kubikmeter Ausgangsmaterial (z. B. Biogasgärrest) nicht überschritten werden und gleichzeitig 60 % des Wassers einleitfähig abgeschieden werden. Unter diesen Umständen könnte die Aufbereitungstechnik bereits ab geringen Transportentfernungen wirtschaftlich darstellbar sein.

2.3 Einsatzes der Wirtschaftsdüngeraufbereitungstechniken in Europa

Im Folgenden Kapitel wird in einem Überblick die Verbreitung der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Europa dargestellt. Die meisten bisher in Europa eingesetzten Anlagen sind dem Verfahren der Separierung zuzuordnen (siehe Tab. 21). Ein größerer Anteil des Wirtschaftsdüngers wird jedoch in Anlagen der anaeroben Vergärung (Biogaserzeugung) behandelt. Insgesamt werden ca. 8 % des in Europa anfallenden Wirtschaftsdüngers in entsprechenden Aufbereitungsanlagen behandelt, insbesondere in Regionen mit einer hohen Tierbestandsdichte (Foged, H.L. 2011a).

Tab. 21: Übersicht über den Einsatz der Wirtschaftsdüngeraufbereitung nach Aufbereitungsverfahren in den EU-Mitgliedsstaaten

	Anlagenanzahl			behandelte Menge an Wirtschaftsdünger			
	Anlagen in einer Größe für landw. Betrieben	kleine/ mittlere Anlagen 1)	große Anlagen 2)	1.000t	% des Wirtschaftsdüngeranfalls	Stickstoff (t) ³⁾	Phosphor (t) ³⁾
Separierung	10.935	120	75	43.383	3,1	195.676	52.923
Zusätze/ Vorbehandlungen für weitere Verfahrensschritte	606	44	18	5.877	0,4	29.524	5.606
anaerobe Verfahren	4.692	459	105	49.033	3,5	232.963	56.217
Behandlung der festen Phase	1.254	169	63	7.422	0,5	90.331	23.047
Behandlung der flüssigen Phase	407	121	59	2.149	0,2	8.015	1.329
Luftreinigung (als Teil der Aufbereitungs- anlage)	0	30	39	0	0		
Gesamt	17.894	943	359	107.864	7,8	556.509	139.122

Quelle: nach Foged, H.L. 2011a, S. 35

1) <50.000t/a behandelter Wirtschaftsdünger

2) >50.000t/a behandelter Wirtschaftsdünger

3) im Wirtschaftsdünger

Hinsichtlich des Einsatzes verschiedener Aufbereitungstechniken zeigen sich folgende Unterschiede auf Ebene der EU-Mitgliedsstaaten:

- Ansäuerung der Gülle wird häufig in Dänemark angewendet (Sindhøj, E. & Rodhe, L. Hrsg. 2013, S. 50; Foged et al 2011a, S. 39).
- Umkehrosmose kommt in den Niederlanden zum Einsatz (Sindhøj, E. & Rodhe, L. Hrsg. 2013, S. 50).
- Trommelkompostierung wird in Schweden eingesetzt, um aus Flüssigmist und den festen Bestandteilen von separiertem Festmist kommerzielle Bodenverbesserungsprodukte herzustellen (Sindhøj, E. & Rodhe, L. Hrsg. 2013, S. 50).
- Wärmepumpen zur Abwärmerückgewinnung aus Gülle und zur Verbesserung der Luftqualität in Ställen (Reduzierung der Ventilationsraten) werden in Finnland genutzt (Sindhøj, E. & Rodhe, L. Hrsg. 2013, S. 50).
- Verfahren der Nitrifikation-Denitrifikation kommen vorwiegend in der Bretagne (Frankreich) zum Einsatz (Foged et al 2011a, S. 39).
- Biogasanlagen finden vor allem in Ländern Einsatz, in denen entsprechende ökonomische Anreizinstrumente eingesetzt werden z.B. Österreich (Foged et al 2011a, S. 39) und Deutschland.

Foged et al. stellen für die Unterschiede in der Anwendung verschiedener Techniken auf Ebene der Mitgliedsstaaten folgende Gründe fest:

- Unterschiedlichen nationalen Regularien, wie z.B. die unterschiedlichen nationalen Umsetzungen von EU-Richtlinien und – Verordnungen führen dazu, dass unterschiedliche Technologien (siehe oben) zum Einsatz kommen. In Flandern (Belgien) sind Großstallanlagen dazu verpflichtet, einen Teil des Wirtschaftsdüngers aufzubereiten, was die große Anzahl an Anlagen in Flandern erklärt.
- Ökonomische Anreize: In einigen Ländern existieren ökonomische Anreizinstrumente, die z.B. dazu führen, dass verstärkt Biogasanlagen gebaut werden.
- Unterschiede in den landwirtschaftlichen Produktionssystemen: In Norddeutschland, Dänemark und Schweden liegt das Hauptaugenmerk auf der Steigerung der Milchleistung pro Kuh und es werden große Mengen Kraftfutter eingesetzt. Dort wo milde Winter vorkommen (Irland, Großbritannien, Bretagne) basiert die Milchproduktion auf einer langen Weidezeit (Maximierung des Milchertrages vom Grünland) (Kelm, M. & Taube, F. 2003, S. 18). Dies führt dazu, dass z.B. in Irland im Vergleich zum Tierbesatz wenige Aufbereitungsanlagen vorhanden sind (Foged et al. 2011a, S. 39).
- Unterschiedliches Interesse an den Endprodukten: Überbetrieblicher/überregionaler Ausgleich von Wirtschaftsdünger spielt auch eine Rolle in Ländern, in denen die organischen Komponenten des Wirtschaftsdüngers als Bodenverbesserer stark nachgefragt werden, wie z.B. Portugal und Spanien (Martinez, J. & Burton, C. 2003).

Tab. 22: Übersicht über den Einsatz der Wirtschaftsdüngeraufbereitung nach EU-Mitgliedsstaaten

	Anlagenanzahl			behandelte Menge an Wirtschaftsdünger			
	Anlagen in einer Größe für landw. Betrieben	kleine/ mittlere Anlagen 1)	große Anlagen 2)	1.000t	% des Wirtschaftsdüngeranfalls	Stickstoff (t) 3)	Phosphor (t) 3)
Österreich	307	31	3	500	1,7	2.459	463
Belgien	7	242	42	2.975	7,2	22.063	4.765
Bulgarien	2	0	0	23	0,2	104	21
Tschechien	430	0	0	2.050	9,7	7.483	1.665
Dänemark	221	22	41	4.704	13,4	23.655	4.724
Estland	86	0	1	341	2,5	1.273	280
Frankreich	448	0	0	1.585	0,6	11.085	1.458
Deutschland	3.906	0	5	29.830	14,8	168.308	40.780
Griechenland	1.453	0	0	4.074	34,6	33.650	6.988
Ungarn	1	1	1	86	0,6	483	96
Luxemburg	25	0	5	116	4,6	484	63
Niederlande	0	213	64	5.278	7,3	28.141	7.588
Polen	3	2	2	252	0,3	1.088	242
Rumänien	173	0	0	6.116	12,7	33.033	8.019
Slowakei	5	0	0	16	0,2	73	15
Slowenien	5	3	2	337	5	1.676	434
Spanien	286	117	165	5.960	5,1	31.351	8.739
Schweden	7	9	0	86	0,4	374	67
Großbritannien	1.513	0	3	10.538	7,3	67.495	12.704
Gesamt	17.894	943	359	107.867	7,8	556.514	139.128

Quelle: nach Foged, H.L. 2011a, S. 36f.

Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdünger

1) <50.000t/a behandelte Wirtschaftsdünger

2) >50.000t/a behandelte Wirtschaftsdünger

3) im Wirtschaftsdünger

2.4 Fallbeispiele der Wirtschaftsdünger aufbereitung

2.4.1 Beispiel des Einsatzes der Umkehrosmose in den Niederlanden

Der Einsatz eines Verfahrens der Umkehrosmose in den Niederlanden wird von Sindhøj, E. & Rodhe, L. beschrieben. Dabei wird der Transport des unaufbereiteten Teils des Wirtschaftsdüngers von einem spezialisierten Unternehmen durchgeführt. Der feste Teil des Wirtschaftsdüngers wird an Kompostierungsfirmen abgegeben, die daraus Produkte zur Bodenverbesserung herstellen und diese verkaufen. Insgesamt werden alle Produkte der Umkehrosmose entweder an landwirtschaftliche Betriebe in der Nachbarschaft oder in weiterer Entfernung abgegeben. Für die geringeren Ausbringungsmengen des Konzentrates der Umkehrosmose hat die Firma KUMAC eine spezielle technische Vorrichtung („Schuh“) entwickelt. Allerdings mischen die meisten aufnehmenden Landwirtschaftsbetriebe das Konzentrat mit unaufbereitetem Wirtschaftsdünger, so dass herkömmliche Maschinen zur Ausbringung eingesetzt werden können (Sindhøj, E. & Rodhe, L. Hrsg. 2013).

2.4.2 Beispiel des Einsatzes der Verbrennung in den Niederlanden

In Moerdijk, Niederlande, steht eine Anlage zur Verbrennung von Geflügelmist. Diese „verarbeitet“ jährlich 440.000t Geflügelmist, mit einem durchschnittlichen Trockenmassegehalt von 58,35%. Es entsteht elektrische Energie (36,5 MWe) und Asche mit einem Phosphatgehalt von 25%, die als Dünger Verwendung findet. Stickstoff und organisches Material gehen hingegen verloren (Lebuf, V. 2012; de Buissonje, F. 2013).

2.4.3 Beispiel des überbetrieblichen Nährstoffausgleichs in Deutschland

Als Beispiel einer überbetrieblichen Organisation des Nährstoffausgleichs ist die Agravis Raiffeisen AG zu nennen. Diese betreibt in Dorsten einen Futtermittelhandel sowie eine Biogasanlage auf Güllebasis. Die tierhaltenden Betriebe liefern Gülle an die Biogasanlage (insgesamt 80.000 m³) und nehmen auf dem Rückweg Futtermittel mit. Durch eine mobile Separierungsanlage wird das Transportvolumen sowohl auf Seiten der landwirtschaftlichen Betriebe (Gülle) als auch auf Seiten der Biogasanlage (Gärssubstrate) vermindert. Die Nährstoffe im Gärssubstrat sollen per Schiff in Ackerbauregionen exportiert werden (Möbius, J. & Lehmann, N. 2014, S. 20).

2.4.4 Beispiel des Einsatzes von Transporttechniken in Deutschland

Um die Transportkosten zu senken, werden auch auf der Rückfahrt Güter transportiert. Dies kann zum einen durch LKW-Auflieger erfolgen, die in unterschiedlichen Kammern sowohl Gülle als auch trockenes Schüttgut (z.B. Getreide) transportieren können und damit Leerfahrten vermindern. Berechnungen zeigen, dass bei alleinigem Transport von Gülle maximale Entfernungen von 35 km möglich erscheinen. Bis zu 120 km können zurückgelegt werden, wenn die Gülle an eine Biogasanlage (mit Bonus) angeliefert wird und auf der Rückfahrt bspw. Getreide transportiert wird. Die maximale Entfernung steigt auf bis zu 300 km bei Reduzierung des Volumens des Wirtschaftsdüngers, Nutzung in einer Biogasanlage und Rücktransport von Getreide (Hartl, G. et al. o.J.). Möglich ist aber auch der Transport trockener Wirtschaftsdünger (z.B. Geflügelkot) in Muldenkippern, die auf der Rückfahrt z.B. Kies transportieren. Die ökonomisch maximale Entfernung wird damit auch durch den Wert des zusätzlich

transportierten Produktes beeinflusst, sowie durch die erlaubten Lenkzeiten der Fahrer (Möbius, J. & Lehmann, N. 2014).

2.4.5 Beispiel der zentralen und dezentralen Wirtschaftsdüngerbereitung in Spanien/Katalonien

Die durchschnittlichen Stickstofffrachten aus Wirtschaftsdünger sind in Spanien im europäischen Vergleich als niedrig einzustufen (21 kg N/ha), jedoch liegen sie in einzelnen Regionen auch höher (Katalonien 74 kg N/ha), wenn auch immer noch unter den erlaubten Grenzwerten der EU für NVZ (170 kg N/ha). Die katalonische Regierung hat sich jedoch als Ziel gesteckt, die Wirtschaftsdüngerabfuhr pro Hektar sowie die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft zu reduzieren und fordert daher von den Landwirtschaftsbetrieben die Unterzeichnung und Einhaltung von Nährstoffmanagementplänen (nutrient management planing NMP) (Flotats, X. et al. 2009). In Katalonien gab es 2009 42 kollektive NMPs, denen 2.594 landwirtschaftliche Betriebe angehören und 21.879,6 kg N/ha aufbereitet wurde. Bei den Aufbereitungsanlagen handelt es sich um 5 Anlagen, die Schweinegülle zu Pellets verarbeiten und 23 Kompostanlagen für Festmist und andere organische Abfälle (Bonmati, A. 2007; Prats, I.I. 2007 zitiert in Flotats, X. et al. 2009). Daneben haben mehr als 100 landwirtschaftliche Betriebe Aufbereitungssysteme installiert (anaerobe Vergärung, Separierung, Nitrifikation-Denitrifikation, Kompostanlagen). Von Flotats et al. wurden Untersuchungen zu den Vor- und Nachteilen von zentralisierten – im Vergleich zu dezentralisierten – Anlagen durchgeführt. Dabei zeigten sich für beide Verfahren sowohl Vor- als auch Nachteile. Flotats et al. schließen daraus, dass die Auswahl eines Verfahrens im Wesentlichen auf dem Nährstoffmanagementplan einer Region beruhen sollte. Managementfaktoren werden von ihnen als entscheidender für den Erfolg angesehen als technologische Aspekte (Flotats, X. et al. 2009).

2.4.6 Beispiel der Wirtschaftsdüngerabgabe in Italien

In einigen Grundwasserschutzgebieten Italiens geben Landwirtschaftsbetriebe mit hohem Anfall von Wirtschaftsdüngern, diese an Nachbarbetriebe ab (ohne Aufbereitung). Allerdings reduzieren die aufnehmenden Betriebe den Einsatz mineralischer Düngemitteln teils nicht, so dass es auch bei diesen Betrieben zu Nährstoffüberschüssen kommt. In einigen Regionen mit hohem Tierbesatzdichten werden die aufnehmenden Betriebe für die Abnahme von Wirtschaftsdünger bezahlt. (Grignani, C. et al. 2003, S. 51). Des Weiteren wurden in Italien Anlagen zum aeroben Abbau (aerobic plants) installiert, um die Stickstofffracht durch Belüftung zu reduzieren. Allerdings werden durch diese Anlagen Luftschadstoffe und Treibhausgase ausgestoßen und die Belastung von Schutzgut Wasser auf das Schutzgut Luft verlagert. In der Region Emilia Romagna ist die Anzahl der Schweine durch gesetzliche Auflagen wesentlich reduziert wurden (Jakobsson, C. et al. 2002).

3 Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Europa (Stand 01.10.2014)

Das Düngemanagement und damit auch die Wirtschaftsdüngeraufbereitung werden zum einen durch europäische Regelungen wie die Nitratrichtlinie beeinflusst. Zum anderen haben die Mitgliedsstaaten weitere Instrumente definiert, um die Ausbringung von Nährstoffen und deren Eintrag in die Umwelt zu mindern. Das folgende Kapitel gibt einen allgemeinen Überblick über die Richtlinien der EU und die politischen Instrumente, die in Bezug auf das Düngemanagement der landwirtschaftlichen Betriebe eingesetzt werden können, sowie die beeinflussenden ökonomischen Rahmenbedingungen. Des Weiteren wird in Form von Fallstudien aufgezeigt, welche unterschiedlichen Regelungsansätze in ausgewählten Mitgliedsstaaten der EU existieren.

3.1 Allgemeine Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung

3.1.1 Relevante Richtlinien der EU

Der Austrag von Nährstoffen in die Umwelt wird von einer Reihe von Richtlinien und Verordnungen der EU geregelt. Dabei basieren wiederum einige dieser Richtlinien und Verordnungen auf internationalen Vereinbarungen (Convention on Biological Biodiversity (CBD), United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), u.a.). Die wesentlichen Richtlinien der EU, die Einfluss auf die Landwirtschaft und die Düngungspraxis haben:

- Nitratrichtlinie (91/676/EWG) formuliert die Anforderungen der Düngeverordnung als deutsche Umsetzung der Nitratrichtlinie
- Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) – Definition von Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen, zusätzliche Verpflichtungen für die Landwirtschaft auf freiwilliger Basis, Düngeverordnung als Beitrag zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (Taube, F. et al. 2013)
- Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (2008/56/EG) - Düngeverordnung als Beitrag zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Taube, F. et al. 2013)
- Industrieemissionsrichtlinie (2010/75/EU) – es wird der Einsatz der besten verfügbaren Technik gefordert
- Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) (1698/2005/EG) – Förderung von Umweltmaßnahmen, Investitionsförderung
- Direktzahlungs-Verordnung (1782/2003/EG) – Einhaltung der Cross Compliancen Auflagen, Definition von Sanktionen (Foged, H.L. 2011d)
- Düngemittel-Verordnung (2003/2003/EG) – regelt die Inverkehrbringung von Düngemitteln
- Verordnung 1069/2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte - Vorgaben bzgl. Transport, Behandlung, Verwertung bzw. Beseitigung, Anforderungen an Behandlungsanlagen und deren Zulassung in Abhängigkeit der Risikokategorie der Stoffe – Deutsche Umsetzung:

Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung, Wirtschaftsdünger Verbringungsverordnung (WDüngV) (Dokumentationspflichten bei der überbetrieblichen Düngerausbringung – Ergänzung der Düngeverordnung)(Bundesgütegemeinschaft Kompost BGK 2011)

Dabei ist die Nitratrichtlinie¹ diejenige mit den weitreichendsten Konsequenzen für die Ausbringung von Düngemitteln. Sie schreibt den EU-Mitgliedsstaaten die Umsetzung folgender Maßnahmen vor:

- Die Festsetzung von „Nitrate Vulnerable Zones“ (NVZ),
- Die Definition der guten fachlichen Praxis in Bezug auf die Verhinderung des Austrags von Nährstoffen aus der Landwirtschaft in die Umwelt. Die gute fachliche Praxis muss in den NVZ von den Landwirtschaftsbetrieben angewendet werden, in den anderen Regionen ist die Anwendung freiwillig,
- Entwicklung von „Action Programms“ für die NVZ,
- Etablierung von Monitoringsystemen z.B. zur Überwachung der NH₃ Konzentrationen und der Eutrophierung (De Clercq, P. 2005).

Einige EU-Mitgliedsstaaten haben die gesamte Fläche als NVZ ausgewiesen (Österreich, Dänemark, Finnland, Deutschland, Luxemburg, Niederlande) (Oenema, O. 2004a). Die EU schreibt des Weiteren für die Aktionsprogramme der Nitratrichtlinie folgende Maßnahmen verpflichtend vor:

- Festsetzung von Zeiträumen, in denen keine Düngungsmaßnahmen durchgeführt werden dürfen
- Vorschriften zur maximalen Vorhaltung von Lagerraum für Wirtschaftsdünger
- Beschränkung der ausbringbaren Düngermengen in Abhängigkeit der Standortfaktoren der VNZ (De Clercq, P. 2005).

Daneben können die EU-Mitgliedsstaaten zusätzlich weitere Maßnahmen definieren:

- Minderung der Nährstoffkonzentration im Futter
- Erstellung von Nährstoffbilanzen
- Abdeckung der Lager
- Emissionsarme Ausbringungsverfahren
- Aufbereitung und Transport organischer Dünger in Regionen mit geringem Wirtschaftsdüngeranfall (Oenema, O. 2004a; Sommer, S.G. et al. 2013; Foged H.L. 2011d).

¹ Verordnungen (Regulations) sind bindend und direkt in den Mitgliedsstaaten umzusetzen. Richtlinien (Directives) sind ebenfalls bindend, jedoch müssen die Zielvorgaben der Richtlinien mit unterschiedlichen Maßnahmen in den Mitgliedsstaaten umgesetzt werden (Oenema, O. 2004a).

Die Aufbereitung und der überbetriebliche/überregionale Ausgleich aufbereiteter Wirtschaftsdünger werden des Weiteren wesentlich durch das Düngerecht beeinflusst. Die aktuelle EU-Regelung erlaubt eine Produktion mineralischer Düngemittel aus organischen Düngern nicht (Foged, et al. 2011b, S. 17). Diese auf Wirtschaftsdüngern basierenden mineralischen Dünger sind in der entsprechenden Positivliste der EU bisher nicht aufgeführt. Die EU Kommission hatte vor, 2014 zu entscheiden, ob „Mineral Concentrate can be accepted as an EU-fertilizer“ (de Buissonje, F. 2013). Danach sollten auf Wirtschaftsdünger basierende Dünger nur als mineralische Düngemittel zugelassen werden, wenn die Stickstoffeffizienz (Nitrogen efficiency) mit der von mineralischen Düngemittel vergleichbar ist, der Anteil flüchtiger organischer Bestandteile nahe null und der Mineralgehalt minimal (z.B. 20% N) ist (de Buissonje 2013).

3.1.2 Instrumente und Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdünger aufbereitung

Die Umsetzung von Maßnahmen des Düngemanagements werden zum einen durch politisch definierte Instrumente beeinflusst, zum anderen durch ökonomische Rahmenbedingungen des Marktes. Die politischen Instrumente zur Umsetzung von Maßnahmen des Düngemanagements lassen sich unterscheiden in Auflagen (Regulatory Instruments), ökonomische Instrumente (Economic Instruments) und kommunikative Instrumente (Communicative Instruments) (siehe Tab. 23)

Tab. 23: Mögliche Politikinstrumente

Auflagen	Ökonomische Instrumente	Kommunikative Instrumente
-Planung (Zonierung/ räumliche Planung)	-Steuern	-Beratung
-Standards und Definition von Grenzwerten	-Zuschüsse (incl. Preisstützung)	-Aus- und Fortbildung
-Begrenzung des Einsatzes von Düngemitteln	-Import/Export-Subventionen	-kooperative Ansätze
-Forderung des Einsatzes der besten verfügbaren Technik	-handelbare Emissionsrechte und Quoten	

Quelle: Oenema, O. et al. 2011

Auflagen

Der Umgang mit Wirtschaftsdünger wird durch eine Reihe von Auflagen beeinflusst. Hierzu zählt bspw. die Beschränkung der maximal ausbringbaren Nährstoffmenge mit dem Wirtschaftsdünger, die Vorhaltung ausreichender Lagerkapazität, die Abdeckung der Lager, die Einarbeitung ausgebrachter Wirtschaftsdünger. Diese Auflagen müssen von den Landwirtschaftsbetrieben eingehalten werden und sind als Ordnungsrecht anzusehen.

Über Cross Compliance finden Richtlinien der EU, wie die Nitratrictlinie, Eingang in die Gemeinsame Agrarpolitik. Die Einhaltung der EU-Richtlinien, die Bestandteil von Cross Compliancen sind, kann ebenfalls als Ordnungsrecht (Regulatorien) angesehen werden. Allerdings werden Verstöße gegen Cross Compliance auch durch Kürzungen von Direktzahlungen und/oder Bußgelder bestraft, womit Cross Compliance auch zu den ökonomischen Instrument/ökonomischen Kontrollinstrumenten gezählt werden kann.

Ökonomische Instrumente

Ökonomische Instrumente können unterteilt werden in positive und negative Anreizinstrumente. Zu den positiven Anreizinstrumenten gehören Ausgleichszahlungen (z.B. im Rahmen von Agrarumweltprogrammen) oder auch Investitionszuschüsse und Zinsvergünstigungen. Landwirte werden für die Durchführung einer Maßnahme bzw. die Erbringung einer bestimmten Leistung finanziell honoriert. Auch die Bereitstellung finanzieller Unterstützung, z.B. von Investitionsbeihilfen als Zuschüsse oder Kreditverbilligungen für bestimmte Anlagen, Lagerstättenausweitungen und emissionsarme Ausbringungstechniken über die Agrarinvestitionsförderungsprogramme, zählen zu den positiven ökonomischen Anreizinstrumenten. Vielfach werden diese Anreize über die 2. Säule der GAP zur Verfügung gestellt.

Zu den negativen Anreizinstrumenten zählen Steuern und Abgaben. Diese lassen sich unterteilen in:

- Abgaben auf Umweltbelastungen wie z.B. die Erhebung von Abgaben auf Nährstoffüberschüsse in den Niederlanden
- Steuern auf Emissionen, aktuell im landwirtschaftlichen Bereich nicht implementiert
- Steuern auf einzusetzende Betriebsmittel wie z.B. Steuern auf Düngemittel (aktuell nur in Dänemark auf Stickstoffdünger für Hobbygärtner; die in Finnland, Norwegen, Schweden erhobenen Steuern auf Stickstoffdünger und den Cadmiumgehalt in P-Düngern (in Schweden) wurden eingestellt. Ursächlich ist im Wesentlichen die geringe Preiselastizität der Stickstoffdünger (Einarsson, P. o.J. S. 27f.) sowie die Notwendigkeit eines anspruchsvollen Monitoringsystems zur Bemessung der Steuer (Jering, A. et al. 2012, S. 65)). Auch Steuern auf den Phosphorgehalt in Futtermitteln sind denkbar.
- Auch zugeteilte Produktions- oder Belastungsrechte – wie z.B. Milchquoten, Rechte zur Tierhaltung – zählen zu den negativen Anreizinstrumenten. Sie verteuern die Produktion für die Landwirtschaftsbetriebe und sollen damit Anreize schaffen, um auf andere Produktionstechniken und -praktiken auszuweichen.

Des Weiteren können auch Auflagen mit ökonomischen Konsequenzen für die Betriebe verbunden sein. So sind z.B. aufgrund der Beschränkung der maximal ausbringbaren Menge an Wirtschaftsdünger viehintensive Betriebe dazu gezwungen, Wirtschaftsdünger an andere Betriebe abzugeben, weitere Flächen dazu zu pachten oder den Viehbesatz zu reduzieren. Die letzten beiden Möglichkeiten werden eher selten genutzt, so dass die Betriebe Wirtschaftsdünger abgeben, was häufig mit Kosten für Aufbereitung, Transport und Honorierung der aufnehmenden Betriebe verbunden ist.

Kommunikative Instrumente

Unter kommunikativen Instrumenten werden im Allgemeine Instrumente verstanden, die der Wissensvermittlung und Bewusstseinsbildung dienen. Durch die Bereitstellung von Informationen soll für die Umweltproblematik – im Zusammenhang mit der Ausbringung von Wirtschaftsdünger – sensibilisiert werden und die Landwirtschaftsbetriebe in die Lage versetzen, ihre Produktion und die Wirtschaftsdüngerenausbringung umweltfreundlich zu gestalten. Kommunikative Instrumente werden darüber hinaus eingesetzt, um Verbrauchern Entscheidungshilfen zur Auswahl umweltfreundlicher Produkte (z.B. Labelling) bereitzustellen

(Oenema, O. et al. 2011). Dabei werden diese Instrumente nicht nur von staatlicher Seite, sondern vielfach auch von privaten Anbietern, berufsständischen Interessenvertretungen und der Industrie/Handel bereitgestellt.

Als Instrument der Informationsvermittlung können jedoch nicht nur Beratungsangebote usw. genannt werden, sondern auch Regularien führen zu einer vertieften Auseinandersetzung der Landwirtschaftsbetriebe mit den entsprechenden Themen und einer Aneignung von Wissen, sofern die Landwirtschaftsbetriebe von der Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit der Auflagen überzeugt sind (RIVM 2002 zitiert in 2004 in Organisation for Economic Co-operation and Development 2005, S. 31).

Ökonomische Rahmenbedingungen des Marktes

Der Markt beeinflusst die ökonomischen Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngerherstellung zu einem durch das Verhältnis von Angebot und Nachfrage nach den Wirtschaftsdünger/-produkten, zum anderen aber auch durch die Forderung bestimmter Produkteigenschaften.

Ist das Angebot an (aufbereitetem) Wirtschaftsdünger hoch und die Nachfrage gering, wird der abgebende Landwirt mit Kosten für die Entsorgung zu rechnen haben, da aufnehmende Landwirtschaftsbetriebe den (aufbereiteten) Wirtschaftsdünger nur gegen Zahlung einer Gebühr akzeptieren werden. Ist die Nachfrage jedoch höher als das Angebot werden die aufnehmenden Landwirtschaftsbetriebe für den (aufbereiteten) Wirtschaftsdünger bzw. den Düngewert bezahlen müssen und der abgebende Landwirtschaftsbetrieb erzielt eine Einnahme (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005).

Der Marktwert von (aufbereitetem) Wirtschaftsdünger wird im Wesentlichen von dessen Düngewert beeinflusst. Dieser wiederum hängt neben den Nährstoffgehalten und der Nährstoffverfügbarkeit vom Marktpreis für mineralische Düngemittel ab. Einige Abnehmer bewerten auch den Wert der organischen Substanz im Produkt zur Verbesserung des Bodens oder der Energieproduktion. Aufgrund der gestiegenen Preise für landwirtschaftliche Erzeugnisse ist damit zu rechnen, dass der Einsatz von Düngemitteln (bei unveränderter Preissituation) zunehmen wird (Taube, F. et al. 2013), wodurch u.U. der Marktpreis für (aufbereiteten) Wirtschaftsdünger steigen wird.

Des Weiteren ergeben sich ökonomische Konsequenzen für die Betriebe durch die regionale Konzentration der Tierhaltung. Dies führt dazu, dass das Pachtangebot gering ist und wenige „freie“ Flächen (von reinen Ackerbaubetrieben) zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern vorhanden sind. Weite Fahrstrecken und damit hohe Transportkosten sind die Folgen für die Betriebe (Sims, J.T. et al. 2005).

Auch die Forderung des Einsatzes der besten verfügbaren Technologie (BAT best available technology) hat ökonomische Konsequenzen für die Betriebe. So wird zwar meist eine Übergangsfrist bis zum verpflichtenden Einsatz einer neuen Technologie gefordert, dennoch sind häufig vorgezogene Investitionen in neue Technologien notwendig. Durch die Förderung der Investitionen (z.B. Kreditzuschuss, Zinsvergünstigung) werden die Betriebe jedoch zumindest zum Teil entlastet. Im Rahmen der Einführung von neuen kosten- und teils auch arbeitsintensiven Technologien kommt es teils auch zu überbetrieblichen Zusammenschlüssen.

3.2 Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in ausgewählten Mitgliedsstaaten - Fallbeispiele

Das folgende Kapitel gibt einen Einblick in die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen des Düngemanagements in ausgewählten Mitgliedsstaaten der EU. Die Auswahl der Fallbeispiele erfolgt auf Basis vorhandener Literatur und legt einen Schwerpunkt auf Mitgliedsstaaten, in denen die Aufbereitung von Wirtschaftsdünger mittlerweile eine relevante Rolle spielt. Dies betrifft Mitgliedsstaaten, in denen hohe Viehbesatzdichten auftreten, die zu den entsprechenden Umweltproblemen geführt haben oder aktuell führen. So treten die höchsten Viehbesatzdichten und die damit verbundenen Umweltprobleme in Europa im Süd-Osten der Niederlande, Flandern/Belgien und der Bretagne/Frankreich auf (van Grinsven, H.J.M. et al. 2012; INEMAD 2014). Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

3.2.1 Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Deutschland

In Deutschland werden die genannten EU-Richtlinien (siehe Kapitel 3.1.1) im Wesentlichen durch die Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) umgesetzt. Die Düngeverordnung ist das „zentrale Instrument des deutschen Aktionsprogramms zur Umsetzung“ der Nitratrichtlinie (Taube, F. et al. 2013). Die Düngeverordnung definiert die gute fachliche Praxis bzgl. der Düngieranwendung, Ausbringungszeiträume, Abstandsregelungen und Höchstmenge für Stickstoff, der über Wirtschaftsdünger ausgebracht werden darf. „Das zentrale Instrument (ist) ein Nährstoffvergleich für Stickstoff und Phosphat auf Basis der Flächenbilanz oder einer aggregierten Schlagbilanz“ (Taube, F. et al. 2013). Die Überschüsse von Stickstoff und Phosphat dürfen definierte Grenzwerte nicht überschreiten. Die Düngemaßnahmen sind von den Betriebsleitern zu dokumentieren (WBA, WBD, SRU 2013).

Die Wirksamkeit der Düngeverordnung ist alle vier Jahre zu evaluieren. Die EU-Kommission hat 2013 festgestellt, dass in Deutschland strengere Regelungen notwendig sind, um die Ziele der Richtlinie zu erreichen. Insbesondere die steigenden Nährstoffkonzentrationen im Grundwasser (Heißenhuber, A. et al. 2014) an vielen Messstellen zeigen, dass die bisherigen Regelungen nicht ausreichend sind. Die Vorschläge zur Anpassung der Düngeverordnung beziehen sich im Wesentlichen auf:

- Einbeziehung aller organischer Dünger (auch Gärreste) in die Obergrenze für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger
- Ermittlung des Düngebedarfs nach bundesweiteinheitlichen, „fachlich anerkannten Regeln und Methoden“
- Sanktionen bei Überschreitung der zulässigen Überschüsse
- Erstellung von flächenbezogenen Hoftorbilanzen (mittelfristig), kurzfristig Erstellung plausibilisierter Flächenbilanzen, „Erhöhung der Mindestanrechnungen von N-Ausscheidungen(...), Reduzierung der unvermeidlichen N-Überschüsse“
- „Präzisierung von Abstandsregelungen“
- Verlängerung von Sperrfristen
- Heraufsetzung von Mindestlagerkapazitäten

- Verkürzung des Zeitraums von der Ausbringung bis zur Einarbeitung
- Nutzung emissionsarmer Ausbringungstechniken innerhalb kürzerer Übergangsfristen (WBA, WBD, SRU 2013, Osterburg, B. & Techen, A. 2012, Taube, F. et al. 2013; Lehmann, N. 2014).

Die bevorstehende Neuregelung der Düngeverordnung – mit der Einbeziehung von Gärresten in die maximal ausbringbaren Mengen von Wirtschaftsdünger – wird in Deutschland wahrscheinlich den Druck auf einige Betriebe und Regionen erhöhen, Wirtschaftsdünger vermehrt aufzubereiten und zu exportieren. Der niedersächsische Landwirtschaftsminister hat darüber hinaus Überlegungen angestellt, die Tierhaltung einzuschränken und ein Düngekataster aufzubauen, um die Situation in Niedersachsen zu verbessern (Lehmann, N. 2014). Insgesamt wird jedoch damit gerechnet, dass sich die Situation in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen weiter verschärfen wird, da strengere Richtlinien in den Niederlanden einen Anstieg der Importe um 30% erwarten lassen. Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen haben deshalb einen Datenaustausch bzgl. grenzüberschreitenden Güllelieferungen vereinbart (Lehmann, N. 2014).

In Deutschland liegt der Fokus zur Reduzierung der Nährstoffausträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt derzeit in den meisten Regionen auf Techniken zur emissionsarmen Ausbringung und zur Verminderung der Verluste während der Lagerung (Abdeckung). Der Ausgleich von Wirtschaftsdünger wird in erster Linie über sog. Güllebörsen und einzelbetriebliche Kooperationen organisiert. Dabei wird Wirtschaftsdünger häufig unaufbereitet zu den aufnehmenden Betrieben transportiert bzw. über den „Umweg“ der Biogasherstellung als Gärrest aus diesen Anlagen. Als unaufbereiteter Wirtschaftsdünger wird i.d.R. Geflügelkot über weitere Strecken transportiert, da dieser mit geringem Wassergehalt auch ohne Aufbereitung transportwürdig ist. Aufbereitungsanlagen zur Minderung des Transportvolumens und Verbesserung der Nährstoffgehalte und -verfügbarkeit sind bisher kaum im Einsatz.

3.2.2 Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in den Niederlanden

Die Niederlande sind eines der Länder mit den höchsten Viehbesatzdichten in Europa (Wright, S. & Mallia, C. 2008). Zunehmende Umweltprobleme sowie Vorgaben der EU führten dazu, dass in den Niederlanden verschiedene Maßnahmen ergriffen wurden, um den Eintrag von Nährstoffen pro Flächeneinheit zu mindern. Neben den von der EU verpflichtend umzusetzenden Maßnahmen wurden bspw. folgende Regelungen festgelegt:

- Es wurde Vereinbarungen mit der Futtermittelindustrie getroffen, den Anteil von Phosphor und Proteinen in den Futtermitteln zu vermindern, um die P und N Ausscheidungen der Tiere zu reduzieren (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005).
- 1984 wurden neben der Milchquote weitere Produktionsquoten für Geflügel und Schweine eingeführt, wodurch ein weiterer Anstieg der Tierzahlen verhindert werden sollte (de Buissonje, F. 2013). Diese Rechte sind handelbar, können jedoch auch dazu genutzt werden, die Viehbesatzdichte zu reduzieren z.B. durch Rückkauf der Rechte durch den Staat. So hat in den Niederlanden bspw. der Staat zwischen 2001 und 2002 Produktionsrechte von ausscheidenden Landwirtschaftsbetrieben für ca. 10% des Schweinebestandes für 500 Milliarden € (0,5 Billion €) zurück gekauft (van Staalduinen

et al. 2002 in Sims, J.T. et al. 2005). Fraglich ist, wie sich die Tierzahlen nach Abschaffung der Produktionsrechte 2014/2015 entwickeln werden (de Buissonje, F. 2013).

- Der Transport organischer Dünger aus Überschuss- in Mangelregionen wurde erleichtert und subventioniert (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005). Als Überschussregionen gelten der Süden und der Osten des Landes, so dass die Nährstoffe vor allem in den Norden und Westen bzw. ins Ausland (Frankreich, Deutschland) transportiert werden (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005; Martinez, J. & Burton, C. 2003).
- Forschung und Beratung in diesem Bereich wurden wesentlich ausgebaut (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005). Die Umwelteffekte der Maßnahmen werden kontinuierlich evaluiert und gegebenenfalls Nachbesserungen veranlasst.
- Es wurden Monitoringsysteme installiert, die die Verteilung und den Export von Wirtschaftsdünger erfassen und überwachen (incl. Wiegen, GPS-Anwendungen, chemische Analysen des N und and P_2O_5 -Gehaltes jeder Fuhre).

1998 wurde MINAS (Mineral Accounting System) eingeführt. Wesentlicher Bestandteil von MINAS war die Einführung einer Abgabe auf überhöhte Nährstoffüberschüsse auf Basis einer Hoftorbilanz, in der alle Inputs und Outputs von N und P zu dokumentieren waren (Oenema, O et al. 2004a, b). Schrittweise wurden die Werte für abgabenfreie Überschüsse reduziert und ab 2001 bei Überschreitung von Grenzwerten die Vorlage von Düngeabnahmeverträgen gefordert. Wurden entsprechende Verträge nicht vorgelegt, wurde den Landwirtschaftsbetrieben die Lizenz der Tierhaltung für das folgende Jahr entzogen. Allerdings war die Entsorgung organischer Dünger für intensive Tierhaltungsbetriebe mit hohen Kosten verbunden (Westhoek, H. et al. 2004, S. 116). Insbesondere hoch spezialisierte Schweine- und Geflügelbetriebe mussten mit der Einführung von MINAS Wirtschaftsdünger exportieren, da die Grenzwerte für die Ausbringung von Stickstoff und Phosphor überschritten wurden (Schoumans, O.F. et al. 2010, S. 60). Schätzungsweise wurden 80% der Wirtschaftsdünger dieser Betriebe exportiert und nur 20% auf den eigenen Flächen ausgebracht (durchschnittliche Betriebsgröße: 10 ha) (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005, S. 25). Dadurch entstand ein zunehmender Druck auf den „Nährstoffmarkt“ und die Kosten für die „Entsorgung“ der Nährstoffe für die Betriebe stiegen auf ca. 5 bis 15 €/t, wobei ca. 5 bis 10€ für den Transport aufzuwenden und ca. 5€ an den aufnehmenden Ackerbaubetrieben zu zahlen war. Es wurde jedoch geschätzt, dass 10€/t zu hoch seien, um einen Schweine- oder Geflügelbetrieb ökonomisch stabil zu halten (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005 S. 19). In den aufnehmenden Regionen war der Überschuss an N und P aufgrund der Attraktivität Wirtschaftsdünger von tierhaltenden Betrieben aufzunehmen in den Jahren kontinuierlich angestiegen (Organisation for Economic Co-operation and Development 2005, S. 26).

MINAS wurde sowohl als Nährstoff-Managementinstrument auf betrieblicher Ebene als auch als regulatorisches Instrument des Staates zur Reduzierung der N und P Einträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt angesehen (Wright, S. & Mallia, C. 2008). Mit MINAS wurde ein Wechsel von einem System der Auflagen zu einem System der ökonomischen Anreize vollzogen (z.B. Baumol and Oates, 1988 in Organisation for Economic Co-operation and Development 2005). Der Erfolg von MINAS kann neben einer Reduktion der Nährstoffüberschüsse (RIVM 2004 zitiert in Organisation for Economic Co-operation and

Development 2005S. 24; Westhoek, H. et al. 2004, Oenema, O. et al. 2004b, S. 108) darin gesehen werden, dass viele Landwirte sich intensiv mit der Problematik auseinandersetzten (RIVM 2002 zitiert in 2004 in Organisation for Economic Co-operation and Development 2005, S. 31). Allerdings kam es auch zu heftigen Widerständen von Seiten der Landwirt gegen die entsprechenden Regelungen.

Da die Umsetzung der Nitrat-Richtlinie in den Niederlanden von der EU-Kommission jedoch als nicht ausreichend angesehen wurde (z.B. aufgrund fehlender Ausbringungsbeschränkungen für Stickstoff aus Wirtschaftsdünger im Rahmen des 1. Action Plans (1995-1999)), verpflichtete sich die niederländische Regierung zur Festsetzung von Stickstoffdüngungsstandards in Abhängigkeit der pflanzenbaulichen und bodenspezifischen Ansprüche und der Umsetzung des Ansatzes der Düngebilanz der Nitratrichtlinie. Gleichzeitig wurde MINAS 2006 außer Kraft gesetzt (RIVM 2004 zitiert in Organisation for Economic Co-operation and Development 2005, S. 19). Heute verfügen die Niederlande europaweit über eines der umfassendsten Systeme zur Erfassung und Kontrolle des Düngemittleinsatzes (Einarsson, P. o.J. S. 25; Martinez, J. & Burton, C. 2003).

Die meisten Schweine- und Geflügelbetriebe in den Niederlanden sind jedoch weiterhin hoch spezialisiert. Diese Betriebe kaufen die Futtermittel vollständig zu, während die Flächen zur Entsorgung der Wirtschaftsdünger und zum Anbau von Mais für angrenzende Milchviehbetriebe dienen (Schoumans, O.F. et al. 2010, S. 60). Typischerweise wird die Gülle zu Lagern oder landwirtschaftlichen Betrieben in den Norden der Niederlande (ca. 150 km Entfernung) transportiert. Ein weiterer Teil der Wirtschaftsdünger wird pasteurisiert und – vorwiegend nach Deutschland – exportiert (Foged, H. 2011c S.5). Hinsichtlich des Exportes von Wirtschaftsdünger aus den Niederlanden ergibt sich die Schwierigkeit, dass in Deutschland und Frankreich die Flächen zur Ausbringung der Nährstoffe ebenfalls abnehmen (de Buissonje, F. 2013). Geflügelbetriebe können den anfallenden Wirtschaftsdünger relativ leicht trocknen und exportieren, während Schweinebetriebe meist nicht über ausreichend Energie und Wärme zur Trocknung der Wirtschaftsdünger verfügen. Vielfach sind in den Niederlanden die Ausbringungsmengen für Phosphor der limitierende Faktor, so dass der Export von Phosphor dringend notwendig ist, um die aktuellen Tierzahlen weiterhin zu halten (de Buissonje, F. 2013; Oenema, O. 2013).

Bisher werden in den Niederlanden vorwiegend nicht aufbereitete Wirtschaftsdünger transportiert. Ursächlich hierfür ist, dass viele Landwirte in den Niederlanden daran gewöhnt sind, für die Abnahme unaufbereiteter Wirtschaftsdünger bezahlt zu werden, so dass es schwierig ist, die Landwirte davon zu überzeugen für aufbereitete Produkte zu bezahlen (Melse, R.W. & Verdoes, N. 2005). Im Norden Frankreichs hingegen bezahlen die Landwirte für die aufgenommenen Nährstoffe. Die Zahlungsbereitschaft beeinflusst auch die mögliche Transportentfernung (Leenstra, F. et al. 2014). Des Weiteren sind viele Landwirte für die Ausbringung flüssiger Dünger ausgestattet und müssen in neue Technik investieren, wenn feste Dünger auszubringen sind. Da der Markt aufbereiteter Düngemittel bisher sehr klein und sehr verteilt ist, können außerdem keine großen Mengen gehandelt werden (Melse, R.W. & Verdoes, N. 2005). In den Niederlanden wird des Weiteren der Einsatz emissionsarmer Ausbringungstechnik (Kostenanstieg 2-5€/t), so wie der Einsatz von GPS-Geräten und die Verwiegung des auszubringenden Wirtschaftsdüngers verlangt, was mit Investitionskosten und Kosten für den administrativen Aufwand verbunden ist (Oenema, O. 2004; INEMAD 2014).

2014 soll in den Niederlanden die Aufbereitung und der Export von Wirtschaftsdüngern verpflichtend eingeführt werden, dann muss Wirtschaftsdünger exportiert oder die Nährstoffe (Basis: P-Gehalt) zerstört werden (Internet 2014a). Der Schwerpunkt der Exporte wird in Deutschland, Frankreich und Belgien liegen und wird Geflügelwirtschaftsdünger und die feste Phase von separierter Schweinewirtgülle betreffen (Internet 2014b). Bisher werden vorwiegend folgende Technologien genutzt: Trocknung und Verbrennung von Geflügelmist, Vergärung und Pasteurisierung von Schweinegülle, Separierung von Flüssigmist und Export der festen Fraktion (Oenema, O. 2013). In der Diskussion ist auch noch eine weitere Beschränkung der Tierzahlen (de Buissonje, F. 2013).

Die Konsequenzen der niederländischen Politik sind in einer eingeschränkten Handlungsfreiheit der Landwirte, höheren Anforderungen an die Ausbildung und das Wissen der Landwirte, höhere Kosten für die „Entsorgung“ von Wirtschaftsdünger, steigendem Bürokratieaufwand, aber auch sinkenden Nährstoffverlusten und einer Erhöhung der Düngeeffizienz zu sehen. Des Weiteren können Milchviehbetriebe Vorteile gegenüber Mastbetrieben realisieren. Der Strukturwandel in der niederländischen Landwirtschaft ist jedoch auch verursacht durch die hohen Anforderungen des Düngemanagements angestiegen (mündliche Mitteilung Oenema, O. 2014).

3.2.3 Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Flandern/Belgien

Zur Umsetzung der Nitrat-Richtlinie wurde 1991 in Flandern/Belgien der Flemish Manure Decree erlassen. Im Rahmen der Aktionspläne I und II wurden folgende Maßnahmen festgelegt:

- Geringe Nährstoffgehalte in Futtermitteln
- Angepasste Düngung
- Einführung der Wirtschaftsdüngeraufbereitung (van Elsacker, S. 2013).

Verantwortlich für die Implementierung des Flemish Manure Decree ist die „Manure Bank“.

2005 mahnte die EU-Kommission eine unzureichende Umsetzung der Schutzgebietskulissen an, worauf in der Neufassung des Flemish Manure Decree 2007 die gesamte Fläche Flanderns als Schutzgebiet ausgewiesen wurde. 2010 befand die EU-Kommission wiederholt eine unzureichende Umsetzung der Nitrat-Richtlinie. 2011 wurde der neue Flemish Manure Decree beschlossen und in Kraft gesetzt.

Im Jahr 2000 wurde die Aufbereitung von Wirtschaftsdünger zur Reduktion der Nährstoffüberschüsse eingeführt. Seit 2007 schreibt der Flemish Manure Decree vor, dass übermäßig anfallender Wirtschaftsdünger großer tierhaltender Betriebe verpflichtend aufbereitet werden muss bzw. die Nährstoffe zu neutralisieren sind (Manure Decree) (Foged, et al. 2011b, S. 16; INEMAD 2014; VCM 2014). Die beim Aufbereitungsprozess anfallenden Nährstoffe sind in Defizitregionen außerhalb Flanderns zu exportieren (van Elsacker, S. 2013) bzw. ins angrenzende Ausland wie Frankreich, Deutschland oder die Niederlande zu überführen. Die Biogastechnologie wird nicht als Aufbereitung angesehen, solange der Nährstoffgehalt sich nicht vom Ausgangssubstrat unterscheidet und die Gärsubstrate auf landwirtschaftliche Flächen innerhalb Flanderns ausgebracht werden.

Die Aufbereitungsverpflichtung ergibt sich aus dem Stickstoffüberschuss der Betriebe pro Jahr. Sie wird jährlich von der Mestbank neu berechnet (Schollier, C. 2014 schriftliche Mitteilung).

Pro 1.000 kg Netto-Stickstoff-Überschuss pro Jahr sind 0,6% aufzubereiten („The manure processing obligation of a business unit in a certain year equals 0.6% for each 1.000 kg net N-surplus of that year“). In Abhängigkeit des übermäßigen regionalen Anfalls von Wirtschaftsdünger wird die Aufbereitungsverpflichtung ausgedehnt („This number is augmented by a certain percentage depending on the regional manure production pressure (kg N/ha“) (VCM 2014).

- $NPP^2 \leq 170$ kg N/ha \Rightarrow 10% + 0,6% per 1.000kg N-Überschuss
- $NPP > 170$ bis ≤ 340 kg N/ha \Rightarrow 20% + 0,6% per 1.000kg N-Überschuss
- $NPP > 340$ kg N/ha \Rightarrow 30% + 0,6% per 1.000kg N-Überschuss (van Elsacker, S. 2013).

Die Aufbereitungsverpflichtung ist auf max. 60% des Überschusses begrenzt. Liegt die Aufbereitungsverpflichtung bei weniger als 5.000 kg Stickstoff (netto), ist der Betrieb von der Verpflichtung befreit (VCM 2014). Die Betriebe können ihrer Aufbereitungsverpflichtung nachkommen, indem sie

- Manure processing certificate (MVC's) erhalten
- die Wirtschaftsdüngerproduktion einschränken
- dauerhaft die Tierhaltungsrechte und damit die Nährstoffemissionsrechte (nutrient emission rights) mindern („cancelling permanently the livestock rights“)

Wird die Verpflichtung nicht fristgerecht eingehalten, verhängt die Manure Bank ein Bußgeld von 2€/kg Stickstoff. Wird die Verpflichtung auch in den folgenden Jahren nicht eingehalten („in five years time after the first violation“), so steigt das Bußgeld auf 4€/kg Stickstoff.

Manure processing certificate (MVC's) werden für die Menge aufbereiteter Wirtschaftsdünger von der Manure Bank vergeben. Für jedes kg aufbereiteten Stickstoff wird ein MVC an den Betreiber der Aufbereitungsanlage zugeteilt, der diese entsprechend an die anliefernden Landwirte weitergibt (Schollier, C. 2014 mündliche Mitteilung). Es existieren Zertifikate für Geflügelwirtschaftsdünger und für Nicht-Geflügel-Wirtschaftsdünger. Die MVC's dienen zum Nachweis, dass die Betriebe ihren Aufbereitungsverpflichtungen nachgekommen sind. Die MVC's sind übertrag- und handelbar (Snauwaert, E. 2014 mündliche Mitteilung). Dies erhöht die Handlungsmöglichkeiten der Landwirte ihre Aufbereitungsverpflichtungen zu erfüllen. Über ein Internetportal (MestVerwerkingsCertificaten-loket, MVC-loket) können Landwirte und manure processors miteinander in Kontakt treten (van Geyten, J. et al. 2011). Möchte ein Landwirt seinen Tierbestand ausdehnen, so benötigt er zum einen die entsprechenden Tierhaltungsrechte (Tierhaltungsrechte in Abhängigkeit der Tierart). Übernimmt ein Landwirt Tierhaltungsrechte von einem anderen Betrieb, so werden i.d.R. 25% der Rechte vom Staat eingezogen. Dies kann umgangen werden, wenn der Landwirt sich zu einer Aufbereitung des Wirtschaftsdüngers von 125 % des durch die Aufstockung zusätzlich anfallenden Wirtschaftsdüngers verpflichtet. Eine Aufstockung kann auch ohne den Erwerb von Tierhaltungsrechten erfolgen, wenn der aufstockende Landwirt sich zu einer entsprechenden

² NPP = Manure-N Production Pressure of the Municipality (van Elsacker, S. 2013)

Wirtschaftsdüngeraufbereitung verpflichtet. Die Auflagen, die über die Aufbereitungsverpflichtung hinaus bestehen (z.B. ausgeglichene Nährstoffbilanz), müssen in beiden Fällen der Aufstockung eingehalten werden. Im Fall der Ausdehnung des Tierbestandes, ohne den Erwerb von Tierhaltungsrechten, darf der Landwirt darüber hinaus keine Tierhaltungsrechte in der Vergangenheit transferiert haben und dies in der Zukunft ebenso wie MPCs auch nicht tun (Schollier, C. 2014 schriftliche Mitteilung).

Neben den genannten Auflagen und ökonomischen Instrumenten wurde als kommunikatives Instrument eine Plattform zur Wissensvermittlung eingerichtet (VCM Flemish Coordination Centre für Manure Processing), die die besten und kostengünstigsten Wege der Wirtschaftsdüngeraufbereitung erfassen und verbreiten soll (Foged, et al. 2011b, S. 16).

3.2.4 Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Dänemark

Dänemark ist eines der Länder mit den höchsten Viehbesatzdichten und den weitgehendsten Regelungen zum Düngemanagement in der Region der baltischen See (Baltic Sea Region). Dänemark hat ein umfassendes Erfassungssystem der Düngemittel implementiert. So sind detaillierte Regelungen zur Erstellung von Nährstoffbilanzen (anzusetzende Nährstoffgehalte für verschiedene Arten von Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Düngern), Dokumentation und Bußgelder für Nährstoffüberschüsse festgelegt. Es ist eine verpflichtende Düngeplanung zu erstellen. Die Abgaben auf Nährstoffüberschüsse betragen 1-2€/kg N zuzüglich der Cross Compliance Sanktionen, d.h. einer Kürzung der Direktzahlungen. Da jegliche Aufzeichnungen jederzeit kontrolliert werden können, besteht eine relativ hohe Gefahr, dass Verstöße entdeckt und sanktioniert werden (Einarsson, P. o.J.).

Auf Basis der Anbauplanung (Kulturart, Flächenumfang), Anzahl und Art der gehaltenen Tiere, Eigenschaften des Bodens und anderer Faktoren, wird jedem Betrieb pro Jahr eine ausbringbare Menge an Stickstoff (nitrogen quota) zugewiesen. Diese Menge beträgt jedoch nur 90% des ökonomisch optimalen Wertes (Einarsson, P. o.J. S. 25f.; INEMAD 2014; van Grinsven 2012). Des Weiteren wird in Dänemark der Anbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten (Catch Crops) auf 6 bis 10% der Betriebsfläche und der Anbau von Winterzwischenfrüchten auf 2/3 der Betriebsfläche gefordert.

Die dänischen Regelungen weisen den Nährstoffen in Wirtschaftsdünger eine hohe Verfügbarkeit zu. So wird bspw. davon ausgegangen, dass 75% des Stickstoffs in Schweinegülle verfügbar ist (25% Verlust), in Deutschland wird ein Wert von 60% pflanzenverfügbarer Stickstoffs angenommen. Dies führt dazu, dass dänische Landwirte die Gülle möglichst emissionsarm ausbringen, um den Nährstoffverlust gering zu halten. Es wird die beste verfügbare Technologie eingesetzt (Baek Jensen 2005 in Einarsson, P. o.J. S. 25f.). Für Hobbygärtner werden in Dänemark Steuern auf Stickstoffdünger erhoben. Die Landwirtschaft ist von dieser Steuer ausgenommen (Einarsson, P. o.J.).

Die Stickstoffüberschüsse konnten in Dänemark in den Jahren zwischen 1988 und 2007 um ein Drittel reduziert werden (Einarsson, P. o.J. S. 25f), ebenso wie die Auswaschung von Stickstoff um 50% (INEMAD 2014). Dabei wurden die Tierbestände insgesamt nicht reduziert (INEMAD 2014) und die Stickstoffeffizienz konnte von 27% auf 37% erhöht werden (Olsen & Vinther 2008 in Einarsson P. o.J. S. 25f). Der Erfolg der dänischen Maßnahmen wird vor allem der gestiegenen Stickstoffeffizienz, dem effizienteren Einsatz von Wirtschaftsdünger und der

maximal erlaubten Düngung unterhalb des ökonomischen Optimums zugeschrieben (Einarsson P. o.J.).

3.2.5 Zusammenfassender Überblick über die Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten

Im Folgenden werden die Regelungen in den unterschiedlichen Mitgliedsstaaten zusammenfassend dargestellt.

Tab. 24 zeigt die im Rahmen der Umsetzung der Nitrat-Richtlinie definierten Auflagen in einigen Mitgliedsstaaten der EU. Es zeigt sich, dass einige Maßnahmen – insbesondere die Düngeplanung – im Großteil der betrachteten Staaten definiert sind. Hingegen sind Maßnahmen, die nach der Ernte umgesetzt werden oder eine Begrenzung des Viehbesatzes beinhalten, nur in wenigen Mitgliedsstaaten definiert.

Tab. 24: Begrenzung der Ausbringung von mineralischen und Wirtschaftsdüngern in nationalen Regelungen zur Umsetzung der Nitrat-Richtlinie

	DK	BFL	F	D ¹⁾	UK	NL	IRL
Betriebliche Maßnahmen							
Düngeplanung							
Aufzeichnungspflicht	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Bodenuntersuchungen	ja	ja		ja		ja ²⁾	
Düngung							
Eingeschränkte Ausbringungszeiträume für Wirtschaftsdünger/mineral. Dünger ³⁾	ja	ja	ja ⁴⁾	ja	ja	ja	ja
Emissionsarme Ausbringung	ja	ja				ja	
Verbot der Wirtschaftsdüngerausbringung auf gefrorenen, schneebedeckten und wassergesättigten Boden	ja	ja	ja ⁴⁾	ja	ja	ja	ja
ungedüngte Gewässerrandstreifen ⁵⁾	ja ⁶⁾	ja	ja ⁴⁾	ja	ja	ja	ja ⁷⁾
Maßnahmen nach der Ernte							
Untersaat/Zwischenfrucht (Catch Crops)	ja		ja ⁴⁾			ja	
Keine Bodenbearbeitung um Herbst	ja						ja ⁸⁾
Andere Politikmaßnahmen							
Max. Begrenzung des Viehbestandes	ja						
Max. Begrenzung des N und P Einsatzes							
Wirtschaftsdünger	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Gesamt-Stickstoff (Wirtschaftsdünger + mineral. Dünger)	ja	ja	ja ⁴⁾		ja	ja	ja
Max. Überschuss an N und P				ja			
Max. Gehalt an mineralischen N im Boden im Herbst		ja	ja ⁹⁾	ja ¹⁾			

Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdünger

DK = Dänemark; BFL = Belgien/Flandern; FR = France; GE = Germany; UK = United Kingdom; NL = The Netherlands; IRL = Ireland

1 Umsetzung variiert zwischen den Bundesländern, z.B. max. Gehalt an mineralischem N im Boden im Herbst nur in Baden-Württemberg

2 In den Niederlanden für Betriebe mit Derogation. In Belgien/Flandern ab 2013 für Flächen, die den Grenzwert für mineralisches N im Boden im Herbst überschreiten

3 Für flüssigen Wirtschaftsdünger im Allg. zwischen September/Okttober und Februar

4 In einigen Departments innerhalb der NVZs, z.B. Untersaaten/Zwischenfrüchte (catch crops) in den westlichen Regionen (Bretagne und Normandy)

5 Große Variationen in Weite und Länge der ungedüngten Zone

6 Von 2 auf 10 m zunehmend ab 2012

7 Keine Düngung innerhalb eines 2 Meter breiten Streifens entlang von Oberflächengewässern

8 Pflügen zwischen Juli und November wenn eine Eingrünung als Einsaat innerhalb von 6 Wochen nach dem Pflügen erfolgt

9 in kleinen, sehr sensiblen Gebieten (z.B. Küstengebiet)

Quelle: van Grinsven nach Dijk and Berge 2009

Die Darstellung der Regelungen in unterschiedlichen Mitgliedsstaaten der EU zeigt, dass neben den von der EU verpflichtend vorgegebenen Regelungen, eine Vielzahl länderspezifischer Maßnahmen definiert wurde. So fokussieren z.B. die Niederlande und Belgien/Flandern ihre Maßnahmen auf die Aufbereitung und den Export von Wirtschaftsdünger, während z.B. Dänemark die Effizienzsteigerung des Düngemitelesinsatzes vorantreibt. In allen Ländern kommt ein Mix der Instrumente zum Einsatz (siehe Kapitel 3.1.2). Allerdings ist anzumerken, dass in Deutschland die Zielerreichung der Nitrat-Richtlinie vor allem durch die Schaffung positiver Anreize erfolgen soll. Auflagen sind meist mit geringen/keinen Sanktionen belegt, so dass kaum eine lenkende Wirkung erreicht werden kann und auch die Inanspruchnahme kommunikativer Instrumente basiert häufig auf freiwilliger Basis. Hingegen sind in Ländern wie die Niederlande, Flandern/Belgien und Dänemark strenge Auflagen definiert, deren Umsetzung durch das Angebot von positiven ökonomischen Anreizinstrumenten und kommunikativen Instrumenten flankiert wird. Die Übertragung von Regelungen eines Landes auf ein anderes ist jedoch häufig kaum möglich. Dies hängt mit den unterschiedlichen natürlichen Rahmenbedingungen, aber auch mit der Pfadabhängigkeit von Politiken zusammen (Jakobsson, C. et al. 2002).

Die Gestaltung der Politik des Düngemanagements lässt nach Einarsson einige allgemeine Schwachpunkte erkennen:

- Adressierung der Symptome und nicht der Ursachen der Nährstoffproblematik, z.B. durch Fokussierung auf den Wirtschaftsdünger anstatt auf den Nährstoffinput in den landwirtschaftlichen Betrieb
- Unterschätzung des Problems der Stickstoffanreicherung in den Ökosystemen

- Keine Infragestellung der aktuellen landwirtschaftlichen Produktionstechnologien (Einarsson P. o.J.).

Festzuhalten ist, dass die erwünschten Erfolge der Politik zur Reduzierung der Nährstoffüberschüsse bisher noch nicht ausreichend realisiert wurden. Vielmehr verschärft sich in vielen Regionen (auch in Deutschland) die Situation und macht den Einsatz weiterer bzw. weitergehender Instrumente notwendig. In Deutschland wird daher die Düngeverordnung überarbeitet, wobei der Erfolg der neuen Regelungen erst in einigen Jahren zu beobachten sein wird.

4 Entwicklung von Szenarien eines überbetrieblichen und überregionalen Nährstoffausgleichs auf Basis der Wirtschaftsdüngeraufbereitung in Deutschland

Im folgenden Kapitel werden die Rahmenbedingungen des überbetrieblichen/ überregionalen Wirtschaftsdüngerausgleichs dargestellt und diskutiert, welche Konsequenzen die Änderungen dieser Rahmenbedingungen in Bezug auf die Wirtschaftsdüngeraufbereitung auf einzelbetrieblicher Ebene hätten. Hierfür wird in einem ersten Schritt ein Referenzbetrieb definiert. Im Weiteren werden bzgl. folgender Szenarien detaillierte Berechnungen durchgeführt:

- Aufhebung des Vollzugsdefizits der Düngeverordnung
- Verpflichtende Aufbereitung von Wirtschaftsdünger
- Realisierung von technischem Fortschritt
- Verteuerung von Substituten

Zuvorderst wird empfohlen, die Vollzugsdefizite in der Düngeverordnung aufzuheben, da davon ausgegangen werden kann, dass eine konsequente Einhaltung der Auflagen die Problematik der Nährstoffüberschüsse schon wesentlich entspannen könnte. Als weitere Option wird die Verpflichtung zur Wirtschaftsdüngeraufbereitung, wie sie bereits in den Niederlanden und Flandern/Belgien existiert, betrachtet. Da durch den technischen Fortschritt die Kosten der Aufbereitung reduziert werden könnten, widmet sich Szenario 3 der Verbesserung der technischen Aspekte bzw. dem überbetrieblichen Einsatz der Aufbereitungstechnologie. Des Weiteren wird betrachtet, welche Wirkungen die Verteuerung mineralischer Düngemittel haben kann, da diese maßgeblich den Wert der erzeugten Produkte der Aufbereitung beeinflussen.

Zur Bewertung der einzelbetrieblichen Auswirkung von Politikmaßnahmen, die zu einem überregionalen Wirtschaftsdüngerausgleich führen sollen, wird davon ausgegangen, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen so gewählt sind, dass durch ihre Umsetzung ein solcher Ausgleich realisiert wird. Eine wirtschaftliche Darstellung des überregionalen Ausgleichs ohne gesetzliche Verschärfungen ist unwahrscheinlich bzw. nur durch wesentliche Kostensenkung der Technologie erreichbar.

4.1 Definition der Referenzsituation

Für die ökonomische Abschätzung der Auswirkungen des Wirtschaftsdüngerausgleichs werden Betriebseinheiten zur Schweinemast mit der Größe von knapp 4.400 Mastplätzen betrachtet. Dafür wird der in Tab. 25 detaillierte dargestellte Beispielbetrieb zum Vergleich herangezogen. Die Gülle des Betriebes wird für die Aufbereitung zu einer zentralen Aufbereitungsanlage transportiert oder in einer überbetrieblichen Lösung direkt am Betrieb aufbereitet. Die Transportentfernung zur Aufbereitungsanlage sind im Posten „erhöhter Transportaufwand“ mit eingerechnet.

Tab. 25: Definition des Referenzbetriebes - Schweinemast

Mastbetrieb: 4.336 Stallplätze, 800 g Tageszunahmen, NP-Reduzierte Fütterung			Quelle, Erläuterung
Mittlerer Jahresbestand	3.564	Mastschweine	= 83 % von „belegte Stallplätze“
Stickstoffausscheidung (N)	11,2	kg/belegtem Stallplatz	DüV, 2012
Phosphatausscheidung (P ₂ O ₅)	5,4	kg/belegtem Stallplatz	LfL, 2013
Kaliumausscheidung (K ₂ O)	6,3	kg/belegtem Stallplatz	LfL, 2013
Anfall Gülle je Stallplatz	1,5	m ³ /belegtem Stallplatz	DüV, 2012
Anfall Gülle gesamt	5.346	m ³ /Jahr	berechnet
der Ausbringung anzurechnender Stickstoff	70	% der N-Ausscheidung	DüV, 2012
Deckungsbeitrag	47	€/belegtem Stallplatz	LfL, 2014

Die Schweinemastanlage mit 4.336 Stallplätzen erreicht einen mittleren Jahresbestand von 3.564 Schweinen. Dies ergibt eine Auslastung von 83 %. In gut geführten Praxisbetrieben ist eine Auslastung von über 90 % möglich. Der angesetzte Wert von 83% ergibt sich aufgrund der Vorgaben der Düngeverordnung (DüV, 2012). Dort wird unter den angenommenen Ausgangswerten von 800 g Tageszunahmen bei NP-Reduzierter Fütterung vorgegeben, dass die Werte für den Nährstoffanfall nur für einen jährlichen Zuwachs von 240 kg pro „belegtem Stallplatz“ gültig sind. Der Begriff „belegter Stallplatz“ ist in der Begriffsdefinition der Düngeverordnung nicht eindeutig festgelegt. Bei großzügiger Auslegung des Gesetzes könnte bei dem dargestellten Referenzbetrieb die Anzahl der belegten Stallplätze somit auch auf 3.564 festgesetzt werden. Das hätte eine Reduzierung der Gülle- und Nährstoffmengen auf 83 % des Ausgangswertes zur Folge. Die Düngeverordnung legt die für die landwirtschaftlichen Nutztiere anzusetzenden Stickstoffausscheidungen fest. Für den Referenzbetrieb werden 11,2 kg Stickstoff pro belegtem Stallplatz vorgegeben. Werte für die Nährstoffausscheidung von Phosphat und Kalium finden sich in der Düngeverordnung nicht. Deshalb wurden diese Daten aus den Leitlinien der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Berechnung von Nährstoffbilanzen entnommen (LfL, 2013). Die Menge der ausgebrachten Nährstoffe ergibt sich, indem von den ausgeschiedenen Nährstoffen die Verluste für Lagerung und Ausbringung abgezogen werden. Die Düngeverordnung setzt einen Wert von 30% für zu berücksichtigende Verluste an, so dass 70% des ausgeschiedenen Stickstoffs als ausgebrachter Stickstoff gewertet werden. In Dänemark liegt dieser Wert für Schweinegülle bei 75%. Der Gülleanfall pro belegtem Stallplatz wird nach Düngeverordnung auf 1,5 m³ festgelegt. Dieser Wert erscheint für hohe Trockensubstanz-Gehalte der Schweinegülle als angemessen. Richtwerte der LfL (2013) zeigen einen Anfall von 2,5 m³ Schweinegülle pro Stallplatz und Jahr bei einem Trockensubstanzgehalt von 5 %. Auch hier wird darauf hingewiesen, dass in der Praxis je nach technischer Ausführung von Stallung und Fütterung unterschiedliche Volumina an Wirtschaftsdünger anfallen. Für die Berechnung des Deckungsbeitrages pro belegtem Stallplatz wurde der Deckungsbeitragsrechner der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft verwendet (LfL, 2014).

An den Referenz-Mastbetrieb ist ein Ackerbaubetrieb angegliedert. Auf diesen Flächen kann der anfallende Wirtschaftsdünger verwertet werden. Die relevanten Kennzahlen des Ackerbaubetriebes sind in Tab. 26 dargestellt. Zur Vereinfachung der Berechnung wurde angenommen, dass die Fruchtfolge aus 100 % Winterweizen besteht.

Tab. 26: Definition des Referenzbetriebes - Ackerbau

Ackerbaubetrieb: 200 ha, 100 % Winterweizen			Quelle, Erläuterung
Fläche in 10 km Entfernung	100	Hektar	Mittlere Distanz
Fläche in 50 km Entfernung	100	Hektar	Große Distanz
Kornertrag	90	dt/ha	Stroh: keine Verwertung
Stickstoffbedarf (N)	1,81	kg/dt Kornertrag	DüV, 2012
Phosphatbedarf (P ₂ O ₅)	0,8	kg/dt Kornertrag	LfL, 2013
Kaliumbedarf (K ₂ O)	0,6	kg/dt Kornertrag	LfL, 2013
Preis für Stickstoffdünger (N)	1,08	€/kg N	LfL, 2014
Preis für Phosphatdünger (P ₂ O ₅)	1,12	€/kg P ₂ O ₅	LfL, 2014
Preis für Kaliumdünger (K ₂ O)	0,78	€/kg K ₂ O	LfL, 2014

Die 200 Hektar bewirtschaftete Fläche befindet sich zur Hälfte in einer Entfernung von 10 km, zur anderen Hälfte in einer Entfernung von 50 km. Diese Situation wurde konstruiert, um aufzuzeigen, dass bei höheren Transportentfernungen die innerbetriebliche Wirtschaftsdüngerverwertung nur auf den hofnahen Flächen wirtschaftlich sein kann. Die Werte für den Nährstoffbedarf der Nutzpflanzen sind aus der Düngeverordnung oder den Richtlinien der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zur Erstellung der Nährstoffbilanz entnommen. Die Preisansätze für die Pflanzennährstoffe wurden aus den Daten des LfL-Deckungsbeitragsrechners übernommen (LfL, 2014).

Tab. 27: Innerbetriebliche Nährstoffsituation des Referenzbetriebes

	Mögliche Aufbringung (DüV)	Tatsächliche Aufbringung	Entzug durch Getreideernte
Stickstoff (N)	34.000 kg	34.000 kg	32.580 kg
Phosphat (P ₂ O ₅)	18.400 kg	23.414 kg	14.440 kg
Kalium (K ₂ O)	k. A.	27.317 kg	10.800 kg

Quelle: eigene Berechnung

Aus der Tierhaltung ergibt sich die in Tab. 27 dargestellte innerbetriebliche Nährstoffsituation. Die Aufbringung des Stickstoffs überschreitet bereits den Entzug von Nährstoffen, die mit der Getreideernte abgefahren werden. Addiert man unvermeidliche Stickstoffverluste in Höhe von 40 kg N pro Hektar dazu, so müsste dann allerdings eine theoretische Menge von 4.580 kg Stickstoff in Form von Mineraldünger zugekauft werden. Der tatsächliche Wert für den Zukauf dürfte in der Praxis weit höher liegen, da eine Nutzungseffizienz von 70 % für organischen Stickstoff, wie in der Düngeverordnung angenommen, in der Regel nicht erreicht wird. Für Phosphor liegt die tatsächliche Aufbringung des Betriebes über der möglichen Aufbringung nach Düngeverordnung, die einen maximalen Bilanzüberschuss von 20 kg P₂O₅ im Durchschnitt mehrerer Jahre erlaubt. Da die Überschreitung des Bilanzüberschusses nicht als Ordnungswidrigkeit eingestuft ist, kann der Betrieb ohne ernsthafte Konsequenzen diesen Wert überschreiten. Die Aufbringung an Kalium überschreitet den Entzug um den Faktor 2,5. Die Düngung nach guter fachlicher Praxis müsste sich auch für diesen Nährstoff an den Bedarf orientieren. Somit wäre eine starke Reduktion der Kalidüngung notwendig. Da eine überhöhte

Kaliumdüngung mit Ausnahme einer versalzenden Wirkung des Bodens keine weiteren negativen Umweltauswirkungen mit sich bringt, auf dem der Fokus der Öffentlichkeit liegt, findet dieser Makronährstoff in der Düngeverordnung eine nur untergeordnete Beachtung.

Tab. 28: Annahmen zur Güllelogistik des Referenzbetriebes

	Kosten	Einheit	Berechnungsgrundlage
Ausbringung Gülle	2,9	€/m ³ ausgebrachte Gülle	KTBL, 2014
Lagerung Gülle	0,9	€/m ³ für 6 Monate	KTBL, 2014
Gülletransport Traktor	0,3	€/t*km	KTBL, 2014
Gülletransport LKW nah	0,15	€/t*km	KTBL, 2014
Gülletransport LKW fern	0,10	€/to*km	

Weitere Annahmen die Lagerung, den Transport und die Ausbringung der Gülle betreffend sind vorzunehmen, um eine Bewertung der ökonomischen Auswirkungen zu ermöglichen. Hier wurden die in Tab. 28 dargestellten Werte auf der Grundlage der Planungsdaten des KTBL (2014) berechnet. Die Praxiswerte können im Vergleich dazu abweichen, vor allem die Kosten für Transport können geringer ausfallen, wenn für die gefahrene Strecke eine Rückfracht möglich ist.

4.2 Novellierung der Düngeverordnung

Bevor zusätzliche gesetzliche Regelungen in Betracht gezogen werden, wird an dieser Stelle die Umsetzung und Wirksamkeit bestehender Regelungen diskutiert. So enthält die aktuelle Düngeverordnung Regelungen, deren Umsetzung als mangelhaft bezeichnet werden kann. Bspw. zieht ein Verstoß gegen die Bestimmungen bzgl. der maximalen Bilanzierungsüberschüssen für Stickstoff und Phosphat keine entsprechenden Sanktionen nach sich, da diese nicht als Ordnungswidrigkeit eingestuft werden. Es kann lediglich die Inanspruchnahme von Beratung verordnet werden. Des Weiteren wird bemängelt, dass Wirtschaftsdünger pflanzlichen Ursprungs nicht unter die Düngeverordnung fällt und somit eine Ausbringung von organischem Stickstoff über die festgelegte Grenze hinaus möglich ist. Die ungleiche Behandlung von Wirtschaftsdünger tierischen und pflanzlichen Ursprungs ist argumentativ nicht zu hinterlegen, da hier dieselben, negativen Umweltauswirkungen entstehen können. Die Grundsätze der Anwendung von Wirtschaftsdünger unter § 3 der Düngeverordnung regeln auch, dass der Nährstoffbedarf vor der Anwendung von Düngemitteln und Wirtschaftsdüngern zu ermitteln ist und ein Gleichgewicht zwischen Nährstoffbedarf und Nährstoffversorgung gewährleistet sein muss. Die Grenze für die Ausbringmenge von 170 kg organischem Stickstoff pro Hektar Ackerland oder 230 kg pro Hektar Grünland wird jedoch nicht schlagbezogen betrachtet, sondern gilt für den Gesamtbetrieb. Theoretisch wäre unter Einhaltung dieser Regelung die Ausbringung der kompletten anfallenden Menge an Wirtschaftsdünger auf wenige Schläge, die z.B. der Hofstelle am nächsten liegen, möglich.

Für den dargestellten Referenzbetrieb (4.336 Mastplätze, 200 ha Ackerland) wird nun angenommen, dass die gesetzliche Regelung so ausgestaltet wird, dass eine Ausbringung des Wirtschaftsdüngers zukünftig gleichmäßig auf die einzelnen Flurstücke zu erfolgen hat (schlagbezogene Ausbring-Obergrenze). Bisher hat der Landwirtschaftsbetrieb den gesamten

Wirtschaftsdünger auf den hofnahen Flächen mit durchschnittlich 5 km Transportentfernung entsorgt. Auf diesen Flächen wurden somit 340 kg Stickstoff pro Hektar appliziert. Durch die Forderung einer schlagbezogenen Ausbring-Obergrenze entstehen höhere Kosten für den Transport des Wirtschaftsdüngers. Die konkreten Berechnungen sind in Tab. 29 dargestellt. Dem zugrunde liegen die Daten des Referenzbetriebes, der bei der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers nur auf die hofnahen Flächen 53.460 Tonnenkilometer zu transportieren hat. Dabei wurden Kosten von 0,15 €/t*km für eine Entfernung von bis zu 20 km angenommen. Diese Transportkosten kommen unter der Annahme zustande, dass der LKW mit einem Stundensatz von 75 € und 25 Tonnen Nutzlast, 40 km Transportentfernung je Stunde ohne Rückfracht leistet. Für Entfernungen, die über 20 km hinaus transportiert werden, reduzieren sich die Transportkosten auf 0,10 €/t*km, was einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 60 km/h entspricht. Beladung und Entladung werden dem Ausbringverfahren zugerechnet, damit die Kilometersätze eine Änderung der Transportentfernung direkt abbilden. Für die Ausbringung der Gülle nur auf die hofnahen Flächen fallen somit Transportkosten in Höhe von 8.019 € an. Unter der Annahme, dass auch die weiter entfernten Flächen mit Wirtschaftsdünger bedient werden, steigen die zu transportierenden Tonnenkilometer auf 160.380 t*km an. Die Hälfte davon, also 80.190 t*km werden mit den Kosten für Transporte von mehr als 20 km Transportentfernung, also 0,10 €/t*km multipliziert und verursachen Transportkosten von 20.048 €, was einer Kostensteigerung von 22.828 € entspricht.

Tab. 29: Auswirkungen einer schlagbezogenen Ausbring-Obergrenze

	Kosten (-) / Einsparung (+)	Ein-heit	Erläuterung
Zus. Transportkosten gleichmäßige Verteilung	-12.028	€/Jahr	
Einsparung N-Düngerkauf	3.672	€/Jahr	20 % höhere N-Nutzungseffizienz
Einsparung P ₂ O ₅ -Düngerkauf	4.043	€/Jahr	50 % höhere P-Nutzungseffizienz
Einsparung K ₂ O-Düngerkauf	2.106	€/Jahr	50 % höhere K-Nutzungseffizienz
Leistungs-Kosten-Differenz	-2.207	€/Jahr	

Quelle: eigene Berechnung

Durch die organische Düngung bisher ausschließlich mineralisch gedüngter Flächen, ergeben sich jedoch auch Vorteile. So wird eine höhere Nutzungseffizienz der Düngung erreicht. Für Stickstoff wurde dieser Wert auf 20 % festgelegt, für P₂O₅ und K₂O auf jeweils 50 %. Den gestiegenen Transportkosten werden Einsparungen beim Düngerkauf von 9.821 € gegenübergestellt. Dadurch reduziert sich der ökonomische Verlust des Landwirts auf ca. 2.200 € pro Jahr. Es zeigt sich allerdings, dass es unter den aktuellen Regelungen ökonomisch vorteilhaft ist, höhere Nährstoffverluste in Kauf zu nehmen und den Wirtschaftsdünger nur auf die hofnahen Flächen auszubringen. Bei geringerer Nährstoffkonzentration in der Gülle wird dieser Wert noch weiter verschlechtert.

Vollzugsdefizite sind des Weiteren bei der Durchsetzung der erlaubten Bilanzüberschüsse ersichtlich. Für den vorgestellten Referenzbetrieb würde voraussichtlich die Phosphor-Bilanz limitierend wirken. In Tab. 30 sind die entsprechenden Daten dargestellt. Der bestehende Anfall an P_2O_5 überschreitet den Bedarf zzgl. des erlaubten Bilanzüberschuss von 20 kg/ha wesentlich. Sollte keine andere Option zur Reduktion der Phosphor-Überschüsse zur Verfügung stehen, muss der Bestand an Mastschweinen so reduziert werden, dass damit die bestehende Differenz von 5.014 kg P_2O_5 zwischen vorhandenem Anfall und erlaubter Ausbringung ausgeglichen wird. Bei einer Ausscheidung von 5,4 kg P_2O_5 pro belegten Mastplatz und Jahr, ergibt das eine Bestandesreduktion von 929 Mastschweinen. Zusätzlich muss der Betrieb mehr Mineraldünger zukaufen, da weniger Stickstoff für die Versorgung der Pflanzen aus dem Wirtschaftsdünger zur Verfügung steht.

Tab. 30: Organisatorische Auswirkungen von wirksamen Bilanz-Obergrenzen

	Umfang	Einheit	Erläuterung
vorhandener P-Anfall	23.414	kg P_2O_5	3.564 mittl. Jahresbestand an Mastschweinen
erlaubter P-Aufbringung	18.400	kg P_2O_5	Grenze bei max. 20 kg P-Überschuss
Reduktion der belegten Stallplätze	929	belegte Stallplätze	
zusätzlicher N-Düngerzukauf	2.080	kg N/Jahr	bei 20 % Nutzungseffizienz

Quelle: eigene Berechnung

Der ökonomische Verluste aus der Bestandesreduktion würden sich auf etwa 45.000 € jährlich belaufen. Des Weiteren ist zusätzlicher Mineraldünger für 3.370 € einzukaufen. In der Summe ergibt sich daraus ein Verlust von gut 47.000 € jährlich (siehe Tab. 31).

Tab. 31: Ökonomische Auswirkungen von wirksamen Bilanz-Obergrenzen

Posten	Kosten	Einheit
Verluste aus Bestandsreduktion	- 43.644	€/Jahr
zusätzl. Kosten aus zusätzlichem Düngerkauf	- 2.246	€/Jahr
Leistungs-Kosten-Differenz	-45.890	€/Jahr

Quelle: eigene Berechnung

Es kann angenommen werden, dass in der Praxis der Betriebsleiter versuchen wird, diesen Verlust, der durch die Abstockung entstehen würde, zu verhindern. Eine mögliche Lösung wäre, einen Teil der Schweinegülle zu separieren und in ein Ackerbauggebiet zu transportieren. Es wird die Annahme getroffen, dass das Ackerbauggebiet 100 Kilometer entfernt ist. Für die transportierten Nährstoffe kann kein Erlös erzielt werden. Beim Export von Rohgülle müssten bei einem P-Gehalt von 2,1 kg P_2O_5 (LfL, 2013) in der Rohgülle insgesamt 2.388 m³ Gülle 100 km transportiert werden. Daraus würden sich Kosten von 26.268 € für den Betrieb bei 0,15 €/t*km für die ersten 20 km, und 0,10 €/t*km je zusätzlichem km ergeben. Dazu kommen Kosten für den zusätzlich erforderlichen Stickstoffkauf. Diese belaufen sich auf 1.960 € bei 3,8 kg N/m³ Gülle, 1,08 €/kg N und 20 % Nutzungseffizienz. In der Summe ergibt sich eine Leistungs-Kosten-Differenz von 29.208 €. Dem wird die Lösung der Separation gegenübergestellt. Dazu wäre eine Dekantierzentrifuge als technische Lösung denkbar, da hier

die Kosten pro kg abgeschiedenem Phosphat neben der Pressschnecke am geringsten erscheinen und zugleich die Konzentration an Phosphat pro Tonne separiertem Feststoff am höchsten ist. Die in Kapitel 4 aufgeführten Kosten für die Abscheidung können in diesem Fall nicht angesetzt werden, da der Betrieb im Vergleich zur Vollauslastung der Technik nur geringe Mengen aufbereiten wird, und somit eine mobile Lösung die wirtschaftlichste Alternative wäre. Bei einem P-Gehalt pro Tonne separierten Feststoff von 9,5 kg P₂O₅ muss der Betrieb 527 Tonnen Feststoff exportieren. Nach Einsatz der Dekantierzentrifuge finden sich 17 % der Ausgangsmasse in der festen Phase, somit müssen 3.105 m³ Gülle behandelt werden, woraus 527 Tonnen Feststoff separiert werden. Im vorliegenden Beispiel wird davon ausgegangen, dass 1 m³ behandelte Gülle Kosten in Höhe von 1,5 € verursacht. Die Zusammenfassung für die betriebliche Lösung „Separation und Export der Festphase“ ist in Tab. 32 dargestellt.

Tab. 32: Kennzahlen der Bilanz-Obergrenze und dem Export von separiertem Feststoff

Posten	Umfang	Einheit	Erläuterung
zu separierende Rohgülle	3.105	m ³ /Jahr	
Kosten der Separation	1,5	€/m ³	
Transportmenge	527	t/Jahr	
Transportentfernung	100	km	Annahme
Einsparung Ausbringung	2,86	€/m ³	für 527 m ³
exportierter Stickstoff	2.371	kg N	bei 40 % Nutzungseffizienz

Quelle: eigene Berechnung

Der Stickstoffgehalt des exportierten Feststoffes beträgt 4,5 kg/t. Somit werden vom Betrieb 2.371 kg Stickstoff und auch Kalium exportiert. Da der Bilanzüberschuss von Kalium im vorliegenden Beispiel höher als der des Phosphats ist, wird hierfür kein zusätzlicher Mineraldüngerkauf angesetzt. Im Gegensatz dazu muss für den Stickstoff ein negativer Substitutionswert eingerechnet werden. Bei einer angenommenen Nutzungseffizienz von 40 % und einem Preis für Stickstoff von 1,08 € netto, sind zusätzliche Ausgaben in Höhe von 1.024 € notwendig (Tab. 32). Die Separation verursacht jährlich Kosten in einer Höhe von 4.782 €. Die Aufwendungen für den Transport belaufen sich auf jährlich 5.797 €.

Die vierte Möglichkeit zum überregionalen Nährstoffaustausch besteht im Transport der Dickgülle (Kowalewsky, 2013a). Es wird angenommen, dass durch die Untenentnahme im Lagerbehälter keine zusätzlichen Kosten anfallen. Der Phosphatgehalt der Dickgülle beläuft sich auf 4,0 kg/m³ Gülle. Somit reduziert sich der Transportaufwand für die zu exportierende Nährstoffmenge für 100 km auf 1.254 m³ und 13.789 € jährlich. Dazu kommen die Kosten für den zusätzlichen Mineraldüngerkauf von 2.194 € jährlich. Diese Maßnahme ist mit 15.983 €/Jahr für die angenommene Situation gegenüber der Aufbereitung mittels Dekanter schlechter gestellt. Sollten aber die für die geringen Kosten der Aufbereitung mittels Dekanter aufgrund geringerer Aufbereitungsmengen nicht realisiert werden können, kann diese Lösung die wirtschaftlichste unter den möglichen Lösungen darstellen.

Der Verlust, der für den Betrieb aus der Berücksichtigung der Bilanzierungsobergrenze entsteht, beläuft sich unter Anwendung der Separation mittels Dekanter somit insgesamt auf

nur noch 11.603 € jährlich, statt einem Verlust von 45.8904 €, der bei Abstockung des Bestandes, bzw. 29.208 €, der beim Transport der Rohgülle, entstehen würde.

Tab. 33: Ökonomische Auswirkungen Separation

Posten	Kosten	Einheit
Separation	- 4.782	€/Jahr
Transport	- 5.797	€/Jahr
zusätzlicher Düngerkauf	- 1,024	€/Jahr
Leistungs-Kosten-Differenz	-11.603	€/Jahr

Quelle: eigene Berechnung

Die Aufhebung der Vollzugsdefizite der Düngeverordnung entsprechend der dargestellten Maßnahmen „schlagbezogene Ausbringobergrenze“ und „wirksame Bilanzierungsobergrenze“ kann zu einer effizienteren Nutzung der Nährstoffe führen, dabei müssen vor allem in Regionen mit hoher Viehdichte zusätzliche Aufwendungen in Kauf genommen werden, um überschüssige Nährstoffe abzubauen oder in Ackerbauregionen zu transportieren.

Sollte die Novellierung der Düngeverordnung unter den genannten Rahmenbedingungen keine ausreichenden Erfolge erzielen, müssen schärfere Maßnahmen zur Erreichung einer effizienteren Nährstoffnutzung ergriffen werden. Eine denkbare Maßnahme wäre die verpflichtende Aufbereitung von Wirtschaftsdünger in Regionen mit hohen Nährstoffüberschüssen.

4.3 Verpflichtende Wirtschaftsdüngeraufbereitung und Nährstoffausgleich

4.3.1 Einzelbetriebliche Auswirkungen der verpflichtenden Wirtschaftsdüngeraufbereitung und des Nährstoffausgleichs

Für die Beantwortung der Frage, wie sich die Verpflichtung zum überregionalen Nährstoffausgleich in Kombination mit Wirtschaftsdüngeraufbereitung einzelbetrieblich auswirkt, werden folgende Annahmen getroffen:

- Zur Vereinfachung der Rechnung wird davon ausgegangen, dass der unter Kapitel 6.1 beschriebene Betrieb eine Aufbereitung der gesamten Gülle unter den in Kapitel 4 ermittelten Kosten organisieren kann.
- Die gesamte Gülle des Referenzbetriebes wird somit aufbereitet und in die nächstgelegene Pflanzenbauregion exportiert.
- Die angenommene Vollaufbereitung des Wirtschaftsdüngers erhöht die Transportfähigkeit.
- Geringere Nährstoffverluste entstehen, da der aufbereitete organische Dünger besser pflanzenbaulich verwertet werden kann.
- Zusätzlich können die Trennung der Nährstoffgruppen und definierte Nährstoffgehalte zu größerem Nutzen für den Ackerbau bei der Anwendung des Düngers beitragen und somit den Wert des Wirtschaftsdüngers erhöhen.

Im Folgenden werden die Konsequenzen einer verpflichtenden Aufbereitung von Wirtschaftsdünger in viehintensiven Regionen mit und ohne finanzielle Förderung dargestellt. Die ökonomischen Auswirkungen einer verpflichtenden Gülleaufbereitung für die komplette Gülle des Referenzbetriebes ist in Tab. 34 dargestellt.

Tab. 34: Kennzahlen der verpflichtende Gülleaufbereitung

Posten	Umfang	Einheit	Erläuterung
Menge Wirtschaftsdünger insgesamt	5.346	m ³	1,5 m ³ /belegter Stallplatz
Kosten Aufbereitung	7,9	€/m ³	
Wasserabscheidung	1.871	m ³ /Jahr	35 % Wasserabscheidung
Mehr Transport	347.500	Tonnenkilometer	3.475 t * 100 km Transportentfernung
Einsparung Lagerkosten	0,9	€/m ³	Alternative Nutzung realisierbar
Ausbringkosten	2,9	€/m ³	
Zusätzlicher N-Dünger	10.198	kg N/Jahr	Bei 30 % höherer Nutzungseffizienz

Quelle: eigene Berechnung

Für die jährliche Menge von 5.346 m³ Wirtschaftsdünger, entstehen Aufbereitungskosten in Höhe von 7,9 €/m³ beim Einsatz der Membrantechnik (Ultrafiltration - Umkehrosmose). Diese Aufbereitungskosten können nur erreicht werden, wenn die Technik an eine bestehende Anlage für die Verwertung von Wirtschaftsdünger angeschlossen wird und so keine zusätzlichen Investitionen in Gebäude notwendig werden. Den Kosten für die Aufbereitung werden die geringeren Transport-, Lager und Ausbringkosten gegenübergestellt. Aufgrund der Verpflichtung des Wirtschaftsdünger austauschs mit der nächsten Pflanzenbauregion, müssen 534.600 Tonnenkilometer mehr transportiert werden, sofern unaufbereiteter Wirtschaftsdünger transportiert wird. Durch die Wasserabscheidung im Rahmen der Aufbereitung sinkt dieser Transportbedarf auf 347.500 Tonnenkilometer. Die Lagerkosten für die abgeschiedene Menge von 1.871 m³ sinken um 0,9 €/m³, wenn der Lagerraum anderweitig genutzt werden kann. Die Ausbringkosten in einer Höhe von 2,9 € können für diese Menge eingespart werden. Auch der Aufwand für Mineraldünger sinkt, wenn eine 30 % höhere Stickstoffnutzungseffizienz auf bisher nicht organisch gedüngten Flächen für den aufbereiteten Wirtschaftsdünger angesetzt wird. Somit müssen jährlich 10.198 kg N mineralischer Dünger zugekauft werden. Die Kosteneinsparung kann allerdings nicht am Betrieb realisiert werden, sondern wird in der Ackerbauregion erzielt. Unter der Annahme, dass für die aufbereitete Gülle diese Kosteneinsparung erlöst werden kann, wird diese Kosteneinsparung bei der vorliegenden Betrachtung mit eingerechnet.

Die ökonomischen Auswirkungen der verpflichtenden Gülleaufbereitung verursachen beim Beispielbetrieb in Summe zusätzliche jährliche Kosten in einer Höhe von 42.402 €. Für die Aufbereitung müssen jährlich 42.340 € aufgewendet werden, für den Transport 38.225 €. Ohne Aufbereitung beträgt der Transport der kompletten Wirtschaftsdünger-Menge über 100 km jährlich 58.806 €. Demgegenüber stehen Einsparungen für die Lagerung der Gülle (1.702 €), die Ausbringung (5.351 €) und den reduzierten Mineraldüngerzukauf (11.014 €) (siehe Tab. 35).

Tab. 35: Ökonomische Auswirkungen verpflichtende Gülleaufbereitung

Posten	Kosten (-) Einsparung (+)	Einheit
Aufbereitung	- 42.340	€/Jahr
Transport 100 km	- 38.225	€/Jahr
Einsparung Lagerung	1.702	€/Jahr
Einsparung Ausbringung	5.351	€/Jahr
Einsparung N-Düngerkauf (20 % eff.)	7.344	€/Jahr 38650
Einsparung P-Düngerzukauf (50 % eff.)	13.112	€/Jahr
Einsparung K-Düngerzukauf (50 % eff.)	10.654	€/Jahr
Leistungs-Kosten-Differenz	-42.402	€/Jahr

Quelle: eigene Berechnung

Der Netto-Verlust in Höhe von 42.402 € jährlich könnte teilweise durch eine Aufstockung des Bestandes ausgeglichen werden. Sollte ein solcher Schritt möglich sein, kann das der eigentlichen Absicht zur regional besseren Verteilung des Wirtschaftsdüngeranfalls entgegenwirken und zu einer weiteren Konzentration der Tierhaltungsbetriebe führen. Des Weiteren kann der Staat eingreifen und die entstehenden Aufbereitungskosten durch entsprechende finanzielle Instrumente zumindest teilweise ausgleichen. Solche positiven ökonomischen Anreizmechanismen führen i.d.R. zu einer höheren Akzeptanz bei den Landwirtschaftsbetrieben. Allerdings werden durch solche Instrumente viehintensive Betriebe gefördert und damit die von diesen Betrieben verursachten Umweltkosten von der Gesellschaft übernommen. Extensive, tierhaltende Betriebe könnten damit weitere Wettbewerbsnachteile erfahren.

4.3.2 Auswirkungen der verpflichtenden Aufbereitung auf die Fleischerzeugungskosten

Sollte eine politische Maßnahme die Aufbereitung und den überregionalen Ausgleich von Wirtschaftsdünger verpflichtend vorschreiben, stellt sich die Frage, welche Auswirkungen diese Maßnahme auf den Fleischpreis hätte. Eine solche Betrachtung erfordert den Einbezug der Marktmechanismen, die jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden können. Deshalb beschränkt sich die folgende Berechnung auf die vereinfachte Fragestellung, wie sich die Kosten für die Wirtschaftsdünger aufbereitung und die Kosten für den überregionalen Wirtschaftsdünger ausgleich je kg produziertes Fleisch verhalten. Die Aufbereitungskosten werden je kg Schlachtkörper dargestellt, eine Umrechnung der Kosten auf ein Kilogramm verzehrfähiges Schweinefleisch ist nicht möglich.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Berechnung der Kosten je Kilogramm erzeugtes Produkt in der Schweinemast ergibt sich daraus, dass auch bei der Produktion der Ferkel Gülle anfällt, die möglicherweise aufbereitet und transportiert werden muss. Um die Betrachtung dennoch auf die Schweinemast beschränken zu können, wurde das Gewicht der Ferkel mit der gegebenen Ausschachtung von den erzeugten Schlachtkörpern abgezogen. Daneben wurden für diese Berechnung weitere Annahmen getroffen, die sich größtenteils auf die in dieser Arbeit erhobenen Daten beziehen. So wird bei den Kosten für die Aufbereitung davon ausgegangen, dass die Aufbereitungstechnik in eine bestehende Anlage für die Verarbeitung von

Wirtschaftsdünger integriert wird. Der jährliche Durchsatz der Aufbereitung liegt in diesem Beispiel bei 30.000 m³/Jahr. Aus diesen Annahmen ergeben folgende Daten:

- Transportkosten in Höhe von 0,1 € je Tonne und Kilometer
- Aufbereitungskosten von 7,9 € je Tonne
- Masseabscheidung der Aufbereitung von 35 %
- zusätzliche Transportentfernung von 100 Kilometern

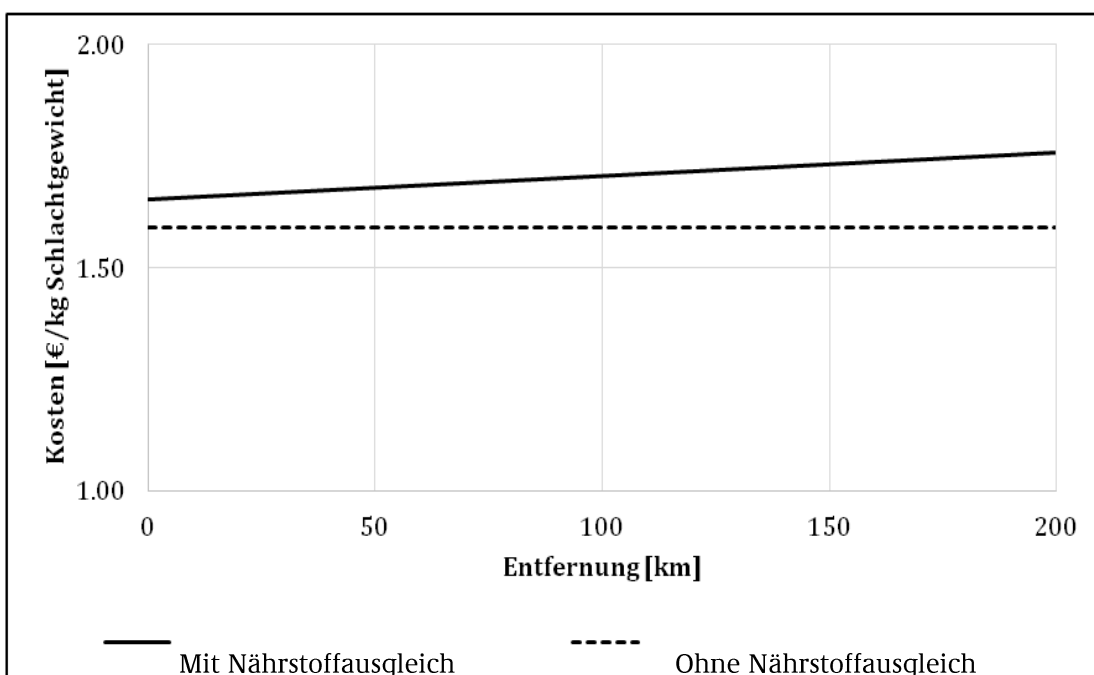
Diese Aufbereitung und der Transport von Wirtschaftsdünger werden auf die Schweinemast bezogen. Die relevanten Produktionskennzahlen für die Schweinemast sind:

- Gülleanfall von 1,5 m³/Stallplatz und Jahr
- Zuwachs von 90 kg pro Mastschwein
- 2,7 Umtriebe pro Jahr
- 80 % Ausschachtung (80 % des Lebendgewichts im Schlachtkörper)

Aus diesen Annahmen ergeben sich Jahreskosten je Stallplatz in Höhe von 22,6 €. Diese setzen sich aus 11,9 € Aufbereitungskosten und 10,7 € Transportkosten zusammen. Wird auf einem Mastplatz das Ferkel von 28 kg auf 118 kg gemästet, bedeutet das eine Zunahme von 194 kg Schlachtgewicht je Mastplatz. Werden die Kosten von Wirtschaftsdüngertransport und Aufbereitung auf die produzierten Schlachtkörper umgelegt, ergeben sich daraus Kosten in Höhe von 0,12 €/kg Schlachtkörper. Bei einem realisierten Schlachtkörperpreis von 1,6 €/kg erhöhen sich die Produktionskosten um ca. 7 %.

In Abb. 6 ist die Summe aus Schlachtkörperpreis und zusätzlichen Kosten für Aufbereitung und Transport bei verpflichtender Aufbereitung und überregionalem Nährstoffaustausch in Abhängigkeit der Transportentfernung dargestellt.

Abb. 6: Entwicklung der Kosten der Fleischerzeugung bei Transport der Nährstoffe in Nährstoffmangelregionen



Quelle: eigene Berechnung

4.4 Realisierung von technischem Fortschritt

4.4.1 Erhöhung der Wasserabscheidegrade

Eine mögliche Lösung, die eine Aufbereitung einschließt und so den Transport vergünstigt, ist die Einrichtung von überbetrieblichen Wirtschaftdüngeraufbereitungsanlagen. Hierfür wird in einer Viehhaltungsregion an einem logistisch günstigen Standort eine zentrale Aufbereitungsanlage errichtet. Die Gülle wird von mehreren Viehhaltungsbetrieben zu dieser Anlage gebracht, dort aufbereitet und dann zu den Betrieben in der Ackerbauregion transportiert und dort ausgebracht. Die Aufbereitung erfolgt durch eine Trennung der Gülle in eine feste und flüssige Phase. Aus der flüssigen Phase wird Wasser abgeschieden. So kann auch eine grobe Trennung der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor vorgenommen und der Wert der in den Aufbereitungsprodukten enthaltenen Nährstoffe für den Ackerbau verbessert werden. Für das vorliegende Beispiel wurde die Aufbereitungstechnik Ultrafiltration gewählt, mit der 35 % der gesamten Masse aus der flüssigen Phase abgeschieden wird und so der Transportaufwand um 35 % sinkt. Die Kosten dafür belaufen sich auf 7,9 € pro Tonne Ausgangsmaterial. In einem zweiten Szenario wird angenommen, dass durch den technischen Fortschritt die Aufbereitung zukünftig für 7,0 € pro Tonne Ausgangsmaterial durchgeführt werden kann und durch die Aufbereitung 60 % der Masse als einleitfähiges Wasser nicht transportiert werden muss.

Den Kosten der Aufbereitung stehen Einsparungen aufgrund geringere Transport- und Ausbringungsvolumina, reduzierte Investitionskosten für Lagerung und effizientere Nährstoffnutzung gegenüber. Daneben können weitere ökonomische Vorteile entstehen durch günstigere Lagerung von Festmist, Reduzierung von Umweltbelastungen sowie eine möglicherweise höhere Akzeptanz der Tierhaltung durch den Nachweis einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise, die jedoch in der Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde der zusätzliche Aufwand, abhängig vom Bundesland und Gemeinde, für die Einleitung von anfallendem Wasser in Oberflächengewässer.

Tab. 36: Kennzahlen des technischen Fortschritts

	pro m ³ ohne Aufbereitung	pro m ³ Gülle, Ist	pro m ³ Gülle, Ziel
Einleitfähiges Wasser	0 %	35 %	60 %
Kosten Aufbereitung		7,9 €/m ³	7,00 €/m ³
Kosten Güllelageung	0,9 €/m ³	0,59 €/m ³	0,36 €/m ³
Kosten Ausbringung	2,9 €/m ³	1,9 €/m ³	1,1 €/m ³
Einsparung durch bessere Nährstoffnutzung (20% N)		- 0,7 €/m ³	- 0,7 €/m ³
Zwischensumme ohne Transport	3,8 €/m³	9,7 €/m³	7,8 €/m³
Kosten Transport für 100 km	11 €/m ³	7,2 €/m ³	4,4 €/m ³
Summe	14,8 €	16,8 €	12,2 €

Quelle: eigene Berechnung

Die Transportkosten pro Kubikmeter nicht aufbereiteten Wirtschaftsdünger liegen bei 0,11 €/m³*km, da hier keine Einsparung des Transportvolumens erreicht werden kann. Beim

aktuellen Stand der Aufbereitung nach der angenommenen Technik (Ist-Variante) fallen für einen Kubikmeter Ausgangsmaterial 0,07 €/m³*km an, da 35 % des Wassers abgeschieden werden. Bei einer Wasserabscheidung von 60 % (Ziel) kostet der Transport 0,04 €/m³*km. Bei einer angenommenen Transportentfernung von 100 km ergibt sich bereits ein Kostenvorteil der Aufbereitung mit einer Masseabscheidung von 60 % von ca. 2,5 €/m³ Ausgangsmaterial Tab. 36.

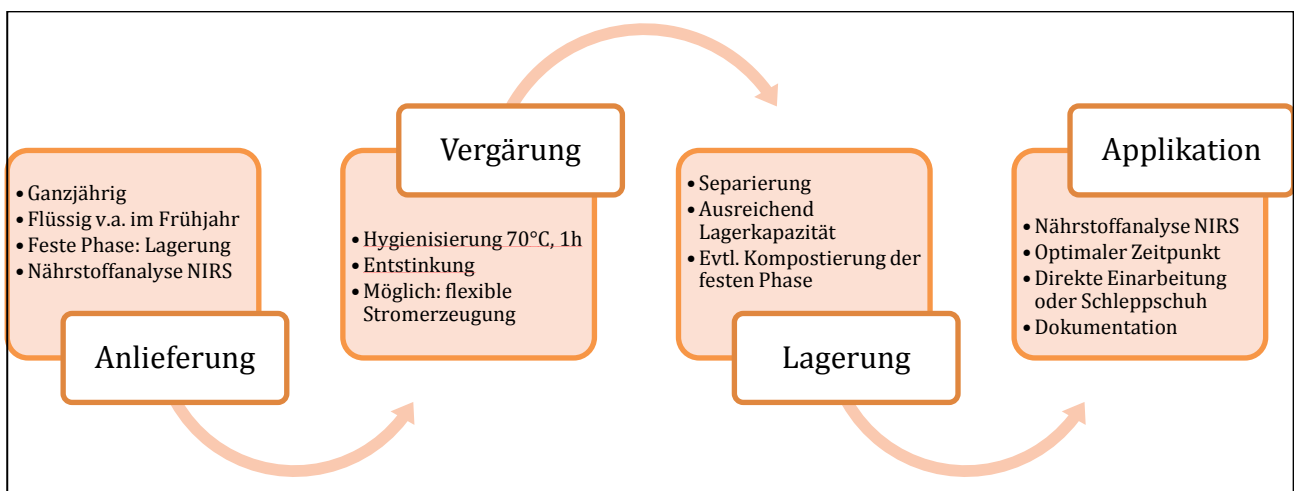
4.4.2 Zentrale Wirtschaftsdüngerverwertung

Das Konzept der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung kann als Nachfolgenutzung von Biogasanlagen nach Auslaufen der Stromvergütung nach dem EEG dienen. Eine bestehende Biogasanlage wird zur Lagerung und Verwertung von Wirtschaftsdünger und anderen organischen Reststoffen (z.B. Stroh) umgerüstet. Dadurch wird die Hauptnutzungsrichtung „Stromerzeugung“ geändert in „Nährstoffverwertung“. Folgende Chancen sind mit dem Konzept verbunden:

- Reduktion der Arbeitsbelastung tierhaltender Betriebe
- Reduktion der Mechanisierungskosten tierhaltender Betriebe
- Ermittlung schlagbezogener Nährstoffbilanzen

Das Konzept kann wie folgt beschrieben werden: Tierhaltungsbetriebe geben den anfallenden Wirtschaftsdünger (teilweise) an eine Anlage zur zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung ab. Dort wird der Nährstoffgehalt erfasst und einem Nährstoffkonto gutgeschrieben. In der Anlage wird der Wirtschaftsdünger hygienisiert, anaerob vergoren und separiert. Flüssige und feste Phasen des Gärsubstrats werden bis zur Ausbringung gelagert. Vor oder während der Applikation wird der Dünger auf seinen Nährstoffgehalt analysiert und kann zum optimalen Zeitpunkt des Pflanzenwachstums mit der entsprechenden Technik in der gewünschten Nährstoffmenge auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht werden. Die ausgebrachte Nährstoffmenge wird vom Nährstoffkonto der einzelnen Landwirte abgezogen. Die überschüssigen Nährstoffe können zwischen den Landwirtschaftsbetrieben gehandelt werden.

Abb. 7: Konzept der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung



Quelle: eigene Darstellung

Die Qualitätsanforderungen des entstehenden Düngers sind bisher nicht definiert, d.h. insbesondere die Pathogenfreiheit und bestimmte Nährstoffgehalte sind vorzuschreiben. Durch die Analyse der Nährstoffgehalte können bei Ermittlung der Nährstoffe im Erntegut schlagbezogene Nährstoffbilanzen erstellt und die Umweltverträglichkeit der Anwendung von Wirtschaftsdüngern nachgewiesen werden.

Eine Anlage zur zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung kann wirtschaftlich nur überbetrieblich realisiert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Motivation zur Zusammenarbeit steigt, wenn für die Landwirtschaftsbetriebe ökonomische Anreize bestehen. Folgende Anreize lassen sich u.U. erreichen:

- Reduzierung der Transportkosten
- Erhöhung der Nährstoffnutzungseffizienz
- Skaleneffekte bei der Lagerung
- Skaleneffekte bei der Ausbringung

Geringere Transportkosten können nur in viehstarken Regionen realisiert werden, in denen bereits weite Transportwege in Kauf genommen werden. Eine effizientere Nährstoffnutzung ist bisher für Praxisbetriebe nicht direkt nachweisbar. Skaleneffekte bei der Lagerung entstehen nur, wenn die bestehende Situation geändert wird. Das kann durch eine Gesetzesänderung herbeigeführt werden oder z.B. durch Bestandsaufstockungen. Die Skaleneffekte bei der Ausbringung bestehen in der Regel bereits bei gemeinschaftlichen Lösungen für die Wirtschaftsdüngerausbringung. Sollte eine solche gemeinschaftliche Lösung noch nicht praktiziert werden, ist die Auslagerung des Nährstoffmanagements eine Möglichkeit, diese Skaleneffekte zu realisieren.

Als Fallbeispiel wird eine zentrale Wirtschaftsdüngerverwertung konstruiert, indem eine 500 kW-Biogasanlage für eine jährliche Güllemenge von 30.000 m³ umgerüstet wird. Die Biogasanlage ist bereits mit einer Technik zur Separation der Gärreste ausgerüstet. Die Entfernung der Betriebe für die Güllielieferung zur Anlage für Wirtschaftsdüngerverwertung beträgt im Durchschnitt 5 km. Es wird angenommen, dass sich die Kosten der Zuliefer-Betriebe für Lagerung, Transport und Ausbringung der unbehandelten Wirtschaftsdünger auf 6 €/m³ belaufen. Diesen Betrag, bei 30.000 m³ Gülle entspricht dies 180.000 € jährlich, können die Landwirtschaftsbetriebe für Lagerung und Verwertung des Wirtschaftsdüngers in der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung bezahlen. Es wird davon ausgegangen, dass nach Auslaufen der Stromvergütung nach EEG die Möglichkeiten der Energievermarktung einen Verkauf des erzeugten Biogases zu einem Preis von 4 Cent pro kWh Heizwert bestehen. Dieser Preis für den Energiegehalt des Biogases erscheint nur mit einer weiteren Förderung oder entsprechenden Honorierung durch den Gasabnehmer erzielbar zu sein. Eine Förderung, ähnlich des Modells wie beim aktuellen EEG oder eine Vergütung für verminderte Treibhausgasemissionen (Methan), wäre denkbar. Bei einem Methanertrag von 6 m³/m³ Gülle ergibt sich aus dem Gasverkauf ein Ertrag von 72.000 €/Jahr aus der Gaserzeugung.

Der Transport des Wirtschaftsdüngers zurück zu den Feldern kann in Regionen mit niedriger Viehdichte ebenfalls mit durchschnittlich 5 km angenommen werden. Bei Transportkosten in Höhe von 0,15 €/m³ und Ausbringkosten von 2,9 €/m³ für die flüssige Phase und 3,4 €/t für die feste Phase entstehen für die Anwendung des Düngers Kosten in Höhe von 4,4 €/m³. Somit entstehen jährliche Kosten von 132.570 € für die Ausbringung. Die notwendigen Investitionen

und der Betrieb der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung müssten aus dem Differenzbetrag von 130.200 € finanziert werden.

Im dargestellten Fallbeispiel umfasst die bestehende Biogasanlage 2 Fermenter mit je 1.900 m³ Gärraum und ein Gärsubstratlager mit 5.100 m³ Lagerraum (KTBL, 2014). Für die 6-monatige Lagerzeit ist somit ein Bau von weiteren 10.000 m³ Lagerraum notwendig. Die Investitionskosten für ein Lager mit einem Nutzvolumen von 5.000 m³, belaufen sich auf 110.700 € (KTBL, 2014). In zweifacher Ausführung bei einem jährlichen Ansatz für Zinsen und Reparaturen in Höhe von 3 % der Bausumme ergeben sich, bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren jährliche, Kosten in Höhe von 14.022 €. Die Kosten für Wartung, Reparatur und Betriebsstoffe (Rührstrom) einer Biogasanlage dieser Größenordnung belaufen sich auf 54.480 € jährlich. Dabei ist berücksichtigt, dass geringere Kosten für Rührstrom, sowie Gas- und Energietechnik im Vergleich zur Vollaustattung mit nachwachsenden Rohstoffen anfallen. Das System zur Hygienisierung und Analyse der Nährstoffe bei der Anlieferung und Ausbringung verursacht, bei einer angenommenen Investitionssumme von 120.000 € und einem Abschreibungszeitraum von 5 Jahren, jährliche Abschreibungen in Höhe von 24.000 €. Dazu kommen Lohnkosten für die Betreuung der Anlage in Höhe von 25.000 €. Die Anlage für Wirtschaftsdüngerverwertung kann somit einen Restbetrag von 1.928 € jährlich für die Entlohnung bisher nicht berücksichtigter Komponenten wie der Nutzung der bestehenden Anlage verwenden. Eine Übersicht der ökonomischen Kennwerte ist in Tab. 37 dargestellt.

Wird angenommen, die Anlage befindet sich in einer Region mit hoher Viehdichte, verändern sich die Werte in Richtung einer höheren Wirtschaftlichkeit der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung. Es wird angenommen, dass die Betriebe in der Ausgangssituation bereits separierte Feststoffe exportieren, so dass durch eine zentrale Wirtschaftsdüngerverwertung, im Vergleich zu einzelbetrieblichen Lösungen, Skaleneffekte realisiert werden können. Dadurch ergeben sich verringerte Kosten in einer angenommenen Höhe von 2,5 €/m³ Rohgülle. Damit ist die Nutzung der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung ab einer Transportentfernung von 34 km günstiger als der Transport der Rohgülle, unter Berücksichtigung eines doppelt so hohen Nährstoffgehaltes im separierten Feststoff. Der wirtschaftliche Vorteil der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung kann dadurch um 75.000 € erhöht werden. Weitere Effekte ergeben sich durch die Möglichkeit einer besseren Vermarktung der Produkte aufgrund der Hygienisierung und Standardisierung der Nährstoffgehalte im Vergleich zu unbehandeltem Wirtschaftsdünger. Sollte die Notwendigkeit zur weiteren Vollaufbereitung der Gärreste bestehen, kann diese Technik in einer zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung verhältnismäßig einfach und kostengünstig integriert werden.

Tab. 37: Kennzahlen der zentralen Wirtschaftsdüngerverwertung

Posten	Erlös (+) Kosten (-)	Erläuterung
Übernahme Wirtschaftsdünger	180.000 €	30.000 m ³ für je 6 €/m ³
Erlös aus Gaserzeugung	72.000 €	4 ct/kWh Heizwert
Jährliche Kosten Transport und Ausbringung	- 45.000 €	10 km Entfernung, 0,15 €/t*km
Jährliche Kosten Ausbringung	- 87.570 €	2,9 €/m ³ Ausgangsmaterial
Jährliche Kosten Neubau Lager	- 14.022 €	10.000 m ³ zusätzlicher Lagerraum
Bessere Nährstoffnutzung (30% N)	0 €	dem Abgeber zuzurechnen
Reparatur und Betriebsstoffe	- 54.480 €	Reduziert gegenüber 500 kW NaWaRo
Hygienisierung und Nährstoffanalyse	- 24.000 €	
Betreuung der Anlage	- 25.000 €	3,5 Stunden/Tag, 20 €/Stunde
Summe	1.928 €	z. B. Nutzung bestehende Anlage

Quelle: eigene Berechnung

4.5 Besteuerung von Substituten

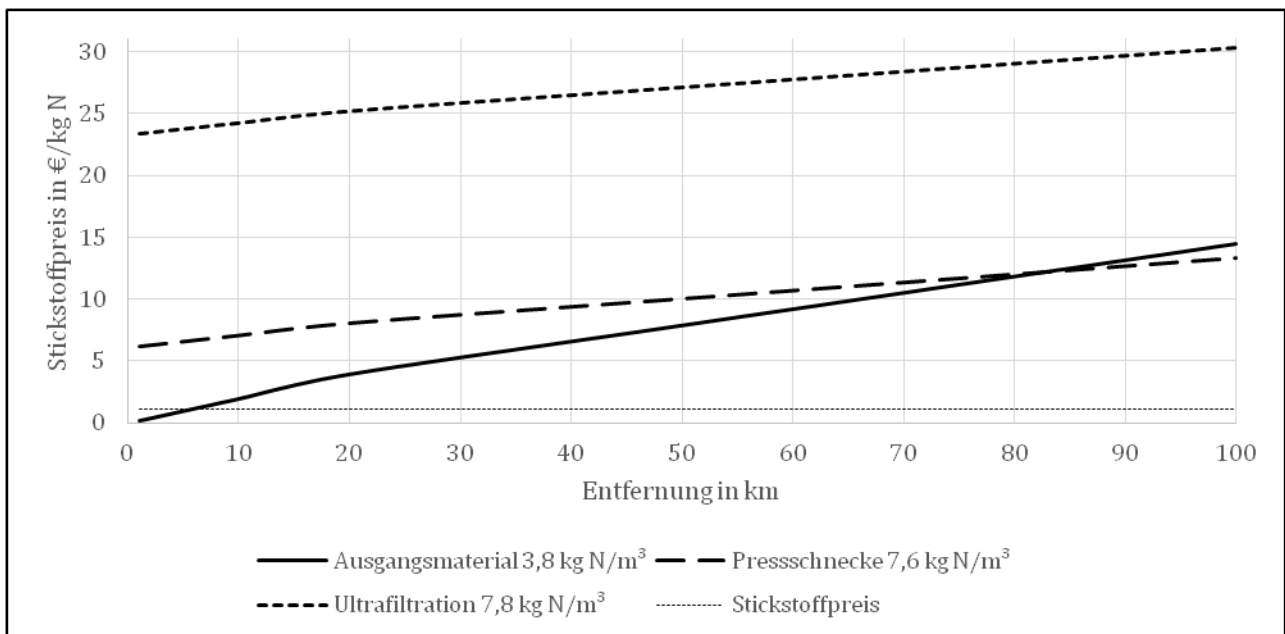
Der Preis für Vergleichsprodukte (mineralische Dünger) spielt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Nachfrage nach aufbereitetem Wirtschaftsdünger. Eine Verteuerung der Vergleichsprodukte z.B. durch Steuern (UBA 2009a, b) könnte dazu beitragen, die Wirtschaftlichkeit der Nutzung aufbereiteter Wirtschaftsdünger zu verbessern. Im Gegensatz dazu, kann die Besteuerung von Stickstoffüberschüssen der landwirtschaftlichen Betriebe (wie z.B. in den Niederlanden) (UBA 2009a, b) zwar reduzierend auf die Nährstoffbilanzen der Betriebe wirken, diese werden die Einführung der Aufbereitung jedoch nicht beschleunigend beeinflussen, da sie das Preisverhältnis mineralischer und organischer Dünger nicht zugunsten der Wirtschaftsdünger beeinflussen.

Zur Bewertung dieser Politikmaßnahme wurde berechnet, wie sich eine Verteuerung der mineralischen Düngemittel auf die Rentabilität des Transportes des Wirtschaftsdüngers auch über weitere Distanzen von bis zu 100 km auswirkt. Bei der Betrachtung der ökonomischen Auswirkungen des Referenzbetriebes, wurde somit angenommen, dass eine gleichmäßige Verteilung des Wirtschaftsdüngers gefordert wird. Daraus ergibt sich zunächst ein Verlust für den Betrieb von 2.207 € (vgl. Kap. 6.2). Durch eine Verteuerung der mineralischen Düngemittel, die den Nährstoffbedarf auf den nicht organisch gedüngten Flächen alleine decken, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der gleichmäßigen Gülleverteilerung. Um die ökonomischen Auswirkungen zu überprüfen, muss für den Referenzbetrieb definiert werden, welche Menge an mineralischen Nährstoffen eingespart werden kann. Es wird angenommen, dass durch die Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf eine größere Fläche, die Nutzungseffizienz des enthaltenen Stickstoffs steigt. Einem positiven Effekt der Stickstoffnutzung, der aus der organischen Düngung bisher nicht organisch gedüngter Schläge erfolgt, steht ein negativer Effekt der Stickstoffnutzung auf den nun mit geringeren Mengen organischem Dünger versorgten hofnahen Schlägen gegenüber. Für das vorliegende Fallbeispiel werden für diese Differenz die genannten 20 % des aufgebrauchten Stickstoffs angenommen. Für P₂O₅ und K₂O wird angenommen, dass diese Differenz bei 50 % des Nährstoffbedarfs auf der Fläche liegt. Unter diesen Annahmen ergäbe sich für den Betrieb bei

einer Erhöhung der Preise für die Nährstoffe um 50 % einen Gewinn von 2.704 €, wenn er seine Nährstoffe aus der Gülle gleichmäßig auf seine Flächen verteilt, statt diese nur auf den hofnahen Flächen aufzubringen.

Die ökonomische Transportwürdigkeit der organischen Düngemittel hängt stark von ihrem Nährstoffgehalt ab und von der möglichen Einsparung an Mineraldünger, die durch die Applikation des Wirtschaftsdüngers erreicht werden kann. Abb. 8 stellt die Transportwürdigkeit für den Nährstoff Stickstoff in Abhängigkeit der Preise für mineralischen Stickstoff dar. Abb. 9 zeigt die Situation für den Nährstoff Phosphat.

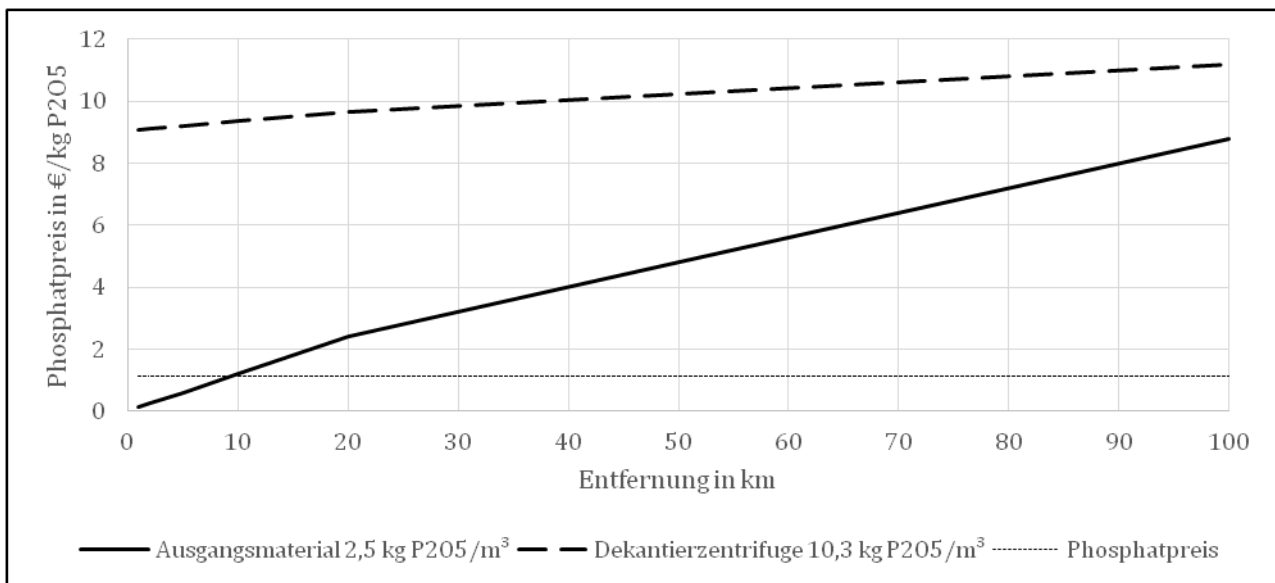
Abb. 8: Transportwürdigkeit für Stickstoff im Wirtschaftsdünger



Quelle: eigene Darstellung

Abb. 8 liegt die Annahme zu Grunde, dass durch den Transport 20 % des transportierten Stickstoffs zu einer entsprechenden Einsparung beim Einkauf von Mineraldüngern führt. Dieser Wert kann schwanken, je nachdem wie hoch die Nutzungseffizienz auf der Fläche ist, auf der der Wirtschaftsdünger nun ausgebracht wird oder wie hoch die Grenz-Nutzungseffizienz der exportierten Nährstoffe auf der Fläche war, auf der sie bisher ausgebracht wurden. In den transportierten Substraten sind neben Stickstoff auch andere Nährstoffe und organische Substanz enthalten. Diese Inhaltsstoffe wurden bei der vorliegenden Berechnung nicht beachtet. Dieses Vorgehen entspricht der Annahme, die Summe der Werte für die zusätzlichen Inhaltsstoffe und die weiteren Nebeneffekte für den Wirtschaftsdüngerexport entsprechen dem Wert 0 €. Die anteiligen Aufbereitungskosten betragen für das Verfahren „Pressschnecke“ 6,1 € je m³ Feststoff. Bei der Ultrafiltration erreichen die Aufbereitungskosten knapp 23 € je m³ Nährstoffkonzentrat. Für nicht aufbereiteten Gärrest übersteigen die Transportkosten bereits ab 8 km Transportentfernung die Kosten für den Mineraldünger. Bei den Aufbereitungsverfahren sind schon die Kosten für die Aufbereitung höher als für Mineraldünger des Nährstoffs eingespart werden könnte.

Abb. 9: Transportwürdigkeit für Phosphat im Wirtschaftsdünger



Quelle: eigene Darstellung

Für Abb. 9 wurde eine höhere Nutzungseffizienz von 50 % des transportierten Phosphates angenommen. Für 1 kg Phosphat in organischer Form kann in der Differenz zwischen dem erhöhten Bedarf auf der Fläche, auf der nun weniger Wirtschaftsdünger ausgebracht wird, und dem reduzierten Bedarf auf der Fläche, auf der nun Wirtschaftsdünger ausgebracht wird, 0,5 kg Phosphat aus mineralischer Herkunft eingespart werden. Bei einem aktuellen Preis von mineralischem P₂O₅ von 1,12 €/kg Nährstoff kann bei einem Nährstoffgehalt von 2,3 kg P₂O₅/m³ Wirtschaftsdünger eine Transportentfernung von etwas mehr als 10 km durch Einsparung beim Mineraldüngerkauf kompensiert werden. Wird das Ausgangsmaterial mit einem Dekanter aufbereitet, liegen bereits die Aufbereitungskosten über die Substitutionswert des mineralischen Düngemittels.

Die Umsetzung des Politikinstrumentes der Besteuerung von Substituten ist nicht zu erwarten, da bei dieser Maßnahme vor allem die Betriebe höhere Kosten zu tragen haben, die keine organischen Düngemittel einsetzen. Es würden die Betriebe schlechter gestellt, die mit der Entstehung der Problematik nichts zu tun haben.

4.6 Stärkere Bindung der Düngung an den Pflanzenbedarf

Wie bereits in Dänemark die gesetzliche Regelung eine sehr enge Bindung der Düngung von Stickstoff an den Pflanzenbedarf vorsieht, könnte eine solche Regelung auch in Deutschland dafür sorgen, dass die Nährstoffausträge reduziert werden. Bisher wird in Deutschland weniger als 40 % des im Betrieb eingesetzten Stickstoffs genutzt (Hoftor-Ansatz) (Leip, A. et al., 2011). Bei Betrachtung der Bodenbilanz (Feld-Stall-Ansatz) erhöht sich die Stickstoffnutzungseffizienz auf fast 70 %. Die Stickstoffnutzungseffizienz wird stark vom Umfang der Tierhaltung beeinflusst. Ein höherer Tierbesatz pro Hektar bedingt eine geringere Nährstoffnutzungseffizienz. Die Festlegung einer unteren Grenze für die Nutzungseffizienz von Stickstoff, könnte hier eine Verbesserung erreichen.

In Dänemark wird in Abhängigkeit der angebauten Kulturen, der Tierhaltung des Betriebes und einer Reihe weiterer Faktoren eine einzelbetriebliche Stickstoffquote festgelegt. Die Menge der aufgebrachten Düngemittel, ob organisch oder mineralisch, beträgt jedoch nur 90% des

ökonomisch optimalen Wertes der für jeden Betrieb berechnet wurde (Einarsson, P. o.J. S. 25f.; INEMAD 2014; van Grinsven 2012). Für die organischen Düngemittel ist je nach Form des Düngers (Festmist, Schweinegülle etc.) ein prozentualer Wert festgelegt, in welcher Höhe der Stickstoff als pflanzenverfügbar angerechnet wird. Für Schweinegülle beträgt dieser Wert 75 % des Stickstoffgehaltes. 25% werden demnach als anrechenbare Verluste akzeptiert. Eine mögliche Auswirkung dieser Maßnahme in Deutschland, wäre eine effektivere Begrenzung von Nährstoffüberschüssen (Nährstoffbilanzen). Ein Nachteil der Regelung könnte darin zu sehen sein, dass durch die Festsetzung hoher Anrechnungswerte die Akzeptanz des Einsatzes organischer Düngemittel im Pflanzenbau behindert wird. Weiterhin kann die Gefahr bestehen, dass es durch Mobilisierung von Stickstoff aus dem Bodenvorrat zu einem Abbau von Humus kommt.

Entsprechend den Forderungen des WBA, WBD, SRU sind eine Festsetzung von Standards zur Düngebedarfsermittlung, eine flächenbezogene Hoftorbilanz und eine Verschärfung der Sperrfristen zur Ausbringung sowie konkrete, weitere Maßnahmen, um die Düngung vermehrt an den Pflanzenbedarf anzupassen, festzulegen. Eine zusätzliche, obligatorische Nmin-Untersuchung im Frühjahr oder vor jeder Ausbringung der Anwendung von Düngemittel, könnte diese Forderung nach bedarfsgerechter Düngung unterstützen. Diese Untersuchung könnte beispielsweise direkt während der Applikation der Düngemittel über berührungslose Versorgungssensoren (z. B. Greenseeker) erfolgen.

4.7 Definition von Qualitätsstandards

Der Handel mit aufbereitetem Wirtschaftsdünger wird des Weiteren dadurch behindert, dass die End-Produkte keinen rechtlichen Status hinsichtlich der EU Düngemittel-Verordnung (EU fertiliser regulation 2003/2002) genießen. Würden sie als „grüner“ Mineraldünger anerkannt, könnten sie möglicherweise zusätzlich zu den 170kg N aus organischen Quellen/ha ausgebracht werden (Lebuf, V. et al. 2012). Ebenso wird die Definition von Standards wie z.B. Nährstoff- und Kohlenstoffgehalte, Gehalt unerwünschter Stoffe wie z.B. Schwermetalle als notwendig angesehen. Hierdurch könnte auch der internationale Handel gefördert werden (Foged, et al. 2011b, S. 20).

Durch die Qualitätsstandards könnte erreicht werden, dass die Akzeptanz für die Nährstoffe aus Wirtschaftsdüngern erhöht wird und somit die Bereitschaft zur Ausbringung erhöht und infolgedessen auch die Kosten reduziert werden können. Zu den Standards muss die Pathogenfreiheit, reduzierte Geruchsbelastung, definierte Nährstoffgehalte und auch die Form der enthaltenen Nährstoffe festgelegt werden.

4.8 Dokumentation der innerbetrieblichen Stoffströme

Bisher werden die innerbetrieblichen Stoffströme von Praxisbetrieben, deren Ursachen und Folgen weniger betrachtet. Neue Entwicklungen bei der Analyse von Inhaltsstoffen über Nahinfrarottechnik können dazu beitragen, die Nährstoffflüsse innerhalb des Betriebes, vor allem vom Feld zum Stall und zurück, in ausreichender Genauigkeit darzustellen. Die gewonnenen Daten können Aufschluss über die Nährstoffnutzungseffizienz geben und Einflüsse wie Klima, Boden usw. in die Analyse Berücksichtigung finden. Damit kann der Einsatz dieser Technik auch dazu beitragen, Effekte von Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffverlusten vergleichend zwischen verschiedenen Betrieben zu erklären. Des Weiteren können die

gewonnen Erkenntnisse auch zu einer Sensibilisierung der Landwirtschaftsbetriebe in Bezug auf den innerbetrieblichen Umgang mit Nährstoffen führen.

Der Aufwand für die Erfassung der Nährstoffflüsse unterliegt einem starken Skaleneffekt, so dass überbetriebliche Lösungen evtl. auch in Kombination mit dem Einsatz von Aufbereitungstechniken anzustreben sind.

4.9 Anpassung des Baurechts für Nährstofflager

Werden (aufbereitete) Wirtschaftsdünger transportiert, „wären Lager bei den abnehmenden Ackerbauern – auf dem Hof auch in der Feldflur – von Vorteil, um einen ganzjährigen Transport von Überschuss- in Mangelregionen zu gewährleisten. Dadurch könnte es möglich sein, eine Senkung der Transportkosten und Vermeidung von Arbeitsspitzen zu realisieren (Möbius, J. & Lehmann, N. 2014). Im Zusammenhang mit dem überregionalen Nährstoffausgleich ist zu klären, ob der Bau der entsprechenden Lager mit dem Baurecht vereinbar ist. Des Weiteren sind die rechtlichen Bedingungen langfristiger Beziehungen zwischen den abgebenden und aufnehmenden Betrieben des (aufbereiteten) Wirtschaftsdünger zu formulieren (Hartl, G. et al. o.J.). Neben der leichteren Organisation des Wirtschaftsdüngerenausgleichs, könnte durch diese Maßnahme auch die Möglichkeit einer bisher nur wenig angewandten Form der Ausbringung gefördert werden: Die „Verschlauchung“ des Wirtschaftsdüngerenausgleichs. Mit dieser Technik sind geringere Ausbringkosten, weitere Zeiträume der Ausbringung, auch bei späterer Anwendung, und eine verbesserte Schonung des Bodens verbunden.

4.10 Zusammenfassung

Bisher sind Investitionen in Aufbereitungsanlagen sowie die notwendigen Transportmittel häufig nicht rentabel. Dazu kommt, dass in den abnehmenden Regionen weitere Investitionen in entsprechende Lagerstätten und/oder neue Ausbringungstechniken hinsichtlich veränderter Eigenschaften der aufbereiteten Wirtschaftsdünger (z.B. fest anstatt flüssig, höhere Nährstoffkonzentrationen) notwendig werden können. Vielfach sind abnehmende Landwirtschaftsbetriebe nicht bereit, für die aufbereiteten Wirtschaftsdünger zu bezahlen, sondern fordern teils eine Entlohnung für die Abnahme der Produkte. Dies ist zum einen durch ein Überangebot von Wirtschaftsdünger in diesen Regionen und einer entsprechenden fehlenden Nachfrage nach den Produkten der Aufbereitung, aber auch durch die geringen Preise der Vergleichsprodukte (mineralische Düngemittel) bedingt. Hinsichtlich der Verbesserung der Rentabilität der Investitionskosten können zum einen Maßnahmen von staatlicher Seite ergriffen werden. So führt eine Verschärfung der bestehenden Auflagen zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in Kombination mit höheren Sanktionen dazu, dass der Druck zu handeln bei den viehintensiven Betrieben zunimmt. Dies kann neben der Umsetzung von Aufbereitungsmaßnahmen auch dazu führen, dass Tierbestände auf-, aber auch abgestockt bzw. Betriebe aufgegeben werden. Es ist davon auszugehen, dass die Flächenzupacht als Möglichkeit nicht in Frage kommt, da angenommen werden kann, dass gerade diese viehintensiven Betriebe häufig in Regionen mit einer starken Flächennachfrage und damit sehr hohen Pachtpreisen liegen. Daneben können eine finanzielle Förderung der Anlagen- und/oder Transporttechnik (Investitionszuschüsse, Zinsverbilligungen, Einspeisevergütungen) dazu führen, die Rentabilität der Aufbereitung zu erhöhen. Hierdurch können jedoch weitere Wettbewerbsnachteile für Betriebe mit extensiver Tierhaltung entstehen. Die Förderung von

Kooperationen kann dazu beitragen, dass Anlagengrößen entstehen, mit denen Skaleneffekte realisierbar sind, die auch die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zur Wirtschaftsdüngeraufbereitung erhöhen. Allerdings sind die Kritikpunkte hinsichtlich der Zentralität/Dezentralität bei der Anlagenplanung zu berücksichtigen. Die umzusetzenden Maßnahmen sollten generell folgenden Kriterien genügen:

- Zielorientierung
- Berücksichtigung von Kriterien der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit
- Spielraum für Marktmechanismen
- Internalisierung der externen Kosten auf Betriebsebene
- Einräumung regionaler, standortbezogener Spielräume

Insgesamt lässt sich festhalten, dass eine Reihe von Rahmenbedingungen angepasst bzw. überarbeitet werden müssen, wenn die Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern eine größere Bedeutung bekommen soll. Hierfür sind insbesondere die ökonomischen Rahmenbedingungen und das notwendig Know-How zu fördern. Dabei greifen insbesondere die verschiedenen Instrumente ineinander. So kann bspw. eine Verschärfung von Auflagen auch als negativer ökonomischer Anreiz wirken und gleichzeitig die Nutzung kommunikativer Instrumente unterstützen. Um eine übermäßige Belastung der Betriebe zu vermeiden, können entsprechende Auflagenverschärfungen mit den Angeboten positiver ökonomischer Anreizinstrumente und einem Angebot von kommunikativen Instrumenten flankiert werden.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

5.1 Kritikpunkte des überbetrieblichen/überregionalen Wirtschaftsdüngerenausgleichs

Bisher ist der Einsatz der Wirtschaftsdüngerenaufbereitung meist aufgrund der mangelnden Rentabilität der einzusetzenden Techniken eingeschränkt. Es ist jedoch nicht nur der ökonomische Aspekt des Einsatzes der Wirtschaftsdüngerenaufbereitung zu beurteilen, sondern die Wirtschaftsdüngerenaufbereitung weist auch Kritikpunkte hinsichtlich ökologischer und sozialer Kriterien auf (u.a. Jakobsson, C. et al. 2002; Lopez-Ridaura, S. et al. 2009).

So kann der Einsatz von Techniken der Aufbereitung mit einem hohen Energieeinsatz verbunden sein (Bijl, A.C. o.J. S, 153; Bonmati, A. et al. 2010), wie z.B. die Pelletierung von getrocknetem Wirtschaftsdünger (Foged, et al. 2011b, S. 20). Ebenso wird Energie auch für den Transport der Ausgangs- und Endprodukte benötigt (Petersen, S.O. et al. 2007, S. 181), dieser Transportaufwand kann sehr hoch sein (Bronsema, H. et al. 2012). So muss die Nährstoffkonzentration in den Produkten der Aufbereitung entsprechend hoch sein, um lange Transportdistanzen zu rechtfertigen (Szogi, A.A. o.J.) bzw. der Einsatz von mineralischem Dünger und der damit verbundene Energieeinsatz wesentlich vermindert werden (Lebuf, V. et al. 2012). Ein hoher Energieeinsatz kann sowohl nicht nachhaltig als auch – insbesondere bei subventioniertem Energiepreis – sozial nicht akzeptiert sein (Foged, et al. 2011b, S. 20). Allerdings kann insbesondere das Recycling von Phosphor u.U. einen höheren Energieeinsatz in der Aufbereitung und dem Transport rechtfertigen, da die Vorräte an Phosphor endlich sind und ein Erschöpfen der Vorräte in naher Zukunft wahrscheinlich ist (Szogi, A.A. o.J.). So wird weltweit auch vor allem die zunehmende Beachtung des P-Recycling gefordert (European Commission, DG Environment 2010, S. 9f).

Des Weiteren sind die langfristigen Effekte des Einsatzes der End-Produkte auf den Boden zu beachten, da Wirtschaftsdünger (aufbereitet und nicht-aufbereitet) Schwermetalle (vor allem Cu und Zn) enthalten (Foged et al. 2011b, S. 23). Durch den Export der festen Phase, können organische Materialien zum Erhalt und Aufbau des Humusgehaltes verloren gehen. Auch die Verbreitung von Krankheitskeimen mit unaufbereitetem Dünger, kann für die landwirtschaftliche Produktion relevant sein (Petersen, S.O. et al. 2007, S. 181).

Vielfach wird ein fehlender ganzheitlicher Planungs- und Managementansatz bemängelt (European Commission, DG Environment 2010, S. 9f; Petersen, S.O. et al. 2007; Biberacher, M. et al. 2009; Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management o.J.), der sowohl die verschiedenen Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Schwermetalle bzw. Spurenelemente usw.), die ökologischen (Nährstoffrecycling, Treibhausgasemissionen usw.) und sozialen (Geruch, Verkehr usw.) Effekte berücksichtigt. Auch auf betrieblicher Ebene sind die unterschiedlichen Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstofffrachten gegeneinander abzuwägen: z.B. Wie wirkt sich eine veränderte Fütterungsstrategie zur Reduzierung der P-Ausscheidungen im Vergleich zu einer Wirtschaftsdüngerenaufbereitung aus? In einer Planung sollten alle betrieblichen Nährstoffflüsse, Importe und Exporte, Energienutzung, hygienische Risiken und Belastungen und Kosten berücksichtigt werden (Petersen, S.O. et al. 2007). Hinsichtlich des Einsatzes verschiedener Techniken ist zu bedenken, dass es auch hier zu Trade offs z.B. zwischen der Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Rahmen der Lagerungen und Treibhausgasemissionen im Rahmen der Ausbringung kommen kann (siehe z.B. Lopez-Ridaura, S. et al. 2009; Prapaspongsa, T. et al. 2010). Auch die Betrachtung weiterer Umwelt-

Kriterien zeigt, dass verschiedene Aufbereitungstechnologien mit unterschiedlichen Wirkungen verbunden sind. So zeigt eine Untersuchung von ten Hoeve et al., dass die Separierung mit Zentrifugen im Vergleich zum Einsatz der Zentrifugierung in Kombination mit NH₃-Strippung positiver zu bewerten ist im Hinblick auf den Beitrag zum Klimawandel, die Eutrophierung von Süßwasser und den Einsatz endlicher Ressourcen. Hingegen erwies sich die Kombination mit NH₃-Strippung als positiver unter Berücksichtigung der Bodenversauerung und Meereseutrophierung (ten Hoeven, M. et al. 2014). De Vries et al. beobachtete, dass der Einsatz der betrachteten Aufbereitungstechnologien (Separierung mit anschließender Umkehrosmos) für Schweinegülle ohne die Kombination mit der Erzeugung von Biogas die bewerteten Umweltkriterien (Beitrag zum Klimawandel, Bodenversauerung, Feinstaubentstehung, Nutzung fossiler Energieträger) negativ im Vergleich zur Ausgangssituation beeinflusst (De Vries, J.W. et al. 2012). Bisher wurden jedoch nur einzelne Aufbereitungsverfahren anhand ausgewählter Umwelt-Kriterien mit einander verglichen, so dass verallgemeinerbare Aussagen bzgl. der Vorzüglichkeit des Einsatzes einzelner Technologien unter bestimmten Bedingungen bisher nicht existieren.

Des Weiteren sind auch die lokalen und regionalen Bedingungen zu beachten wie z.B. wie viel Wirtschaftsdünger welcher Art fällt in welchem Umkreis an und welche zusätzlichen Nährstoffquellen (z.B. Klärschlamm) sind vorhanden? So bietet sich auch ein lokaler und regionaler Planungsansatz an (Bonmati, A. et al. 2010), um einen Ersatz mineralischer Dünger in Regionen mit geringem Tierbesatz überhaupt erst möglich zu machen (Biberacher, M. et al. 2009). Es ist abzuwägen, ob in Regionen mit einem extrem hohen Viehbesatz dieser reduziert werden sollte („animal depopulation“) (Sims, J.T. et al. 2005), bzw. die Aufbereitung in diesen Regionen zu etablieren ist, da sie dort den größten Einfluss auf Luft- und Wasserqualität hat (Petersen, S.O. et al. 2007). Es wird gefordert, den Einsatz von Aufbereitungstechniken als Resultat einer solchen Planung zu forcieren und nicht als Ausgangspunkt der Planung zu nutzen (Bonmati, A. et al. 2010).

Es wird darüber hinaus angemerkt, dass auch von politischer Seite eine klare Strategie zur Vermeidung der Ursachen der Nährstoffüberschussproblematik fehlt und vielmehr nur die Symptome behandelt werden (Einarsson, P. o.J. S. 31). Eine Vielzahl von Politikinstrumenten und -maßnahmen adressieren die Reduzierung von Stickstoffeinträgen, aber eine Priorisierung dieser Maßnahmen fehlt (Oenema, O. 2009). So liegt der Fokus der Betrachtungen meist auf dem Eintrag von Nährstoffen über Wirtschaftsdünger, anstatt auf einer Gesamtbetrachtung aller Nährstoffquellen. Ebenso findet der Eintrag von Stickstoff eine größere Beachtung als der Eintrag von Phosphor, wobei in vielen Regionen Phosphor der limitierende Nährstoff der Wirtschaftsdüngerausbringung ist. Auch die Thematik der Nährstoffe aus menschlichen Fäkalien und anderen organischen Abfällen ist in diesem Zusammenhang zu thematisieren. Dabei ist auch zu beachten, Wirtschaftsdünger als Nährstoff-Ressource Bedeutung beizumessen und nicht als „Entsorgungsproblem“. Die im Wirtschaftsdünger enthaltenen Nährstoffe werden umso „wertvoller“, je höher der Preis für Vergleichsprodukte (mineralische Düngemittel) liegt (WBA, 2005).

Es ist auch zu beachten, dass die Förderung der Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern evtl. unterstützend auf die Beibehaltung und Ausdehnung intensiver Tierhaltungssysteme wirken kann. So konnte bspw. trotz hoher Kosten für die Aufbereitung und den Transport in viehintensiven Regionen bisher eine Reduktion der Viehbesatzdichten nicht beobachtet werden (INEMAD 2014). Insbesondere in intensiven Tierhaltungsregionen lassen sich Skaleneffekte der

Aufbereitungstechniken z.B. durch überbetriebliche Anlagen realisieren (Bonmati, A. Et al. 2010). Aufgrund der entsprechenden Nutzungszeiträume der Anlagen, ist dann vorerst nicht mehr mit dem Übergang zu extensiveren Tierhaltungssystemen zu rechnen. Damit bleiben auch die weiteren Probleme der intensiven Tierhaltung wie z.B. Fragen der Tiergesundheit und des Tierschutzes meist ungelöst. Die Bindung der Tierhaltung an die Fläche bzw. ausgeglichene Nährstoffbilanz in einem kleinräumigen Maßstab wird jedoch vielfach als Ziel formuliert, welches an zentraler Stelle stehen soll (Sims, J.T. et al. 2005; Jakobsson, C. et al. 2002; WBA 2005). Hierfür können auch Kooperationen zwischen Nachbarbetrieben etabliert werden (Granstedt, A. 2000). Des Weiteren empfahl bspw. der WBA einzelbetriebliche Maßnahmen in viehstarken Regionen nicht zu fördern, wenn diese zu einer Bestandsaufstockung führen, hingegen in viehschwachen Regionen die „Etablierung der Nutztierhaltung“ verstärkt zu fördern. Einer Etablierung der Nutztierhaltung in viehschwachen Regionen scheinen jedoch ebenfalls Grenzen gesetzt, die mit einzelbetrieblichen Entscheidungen (z.B. Arbeitsbelastung, hoher Investitionsbedarf) und gesellschaftlichen Forderungen (z.B. geruchliche und hygienische Belastungen) in Verbindung stehen. Der WBA forderte zudem besondere Prüfungen der betrieblichen Nährstoffbilanzen sowie die Überarbeitung der Versicherungspflicht hinsichtlich des tatsächlich auftretenden Tierseuchenrisikos (WBA 2005). Es sei darauf hingewiesen, dass die 2005 getroffenen Aussagen des WBA rund zehn Jahre später nun in einem in der Bearbeitung befindlichen Gutachten des WBA aktualisiert werden.

Die Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern ist demnach mit anderen Varianten der Problemlösung – insbesondere der Flächenbindung der Tierhaltung – hinsichtlich von zu definierenden Kriterien der Nachhaltigkeit über die gesamte Prozesskette hinweg zu vergleichen und in eine Gesamtplanung zu integrieren. Förderungswürdige Techniken der Aufbereitung zeichnen sich dadurch aus, dass sie wenig Energie verbrauchen bzw. Energie produzieren, so dass die Netto-Energieproduktion als Kennzahl herangezogen werden sollte (Foged, et al. 2011b, S. 20). Weiterhin sind dezentralisierte Lösungen zu bevorzugen (z.B. auch hinsichtlich der Nutzung z.B. von Wärme aus Biogasanlagen), durch die die Transporte vermindert werden können. Regionale Anlagen sind dann einzusetzen, wenn durch diese die Effizienz des gesamten Systems der Aufbereitung steigt und die negativen Effekte des Transportes mindestens ausgleicht (Foged, et al. 2011b, S. 20). Insgesamt sind in der Planung entsprechender Anlagen neben den Kosten auch die Effekte auf das Klima (THG-Ausstoß durch Aufbereitung und Transport) und die Gesellschaft (z.B. Anstieg der Transporte, Industrieanlagen in der Landschaft) zu berücksichtigen.

5.2 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Handlungsempfehlungen, die sich aus den bisherigen Ausführungen zur Wirtschaftsdüngeraufbereitung ergeben. Dabei sind die Handlungsempfehlungen unterteilt in weiteren Forschungsbedarf, der sich aufgrund offener Fragestellungen ergibt, und politischen Handlungsbedarf. Die als politischer Handlungsbedarf formulierten Empfehlungen sind dabei entsprechend dem zeitlichen Rahmen geordnete, wobei kurzfristig umzusetzende Empfehlungen zuerst genannt werden.

Forschungsbedarf

Der Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechnologien für Wirtschaftsdünger kann dazu beitragen, Nährstoffe aus Wirtschaftsdünger-Überschuss- in Wirtschaftsdünger-Mangelregionen zu transportieren. Dadurch kann zu einer Entlastung der Ressourcen des Naturschutzes und des Wohn-Umfeld-Schutzes der Menschen in den Überschussregionen beigetragen werden und gleichzeitig der Einsatz von mineralischen Düngemitteln in den Mangelregionen reduziert werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Einsatz dieser Technologien mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Trade-Offs verbunden ist, die bisher nicht in die Betrachtung eingeflossen sind. Hierzu zählt bspw. der Energieeinsatz für die Aufbereitung und den Transport und die damit entstehenden Treibhausgase. Des Weiteren sind Wirkungen auf den Boden zu erwarten z.B. durch Belastungen mit Schwermetallen in der festen Phase des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers oder Wirkungen auf den Humusgehalt. Auch kann das menschliche Wohlbefinden durch zusätzliche Transporte und technische Überprägung des Landschaftsbildes negativ beeinflusst werden. Eine Abwägung erscheint auch notwendig hinsichtlich der Diskussion, wie ein weiterer Bedeutungsverlust von Betrieben und Regionen mit extensiver Viehhaltung (z.B. mit einem max. GV-Besatz der einer Ausscheidung von 170kg N/ha entspricht) vermieden werden kann. Es ist somit zu empfehlen, diese Trade Offs der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und des -transportes in die Betrachtung zu integrieren und eine Gesamt-Bilanz (life cycle assessment) hinsichtlich der Wirkungen zu erstellen. In diese Betrachtungen sind auch die Situation und die aus der Aufbereitung und dem Transport resultierenden Effekte in den Wirtschaftsdünger-aufnehmenden Regionen zu berücksichtigen. In einem weiteren Schritt sind die Alternativen der Problemlösung – wie z.B. Flächenbindung der Tierhaltung, Reduzierung des Nährstoffinputs in Tierhaltungssysteme durch reduzierte Nährstoffgehalte in Futtermitteln – ebenfalls zu bilanzieren und der Variante der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und des -transportes gegenüberzustellen. Ferner sind die Umweltwirkungen der verschiedenen Aufbereitungstechniken gegeneinander abzuwägen, bevor einzelne Techniken favorisiert werden. Erst eine ganzheitliche Betrachtung ermöglicht Aussagen, ob der Einsatz von Aufbereitungstechnologien, und wenn ja welcher, zu fordern und zu unterstützen ist, oder ob andere Maßnahmen vorrangig gefördert werden sollen.

Ebenso ist auch der Einsatz der politischen Instrumente, die zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen bzw. zur Einführung der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und des -transportes in die Praxis eingesetzt werden können, anhand geeigneter Kriterien (z.B. entstehende gesellschaftliche Kosten, die Akzeptanz der Bevölkerung sowie der Landwirtschaftsbetriebe) zu bewerten, um daraus politische Handlungsempfehlungen abzuleiten. Hierbei ist auch zu diskutieren, inwieweit Umweltkosten der intensiven Tierhaltung von der Gesellschaft (Gemeinlastprinzip) zu tragen sind und diese Betriebe dadurch einen

Wettbewerbsvorteil gegenüber Betrieben mit extensiver Tierhaltung realisieren können, bzw. Umweltkosten nach dem Verursacherprinzip den Betrieben angelastet werden.

Politischer Handlungsbedarf

Die im vorliegenden Bericht dargestellten Ergebnisse zeigen, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen der Einsatz von Techniken zur Aufbereitung und zum Transport von Wirtschaftsdünger aus Nährstoff-Überschuss- in Nährstoff-Mangelregionen nicht wirtschaftlich ist. Als ursächlich hierfür können im Wesentlichen folgende Punkte genannt werden:

- Zu schwaches Ordnungsrecht mit zu geringen Kontrollen und Sanktionen, wodurch es zum einen auch bei Einhaltung der Auflagen zu Nährstoff-Überschüssen kommt (z.B. durch Nichtberücksichtigung von Gärresten in der Düngeverordnung), zum anderen Übertretung aufgrund geringer Kontrollen und Sanktionen in Kauf genommen werden.
- Zu hohe Investitions- und Betriebskosten der Aufbereitungs- und Transporttechnologien.
- Zu geringe Preise der Vergleichsprodukte, so dass durch den Absatz der aufbereiteten Wirtschaftsdünger keine kostendeckenden Preise erzielt werden können. Vielmehr ist häufig aufgrund der geringen Akzeptanz der aufbereiteten Wirtschaftsdünger in den Ackerbauregionen eine Prämie für die Abnahme der Produkte zu bezahlen.

An erster Stelle ist somit eine stringente Umsetzung des geltenden Rechtes zu fordern, die Kontrollen und eine „scharfe“ Ahndung von Verstößen einschließt. Die Übertretung bestehender Auflagen könnte damit weitgehend eingeschränkt und die Problematik von Nährstoffüberschüssen reduziert werden. Die betroffenen Betriebe werden entsprechende Anpassungsreaktionen durchführen, die u.U. auch die Einführung der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und des –transportes einschließen können. Allerdings sind auch andere Anpassungsreaktionen wie die Abstockung von Viehbeständen, Reduzierung der Nährstoffgehalte in Futtermitteln u.a. möglich. Welche Anpassungsmaßnahme zur Umsetzung kommt, wird im Wesentlichen von den ökonomischen und weiteren gesetzlichen Rahmenbedingungen beeinflusst. Ob der Einsatz von Wirtschaftsdüngeraufbereitungstechnologien erwünscht und gesetzlich zugelassen oder gefördert wird, sollte durch weitere Untersuchungen, die auf ganzheitlichen Bewertungsansätzen beruhen, geklärt werden (siehe Forschungsbedarf).

Die aktuelle Überarbeitung der Dünge-VO sollte der in diesem Bericht dargestellten Problemlage der Entstehung von Nährstoffüberschüssen gerecht werden und entsprechende Auflagen, Kontrollen und Sanktionen festsetzen. Der aktuelle Entwurf der novellierten Dünge-VO sieht einige Verschärfungen der Auflagen vor (siehe Kapitel 3). Vermutlich werden allerdings auch durch die novellierte Dünge-VO die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie in 8 von 9 in Nord- und Ostsee entwässernden Flussgebietseinheiten nicht einzuhalten sein (Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 2014, S. 25). Des Weiteren ist zu betonen, dass ohne strikte Kontrollen und entsprechende Sanktionen auch höhere bzw. zusätzliche Wirkungen keine Wirkung entfalten. Hierbei ist auch zu bedenken, dass gewerblich tierhaltende Betriebe nicht im System der Cross-Compliance-Kontrollen und –sanktionen integriert sind, jedoch vielfach für die Entstehung der regionalen Nährstoffüberschüsse einen entscheidenden Beitrag liefern. Kontrollen und Sanktionen sind somit über den Cross-Compliance-„Apparat“ hinaus auszudehnen und Wettbewerbsverzerrungen durch die Nicht-Berücksichtigung externer Kosten zu beseitigen.

Ebenfalls ist die Einführung weiterer Auflagen, wie bspw. die Begrenzung der Tierhaltung - wie in den Niederlanden und Flandern/Belgien bereits umgesetzt – oder die verpflichtende Reduzierung von Nährstoffgehalten in Futtermitteln zu diskutieren. Dabei sind die Maßnahmen jedoch zuvor hinsichtlich ihrer Trade-Offs zu bewerten, um nicht intendierte Wirkungen weitgehend auszuschließen.

Um den Einsatz der Produkte der Wirtschaftsdüngeraufbereitung als Ersatz mineralischer Düngemittel zu fördern, sind die Festsetzung von Standards und die Aufnahme in die Positiv-Liste der Düngemittel-Verordnung voranzutreiben. Die Definition standardisierter Eigenschaften der Produkte begünstigt die Handelbarkeit und den Einsatz als Äquivalent mineralischer Düngemittel.

Die Investitionskosten der entsprechenden Technologien können voraussichtlich durch Realisierung des technischen Fortschritts zukünftig weiter reduziert werden. Es ist daher zu empfehlen, Forschung auch im Bereich der technischen Umsetzungsmöglichkeiten zu fördern. Sowohl zur Erhebung ökologischer und sozialer Effekte des Einsatzes von Aufbereitungstechnologien, als auch zur Optimierung der technischen Abläufe bietet sich die Umsetzung von staatlich geförderten Pilotprojekten an.

Zusätzlich sind Maßnahmen zur Sensibilisierung der Landwirte als auch der Gesellschaft für die Problematik der Nährstoffüberschüsse umzusetzen. Im gesellschaftlichen Bewusstsein scheinen vor allem die Belastung des Trinkwassers und Argumente des Tierwohles relevant zu sein. Diese stehen häufig in engem Zusammenhang mit Nährstoffüberschüssen und lassen sich somit thematisieren. Auch in Diskussionen auf landwirtschaftlicher Ebene, sind die Wirkungen landwirtschaftlichen Handelns vermehrt in das Bewusstsein zu rücken, wobei alle Ebenen aber insbesondere auch die direkte landwirtschaftliche Beratung in die Pflicht zu nehmen sind.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Thematik „Nährstoffmanagement“ auch Auswirkungen auf den Bodenzustand hat. Dabei spielen Schadverdichtungen, nicht zuletzt durch das Befahren mit schweren Maschinen zu einem nicht optimalen Zeitpunkt, eine wichtige Rolle. Des Weiteren haben Schadverdichtungen einen Einfluss auf die Nährstoffdynamik, auf die Nährstoffeffizienz und schließlich auf die Emission von klimabelastenden Gasen (z.B. Lachgas). Nicht zuletzt sind Böden mit einer ungünstigen Struktur weniger dazu in der Lage Niederschläge aufzunehmen und verursachen damit mehr Bodenerosion. Insofern gilt es, das Nährstoffmanagement mit den Aspekten des Bodenschutzes und des Bodenlebens zu verknüpfen, um die unterschiedlichen Ziele möglichst gut zu erreichen.

6 Quellenverzeichnis

- AgroTech (2010). GEA Westfalia UCA 501-00-02 – Post-treatment of digested biomass. http://www.etv-denmark.com/files/energy/GEA_Post_Treatment_Verification_report.pdf. Aufgerufen am 25.4.2014
- Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management (o.J.): Sustainable Manure Management in the Baltic Sea Region. http://www.balticmanure.eu/download/News/131894_projektbrochure_baltic_manure_2013.pdf, abgerufen am 28.4.2014
- Block, R., (2010). Ökologische und ökonomische Bewertung der Gärrestaufbereitung – Gärrestaufbereitung im praktischen Einsatz. Vortrag, gehalten in Düsse, am 11.11.2010.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost BGK (2011): Rechtliche Grundlagen und Qualitätsanforderungen an unterschiedliche Gärprodukte zu Düngung http://www.fnr.de/fileadmin/energiepflanzen/DWA/Vortrag_DWA_Naujoks.pdf, abgerufen 4.7.2014
- Biberacher, M. et al. (2009): A linear optimisation model for animal farm manure transports in regions with high intensity animal farming. Vortrag gehalten 18th World IMCAS/MODISM Congress, Cairns, Australia 13-18 July 2009.
- Bijl, A.C. (o.J.): Poultry manure utilisation: A Knowledge transfer project in the Sverdlovsk Region of the Russian Federation; http://www.ssc.smr.ru/media/ipuss_conf/14/3_07.pdf, abgerufen am 14.4.2014
- BMU & BMELV (2012): Nitratbericht 2012. Bonn.
- Bonmati, A. (2007): El compostatge de residus ramaders, situacio acutal. Jornades Tecniques i de Treball sobre Compostatge: CompostARC 2007. Mollet del Valles, Spain (in Catalan). zitiert in Flotates; X. et al. (2009): Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies. NE Spain a case study. In: Bioresource Technology 100 (2009) 5519-5526.
- Bonmati, A. et al. (2010): Manure treatment technologies: on-farm vs. Centralized strategies. Catalonia as case study. Vortrag gehalten „Managing livestock manure for sustainable agriculture. 24-25.11.2010, Wageningen, The Netherlands.
- Bronsema, H. et al. (2012): Effizienzsteigerung bei der Verwertung von Wirtschaftsdüngern in Nordwestdeutschlan – eine modellbasierte Transportoptimierung. In: Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie Band 21(2), S. 11-20.
- Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2014): Prognose der Auswirkungen einer nach Gewässerschutzaspekten novellierten Düngeverordnung auf die Qualität der Oberflächengewässer in Deutschland. Husum.
- de Buissonje, F. (2013): Manure Management and Processing. Vortrag gehalten REDNEX Symposium Bucharest Thursday, 16-17 May 2013; http://www.rednex-fp7.eu/Docs/Bucharest_2013/slide/11_Manure_management.pdf
- De Clercq, P. et al. (Hrsg.) (2001): Nutrient Management Legislation in European Countries. Wageningen.
- De Clercq, P. (2005): European nutrient policies in relation to dairy farming. Nutrient management at farm scale- How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming?. First Workshop of the EGF Working Group „Dairy Farming Systems and Environment“, Quimper, France, 23-25 June 2013. Wagening. S. 11-16.

- De Vries, J.W. et al. (2012): Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. In: Journal of Environmental Management 102 (2012). S. 173-183.
- Döhler, H. & Wulf, S. (2013): Technical and economical evaluation of digestate processing techniques. 15th International RAMIRAN-Conference 2013. 3. - 5. 6. 2013, Versailles, FRA.
- Döhler, H., et al. (2011): UN ECE-Luftreinhaltekonvention – Task force on Reactive Nitrogen. Systematische Kosten-Nutzen-Analyse von Minderungsmaßnahmen für Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft für nationale Kostenabschätzungen. UBA Texte 79/2011
- Döhler, H. (2013): Membranen liefern klares Wasser. Biogas Journal 1_2013. Pp 82-85.
- Döhler, H. (2015): mündliche Mitteilung vom 08.01.2015
- Einarsson, P. (o.J.): Policy interventions for ecological recycling agriculture – Available options for governments in the Baltic Sea region. COMERC Studies in Environment and Development No. 5. Stockholm.
- European Commission, DG Environment (2010): Workshop: Managing livestock manure for sustainable agriculture. Wagening.
- GEA (2013). GEA Westfalia Separator WaterMaster
- Grignani, C. Et al. (2003): Country-Reports-Italy, In: Bos J. et al. (Hrsg.): Nutrient management at farm scale- How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming?. First Workshop of the EGF Working Group „Dairy Farming Systems and Environment“, Quimper, France, 23-25 June 2013. Wagening. S. 37-52
- Flotates; X. et al. (2009): Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies. NE Spain a case study. In: Bioresource Technology 100 (2009) 5519-5526.
- Foged, H.L. (2010): Best Available Technologies for Manure Treatment – for intensive rearing of pigs in Baltic Sea Region EU Member States. Baltic Sea 2020 (Hrsg.). Stockholm.
- Foged, H. L. et al. (2011a): Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning „Manure Processing Activities in Europe“ to the European Commission, Directorate – General Environment. 138pp.
- Foged, H. L. et al. (2011b): Future trends on manure processing activities in Europe. Technical Report No. V to the European Commission, Directorate – General Environment. Manure Processing Activities in Europe – Project reference: ENV.B.1/ETU/2010/0007.
- Foged, H. (2011c): Conversion to manure concentrates, Kumac Mineralen – Description of a case for handling livestock manure with innovative technology in the Netzerlands. Published by Agro Business Park A/s, Tjele.
- Foged, H.L. (2011d): Information on manure processing installations and farms with improved manure management in EU member states. Vortrag gehalten auf dem TAIEX Workshop on best practices in manure management in livestock production on farms, 19.-20. 12.2011, Zagreb
- Forbes, E.G.A. et al. (2006): An evaluation of manure treatment systems designed to improve nutrient management. Hillsborough, Northern Irland.
- Fraunhofer (2014): Mobile Demonstrationsanlage zur elektrochemischen Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (Struvit). <http://www.igb.fraunhofer.de/de/kompetenzen/physikalische-prozesstechnik/naehrstoffmanagement/map-anlage.html> Aufgerufen am 28.06.2014

- Freinecker, D. (2013): Application of Subsurface Bio-Reactor (S2BR). Vortrag, gehalten am 13. Mai 2014 in Straubing.
- Granstedt, A. (2000): Increasing the efficiency of plant nutrient recycling within the agricultural system as a way of reducing the load to the environment – experience from Sweden and Finland. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80 (2000), 169-185.
- Hartl, G. et al. (O.J.): Nährstoffausgleich in und zwischen den Regionen – Strategien für NRW. Transport und Export von Gülle – Ökonomische Konsequenzen für den Betrieb. Vortrag gehalten auf der Herbsttagung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2013; <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/download/herbsttagung/2013-12-laurenz-leuer.pdf>, abgerufen am 14.4.2014
- Heißenhuber, A.; Haber, W.; Krämer, C. (2014): 30 Jahre SRU-Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ – eine Bilanz. In Veröffentlichung.
- INEMAD (2014): Second Newsletter, <http://www.inemad.eu/en/news-and-events-uk/newsletter-uk/news2-uk.html>, abgerufen am 7.7.2014
- INOCRE (2014): Wertstoffrückgewinnung. <http://www.inocre.de/phosphatrueckgewinnung>. Aufgerufen am 30.6.2014
- Internet (2014a): <http://www.igb.fraunhofer.de/de/kompetenzen/physikalische-prozesstechnik/naehrstoffmanagement/rueckgewinnung-von-phosphor.html>, abgerufen am 7.7.2014
- Internet (2014b): http://www.dofco.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=54&lang=en, abgerufen am 7.7.2014
- Jakobsson, C. et al. (2002): The policy implementation of nutrient management legislation and effects in some European Countries. Presentation held on 18th April 2002 in Gent, Belgium at the final Workshop of the EU concerted action Nutrient Management Legislation in European Countries NUMALEC.
- Jering, A. et al. (2012): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Hrsg. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Kai, P. et al. (2008): A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. In: *Europ. J. Agronomy* 28 (2008) 148–154
- Kelm, M. & Taube, F. (2003): Characterization of dairy farming systems in the European Union and nutrient cycles.. In: Bos J. et al. (Hrsg.): Nutrient management at farm scale- How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming?. First Workshop of the EGF Working Group „Dairy Farming Systems and Environment“, Quimper, France, 23-25 June 2013. Wageningen. S. 17-31.
- Kowalewsky, H. (2013a): Verfahren zur Aufbereitung von Gülle und Gärresten. NRW-Biogastagung: Biogas 2013 – Wohin geht die Reise? Düsse, 25. 4. 2014.
- Kowalewsky, H. (2013b): Konzepte zur Reduktion von Nährstoffen für Tierhaltungsbetriebe durch Kooperation mit Biogasanlagen in Ackerbauregionen. Vortragstagung Zu viel Gülle/Biogasreste – was nun?. Düsse, 31.10.2013.
- KTBL (2008): Umweltgerechte, innovative Verfahren zur Abtrennung von Nährstoffen aus Gülle und Gärrückständen – Technologischer Stand, Perspektiven und Entwicklungsmöglichkeiten. DBU und FAL, 2008.

- KTBL (2014): Investitionsbedarf und Jahreskosten landwirtschaftlicher Betriebsgebäude.
[http://daten.ktbl.de/baukost2/?tx_ktblsso_checktoken\[token\]=7c9ae19d13d5ddc7377448379883e7f3](http://daten.ktbl.de/baukost2/?tx_ktblsso_checktoken[token]=7c9ae19d13d5ddc7377448379883e7f3).
Aufgerufen am 18. 4. 2014
- Lebuf, V. et al. (2012): Nutrient recovery from digestates: techniwues and end-products. Fourth International Symposium on Energy from Biomass and Waste. Venice 2012.
- Leenstra, F. et al. (2014): Manure – A valuable resource. Wagening.
- Lehmann, R. (2014): Es wird noch enger – An einer Novelle der Düngeverordnung führt kein Weg vorbei. Was das Bundeslandwirtschaftsministerium plant, wird die Notwendigkeit zur überregionalen Gülleverwertung erhöhen. In: Agrarmanager April 2014, S. 10-12
- Lopez-Ridaura, S. et al. (2009): Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. In: Journal of Environmental Management 90 (2009). S. 1269-1304
- Martinez, J. & Burton, C. (2003): Manure Management and Treatment: An Overview of the European Situation. ISAH 2003, Mexiko; www.isah-soc.org/.../15%20MartinezFrance.doc, abgerufen am 14.4.2014
- Melse, R.W. & Verdoes, N. (2005): Evaluation of four farm-scale Systems for the Treatment of liquid pig manure. In: Biosystems Engineering (2005) 92 (1), 47-57
- MKR (2014): Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gärproduktaufbereitung. Verdampfersystem 2xRT600ASL
- Möbius, J. & Lehmann, N. (2014): Eingedickte Gülle hin, Getreide zurück. In: Agrarmanager April 2014, S. 18-22
- Oenema, O. (2013): Manure processing in The Netherlands. Vortrag gehalten auf dem ReUseWaste mid-term review meeting, Wagening, 14.-18. Oktober 2013.
- Oenema, O. et al. (2004a): Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture. In: Journal of Animal Science 2004 (82) (E.Suppl.): E196-E206.
- Oenema, O. et al. (2004b): Environmental effects of manure policy options in The Netherlands. In: Water Science and Technology Vol. 49 No 3 pp 101-108.
- Oenema, O. et al. (2009): Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 133 (2009) 280-288.
- Oenema, O. et al. (2011): Nitrogen in current European policies. In: Sutton, M.A. et al. (Hrsg): The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press. http://www.nine-esf.org/sites/nine-esf.org/files/ena_doc/ENA_pdfs/ENA_c4.pdf, abgerufen am 16.4.2014
- Oenema, O. (2013): Manure processing in The Netherlands. Vortrag gehalten ReUseWaste mid-term review meeting Wagening, 14-18 October 2013.
- Oenema, O. (2014): mündliche Mitteilung
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2005): Manure Policy and Minas: Nitrogen and Phosphorus Surpluses in Agriculture of the Netherlands. Paris.
- Osterburg, B. & Techen, A. (2012): Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen der Weiterentwicklung. Braunschweig.

- Osterburg, B.; Röder, N.; Techen, A. (2012) Anhang 4: Ergebnisse der quantitativen Analysen. In: BLAG (Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung) (2012) Evaluierung der Düngeverordnung - Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung: Abschlussbericht. S. 157-222.
- Parts, I.I. (2007): El compostatge de residus industrials, situació actual. Jornades Tècniques i de Treball sobre Compostatge: CompostARC 2007. Mollet del Valles, Spain (in Catalan). zitiert in Flotates; X. et al. (2009): Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies. NE Spain a case study. In: Bioresource Technology 100 (2009) 5519-5526.
- Petersen, S.O. et al. (2007): Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. In: Livestock Science 112 (2007), 180-191.
- Pitschke, T. et al. (2013): Behandlung von Bioabfällen – Ökoeffizienz und Potenziale. In: Optimierte Erfassung und Verwertung von Bioabfall / Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH. Hrsg.: Michael Kern ; Thomas Raussen
- Prapasongsa, T. et al. (2010): LCA of comprehensive pig manure management incorporating integrated technology systems. In: Journal of Cleaner Production 18 (2010). S. 1413-1422.
- Raupp, J. & Oltmanns, M. (2006): Reduzierung von Nährstoffverlusten während der Stallmistrotte durch Beeinflussung der Rottebedingungen. Hrsg.: Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Darmstadt.
- Raussen, T. & Lootsma, A., (2008): Verfahren der Gärrestaufbereitung. http://www.witzenhausen-institut.de/downloads/biomasse_2008_raussen_lootsma.pdf. Aufgerufen am 15. 4. 2014
- RIVM (2002): MINAS and Environment, Balance and Outlook. RIVM, Bilthoven, The Netherlands (In Dutch).
- RIVM (2004): Minerals better adjusted, Fact-finding study of the effectiveness of the Manure Act. RIVM, Bilthoven, The Netherlands (In Dutch).
- Rutherford, K. & Cox, T. (2009): Nutrient trading to improve and preserve water quality. In: Water & Atmosphere 17(1) 2009
- Schollier, C. (2014) (vcm-mestverwerking): schriftliche Mitteilung.
- Schoumans, O.F. et al. (2010): Phosphorus recovery from animal manure – Technical opportunities and agro-economical perspectives. Wageningen, Alterra, Alterra report 2158.
- Sheriff, G. (o.J.): Efficient Waste? Why Farmers over-apply Nutrients and the Implications for Policy Design. In: Review of Agricultural Economics – Volume 27, Number 4 – Pages 542-557.
- Sims, J.T. et al. (2005): Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability. In: Soil Use and Management (2005) 21, 141-151
- Sindhøj, E. & Rodhe, L. (Hrsg.) (2013): Examples of implementing manure processing technology at farm level. Knowledge Report. Baltic Forum for innovative technologies for sustainable manure management.
- Snauwaert, E. (2014) (vcm-mestverwerking): schriftliche Mitteilung
- Sommer, S.G. et al. (2013): Regulations on Animal Manure Management. In: Sommer, S.G. et al. (Hrsg.): Animal Manure Recycling. Chichester. S. 25-40.
- Steffen, H., et al. (1995): Das 3A-Verfahren: Eine innovative Kombination aus Biogaserzeugung und Abfallbehandlung. In.: Abfallwirtschaft und Stoffkreisläufe. Herausgeber Scheffler und Mohry.

- Stumpf, D. (2007): Phosphorrecycling durch MAP-Fällung im kommunalen Faulschlamm. Umweltbundesamt. Berlin.
- Sutton, M. et al. (2011): Too much of a good thing. In: Nature Vol 472, S. 159-161.
- Szogi, A. A. (o.J.): USDA-ARS Developed Technologies for Recovering Manure Phosphorus. Vortrag gehalten Agricultural Reserach Service. Coastal Plan Soils, Water and Plant Reserach Center, Florence, SC; <http://fyi.uwex.edu/midwestmanure/files/2009/10/Szogi-PPT-2011.pdf>, abgerufen am 14.4.2014
- Taube, F. et al. (2013): Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. In: Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 219, September 2013.
- ten Hoeve, M. et al. (2014): Life cycle assessment of pig slurry treatment technologies for nutrient redistribution in Denmark. In: Journal of Environmental Management 132 (2014). S. 60-70.
- Umweltbundesamt (o.J.): Stickstoff – Zuviel des Guten. Dessau-Roßlau; <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4058.pdf>, abgerufen am 10.11.2014
- UNEP (2010): Building the Foundations for sustainable Nutrient Management. A publication of the Global Partnership on Nutrient Management. Kenya.
- Van Elsacker, S. (2013): Manure processing in Flanders: an overview. Vortrag gehalten am 6.9.2013 Texas A&M University, KULeuven.
- van Geyten, J. et al. (2011): WP-2 Analysis of current situation in EU27+Sw, Country report of BELGIUM. Wagening; http://www.agrixchange.eu/sites/default/files/Country%20report%20BELGIUM_0.pdf, abgerufen am 7.7.2014
- van Grinsven, H.J.M. et al. (2012): Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrate Directive; a benchmark study. In: Biogeoscience, 9, 5143-5160
- VCM (2014): International Conference: Manuresource 2013; http://vcm-mestverwerking.be/information/index_en.phtml?informationtreeid=361, abgerufen am 7.7.2014
- WBA (2005): Zukunft der Nutztierhaltung. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates Agrarpolitik, nachhaltige Landbewirtschaftung und Entwicklung ländlicher Räume beim Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- WBA, WBD, SRU (2013): Kurzstellungnahme Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen.
- Wendland, M.& Lichti, F. (2012): Biogasgärreste – Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. LfL, 2012.
- Westhoeck, H. et al. (2004): Economic and environmental effects of the manure policy in The Netherlands: synthesis of integrated ex-post and ex-ante evaluation. In: Water Science and Technology Vol. 49 No 3 pp 109-116.
- Wulf, S. & Döhler, H. (2009): Verfahren und Kosten der Gärrestaufbereitung. In: Gülzower Fachgespräche Band 32 – Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. 15. und 16. 09.2009, Weimar.
- Wright, S. & Mallia, C. (2008): The Dutch Approach to the Implementation of the Nitrate Directive: Explaining the Inevitability of its Failure. In: The Journal of Transdisciplinary Studies vol. 7, no. 2, 2008.

7 Anhang

Anhang 1: Übersicht mittlerer Abscheidungsgrade der Verfahren nach KTBL

	Frischmasse	TS	oTS	CSB	NH ₄ -N	Gesamt-N	PO ₄ -P	K ₂ O ₅
	%	Abscheidungsgrade (%)						
Separation (Pressschneckenseparator)								
Feststoff	10,00	48,10	56,25	48,80	9,15	17,00	21,80	10,00
Flüssige Phase	90,00	51,90	52,40	51,20	82,00	83,00	78,00	90,00
Dekantierung								
Feststoff	16,92	58,32	46,68	47,68	20,33	27,08	69,52	10,00
Flüssige Phase	83,08	41,68	53,32	52,32	79,67	72,92	30,48	90,00
Doppelbandtrockner (Kuhls 2007 in KTBL)								
Feststoff	22	91,6	91,6	n.b.	8,15	65,49	94,87	94,87
Verdunstung	78	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Dekantierung – Ultrafiltration – Umkehrosmose (Klink 2005 in KTBL, S. 18)								
Zulauf Gärrest	100%							
Feststoff Dekanter	14,00	56,86	44,81	45,84	20,02	21,87	66,06	10,00
Flüssige Phase Dekanter	86,00	43,15	55,19	54,16	79,98	78,13	33,94	90,00
Filtrat Ultrafiltration	17,00	2,46	n.b.	11,64	n.b.	8,67	0,10	16,11
Konzentrat UF+UO	34,00	34,09	n.b.	42,52	n.b.	70,09	47,30	74,72
Filtrat Umkehrosmose	35,00	0,00	n.b.	0,06	n.b.	0,04	0,01	0,04
Verdampfung dekantierter Gärrest (Abdoun, 2006 in KTBL, S. 21)								
Konzentrat1)	28,00	127,40	131,00	101,00	109,62	104,07	97,73	95,62
Kondensat	72,00	0,47	0,47	0,00	0,23	0,52	0,98	0,19
Ammoniakstrippung separierter Gärrest2)								
Ablauf	99	n.b.	n.b.	n.b.	11,39	47,60	100,00	n.b.
NH ₄ HCO ₃ -Salz	1				88,62	52,40	0,00	

Quelle: KTBL 2008

1) „Die zu hohen Abscheidegrade hinsichtlich des Konzentrats sind auf Analysefehler bei der Bilanzierung zurückzuführen“ (KTBL 2008, S. 21)

2) Da die Art der Separierung von geringer Bedeutung ist, ist hier nur die Separierung dargestellt.

