

## Projekt 2010-17

**F & E-Projekt zur Umsetzung des ARTOR® Verfahrenskonzepts zur ganzheitlichen Aufarbeitung von Gärrest aus Biogasanlagen zu hoch angereichertem Dünger bei gleichzeitiger Minimierung der Schadstofffracht aus dem Abgasstrom des BHKWs**

## Abschlussbericht



Ansprechpartner  
Uwe Fritsch, ARTOR® Energie GmbH&Co.KG  
Dr. Peter Wolf, Wolfgang Jaske,  
Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Erstellungsdatum: 16. Juni 2017

ARTOR Energie GmbH & Co. KG

Am Unteren Mühlbach 4

77652 Offenburg

[www.artor-energie.de](http://www.artor-energie.de)

[info@artor-energie.de](mailto:info@artor-energie.de)

### *Danksagung*

*Besonderen Dank richten wir an den Badenova Innovationsfonds für den großzügigen Zuschuss zu den Projektkosten und persönlichen Dank an Anke Held, Richard Tuth und Peter Majer, die das Projekt von Beginn an positiv und wohlwollend unterstützten und begleiteten. Danke auch für Ihre Geduld.*

*Herzlichen Dank auch an Christoph Lügermann von der Lügermann Bioenergie GmbH & Co. KG in Gersten für die jederzeit freundliche und unkonventionelle Unterstützung sowie die Möglichkeit die Versuche mit unserer Pilotanlage an seiner Biogasanlage durchführen zu können.*

*Danke auch an das Team von Klasmann Deilmann GmbH in Geeste für die stofflichen Analysen, den offenen und konstruktiven Austausch zur Verwertung der gewonnenen Stoffe sowie die Durchführung von Biotests und Wachstumsversuchen.*

*Zu guter Letzt herzlichen Dank an Harm Grobrügge, Vice-President European Biogas Association für die jahrelange freundschaftliche Begleitung als Ideengeber und Diskussionspartner.*

## Zusammenfassung der Projekterkenntnisse

Die zunehmende Spezialisierung in der Landwirtschaft führt zu einer starken Konzentration der Tierhaltung in Veredelungsregionen. Gerade dort findet man auch eine Konzentration von Biogasanlagen vor. Dadurch fallen mehr Nährstoffe an, als sinnvoll pflanzenbaulich verwertet werden können. Hier herrscht in Gülle und Gärresten ein erheblicher Überschuss vor allem an Stickstoff und Phosphat.

Auf der anderen Seite ist Stickstoff wie auch Phosphor ein wertvoller Dünger für die Landwirtschaft. Stickstoff besonders dann, wenn er in konzentrierter Form und getrennt von den Mineralien zur Verfügung steht.

Mit Hilfe der finanziellen Unterstützung durch den Badenova Innovationsfonds wurde ein Verfahren zu Aufbereitung von Gärresten entwickelt, Pilotanlagen gebaut und an einer Biogasanlage getestet. Unter Nutzung eines speziellen thermisch-physikalischen Verfahrens geht der Stickstoff aus dem Gärrest in eine konzentrierte wässrige Ammoniak-Lösung über. Sie ist ein hochwertiger, gut pflanzenverfügbare Flüssigdünger (ca. 30 g/l), der im höchsten Maße transportwürdig ist

Darüber hinaus werden auch alle weiteren flüchtigen Inhaltsstoffe aus dem Gärrest entfernt. Die Anlage ist als geschlossenes System konzipiert. Ein betriebsbedingter Ammoniak-Schlupf tritt daher nicht auf. Je nach Bedarf kann der Gärrest hygienisiert oder drucksterilisiert werden. Der Prozess ist sehr energieeffizient und wird vorwiegend mit Abwärme der Biogasanlage betrieben. Pro Kubikmeter Gärrest werden ca. 200 kWh Wärme und unter 9 kWh Strom benötigt.

In einem zweiten Schritt wird der Gärrest mit einem speziellen Niedertemperatur-Trockner getrocknet. Der Einsatz eines Luftwäschers entfällt, da die flüchtigen Stoffe durch die Entstickung bereits entfernt worden sind.

Optional kann der getrocknete Gärrest von mehreren Biogasanlagen in zentralen Monoheizkraftwerken verbrannt werden. Neben dem energetischen Zusatznutzen stehen die Mineralien wie Kalium oder Phosphor in der Rostasche zur Verfügung.

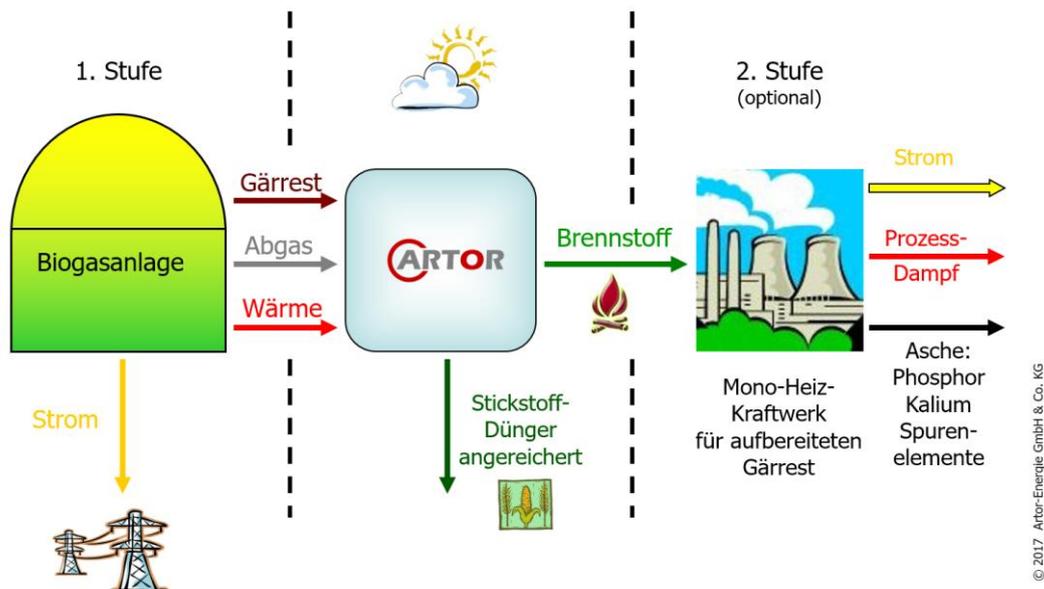


Abb. 1: ARTOR®-Konzept ganzheitliche Gärrest-Aufbereitung

# Inhalt

<b>1</b>	<b><i>Projektüberblick</i></b>	<b>6</b>
1.1	<b>Ausgangssituation</b>	<b>6</b>
1.2	<b>Stand der Technik</b>	<b>7</b>
1.3	<b>Motivation &amp; Zielsetzung des F&amp;E-Projekts</b>	<b>9</b>
1.4	<b>Lösungskonzept</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b><i>Projektbeschreibung</i></b>	<b>11</b>
2.1	<b>Projektvorbereitung &amp; Umsetzung</b>	<b>11</b>
2.1.1	Verfahrenskonzept Gärrestaufbereitung	11
2.1.2	Erhebliche technische und chemische Verfahrensrisiken des FuE-Projektes	14
2.1.3	Grundlagen zum Verhalten von Ammoniaklösungen	16
2.1.4	Laboruntersuchung an der HS Offenburg	18
2.2	<b>Entwicklung, Konstruktion und Bau der Anlagentechnik</b>	<b>21</b>
2.2.1	Komponente 1: Entstickungsmodul	21
2.2.2	Komponente 2: Kombiniertes Trocknungs-Modul / Abgas-Abreicherung	26
2.3	<b>Versuchsreihen Entsticken von Gärrest</b>	<b>31</b>
2.3.1	Ammoniakstripping aus Gärrest mit der Versuchsanlage	31
2.3.2	Fazit aus den Messergebnissen	35
2.3.3	Prozessdauer für eine Charge	35
2.3.4	Energetische Betrachtung des Entstickungs-Prozesses	35
2.3.5	Nutzen für die Umwelt	36
2.3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchsreihen Entsticken / Trocknen ?	36
2.4	<b>Trocknungsversuche mit Gärrest</b>	<b>37</b>
2.4.1	Energetische Betrachtung Trocknungsprozess	39
2.4.2	Fazit aus den Trocknungsversuchen	40
2.5	<b>Übertragbarkeit der Projektergebnisse</b>	<b>41</b>
2.6	<b>Ausblick</b>	<b>42</b>
2.6.1	Biotest mit dem Kondensat	42
2.6.2	Thermische Verwertung des Gärrests (Optional)	45
<b>3</b>	<b><i>Gesamtbewertung des FuE-Projekts und der Ergebnisse</i></b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b><i>Öffentlichkeitsarbeit</i></b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b><i>Anlage: Projekterkenntnisse</i></b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b><i>Anhang</i></b>	<b>52</b>

# 1 Projektüberblick

## 1.1 Ausgangssituation

Die zunehmende Spezialisierung in der Landwirtschaft führt zu einer starken Konzentration der Tierhaltung in Veredelungsregionen. Hierdurch fallen erhebliche Mengen Gülle an, die als Dünger auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden.

Gerade in diesen Regionen findet man auch eine Konzentration von Biogasanlagen vor. Durch die Biogaserzeugung entstehen erhebliche Mengen Gärrest als Reststoff. Dieser kann im Allgemeinen auch als Dünger auf die Felder verbracht werden, da dieser alle Nährstoffe enthält, die die Pflanzen für ihr Wachstum benötigen.

Durch die regionale Konzentration beider Wirtschaftszweige entstehen Probleme durch die Summierung beider Stoffströme Probleme. Es fallen mehr Nährstoffe an, als sinnvoll pflanzenbaulich verwertet werden können. Es herrscht ein erheblicher Überschuss vor allem an Stickstoff und Phosphat.

Das führt unter anderem zu folgenden Auswirkungen:

- Überdüngung auf landwirtschaftlichen Flächen durch Gülle und Gärreste – dadurch zunehmend hohe Nitratwerte im Grundwasser, Phosphate in Oberflächengewässer
- Bei der Trocknung von Gärrest ist bisher der Einsatz von Luftwäschern unter Zugabe von Schwefelsäure erforderlich um hohe Ammoniak-Emissionen zu vermeiden. Der verursacht zum einen hohe Kosten beim Betreiber. Wird das Ammoniumsulfat als Dünger eingesetzt ist der Eintrag von Schwefel viel zu hoch. (Gefahr von Schwefelfäulnis)
- Gärrest ist ein Kombinations-Dünger, d.h. eine gezielte Ausbringung von Wirkstoffen ist ohne Behandlung nicht möglich.
- Wegen hohem Wassergehalt ist der darin enthaltene Dünger – vor allem Stickstoff und Phosphor wenig transportwürdig – es wird viel Wasser transportiert.

Auf der anderen Seite ist Stickstoff wie auch Phosphor ein wertvoller Dünger für die Landwirtschaft. Stickstoff besonders dann, wenn er in konzentrierter Form und getrennt von den Mineralien zur Verfügung steht.

Das Thema Stickstoff-Emissionen rückt seit Anfang 2017 stark in das politische Rampenlicht:

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts hat die Europäische Union eine Klage gegen Deutschland u.a. wegen zu hoher Nitratbelastung im Grundwasser erhoben.

Auch Umweltverbände werden lautstark aktiv (z.B. Gülle-Petition), damit die Ausbringung von Gülle und Gärrest drastisch eingeschränkt wird. (Juni 2017).

Die Bundesregierung verabschiedet den Bericht "Stickstoffeintrag in die Biosphäre" (17.05.2017).

Das BMUB erarbeitet das Konzept "Weg zu einer nationalen Stickstoffminderung" (31.05.2017).

Der Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) veröffentlicht ein Sondergutachten mit dem Titel "Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem".

Das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht eine Studie mit dem Titel "Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung" (06/2017). (vgl. Anhang ab Seite 52 ff.)

## 1.2 Stand der Technik

Zur Aufbereitung von Gärrest aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen aufzubereiten, sind unterschiedliche Verfahren bekannt. Man unterscheidet zwischen physikalischer, chemischer und biologischer Aufbereitung

wie z.B.:

- Fest-Flüssig-Trennung durch Separatoren, Schneckenpressen, Dekanterzentrifugen, Wendelfilterpresse, Zentrifugen, etc.
- Einsatz von Membranverfahren (Ultrafiltration, Umkehrosmose)
- Vakuum-Verdampfung
- Chemische Verfahren z.B. Flockung und Fällung
- ...

Diese Verfahren sind am Markt bekannt und in der Literatur ausführlich beschrieben und diskutiert. Nachfolgend daher nur einige Anmerkungen:

Bei den mechanischen Verfahren findet sich ein großer Teil des Stickstoffs in der flüssigen Phase wieder. Durch die geringe Konzentration bleibt die Transportwürdigkeit gering. Bei der Trocknung des Feststoffs muss weiterhin ein Luftwäscher eingesetzt werden.

Zur physikalischen Aufbereitung gehören die Fest-Flüssig-Trennung, das Trocknen mittels Bandtrockner oder Trockentrommel, das Eindampfen, das Membranverfahren sowie die Strippung. Membranverfahren haben einen hohen spezifischen Stromverbrauch, um den Widerstand der Membran zu überwinden, zudem neigen sie zum Verstopfen. Die Strippung von Ammoniak funktioniert nur mit Einsatz weiterer Chemikalien wie Säuren und sauren Salzen.

Chemische und biologische Aufbereitungen erfolgen über Flockungs- und Fällungsmittel in Verbindung mit Strippung sowie mittels Kompostierung und Nitrifikation bzw. Denitrifikation.

Aufgrund der technischen Einfachheit ist die Feststoffabtrennung am weitesten verbreitet, d.h. der Gärrest wird in zwei Teilströme aufgeteilt. Hierdurch wird die Trennung von Phosphor und Stickstoff versucht, was nur unzureichend gelingt, wie die nachfolgenden Grafiken zeigen.

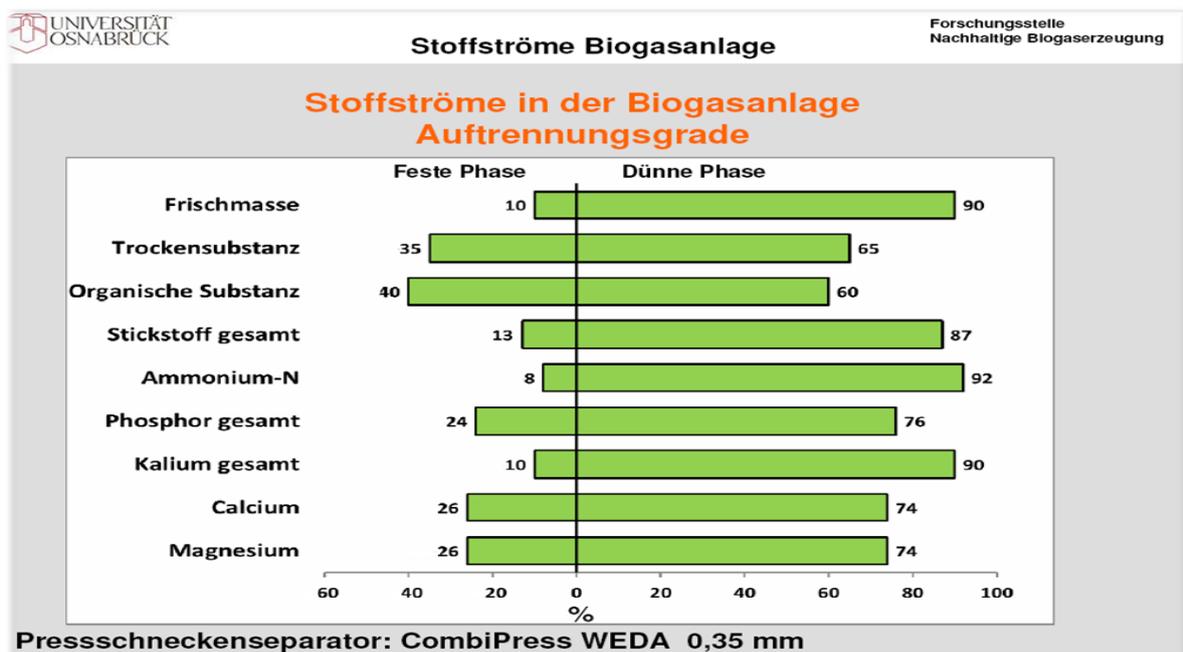
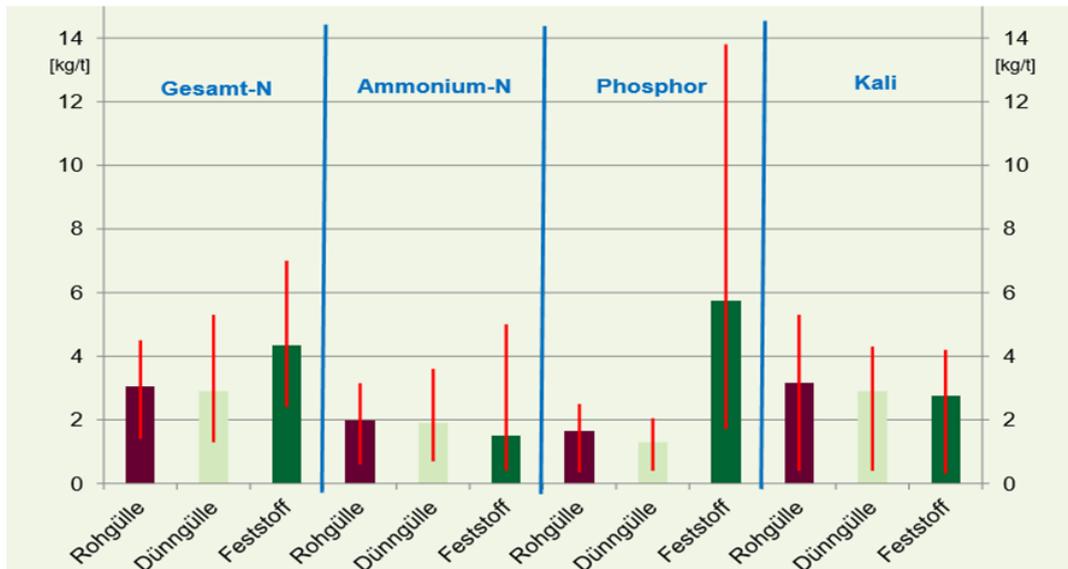


Abb. 2: Quelle: Verteilung Inhaltsstoffe Gärrest beim Einsatz eines Pressschneckenseparator Hochschule Osnabrück, Vortrag Prof. Dr.-Ing. Braukmann, Juli 2014 in Hannover

## Aufbereitung mit Pressschneckenseparator

### Verteilung der Nährstoffe in Rohgülle, Dünggülle und Feststoff



Konrad Merk, LBBZ Plantahof, Bündner Bauer 23/2011

(Quelle: MERITEC GmbH, Urs Meier)

Abb. 3: Quelle: Landwirtschaftskammer NRW, Vortrag Dr. Horst Cielejewski, April 2013

Die Ausbringung des flüssigen Gärrests auf landwirtschaftlichen Flächen erfolgt mit Güllefassern, fester Gärrest wird mit Miststreuern auf verteilt. Im Allgemeinen werden die Gärreste auf den Anbauflächen für das Substrat der Biogasanlage bzw. den Futteranbauflächen der Gülle liefernden Viehhaltung ausgebracht.

Auch wenn das Rückführen des Gärrests für einen geschlossenen Nährstoffkreislauf sorgt, wird damit die Problematik des Nährstoffüberschusses nicht gelöst. Ganz im Gegenteil. Es entstehen in den weiteren Behandlungsschritten neue Probleme und es findet nach wie vor keine Reduzierung der Mengen statt.

Somit verfolgt keines der o.g. Verfahren einen ganzheitlichen Ansatz in Bezug auf Stoffströme, Energie- und Wärmekreislauf sowie geringem Eigenenergieverbrauch. Auch die Thematik des ganzheitlichen landwirtschaftlichen Flächen- und Nährstoffmanagements bleibt unberücksichtigt.

Studien belegen, dass der bisherige Umgang mit Düngemittel aus aufbereitetem Gärrest eine nur ungenügende Nutzung der Nährstoffe erlaubt. Weitere negative Auswirkungen des heutigen Einsatzes sind unkontrollierte Belastungen des Grundwassers aufgrund des unspezifischen Nährstoff- und des unkontrollierbaren Schadstoffeintrags. Des Weiteren führt die konventionelle Ausbringtechnik zu einer nicht gewünschten Verdichtung der Ackerflächen.

### 1.3 Motivation & Zielsetzung des F&E-Projekts

Die Motivation ein solch komplexes Projekt auf den Weg zu bringen war dem oben beschriebenen Interessenskonflikt zwischen zu hohen Nährstofffrachten, Transportwürdigkeit und gezieltem Nährstoffmanagement und Kreislaufwirtschaft ganzheitlich gerecht zu werden

Es sollte eine Lösung erarbeitet werden, die Stickstofffracht von den anderen Nährstoffen zu trennen und beide Stoffströme in einen transportwürdigen Zustand zu bringen. Das heißt, beide Stoffströme sollten möglichst konzentriert sein und wenig Wasser enthalten. Da die Blockheizkraftwerke von Biogasanlagen Wärme erzeugen und vielfach eine komplette Nutzung nicht möglich ist, steht diese für die Aufarbeitung des Gärrests zur Verfügung.

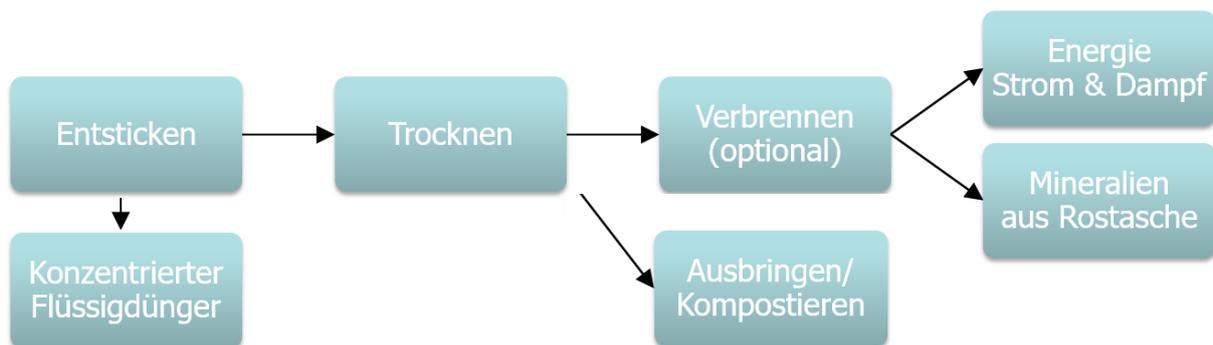


Abb. 4: Grundsätzliches Lösungskonzept als Blockschaltbild

Die Anlagentechnik zur Gärrestaufbereitung und Trocknung soll dezentral an landwirtschaftlichen Biogasanlagen zum Einsatz kommen. Das für diesen Prozess vorgesehene Verfahren muss daher kostengünstig, robust und einfach zu betreiben sein.

## 1.4 Lösungskonzept

Vor der beschriebenen Ausgangssituation entwickelte Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH ein ganzheitliches Lösungskonzept zur dezentralen Aufbereitung von Gärrest aus Biogasanlagen. Das Verfahrenskonzept wurde bereits 2007 zum Patent angemeldet und wurde am 12.01.2017 in Deutschland erteilt.

Bei der Erarbeitung des Konzepts wurde besonderer Wert auf geschlossenen Nährstoffkreisläufe, auf nachhaltige Landwirtschaft, Cross-Compliance bei hoher Energie- und Ressourceneffizienz gelegt.

Das Lösungskonzept sieht folgende Spezifikationen vor:

- Vollständiges Entsticken des Gärrests
- Gewinnen einer konzentrierten Stickstofflösung (Ammoniak-Wasser)
- Verzicht auf Einsatz von Chemikalien (z.B. Schwefelsäure)
- Möglichkeit zum Hygienisieren / Sterilisieren des Gärrests
- Geringer Energieverbrauch des Aufbereitungsverfahrens (hohe Energieeffizienz)
- Optional:
  - Niedertemperatur-Trocknung ohne Abluftwäscher
  - Gewinnung der einzelnen Mineralien

Weitere konzeptionelle Anforderungen sind dezentrale Lösung direkt an der Biogasanlage, modularer Aufbau und einfache Bedienung.

Das F&E-Projekt zur Umsetzung einer geeigneten Verfahrenslösung und Anlagentechnik wurde durch Jaske & Wolf Verfahrenstechnik ausgearbeitet. Zur technischen Umsetzung des Lösungskonzepts sowie die Vermarktung wurde die ARTOR® Energie GmbH & Co.KG mit Sitz in Offenburg gegründet. Diese stellte den Antrag auf Förderung im Rahmen des Badenova Innovationsfonds. Das Projekt wurde unter der Nummer 2010-17 bewilligt.

## 2 Projektbeschreibung

### 2.1 Projektvorbereitung & Umsetzung

Das FuE-Projekt verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz und berührt eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte und Einflussfaktoren.

Das Projekt wurde in nachfolgende Phasen unterteilt

1. Konzeption
2. Grundlagenuntersuchung
3. Entwicklung, Konstruktion der Anlagentechnik
4. Bau Prototypen
5. Funktionsprüfung, Inbetriebnahme der Prototypen
6. Durchführen von Versuchsreihen
7. Nachweis des Verfahrens
8. Bewertung & Ausblick

#### 2.1.1 Verfahrenskonzept Gärrestaufbereitung

Die verfahrenstechnische Umsetzung stellte das Entwicklerteam vor vielfältige Herausforderungen. Es sollte ein modulare Anlage zur Aufbereitung von Gärrest und Reduzierung von Luftschadstoffen entwickelt, gebaut und in Betrieb genommen werden. Bei den Luftschadstoffen sollten sowohl das Verbrennungsabgas des BHKWs (NO<sub>x</sub>, Formaldehyd) als auch die Sekundär-Emissionen (vor allem Ammoniak, Methanschlupf durch Lagerung) berücksichtigt werden.

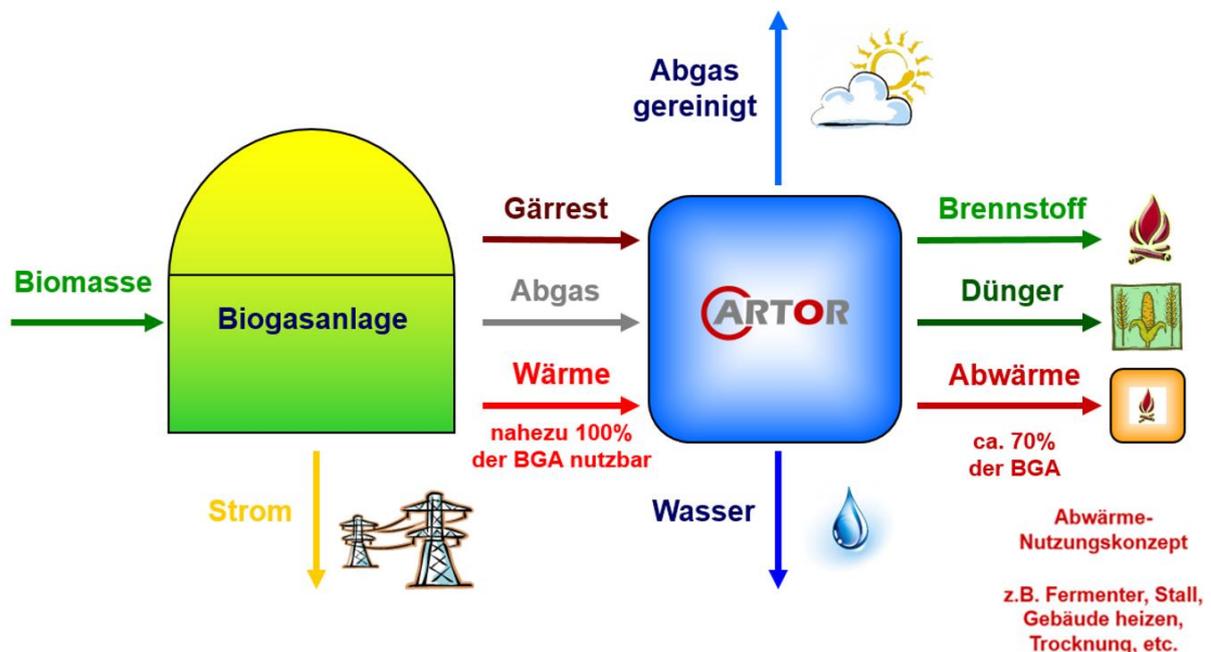


Abb. 5: Funktionsschema ARTOR®-Konzept Stufe 1 (Stoff- und Energieströme zur Aufbereitung von Gärrest)

Zur Umsetzung sind 2 Komponenten mit unterschiedlichen Funktionalitäten vorgesehen:

### Komponente 1:

Diese Einheit entfernt das Ammoniak aus dem Gärrest und konzentriert das Ammoniak in einem Kondensat auf. Dieses Kondensat kann wieder als konzentrierter Dünger eingesetzt werden.

Es ist vorgesehen, dass die Ammoniakentfernung in zwei Verfahrensschritten verläuft:

- Nach einer Erwärmung des Gärrests wird dieser einem Unterdruck ausgesetzt und dabei alle unter diesen Umständen flüchtigen Verbindungen in die Gasphase überführt. Die Hauptbestandteile der Gasphase sind Kohlendioxid und Ammoniak. Als Nebenbestandteile wird sie noch die leicht flüchtigen organischen Säuren und Schwefelwasserstoff enthalten.
- Eine Entfernung des restlichen Ammoniaks soll in einem zweiten Schritt durch die Anhebung des pH-Wertes mittels Kalkmilch (Kalziumhydroxid) und Aufrechterhaltung des Unterdrucks erreicht werden.

### Komponente 2:

In der zweiten Stufe wird das Abgas des BHKW – Motors mit dem vom Ammoniak befreiten und jetzt basischen Gärrest in Kontakt und zur chemischen Reaktion gebracht. Die Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und das Formaldehyd aus dem Abgas der Biogas-Verbrennungsanlage (BHKW) werden abgereichert. Bei diesem Prozess entsteht ein mit Stickstoff angereicherter stabiler Dünger (Nitrat).

Mit welcher Reaktionsgeschwindigkeit und welchem Umwandlungsgrad die chemischen Reaktionen ablaufen kann letztendlich nur im Versuch ermittelt werden.

Gleichzeitig wird dem Gärrest Wasser durch Verdunstung entzogen und dadurch eingedickt. Der Grad der Eindickung ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Energiemenge sowie dem eventuell wirtschaftlich sinnvollen Einsatz von Wärmerückgewinnungsstufen.

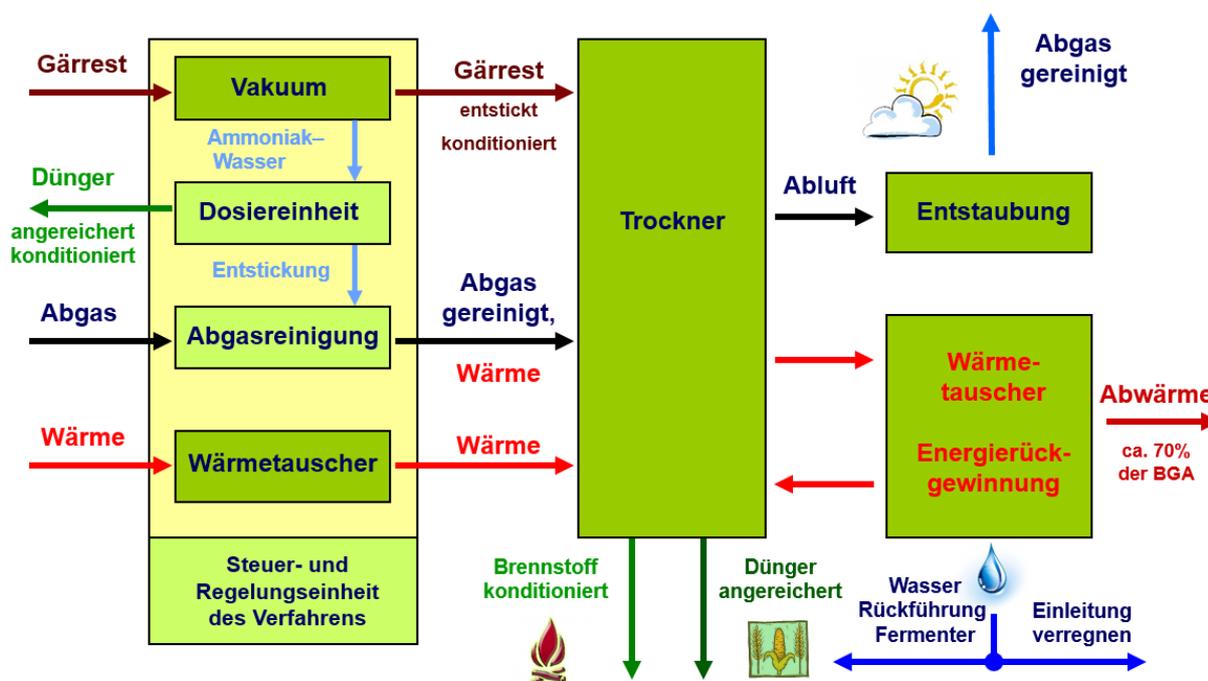


Abb. 6: Grundsätzlich Komponenten und Funktionseinheiten ARTOR® Gärrestaubbereitung mit Darstellung der Stoff- und Energieströme. (Auszug Präsentation von 2009)

Entwicklungsschwerpunkt des FuE-Projekts war das Entfernen des Ammoniaks aus dem Gärrest und Gewinnen eines konzentrierten, transportwürdigen Ammoniakdüngers. Die Umsetzung dieses Verfahrensschritts ist für das FuE-Projekt erfolgsrelevant und für die weiteren beschriebenen Verfahrensschritte, Effekte und Wechselwirkungen essentiell.

### **Darstellung des Reduzierungspotenzials von Klima schädigenden Stoffen/Schadstoffen**

1. Durch die Entfernung des Ammoniaks und sonstiger flüchtiger Stoffe (z.B. Amine, flüchtige Schwefelverbindungen, Restmethan) aus dem Gärrest verringern sich die Emissionen (Lager- und Ausbringverluste) erheblich.
2. Durch die Aufbereitung wird dem Gärrest erhebliche Mengen Wasser entzogen. Die Gesamtmenge wird reduziert. Das führt bei der Ausbringung auf den Acker als Dünger zu einer erheblichen Verringerung des Ausbringaufwands und damit zu einer Einsparung von Kraftstoff und somit auch CO<sub>2</sub>. Zusätzlich geht die Bodenverdichtung deutlich zurück.
3. Durch die Hygienisierung wird bei der Lagerung die Nachgärung unterbunden. Es entsteht kein weiteres Methan was die Lagerung des Materials vereinfacht.
4. Die Bindung des NO<sub>x</sub> aus dem BHKW im Gärrest führt zu einer Verringerung der Luftbelastung und einer damit verbundenen großflächigen Deposition dieses Luftschadstoffs.
5. Die Reduktion der NO<sub>x</sub> im Abgas erlaubt eine flexiblere Einstellung des Betriebspunkts des BHKWs. Hierdurch kann die Entstehung anderer Schadstoffe im Verbrennungsmotor, insbesondere Formaldehyd, deutlich reduziert werden.

### **Angestrebte technische Funktionalitäten und relevante Parameter**

Die folgenden technischen und chemischen Funktionalitäten werden angestrebt, um das Verfahren sicherzustellen:

- Stabile, beherrschbare chemische Reaktionsprozesse in Bezug auf die Ammoniak- und Rest-Methanentfernung
- Reduzierung der überschüssigen Gülle / Gärrest, vor allem in veredelungsintensiven Regionen
- Hygienisierung des Gärrests. Keime sollen nahezu vollständig aus dem Gärrest und zukünftigen Dünger entfernt werden, um die Tiergesundheit und den Grundwasserschutz zu gewährleisten
- Dezentrale Aufbereitung des Gärrests an der Biogasanlage; Gärrestlager soll nur noch als Tagespuffer erforderlich sein (Schlupf von Methan und Ammoniak treten nicht mehr auf)
- Modularer Aufbau der Anlage zur bedarfsorientierten Nutzung einzelner Lösungskomponenten
- Möglichst geringer Wartungs- und Betreuungsaufwand der Anlage
- Verbesserung der Luftqualität durch Reduzierung der Schadstoffe (Formaldehyd, Stickstoffoxid) aus dem Abgas und Erreichung bzw. Unterschreitung der Grenzwerte (TA-Luft) sowie der Nutzung des Abgases zur Trocknung des Gärrests
- Herstellung eines hochwertigen schadstoffminimierten konditionierten Brennstoffs – alternativ eines stabilen und wertvollen Düngers („Kalksalpeter“)

- Der erzeugte Bio-Brennstoff soll transport- und lagerfähig sein, voll grundlastfähig und somit direkter Ersatz von Primärenergie
- Nahezu verdoppelte Energieausbeute in Höhe von 56% pro Tonne eingesetztem Mais gegenüber heutigen BGA

Insgesamt soll die Nachhaltigkeit durch ein Nährstoffmanagement und eine Kreislaufführung der Wertstoffe (z.B. Stickstoff, Phosphor, Kalium) ermöglicht sowie die Rentabilität der bestehenden, vor allem landwirtschaftlichen Biogasanlagen erhöht werden. Hierfür sind folgende besondere Funktionalitäten notwendig:

- Reduzierung der Ausbringkosten
- Reduzierung der Lagerkosten
- Hohes Maß an Wärmenutzung
- Erreichen des Formaldehydbonus

### 2.1.2 Erhebliche technische und chemische Verfahrensrisiken des FuE-Projektes

Aufgrund der Komplexität und der multikausalen Zusammenhänge sowie der hohen Anforderungen an das Entwicklungsvorhaben, können bereits im Vorfeld Risiken und Problemfelder identifiziert werden. Nachfolgend eine Aufstellung der technischen und chemischen Herausforderungen, deren Bewältigung für den Projekterfolg als hinreichend und notwendig erachtet wird:

- Das Ammoniak-Stripping könnte geringer ausfallen als erwartet. Insgesamt ist es für das Verfahren notwendig mindestens 70% der Ammoniakverbindungen zu entfernen.
- Noch ist ungewiss, wie und ob eine Restmethanentfernung rein mechanisch zu erreichen ist. Dabei ist eine Detektion im laufenden Betrieb nicht auszuschließen. Die Methanentfernung muss dem Sicherheitsanspruch genügen.
- Aufgrund der Eigenschaften des Gärrest, z.B. hinsichtlich der bakterienbedingten Schaumbildung, des hohen faserigen Feststoffanteils und der damit geringen Rühr- und Pumpfähigkeit, kann dieser nur bedingt mechanisch bearbeitet bzw. befördert werden. Die benötigte Peripherie ist nicht als Standardware am Markt verfügbar. Daher müssen u.U. die verfahrenstechnischen Komponenten, wie Behälter, Verbindungselemente, Beförderungsmodule (Unterdruckpumpe) etc. neu konzipiert, entwickelt sowie im Gesamtsystem erprobt werden. Des Weiteren muss gewährleistet werden, dass das angedachte System ohne großen Wartungs- und Betreuungsaufwand funktioniert.
- Ein weiteres Risiko besteht zudem in der Entwicklung der Mess-, Steuer- und Regelungseinheit des Verfahrens. Die Reaktionszeiten und notwendigen Messgenauigkeiten sowie die dafür geeigneten Sensoren und Messmethoden sind erst noch zu untersuchen und zu definieren. Dabei müssen vor allem Umgebungsbedingungen, wie Temperatur und Feuchtigkeit und das Verhalten des Gärsubstrats in den Komponenten beachtet werden. Hier kann es durch Verklebung und Agglomeration Probleme beim Transport kommen.
- Selbst wenn die grundsätzlichen chemischen Prozesse im Labor untersucht und bestimmt worden sind, lässt sich das Reaktionsverhalten nicht 1:1 auf die Größenmengen in der geplanten Gärrest-Aufbereitungsanlage übertragen. Diese Verfahrensprozesse gilt es am Prototypen noch zu erproben, in einen beherrschbaren Prozess zu integrieren und schließlich die Komponenten darauf abzustimmen.

Trotz Erfolg versprechenden theoretischen Analysen sowie punktueller Laborversuche bleibt ein hohes technisches und chemisches Verfahrensrisiko.

Insgesamt kann also im Rahmen des Projekts nur auf allgemeine Erfahrungen zur Entwicklung von Gärrest-Aufbereitungsanlagen und in der industriellen Abwasseraufbereitung zurückgegriffen werden.

Erfahrungswerte explizit zu den chemischen Reaktionsverhalten, den Mess-, Steuer- und Regelungsprozessen sowie der anspruchsvollen Fördertechnik zur Gewährleistung kontinuierlicher Stoffströme existieren nicht.

### 2.1.3 Grundlagen zum Verhalten von Ammoniaklösungen

In der Vorbereitungsphase des Projekts wurden umfangreiche Recherchen über das Verhalten von Gasen – im speziellen von Ammoniaklösungen durchgeführt. Es ist bekannt, dass Gase in heißem Wasser schlechter löslich sind als in kaltem. Daher ist es grundsätzlich möglich mit Wärme Ammoniak aus Gärresten und anderen ammoniakhaltigen flüssigen Reststoffen zu entziehen und durch Kühlung der Gasphase ein Kondensat mit einer höheren Ammoniakkonzentration zu gewinnen.

Der Unterschied der Löslichkeit von Ammoniak in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur ist grafisch in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die dort dargestellten Löslichkeiten werden bei einer über der Lösung stehenden Ammoniakatmosphäre bei Umgebungsdruck erreicht und stellen daher die Maximalwerte bei Umgebungsdruck dar. Es handelt sich um theoretische Werte, die sich in einer idealen Umgebung einstellen würden. In der gefundenen Literatur gibt es keine Daten über technisch erreichte Werte.

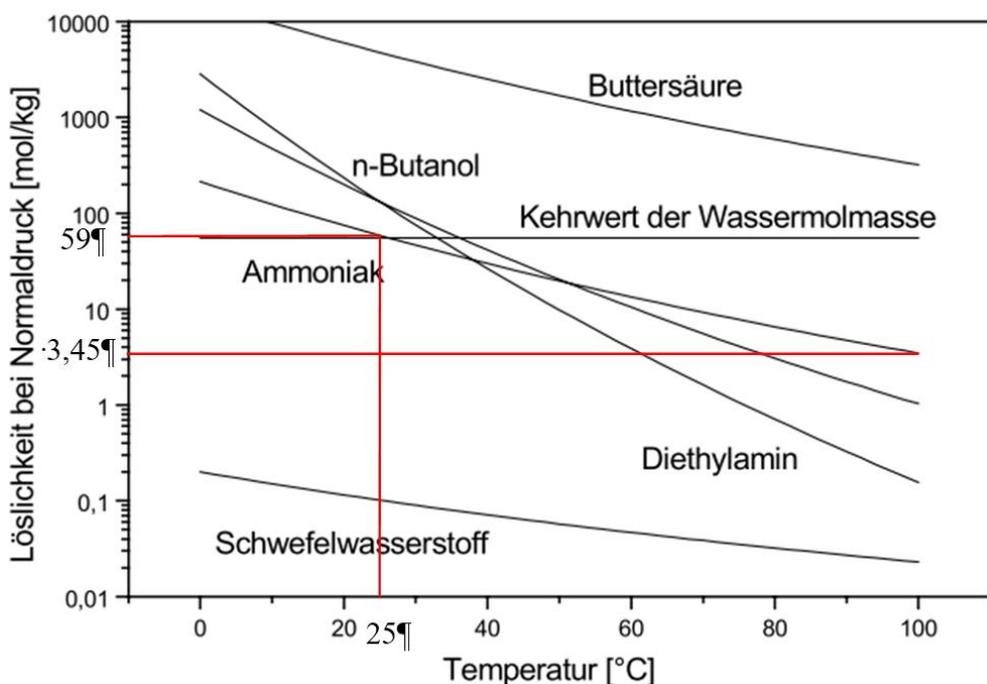


Abb. 7: Löslichkeit von Ammoniak in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur und einem Ammoniakdruck von 1 atm absolut. <sup>1/1/</sup>

Die Übertragung des Ammoniaks aus dem Gärrest in eine gekühlte wässrige Phase wird von verschiedenen Parametern beeinflusst. Da es sich bei dem Ammoniaktransfer aus einer heißen gering konzentrierten Lösung in ein kaltes Kondensat um einen dynamischen Prozess handelt, sind alle Prozessparameter dynamisch einer Veränderung unterworfen.

Die Berechnung der Gleichgewichtsverhältnisse erfolgt mit dem Henrygesetz. Mit Hilfe der bekannten Henry-Konstante für Ammoniak von 59 mol/l atm bei 25 °C <sup>2/</sup>, die die maximale Löslichkeit von Ammoniak bei einer Ammoniakatmosphäre bei 1 atm angibt und der im Kondensat erhaltenen Konzentration lässt sich der dazu korrespondierende mittlere Partialdruck des

<sup>1</sup> Peter Boeker, Agrartechnische Forschung 7, Heft 3, 72-76, 2001

<sup>2</sup> R. Sander Atmos. Chem. Phys., 15, 4399-4981, 2015

Ammoniaks über dem Kondensat ermitteln. Dieser Wert kann dann in eine Konzentrationsangabe umgerechnet werden.

$$KH = cw / pg$$

$$pg = cw / KH$$

$$cg = pg / RT$$

$cw$  Ammoniakkonzentration im Kondensat

$cg$  Ammoniakkonzentration in der Gasphase

$R$  Gaskonstante

$pg$  Ammoniakpartialdruck in der Gasphase

Wie aus der Grafik, die aus einer Datenliste <sup>3/</sup> erstellt und nach unten bis zur Ammoniak-Konzentration 0 % extrapoliert wurde, ersichtlich ist, erhöht sich die Differenz des Dampfdrucks mit Abnahme der Konzentration des Ammoniaks zum Dampfdruck des Wassers.

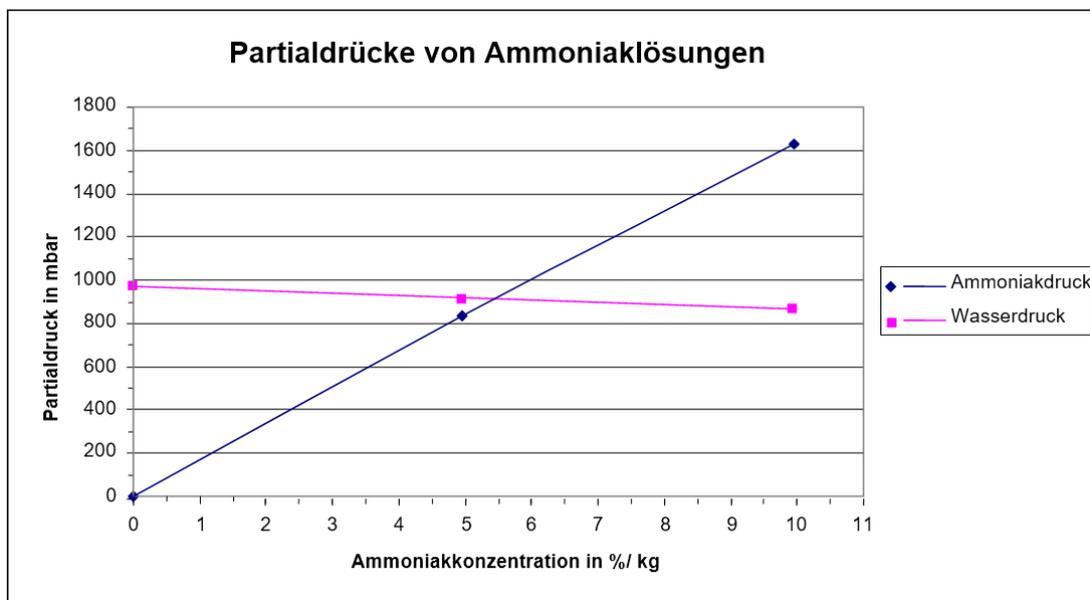


Abb. 8: Partialdrücke von Ammoniak und Wasser <sup>4/</sup>

Anhand dieser Grafik ist anzunehmen, dass bei einer 0,5 %igen Ammoniaklösung die Ammoniak- zu Wasserdampf-Konzentration in der Gasphase etwa 1:10 beträgt. Daraus kann, wenn keine Abreicherung eintritt, dann ein Kondensat mit einer Ammoniakkonzentration von maximal 10 % entstehen. Dieser Wert ist theoretisch, da bei einer Ammoniakentfernung immer eine Abreicherung stattfindet

<sup>3</sup> R. Sander Atmos. Chem. Phys., 15, 4399-4981, 2015

<sup>4</sup> Thomas A. Wilson, University of Illinois Bulletin, No. 146, 1925

### 2.1.4 Laboruntersuchung an der HS Offenburg

Da über das hier angestrebte Verfahren der Ammoniakentfernung keinerlei Daten gefunden werden konnten, wurden die grundlegenden Untersuchungen von der Arbeitsgruppe von Prof. Dr.-Ing. Joachim Jochum und seinem Team (Philipp Huber, Gerwin Lange und Fabiola Testoni) an der Hochschule Offenburg durchgeführt. Ziel war, die chemischen und thermischen verfahrenstechnischen Grundlagen und Verfahrenskennlinien zu erarbeiten.

Es wurden Untersuchungen mit Modelllösungen (ML) und Gärrest durchgeführt.

Mit diesen Modelllösungen wurden entsprechende Messprogramme mit definierten Parameter (Druck, Temperatur, Haltepunkte, etc.) abgearbeitet. Es wurden u.a. Konzentrationen von Ammoniak, pH-Wert gemessen und dokumentiert.

Die folgende Abbildung zeigt das Schema des Versuchsaufbaus nach dessen Schema später auch die Containeranlage gebaut wurde.

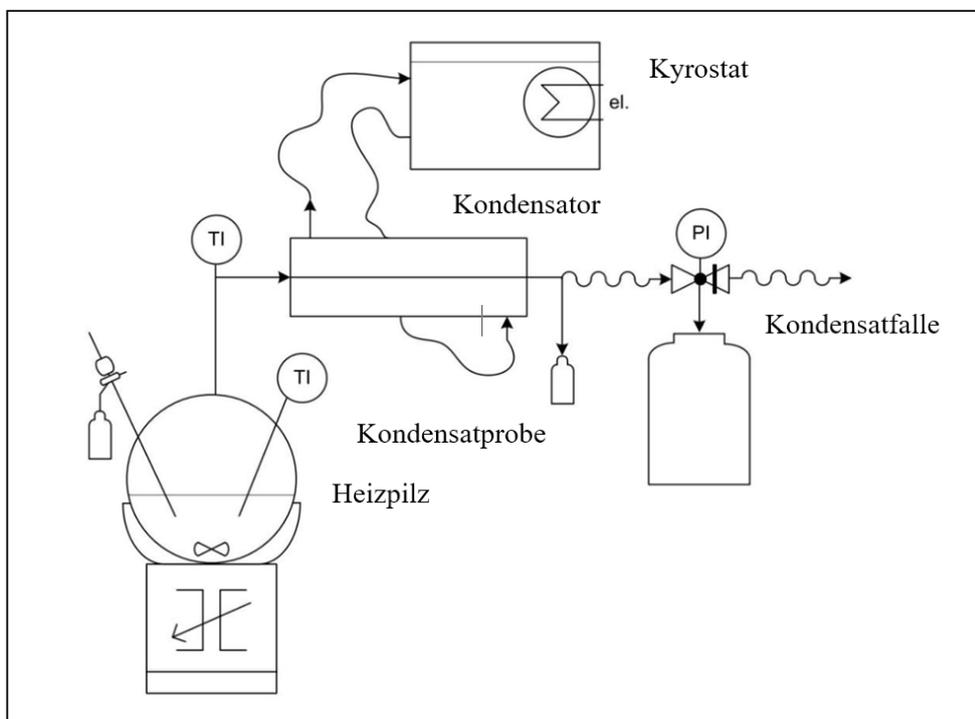


Abb. 9: Messanordnung Ammoniak-Strippung zur Ermittlung der Betriebsbedingungen zur Ammoniakentfernung aus Gärrest



Abb. 10: Versuchsaufbau HS-Offenburg

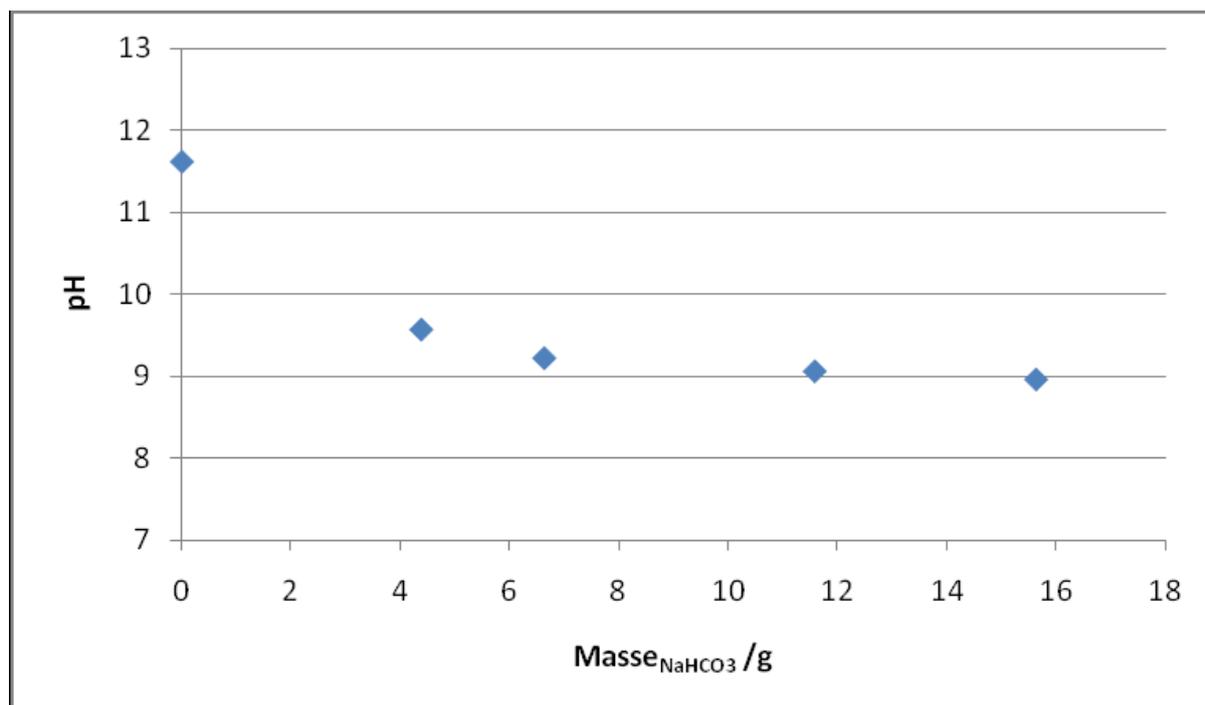


Abb. 11: pH-Verlauf über Zugabe Natriumbikarbonat bei der ML1.

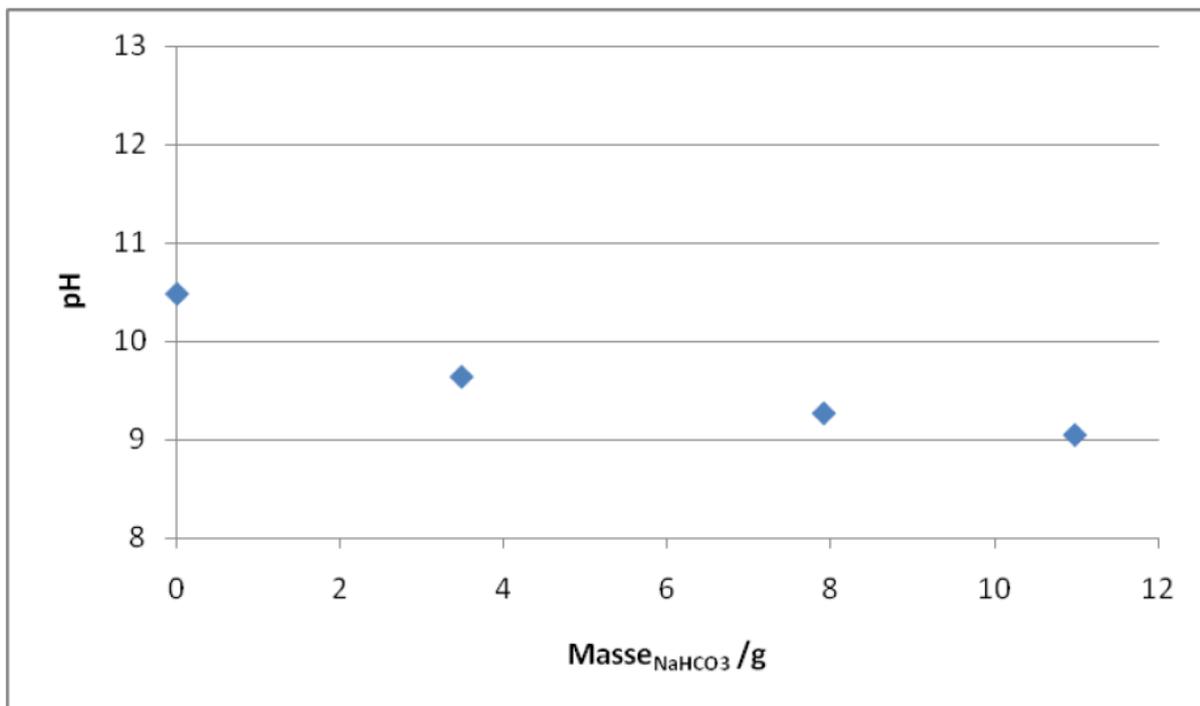


Abb. 12: pH-Verlauf über Zugabe Natriumbicarbonat bei der ML2.

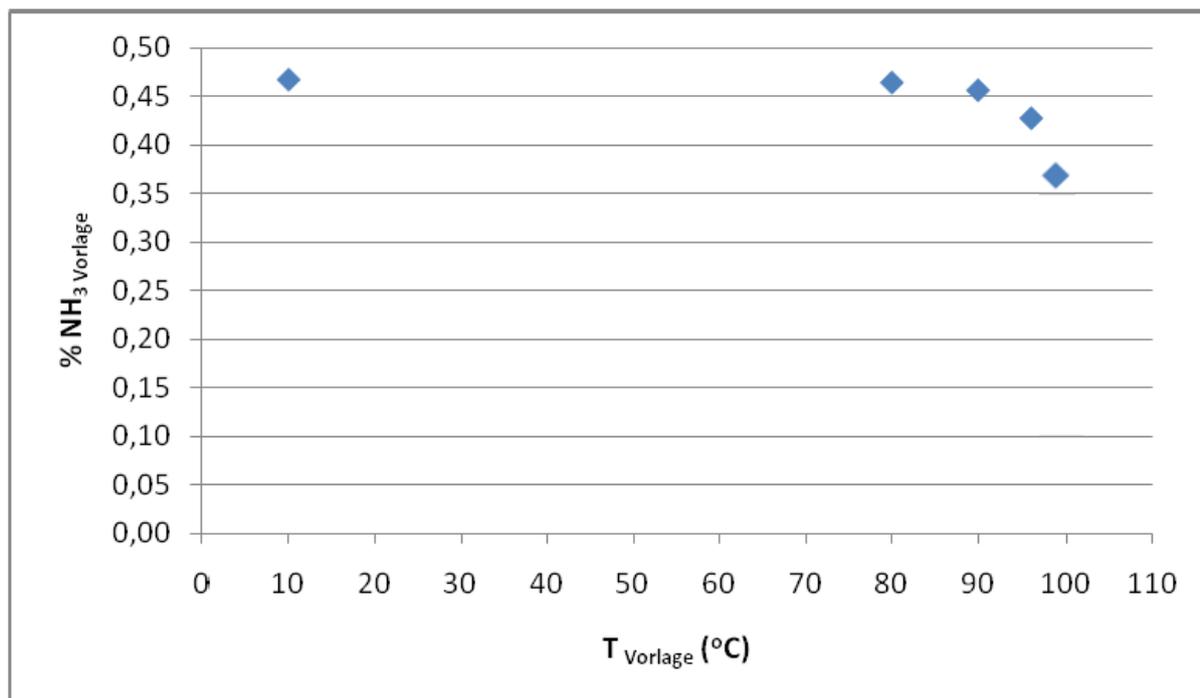


Abb. 13: Ammoniak-Konzentration Vorlage über Temperatur

### Fazit der Laboruntersuchungen

Es konnte kein signifikanter Einfluss durch die Gegenwart von Kohlenstoffdioxid oder Essigsäure festgestellt werden. Die pH-Wert Anhebung mit Kalkmilch oder Natronlauge hat zu einer Verdoppelung der Verarbeitungsgeschwindigkeit geführt. Sie war aber für einen Verfahrensprozess immer noch zu langsam.

Als weiteres Ergebnis konnte noch festgestellt werden, dass aus dem Gärrest freigesetzter Kohlenstoffdioxid nur schlecht wieder absorbiert wurde.

Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass eine Ammoniak-Abreicherung nur ab einer Temperatur von  $> 90\text{ °C}$  und Umgebungsdruck in ausreichender Geschwindigkeit erreicht werden kann (siehe Abb. 13).

## 2.2 Entwicklung, Konstruktion und Bau der Anlagentechnik

Bei der Auslegung und Entwicklung der Module flossen die Kriterien unter den Punkten 2.1.1 ff. sowie die Ergebnisse der Laboruntersuchungen ein.

### 2.2.1 Komponente 1: Entstickungsmodul

Das Entstickungsmodul ist die Schlüsselkomponente des Verfahrens. Damit sind besondere Anforderungen an Funktion und Effizienz verbunden. Die Auslegung der Komponenten und des Verfahrensablaufs sind eng an den Versuchsaufbau im Labor der Hochschule Offenburg angelehnt (vgl. Abb. 9). Die Anlagentechnik sollte in einen 40' Container installiert und betrieben werden können.

Grundsätzlich vorgesehener Verfahrensablauf:

1. Es ist vorgesehen, dass das Verfahren im Batch-Betrieb arbeitet.
2. Der Gärrest wird vom Gärrestlager in einen mantelbeheizten Druckbehälter überführt. Der Behälter ist mit einem Rührwerk ausgestattet um den Entlüftungsprozess zu beschleunigen.
3. Der Gärrest wird mit der Abwärme des BHKW's beheizt. Die Aufheizgeschwindigkeit ist abhängig von der Leistung und Temperaturniveau der Biogasanlage. Für einen guten Durchsatz wäre eine Temperatur  $> 130\text{ °C}$  wünschenswert.
4. Die Temperatur wird eine Zeitlang aufrechterhalten. Unter ständigem Rühren werden die flüchtigen Inhaltsstoffe (vor allem Ammoniak, Methan,  $\text{CO}_2$ , etc.) aus dem Gärrest ausgetrieben.
5. Der flüchtige Gasstrom wird über einen Kondensator geleitet, das Kondensat wird in einem Behälter aufgefangen. Das Ammoniak und weitere Gase reichern sich im Kondensat an.
6. Ist der Entstickungsprozess abgeschlossen wird der heiße Gärrest in einen Zwischenbehälter im Container umgepumpt. Der Prozessbehälter kann dann umgehend mit der nächsten Charge wieder befüllt werden mit der nächsten Charge.
7. Vom Zwischenbehälter kann der noch heiße Gärrest zur zweiten Komponente des Verfahrens (Trocknermodul, vgl. Seite 10 ) dann kontinuierlich gefördert werden.
8. Optional kann der Gärrest hygienisiert oder drucksterilisiert werden. Eine Möglichkeit zum Einsetzen einer elektrischen Heizung zur weiteren Temperaturerhöhung auf  $130 - 140\text{ °C}$  wird vorgesehen, um allen eventuellen hygienerechtlichen Anforderungen in der Zukunft gerecht werden zu können.

Die auf einer Biogasanlage vorhandene Wärme sollte mit hoher Effizienz genutzt werden um den Gärrest möglichst optimal zu behandeln. Hohe Relevanz wurde durch das Entwicklerteam im Wärmeübergang und schnellem Aufheizverhalten des Druckbehälters zugemessen. Dabei sollte dieser in einen 40'-Überseecontainer passen.

Zur optimalen Gestaltung des Behälters wurden im Vorfeld technische Simulationen (CFD) von unterschiedlichen Bauvarianten durchgeführt.

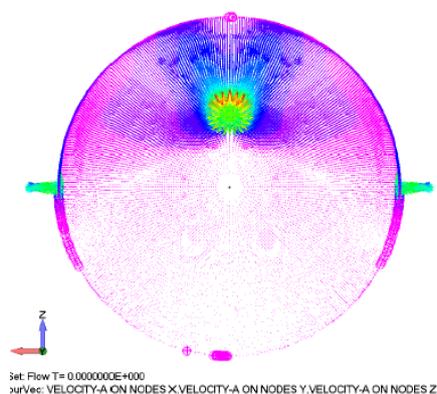


Abb. 14: CFD-Simulation

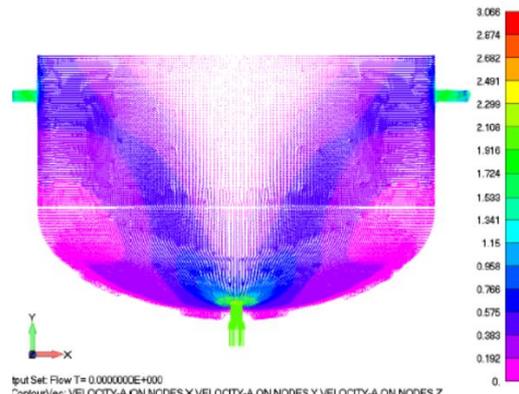


Abb. 15: CFD-Simulation

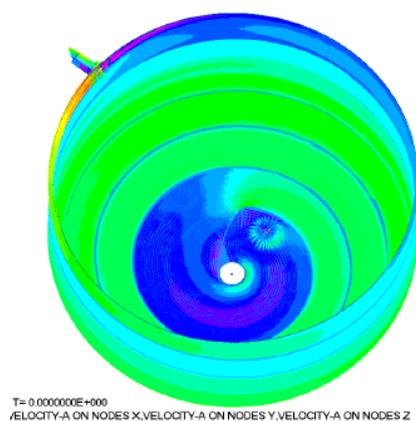


Abb. 16: CFD-Simulation

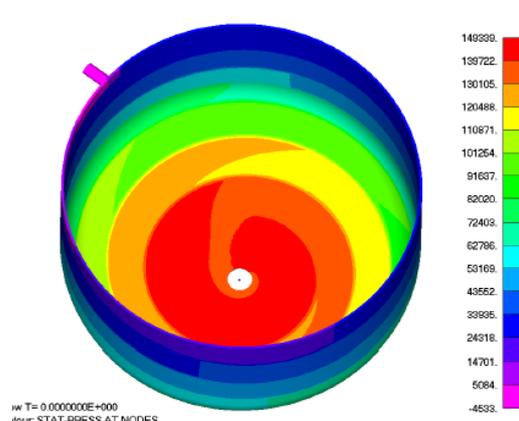


Abb. 17: CFD-Simulation

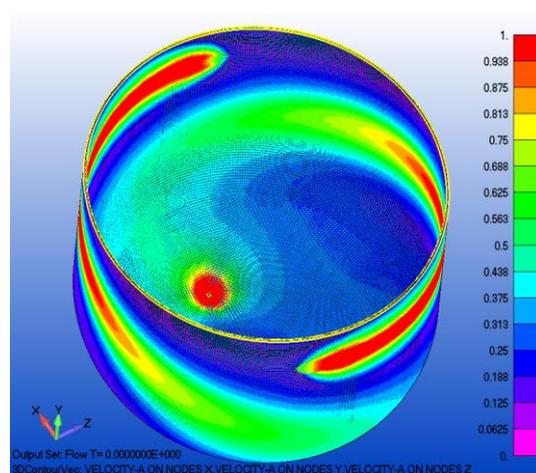


Abb. 18: CFD-Simulation

Die Abb. 14 bis Abb. 18 zeigen unterschiedliche Strömungsvarianten und Druckverhältnisse des Heizwasserkreislaufs zum Beheizen des Gärrests im Druckbehälter. Um eine effiziente Beheizung zu erhalten, sollte die Strömungsgeschwindigkeit bei möglichst geringem Druckaufbau an möglichst großer Fläche hoch sein. Unglücklicherweise verhalten sich diese beiden Anforderungen diametral. Die Bauform bei Abb. 18 zeigt einen guten Kompromiss.

Alle weiteren Baugruppen wurden entsprechend des Raumangebots des Containers speziell entwickelt und eingepasst. Nachfolgende Entwurfs-Skizze zeigt die Module & Komponenten nach mehrfachen Entwicklungs- und Iterations-Schritten. Aufgrund der erforderlichen Bauhöhe wurde die Anlage in einen sogenannte High-Cube Container installiert. Dieser bietet nochmals ca. 30 cm mehr Höhe.

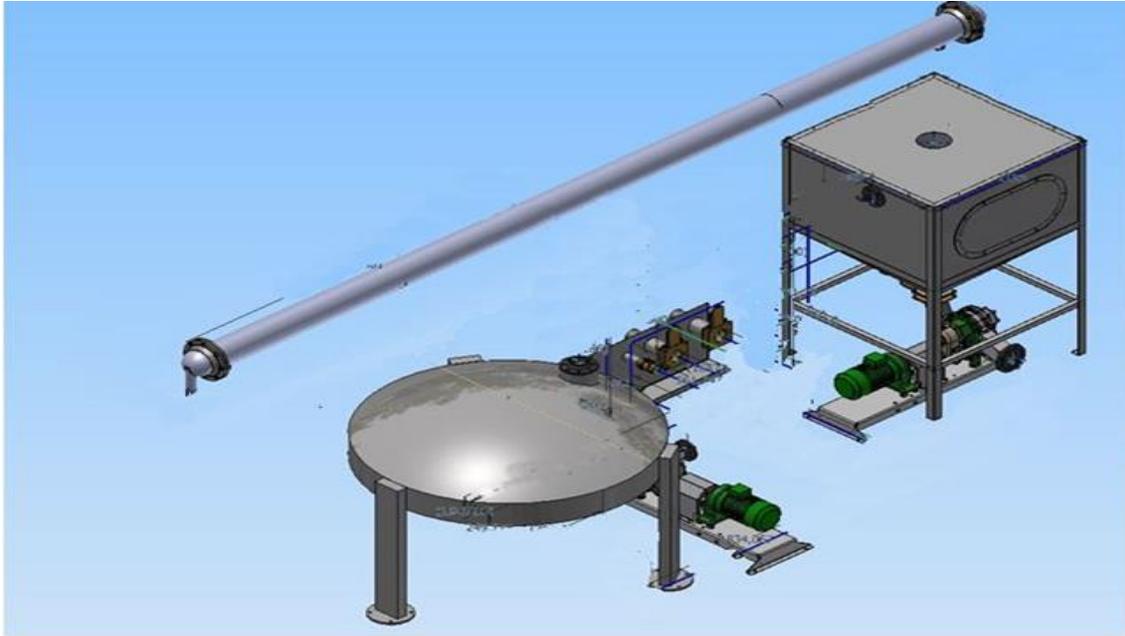


Abb. 19: Entwurfs-Skizze der Komponenten und Einbau-Anordnung in Versuchs-Container. Kondensator (lange Röhre) Druckbehälter (rund), Lagerbehälter (eckig), div. Pumpen



Abb. 20: Lagerbehälter für Gärrest



Abb. 21: Kondensator

Aufgrund des aggressiven Materials wurden alle Anlagenteile in V4A-Edelstahl ausgeführt.



Abb. 22: Innenausbau Container (Isolierung)  
Trennwand zum Bedienraum mit  
Steuerung und Schaltschrank



Abb. 23: Innenausbau (links Kondensat-Behälter),  
hinten: Pufferbehälter, Türe zum  
Bedienraum



Abb. 24: Anlieferung Schaltschrank



Abb. 25: Schaltschrank Verkabelung



Abb. 26: Druckbehälter eingebaut  
(oben links: Kondensator)



Abb. 27: Container fertiggestellt mit Tischkühler  
(Juni 2015)

Ursprünglich war geplant den Aufbereitungscontainer an der Biogasanlage der Badenova in Neuried aufzubauen und zu testen. Die Anlage verfügt über eine Heiztemperatur von rund 120 °C – das hätte für den Verfahrensprozess den Vorteil eines schnellen Aufheizens des Gärrests im Druckbehälter gewährleistet.

Im Verlauf des FuE-Projekts kam es beim Projektträger zu Verzögerungen beim Projektfortschritt. Bei Fertigstellung des Versuchscontainers im Mai 2015 hatten sich Rahmenbedingungen an der Biogasanlage verändert, durch die die Durchführung von Versuchen nur mit großem Aufwand möglich gewesen wäre.

Es wurde mit dem Team des Innovationsfonds vereinbart, dass alternativ die Versuchsreihen an einer anderen Biogasanlage durchgeführt werden können.



Abb. 28: Pilotanlage Entstickungs-Container bei Probetrieb auf einer Biogas-Anlage im südlichen Emsland. (rechts: Maschinenhaus)



Abb. 29: Entstickungs-Container mit Blick auf Druckbehälter. (links: Maschinenhaus mit BHKWs, Hintergrund: Gärbehälter, Nachgärbehälter, Mais-Silo)

### 2.2.2 **Komponente 2: Kombiniertes Trocknungs-Modul / Abgas-Abreicherung**

In dieser Komponente war vorgesehen das Abgas des BHKW – Motors mit dem vom Ammoniak befreiten und jetzt basischen Gärrest in Kontakt und zur chemischen Reaktion zu bringen. Die Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und das Formaldehyd aus dem Abgas der Biogas-Verbrennungsanlage (BHKW) sollen dadurch abgereichert werden. Es wird erwartet, dass sich bei diesem Prozess im Gärreste Nitrate bilden. Mit welcher Reaktionsgeschwindigkeit und welchem Umwandlungsgrad die chemischen Reaktionen ablaufen kann letztendlich nur im Versuch ermittelt werden.

Ein weiterer wichtiger Effekt ist, dass gleichzeitig dem Gärrest Wasser durch Verdunstung entzogen wird und dieser dadurch eindickt. Der Grad der Eindickung ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Energiemenge sowie dem eventuell wirtschaftlich sinnvollen Einsatz von Wärmerückgewinnungsstufen. Auch hier gilt es eine möglichst große Oberfläche zu haben damit die Luft möglichst viel Feuchtigkeit mitnehmen kann.

Für beide gewünschten Reaktionsprozesse ist es funktionsrelevant, dass die Luft möglichst viel Kontakt mit Gärrest erhält um eine vollständige Umsetzung zu erhalten. Durch diese Anordnung in einem Teller Trockner wird der Gärrest auf eine große Fläche verteilt und durch die speziellen Abstreifer zusätzlich noch gewalzt und gewendet. Dadurch ist der intensive Kontakt zwischen Material und Luftstrom in idealer Weise gegeben.

Bereits 2003 haben Jaske & Wolf einen Schlammtrockner entwickelt, der sich speziell für die Nutzung von Abwärme auf niederem Temperaturniveau eignet. Die Anlage wurde bisher im industriellen Umfeld eingesetzt. Der Trockner wurde 2003 zum Patent angemeldet und 2009 erteilt.

Bei dem Trockner handelt es sich um einen so genannten Teller- oder Scheibentrockner. Das zu trocknende Gut wird kontinuierlich von oben auf den ersten Teller aufgebracht und mit Abstreifern auf der Telleroberfläche verteilt, durchmischt und gewendet. Durch Schlitze in den Tellern fällt das überschüssige Material einen Teller tiefer.

Währenddessen wird warme Luft parallel über die Teller geleitet. Die warme Luft nimmt die Feuchtigkeit auf und transportiert diese umgehend aus dem Trockner. Durch die kurzen Wege kommt es trotz hoher Beladung (Abkühlung der Luft bei hoher Luftfeuchtigkeit) im Trockner nicht zur Kondensation.

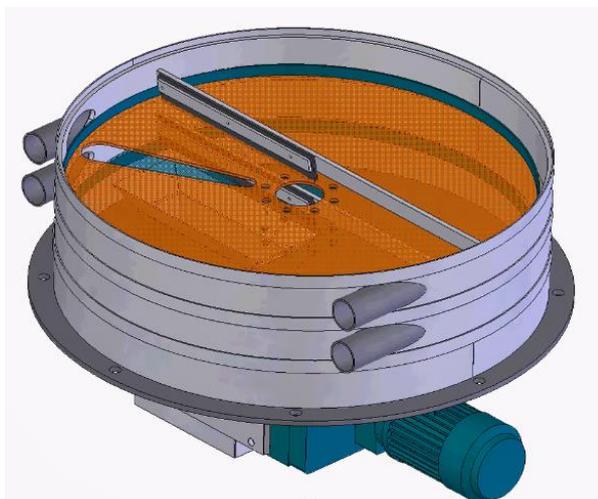


Abb. 30: Prinzip Tellerrockner: Mit Schlitz im drehendem Teller, Abstreifer, Auswurf unterhalb des Schlitzes erkennbar. Abb. zeigt die 1. Generation

Durch diese spezielle geometrische Anordnung ist der thermische Wirkungsgrad bei diesem System vergleichsweise hoch. In versuchsbegleitenden Messungen durch den TÜV Süd wurden, neben vielen Randparametern, vor allem der Volumenstrom und die Eintritts- und Austrittstemperaturen des warmen Luftstroms gemessen. Bemerkenswert ist, dass sich der warme Luftstrom durch die Verdunstung des Wassers von 60 °C auf 30 °C abkühlt. Dieser Wert steht für den hohen thermischen Wirkungsgrad des Systems.

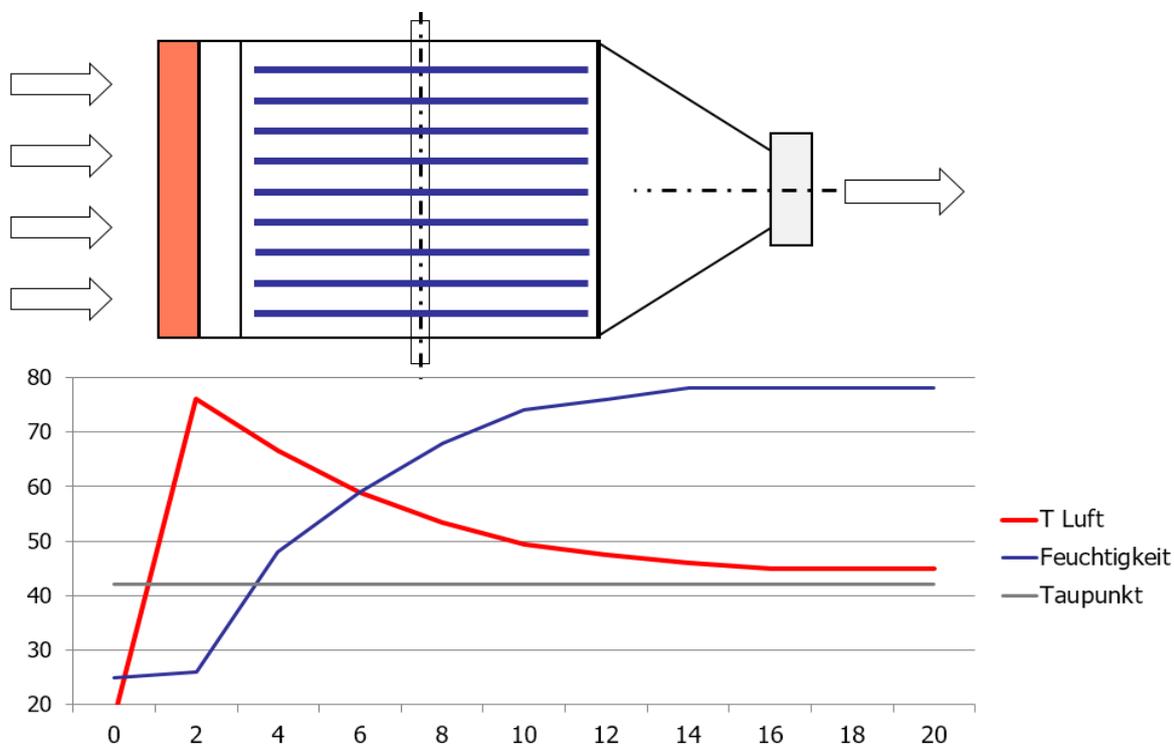
- Luftdruck	[hPa]	1013	
- Abgasparameter			
Abgastemperatur trockenes Thermometer	[°C]	60	
Abgastemperatur feuchtes Thermometer	°C	30	
- Feuchtegehalt *	[kg/m <sup>3</sup> ]	0,020	
- Feuchtegehalt bezogen auf Feuchtgas	[Vol.-%]	2,5	
- Dichte des Abgases im Normzustand*	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,293	
- Dichte des Abgases im Betriebszustand	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,050	
- Mittelwert des dynamischen Druckes	[Pa]	0,2	
- Statischer Druck	[hPa]	0,10	
- Mittlere Abgasgeschwindigkeit	[m/s]	0,6	
- Volumenstrom			
im Betriebszustand	[m <sup>3</sup> /h]	10400	
im Normzustand (feucht)	[m <sup>3</sup> /h]	8510	
im Normzustand (trocken) *	[m <sup>3</sup> /h]	8300	
- Abgaszusammensetzung			
Sauerstoff	[Vol.-%]	21,0	
Kohlendioxid	[Vol.-%]	0,0	
Kohlenmonoxid	[Vol.-%]	0,0	
Rest als Stickstoff	[Vol.-%]	79,0	
- u <sub>c</sub> relativ Volumenstrom im Normzustand (trocken)	%	8	

\* ) bezogen auf Normzustand, (273 K; 1013 hPa), trocken

H D = Hydraulischer Durchmesser

Abb. 31: Auszug eines Messprotokoll: Die hohe Differenz von Eintritts- und Austrittstemperatur steht für hohe Aufnahme von Feuchtigkeit (durch Verdunstungskälte). Die Messungen wurden vom TÜV Süd durchgeführt.

Nachfolgende Skizze zeigt die laminare Luftführung parallel über die Teller des Trockners und die dadurch erzeugte dynamische Veränderung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit.



© 2015 Jasko & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Abb. 32: Thermodynamisches Grundprinzip des Trocknungsvorgangs.

Nachfolgende 3D-Zeichnungen zeigen die Trocknermodule der zweiten Generation für Flotat- und Industrieschlämme. Sie sind modular aufgebaut und können je nach Anforderung an den Trocknungsprozess aufeinander gestellt werden.

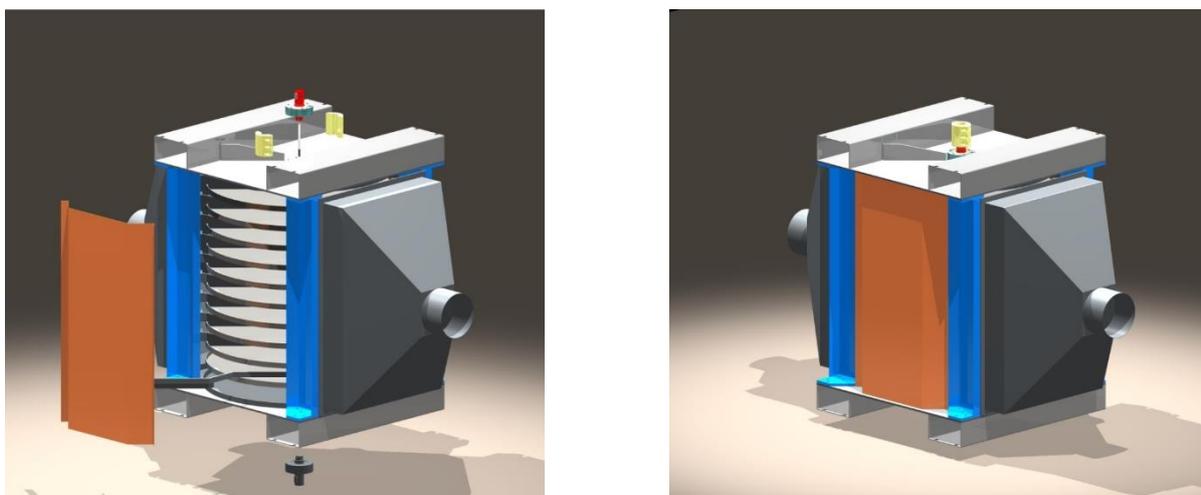


Abb. 33: 3D-CAD Zeichnung eines Trocknermodul mit 12 Tellern (links: geöffnet. rechts: im Betriebszustand)

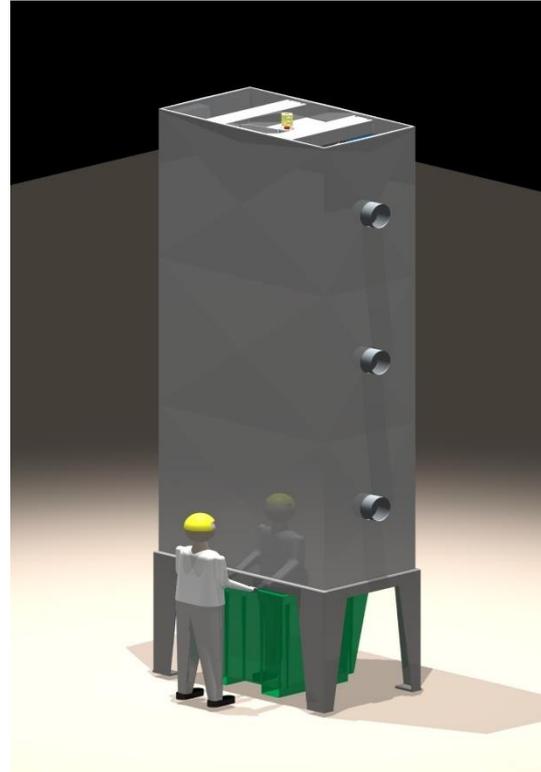
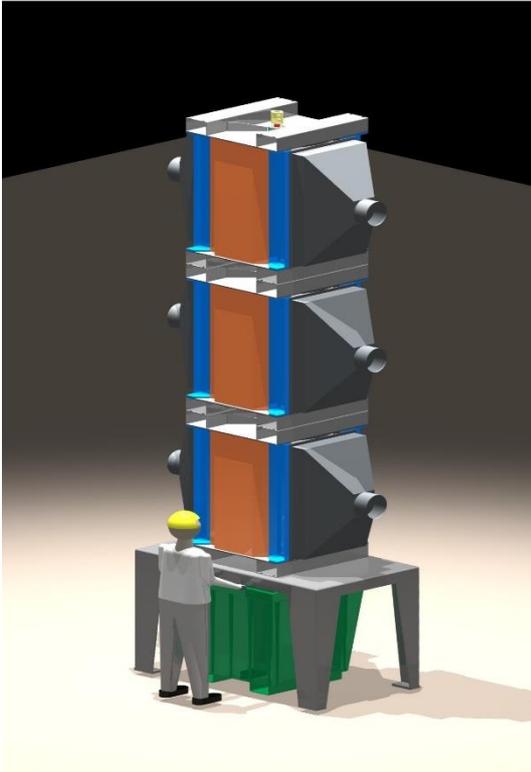


Abb. 34: Modular aufgebaute Trocknungsmodule können übereinander gestapelt werden. Dadurch kann der Trocknungsgrad angepasst werden.

Der Trockner war bisher für den Einsatz von Farb- und Flotatschlämmen sowie Emulsionen ausgelegt. (vgl. Abb. 35, rechts)

Im Gegensatz dazu hat Gärrest eine faserige Struktur. (vgl. Abb. 36) Zudem ist zu erwarten, dass der Gärrest während des Trocknungsvorgangs seine Eigenschaften ändert (z.B. Leimphase, Verklumpen, etc.). Auch die Bereitschaft die Feuchtigkeit abzugeben ist unterschiedlich groß. Um diesen materialspezifischen Eigenschaften gerecht zu werden, muss die Konstruktion und Betriebsführung angepasst werden. Hierfür müssen vor allem die Tellerabstände, die Durchgänge, die Durchströmung und vor allem die Abstreifer geändert werden.



Abb. 35: Teller Trockner beim Einsatz mit Flotatschlamm aus der Kosmetik-Herstellung.

Um Erfahrungen mit dem neuen Material zu gewinnen, wurde ein modifiziertes Trocknermodul konstruiert und gebaut (vgl. Abb. 36). Die Luft zum Trocknen wurde zunächst mit Warmwasser-Heizregister erwärmt. Damit wurden umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt. Dabei wurden Messwerte und Verfahrenskennlinien ermittelt sowie das Verhalten des Materials in der Trocknungsphase beobachtet. Die gewonnen Erkenntnisse wurden in den nachfolgenden Versuchen verifiziert und weiter vertieft.



Abb. 36: Rechts: Erstes Versuchsmodul speziell für den Einsatz mit Gärrest entwickelt und ausgelegt.  
Oben: Separierter Gärrest TS 20-24%. Unten: Gärrest auf drehendem Teller

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde das Modul optimiert, überarbeitet und angepasst. Große Herausforderungen stellten der Materialtransport, die Leimphase (Verkleben des Materials während des Trocknungsprozesses) sowie die Abstreifer bzw. Manipulatoren dar. Durch unterschiedliche Maßnahmen wie z.B. Rückvermischung von vorgetrocknetem und frischem Gärrest konnte eine Verstetigung des Prozesses erreicht werden.

Um den Durchsatz eines einzelnen Moduls zu erhöhen, sollte der Durchmesser der Teller vergrößert werden. Das stellte neue Anforderungen an die Stabilität und Steifigkeit der Teller. Für die Auslegung wurden CFD-Berechnungen durchgeführt und das Bauteil entsprechend den Anforderungen ausgelegt.

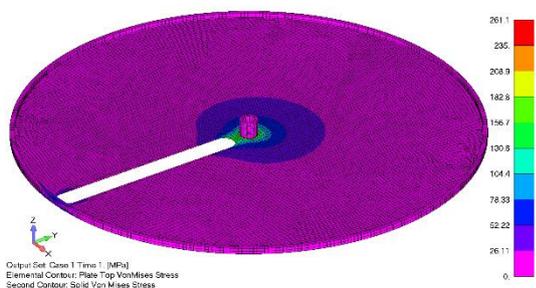


Abb. 37: Festigkeitsberechnung (FEM) Teller

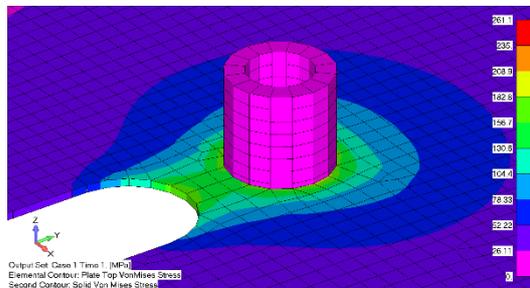


Abb. 38: Detail Berechnung

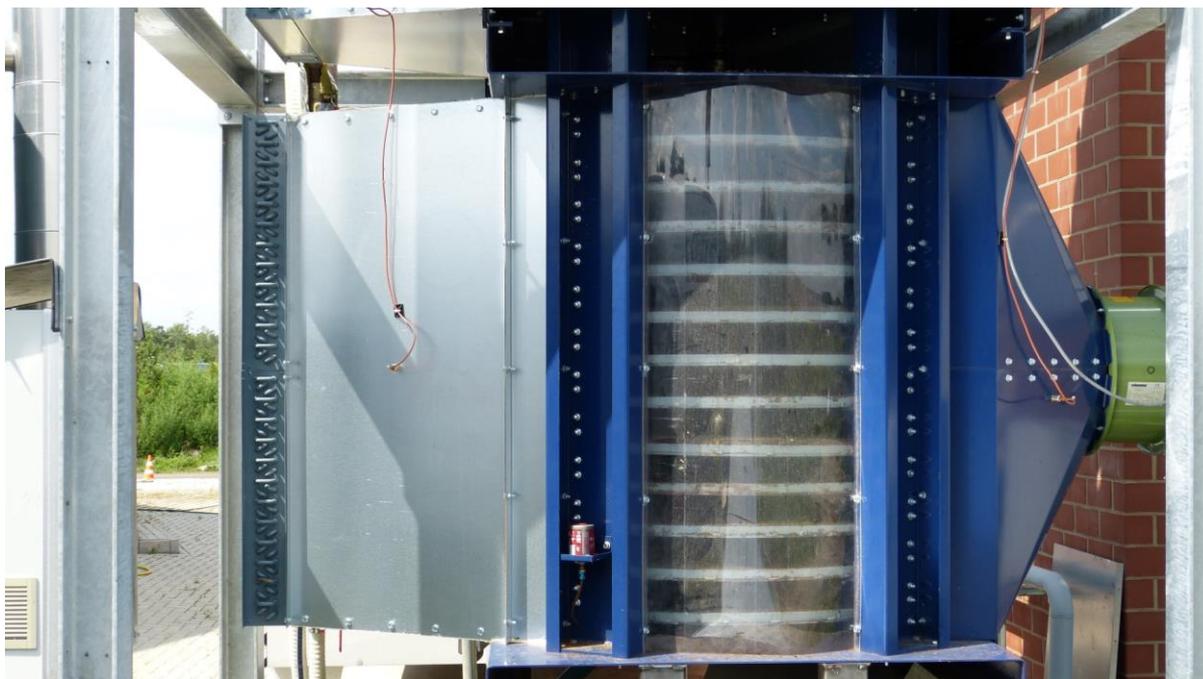


Abb. 39: Überarbeitetes Modul für Gärrest (von links: Heizregister, Luftkanal, Tellerpaket, Ansaugkanal mit Lüfter, Temperatursensoren zur Ermittlung der Trocknungsleistung).

## 2.3 Versuchsreihen Entsticken von Gärrest

### 2.3.1 Ammoniakstripping aus Gärrest mit der Versuchsanlage

Die Versuche wurden mit der unter 2.2.1 beschriebenen, im Container eingebauten Versuchsanlage durchgeführt. Sie fanden im Zeitraum zwischen Juli 2016 und März 2017 an einer 500 kW Biogasanlage statt, die überwiegend mit Mais und einem geringen Anteil Geflügelmist gefüttert wird. Wie bereits beschrieben ist die Versuchsanlage mit einem von uns speziell zur Ammoniakabstreibung konzipierten Druckbehälter ausgerüstet. Er hat ein Volumen von etwa 1 m<sup>3</sup>, ist u.a. mit einem Rührwerk ausgerüstet und wird mit dem Kühlwasser aus dem Kühlkreislauf des BHKWs der Biogasanlage beheizt. Der zulaufende Heizkreislauf wurde für die Versuchsdurchführung so konzipiert, dass höhere Temperaturen über eine zusätzlich installierte elektrische Heizung erreicht werden kann. Diese Nachrüstung wurde erforderlich, da das Kühlwasser der BHKWs nur auf einem Temperaturniveau von ca. 80 °C vorlag. Das BHKW verfügt zwar über einen Abgaswärmetauscher, dieser speist jedoch ebenfalls auf ca. 85 °C in den gleichen Heizkreislauf ein.

Ein Umbau der vorgefundenen Anlagentechnik wäre technisch und hinsichtlich Kosten sehr aufwändig gewesen. Darüber hinaus ist im Abgasstrang ein Katalysator zur Verminderung der Formaldehydemissionen installiert. Ein Eingriff in den Abgasstrang hätte daher auch genehmigungsrechtliche Fragen aufgeworfen. Vor diesem Hintergrund war für die Durchführung der Versuchsreihen die Nachrüstung mit einer elektrischen Heizpatrone die pragmatischere und kostengünstigere Lösung – sowohl für den Betreiber der Biogasanlage als auch für den Projektträger.

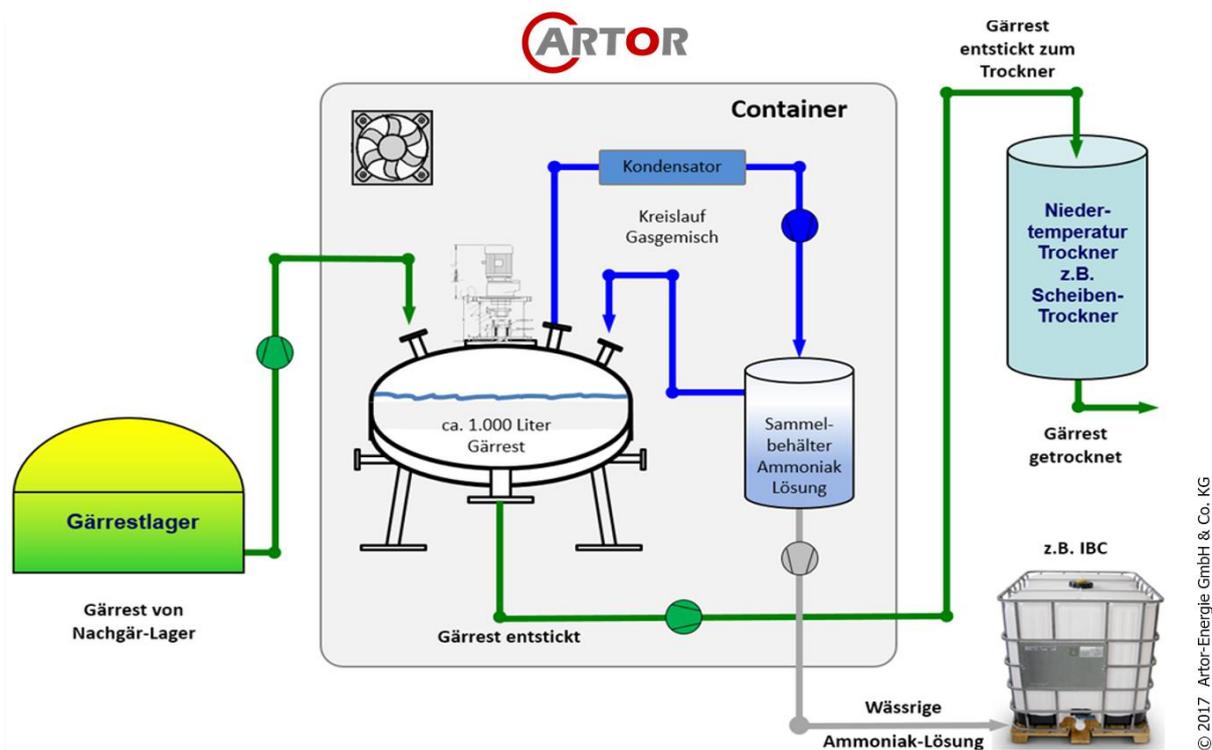


Abb. 40: Schematischer Aufbau des Versuchs-Containers an der Biogasanlage.

Die erzeugten Gase des Druckbehälters werden über eine Verbindungsleitung zu einem Rohrbündelkondensator geleitet. Die Verbindungsleitung verfügt über eine Sicherheitseinrichtung zur Belüftung des Systems. Auf der gegenüberliegenden Seite des Kondensators, der an einen Luft-Wasser-Kühler auf dem Dach des Containers angeschlossen ist, befindet sich ein etwa 60 l fassender Behälter als Kondensatsammler.

Es wurden in der Anlaufphase des Versuchs mehrere Verfahrenskonzepte zur Ammoniakgewinnung getestet. Ziel war es zunächst einen Überblick darüber zu gewinnen, welche Aspekte bei der thermischen und chemischen Verfahrensführung sowie bei den Versuchsabläufen besondere Berücksichtigung finden müssen.

In den ersten Versuchsreihen wurde, weil der Kühlkreislauf des Blockheizkraftwerks keine höhere Temperatur lieferte, eine Ausgasung des Ammoniaks bei Temperaturen bis 80 °C ohne einen Druckaufbau zuzulassen, versucht. Dies erbrachte, wie auch in den Laborversuchen, auch hier keinen nennenswerten Stoffumsatz. Der Stofftransport sollte dann durch eine Unterstützung des Stofftransports durch Umwälzung der Gasphase gefördert werden. Dabei wurde das Gas aus dem Kondensator mit dem Wasser in Kontakt gebracht, wasserlösliche Gase werden dadurch aus dem Gasstrom entfernt und gehen in Lösung. Diese Maßnahme führte zwar zu einer Aufkonzentration von Ammoniak im Kondensat, die aber 8.000 mg pro Liter (Indikatortest) nicht überschritt und daher bei weitem nicht ausreichend war.

Auch bei weiteren Versuchsreihen mit unterschiedlichem Unterdruck zu arbeiten, führte zu keiner hohen Ammoniakkonzentration im Kondensat bzw. dem Vorlagewasser. Zudem erschwerte es noch die Handhabbarkeit der Anlage.

Die bis hierhin durchgeführten Versuche führten nicht zu der notwendigen Differenz der Phasengleichgewichte, um einen schnellen Stofftransport und eine konzentrierte Ammoniaklösung zu bekommen.

Die nächsten Versuche wurden drucklos bei Temperaturen über 100 °C durchgeführt. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass es bei der Entgasung nicht zu einer zu starken Schaumbildung kommt. In den Kondensator eindringender Schaum führt zu dessen Verunreinigung. Die ersten Versuche zeigten einen erheblich verbesserten Konzentrationsaufbau im Kondensat.

Es wurden im weiteren Projektverlauf eine Vielzahl von Versuchsdurchführungen zur Ermittlung der optimalen Betriebsweise durchgeführt. Eine Versuchsreihe wurde komplett bis zur Entstickung des Gärrests durchgeführt. Die Ammoniakkonzentration des Gärrests betrug bei diesem Versuch ca. 4.000 mg/l. Es wurde Kondensat mit einer Konzentration von 14.350 mg/l erzeugt. Die Restkonzentration an Ammoniak im Gärrest betrug 37 mg/l. Weiterhin wurde festgestellt, dass durch die Entgasung der Gärrest leicht eingedickt wurde sodass die Pumpfähigkeit zurückging.

Mit diesem Versuch wurde nachgewiesen, dass der Gärrest vollständig von Ammoniak befreit werden kann. Die rechnerische ermittelte Rückgewinnungsquote beträgt in diesem Fall unter 80%. Eine Erklärung des aufgetretenen Ammoniak schlupfs besteht darin, dass der Versuch auf Grund des elektrischen Nachheizens über mehrere Tage durchgeführt werden musste. Die Heizung musste aus Sicherheitsgründen über Nacht abgeschaltet werden.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Behälter mit unterschiedlicher Gärrest-Menge befüllt und der Prozess mit unterschiedlichen Betriebsparametern durchgeführt. Es sollte festgestellt werden, wie sich eine unterschiedliche Kondensationsart auf die Gleichgewichtseinstellung einstellt und Einfluss auf die Konzentration des Kondensats nimmt. Die beiden Ergebnisse wurden gleich nacheinander erzeugt, um sekundäre Einflüsse möglichst auszuschließen.

In mehrfachen Versuchsreihen mit variierenden Temperaturen wurden signifikante Verbesserungen erzielt. Im Kondensat wurden Konzentrationen zwischen 20.000 mg/l und 24.000 mg/l gemessen.

Wegen Differenzen bei der ersten Auswertung zwischen den Messergebnissen, die vor Ort mit Teststäbchen gemessen wurden und den Laborergebnissen, wurde durch ein zertifiziertes Labor der Gesamtstickstoffgehalt einer Probe mitbestimmt. Die Teststäbchen zeigten immer Werte im Bereich von 50.000 mg/l an, während die Laborwerte bei 20.000 mg/l Ammoniak lagen. Die zusätzliche Bestimmung des gebundenen Stickstoffs ergab eine Konzentration von 30.000 mg/l (Gesamtstickstoff). Dies bestätigt die Anwesenheit leicht flüchtiger Stickstoffverbindungen, die die Messung der Ammoniakkonzentration mit Teststäbchen stören.



Abb. 41: Konzentriertes Ammoniakwasser aus dem Gärrest gewonnen (Kondensat)

Nachfolgend sind Auszüge der Analysen des zertifizierten Labors mit den erzielten Ergebnissen dargestellt:

			Probenbezeichnung	Gärrest
			Probenahmedatum	02.11.2016
			Labornummer	316124351
Parameter	Einheit	BG	Methode	

#### Bestimmung aus der homogenisierten Probe

Ammonium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11732 (AN-LG004 /f)	27
Ammonium-Stickstoff	mg/l	0,4	DIN EN ISO 11732 (AN-LG004 /f)	21
Gesamtstickstoff, gebunden (TNb)	mg/l	1	DIN EN 12260 (AN-LG004 /f)	-

#### Anmerkung:

Erklärung zu Messstandorten und Akkreditierungen

Die mit AN gekennzeichneten Parameter wurden von Eurofins Umwelt West GmbH (Wesseling) analysiert. Die mit LG004 gekennzeichneten Parameter sind nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14078-01-00 akkreditiert.

f: Die Analyse des Parameters erfolgte in Fremdvergabe.

Abb. 42: Laboranalyse zur Bestimmung des Reststickstoff-Gehalts im Gärrest nach dem Entstickten

			Probenbezeichnung	Kondensat 1	Kondensat 2
			Probenahmedatum	15.11.2016	15.11.2016
			Labornummer	316124355	316124356
Parameter	Einheit	BG	Methode		

#### Bestimmung aus der homogenisierten Probe

Ammonium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11732 (AN-LG004 /f)	20000	24000
Ammonium-Stickstoff	mg/l	0,4	DIN EN ISO 11732 (AN-LG004 /f)	16000	18000
Gesamtstickstoff, gebunden (TNb)	mg/l	1	DIN EN 12260 (AN-LG004 /f)	30000	-

#### Anmerkung:

Erklärung zu Messstandorten und Akkreditierungen

Die mit AN gekennzeichneten Parameter wurden von Eurofins Umwelt West GmbH (Wesseling) analysiert. Die mit LG004 gekennzeichneten Parameter sind nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14078-01-00 akkreditiert.

f: Die Analyse des Parameters erfolgte in Fremdvergabe.

Abb. 43: Laboranalyse zur Bestimmung des Stickstoff-Gehalts im Kondensat aus unterschiedlichen Versuchen

			Probenbezeichnung	Kondensat 9.3.17 Durchschnitt	Kondensat 9.3.17 15:30	Kondensat 13.3.17 17:00
			Probenahmedatum	09.03.2017	09.03.2017	13.03.2017
			Labornummer	317034922	317034923	317034924
Parameter	Einheit	BG	Methode			

#### Bestimmung aus der homogenisierten Probe

Ammonium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11732 (FR-JE02 /f)	21000	20000	13000
Gesamtstickstoff, gebunden (TNb)	mg/l	1	DIN EN 12260 (FR-JE02 /f)	29000	-	18000
Ammonium	mg/l	0,1	DIN 38406-E5 (FR-JE02 /f)	-	-	-

#### Anmerkung:

Erklärung zu Messstandorten und Akkreditierungen

Die mit FR gekennzeichneten Parameter wurden von EUROFINS Umwelt Ost GmbH (Bobritzsch-Hilbersdorf) analysiert. Die mit JE02 gekennzeichneten Parameter sind nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00 akkreditiert.

f: Die Analyse des Parameters erfolgte in Fremdvergabe.

Abb. 44: Laboranalyse zur Bestimmung des Stickstoff-Gehalts im Kondensat aus weiteren Versuchsreihen zu Optimierung des Verfahrens

### 2.3.2 Fazit aus den Messergebnissen

Die Versuche zeigten, dass es durch das entwickelte Verfahren möglich ist, den Stickstoff im Gärrest von rund 4.000 g / l auf 35 mg / l Reststickstoff zu reduzieren. Das Ergebnis übertrifft deutlich die ursprünglichen Erwartungen an den Prozess. Eine weitere Reduzierung ist weder erforderlich noch technisch oder wirtschaftlich sinnvoll. Durch gezielte Prozessführung ist es möglich eine beliebige Menge Reststickstoff im Gärrest zu belassen. Durch die Erhöhung der Restmenge lässt sich die Konzentration von Ammoniak im Kondensat erhöhen.

Der ursprüngliche Ansatz durch Einsatz von Kalkmilch den Reststickstoff weiter zu reduzieren ist nicht erforderlich und wurde daher nicht weiter verfolgt. In weiteren Versuchen wurden die Betriebsparameter als auch die Betriebsweise immer wieder variiert, um das Verfahren weiter zu optimieren.

### 2.3.3 Prozessdauer für eine Charge

Durch die geringen Heiztemperaturen war die Aufheizgeschwindigkeit langsam und somit die Durchführung der Versuchsreihen sehr langwierig. In Verbindung mit dem elektrischen Nachheizen mit recht geringer Leistung dauerten diese teilweise 3 Tage.

Steht für den Verfahrensprozess eine entsprechende Leistung und Temperaturniveau zur Verfügung kann die Aufheizzeit auf ca. 20 Minuten und die Prozesszeit auf 40 Minuten verkürzt werden. Hierfür muss die Energie im Abgas des BHKWs genutzt werden.

Die Pilotanlage kann unter diesen Rahmenbedingungen knapp 1 t Gärrest / h entstickt. Für das optionale Hygienisieren oder Sterilisieren des Gärrests ist die Verweilzeit im Druckbehälter zu erhöhen.

### 2.3.4 Energetische Betrachtung des Entstickungs-Prozesses

Für den Verfahrensprozess wird vor allem Wärmeenergie benötigt. An der Biogasanlage wird idealerweise die Abwärme des BHKWs eingesetzt. Hier stehen das Kühlwasser (ca. 80 °C) und das Abgas (ca. 450 °C) zur Verfügung. Die für den Prozess eingesetzte Wärmeenergie steht nach dem Prozess weiter zur Verfügung. So kann die Kondensationswärme aus dem Kühler genutzt werden z.B. zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung. Die im Gärrest befindliche Energiemenge steht für den Trocknungsprozess voll zur Verfügung.

Elektrische Energie wird für das Rührwerk, die Pumpen, die Lüfter des Kühlers, die Steuerung und Betätigung der Ventile benötigt. Je nach Arbeitstemperatur des BHKWs zur Verfügung stellen kann muss ggfs. der Gärrest noch elektrisch nachgeheizt werden. Aus Gründen der Energieeffizienz sollte das jedoch möglichst vermieden werden.

Der Energieverbrauch zum Entstickt von 1 m<sup>3</sup> Gärrest beträgt ca. 200 kWh Wärme und knapp 9 kWh Strom für die Aggregate. Es wird davon ausgegangen das die Nutzung der Abwärme des BHKWs über das EEG vergütet wird.

### 2.3.5 Nutzen für die Umwelt

Durch das Entsticken werden eine Vielzahl von Vorteilen für die Umwelt generiert:

- Ammoniak ist aus dem Gärrest entfernt und befindet sich jetzt in einer konzentrierten und transportwürdigen wässrigen Lösung.
- Eine Überdüngung mit Ammoniak durch das Ausbringen des Gärrests wird dadurch vermieden
- Der behandelte Gärrest komplett entgast. Es findet bei der Lagerung oder Trocknung keine weitere Ausgasung mehr statt.
- Durch die thermische Einwirkung sind die Bakterien tot. Es findet keine Nachgärung und dadurch unkontrollierte Methan-Emission statt.
- Es entsteht kein Lachgas

### 2.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchsreihen Entsticken / Trocknen ?

Nach rund 7 Monaten intensiver Versuchsreihen können die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden:

- Hoher Entstickungsgrad von  $\approx 99\%$ .  
Im Gärrest ist quasi kein Stickstoff enthalten (ca. 35 mg/l Gesamt-Ammonium)
- Transportwürdiger konzentrierter flüssiger Stickstoff-Dünger (ca. 30 g/l)
- Geringer Energieverbrauch (200 kWh Abwärme, 9 kWh Strom pro  $m^3$  Gärrest)
- Wärmeenergie, die für das Verfahren benötigt wurde, steckt im Gärrest und kann für die Trocknung vollständig genutzt werden.
- Anschließende Trocknung ohne Luftwäscher, da alle flüchtigen Stoffe durch das Verfahren entfernt wurden
- Kein Einsatz von Hilfs-Chemikalien (z.B. Schwefelsäure, Fällungsmittel, etc.). Dadurch vermeiden von hohem Schwefeleintrag (z.B. Ammonium-Sulfat) in den Boden
- Möglichkeit zum Hygienisieren / Sterilisieren des Gärrests (vor allem beim Einsatz von Abfall)
- Modularer Aufbau, dadurch flexibel in Bezug auf Kapazität und Umfang

=> Regionale & vollständige stoffliche und energetische Verwertung des Gärrests

## 2.4 Trocknungsversuche mit Gärrest

Um Erfahrung vor Ort unter Originalbedingungen mit frischem Gärrest zu gewinnen wurde ein Trocknerturm mit 3 Modulen gebaut und an einer Biogasanlage getestet. Der eingesetzte Gärrest wurde separiert und hatte einen TS-Gehalt von rund 20%.



Abb. 45: Versuchsaufbau bestehend aus 3 Modulen an einer Biogasanlage



Abb. 46: Getrockneter Gärrest



Abb. 47: Messgerät zur Feuchtebestimmung

Die Trocknung von Gärrest wurde im Vorfeld mit einem elektronischen Feuchtebestimmer (Kern DLB 160 3 A, vgl. Abb. 46) untersucht. Ziel der Untersuchung war, die Trocknungsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen zu ermitteln. Für die Untersuchung wurde separierter Gärrest mit einem Trockensubstanzgehalt im Bereich von 20 % im Mittel verwendet. Die Zunahme des Trockensubstanzgehalts mit der Zeit ist in etwa linear. Das bedeutet, dass mit Fortschritt des Trocknungsprozesses der Wasserentzug pro Zeiteinheit abnimmt. Der Zeitfaktor der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf gleichen TS-Gehalt zwischen 70 °C und 90 °C beträgt 1,5, d.h. die Trocknung bei 90 °C erfolgt 1,5mal schneller als bei 70 °C.

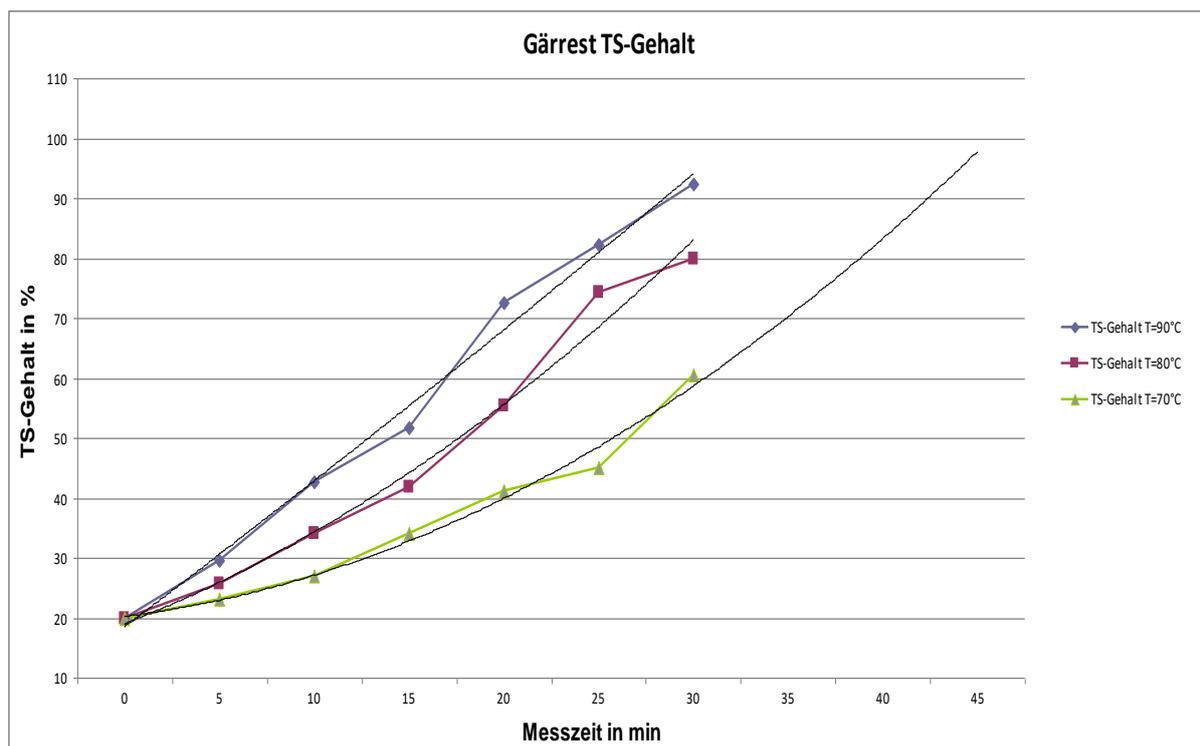


Abb. 48: Trocknungsverhalten von Gärrest in einem Feuchtebestimmer in Abhängigkeit von der Temperatur

Die praktische Durchführung der Trocknung von Gärrest wurde sowohl im Technikum als auch an einer Biogasanlage durchgeführt.

Der Trockner bestand aus 33 übereinander angeordneten Scheiben mit einem Durchmesser von 0,9 m, so dass die Trocknungsfläche etwa 21 m<sup>2</sup> betrug. Die Zulufttemperatur zu den Wärmeübertragern betrug 100 °C, womit eine Lufttemperatur der Trocknungsluft von 80 °C erzeugt wurde. Der Vorteil dieses Trocknerprinzips liegt darin, dass die Energiezufuhr durch die modulare Energiezufuhr im Gegenstrom zum Stoffstrom bedarfsgerecht gesteuert werden kann.

Der Trockner verbrauchte, gemessen mit einem Wärmemengenzähler 92 kWh und verdunstete dabei 74 l Wasser. Das entspricht einem Energieverbrauch von 1,24 kWh/l und einem Wirkungsgrad von 56%. 44% der Wärme wurde als Wärmekapazität zur Erwärmung der Luft und des Wassers verwendet.

Der Gärrest hatte am Ende des Prozesses einen TS-Gehalt von 50%. Die umgesetzte Wärmemenge entspricht demnach einer Gärrestmenge von 103 kg. Bei diesem Versuch sind etwa 90% des vorhandenen Wassers aus dem Gärrest entfernt worden. Ein Trockensubstanzgehalt unter 50% zu erhalten, erfordert eine höhere Trocknungstemperatur im unteren Trocknungsmodul, die mit den

eingebauten Aggregaten nicht zu erreichen war. Die Abstimmung zwischen Wärmeübertrager und zu transportierende Luftmenge ist noch zu verbessern. Die Entfernung des Zellwassers erfordert eine hohe Aktivierung. Wenn der Prozess mit einem guten Wirkungsgrad arbeiten soll, muss eine geringe Energiemenge mit einer hohen Temperatur für die Trocknung bereitgestellt werden.

#### Abweichung von dem geplanten Arbeitspaket

Neben dem Trocknen des Gärrests war ursprünglich vorgesehen, dass noch Versuchsreihen durchgeführt werden bei denen der Abgasstrom des BHKWs direkt durch den Trockner geleitet wird. Hierbei sollte untersucht werden, wie schnell und in welchem Umfang das Formaldehyd und NOx mit dem Gärrest chemisch reagiert. Dadurch sollten u. a. die Abgaswerte des BHKWs sinken und ggfs. mit dem Formaldehyd-Bonus vergütet werden.

Auf diese Versuchsreihen musste im Projektverlauf aus mehreren Gründen verzichtet werden. Wie bereits unter dem Punkt 2.3.1 erläutert ist der Eingriff in den Abgasstrang des BHKWs mit großem Aufwand verbunden. Darüber hinaus war absehbar, dass sich die Grenzwerte weiter verschärfen. Es ist davon auszugehen, dass die abgasreinigende Wirkung für das Erreichen der schärferen Grenzwerte nicht ausreichend sein wird.

## Neue Formaldehydgrenzwerte



- Vollzugsempfehlung Formaldehyd seit dem 05.02.2016 in Kraft
- BHKW (Motor) mit IBN vor dem 05.02.2016 gelten als Altanlagen
- Alle BHKW (Motoren), die ab dem 05.02.2016 in Betrieb gingen gelten, als Neuanlagen
- Grenzwerte für Altanlagen:
  - Wenn im Jahr 2016 ein Grenzwert **> 40 mg** erreicht wurde, dann sind 30 mg ab 05.02.2018 einzuhalten
  - Wenn im Jahr 2016 ein Grenzwert **< 40 mg** (Luftreinhaltungsbonus erfüllt) erreicht wurde, dann sind die 30 mg ab 05.02.2019 einzuhalten
- Grenzwerte für Neuanlagen:
  - Seit 05.02.2016 : **30 mg**
  - Ab 01.01.2020: **20 mg**
- Bisher noch keine Grenzwertverschärfung für Luftreinhaltungs-/„Formaldehydbonus“

Abb. 49: Neue Grenzwert für Formaldehyd seit 05.02.2016. Quelle: Fachverband Biogas

### 2.4.1 Energetische Betrachtung Trocknungsprozess

Für den Trocknungsprozess wird vor allem Wärmeenergie benötigt um die Verdunstung des Wassers herbei zu führen. Um einen Liter Wasser zu verdunsten wird unter idealen Bedingungen 722 Wh benötigt – das ist der physikalische Wert aus dem Lehrbuch.

In den von uns durchgeführten Messreihen haben wir für Gärrest einen Wert von knapp 1,4 kWh / kg verdunstetem Wasser ermittelt. Das entspricht einem thermischen Wirkungsgrad von gut 50 % was

für einen Trocknungsprozess außerordentlich gut ist. Durch den Einsatz von Wärmerückgewinnung aus der Kondensation kann der thermische Wirkungsgrad verbessert werden.

Die elektrische Antriebsleistung für die Tellerbewegung und das Gebläse für die Trockenluft haben eine Anschlussleistung von knapp 10 kW. Dazu kommt noch das Fördern des Gärrests auf den Trocknerturm über z. B. ein Förderband oder ein geeigneter Schneckenförderer..

#### **2.4.2 Fazit aus den Trocknungsversuchen**

Der Gärrest lässt sich mit dem Teller Trockner gut verarbeiten und Trocknen. Durch das ständige Bewegen des Gärrests mit den Abstreifern kommt es zu einer Durchmischung von frischen mit bereits getrocknetem Material. Hierdurch wird die Leimphase verhindert. Mit dem Trockner mit einem Tellerdurchmesser von 90 cm konnte ein Durchsatz von knapp 200 kg / Stunde erzielt werden. Bei einem Tellerdurchmesser von 2 Metern kann der Trockner mit bis zu 600 kg Gärrest beschickt werden.

Durch den modularen Aufbau kann das System an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Die vertikale Bauweise ist sehr platzsparend. Jedes Modul kann mit unterschiedlichen Volumenstrom und Temperatur gefahren werden. Das erlaubt individuelle Trockenzonen und Anpassung auf das Trockengut.

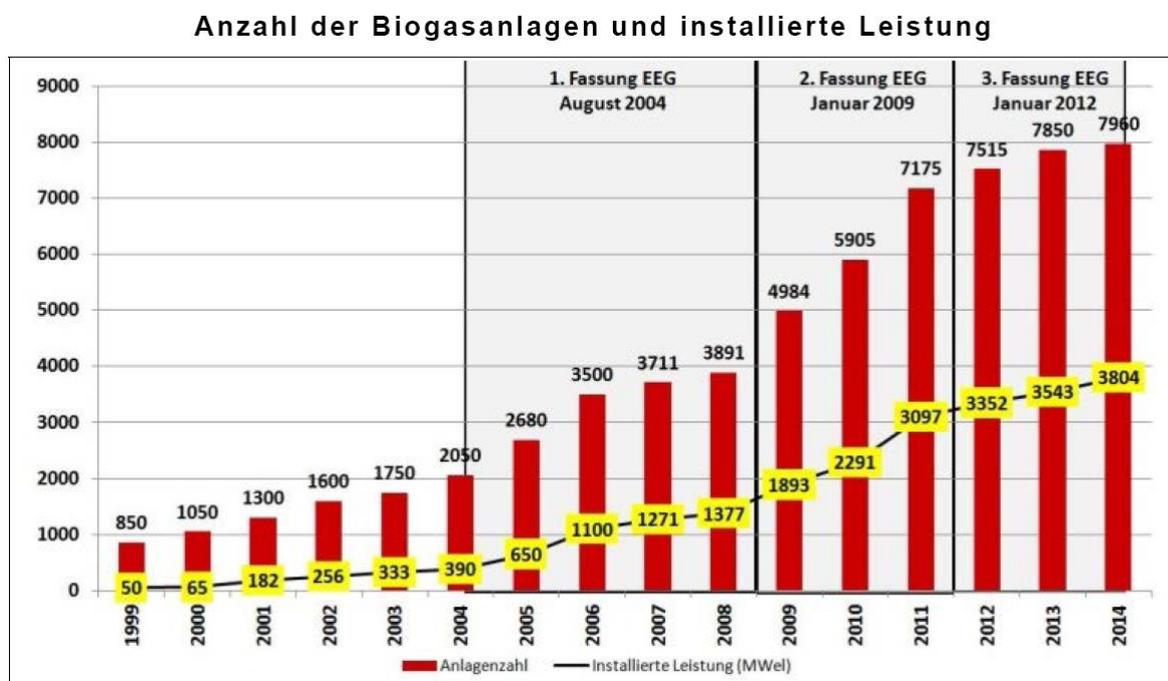
Wird das beschriebene ARTOR®-Entstickungsmodul vorgeschaltet, kann auf den sonst obligatorischen Luftwäscher verzichtet werden, da alle flüchtigen Stoffe bereits aus dem Gärrest entfernt wurden.

Das System ist sehr robust und arbeitet mit hoher Betriebssicherheit.

## 2.5 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Die beiden im Rahmen des FuE-Projekts entwickelten Funktionsmodule "Ensticken" und "Trocknen" können grundsätzlich an jeder Biogasanlage installiert und betrieben werden. Ebenso ist es technisch möglich die beiden Module alleine einzusetzen.

Nachfolgende Grafik zeigt den Bestand von Biogasanlagen in Deutschland.



SRU/SG 2015/Abb. 4-11; Datenquelle: Fachverband Biogas 2013; Zahlen für 2014 Prognose

Abb. 50: Anzahl Biogasanlagen in Deutschland. Quelle: Fachverband Biogas, 2013

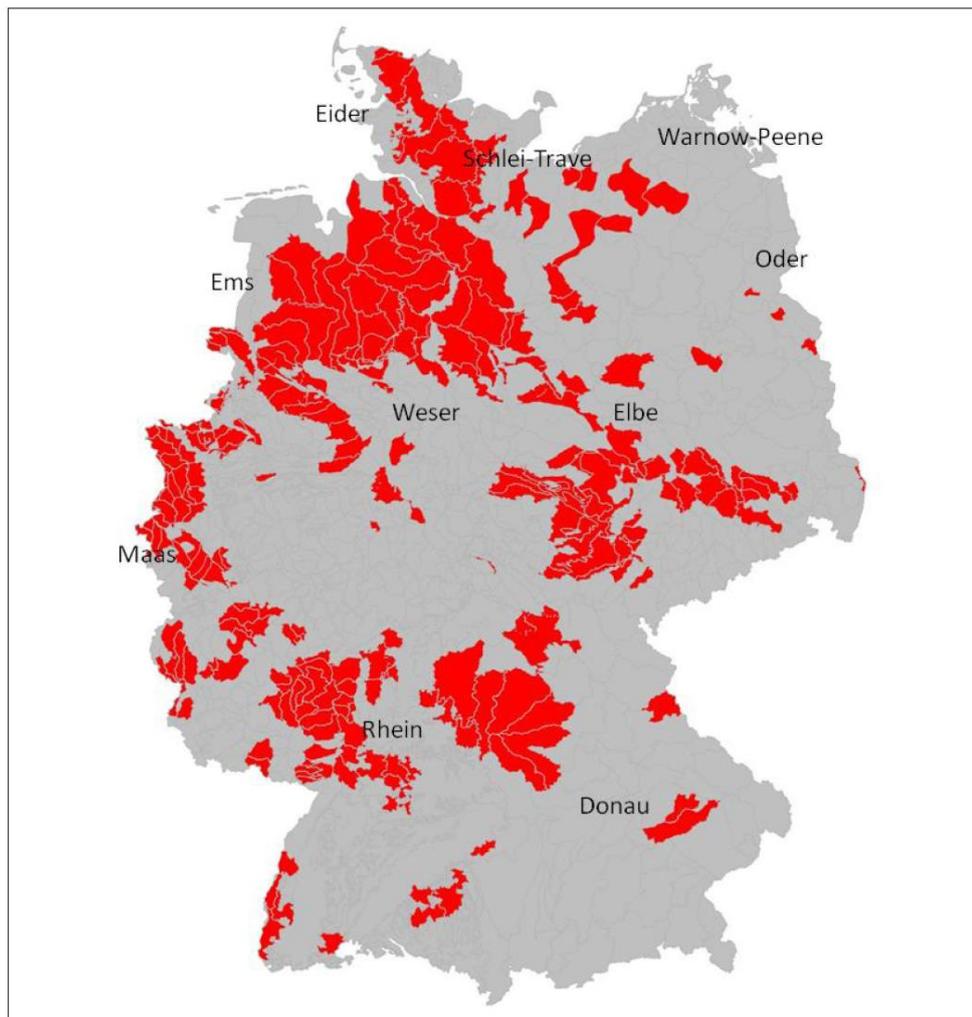
Vor dem Hintergrund hoher Nitratwerte im Grundwasser und der damit resultierenden Klage der EU gegen Deutschland besteht vor allem in Regionen mit hohem Tierbestand und Biogasanlagen Handlungsbedarf.

In diesem Zusammenhang gibt es in der jüngsten Vergangenheit eine Vielzahl von Aktivitäten unterschiedlichster Akteure mit dem Ziel die "Stickstoff-Emissionen" zu begrenzen:

- BMUB: Bericht der Bundesregierung zu Stickstoffeintrag in die Biosphäre, 31.05.2017
- Sachverständigenrat für Umweltfragen, Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem, Jan. 2015
- BMUB: Initiative "Auf dem Weg zu einer nationalen Stickstoffstrategie", Sommer 2016
- Deutsche Umwelthilfe: Initiative Stickstoff, Mai 2017
- Gülle-Petition: "Stoppt die Gülleverschmutzung – schützt unser Wasser", Mai 2017  
Gemeinsamt Initiative von BUND, bdew, ver.di, Deutsche Umwelthilfe, Deutscher Naturschutzring, DVGW, Germanwatch, Greenpeace, Gründe Liga
- UBA: Bericht über Ammoniak-Emissionen, 02.06.2017
- ...

Weiter Einzelheiten zu den zitierten Veröffentlichungen befinden sich im Anhang 6.

**Grundwasserkörper in Deutschland, die den guten chemischen Zustand aufgrund zu hoher Nitratkonzentrationen (> 50 mg/l) verfehlen**



SRU/SG 2015/Abb. 3-9; Datenquelle: VÖLKER 2014, basierend auf WasserBLiCK o. J., Stand: 22. März 2010

Abb. 51: Nitratkonzentrationen >50mg/l im Grundwasserkörper. Quelle: Sachverständigenrat für Umweltfragen, Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem, Jan. 2015

Das Verfahren ist grundsätzlich auch für die Behandlung von Gülle einsetzbar. Mangels geeigneter Abwärmequellen auf den landwirtschaftlichen Betrieben sind für diese Anwendung regional zu platzierende zentrale Aufbereitungsanlagen denkbar.

## 2.6 Ausblick

### 2.6.1 Biotest mit dem Kondensat

Mit dem Ammoniakwasser wurden in Kooperation mit einem Substrat-Hersteller Wachstums-Versuche – sogenannte Biotests durchgeführt. Mit deren Hilfe soll zum einen die Pflanzenverträglichkeit als auch die Düngewirkung auf ausgewählte Keimlinge untersucht werden.

Hierfür wurden durch den Substrat-Hersteller sechs unterschiedliche Versuchsmischungen vorbereitet. Nr. 4 ist ausschließlich das Ammoniak-Wasser, Nr. 6 wird zusätzlich Kalksalpeter zugegeben.

Bezeichnung	Detaillierte Informationen
0784-2 (095) Vergleich	Rez. 095 (1,2 kg PG-Mix 12-14-24 = 132 mg N / l) PG-Mix (12-14-14): 7 % NO <sub>3</sub> -N + 5 % NH <sub>4</sub> -N)
0784-3 Kontrolle	Rez. 095 (ohne Dünger)
0784-4 NH <sub>4</sub> (aus NH <sub>4</sub> -Phase)	1,00 kg PG-Mix (0-17-27) / m <sup>3</sup> = 10,0 g / 10 l 7,54 kg 0758-1 (NH <sub>4</sub> -Phase) / m <sup>3</sup> = 75,4 g / 10 l
0784-5 NH <sub>4</sub> (Ammoniumsulfat)	1,00 kg PG-Mix (0-17-27) / m <sup>3</sup> = 10,0 g / 10 l 0,63 kg Ammoniumsulfat / m <sup>3</sup> = 6,3 g / 10 l
0784-6 NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> (aus NH <sub>4</sub> -Phase)	1,00 kg PG-Mix (0-17-27) / m <sup>3</sup> = 10,0 g / 10 l 0,51 kg Kalksalpeter / m <sup>3</sup> = 5,1 g / 10 l 3,02 kg 0758-1 (NH <sub>4</sub> -Phase) / m <sup>3</sup> = 30,2 g / 10 l
0784-7 NO <sub>3</sub> (Kalksalpeter)	1,00 kg PG-Mix (0-17-27) / m <sup>3</sup> = 10,0 g / 10 l 0,93 kg Kalksalpeter / m <sup>3</sup> = 9,3 g / 10 l

Abb. 52: Übersicht Versuchsmischungen – Inhaltsstoffe

### Chemische Analyse der Versuchsmischungen

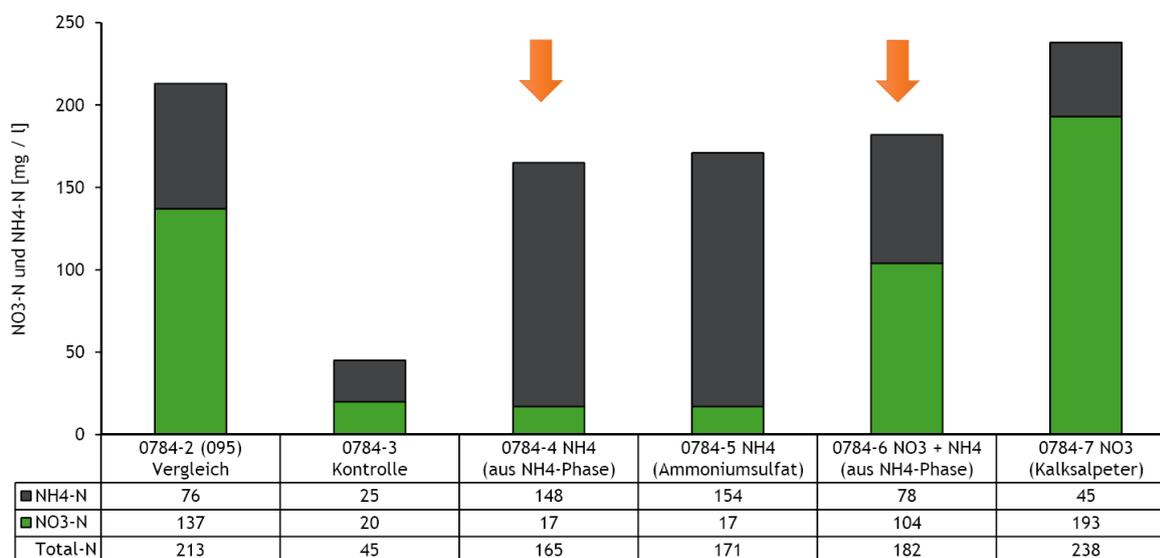


Abb. 53: Chemische Analyse der Versuchsmischungen

Auf diesen Versuchsmischungen wurden jeweils Wachstumsversuche mit Kresse, China-Kohl und Salat durchgeführt. Die Wachstumsergebnisse wurden beobachtet und protokolliert.

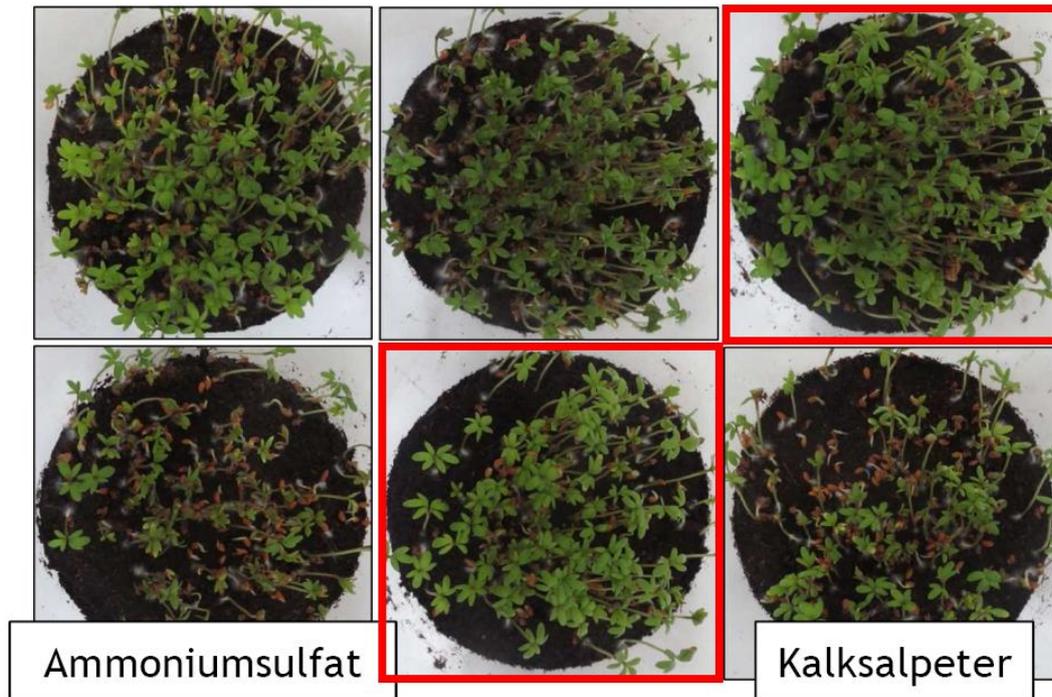


Abb. 54: Vergleich Kresstest mit unterschiedlichen Versuchsmischungen



Abb. 55: Wachstumstest mit China-Kohl

Die Ergebnisse der Biotest waren sehr zufriedenstellend. Das Ammoniak-Wasser ist für die Pflanzen nicht toxisch. Genau das Gegenteil ist der Fall. Das Wachstumsverhalten war im Vergleich sehr gut – vor allem in Verbindung mit dem Kalksalpeter entwickelten sich die Pflanzen sehr gut. Es sind Untersuchungen in Vorbereitung um die ersten Ergebnisse abzusichern.

Darüber hinaus besteht Interesse den entstickten, getrockneten Gärrest als Torfersatzstoff oder Volumenfüllstoff zu testen.

## 2.6.2 Thermische Verwertung des Gärrests (Optional)

Während der Erarbeitung eines ganzheitlichen Konzepts mit Kreislaufführung der Nährstoffe in Verbindung mit optimaler energetischer Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen haben wir das beschriebene Aufbereitungsverfahren von Gärresten um eine Stufe – die Verbrennung – weiterentwickelt.

Eine Monoverbrennung am Entstehungsort und die Verwendung der Rostasche als Mineraldünger ist der Verbringung des Gärrests in weiter entfernte Regionen vorzuziehen. Ein in der Vergangenheit häufig vorgeschobenes Argument über den Wert des Gärrests als C-Lieferant und Humusbildner ist nicht mehr tragbar. Das ist mittlerweile durch viele Studien nachgewiesen worden.

Die Rostasche ist einfacher für den Feldfruchtanbau zu konditionieren. Zusätzlich werden erhebliche Transportaktivitäten eingespart. Als C-Quelle ist auf jeden Fall der Zwischenfruchtanbau vorzuziehen, der Stickstoff bindet und auch einer Erosion der Böden entgegenwirkt.

Die Verbrennung von Gärrest kann dabei in etwa den gleichen Beitrag zur regenerativen Energiegewinnung leisten, wie bei vorheriger Erzeugung von Biogas. D. h. die gewonnene Wärmeenergie verdoppelt sich durch die Verbrennung von knapp 30 % auf annähernd 60 % !

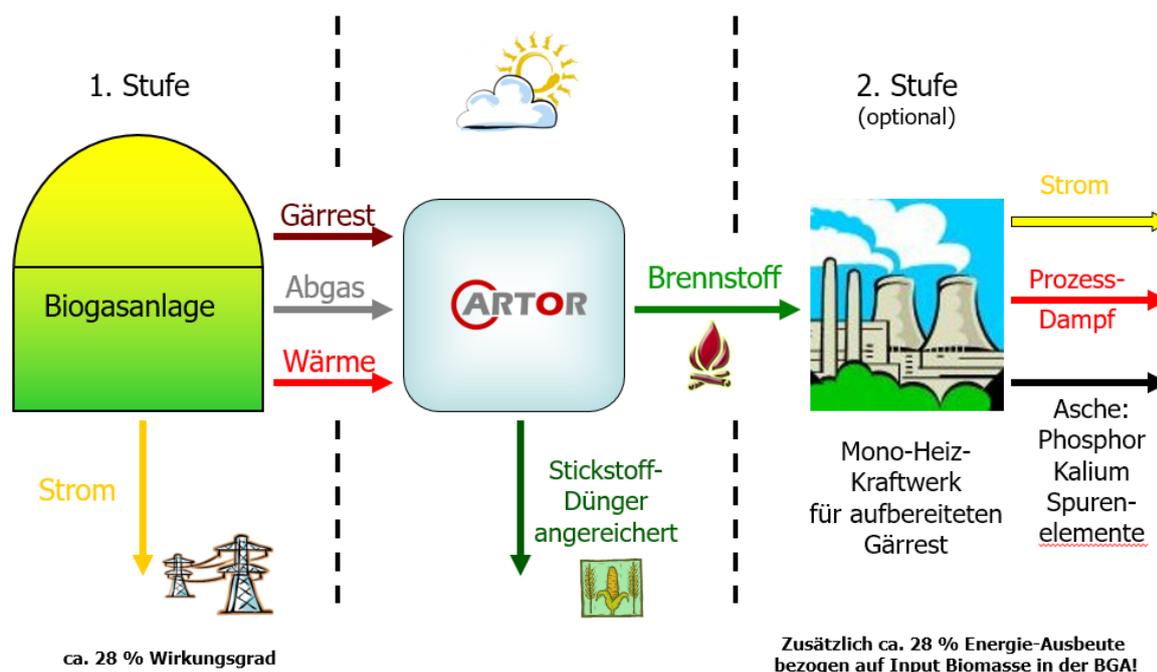
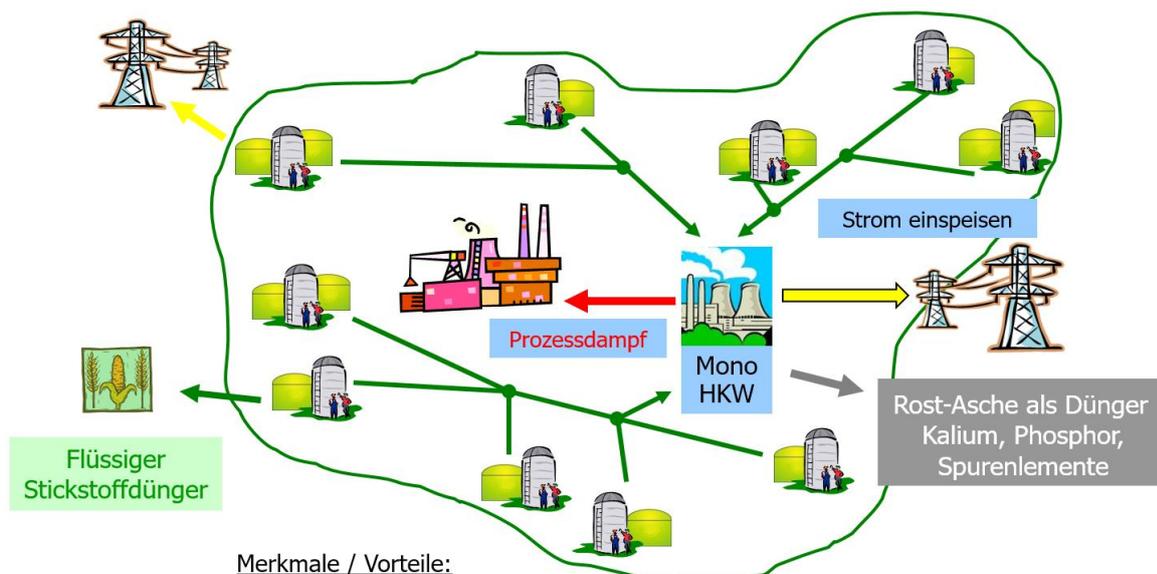


Abb. 56: ARTOR®-Gärrest Aufbereitungsverfahren mit optionaler thermischer Verwertung des Gärrests



Merkmale / Vorteile:

- Dezentrale Aufbereitung
- Zentrale erzeugte hochwertige Energie (Strom & Prozessdampf)
- Direkter Ersatz von Primärenergie (voll Grundlastfähig)
- Regionale Wertschöpfungskette und Energieversorgung
- Industriell nutzbare Bioenergie

© 2017 Artor-Energie GmbH & Co. KG

Abb. 57: Biogasanlagen im Energie-Verbund mit einem Mono-Heizkraftwerk. Regionale BGAs bereiten den dezentral den Gärrest (Entsticken, Trocknen). Der getrocknete Gärrest wird zentral in einem Mono-HKW thermisch verwertet (Strom, Dampf, Wärme).

### 3 Gesamtbewertung des FuE-Projekts und der Ergebnisse

Das Konzept für die ganzheitliche Aufarbeitung von Gärresten aus Biogasanlagen wurde bereits 2006/07 durch die Jaske & Wolf Verfahrenstechnik entwickelt und auf der 1. Biogasfachtagung an der Hochschule Steinfurt vorgestellt. Zu dieser Zeit war die Biogasbranche in einer Boomphase und hatte den Focus mehr auf Wachstum als auf ganzheitliche und nachhaltige Konzepte.

Umso erfreulicher war es für uns, beim Badenova Innovationsfonds mit dem, zu damaliger Zeit weitsichtigem Konzept Gehör zu finden, was letztendlich auch zu der Förderung führte. An dieser Stelle nochmals herzlichen Dank an das Team des Innovationsfonds.

Ungeachtet der Verzögerungen im Projektverlauf kann das FuE-Projekt im Ergebnis als sehr erfolgreich bewertet werden.

Durch das Verfahren werden aus dem problematischem, weil grundwassergefährdenden und atmosphärelastenden Gärrest, eine hochwertige Stickstoffdüngerfraktion, die bedarfsgerecht eingesetzt werden kann und eine organische Mineraldüngerfraktion hergestellt. Die organische Mineraldüngerfraktion kann zusätzlich sinnvoll energetisch genutzt werden, so dass, denkt man das Konzept konsequent weiter, die Energieausbeute der Einsatzsubstrate verdoppelt wird. Durch das Clustern von Biogasanlagen (Energie-Verbund) entsteht zusätzliche regionale Wertschöpfung. Das .Clustern im Energieverbund erlaubt ein ganzheitliches Nährstoffmanagement von Stickstoff und Mineralien (Calcium, Kalium, Magnesium, Phosphor, Spurenelemente).

Nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse des Innovationsprojekts aufgelistet:

- Durch das entwickelte Verfahren ist es möglich, den Gärrest vollständig zu entstickten ( $\approx 99\%$ ). Im Gärrest ist quasi kein Stickstoff enthalten (ca. 30 mg/l Stickstoffgehalt)
- Hierfür ist kein Einsatz von zusätzlichen Chemikalien (z. B. Schwefelsäure) erforderlich
- Es fällt ein transportwürdiger konzentrierter flüssiger Stickstoff-Dünger an (ca. 30 g/l)
- Energieeffizientes Verfahren unter Nutzung der Abwärme und geringem Stromverbrauch.
- Die anschließende Trocknung in unserem Teller Trockner ist ohne Luftwäscher möglich, da alle flüchtigen Stoffe durch das Entstickten entfernt wurden
- Verfahrensspezifisch bietet die Anlage die Möglichkeit zum Hygienisieren / Sterilisieren des Gärrests
- Modularer Aufbau, dadurch flexibel in Bezug auf Kapazität und Umfang
- Robuste, einfache Technik

Nach Abschluss des FuE-Projekts wurde die Lösung erstmal am Biogas-Innovationskongress in Osnabrück vorgestellt. Das Verfahren stieß auf großes Interesse, was im Nachgang zu zahlreichen Anfragen führte. Die aktuelle Diskussion über Nitratwerte im Grundwasser und die neue Düngemittelverordnung unterstreichen den Bedarf einer Lösung für ein handelbares Stickstoff- und ganzheitliches Nährstoffmanagement.

Das erarbeitete Ergebnis ist geeignet, einen Beitrag zur Reduzierung des "Stickstoffeintrags in die Biosphäre" (Forderung der Bundesregierung vom 31.05.2017; vgl. Seite 52) zu leisten.

## 4 Öffentlichkeitsarbeit

Bereits vor dem FuE-Projekt wurde das ARTOR®-Konzept durch Vorträge und Gespräche mit relevanten Akteuren bekannt gemacht. In der Hochphase des Biogas-Booms fand die Gärrestaufbereitung und Stickstoff-Rückgewinnung in Verbindung mit Energie-Effizienz und Nährstoffkreisläufen wenig Gehör in der Branche und in der Politik.

Nachfolgend sind ausgewählte Messebeteiligungen, Vorträge sowie Informationsgespräche mit Experten, Politik und Verwaltung aufgelistet:

- Biogasfachtagung Hochschule Steinfurt, 2007
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, 2008
- Bioenergieregion Rotenburg, 2009
- SPD Landtagsfraktion NdS, 2011, August
- Messe Eurotier 2014, Hannover
- Messe IFAT 2014, München
- Biogaskongress Bremen 2015
- Hannover Messe 2015
- Hannover Messe 2016
- IFAT 2016, München
- Europäischer Biogasfachverband, Agritechnica 2016 (Informationsaustausch)
- Biogas-Innovationskongress, Osnabrück DBU 2017 (Vortrag)
- Land & Forst, Redaktioneller Beitrag vom Biogas-Innovationskongress, 2017
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitskreis Stickstoff-Effizienz 2017

...

## 5 Anlage: Projekterkenntnisse

### Darstellung drei wesentlicher Erkenntnisse aus dem Projekt.

(Je Punkt maximal 300 Zeichen.)

1.	Das ARTOR <sup>®</sup> -Verfahren ermöglicht Gärrest aus Biogasanlagen ohne Einsatz von Chemikalien vollständig zu entstickern. Der Entstickungsgrad liegt bei $\approx 99\%$ Im Gärrest ist quasi kein Stickstoff enthalten (ca. 30 mg/l Stickstoff). Das führt zu einer signifikanten Reduzierung des Stickstoffeintrags in die Umwelt.
2.	Das dabei gewonnene Ammoniak liegt in einer konzentrierten wässrigen Lösung vor (ca. 30 g/l). Durchgeführte Wachstumsversuche mit Setzlingen (Kresse, Chinakohl, Salat) zeigten hohe Pflanzenverträglichkeit und sehr gutes Wachstumsverhalten. Der gewonnene Stickstoff kann bedarfsgerecht eingesetzt werden.
3.	Durch Clustern von Biogasanlagen (Energie-Verbund) entsteht regionale Wertschöpfung. Zusätzlich ermöglicht das ein ganzheitliches Nährstoffmanagement und Kreislaufwirtschaft von Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, etc. Durch die thermische Verwertung kann die Energieausbeute der Einsatzsubstrate verdoppelt werden.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

ABB. 1:	ARTOR®-KONZEPT GANZHEITLICHE GÄRREST-AUFBEREITUNG.....	4
ABB. 2:	QUELLE: VERTEILUNG INHALTSSTOFFE GÄRREST BEIM EINSATZ EINES PRESSSCHNECKENSEPARATORS HOCHSCHULE OSNABRÜCK, VORTRAG PROF. DR.-ING. BRAUKMANN, JULI 2014 IN HANNOVER .....	7
ABB. 3:	QUELLE: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW, VORTRAG DR. HORST CIELEJEWSK, APRIL 2013 .....	8
ABB. 4:	GRUNDSÄTZLICHES LÖSUNGSKONZEPT ALS BLOCKSCHALTBILD .....	9
ABB. 5:	FUNKTIONSSCHEMA ARTOR®-KONZEPT STUFE 1 (STOFF- UND ENERGIESTRÖME ZUR AUFBEREITUNG VON GÄRREST). 11	
ABB. 6:	GRUNDSÄTZLICH KOMPONENTEN UND FUNKTIONSEINHEITEN ARTOR® GÄRRESTAUFBEREITUNG MIT DARSTELLUNG DER STOFF- UND ENERGIESTRÖME. (AUSZUG PRÄSENTATION VON 2009) .....	12
ABB. 7:	LÖSLICHKEIT VON AMMONIAK IN WASSER IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TEMPERATUR UND EINEM AMMONIAKDRUCK VON 1 ATM ABSOLUT. /1/ .....	16
ABB. 8:	PARTIALDRÜCKE VON AMMONIAK UND WASSER // .....	17
ABB. 9:	MESSANORDNUNG AMMONIAK-STRIPPUNG ZUR ERMITTLUNG DER BETRIEBSBEDINGUNGEN ZUR AMMONIAKENTFERNUNG AUS GÄRREST .....	18
ABB. 10:	VERSUCHSAUFBAU HS-OFFENBURG .....	19
ABB. 11:	PH-VERLAUF ÜBER ZUGABE NATRIUMBIKARBONAT BEI DER ML1. ....	19
ABB. 12:	PH-VERLAUF ÜBER ZUGABE NATRIUMBICARBONAT BEI DER ML2. ....	20
ABB. 13:	AMMONIAK-KONZENTRATION VORLAGE ÜBER TEMPERATUR .....	20
ABB. 14:	CFD-SIMULATION	
ABB. 15:	CFD-SIMULATION .....	22
ABB. 16:	CFD-SIMULATION	
ABB. 17:	CFD-SIMULATION .....	22
ABB. 18:	CFD-SIMULATION .....	22
ABB. 19:	ENTWURFS-SKIZZE DER KOMPONENTEN UND EINBAU-ANORDNUNG IN VERSUCHS- CONTAINER. KONDENSATOR (LANGE RÖHRE) DRUCKBEHÄLTER (RUND), LAGERBEHÄLTER (ECKIG), DIV. PUMPEN .....	23
ABB. 20:	LAGERBEHÄLTER FÜR GÄRREST	
ABB. 21:	KONDENSATOR .....	23
ABB. 22:	INNENAUSBAU CONTAINER (ISOLIERUNG)	
ABB. 23:	INNENAUSBAU (LINKS KONDENSAT-BEHÄLTER), TRENNWAND ZUM BEDIENRAUM MIT HINTEN: PUFFERBEHÄLTER, TÜRE ZUM STEUERUNG UND SCHALTSCHRANK BEDIENRAUM .....	24
ABB. 24:	ANLIEFERUNG SCHALTSCHRANK	
ABB. 25:	SCHALTSCHRANK VERKABELUNG .....	24
ABB. 26:	DRUCKBEHÄLTER EINGEBAUT	
ABB. 27:	CONTAINER FERTIGGESTELLT MIT TISCHKÜHLER (OBEN LINKS: KONDENSATOR) (JUNI 2015) .....	25
ABB. 28:	PILOTANLAGE ENTSTICKUNGS-CONTAINER BEI PROBE BETRIEB AUF EINER BIOGAS-ANLAGE IM SÜDLICHEN EMSLAND. (RECHTS: MASCHINENHAUS) .....	25
ABB. 29:	ENTSTICKUNGS-CONTAINER MIT BLICK AUF DRUCKBEHÄLTER. (LINKS: MASCHINENHAUS MIT BHKWs, HINTERGRUND: GÄRBEHÄLTER, NACHGÄRBEHÄLTER, MAIS-SILO) .....	26
ABB. 30:	PRINZIP TELLERTROCKNER: MIT SCHLITZ IM DREHENDEM TELLER, ABSTREIFER, AUSWURF UNTERHALB DES SCHLITZES ERKENNBAR. ABB. ZEIGT DIE 1. GENERATION .....	27
ABB. 31:	AUSZUG EINES MESSPROTOKOLL: DIE HOHE DIFFERENZ VON EINTRITTS- UND AUSTRITTSTEMPERATUR STEHT FÜR HOHE AUFNAHME VON FEUCHTIGKEIT (DURCH VERDUNSTUNGSKÄLTE). DIE MESSUNGEN WURDEN VOM TÜV SÜD DURCHGEFÜHRT.....	27
ABB. 32:	THERMODYNAMISCHES GRUNDPRINZIP DES TROCKNUNGSVORGANGS.....	28
ABB. 33:	3D-CAD ZEICHNUNG EINES TROCKNERMODUL MIT 12 TELLERN (LINKS: GEÖFFNET. RECHTS: IM BETRIEBSZUSTAND) ...	28
ABB. 34:	MODULAR AUFGEBAUTE TROCKNUNGSMODULE KÖNNEN ÜBEREINANDER GESTAPELT WERDEN. DADURCH KANN DER TROCKNUNGSGRAD ANGEPAST WERDEN.....	29
ABB. 35:	TELLERTROCKNER BEIM EINSATZ MIT FLOTAT-SCHLAMM AUS DER KOSMETIK-HERSTELLUNG.....	29
ABB. 36:	RECHTS: ERSTES VERSUCHSMODUL SPEZIELL FÜR DEN EINSATZ MIT GÄRREST ENTWICKELT UND AUSGELEGT. OBEN: SEPARIERTER GÄRREST TS 20-24%. UNTEN: GÄRREST AUF DREHENDEM TELLER .....	30
ABB. 37:	FESTIGKEITSBERECHNUNG (FEM) TELLER	
ABB. 38:	DETAIL BERECHNUNG .....	30
ABB. 39:	ÜBERARBEITETES MODUL FÜR GÄRREST (VON LINKS: HEIZREGISTER, LUFTKANAL, TELLERPAKET, ANSAUGKANAL MIT LÜFTER, TEMPERATURSENSOREN ZUR ERMITTLUNG DER TROCKNUNGSLEISTUNG. ....	31
ABB. 40:	SCHEMATISCHER AUFBAU DES VERSUCHS-CONTAINERS AN DER BIOGASANLAGE. ....	32
ABB. 41:	KONZENTRIERTES AMMONIAK-WASSER AUS DEM GÄRREST GEWONNEN (KONDENSAT) .....	33
ABB. 42:	LABORANALYSE ZUR BESTIMMUNG DES RESTSTICKSTOFF-GEHALTS IM GÄRREST NACH DEM ENTSTICKEN .....	34

ABB. 43:	LABORANALYSE ZUR BESTIMMUNG DES STICKSTOFF-GEHALTS IM KONDENSAT AUS UNTERSCHIEDLICHEN VERSUCHEN ..	34
ABB. 44:	LABORANALYSE ZUR BESTIMMUNG DES STICKSTOFF-GEHALTS IM KONDENSAT AUS WEITEREN VERSUCHSREIHEN ZU OPTIMIERUNG DES VERFAHRENS .....	34
ABB. 45:	VERSUCHSAUFBAU BESTEHEND AUS 3 MODULEN AN EINER BIOGASANLAGE .....	37
ABB. 46:	GETROCKNETER GÄRREST	
ABB. 47:	MESSGERÄT ZUR FEUCHTEBESTIMMUNG.....	37
ABB. 48:	TROCKNUNGSVERHALTEN VON GÄRREST IN EINEM FEUCHTEBESTIMMER IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TEMPERATUR .....	38
ABB. 49:	NEUE GRENZWERT FÜR FORMALDEHYD SEIT 05.02.2016. QUELLE: FACHVERBAND BIOGAS .....	39
ABB. 50:	ANZAHL BIOGASANLAGEN IN DEUTSCHLAND. QUELLE: FACHVERBAND BIOGAS, 2013 .....	41
ABB. 51:	NITRATKONZENTRATIONEN >50MG/L IM GRUNDWASSERKÖRPER. QUELLE: SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, STICKSTOFF: LÖSUNGSSTRATEGIEN FÜR EIN DRÄNGENDES UMWELTPROBLEM, JAN. 2015 .....	42
ABB. 52:	ÜBERSICHT VERSUCHSMISCHUNGEN – INHALTSSTOFFE .....	43
ABB. 53:	CHEMISCHE ANALYSE DER VERSUCHSMISCHUNGEN .....	43
ABB. 54:	VERGLEICH KRESSETEST MIT UNTERSCHIEDLICHEN VERSUCHSMISCHUNGEN .....	44
ABB. 55:	WACHSTUMSTEST MIT CHINA-KOHL.....	44
ABB. 56:	ARTOR®-GÄRREST AUFBEREITUNGSVERFAHREN MIT OPTIONALER THERMISCHEN VERWERTUNG DES GÄRRESTS .....	45
ABB. 57:	BIOGASANLAGEN IM ENERGIE-VERBUND MIT EINEM MONO-HEIZKRAFTWERK. REGIONALE BGAS BEREITEN DEN DEZENTRAL DEN GÄRREST (ENTSTICKEN, TROCKNEN). DER GETROCKNETE GÄRREST WIRD ZENTRAL IN EINEM MONO- HKW THERMISCH VERWERTET (STROM, DAMPF, WÄRME).....	46

## 6 Anhang

Präsentation der Ergebnisse nach Abschluss der FuE-Arbeiten auf dem Biogas-Innovationskongress in Osnabrück im Zentrum für Umweltkommunikation, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt



**Betriebsoptimierung landwirtschaftlicher Biogasanlagen**

**Vollständiges Entsticken von Gärrest & Erzeugen eines  
konzentrierten Stickstoff-Düngers  
(Ammoniak-Wasser-Lösung)**

**Dr. Peter Wolf**

**BIOGAS<sub>2017</sub>**  
10. INNOVATIONSKONGRESS

**10. Mai 2017**

Gefördert durch den  
Innovationsfonds  
Klima- und Wasserschutz

**badenova**  
Energie. Tag für Tag

© 2017 Artor-Energie GmbH & Co. KG

---

05/2017 / PW ARTOR Energie GmbH & Co. KG \*Am Unteren Mühlbach 4 \*77652 Offenbura \* info@artor-energie.de

### Land & Forst vom 18.05.2017

#### Aufbereitung von Gärresten mit einer vollständigen Entstickung

Eine Pilotanlage der Artor Energie GmbH & Co. KG aus Offenburg, die seit 2016 an einer Biogasanlage im südlichen Emsland läuft, sieht die vollständige Entstickung des Gärrestes vor. Das Verfahren steht kurz vor der Serienreife. Wie Dr. Peter Wolf von der Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH aus Lingen beim Biogas-Innovationskongress vergangene Woche in Osnabrück vorstellte, umfasst das patentierte Verfahren drei Verfahrensschritte: den Stickstoff aus dem Gärrest zurückzugewinnen und hochkonzentriertes Ammoniakwasser herstellen (kein Einsatz von Schwefelsäure, Fällungsmittel etc.), optional den Gärrest trocknen (Niedrigtemperaturtrocknung ohne Abluftwäscher) und ebenfalls optional den Gärrest verbren-



**Die Pilotanlage zur Entstickung ist in einem 40-Fuß-Container untergebracht und steht an einer Anlage im Emsland.**

nen (Monoverbrennungsanlage), um dadurch die Mineralien (Phosphor, Zink, Kalium, Magnesium, Calcium) aus der Rohasche zurückzugewinnen.

Bei der Entstickung wird der Gärrest in einen Container geleitet. Dort erfolgt auf thermisch-physikalischem

Wege die Abtrennung des Stickstoffs, der in eine wässrige Lösung übergeht. Dabei werden auch alle anderen flüchtigen Inhaltsstoffe aus dem Gärrest entfernt. Das Verfahren arbeitet im geschlossenen System, ein Ammoniak-schlupf findet laut Wolf

nicht statt. Bei Bedarf kann der Gärrest auch hygienisiert oder drucksterilisiert werden. Der Entstickungsgrad ist mit 99 % sehr hoch. Der Ammoniumflüssigdünger besitzt eine hohe Transportwürdigkeit.

Die für dieses Verfahren erforderliche Wärme kommt aus der Biogasanlage. Pro Kubikmeter Gärrest werden 140 kWh Wärme benötigt. Die nach der Entstickung im Gärrest vorhandene Wärme kann später für die Verdunstung der Restfeuchte aus dem Gärrest (Niedrigtemperatur, z.B. Scheibentrockner) genutzt werden. Der Stromverbrauch für die Entstickung des Gärrests beträgt 9 kWh pro Kubikmeter. Für die Herstellung von Stickstoff-Kunstdünger werden umgerechnet 20 kWh Energie benötigt. *Edith Kahnt-Ralle*

## Stickstoff-Kreislauf – ein aktuelles Thema:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

### Stickstoffeintrag in die Biosphäre

#### Bericht der Bundesregierung

Mit dem vorliegenden Bericht macht die Bundesregierung auf die Bedeutung des Stickstoffs für unsere Gesellschaft, die Folgen hoher Stickstoffemissionen und deren Ursachen aufmerksam. Er dient der Information und Aufklärung der Bürgerinnen und Bürger. Die Bundesregierung nimmt dabei Bezug auf die nationale und internationale Diskussion zu den gesundheitlichen, ökologischen und wirtschaftlichen Risiken überhöhter Einträge reaktiven Stickstoffs in die Umwelt.

#### Bericht (PDF, 642 KB)

Es soll dargestellt werden, welche Ziele, Handlungsfelder und politischen Lösungsansätze von Relevanz sind. Der Bericht verdeutlicht den ressortübergreifenden Handlungsbedarf zur Minderung der Einträge reaktiver Stickstoffverbindungen in die Luft, Böden, Gewässer und andere Ökosysteme auf lokaler, nationaler und globaler Ebene. Reaktiver Stickstoff ist dabei ein Sammelbegriff für bekannte Verbindungen wie z. B. Stickstoffoxide (Stickstoffdioxid, Lachgas), Ammoniak oder Nitrat.

Zur Lösung der Stickstoffproblematik setzt die Bundesregierung auf einen integrierten Ansatz zur Stickstoffminderung; dazu werden alle Verursacherbereiche sektoren- und medienübergreifend in den Blick genommen.

Ziel ist es, die Emissionen an reaktivem Stickstoff zu mindern, denn ein Übermaß an reaktivem Stickstoff schadet Menschen, Umwelt und Wirtschaft.

Bitte beachten Sie auch die Hinweise zum Download.

Stand: 31.05.2017

#### Weitere Informationen

Pressemitteilung vom  
31.05.2017: Bundesregierung  
beschließt ersten  
Stickstoffbericht

Auf dem Weg zu einer  
nationalen  
Stickstoffminderung



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

# Stickstoffeintrag in die Biosphäre

**Bericht der Bundesregierung**

Stand: 17.05.2017

## Inhalt

Einleitung.....	3
1 Die Stickstoffthematik.....	4
2 Folgen hoher Stickstoffemissionen.....	6
2.1 Ökologische Folgen.....	6
2.2 Gesundheitliche Folgen.....	8
2.3 Einzel- und volkswirtschaftliche Folgen.....	9
3 Ursachen von Stickstoffemissionen.....	10
3.1 Landwirtschaft.....	10
3.2 Verkehr.....	11
3.3 Industrie und Energiewirtschaft.....	11
4 Bilanz, Ziele und Handlungsfelder.....	12
4.1 Bisherige Maßnahmen.....	12
4.2 Ziele und Umsetzung.....	13
4.3 Handlungsfelder.....	16
5 Fazit: Integrierte Politikansätze.....	20
Literaturverzeichnis.....	21
Abkürzungsverzeichnis.....	24

## Ammoniak-Emissionen

**Die Ammoniak-Emissionen stammen im Wesentlichen aus der Tierhaltung und weiteren Quellen in der Landwirtschaft. Von 1990 bis 2015 sanken die Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft nur um 4,9 Prozent.**

12.06.2017

### Entwicklung seit 1990

Ammoniak-Emissionen stammen hauptsächlich aus der Landwirtschaft (um die 95 Prozent (%) Anteil an den Gesamtemissionen). Von 1990 bis 2015 sanken die Ammoniak-Emissionen (NH<sub>3</sub>) im Gesamtinventar nur um 34 Tausend Tonnen (Tsd. t) oder 4,3 %. Die Emissionsreduktionen der letzten Jahrzehnte lassen sich überwiegend auf den Abbau der Tierbestände in den neuen Bundesländern unmittelbar nach der Wiedervereinigung zurückführen. Seit der Berichterstattung 2016 werden auch Ammoniak-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten aus der Biogasproduktion berücksichtigt. Bedingt durch die Materialzunahme bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten sind die Emissionen aus diesem Teilsektor seit 2010 um 64 % gestiegen. Außerdem wurde in 2015 verstärkt Mineraldünger ausgebracht, so dass die Emissionen im Vergleich zum Vorjahr 2014 um 9 % anstiegen.

Die Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft dominieren seit Mitte der 1990er Jahre auch die in Säure-Äquivalenten berechneten, summierten Emissionen der Säurebildner Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>). Berechnet man das Versauerungspotenzial dieser drei Schadstoffe, so ergibt sich wegen der erheblich stärkeren Emissionsminderung bei SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> ein steigender Einfluss von NH<sub>3</sub> und somit der Landwirtschaft. Von über 17 % im Jahre 1990 stieg der Emissionsanteil der Landwirtschaft bei den Säurebildnern 2015 auf fast 56 % (siehe Tab. „Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellkategorien“).

Stand: 6. Juni 2017

## Wieviel zahlen Trinkwasserkunden für die Überdüngung?

Ergebnisse der UBA-Studie „Landwirtschaftlich verursachte Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung“ erstellt von MOcons (Prof. Oelmann/Mühlheim an der Ruhr) in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung (ARSU), dem IWW Zentrum Wasser und drei Wasserversorgern (Oldenburgisch-ostfriesischer Wasserverband - OOWV, RheinEnergie, Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft – RWW).

### 1. Nitratbelastung in Deutschlands Grundwasser

In Deutschland weisen ca. 18 Prozent der Messstellen des repräsentativen EUA-Grundwassermessnetzes (Messnetz für die Berichterstattung an die Europäische Umweltagentur) Nitratgehalte über dem Grenzwert von 50 mg/l auf. An Messstellen, in deren Einzugsgebiet viel landwirtschaftliche Nutzungen vorkommt (Ackerflächen, Grünland und Sonderkulturen wie Obst- und Gemüseanbau), überschreiten ca. 28 Prozent der Messstellen den Grenzwert. Zu hohe Nitratbelastungen des Grundwassers finden sich unter anderem in Gebieten mit viel Tierhaltung oder hohen Anteilen an Sonderkulturen sowie in Gebieten mit wenig Niederschlag. Auch bei der Bewertung des chemischen Grundwasserzustands nach EU-Wasserrahmenrichtlinie überschreiten 27,1 % der Grundwasserkörper die Qualitätsnorm von 50 mg/l für Nitrat (s. Abb. 1).

Einige Regionen in Deutschland weisen trotz hoher Viehdichte keine erhöhten Nitratgehalte auf. Grund dafür können einerseits hohe Niederschläge und andererseits natürliche Denitrifikationsprozesse sein. Bei diesen Prozessen werden allerdings bestimmte Chemikalien, mit denen das Nitrat reagiert und dadurch „unschädlich“ gemacht wird (sog. Reaktionspartner), verbraucht. Im Laufe der Zeit verringert sich also das Nitratbaupotential immer weiter. Das kann so weit gehen, dass es innerhalb kurzer Zeit zu einem sprunghaften Anstieg der Nitratbelastung kommt (Nitratdurchbruch).



## Auf dem Weg zu einer nationalen Stickstoffminderung

### Ursachen und Folgen der Stickstoffbelastung

Das Ausmaß und die Intensivierung von Stickstoffeinträgen in die Umwelt führen global wie national dazu, dass ökologische Belastungsgrenzen inzwischen überschritten werden. Schwerwiegende Umweltprobleme sind in verschiedenen Bereichen zu verzeichnen: Dazu gehören die Belastung der Luftqualität zum Beispiel durch Feinstaubbildung, die Belastung des Grundwassers durch Nitratverbindungen, der Verlust an Biodiversität durch Eutrophierung und Versauerung der Ökosysteme sowie Klimaänderungen durch Lachgasemissionen. Diese Umweltwirkungen sind gesundheitsgefährdend, schränken die Lebensqualität ein und verursachen hohe einzel- und volkswirtschaftliche Kosten. Um die Stickstoffemissionen in Wasser, Luft und Boden nachhaltig zu senken, sind Veränderungen in zentralen Wirtschafts- und Lebensbereichen notwendig.

### Problembewusstsein schaffen und handeln

Die Belastungen durch Stickstoff vermitteln sich Bürgerinnen und Bürgern wegen der oft komplexen und schleichenden Wirkungen nur eingeschränkt, indirekt und verzögert. Die Stickstoffproblematik erfährt deshalb – so drängend und umfassend sie ist – bislang nur eine geringe gesellschaftliche Aufmerksamkeit. Ziel ist darum zunächst, die Öffentlichkeit über die Folgen erhöhter Stickstoffemissionen aufzuklären, zu einem Handeln in Richtung der Minderung von Stickstoffbelastungen zu motivieren und Unterstützung für laufende und weitere politische Maßnahmen zu fördern.

In Deutschland wurden bereits zahlreiche Maßnahmen in den Bereichen Luftreinhaltung, Wasser- und Bodenschutz ergriffen, um Stickstoffemissionen zu reduzieren. In der Summe führten sie bisher jedoch nicht zu der notwendigen Emissionsreduzierung. Die Reichweite, stringente Umsetzung und Kohärenz der Instrumente untereinander erscheint nicht ausreichend. Auch deshalb ist Deutschland mit Vertragsverletzungs- beziehungsweise Pilotverfahren der EU wegen zu hoher Nitratbelastungen der Gewässer beziehungsweise zu hohen Stickstoffoxid- und Ammoniakemissionen in die Luft konfrontiert.

### Bausteine einer integrierten Stickstoffminderungsstrategie

Um die Stickstoffemissionen effektiv zu mindern, die Gefährdungen für Mensch und Natur zu verringern und die gesamtwirtschaftlichen Kosten zu senken, verfolgt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit den Ansatz einer nationalen Stickstoffminderungsstrategie. Dabei geht es um einen sektorübergreifenden, systemischen Politikansatz in Form eines integrierten, strategischen Vorgehens, um das Problem mit den vereinten Kräften beteiligter Gruppen in seiner Gesamtheit zu erfassen und zu lösen. Ein Baustein dieser Strategie ist der Dialog mit Experten, den verschiedenen staatlichen Ebenen, Wirtschaftsvertretern und gesellschaftlichen Gruppen, um



## Schadstoffe in der Luft



© countrypixel/Fotolia

### Wie Ammoniak unsere Luft vergiftet

Mit Luftschadstoffen verbinden wir in der Regel vor allem die Abgase aus Autos und Fabriken. Doch auch die Landwirtschaft trägt einen erheblichen Teil zur Verschmutzung unserer Atemluft durch Schadstoffe bei. Allen voran: der massive Einsatz von Düngemitteln. Durch Zersetzung von Gülle und organischen Stoffen etwa, entsteht Ammoniak. Als größte Quelle für Ammoniak-Emissionen trägt die Landwirtschaft damit einen erheblich Anteil an der Feinstaubkonzentration in der Atmosphäre.

Der letzte Bericht zur Luftqualität in Europa bezifferte mehr als 400.000 vorzeitige Todesfälle aufgrund von Feinstaubbelastung (<http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/schadstoffe/feinstaub/>). Deutschland darf nach EU Recht nicht mehr als 550 kt Ammoniak pro Jahr ausstoßen. Diese Menge wurde zwischen 2005 und 2013 jedes Jahr überschritten. Dabei stehen kostengünstige und effektive Maßnahmen zur Minderung zur Verfügung und sollten dringend umgesetzt werden.

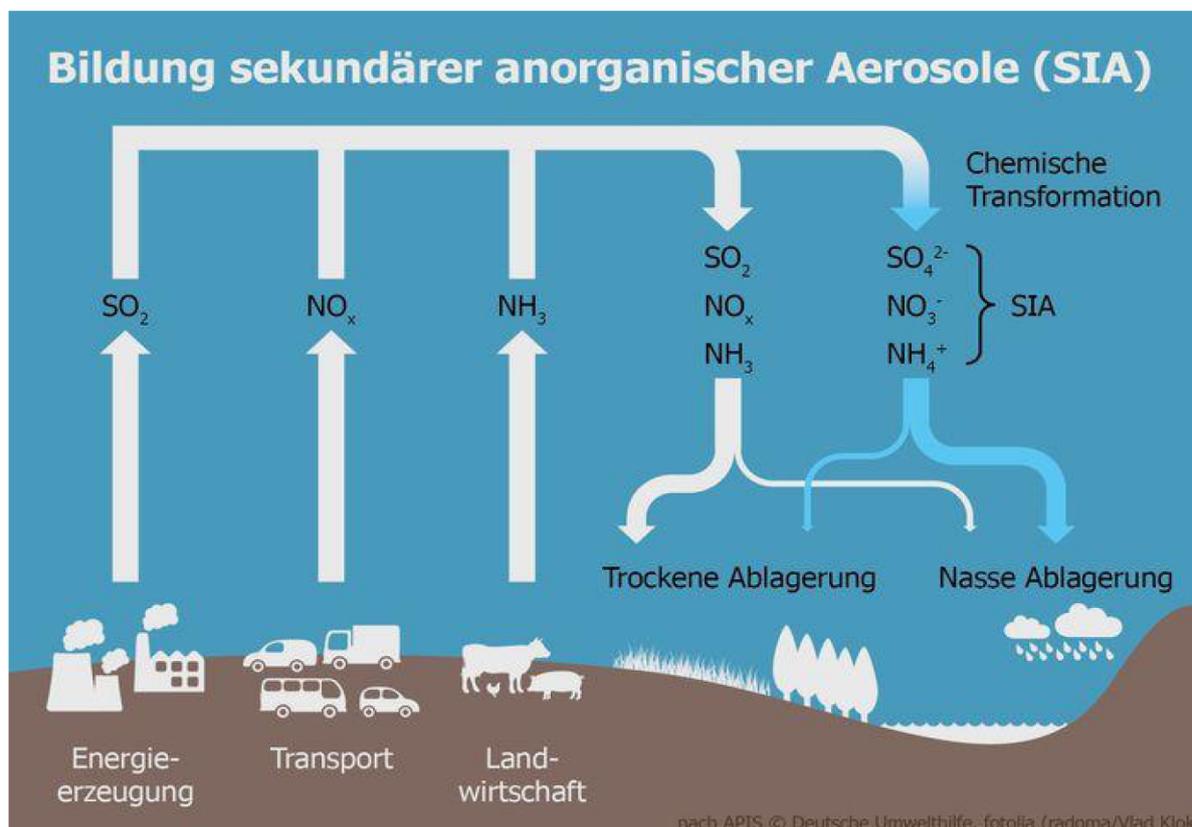
### Was ist Ammoniak?

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ist eine unangenehm riechende, farblose und giftige gasförmige Stickstoffverbindung (<http://www.duh.de/themen/natur/planetare-grenzen/stickstoff/>), die Augen und Atemwege reizt. Ammoniak und dessen Ammoniumsalze sind gleichzeitig auch Pflanzennährstoffe. Die Entdeckung und Nutzung von Mineraldünger, führte zu einer signifikanten Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität und gleichzeitigem Anstieg der Ammoniak-Emissionen. Diese zusätzlichen Stickstoffeinträge fördern die Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen.

### Wie trägt Ammoniak zur Bildung von Feinstaub bei?

Zwei Drittel des Feinstaubs (<http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/schadstoffe/feinstaub/>) in der Umgebungsluft werden in der Atmosphäre aus verschiedenen Vorläufergasen gebildet. Ammoniak ist ein wichtiges Vorläufergas für die Bildung sogenannter sekundärer anorganischer

Aerosole (SIA). In der Atmosphäre reagiert Ammoniak mit anderen anorganischen Stoffen, wie Schwefelsäure und Salpetersäure unter Bildung von Salzen (siehe Grafik). In Westeuropa sind Ammoniumnitrate aus der Reaktion von Ammoniak und Salpetersäure der hauptsächliche Ursprung von Feinstaub (<http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/schadstoffe/feinstaub/>) in der städtischen Luft. Ammoniumsulfate und Ammoniumnitrate bleiben als Feinstaub mehrere Tage in der Atmosphäre. Als sekundärer Feinstaub wird Ammoniak über weite Entfernungen transportiert und belastet die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme.



## Wie schädlich ist Feinstaub?

Die WHO hat erklärt, dass es keine Feinstaubkonzentration gibt unterhalb derer keine gesundheitsgefährdenden Effekte erwartet werden. Feinstaub in der Luft erhöht das Risiko für Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen, reduziert die Lungenfunktion und verursacht Krebs.

In Abhängigkeit von der Größe, können Partikel tief in die Lungen und sogar in die Blutbahnen eindringen. Die Größe und chemische Zusammensetzung bestimmt, wie gefährlich Feinstaub für unserer Gesundheit ist.

Weltweit sterben jährlich mehr als 3,3 Millionen Menschen vorzeitig an den Folgen der Luftverschmutzung. Davon allein über 400.000 in Europa und 34.000 in Deutschland, von denen 45 Prozent dem Emissionsbeitrag der Landwirtschaft, 20 Prozent dem Verkehr und 13 Prozent der Energieerzeugung und Industrie zuzuordnen sind. (Lelieveld et al. Nature 525, 2015)

## Gibt es Minderungsmaßnahmen für Ammoniak?

Effektive und kostengünstige Minderungsmaßnahmen für Ammoniak aus der Landwirtschaft

existieren und müssen umgesetzt werden. Eine Reihe von Maßnahmen wurde bereits in vielen Berichten und politischen Handlungsfäden evaluiert und der Europäischen Kommission vorgelegt. Viele dieser Analysen fokussieren nur technische Maßnahmen, während nicht-technische, wie die Reduktion des Fleischkonsums ebenso entscheiden sind. Hinzukommen Maßnahmen zur Verbesserung der Düngerlagerung, eine Optimierung beim Ausbringen von Dünger und eiweißreduziertes Tierfutter.

Wie diese Maßnahmen umgesetzt werden können, lesen Sie in unserem Hintergrund-Papier zum Thema, welches Ihnen am Beginn dieser Seite zum kostenlosen Download zur Verfügung steht.

## Downloads & Dokumente

**Faktenpapier IASS Ammoniak** ([http://www.duh.de/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/IASS\\_fact\\_sheet\\_01\\_2016\\_ammonia.pdf](http://www.duh.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/IASS_fact_sheet_01_2016_ammonia.pdf))

---

## Weiterführende Links

→ **Stickstoff - die vergessene Gefahr** (<http://www.duh.de/themen/natur/planetare-grenzen/stickstoff/>)

---

→ **Schadstoffe machen krank!**  
(<http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/schadstoffe/>)

---

→ **Wir kämpfen für saubere Luft** (<http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/>)

---

→ **Luftverschmutzung aus der Landwirtschaft** (<http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/luftverschmutzung-quellen/landwirtschaft/>)

---

## Kontakt



**Dorothee Saar**  
Leiterin Verkehr & Luftreinhaltung

**E-Mail:** Mail schreiben ([http://www.duh.de/direkt/?no\\_cache=1&tx\\_powermail\\_pi1%5Bfield%5D%5Bmitarbeiter%5D=5&cHash=0591abd30513408dc884195a0c727a09](http://www.duh.de/direkt/?no_cache=1&tx_powermail_pi1%5Bfield%5D%5Bmitarbeiter%5D=5&cHash=0591abd30513408dc884195a0c727a09))



## PETITION

### „Stoppt die Gülle-Verschmutzung – Schützt unser Wasser!“

Jedes Jahr wird in Deutschland viel mehr Gülle auf die Felder ausgebracht als Pflanzen und Böden aufnehmen können. Die großindustrielle Agrarwirtschaft ist eine Gefahr für unsere wichtigste Lebensgrundlage: das Wasser.

In zahlreichen Gebieten Deutschlands sind die Böden bereits jetzt durch Überdüngung erheblich belastet und das Grundwasser gefährdet. Wesentliche Ursache hierfür ist die Massentierhaltung: Es wird weitaus mehr Dünger produziert, als auf dem vorhandenen Land aufgebracht werden kann und darf. Bereits jetzt wird in vielen Gemeinden – zum Beispiel in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern – der Grenzwert von 50 Milligramm Nitrat pro Liter Grundwasser um ein Vielfaches überschritten. Das birgt gesundheitliche Gefahren für den Menschen. Zuviel Dünger gefährdet zudem empfindliche Ökosysteme wie Flüsse, Seen und Naturschutzgebiete und schadet der Artenvielfalt.

Trotzdem rollen jedes Jahr immer mehr Güllewagen auf unsere Äcker. Hinzu kommen Gülle-Importe aus Nachbarländern, in denen viel strengere Düngegesetze gelten: Die Güllehändler können ihre Tier-Fäkalien in Deutschland billiger entsorgen.

Die Europäische Kommission hat die Bundesregierung verklagt, weil die EU-Nitratrichtlinie zum Schutz des Wassers vor Überdüngung aus der Landwirtschaft in Deutschland seit Jahren nicht umgesetzt wurde. Auch das neue Düngerecht erfüllt die europäischen Vorgaben nur unzureichend. Es muss daher dringend nachgebessert werden.

### Verhindern Sie mit uns steigende Wasserkosten wegen Gülle-Verschmutzung!

Viele Wasserwerke stoßen inzwischen an ihre Grenzen: Sie müssen immer mehr Gegenmaßnahmen treffen, um die hohe Trinkwasserqualität in Deutschland zu erhalten. Immer mehr Wasserwerke müssen sogar Denitrifikationsanlagen in Betrieb nehmen. Das kann in einigen Regionen dazu führen, dass Verbraucherinnen und Verbraucher über 60

Prozent mehr für ihr Trinkwasser zahlen müssten. Es darf aber nicht sein, dass die Verbraucher für die Sünden der industriellen Agrarwirtschaft zur Kasse gebeten werden!

### **Unterstützen Sie eine gewässer- und umweltverträgliche Landwirtschaft!**

Wenn Deutschland es mit dem Umwelt-, Gewässer- und Tierschutz ernst meint, dann muss eine konsequente Agrarwende eingeleitet werden: Weg von der großindustriellen Agrarwirtschaft, hin zu einer gewässer- und umweltverträglichen Landwirtschaft. Um den Übergang zu erleichtern, muss ein größerer Anteil der EU-Agrargelder gezielt in die gewässer- und umweltverträgliche Landwirtschaft fließen, anstatt pauschal auch an Betriebe mit Massentierhaltung und Überdüngung.

Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft sowie Aktion Agrar, der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, die Deutsche Umwelthilfe, der Deutsche Naturschutz-ring, der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches, Germanwatch, Greenpeace, die GRÜNE LIGA und die Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft ver.di wollen die Nitrat-Verschmutzung der Böden und Gewässer stoppen. Der Schutz unserer Gewässer muss immer Priorität vor der Düngewirtschaftung haben. Das schließt bei der Agrarwende die Umsetzung erfolgreicher Kooperationen der Wasserwirtschaft mit der Landwirtschaft ausdrücklich ein. Die Obergrenze für Stickstoff pro Hektar Ackerfläche muss für alle eingesetzten Dünger gelten. Schlupflöcher, die eine Überdüngung der Böden ermöglichen, müssen geschlossen werden. Hierfür ist eine Kontrolle aller Stickstoffein- und -austräge (Stoffstrombilanzen) für alle Agrarbetriebe verpflichtend einzuführen. Behörden müssen die Einhaltung der Düng-Vorschriften und die Gülleimporte überwachen und bei Verstößen Bußgelder verhängen. In stark mit Nitrat belasteten oder gefährdeten Gebieten müssen rechtzeitig landwirtschaftliche Aktionsprogramme mit verbindlichen Maßnahmen und Zeitvorgaben eingeleitet werden. Ziel ist eine nachhaltige Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser auf unter 50 Milligramm pro Liter.

Wir setzen uns für nachhaltigen Gewässerschutz und eine gewässer- und umweltverträgliche Landwirtschaft ein. Helfen auch Sie, die Nitrat-Verschmutzung unserer Böden und Gewässer zu stoppen! Unterschreiben Sie unsere Petition für eine Verschärfung des Düngerechts sowie eine Kehrtwende in der Agrarpolitik.

### **Unsere Forderungen an die Bundesregierung und die Europäische Kommission:**

1. **Sofortiger Düng-Stopp in belasteten Gebieten**, wenn der Grenzwert von 50 Milligramm Nitrat pro Liter im Grundwasser überschritten wird!
2. **Verpflichtende Stoffstrombilanzen ab 2018** für alle Agrarbetriebe!
3. **Gülletourismus eindämmen**: Gülletransporte bundesweit überwachen und in nitratbelasteten Gebieten Gülle-Importe stoppen!
4. **Agrarwende**: Die Milliarden-Subventionen für die großindustrielle Agrarwirtschaft müssen sofort zugunsten einer gewässer- und umweltverträglichen Bewirtschaftung der Flächen umgeschichtet werden!

Weitere Informationen finden Sie unter: [www.guelleverschmutzung-stoppen.de](http://www.guelleverschmutzung-stoppen.de).

# Wenn Nährstoffe zum Problem werden

**NÄHRSTOFFBERICHT** Gülle und Mist sind in Niedersachsen extrem unterschiedlich verteilt

Hohe Tierzahlen sorgen im Westen für Belastungen. Es zeichnet sich ein Gülle-Tourismus ab.

VON KLAUS-PETER JORDAN

**OLDENBURG/HANNOVER** – Seit ein paar Wochen liegt er auf dem Tisch, der sogenannte Nährstoffbericht für Niedersachsen. Darin geht es darum, wie viel Gülle und Mist in der niedersächsischen Nutztierhaltung anfällt und wo. Nährstoffbericht deshalb, weil dies per se erst einmal idealer Dünger für die Böden ist. Das Problem liegt in der Masse und der Verteilung.

Die Zahlen sind erst einmal gewaltig: Etwa 8,7 Millionen

Schweine, rund 2,5 Millionen Rinder und über 50 Millionen Stück Geflügel in Niedersachsen produzieren 39 Millionen Tonnen Gülle und acht Millionen Tonnen Festmist pro Jahr. Diese 47 Milliarden Kilogramm entsprechen etwa dem Gewicht von 620 Millionen Erwachsenen – weit mehr als die gesamte EU Einwohner hat.

Problem 1: Gülle und Mist fallen vor allem im südlichen Teil des Weser-Ems-Gebiets an. „Für eine boden- und umweltverträgliche Düngung fehlen hier rund 65 000 Hektar Land“, hat Niedersachsen Agrarminister Christian Meyer festgestellt. Das entspricht der Größe von fast 100 000 Fußballfeldern. Die Folge: Das

Grundwasser wird hier erheblich belastet. Meyer sieht bereits 60 Prozent des Grundwassers in Niedersachsen in einem „schlechten Zustand“. Im Kreis Vechta wird die Stickstoff-Obergrenze von 170 Kilo pro Hektar laut Nährstoffbericht um 15 Kilo überschritten. Noch viel schlimmer sieht es bei Phosphor aus. Die 20-Kilo-Grenze pro Hektar überschreiten die Kreise Vechta mit 54 Kilo und Cloppenburg mit 50 Kilo erheblich; die Kreise Oldenburg, Osnabrück, Emsland und Grafschaft Bentheim liegen leicht über oder auf der Grenze.

Problem 2: Andere Regionen im Osten und Norden Niedersachsens haben zu wenig natürlichen Wirtschaftsfaktors

dünger und müssen ihre Grünland- und Ackerflächen mit Kunstdünger versorgen. Die Interessengemeinschaft der Schweinehalter (ISN) in Damme schlägt vor, die Düngge-Überschüsse vermehrt von West- nach Ostniedersachsen zu transportieren. Würde man dies mit einem Drittel der Menge machen, wären dies weit mehr als eine halbe Million Lkw-Ladungen pro Jahr – aneinandergereiht stünden die Lkws dann von Flensburg bis nach Österreich hinein. Schon heute gibt es einen umfangreichen Gülle-Tourismus.

Niedersachsens Agrarminister Meyer hat eine andere Idee: Er will eine „flächenangepasste Tierhaltung“ in West-Niedersachsen – heißt:

die Tierbestände in dieser Region sollen sinken, vor allem in den Großbetrieben. Gegenwind bekommt er vom Landesbauernverband, Rückenschicht bäuerliche Landwirtschaft.

Sein Ansatz: Der Ausbau der Tiermast wird mit deutlich verschärften Auflagen gebremst. Zu den Maßnahmen zählen zum Beispiel die Filterpflicht für Schweineställe, Keimgutachten, Antibiotikaminimierung, baurechtliche Vorschriften oder der Tiererschutzplan. Gefördert werden sollen besonders tiergerechte Ställe. Außerdem soll die ordnungsgemäße Nährstoffausbringung stärker kontrolliert werden.

## Harener Brunnenwasser mit Nitraten belastet

**pm/tb Haren. 164 Milligramm Nitrat pro Liter haben die Mitglieder des VSR-Gewässerschutzes bei ihren Messungen im August in Wasser aus einem privat genutzten Brunnen in Wesuwe festgestellt.**

Weitere „sehr stark mit Nitraten belastete Brunnen“ stellten die Umweltschützer auch in Altenberge mit 159 Milligramm pro Liter (mg/l), in Haren mit 151 mg/l und in Emmeln mit 105 mg/l fest. Damit ist dieses Wasser nach Aussage des VSR nicht zum Trinken geeignet und es kann beim Bewässern im Garten zur Nitratanreicherung in verschiedenen Gemüsesorten kommen.

Insgesamt wurde bei der Untersuchung das Wasser aus 21 privat genutzten Brunnen im Raum Haren analysiert. Bei jeder vierten analysierten Probe lag die Nitratkonzentration demnach oberhalb des Schwellenwertes der deutschen Grundwasserverordnung von 50 Milligramm pro Liter.

### Labormobil in Haren

Brunnenbesitzer hatten Wasser aus ihren Anlagen im Sommer zum Labormobil des VSR gebracht, das in Haren Station gemacht hatte. Nun wurden die Messergebnisse veröffentlicht.

Neben dem gesundheitlichen Aspekt der Grundwasserbelastung durch zu viel Nitrat dürfe auch der ökologische nicht vernachlässigt werden, heißt es beim VSR. Das mit Nitraten (<http://www.noz.de/deutschland-welt/politik/artikel/501707/grune-deutschland-riskiert-millionenstrafe-wegen-nitrat>) belastete Grundwasser sickere den Bächen zu und fließe dann über die Ems zur Nordsee. Dort wirke das Nitrat als Dünger und fördere das Algenwachstum.

Die Nitratauswaschung ins Grundwasser ist nach Einschätzung des VSR umso höher, je größer die Menge an Gülle aus der Tierhaltung, der Gärreste aus den Biogasanlagen oder auch aus dem zugekauften mineralischen Düngemittel sei, die auf den Feldern ausgebracht werde. Da im Emsland in den vergangenen Jahren zahlreiche Stall- und Biogasanlagen genehmigt worden seien, steige hier die Grundwasserbelastung an.

Die Ergebnisse der VSR-Grundwasseruntersuchungen auf Nitrat sind seit 1984 auf der Homepage unter [www.vsr-gewässerschutz.de/44.html](http://www.vsr-gewässerschutz.de/44.html) (<http://www.vsr-gewässerschutz.de/44.html>) dargestellt. Einen Überblick liefert auch die aktuelle Nitratkarte der Gewässerschützer. Der VSR will im kommenden Jahr weitere Messungen durchführen. Brunnennutzer, die sich daran beteiligen möchten, erreichen den VSR freitags zwischen 9 und 12 Uhr unter Telefon 02851/976523.

Der Landkreis Emsland teilte auf die Frage, wie die Ergebnisse zu bewerten seien mit, das Trinkwasser, das von den Wasserversorgern zur Verfügung gestellt werde, sei nicht betroffen. Hier liege der Nitratgehalt ausnahmslos deutlich unterhalb des Grenzwertes von 50 mg/l Nitrat der Trinkwasserverordnung und sei damit gänzlich unbedenklich.

Gleichwohl sei die Kreisverwaltung der Auffassung, dass der Schutz der Umwelt und der des Grundwassers im Vordergrund stehen müssten. Mehrfach habe sich der Landkreis Emsland in seinen Gremien, unter anderem dem Ausschuss für Umwelt und Natur, mit diesem Thema befasst. Nicht nur hier sei deutlich gemacht worden, dass dieses Ziel nur nachhaltig durch ein landesweit einheitliches und schlüssiges Gülle-Management erreicht werden könne, das den Anfall und die Ausbringung von Gülle und Gärresten pflanzenbedarfsgerecht und flächengenau festhalte.

### „Bewertung schwierig“

Dazu sei ein umfassender Datenabgleich zwischen Landwirtschaftskammer und den Landkreisen notwendig, der derzeit so nicht gegeben sei. „Mit dem seit dem Jahr 1983 geführten Wirtschaftsdüngerkataster des Landkreises Emsland kommen wir der Verpflichtung nach, eine ordnungsgemäße und dauerhafte Verwertung der anfallenden Wirtschaftsdünger sicherzustellen“, heißt es.

Jede landwirtschaftliche Nutzfläche im Kreisgebiet sei in diesem Kataster erfasst. Der Nährstoffbericht der Landwirtschaftskammer beleuchte auf Landes- und Regionalebene/Kreisebene die Nährstoffsituation in Hinblick auf den Anfall und Verbleib der Wirtschaftsdünger. Vollständige Transparenz in der tatsächlichen Wirtschaftsdüngerbringung bestehe durch den fehlenden Datenabgleich jedoch noch nicht.

Die Nitratbelastungen des Grundwassers resultierten nach hiesiger Einschätzung – diese Auffassung sei von der Landwirtschaftskammer bestätigt worden – noch aus der Wirtschaftsdüngerausbringung der vergangenen Jahre oder gar Jahrzehnte. „Heute werden Wirtschaftsdünger, insbesondere Gülle und Gärreste aus Biogasanlagen, durch strenge Auflagen pflanzenbedarfsgerecht ausgebracht.“

Grundsätzlich sei eine verlässliche Bewertung der VSR-Messwerte nur möglich, wenn die Bedingungen der Probenentnahme und die Probenahmeorte bekannt seien.

## Zu wenig Land für den Dünger

### tb Meppen

**Meppen. Im Emsland und der Grafschaft Bentheim gibt es infolge der gestiegenen Nutztierzahlen immer mehr Wirtschaftsdünger, vor allem Gülle und Festmist. Die Verwertung des Düngers in der Region selbst ist nicht mehr möglich: Alles in allem fehlen 83835 Hektar – Millionen von Tonnen Dünger werden deshalb exportiert.**



Das hat Franz Jansen-Minßen von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in seinem Vortrag zum 12. Forum emsländischer Landwirte (wir berichteten) deutlich gemacht. Jansen-Minßen berichtete, im Emsland und der Grafschaft Bentheim fielen schon seit vielen Jahren Nährstoffüberschüsse an. Dies gelte für alle sogenannten Veredelungsregionen in Niedersachsen, also auch für Vechta oder Cloppenburg.

Allen gemein ist demnach ein hoher bis extrem hoher Viehbestand. Jansen-Minßen erläuterte, auf Basis der bei der Tierseuchenkasse Niedersachsen gemeldeten Bestandszahlen ergebe sich für das Emsland eine Viehdichte von 2,5 Großvieheinheiten (GV) je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche. Für die Grafschaft seien es 2,52 GV, in Cloppenburg 3,49 GV, in Vechta 4,07 GV. Zum Vergleich: In der Ackerbauregion Braunschweig liegt der GV-Wert bei 0,29. Eine Großvieheinheit entspricht rechnerisch einem 500 Kilogramm schweren Tier.

Diese Unterschiede hätten schon vor zwei Jahrzehnten bestanden, wenn auch nicht in dieser Ausprägtheit, sagte Jansen-Minßen. Schon damals habe die Landwirtschaft damit begonnen, auf freiwilliger Basis dafür zu sorgen, dass die Nährstoffe aus den viehreichen in die vieharmen Gegenden gebracht würden, wo man sie zur Düngung verwende. Von dort kam unter anderem Getreide in die Region zurück. Dieser Kreislauf habe lange gut funktioniert – nun zeige sich aber, dass angesichts der stark gestiegenen Tierzahlen und durch die Gärreste aus Biogasanlagen die vorhandenen Stoffströme gewachsen seien.

Im Zuge gesetzlicher Änderungen habe man die Stoffströme inzwischen erfasst und dem Nährstoffbedarf pro Hektar und der Flächenausstattungen der Landkreise gegenübergestellt. In Niedersachsen ergebe sich eine Flächenversorgung aus Wirtschaftsdünger für den Nährstoff Phosphat von 65 Prozent. Im Emsland und der Grafschaft liege der Anteil aber schon bei 128 Prozent, in Cloppenburg bei 209 und in Vechta bei 246 Prozent. Hier wird also viel mehr Dünger produziert als benötigt.

### Immer mehr Gärreste

Rechne man nun noch die Gärreste aus Biogasanlagen hinzu, die ebenfalls auf die Äcker ausgebracht werden, sehe die Lage noch dramatischer aus. Dann nämlich fehlen dem Emsland und der Grafschaft bei 228000 Hektar vorhandener landwirtschaftlicher Nutzfläche zusammen 83835 Hektar – deutlich mehr als bisher gedacht. Schließe man nun auch noch die Wirtschaftsdüngerimporte aus den Niederlanden mit ein, wo strenge Vorgaben zu massenhaftem Export führten, und nehme man noch die Nährstoffe aus Klärschlämmen hinzu, dann fehlten in Weser-Ems rund 600000 Hektar Fläche.

Dies bedeute, dass 11,2 Millionen Tonnen Wirtschaftsdünger und Gärreste exportiert werden müssten, aus dem Emsland rund drei Millionen Tonnen. Diese Aufgabe sei anspruchsvoll, aber lösbar, sagte Jansen-Minßen.