

Möglichkeiten und Grenzen des Nährstoffrecyclings von Gülle

Hannes Hoppenworth
Thünen-Institut für Agrartechnologie



Problemstellung

Kernproblem:

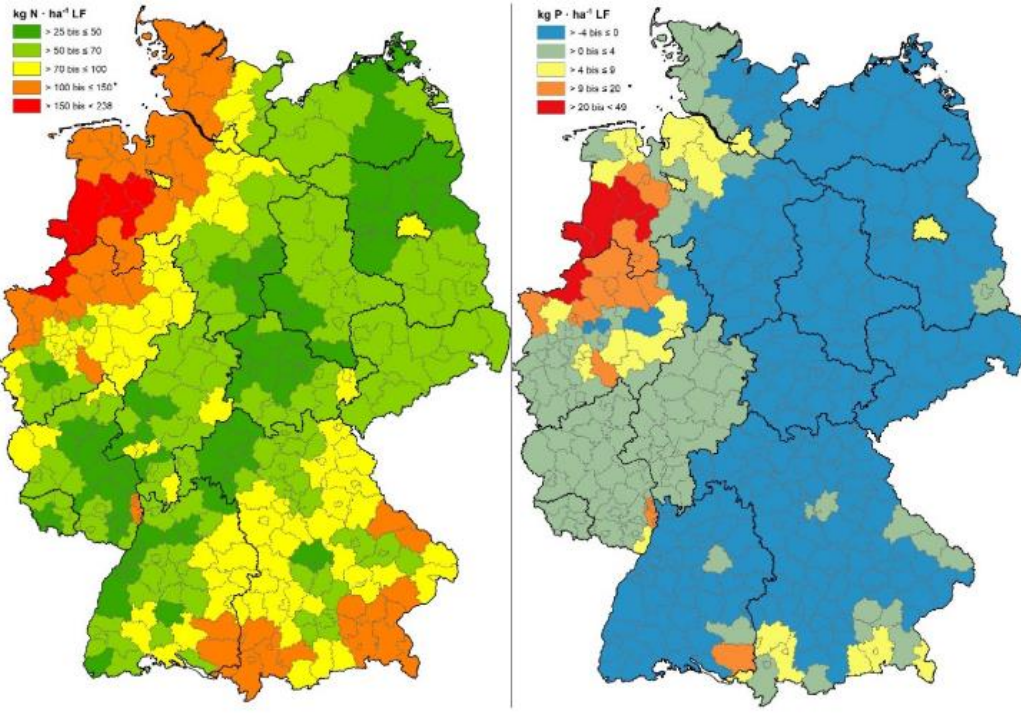
- **Viehhaltende Regionen haben Nährstoffüberschüsse in Form von Gülle zu verzeichnen**
- **Überschüssige Nährstoffe sind in Acker- und Futterbau-Regionen zu verfrachten**

Seit April 2022: Zeitenwende

Ukraine-Krieg -> Sanktionen -> teure Energie -> teurer Mineraldünger und unsichere Versorgung mit mineralischen Düngemitteln

Lösung: Aufbereitung vorhandener tierischer Reststoffe/Gülle?

Problemstellung - Die Überschussregionen



Quelle: Häußermann et al. (2020)

- Hohe N-, P - Überschüsse im Wesentlichen im (Nord-) Westen Deutschlands:

Überschüsse v.a. in:

- West-Niedersachsen

Problemstellung – (N)-Überschuss in NDS

Stickstoffüberschuss nach § 6 (4) DüV* oberhalb von 170 kg N/ha absolut (**rote Färbung**):
Summe N-Überschuss > 170 kg N/ha absolut: **2.742 t N**

Durchschnittswerte auf Regionsebene:

Braunschweig: 47 kg N/ha
Leine-Weser: 90 kg N/ha
Lüneburg: 112 kg N/ha
Weser-Ems: 154 kg N/ha

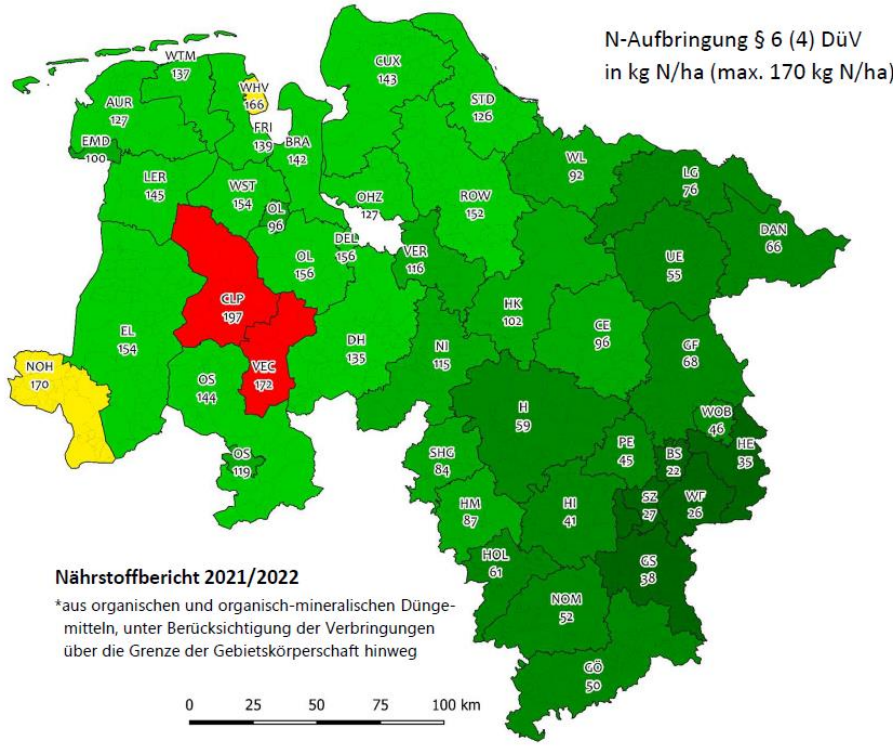
Landesebene: 113 kg N/ha

N-Aufbringung § 6 (4) DüV
in kg N/ha (max. 170 kg N/ha)

Zusätzlich verfrachtbare N-Menge:

- 2021/2022: **2.742 t N**

Hpts. aus LK CLP und VEC



Quelle: LWK NDS (2023)

Problemstellung – (P)-Überschuss in NDS

P-Einsparpotential:

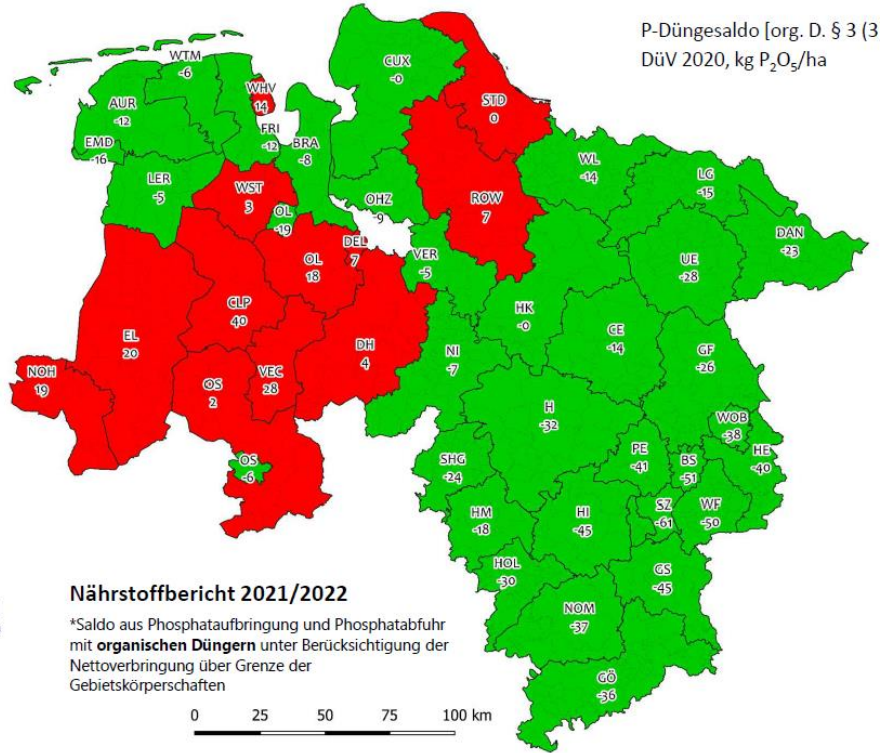
Phosphatsaldo aus Zufuhr und Abfuhr
org. Dünger auf Landesebene
insgesamt: rd. **-20.484 t P₂O₅**

plus mineralische Phosphatdüngung
im 3-Jahresmittel nach Destatis: rd.
27.291 t P₂O₅

gleich P-Düngesaldo: **6.807 t P₂O₅**

plus P-Menge oberhalb der Abfuhr
aus org. Düngung: rd. **13.139 t P₂O₅**

gleich P-Einsparpotential:
rd. **19.946 t P₂O₅**



Bei Betrachtung der P-Salden ist
die Lage problematischer:

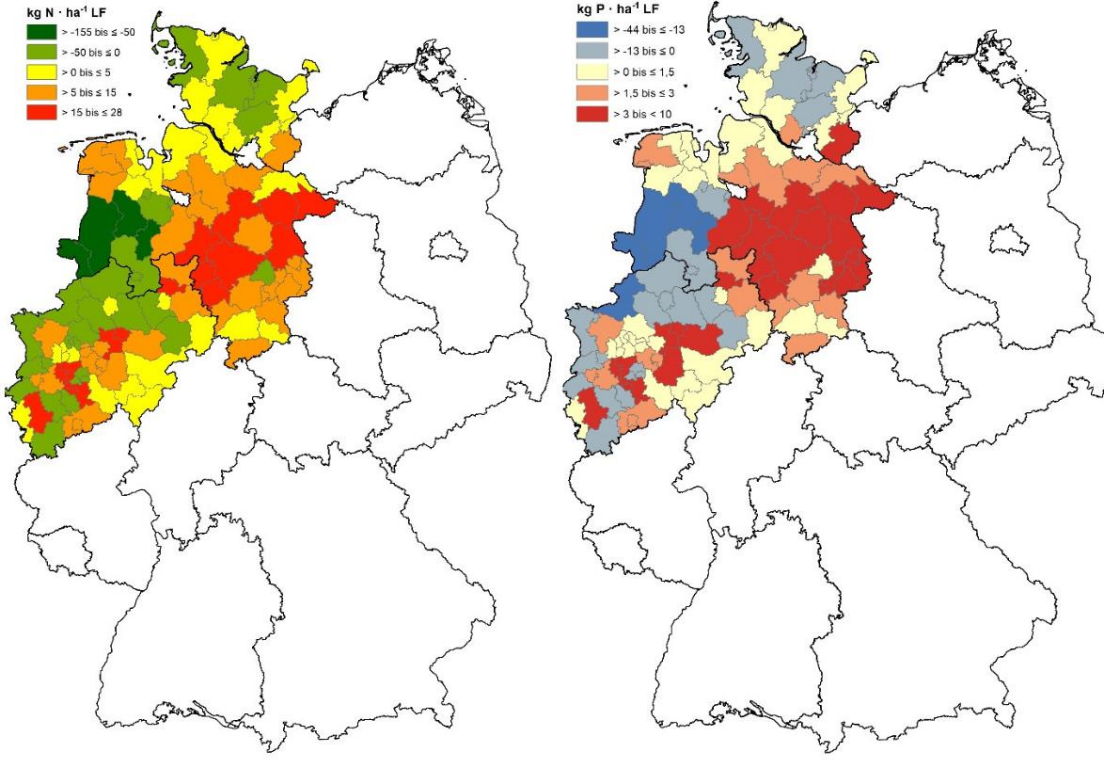
Phosphorverteilung deutlich
wichtiger als Stickstoff-
distribution:

- **12 LK mit P-Überschuss vs. 2
LK mit N-Überschuss**

Ca. 13.000 t P₂O₅ Einsparpotenzial
an mineralische P-Düngern durch
Aufbereitung

Quelle: LWK NDS (2023)

Problemstellung - Die Nachbarlandkreise



- Unter Beibehaltung des vorhandenen Tierbestandes muss Export von Nährstoffen aus den Regionen über größere Strecken erfolgen
- Lösung bisher: Verfrachtung der N-, und P- Überschüsse in Nachbarlandkreise

Quelle: Häußermann (2020)

Gülle - Mengen und Nährstoffe

- Alleine in NDS: 44,2 Mio. t Wirtschaftsdünger (Tier)
- 34 Mio. t Gülleanfall, davon ca. 15,4 Mio. t Brutto-Gülleabgabe (LWK NDS 2023)
- Insgesamt Gemeldete Abgabe WJ 2021/2022:

Gülle*	Brutto-Abgabemenge in Mio. t FM	Stickstoff gesamt t N	Phosphor gesamt t P ₂ O ₅
Schweinegülle	8,27	41.436	21.610
Rindergülle	6,85	27.448	11.397
Legehennengülle	0,05	38	24
Mischgülle	0,31	1.235	574
SUMMEN	15,4/(44,2)	70.157/(255.325)	33.605/(129.995)

Quelle: LWK NDS (2023); *Separierte Gülle einberechnet

Deckung des N-Bedarfes aus Gülle

- **N-Bedarf in NDS aller Kulturen zusammen: 370.545 t N (Nmin und Nachlieferung abgezogen) [LWK NDS 2023]**

Brutto-Abgabemenge [Mio. t]	Brutto-Bedarfsdeckung Gesamt-N %	*Ø Anrechenbare Stickstoffmenge % [LK SH]	Brutto-Bedarfsdeckung % N
15,4	19	60	11

*siehe auch Anlage 3 DüV

- **Insgesamt: NDS kann ca. 46 % des N-Bedarfes aus eigenen Wirtschaftsdüngern decken**
- **ca. 11 % aus Bruttoabgabemenge „überschüssiger“ Gülle**

Deckung des P-Bedarfes aus Gülle

- Phosphatabfuhr 165.665t P_2O_5 /a bzw. 64 kg P_2O_5 /(ha a)

Deckungsgrad der Phosphatsalden aus org. Düngern (Tier):

- 2021/2022: ca. 78 %

-> davon zu 20 % aus der Brutto-Abgabemenge der Gülle

Verfahren zur Aufbereitung

Ziele der Aufbereitung aus Sicht der abgebenden Hand:

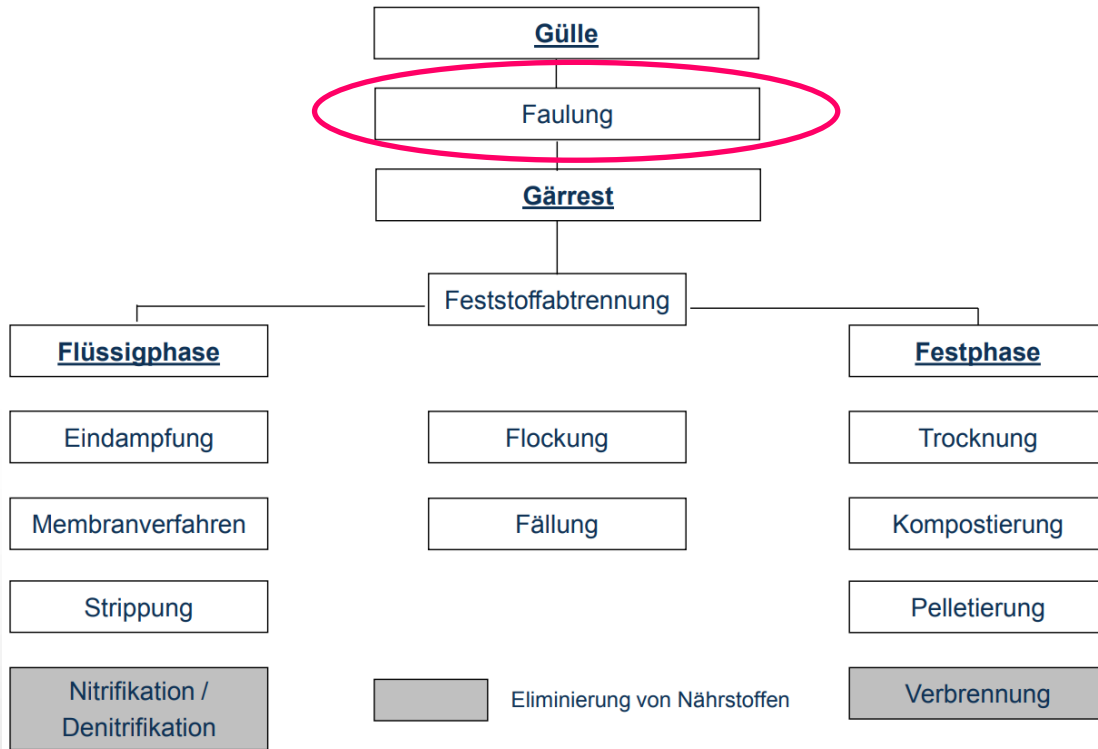
- Massenreduktion durch Wasserabscheidung
- Aufkonzentrierung der Nährstoffe
- Hohe Transportwürdigkeit
- Energieeffizienz
- Kostengünstig

Verfahren zur Aufbereitung

Ziele der Aufbereitung aus Sicht der aufnehmenden Hand:

- Gleichbleibende Nährstoffgehalte
- Homogene Struktur
- Streufähige Dünger
- Ausbringung mit bestehender Technik (Kompoststreuer, Düngerstreuer)
- Idealfall: Schnelle, gezielte und gut kalkulierbare Düngewirkung
- Kostengünstig

Verfahren zur Aufbereitung



- Vergärung der Gülle sinnvoll
- Energie, Geruch und Hygienisierung
- 1t Gülle -> 120 kWh Energie (FNR)
- Kompostierung Gülle/Gärrest vor Separation möglich
- Eliminierung von Nährstoffen i.S.d. Rückgewinnung nicht zweckmäßig

Quelle: Möller und Wulff (2018)

Verfahren zur Aufbereitung - Eindampfung

Eindampfung und Trocknung der Gülle:

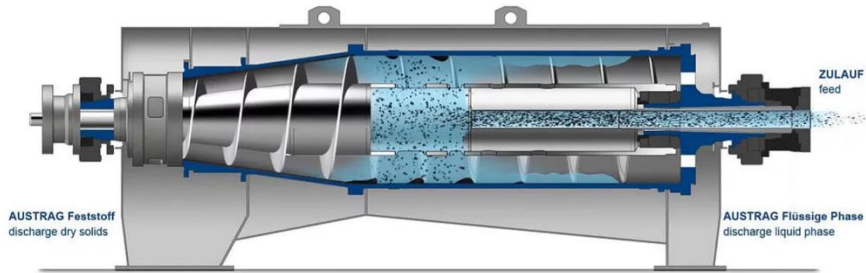
- 5 % TS Gülle = 95 % Wasser
- pro kg Wasser => 0,63 kWh (rechnerisch) - 0,8 kWh/kg (technisch); Bedarf an Verdampfungsenergie

1kg Gülle => 0,12 kWh [Wärme]

Bei 86 % TS: 4 bis 5 fache Güllemenge vergären, um eine Einheit Gülle einzudampfen (rechnerisch)

Im Folgenden: Aufzeigen von energieeffizienten Verfahren mit hoher Nährstoffentfrachtung

Separation - Dekanterzentrifuge



Quelle: Flottweg (2023)

Phase	Masse[%]	TS[%]	N[%]	P[%]	K[%]
Fest	17	22	23	80	12
Flüssig	83	3,3	77	20	88

Quelle: KTBL (2018)

- Einfaches Verfahren
- Sehr gute Phosphorentfrachtung
- Gute Massenreduktion der festen Phase
- Unzureichende N-, K- Abscheidung
- Mobiler Einsatz möglich
- **Energiebedarf: 1,5 – 4 kWh/t Gülle**

Bei max. 30.000t/a

- **1,91 €/t Gülle (Döhler 2021)**
- Durch Zugabe von Flockungsmittel -> 96 % P-Entfrachtung möglich
- 4,05 (synth.) – 16,84 €/t (biologisch)

Kompostierung mit Abluftreinigung

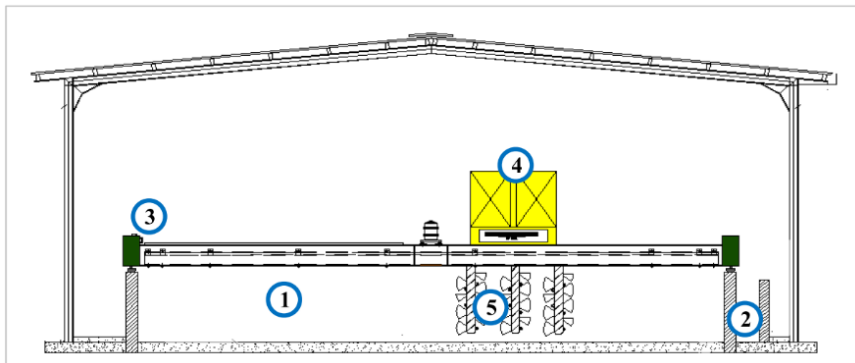


Abbildung 2: Schnittzeichnung Humusanlage mit Aufbereitungsbecken (1), Flüssigkeitskanal (2), Laufkran (3), Laufeinheit- und Schneckenantrieb (4), Wende- und Belüftungseinheit (5).

Quelle: Witterra (2020)

Phase	Masse[%]	TS[%]	N[%]	P[%]	K[%]
Fest	33	50	32	100	100
ASL	3	n.b.	38	0	0

Quelle: Döhler (2021)

- Überschaubare Verfahrenskomplexität
- Sehr gute NPK-Entfrachtung
- Kein Anfall von Abwässern
- Reduktion der Gesamtmasse bis zu 64 %
- Bei Erreichung von $> 60\text{ °C}$ Komposttemperatur

-> Hygienisierung

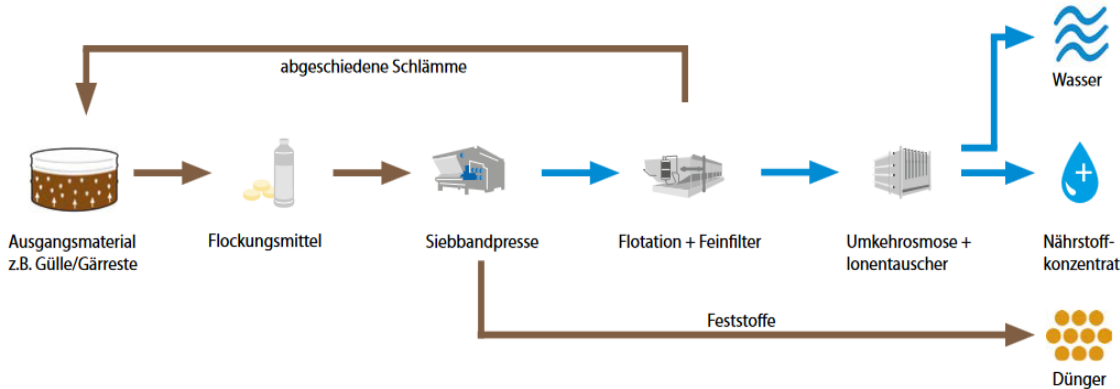
- Energiebedarf: 10 – 60 kWh/t (Witterra 2020)

Bei max. 25.000 t/a

- 15,53 €/t (Döhler 2021)

- 50 Anlagen in Betrieb (nicht in D)

Kumac-Verfahren



- Hohe Stickstoff und Phosphorentfrachtung
- Einleitfähiges Wasser -> Verregnung
- Reduktion der Gesamtmasse
- Verhältnismäßig kostengünstig

• Energiebedarf 12 kWh/t Gülle

Bei max. 70.000 t/a

• 8,85 €/t (Döhler 2021)

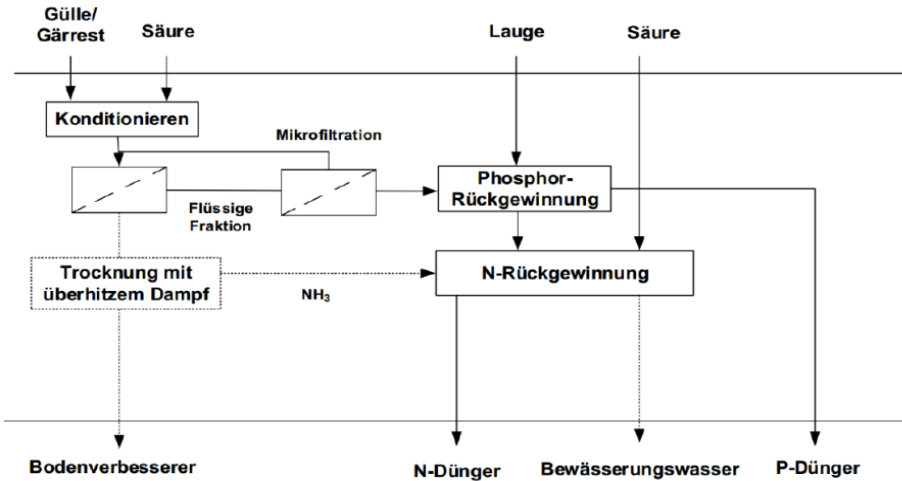
- 15 Anlagen bis 200.000 t/a gebaut

Quelle: WELTEC BIOPOWER GmbH (2020)

Phase	Masse[%]	TS[%]	N[%]	P[%]	K[%]
Dickseparat	25	31	68	98,5	31
Konzentrat	20	4	32	1,5	69
Wasser	55	0,025	-	-	-

Quelle: WELTEC BIOPOWER GmbH (2020)

Vollaufbereitung - BioEcoSIM



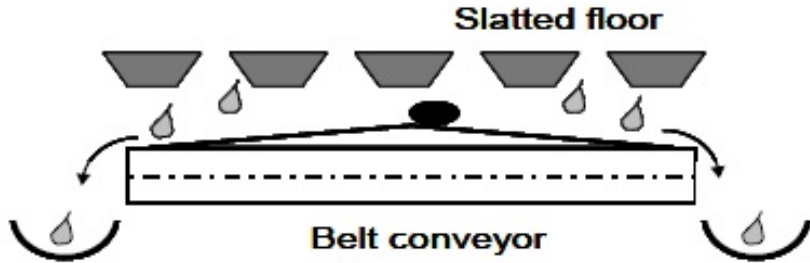
Quelle: Bilbao (2017)

Phase	Masse[%]	TS[%]	N[%]	P[%]	K[%]
Fest	9	25	20	5	1
P-Salz	3	30	10	94	1
ASL	2	n.b.	63	0	0

Quelle: Döhler (2021)

- Vollaufbereitung
 - Bodenverbesserer, ASL, P-Salz und Abwasser
 - 94 % des P in 3 % der Gesamtmasse konzentriert
 - 86 % Abwasser, kalireich und 7 % N-Anteil (Verregnung?)
 - Energiebedarf 5 kWh/t (elektrisch)
- Bei max. 100.000t/a
- ca. 15 €/t (Mariakakis 2018)
 - Kein Industriemaßstab bisher erreicht

Blick über den Tellerrand – Kot- und Harntrennung



Quelle: Schuchardt et al. (2011)

Phase	Masse[%]	TS[%]	N[%]	P[%]	K[%]
Fest	45	22-24	67	93	50
Flüssig	55	n.b.	33	7	50

Quelle: Ogink und Groot Koerkamp (2006)

- Trennung der Phasen vor Vermischung
 - Hoher P-Gehalt in der festen Phase
 - Transportmasse um 55% reduziert
 - Flüssige Phase verbleibt beim Viehhalterbetrieb
 - Nebeneffekt: Bessere Stallluft (Hahne 2019)
 - - 18 - 45 % Ammoniak (Aarnink und Ogink 2007)
- Energieaufwand: n.b.
- Kosten: n.b.
- Kaum in Praxis vertreten

Direkter Abtransport der Gülle

Entfernung	Transportkosten pro t Gülle			
	ohne Rückfracht	mit Rückfracht und Zwischenfahrten		
		2 x 50 km	2 x 25 km	2 x 1 km
100 km	11,10 €	10,10 €	9,00 €	7,40 €
200 km	19,60 €	15,20 €	14,00 €	12,50 €
300 km	28,10 €	20,30 €	19,10 €	17,60 €

Normaler LKW
Kombi-Liner

Ladung = 26,0 t
Ladung = 24,5 t

Stundensatz 70 €
Stundensatz 74 €

Quelle: Kowalewsky (2014)

Phase	Masse[%]	TS[%]	N[%]	P[%]	K[%]
Gülle	100	2-10	100	100	100

- Gängige Praxis
- Lagerung in Ackerbauregion problematisch
- Kostenersparnis durch Rückfracht
- Energiebedarf:

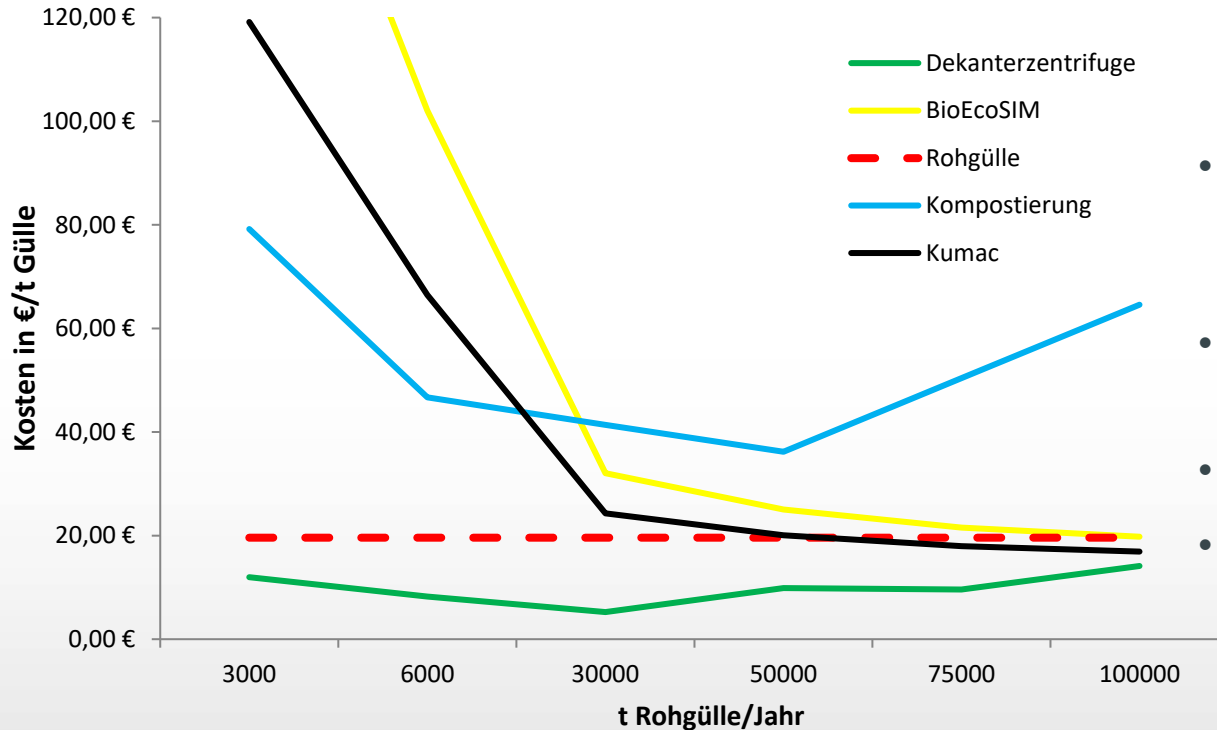
Annahme: 40l Diesel/100km -> 392 kWh/100km

- Bei 26t Nutzlast

Entfernung [km]	Energiebedarf [kWh/t Gülle]
100	15
200	30
300	45

Kostenvergleich (Aufbereitung und Verfrachtung)

Kosten einer 200 km Verfrachtung von Gülle nach Verfahren



- Separation bis 30.000 t/a, Kompostierung bis 25.000t/a danach mehrere Anlagen notwendig
- Keine Berücksichtigung der Ausbringungs- und Lagerkosten der nährstoffarmen Phase/Abwasser
- Dekanterzentrifuge günstigstes Verfahren < 100.000t/a
- Kumac ab > 68.000t/a rentabel
- Vollaufbereitung > 100.000 t/a

Fazit zu den Verfahren

- **Vielzahl von Verfahren bis hin zur Vollaufbereitung**
- **Einfache Aufbereitung -> transportwürdige „nachhaltige“ organische Dünger**
- **Vollaufbereitung -> transportwürdige „gut lösliche“ mineralische Dünger**
- **Vollaufbereitung erst ab größeren Mengen und/oder höheren Transportdistanzen ökonomisch sinnvoll**
- **Praxis: Direkte Gülleverbringung bzw. Separierung aus Kostengründen immer noch üblich -> Rückfracht sorgt für Kosteneinsparungen**

Möglichkeiten

- **Das Güllerecycling bietet ein großes Potenzial Nährstoffüberschussregionen zu entlasten (auch ohne weitere Bestandsabstockung)**
- **Auch Nachbarlandkreise können durch Aufbereitung entlastet werden**
- **Teilschließung von Nährstoffkreisläufen**
- **Einsparung von zukünftig knappen Phosphors möglich**

Grenzen

- **Einsatz von Aufbereitungstechniken in kleineren Betrieben unrentabel**
- **Zusammenschlüsse zu Genossenschaften/Firmen/Kooperationen nötig für Aufbereitung (inkl. wirtschaftlichem Risiko)**
- **Änderung der wirtschaftliche Rahmenbedingungen seit 04/22 -> fehlende Datengrundlagen**
- **Vielzahl von rechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten (Betrieb/ Inverkehrbringung)**
- **Schnittstelle Tierhaltungsregion <-> Ackerbauregion (Technik, Akzeptanz, Verfügbarkeit)**
- **Stickstoffrückgewinnung mengenmäßig eher unbedeutend**

Fazit

- **Vollaufbereitung von WD -> Mineraldünger möglich**
- **Aufbereitung in Großanlagen sinnvoll**
- **Je höher die Transportdistanz und Transportmenge, desto ökonomisch vorzüglicher wird die Aufbereitung**
- **Durch evtl. Verknappung von P -> Aufbereitung wird wichtiger**
- **Teilunabhängigkeit von fossilen P-Lagerstätten durch Aufbereitung**
- **In D: Gülle könnte als Rohstoff schwinden -> Aufbereitung von Gärresten ebenso möglich**
- **Einsatz in anderen Viehhaltungsregionen Europas/Welt möglich**

ISN Projekt GmbH

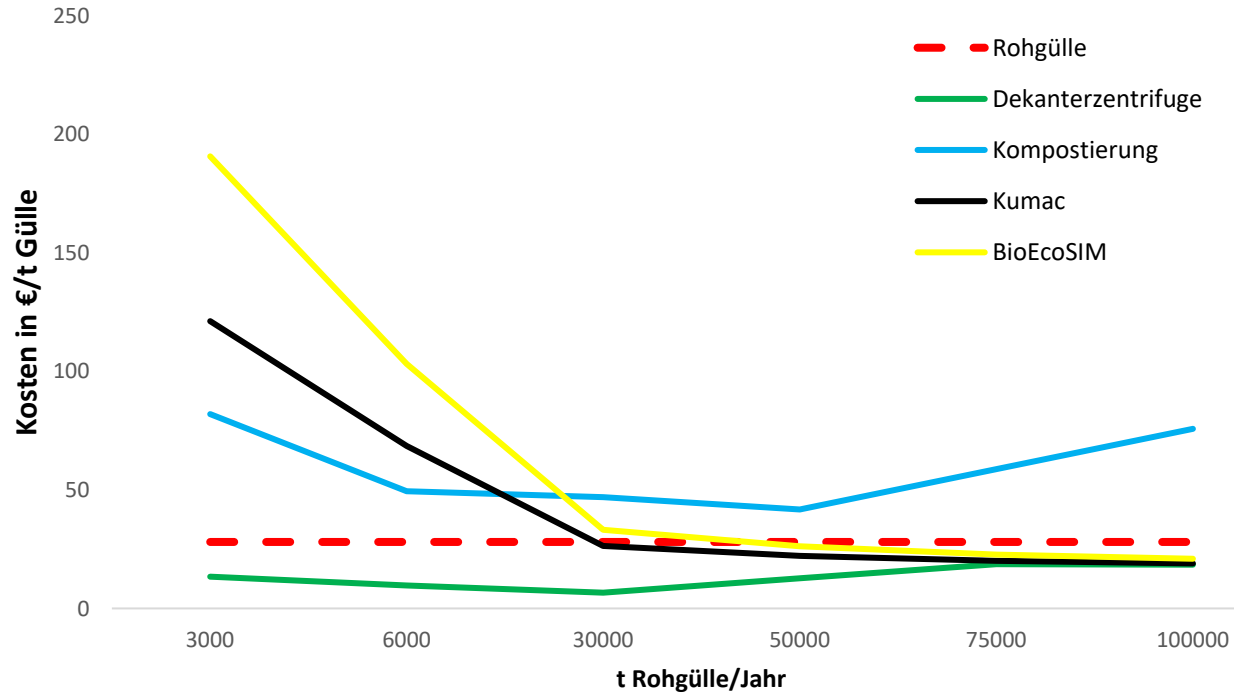
<https://wirtschaftsduenger.info/wduenger-de/praxis.html>

Vielen Dank!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie Fragen?

Kosten einer 300km Verfrachtung nach Verfahren



Literatur

Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M. (2007): Environmental impact of daily removal of pig manure with a convey-or belt system, Animal Science Group, P.O. Box 65, 8200 AB Lelystad, Wageningen UR, The Netherlands.

Bilbao, J. (2017): Valorisation of livestock manure into a range of stabilised soil improving materials for environmental and economic sustainability. Tagung: Circular Approaches to Phosphorus: from Research to deployment, 04.03.2015, Berlin.

Döhler, H.; Döhler, S.; Möller, Bilbao, J.; Campos, A.; Fischer, H; Hartmann, S.; Burton, C; Meier, U.; Hersener, J.-L. (2021): Nationaler Stand der Technik für die Intensivtierhaltung unter der Berücksichtigung der BVT-Schlussfolgerungen (IRPPBREF); Umweltbundesamt (Hrsg.), URL: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/nationaler-stand-der-technik-fuer-die>

FNR: Faustzahlen; URL: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen>

Hahne, J. (2019): Notizen aus einem persönlichen Gespräch, Arbeitsbereich Umwelttechnologie Tier, ThünenInstitut Braunschweig, Institut für Agrartechnologie.

Häußermann, U.; Bach, M.; Klement, L.; Breuer, L. (2019): Stickstoff-Flächenbilanz für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017, Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen, UBA Texte 131/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Kowalewsky, H.-H. (2014): Kosten und Nutzen der Nährstoffverbringung, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2. Symposium „Nährstoffmanagement und Grundwasserschutz“ am 22.05.2014.

KTBL (2018): Wirtschaftsdüngerlagerung und –aufbereitung, in Faustzahlen der Landwirtschaft, Darmstadt, Kap. 19.5. S.9-10. Unveröffentlicht.

LWK NDS (2023): Ergebnisse des Nährstoffberichts für Niedersachsen 2021/2022 – Nährstoffbericht Teil A, Landwirtschaftskammer Niedersachsen D 06-Düngebehörde, Mars-la-Tour-Str. 11, 26121 Oldenburg; URL: file:///C:/Users/Hannes/Download/Vollstndige_Prsentation_der_Ergebnisse_des_Nhrstoffberichts_fr_Niedersachsen_2021_2022.pdf

LK SH: Nährstoffausnutzung von organischen Düngemitteln
https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/Landwirtschaft/Duengung/Naehrstoffausnutzung_von_organischen_Duengemitteln.pdf

Literatur

Mariakakis, I. (2018): Phosphor- und Stickstoffextraktion aus flüssigen Gärprodukten, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB Abteilung Physikalische Prozesstechnik Gruppenleiter Nährstoffmanagement Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, Germany URL: https://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/user_upload/G%C3%A4rrestetagung_2018_Votr%C3%A4ge/Phosphor_und_Stickstoffextraktion_aus_fl%C3%BCssigen_G%C3%A4rprodukten.pdf

Ogink, N.W.M., Groot Koerkamp, P.W.G., (2006): Hercules - Die Entwicklung eines umweltfreundlichen und tiergerechten Systems für die Schweinehaltung durch Trennung von Kot und Harn, in KTBL-Schrift 444. S.167-177.

Schuchardt, F., Jiang, T., Li, G.X., Mendoza Huaitalla, R. (2011): Pig Manure Systems in Germany and China and the Impact on Nutrient Flow. Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute of Agricultural Technology and Biosystems Engineering, Braunschweig 38116, Germany Journal of Agricultural Science and Technology A 1 (2011) 858-865

Witterra (2020): Vorstellung Witte Humusanlage – Abwasserfreie Gärproduktaufbereitung, URL: <https://wirtschaftsduenger.info/services/files/WITTERRA%20Agrar%20DE.pdf>

Anhang - Annahmen

Tabella 2: Aufbau der Tabelle Ökonomische Kenndaten mit Annahmen

Investition, Kosten, Leistungen	Annahmen
Investition	
Fixe Kosten	
Abschreibung	Nutzungsdauer 10 Jahre
Zinsen	2 % der Investition
Wartung und Instandhaltung	2,5 % der Investition
Versicherung	0,5 % der Investition
Summe Fixe Kosten	
Variable Kosten	
Elektrische Energie	0,2 €/kWh
Personal	25 €/AKh
Hilfsmittel	
Schwefelsäure	100 €/t
Kalilauge	180 €/t
Reinigungsmittel	1.000 €/t
Flockungsmittel 1 (synth.)	130 €/t
Flockungsmittel 2 (synth.)	250 €/t
Flockungsmittel (Stärkebasis)	1.500 €/t
Polymeres Flockungsmittel	232 €/t
Gips	10 €/t
Bentonit	400 €/t
Kalk	35 €/t
Stroh	20 €/t
Holz	10 €/t
Antischaummittel	4.650 €/t
Andere Kosten	
Mobilität	0,5 €/t
Summe variable Kosten	
Gesamtkosten	
Leistungen	
ASL	30 €/t
Pellets niedriger Nährstoffgehalt	100 €/t
Pellets hoher Nährstoffgehalt	150 €/t
Kompost	10 €/t
Dickseparat ohne Flockungsmittel	2 €/t
Dickseparat mit synth. Flockungsmitteln	10 €/t
Dickseparat mit biolog. Flockungsmitteln	4 €/t
MAP-Salz feucht	50 €/t
Kalziumphosphat feucht	50 €/t
Konzentrat UO	15 €/t
Kohle	250 €/t
Asche	120 €/t
Kalk	25 €/t
SSA Kalk	150 €/t
Getrocknetes Dickseparat	30 €/t
Ammoniakwasser	50 €/t
Getrockneter Gärrest	60 €/t
HFC-Kohle	200 €/t
Getrockneter Gärrest mit SSA	70 €/t
Summe Leistungen	
Nettokosten	

Quelle: Döhler (2021)