

# Abschlussbericht EIP-Agri-Projekt „DükonaR“

## Düngekonzentrate aus Reststoffen

Entwicklung und Erprobung eines innovativen, umweltgerechten Verfahrens zur Aufbereitung von Gülle und Gärresten zu einem festen Produkt „Humus“ unter Anreicherung von Phosphor bei gleichzeitiger Abtrennung des Stickstoffs in einer transportwürdigen Form als Flüssigdünger

EU-Registriernummer: 276 03 403 000 069

Bewilligungszeitraum: 05.02.2019 – 30.04.2023

Projektbetreuung:

**Landwirtschaftskammer Niedersachsen:** Dr. Bernhard Rump, Heinrich Tabeling

**Landwirt:** Stefan Klaus

**Johann Heinrich von Thünen-Institut für Agrartechnologie:** Hannes Hoppenworth, Dr. Jochen Hahne



## Inhalt

1	Kurzdarstellung	3
1.1	Ausgangssituation und Bedarf	3
1.2	Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	4
1.3	Mitglieder der OG:	7
1.4	Projektgebiet	8
1.5	Projektlaufzeit und Dauer	8
1.6	Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen) LWK	8
1.7	Ablauf des Verfahrens	9
1.8	Zusammenfassung	9
2	Eingehende Darstellung	10
2.1	Verwendung der Zuwendung (LWK)	10
2.2	Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	11
2.2.2	Projektaufgabenstellung	12
2.3	Ergebnisse der OG in Bezug auf	13
2.3.1	Generelles	13
2.3.2	Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?	13
2.3.3	Was war der besondere Mehrwert der Durchführung des Projektes als OG?	14
2.3.4	Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes vorgesehen?	14
2.4	Ergebnisse des Innovationsprojektes	14
2.4.1	Komposttemperaturen	14
2.4.2	Wasseraustrag - Massenreduktion	16
2.4.3	Kompostqualität	17
2.4.4	N-Bilanzen der vier Durchgänge	19
2.4.5	Emissionen	20
2.4.6	Wirtschaftlichkeit der DükonaR-Anlage im Vergleich zur Literatur	21
2.4.7	Zielerreichung	24
2.4.8	Projektverlauf	25
2.5	Nutzen für die Praxis	34
2.6	(Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	35
2.7	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	35
2.8	Kommunikations- und Disseminationskonzept (LWK)	35

## 1 Kurzdarstellung

Die Tierhaltung in Niedersachsen hat mit 60 % den größten Anteil an der Wertschöpfung in der Agrarproduktion. Die wertmäßig bedeutendsten Sektoren sind vor allem die Schweine-, Geflügel- und Eierproduktion. Die intensive Tierhaltung in Niedersachsen befindet sich vor allem in der Weser-Ems-Region. Durch die hohe Viehdichte der Region kommt es zu erheblichen Nährstoffüberschüssen, die zu Umweltbelastungen geführt haben, was im niedersächsischen Nährstoffbericht belegt werden kann. Um die werthaltige Produktion aufrechterhalten zu können, bedarf es Konzepten, Nährstoffüberschüsse nachhaltig abzusenkten und über konzentrierte und transportwürdige Dünger, unter Berücksichtigung düngerrechtlicher Rahmenbedingungen, in einem teilweise geschlossenen Nährstoffkreislauf zurückzuführen.

### 1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Der Nährstoffbericht des Landes Niedersachsen 2016/2017 (LWK NDS 2017) zeigt insbesondere für die Weser-Ems-Region erhebliche Überschüsse an Stickstoff und Phosphor, die trotz steigender Nährstoffexporte aus dieser Region nicht nach den düngerechtlichen Anforderungen verwertet werden können. Beispielsweise fehlen dem Landkreis Cloppenburg mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von knapp 94.000 ha nach der bisherigen Düngevorordnung etwa 31.000 ha für eine bedarfsgerechte Verwertung des anfallenden Phosphates.

Nach den neuen düngerechtlichen Vorgaben werden es mehr als 47.000 ha sein. Verschärfend kommt hinzu, dass nach den neuen düngerechtlichen Anforderungen auch die benachbarten Landkreise in Hinblick auf die Aufnahmekapazität für Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern kaum noch zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass unter Beibehaltung des vorhandenen Tierbestandes und der jetzigen Produktionsbedingungen der Export von Nährstoffen aus dieser Region nicht nur intensiviert, sondern auch über weitere Strecken bis ins südöstliche Niedersachsen und darüber hinaus erfolgen muss. Durch den Gülletransport werden je nach Art der Gülle oder des Gärrest bis zu 95 % Wasser transportiert. Zudem bekommt der aufnehmende Betrieb unterschiedlich schwankende Inhaltsstoffe (wie N, P und K) mit der Gülle geliefert, sodass eine bedarfsgerechte Düngung für den ackerbaulichen Betrieb nur schwer zu kalkulieren ist. Weiterhin ist die Akzeptanz der Gülle in den aufnehmenden Regionen aufgrund von Geruchsbelästigungen nicht sehr hoch. Daher überwiegt in den aufnehmenden Regionen häufig der Einsatz von Mineraldünger, da dieser zudem gezielter dosiert und mit gleichbleibenden Inhaltsstoffen der Pflanze zugeführt werden kann.

Der Handlungsbedarf des Projektes liegt darin, der Gülle oder dem Gärrest gezielt Wasser zu entziehen, um diesen transportwürdiger zu bekommen. Durch die Aufbereitung der Gülle zu einem angereicherten Humusstoff, sowie zu einem flüssigen Stickstoffdünger, können der Pflanze gezielt Nährstoffe zugesetzt werden. Die gezielte Gabe von Dünger zum jeweiligen Vegetationsbedarf reduziert die Auswaschung ins Grundwasser. Des Weiteren lassen sich durch gezieltes Ausbringen der Nährstoffe die Düngungsverluste um mehr als 50 % reduzieren und somit auch die Belastung mit Ammonium N, das als  $\text{NH}_3$  emittiert. Ziel ist die Vermeidung von Ammoniakemissionen und der Verbleib im System zur nachfolgenden Aufnahme durch die Pflanze.

Die hier skizzierten Zusammenhänge stellen eine große Herausforderung für die gesamte Wertschöpfungskette in der Landwirtschaft (insbesondere für die sogenannten „Veredlungsregionen“) in Niedersachsen dar. Zukunftschancen der niedersächsischen Landwirtschaft, speziell der Veredlungsregionen, werden so nachhaltig abgesichert. Gleichzeitig werden die in den organischen Düngern vorhandenen Nährstoffe effizienter genutzt, es wird

weniger Energie für die Produktion von Mineraldüngern benötigt und die Belastung nicht-agrarischer Ökosysteme (z.B. angrenzende Moor- und Waldflächen) sowie das Grundwasser werden von N-Einträgen entlastet. Der anfallende Humus kann als Torfersatzstoff oder gezielt den Böden zugeführt werden.

## **1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung**

### **Projektziele:**

Ein entsprechendes Verfahren zur Aufbereitung von Gülle und Gärresten mit integrierter Abluftreinigung unter Gewinnung von konzentrierten und transportwürdigen Produkten ist bislang für landwirtschaftliche Anwendungen nicht marktverfügbar. Insbesondere die Kombination der Wasserverdampfung mit der Stickstoffabscheidung in der Abluftwäsche ist bislang nicht zur Praxisreife entwickelt worden. Über die bei diesen Prozessen anfallenden Emissionen und deren wirksame Begrenzung liegen daher auch keine belastbaren Informationen vor. Für die weitgehende Massenreduzierung über die Verdampfung von Wasser und damit für den Erfolg des Projektes muss eine effiziente Wärmenutzungsstrategie im Verfahrensprozess entwickelt und realisiert werden. Auch auf diesem Gebiet ist mit neuen Erkenntnissen zu rechnen, da die Belüftungsrate des Kompostierungsprozesses über den Temperaturverlauf in der Kompostierung gesteuert werden soll.

### **Arbeitspakete:**

Für die Ableitung des nachfolgenden Verfahrens auf landwirtschaftlichen Betrieben sind Untersuchungen unter Praxisbedingungen essentiell.

In der OG sind diese verschiedenen Arbeitsbereiche durch die teilnehmenden Partner umfassend abgedeckt.

Stefan Klaus [SK]: Landwirtschaftlicher Betrieb mit Sauenhaltung und Schweinemast im geschlossenen System (Landwirt und Initiator dieses EIP Agrar-Projektes)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen – Bezirksstelle Oldenburg Süd [LWK-BOS]: ökonomische Kompetenz durch langjährige Erfahrung bei der Betriebszweigauswertung, Buchabschlussanalysen sowie Szenarien-Auswertungen

Thünen Institut [TI]: langjährige Erfahrung in Bereich der Filtertechnikforschung inkl. Durchführung von Labor- und Gefäßversuchen, umfangreiche Laborausstattung zur Analyse der anfallenden Proben, Koordinierung von zahlreichen Forschungsprojekten insbesondere mit starkem Anwendungsbezug

Das beantragte EIP Agri-Projekt ist unter den verschiedenen Blickwinkeln (Praxisrelevanz <=> Wissenschaftliche Evaluation / Tier <=> Pflanze / Ökonomie <=> Produktion <=> Ökologie) integrativ-interdisziplinär konzipiert worden. Die verschiedenen Arbeitspakete (AP) sind ineinander verschachtelt (s.u.) und werden kooperativ bearbeitet. Durch den ständigen Austausch zwischen den Mitgliedern der OG wird sichergestellt, dass die geplanten AP zeitlich sinnvoll aufeinander abgestimmt (und eventuell nachjustiert) werden und dass erzielte Ergebnisse über verschiedene Kommunikationskanäle mit Praktikern, Beratern und Wissenschaftlern ausgetauscht werden.

Die OG-Mitglieder sind dabei aufgrund ihrer jeweiligen Fachkompetenz an der Planung und Ausführung der verschiedenen Arbeitspakete (AP) einerseits integrativ beteiligt und andererseits

jeweils federführend für die Umsetzung einzelner AP's. Entsprechend den thematischen Schwerpunkten wird das beantragte EIP Agri-Projekt in 6 Teilprojekte untergliedert.

#### Arbeitspaket 1: Planung und Dimensionierung der Versuchsanlage

In diesem ersten Arbeitspaket wird die operationelle Gruppe unter Beteiligung von Herstellern von Kompostierungs- und Abluftreinigungsanlagen die Planung und Dimensionierung der Versuchsanlage durchführen. Hierzu werden die betrieblichen Rahmenbedingungen des landwirtschaftlichen Betriebes, bei dem die Versuchsanlage errichtet werden soll, erfasst und in Hinblick auf das Projekt ausgewertet. Bei entsprechenden geplanten Ortsterminen werden dann Fragen des Standortes der Versuchsanlage, notwendige Verkehrswege, die Bereitstellung von Rohstoffen, die Medienversorgung, die Produktlagerung und sonstige projektrelevante Fragestellungen geklärt. Bei diesen Vorortterminen wird auch die Genehmigungsbehörde eingebunden, um im Vorfeld die behördlich zu erwartenden Auflagen für die Erlaubnis eines Versuchsbetriebs zu klären und um gemeinsam ein Höchstmaß an Immissionsschutz sicherzustellen.

Auf der Grundlage der dann vorliegenden Informationen erfolgt die Dimensionierung der Versuchsanlage (Komponentenauswahl, Anlagengröße, Mediendurchsatz, Abluftvolumenstrom, Entwicklung der Abluftreinigungsanlage, Prozessisolierung und Wärmekonzept, Prozesssteuerung u.a.) mit den entsprechenden Herstellern und Lieferanten.

#### Arbeitspaket 2: (beteiligt SK & LWK-BOS & TI) Abschließende Freigabe der Versuchsanlage

Bei einem 2- tägigen Treffen sollen alle Planungs- und Dimensionierungsdaten abschließend einvernehmlich geprüft und ggfs. überarbeitet und korrigiert werden mit dem Ziel der anschließenden Freigabe zur Errichtung der Versuchsanlage.

#### Arbeitspaket 3: Errichtung und Inbetriebnahme der Versuchsanlage auf der Hofstelle Klaus

Das AP 3 umfasst im Wesentlichen die Lieferung und den Aufbau der Versuchsanlage auf dem abgestimmten Standort sowie die Herstellung der Betriebsbereitschaft. Dies beinhaltet den Anschluss der Versuchsanlage an die erforderliche Medienversorgung (Strom, Wasser, Rohstoffe, Säure für die Abluftreinigung etc.) und eine Prüfung aller Anlagenkomponenten im Rahmen eines Probetriebes sowie die Herstellung der Rohstoffanlieferung und der Produktlagerung. Ferner ist ein nach den Maßgaben der geltenden Anlagenverordnung zugelassenes Lager mit Dosiereinrichtung für Schwefelsäure und eine Produktlagerung für Ammoniumsulfat zu installieren.

#### Arbeitspaket 4: Feststellung der Funktionsbereitschaft

Ebenfalls eine 2-tägiges Projekttreffen dient der Feststellung der Funktionsbereitschaft und Betriebsfähigkeit der errichteten Versuchsanlage und der Anlagenkomponenten sowie der Dokumentation eventuell zu leistenden Nacharbeiten. Darauf aufbauend soll der Versuchs- und Zeitplan für die anstehenden Versuche mit dem durchzuführenden Messprogramm abschließend vereinbart werden und die Grundlage für das Arbeitspaket 5 bilden.

#### Arbeitspaket 5: Versuchsdurchführung und Anlagenbetrieb

Nach erfolgreichem Abschluss des Arbeitspaketes 4 werden Versuche zur Kompostierung von Gülle, Gärresten und entsprechenden Strukturhilfsmitteln durchgeführt. Aufgrund einer zu

erwartenden Versuchsdauer von ca. 120 Tagen je Kompostierungsversuchs werden voraussichtlich vier Durchgänge mit unterschiedlichen Materialien im Versuchszeitraum durchgeführt werden können. Der Landwirt stellt die Beschickung und den Betrieb der Anlage mit den abgestimmten Substraten sicher und betreut den Versuchsablauf aus technisch-betrieblicher Sicht. Er erfasst ferner die Einsatzmengen sowie die Outputstoffe, die zur Erstellung entsprechender Massenbilanzen erforderlich sind. Die erhobenen Daten stellt der Landwirt dem Thünen-Institut für weitere Auswertungen zeitnah zur Verfügung.

Im Rahmen der Versuchsdurchführung werden für die Aufstellung von Massenbilanzen die Massen aller Einsatzstoffe und aller gewonnenen Produkte erfasst. Die In- und Output-Materialien der Kompostierung sowie das anfallende Waschwasser aus der Abluftreinigung werden auf alle relevanten Stickstoffverbindungen zur Erstellung entsprechender Stickstoffbilanzen hin untersucht.

Die relevanten Prozessdaten (Luftvolumenstrom, Temperaturverläufe aller relevanten Messpunkte (Rohluft, Reingluft Rotte, Reingluft Wäscher, Waschwassertemperaturen u.a.), pH-Wert und Leitfähigkeit im Waschwasser, Abschlammvolumen u.a.) werden in einem elektronischen Betriebstagebuch für die begleitende Auswertung erfasst. Im Rahmen der Versuchsdurchführung werden vom Thünen-Institut regelmäßig im ca. 14-tätigen Rhythmus Kompost-, Gülle- und Waschwasserproben gezogen und auf die relevanten Parameter hin untersucht (pH, Leitfähigkeit, Stickstoffverbindungen, Wassergehalt, Trockensubstanz u.a.). Alle eingesetzten Rohstoffe werden entsprechend analysiert (Stroh, separierte oder getrockneter Gärrest, weitere Inputstoffe sowie Frischwasser).

Eine anerkannte und in der Landwirtschaft etablierte Prüfstelle wie zum Beispiel die LUFA Nord-West soll im Unterauftrag des Thünen-Institutes entsprechende Gasmessungen in Roh- und Reingas des Verfahrens vornehmen. Bei insgesamt vier Kompostierungsversuchen sollen insgesamt 12 Messwochen durchgeführt werden, die nach den Vorplanungen am Anfang, in der Mitte und am Ende des jeweiligen Kompostierungsversuches durchgeführt werden sollen. Im Rahmen der Gas- Messungen werden kontinuierlich  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , und  $\text{N}_2\text{O}$  in Roh- und Reingas sowie diskontinuierlich Geruchsmessungen in Roh- und Reingas der Versuchsanlage bestimmt. Die Prüfstelle stellt die Messergebnisse dem Thünen-Institut für die weiteren Auswertungen zeitnah zur Verfügung. Die gesamte fachlicheProjektauswertung erfolgt durch das Thünen-Institut.

Neben der fachlichen Bewertung der erzielten Ergebnisse soll auch eine betriebswirtschaftliche Bewertung des Verfahrens erfolgen. Die betriebswirtschaftliche Bewertung erfolgt durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Die dafür benötigten Informationen und Betriebsdaten (Inputmaterialien, Produktmedien an Strom, Säure, Wasser etc., erforderliche Arbeitszeiten, Wartungs- und Reparaturaufwand, Abschreibung der Anlage etc.) werden der Landwirtschaftskammer zur Verfügung gestellt. Die Landwirtschaftskammer erstellt aus diesen Daten einen entsprechenden Teilbericht, der Bestandteil des Abschlussberichtes ist.

#### Arbeitspaket 6 Abschlussbericht und Rückbau

Der Abschlussbericht und der Rückbau der Versuchsanlage bilden das Arbeitspaket 6. Das Thünen-Institut wird den Abschlussbericht unter Zuarbeit der Projektpartner und anhand der Messdaten der Prüflabore erstellen. Sofern keine Anschlussprojekte mit der existierenden Versuchsanlage geplant werden, erfolgt in der letzten Projektphase auch der Rückbau der Anlage auf den Ursprungszustand unter Beteiligung der Genehmigungsbehörde.

### **1.3 Mitglieder der OG:**

Für die Ableitung des nachfolgenden Verfahrens auf landwirtschaftlichen Betrieben sind Untersuchungen unter Praxisbedingungen essentiell.

In der OG sind diese verschiedenen Arbeitsbereiche durch die teilnehmenden Partner umfassend abgedeckt.

#### Landwirtschaftskammer Niedersachsen – FB 3.12 Project Management Office:

Koordination und Einladung der OG zu OG-Treffen, Sammeln und Prüfen von Belegen und Zahlungsnachweisen zur Vorbereitung von Auszahlungsanträgen. Erstellen von Änderungsanträgen, Zwischenberichten und des Abschlussberichtes. Betreuung und Auftragsvergabe und Zusammenstellung der Vergabeunterlagen. Organisation und Mitarbeit bei der Öffentlichkeitsarbeit.

Stefan Klaus: Landwirtschaftlicher Betrieb mit Sauenhaltung und Schweinemast im geschlossenen System (Landwirt und Initiator dieses EIP Agrar-Projektes). Betreuung des Versuches: Installation und Einrichtung der Anlage. Durchführung von täglichen Arbeiten. Dokumentation der Maßnahmen, Ergebnisse und Daten im Versuchsablauf und Überwachung der Anlage.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen – Bezirksstelle Oldenburg Süd: Ökonomische Kompetenz durch langjährige Erfahrung bei der Betriebszweigauswertung, Buchabschlussanalysen sowie Szenarien-Auswertungen. Erstellung von Verwertungskonzepten.

Thünen-Institut: Langjährige Erfahrung im Bereich der Filtertechnikforschung inkl. Durchführung von Labor- und Gefäßversuchen, umfangreiche Laborausstattung zur Analyse der anfallenden Proben, Koordinierung von zahlreichen Forschungsprojekten insbesondere mit starkem Anwendungsbezug. Hohe Kompetenzen in der Filterentwicklung sowie in der Prozessentwicklung. Planung und Dimensionierung von Versuchsanlagen. Durchführung von Versuchen. Probenahmen und Analysen von Proben im Labor.

## 1.4 Projektgebiet



Abb. 1 Das Projektgebiet des DükonaR-Projektes

## 1.5 Projektlaufzeit und Dauer

Das Projekt sollte planmäßig am 05.02.2019 starten. Erst am 01.06.2019 wurde Personal seitens des Thünen-Instituts zur wissenschaftlichen Begleitung gefunden. Durch eine schleppende Auftragsvergabezeit und die nachfolgende Corona-Pandemie verzögerte sich der Beginn der praktischen Erprobung bis zum 03.08.2021. Das Projekt lief bis zum 30.04.2023.

## 1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen) LWK

Das Gesamtvolumen des Projektes beläuft sich auf 499.909,66 €. Im Rahmen einer Projektförderung als Vollfinanzierung wurde ein nicht rückzahlbarer Zuschuss in Höhe von maximal: 499.909,66 € bewilligt (04.02.2019). Während des Ablaufs des Projekts wurden für das gesamte Projekt folgende Mittel abgerufen

OG - Mitglied Nr.	OG - Mitglied	abgerufen
Z	Ausgaben der Zusammenarbeit	8.077,91 €
1	OG-Mitglied 1, LWK Nds., Bst Oldenburg-Süd	16.876,25 €
2	OG-Mitglied 2, Thünen Institut	137.585,31 €
3	OG-Mitglied 3, Stefan Klaus	304.318,53 €
	Zusammen	466.858,00 €



## 1.7 Ablauf des Verfahrens

Nach einer langen Planungs- und Bauphase konnte erst sehr verspätet mit der eigentlichen Erprobung des Verfahrens begonnen werden.

**Beginn:** Die Anlage wird mit trockenem Strukturmaterial (Stroh) befüllt. Direkt nach der Befüllung wird die Gülle über den Gülleschlitten auf das Material aufgebracht und mittels Wendepaddel eingemischt. Anschließend erfolgt dieser Vorgang zu festgelegter Zeit täglich.

**Täglich:** Täglich wird die Gülle auf dem Komposthaufwerk ausgebracht und die Masse durchlüftet.

**Wöchentlich:** Der Füllstand der Anlage wird überprüft und eventuell frisches Strukturmaterial (Stroh) eingebracht.

**4 Wochen vor Entnahme:** Es wird keine Gülle mehr auf das Haufwerk aufgebracht. Der Kompost wird aber noch gewendet und belüftet, sodass dieser ausreifen kann.

**Ende des Durchgangs:** Der Kompost wird mittels Radlader aus der Anlage entnommen und verwogen. Anschließend kann wieder neues, zu kompostierendes Strukturmaterial, eingebracht werden.

## 1.8 Zusammenfassung

Das DükonaR-Projekt hat das Ziel, Nährstoffüberschüsse in Tierhaltungsregionen zu reduzieren und transportwürdige Düngekonzentrate herzustellen. Dazu sollen Gülle und Strukturmaterialien in einem umgebauten 40 ft Überseecontainer miteinander kompostiert werden und die Wärme der Kompostierung genutzt werden, Ammoniak und Wasser aus dem Kompost abzdampfen. In einer nachgelagerten, ebenfalls in einem 40 ft Container eingebauten, schwefelsauer-betriebenen chemischen Abluftreinigungsanlage wird das Ammoniak aus der Abluft ausgewaschen und das Reingas kann mit dem Wasserdampf anschließend ins Freie treten. Als Produkte entsteht ein P- und K-reicher Kompost, dessen Gesamtmasse deutlich reduziert wird und eine Ammoniumsulfatlösung, die als mineralischer Flüssigdünger dient.

In dem Projekt ist es allerdings in vier Durchgängen nicht gelungen, ein qualitatives Kompostprodukt zu erzeugen, da aus Kostengründen auf eine Isolation der eingehausten Kompostierung verzichtet werden musste. Das hatte zur Folge, dass der Kompostiercontainer zu sehr auskühlte und kalte Zuluft aufgrund direkter Zuführung nicht ausreichend durch den Kompost erwärmt werden konnte. Der Wasseraustrag war zu gering, sodass die Masse des Kompostes im Laufe eines Durchgangs kaum reduziert wurde und daher auch zu hohe Feuchtegehalte aufwies. Der Kompost konnte sich qualitativ nicht mit handelsüblicher Ware messen lassen. Die Projektziele wurden verfehlt. Verbesserungen sind vor allem auf der Kompostierungsseite vorzunehmen.

### Summary

The aim of the DükonaR project is to reduce nutrient surpluses in livestock farming regions and to produce fertiliser concentrates that are suitable for transport. For this purpose, manure and structural materials are to be composted together in a converted 40 ft overseas container and the heat of the composting is to be used to evaporate ammonia and water from the compost. In a downstream sulphuric acid-operated chemical exhaust air purification system, also installed in a 40 ft container, the ammonia is washed out of the exhaust air and the clean gas can then escape with the water vapour. The products produced are a P and K-rich compost, the total mass of which

is significantly reduced, and an ammonium sulphate solution, which serves as a mineral liquid fertiliser.

In the project, however, it was not possible to produce a qualitative compost product in four rounds, as insulation of the enclosed composting had to be dispensed with for cost reasons. As a result, the composting container cooled down too much and cold supply air could not be sufficiently heated by the compost due to direct supply. The water discharge was too low, so that the mass of the compost was hardly reduced in the course of a pass and therefore also had too high moisture contents. The quality of the compost could not be compared to that of the commercially available compost. The project objectives were missed. Improvements need to be made, especially on the composting side.

## 2 Eingehende Darstellung

Die Zielsetzung der OG DükonaR ist die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Gewinnung eines festen phosphorreichen Kompostmaterials sowie eines konzentrierten Flüssigdüngers unter Nutzung eines eingehausten Kompostierungsprozesses. Durch die gezielte Mischung von Gülle bzw. Gärresten mit Strukturhilfsmitteln wie Stroh oder anderen Trägerstoffen kann über die natürliche Selbsterhitzung auf 50-60 Grad Wasser und Ammoniak verdampft und nach dem Kompostierungsprozess nutzbares Humusmaterial gewonnen werden. Die bei dem eingehausten Kompostierungsprozess entstehende Abluft soll in einem Abluftwäscher gereinigt und der Stickstoff im Waschwasser aufkonzentriert werden. Diese Ziele können nur erreicht werden, wenn im Kompostierungsprozess möglichst hohe Temperaturen erreicht und aufrechterhalten werden und die Abluftwäsche auf vergleichbar hoher Betriebstemperatur gehalten werden kann. Hierfür ist die Vermeidung von Wärmeverlusten in der gesamten Prozesskette unerlässlich, was durch entsprechende Isolation der Anlagenkomponenten und eine Wärmerückführung aus der Abluft zur Vorerwärmung der Zuluft für den Kompostierungsprozess erreicht werden soll. Hohe Prozesstemperaturen erlauben es, mit einem vergleichsweise geringen Luftvolumenstrom sowohl die erforderliche Verdampfung des Wassers als auch eine entsprechende Aufkonzentrierung des Ammoniums im Waschwasser zu gewährleisten.

Das Verfahren soll unter Beteiligung von Herstellern von entsprechenden Anlagenkomponenten (Kompostierungsanlage, Abluftanlagen) geplant und dimensioniert und auf der Hofstelle vom Landwirt Stefan Klaus realisiert werden. Die für den Prozess erforderliche Infrastruktur (Standort, Bereitstellung von Rohstoffen, Medienversorgung, Produktlagerung) und die allgemeine Durchführung des Projektes sollte unter realen Betriebsbedingungen durchgeführt werden, was in Hinblick auf die Bewertung und Übertragung der Ergebnisse auf spätere Praxisanlagen im Größeren Maßstab von erheblicher Relevanz ist.

### 2.1 Verwendung der Zuwendung (LWK)

Die intensive Tierhaltung und die damit verbundene Nährstoffsituation im westlichen Niedersachsen bedingt für die dortigen Landwirte eine überbetriebliche bzw. überregionale Nährstoffverwertung. In den Ackerbauregionen im östlichen Niedersachsen werden diese Nährstoffe benötigt. Um die Akzeptanz der organischen Nährstoffträger zu verbessern sind folgende Herausforderungen zu bewältigen:

- Hoher Wassergehalt und damit hohe Transportkosten für jede Nährstoffeinheit.
- Hohe Lagerkosten bei geringen Lagerkapazitäten flüssiger organischer Nährstoffträger.

- Fehlende Maschinenausstattung zur Ausbringung flüssiger organischer Nährstoffträger.
- Heterogene Nährstoffgehalte der flüssigen organischen Nährstoffträger.

Ziel des Projektes ist der Entzug von Wasser bei flüssigen organischen Nährstoffträgern durch Kompostierung. Durch den Kompostierungsprozess verliert die Substanz außerdem Stickstoff und es soll ein homogener, lager- und streufähiger Kompost entstehen. Im zweiten Schritt wird über eine Abluftreinigung ein flüssiger Stickstoffdünger zurückgewonnen. Durch die Aufbereitung des flüssigen organischer Nährstoffträgers zu einem angereicherten Humusstoff und zu einem flüssigen normierten Stickstoffdünger wird die Transportwürdigkeit der Nährstoffe erhöht und sie können der Pflanze gezielter zugesetzt werden.

Für die Planerstellung, den Antrag beim Landkreis Cloppenburg als Genehmigungsbehörde sowie die Auflagen für Rückbau der Versuchsanlage sind 9.950,94 € bewilligt worden. Für die Errichtung der Versuchsanlage mit der Kompostierungsanlage und der Abluftreinigung in Containerbauweise wurden 179.928,65 € ausgezahlt. Dem Versuchsbetrieb wurden 5.302,77 € für Verbrauchsmaterialien, 2.420,00 € für die Miete von Maschinen und Geräten sowie 7.361,77 € für Wärme und Energie bereitgestellt. Analysen inklusive Verbrauchsmaterial für Analysen verursachten Kosten in Höhe von 45.156,07 €. Die Personal- und Reiskosten für die gesamte OG belaufen sich auf 216.737,80 €. Insgesamt wurden für das Projekt Ausgaben in Höhe von 466.858,00 € bewilligt.

## 2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

Das DükonaR-Projekt lief anfangs schleppend an. Es gab diverse Probleme bei der Akquirierung der Herstellerfirmen des Kompostiercontainers. Hinzu kamen zahlreiche zeitliche Verzögerung durch die Einschränkungen in der Corona-Pandemie. Nachfolgend sind alle Probleme zu Projektbeginn tabellarisch aufgelistet:

Tab. 1: Probleme im Rahmen der Projektplanung

Datum	Vorkommnisse oder Probleme	Maßnahme	Problem behoben
23.04.2018	Isolierung des Kompostiercontainers notwendig	Hinweis TI	Nicht behoben
18.03.2020	Corona Home-Office Pflicht		21.03.2022
07.04.2020	LWK CLP: „Luftzufuhr über Belüftungsboden mit Gebläse oder über Belüftungseinheiten mit Gebläse senkrecht im Material“	Funktionale Ausschreibung für die Kompostierungsanlage	Nicht behoben
09.04.2020	1. Ausschreibung des Baus der Anlage	Email vom 09.04.2020	
19.06.2020	Angebote der Fa. Witte/Wittera und Centriair/Organatura zu teuer - Hinweis des Thünens-Institutes auf fehlende Isolierung der Container - Ohne Isolation droht Verfehlen der Projektziele	Email vom 25.06.2020	
29.06.2020	Angebot von 3 HKD	Angebot 3 HKD	
30.06.2020	Thünen-Institut (TI) weist darauf hin:	Email vom 30.06.2020	Nicht behoben

	-Verzicht auf Isolation gefährdet Projektziele - Systeme mit Belüftungsboden (3 HKD) sind besser geeignet als Systeme ohne Belüftungsboden		
13.08.2020	LWK: Alle Angebote zu teuer	Email vom 13.08.2020	
18.08.2020	Hinweis des Thünen-Institutes: -Isolation des Kompostiercontainers unverzichtbar	Email vom 18.06.2020	Nicht behoben
1. Quartal 2021	Bau der Kompostieranlage durch Harmer Metallverarbeitung - Thünen-Institut an Angebotsauswahl nicht beteiligt gewesen - Dementsprechend kein Abgleich der Bedingungen für einen erfolgreichen Betrieb der Anlage durch die wissenschaftliche Begleitung (TI) möglich	Email vom 12.04.2021 Email vom 14.04.2021	
2. Quartal 2021	Verzögerungen des Baues der Anlage durch Corona	Email vom 12.04.2021	
19.07.2021	Fertigstellung der Anlage	Email vom 16.07.2021	
<b>03.08.2021</b>	<b>Inbetriebnahme der Anlage</b>	<b>Beginn 1. Durchgang</b>	

## 2.2.2 Projektaufgabenstellung

Die Hauptaufgaben in der Durchführung des Projektes liegen darin, der Gülle oder den Gärresten gezielt Wasser, Ammoniak und Ammonium zu entziehen und somit die Transportwürdigkeit der Endprodukte zu erhöhen. Der Kompostierungsprozess soll in einem geschlossenen (eingehausten) Container mit einer geeigneten, wirksamen und betriebsstabilen Abluftreinigungstechnik stattfinden. Die Aufbereitung der Gülle zu einem angereicherten Humusstoff sowie zu einem flüssigen Stickstoff-Dünger bringt zudem entscheidende Vorteile für den aufnehmenden Betrieb mit sich:

1. Da Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) beim Kompostierungsprozess freigesetzt werden und somit in der festen Phase nur noch anteilig vorhanden sind, entspricht das Endmaterial den gesetzlichen Einschränkungen der festen Phase wie beim Kompost. Somit kann die feste Phase (wie auch Kompost) 11 Monate im Jahr ausgebracht werden.
2. Durch die feste Phase wird dem Boden viel organische Substanz zugeführt. Dies erhöht den Humusgehalt und verbessert somit die Bodeneigenschaften (Wasserhaltevermögen, Tragfähigkeit, Speicherfähigkeit von Nährstoffen, Krümelstruktur etc.). Durch die organische Verbindung verringert sich zudem die Auswaschung von Stickstoff. Das ist ein Hauptziel der DüV.
3. Die flüssige ammoniumhaltige Phase (ASL) kann gezielt mit einer Feldspritze ausgebracht werden. Die Fracht und die Verfügbarkeit des Stickstoffs können wie bei konventionellen Mineraldüngern genau kalkuliert werden. Somit können diese teuren Düngemittel substituiert und die CO<sub>2</sub> Bilanz verbessert werden.
4. Der Stickstoff fällt nicht mehr unter die 170-kg-N-Grenze nach § 6 Abs. 4 DüV, da dieser in mineralischer Form ( $\text{NH}_4^+$ ) vorliegt.
5. Hygienisierung des Endproduktes

## **2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf**

### **2.3.1 Generelles**

Durch die Überschreitung der finanziellen Mittel zum Bau einer technisch isolierten Kompostieranlage, musste die zu Projektbeginn geplante Anlage verändert werden und anschließend mehrfach neu ausgeschrieben werden. Jedes Angebot musste auf Vollständigkeit geprüft werden. Es gab jedoch öfters Probleme, da wichtige Anlagenkomponenten nicht mit angeboten wurden. Durch die mehrfachen Ausschreibungen verzögerte sich der Bau der Anlage immer wieder. Bei der vierten und letzten Angebotsrunde wurde die wissenschaftliche Begleitung (Thünen) seitens der Landwirtschaftskammer nicht über den aktuellen Angebotsstand informiert, sodass die Kompostierungsanlage, trotz vorheriger Einwände, ohne Isolierung gebaut wurde.

Das Auftreten der Corona-Pandemie verzögerte den Bau der Anlage zusätzlich.

Des Weiteren empfiehlt es sich, dass bei der Ausschreibung von Aufträgen zukünftig mehr Wert auf Nachweis von Referenzen gelegt werden, damit vermieden werden kann, dass Auftragnehmer ohne ausreichende fachliche Kompetenz und Erfahrung nur aufgrund des „günstigsten“ Angebotes zum Zuge kommen.

### **2.3.2 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?**

#### Die Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen:

Die Kommunikation mit dem OG-Mitglied lief nicht immer vollständig ab. Wie oben schon erwähnt, wurden die fachlichen Einwände des Thünen-Institutes vor der Vergabe des Baues der Kompostieranlage nicht berücksichtigt. In der praktischen Versuchsphase zeigte sich, dass die Anlage ohne Isolation nicht zuverlässig funktionstauglich war. Durch die Einrichtung eines wöchentlichen Online-Meetings wurde die Kommunikation zwischen den OG-Mitgliedern deutlich verbessert. Probleme konnten direkter angesprochen werden, jedoch nicht immer behoben werden, so zum Beispiel die Aushändigung einer technischen Dokumentation zur Kompostieranlage oder die Umsetzung einer veränderten Luftführung im Kompostiercontainer mangels finanzieller Mittel.

#### Zusammenarbeit mit dem Landwirt:

Die Kommunikation und Zusammenarbeit mit dem Landwirt verliefen reibungslos. Fachlich bestanden jedoch Differenzen, die bis zuletzt nicht vollständig beseitigt werden konnten.

#### Zusammenarbeit mit den Lieferanten:

Die Fa. Devrie lieferte Corona-bedingt ihren Abluftreinigungscontainer später als geplant, jedoch wurden allen Arbeiten zuverlässig ausgeführt. Die Abluftreinigungsanlage lief den gesamten Versuchszeitraum über nahezu störungsfrei.

Die Fa. Harmer Metallverarbeitung GmbH lieferte den Kompostiercontainer. Die Anlage wurde aus hochwertigen Edelstahlmaterial gefertigt, war jedoch für ihre Aufgabe etwas zu schwach dimensioniert. Es kam häufiger zu technischen Störungen. Leider konnte trotz mehrmaliger Nachfrage keine technische Dokumentation zur Anlage mitgeliefert werden, was die technische

Beschreibung der Anlage deutlich erschwert. Nach den Störungen wurden etliche Komponenten unentgeltlich getauscht, sodass sich die technische Ausstattung seit Inbetriebnahme verändert hat.

#### Zusammenarbeit mit der LUFA-Nord-West:

Die kurzzeitige Zusammenarbeit mit der LUFA-Nord-West verlief unproblematisch und unterlag einer guten Kommunikation.

#### Datenzugriff via Internet:

Durch den Fernzugriff auf die Anlage über Internet konnten alle Projektteilnehmer zu jeder Zeit auf die Aufzeichnungen der Anlagen (Devrie und Harmer) zugreifen. Der Fernzugriff war über die gesamte Projektlaufzeit störungsfrei möglich.

### **2.3.3 Was war der besondere Mehrwert der Durchführung des Projektes als OG?**

Durch das EIP-Projekt fand ein intensiver Austausch von Landwirtschaftskammer, Thünen-Institut und der praktischen Landwirtschaft statt. Wäre die Versuchszeit nahezu frei von technischen Fehlern der Anlage gewesen, wäre ein deutlich reibungsloserer Austausch über den Anlagenbetrieb möglich gewesen. Kurz zusammengefasst lassen folgende Punkte einen Mehrwert erkennen.

- Hoher Praxisbezug durch teilnehmende Projektpartner
- Netzwerk-Bildung auch für eine mögliche weitere Zusammenarbeit
- Bewusstsein für organisatorische Schwierigkeiten geschärft (Ausschreibungen präzisieren, Lieferschwierigkeiten und Engpässe beachten)
- Projektmanagement und Projektsteuerung muss weiter verbessert werden

### **2.3.4 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes vorgesehen?**

Die Bereitschaft einer weiteren Zusammenarbeit wurde von allen OG-Mitgliedern bestätigt. Es wurde versucht, die vorhandene Technik für weitere Projektideen zu nutzen (z.B. die Stallumluftwäsche oder OPDÜR), allerdings haben diese Projekte keine Förderzusagen erhalten. Nach dem Abschluss des DükonaR-Projektes konnten die Schwachstellen des Systems klar identifiziert werden, weshalb diese in einer Folgefinanzierung hätten beseitigt werden können. Die Abschlussfinanzierung blieb jedoch aus, weshalb die Anlage zurückgebaut werden musste.

## **2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes**

### **2.4.1 Komposttemperaturen**

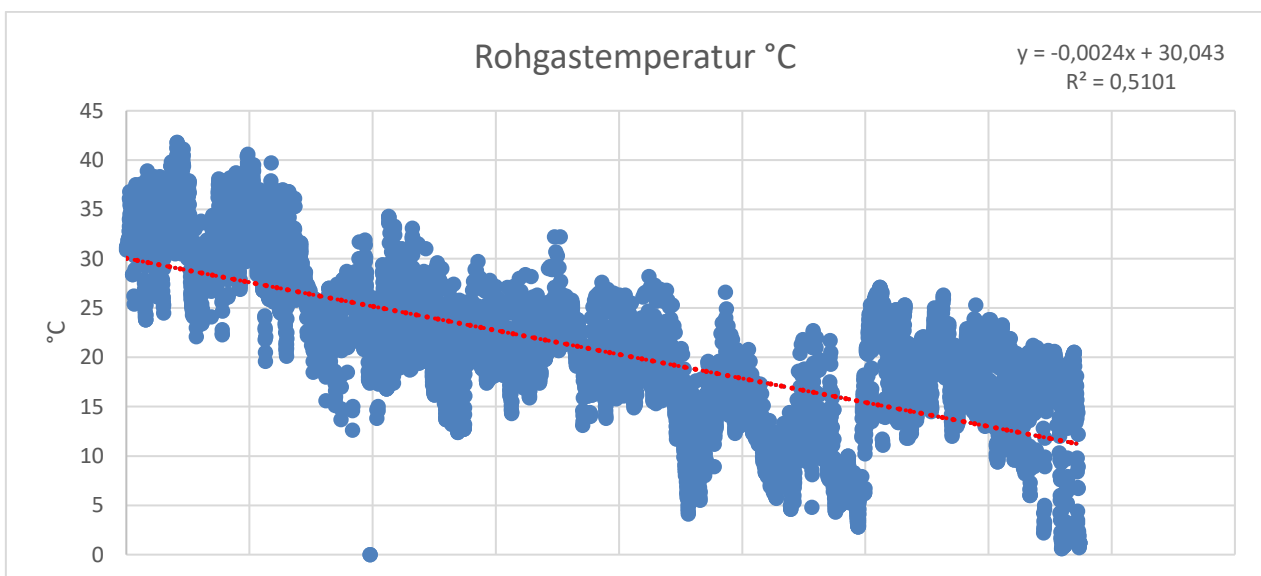
Durch die zahlreichen Unterbrechungen konnte zeitweise kein ordnungsgemäßer Anlagenbetrieb erfolgen. Während der Kompostierung lag die durchschnittliche Kompost- und Ablufttemperatur über den durchschnittlichen Temperaturen der ersten drei Durchgänge. Daraus resultiert eine anfangs verhältnismäßig hohe Wasseraustragsrate, die in Summe zu einer guten Massenreduktion führte. Jedoch konnte diese Leistung zu Beginn des Herbstes und Winters nicht gehalten werden.

**Tab. 2: Durchschnittliche Kompost- und Ablufttemperaturen über vier Durchgänge**

Temperatur	Kompostierung (°C)			Nachrotte (°C)	
	Max.	Ø - Kompost	Ø - Abluft	Ø - Kompost	Ø - Abluft
1. Durchgang	67,8	30,19	27,52	19,63	27,55
2. Durchgang	61,6	29,60	15,05	21,37	12,24
3. Durchgang	62,0	34,01	21,01	42,35	26,23
4. Durchgang	73,4	37,30	21,77	27,38	19,76

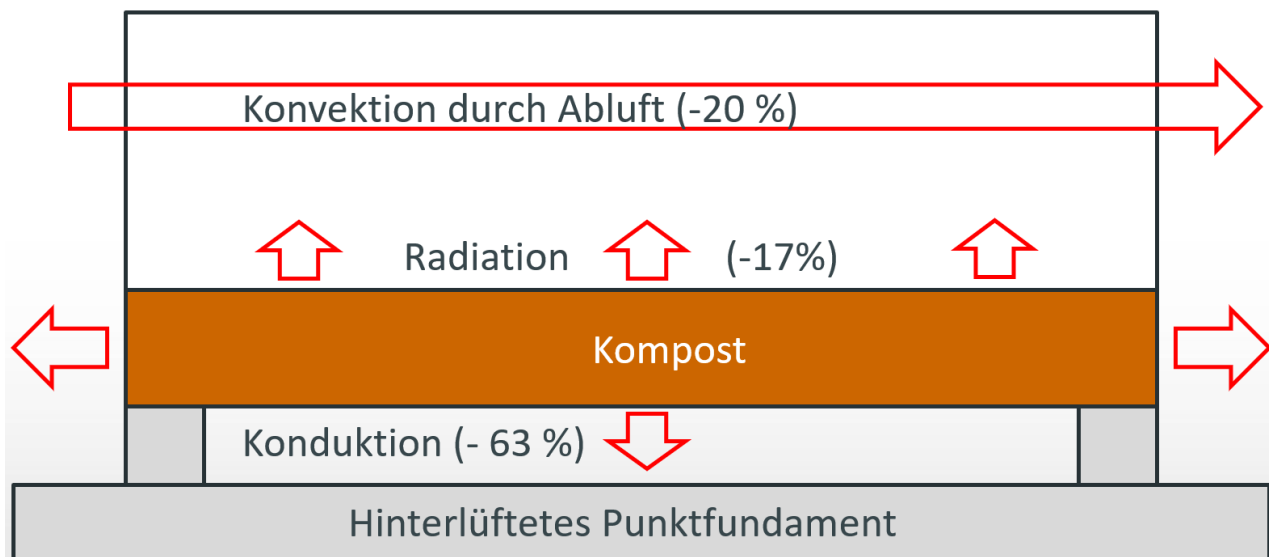
Zur sicheren Hygienisierung des Kompostes sowie zur ausreichenden Wasser- und Ammoniakverdampfung sind während der Kompostierung dauerhaft ausreichende Temperaturen von deutlich mehr als 40 °C erforderlich. Diese durchgehend hohen Temperaturen wurden in keinem der 4 Durchgänge aufrechterhalten (Tab. 2). Insbesondere die sinkenden Umgebungstemperaturen im Spätherbst und beginnenden Winter haben die Temperaturen der Abluft aus dem Kompostiercontainer sinken lassen, sodass es in der Zeit zu einem mangelhaften Wasseraustrag kam (Abb. 2).

**Abb. 2: Trend der Rohgastemperatur über die Zeit**



Als Folge dessen konnte das zugeführte Wasser durch die Gülleaufgabe nicht mehr ausreichend abgeführt werden. Der Kompost wurde immer feuchter und nahm zum Versuchsende eine regelrecht plastisch-elastische Aggregatform ein. Eine ausreichende Kompostqualität war nicht mehr vorhanden, sodass die Projektziele seit diesen Tagen deutlich verfehlt wurden. Jeder Mischvorgang beanspruchte das Mischaggregat und dessen Laufschlitten im Kompostiercontainers äußerst stark

Als Begründung zum Verfehlen der gewünschten hohen Komposttemperaturen kann folgende Grafik herangezogen werden.



**Abb. 3: Statische Betrachtung des Wärmeverlustes im 4. Durchgang. Absolute Höhe der Verluste sind nicht allgemeingültig.**

Die fehlende Isolation des Kompostiercontainers sorgt dafür, dass ein Großteil des Gesamtwärmeverlustes durch Konduktion zu verzeichnen ist. Gut zu erkennen ist die Abhängigkeit der Kompostierung von der äußeren Temperatur, in der Überschneidung der relativ hohen Komposttemperaturen in der Nachrotte des 3. Durchgangs und den relativ hohen Komposttemperaturen im 4. Durchgang (vgl. Tab 2). Es handelt sich hierbei um eine Sommerkompostierung in einem der wärmsten Sommer seit Beginn der Wetteraufzeichnungen.

### 2.4.2 Wasseraustrag - Massenreduktion

Nach Abzug des eingebrachten Strukturmaterials (Stroh) konnten die anfallenden Güllemengen um ca. 3 – 28 % pro Durchgang gemindert werden (Tab. 3).

**Tab. 3: Übersicht der Massenreduktion über 4 Durchgänge**

Wasser-Austrag	Kompost-Gesamtmasse (kg)	Stroh (kg)	Brutto-Wasseraustrag (kg)	Massenreduktion	Netto-Wasseraustrag (kg)	Netto-Massen-Reduktion
1. Durchgang	15.875	4.140	5.755	36%	1.615	10%
2. Durchgang	18.800	4.160	4.700	25%	540	3%
3. Durchgang	20.250	6.980	12.590	62%	5.610	28%
4. Durchgang	29.960	7.540	15.940	53%	8.400	28%

Durch höhere mittlere Kompost- und Ablufttemperaturen wären deutlich bessere Reduktionsraten zu erwarten gewesen. Die Massenreduktion muss jedoch noch ins Verhältnis zu den Betriebsstunden gesetzt werden. Dabei fällt auf, dass der vorletzte Durchgang den höheren Brutto-Wasseraustrag aufweist, der letzte Durchgang jedoch den höchsten Netto-Wasseraustrag (Tab. 4). Der 4. Durchgang war mit Blick auf die Massenbilanz der erfolgreichste Durchgang.



**Tab. 4: Wasseraustrag nach Betriebsstunden**

Durchgang	Wasseraustrag kg (brutto)	Betriebsstunden h	Wasser (kg/h) (brutto)	Wasser (kg/h) (netto)
1	5.755	2.626	2,19	0,62
2	4.700	2.695	1,74	0,20
3	12.590	2.642	4,77	2,12
4	15.940	3.867	4,12	2,17

### 2.4.3 Kompostqualität

Die zu geringen Temperaturen in den ersten beiden Durchgängen haben in der Kompostierung und in der Nachrotte deutlich zu viel Wasser im Kompost verbleiben lassen. Als Resultat der niedrigen TS-Gehalte entstand ein sehr bindiges Endprodukt. Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich im 4. Durchgang. Das Kompostendprodukt hatte durch die schlechten Wasseraustragsraten zum Ende des Durchgangs ein Volumengewicht im Mittel von 1074 kg/m<sup>3</sup> und ist damit weit von kompost-ähnlichen Eigenschaften entfernt.

**Tab. 5: Nährstoffgehalte der Endprodukte der Kompostierungsdurchgänge**

	TS	TKN	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
	(%)	[kg/t TS]	[kg/t TS]	[kg/t TS]	[mg/kg TS]	[mg/kg TS]
1.Durchgang	28	28	3,8	17	0,3	0,31
2.Durchgang	23	27	4,7	16	12	4
3.Durchgang	55	26	1,6	22	n.n.*	2,28
4.Durchgang	26	29	3,7	19	13	43

\*n.n. = nicht nachweisbar



**Abb. 3: Bindiges und plastisch-elastisches Kompostgut aufgrund mangelnden Wasseraustrags – keine ausreichende Kompostqualität**

Des Weiteren waren die Gesamtstickstoffgehalte sowie auch die Ammoniumgehalte für die in den Projektzielen angestrebte Nährstofftrennung in N-Flüssigdünger sowie P- und K-reichen Kompost viel zu hoch. Lediglich der Kompost im 3. Durchgang erreichte deutlich höhere TS-Gehalte, wodurch er eine luftige und streufähige Struktur erreichte (Abb. 4). Das Volumengewicht des Kompostes betrug durchschnittlich  $667 \text{ kg/m}^3$ .



**Abb. 4: Streufähiger Kompost aus dem 3.Durchgang - keine vertikale Schichtenbildung vorhanden**

Der Ammoniumgehalt war aufgrund der Abdampfung durch die durchschnittlich höheren Komposttemperaturen deutlich geringer als in den anderen Durchgängen. Im Hinblick auf die Projektziele ist der Gehalt am vorliegenden Ammonium dennoch zu hoch, da dieses bei konstant hohen Temperaturen noch hätte abgedampft werden können.

#### **2.4.4 N-Bilanzen der vier Durchgänge**

Nach Abschluss der vier Durchgänge in dem Projekt ergaben sich folgende Stickstoffbilanzen (Tab. 6). Bei Betrachtung der Bilanzen wird erkenntlich, dass die Projektziele einer Nährstofffraktionierung nicht erreicht wurden. Die N-Bilanzen gehen nicht vollständig in der Summe ihrer einzelnen Komponenten auf, da durch das Handling des Kompostiercontainers in der Praxis diverse diffuse Verlustquellen vorhanden sind.

**Tab.6: N-Bilanzen der vier Durchgänge**

Durchgang	Input N (kg)	N in Kompost (kg)	N in Abluftreinigung (kg)	N Summe (kg)	N Differenz (kg)
1	113	77-85	15	92-100	13-21
2	78-99	86-96	18	104-114	(-36) – (-18)
3	140-144	104-111	22	126-133	7-18
4	181-183	104-123	42	146-165	16-37

## 2.4.5 Emissionen

In dem Zeitraum vom 13.10.2022 bis zum 16.11.2022 wurden Emissionsmessungen von der LUFA-Nord-West vor Ort vorgenommen. Die Messungen zeigten erwartungsgemäß hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen durch den Abbau der organischen Substanz während der Kompostierung. Durch die verhaltenden Komposttemperaturen blieben die Ammoniakkonzentrationen in dem Rohgas hinter den erwarteten Konzentrationen zurück. Die geringe Ammoniakfracht hatte zur Folge, dass die Leitfähigkeit im Abluftwäscher nur sehr gering anstieg. Erst im dritten Durchgang hat der Wäscher das erste Mal eine Abschlammung bei einer Leitfähigkeit von 200 mS/cm vorgenommen.

**Tab. 7: Übersicht der Ammoniak- und Geruchsemissionen im Messzeitraum des 4. Durchgangs**

Emissionen	Rohgas		Reingas	
	Max.	Durchschnitt	Max.	Durchschnitt
NH <sub>3</sub> [ppm]	375	60	16	0,2
GE [GE/m <sup>3</sup> ]	1.368		6.942	

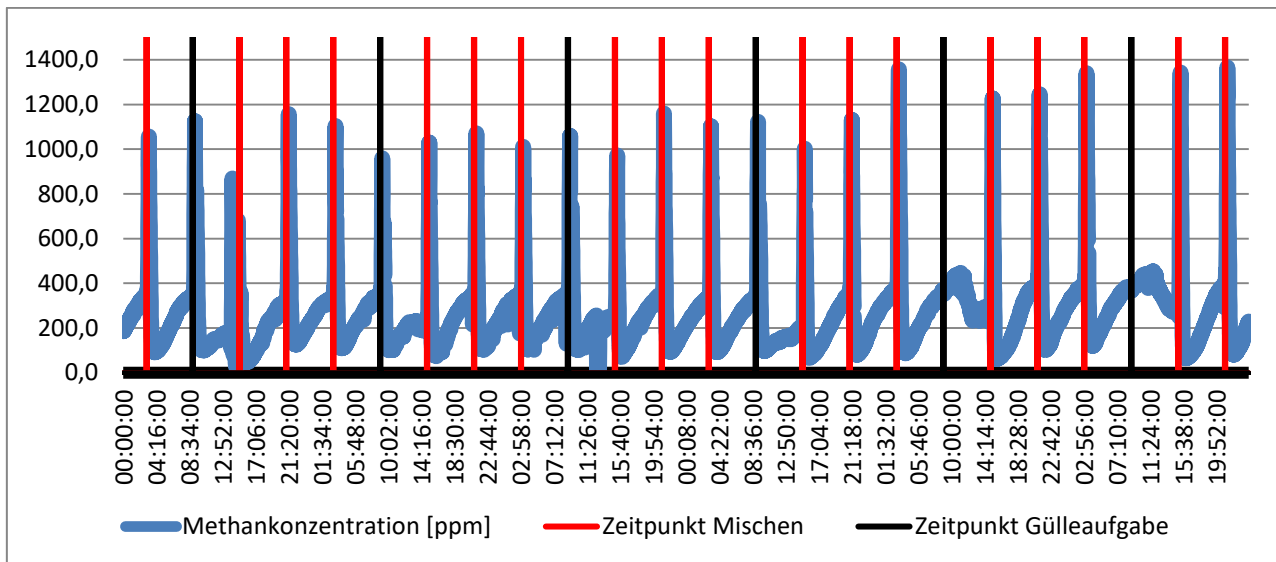
Der Wäscher konnte im Mittel 99,6 % des anfallenden Ammoniaks aus der Rohluft abscheiden. Als problematisch stellten sich die für eine Kompostierung unüblichen hohen Methanfrachten heraus, die mutmaßlich durch anaerobe Stellen im Kompost bzw. aus der, technisch bedingt, nicht durchmischbaren Kompostsohle austraten. Des Weiteren beförderte die mangelhafte Form der Belüftung die Ausbildung anaerober Zonen.

Die stärksten Geruchsemissionen traten zum Zeitpunkt der Gülleaufgabe und dem Durchmischen des Kompostes auf. Mit größerer Entfernung zum Punkt der Gülleaufgabe und der Mischvorgänge nahmen die Geruchsemissionen deutlich ab [Ø 234- 344 GE/m<sup>3</sup>].

**Tab. 8: Übersicht der entstandenen Emissionkonzentrationen im Messzeitraum des 4. Durchgangs**

Emissionen	Reingas	
	Max.	Durchschnitt
CO <sub>2</sub> [ppm]	15.413	4.534
N <sub>2</sub> O [ppm]	2	0,8
CH <sub>4</sub> [ppm]	4.914	335

Bei dem Methananfall zeichnet sich ein periodisches Bild ab. Die Spitzenbelastung an Methan trat immer zu den jeweiligen Mischzeitpunkten der Anlage ein (Abb. 5).



**Abb. 5: Methankonzentrationen (ppm) im Messzeitraum bei unterschiedlichen Betriebsphasen**

Die hohen Konzentrationen an Methan im Reingas traten vor allem nach dem schadensbedingten Stillstand (29.10 - 02.11.) auf. In den Tagen konnte nicht durchgemischt werden, was die Bildung anaerober Zonen im Kompost begünstigt hat.

Die Geruchsmessungen ergaben vor allem während der Gülleaufbringung deutlich erhöhte Geruchsbelastungen. Diese traten auch durch den Wäscher hindurch. Außerhalb der Gülleaufgabe zeichnet sich eine deutlich geringe Geruchsemission ab. Diese ist jedoch nicht unbedingt von der zeitlichen Distanz zur Gülleaufbringung abhängig.

#### 2.4.6 Wirtschaftlichkeit der DükonaR-Anlage im Vergleich zur Literatur

Um eine Etablierung von Aufbereitungsverfahren in der Praxis zu erreichen, ist die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens notwendig. Dazu soll die DükonaR-Anlage mit der Witerra-Anlage aus der Literatur heraus verglichen werden. Da zum Zeitpunkt der Aufstellung des Vergleiches die realen Investitionskosten der DükonaR-Anlage nicht vorlagen, werden möglichst realistische Annahmen getroffen. Es erfolgt ein Vergleich der Fixkosten und der variablen Kosten. Die Inflationsausreißer werden nicht berücksichtigt, da ein langfristiger Trend nicht erkennbar ist.

Folgende Annahmen werden für eine Vergleichbarkeit in Betracht gezogen.

Tab.9: Ökonomische Annahmen nach Döhler et al. (2021)

<b>Ökonomische Annahmen nach Döhler et al. (2021)</b>		
<b>Fixkosten</b>		
Nutzungsdauer	10	Jahre
Zinsen	2%	
Wartung	2,5%	
Versicherung	1%	
<b>Variable Kosten</b>		
Elektrische Energie	0,2	€/kWh
Personal	25	€/Akh
<b>Hilfsmittel</b>		
Schwefelsäure	100	€/t
Stroh	20	€/t

Aufgrund mangelnder Aufzeichnung des Wärmeverbrauches der Dükonar-Anlage zur Anwärmung der Abluftreinigungsanlage sowie der fehlenden Betrachtung der Wärmekosten bei Döhler et al. (2021), werden in den folgenden Berechnungen die Wärmekosten vernachlässigt.

Die Kosten für den Betrieb der Witerra-Anlage bei einer maximalen Jahresauslastung von 25.000 t/a stellen sich wie folgt dar:

Tab.10: Kosten der Witerra-Kompostierungsanlage nach Döhler et al. (2021)

<b>Witerra-Anlage 2021 mit Abluftreinigung</b>		
Anschaffungswert	1.300.000,00	€
Auslastung	25.000,00	t/a
<b>Fixkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>€/(t a)</b>
Abschreibung	130.000,00	5,20
Zinsen	26.000,00	1,04
Wartung	32.500,00	1,30
Versicherung	6.500,00	0,26
<b>Fixkosten</b>	<b>195.000,00</b>	<b>7,80</b>
<b>Variable Kosten</b>		
Elektrische Energie	30.000,00	1,20
Personal	73.000,00	2,92
Hilfsmittel	86.000,00	3,44
Andere Kosten	4.125,00	0,17
<b>Variable Kosten</b>	<b>193.125,00</b>	<b>7,73</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>388.125,00</b>	<b>15,53</b>

Die Witerra-Anlage kommt in der Beispielsrechnung auf Gesamtkosten von 15,53 €/t a). Mit einer entsprechend hochpreisigen Vermarktung des Kompostgutes können sich die Kosten decken lassen.

Anders sieht es hingegen bei der DükonaR-Anlage aus. Durch den Prototypenstatus sind die angenommenen Gesamtkosten sehr hoch (s.Tab. 11).

**Tab. 11 Kosten des Prototyps der DükonaR-Anlage**

DükonaR-Anlage 2021 (Prototyp)		
<i>Anschaffungswert</i>	250.000,00	€
<i>max. Auslastung</i>	90,00	t/a
<b>Fixkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>€/(t a)</b>
<i>Abschreibung</i>	25.000,00	277,78
<i>Zinsen</i>	5.000,00	55,56
<i>Wartung</i>	6.250,00	69,44
<i>Versicherung</i>	1.250,00	13,89
<b>Fixkosten</b>	<b>37.500,00</b>	<b>416,67</b>
<b>Variable Kosten</b>		
<i>Elektrische Energie</i>	4.363,56	48,48
<i>Personal</i>	9.250,00	102,78
<i>Hilfsmittel</i>	500,00	5,56
<i>Andere Kosten</i>	110,00	1,22
<b>Variable Kosten</b>	<b>14.223,56</b>	<b>158,04</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>51.723,56</b>	<b>574,71</b>

Wird angenommen, dass die DükonaR-Anlage für 25.000 t/a ausgelegt wird und eine Fixkostendegression von 95% erfolgt und ansonsten die variablen Kosten ceteris paribus sind, verändern sich die ökonomischen Kennzahlen wie folgt:

**Tab. 12 Berechnete Kosten einer DükonaR-Anlage mit 95 % Fixkostendegression (Annahme)**

<b>DükonaR-Anlage</b>		
<i>Anschaffungswert</i>	3.472.222,22	€
<i>Auslastung</i>	25.000,00	t/a
<b>Fixkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>€/(t a)</b>
<i>Abschreibung</i>	347.222,22	13,89
<i>Zinsen</i>	69.444,44	2,78
<i>Wartung</i>	86.805,56	3,47
<i>Versicherung</i>	17.361,11	0,69
<b>Fixkosten</b>	<b>520.833,33</b>	<b>20,83</b>
<b>Variable Kosten</b>		
<i>Elektrische Energie</i>	1.212.100,00	48,48
<i>Personal</i>	9.250,00	0,37
<i>Hilfsmittel</i>	192.777,78	7,71
<i>Andere Kosten</i>	5.000,00	0,20
<b>Variable Kosten</b>	<b>1.419.127,78</b>	<b>56,77</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>1.939.961,11</b>	<b>77,60</b>

Es ist deutlich zu erkennen, dass die ineffiziente Betriebsweise einen hohen Energiebedarf und eine große Menge an Strohinput benötigte, was die ökonomische Vorzüglichkeit der DükonaR-Anlage gegenüber der in der Literatur dargelegten Witerra-Anlage schwinden lässt.

Die Marktleistungen der Anlagen werden nicht berücksichtigt, da die Komposte ähnliche Nährstoffgehalte aufweisen müssten und dabei keine Unterschiede auftreten, sodass ein Vergleich der Kosten ausreichend ist.

#### **2.4.7 Zielerreichung**

Nach 4 Durchgängen des DükonaR-Projektes können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

Eine Isolierung einer eingehausten Kompostierung ist notwendig. Der Wärmeverlust konnte nur zu „warmen“ Tagestemperaturen kompensiert werden. Es bestand also eine Abhängigkeit der Kompostierungsergebnisse von der Außentemperatur. Wird die Masse der Kompostiervorlage mit einberechnet, ist die Massenreduktion unzureichend. Zusätzlich zu den relativ hohen Kosten wird durch die geringe Massenreduktion die Wirtschaftlichkeit der Anlage unter den Versuchsbedingungen nochmals geschmälert. Die aktuellen Inflationsbedingungen sind in den Berechnungen noch nicht berücksichtigt.

Abschließend ist festzuhalten, dass über alle vier Durchgänge die Ziele des DükonaR-Projektes verfehlt wurden. Es konnte kein „Humus“-Produkt erzeugt werden, welches die hygienischen und technischen Anforderungen eines organischen Düngeproduktes erfüllt. Die Transportwürdigkeit ist nicht gegeben, da das Aufbereitungsverfahren teuer ist und der Netto-Wasseraustrag relativ gering war.

Fraglich ist jedoch, wie sich die Betriebsweise und Betriebskosten durch eine Isolation der Kompostiereinheit verhalten hätten. Hierbei wären sicherlich Reduktionen in den variablen Kosten zu erwarten.

Die angeschlossene Abluftreinigungsanlage lief nahezu störungsfrei und erreichte über den Messzeitraum eine Ammoniakabscheiderate von 99 %, weshalb das Verbesserungspotenzial der DükonaR-Anlage eindeutig auf der Kompostierungsseite zu identifizieren ist.



## 2.4.8 Projektverlauf

Das DükonaR-Projekt lief anfangs schleppend an. Es gab diverse Probleme bei der Akquirierung der Herstellerfirmen des Kompostiercontainers. Dabei gab es eine Vielzahl von Problemen über die gesamte Versuchsdauer. Die wesentlichen Mängel sind in Tabelle 13 aufgeführt.

**Tab. 13: Besondere Ereignisse in der DükonaR-Versuchszeit**

Datum	Vorkommnisse oder Probleme	Maßnahme	Problem behoben
<b>03.08.2021</b>	<b>Inbetriebnahme der Anlage</b>	<b>Beginn 1. Durchgang</b>	
27.10.2021	Bitte des TI um Überreichung einer technischen Dokumentation von Harmer	Email vom 27.10.2021	Bisher nicht
16.11.2021	Bitte des TI um Überreichung einer technischen Dokumentation seitens Harmer	Email vom 16.11.2021	Bisher nicht
14.12.2021	Stahlseil Gülleschlitten gerissen	Stahlseil getauscht	16.12.2021
30.12.2021	Kette Mischwerk gerissen	Kette repariert	04.01.2022
07.01.2022	Motor vom Vortrieb des Mischwerks zu groß	Schäden durch zu hohe Zugkräfte -> Einbau eines leistungsschwächeren Motors	07.01.2022
07.01.2022	Steine in Gülleausläufen	Ausläufe gereinigt	07.01.2022
21.01.2022	Motor vom Mischwerk einstellen und abstimmen	Maximale Leistungsaufnahme einregeln	21.01.2022
21.01.2022	Gülleverteilung repariert	Überarbeitung der Ausläufe	21.01.2022
07.03.2022	Bitte des TI um Überreichung einer technischen Dokumentation seitens Harmer	Email vom 07.03.2022	Bisher nicht
16.04.2022	Zahnrad vom Mischgetriebe gebrochen	Austausch des Zahnrades	?
24.08.22	Störung Annäherungssensoren	Tausch der Sensoren	04.09.22
04.09.22	Weiterhin Störung der Annäherungserkennung	Blech an Mischwerk geschweißt	04.09.22
07.09.22	Antriebskette vom Mischwerk gerissen	Einbau einer neuen Kette	10.09.22
27.09.22	Mischpaddelwelle vom Mischwerk abgerissen	Anschweißen der Schnecke an alten Flansch	30.09.22
29.10.22	Mischpaddelwelle abgeschert	Mischpaddel neu angeflanscht	02.11.22
24.01.23	Lagersitz Mischpaddelwelle verbogen	-	Ende des Durchgangs

Die Tabelle listet hierbei nur die größeren Vorkommnisse und Probleme auf. In aller Fülle lassen sich vor allem die kleineren steuerungstechnischen Probleme (z.B. defekte Sensorik) nicht darstellen, da die Aufzeichnung jedes einzelnen Problems bzw. Störung den Rahmen sprengen würde.

In den Temperaturverläufen im Ergebnisteil lassen sich die Probleme vor allem beim abrupten Einbruch der Komposttemperatur identifizieren.

## Material

Für das Projekt wurde eine Kompostieranlage in einem 40 Fuß Überseecontainer errichtet.

Der Container ist ein modifizierter 40 Fuß-Container, in dem eine Wanne eingelassen ist. Der Grundcontainer sollte mit einer Isolation versehen werden, was jedoch aus Kostengründen nicht erfolgte. Zusätzlich zu den normalen Türöffnungen an den Containerenden wurden zwei Öffnungsklappen in das Containerdach eingebaut. Über diese Klappen werden die Kompostiersubstrate in die Containerwanne eingegeben.



**Abb. 6: Stroheingabe in den Kompostiercontainer über Dachluken**

Zwei Zuluftöffnungen liegen auf der Stirnseite des Containers und dem gegenüber befindet sich die Absaugung zur Abluftreinigungsanlage.



**Abb. 7 Zuluftjalousien an der Containerstirnseite**

Zusätzlich dazu wird der Container über die Misch- und Belüftungspaddel belüftet. Die Wellen, an denen die Paddel befestigt sind, sind hohl, sodass durch einen Radialverdichter angesaugte Luft in den Kompostgut eingebracht werden kann. Die Misch- und Belüftungseinheit ist auf einem Schienensystem verbaut.



**Abb. 8: Mischwerk der DükonaR-Anlage**

Auf einem ähnlichen Schienensystem läuft die Gülleaufgabe-Einheit. Aus vier Auslässen wird die Gülle auf das Kompostgut aufgebracht. In dem Büro des Abluftreinigungscontainers befindet sich die Steuerungseinheit für den Kompostcontainer. Die Beschickung mit Feststoff erfolgte zu Beginn per Radlader durch die oben genannten Zugänge im Containerdach. Das Nachstreuen erfolgte über die gleiche Weise. Täglich wurden ca. 200 l Gülle/Tag über den Gülleschlitten auf die Kompostiervorlage aufbracht. Nach dem Mischvorgang fährt die Anlage auf die Ausgangsposition zurück. Dabei war es das Ziel, dass die Anlage, sofern keine Störfälle vorlagen, komplett automatisch laufen sollte. In der Praxis gelang dieses jedoch nicht.

Das maximale Füllvolumen der innenliegenden Containerschale beträgt ca. 33m<sup>3</sup>. Die kompletten in dem Container befindlichen Materialien wurden aufgrund des korrosiven Klimas aus korrosionsbeständigen Materialien gefertigt. Zur Entnahme von Proben aus dem Komposthaufwerk wurden in dem letzten stirnseitigen Drittel drei Klappen, analog zur Höhe (in 125, 75, 25 cm Höhe) der Temperatursonden, verbaut.



**Abb. 9: Öffnungsklappen im Container zur Probenahme**

Die Temperatursonden werden vor jedem Mischvorgang mittels Linearaktuatoren aus dem Kompost gefahren. Nach Beendigung werden sie wieder automatisch gesteuert eingefahren.



**Abb. 10: Linearaktuatoren zum Einschieben der Temperatursonden in das Kompostmaterial**

Liegt ein Störfall vor, fahren die Sonden immer aus dem Material. In der Zeit erfolgt keine korrekte Aufzeichnung der Komposttemperatur.

Nach Ende des Kompostierzeitraumes wird über die Türen an der Stirnseite mittels Hoflader der Kompost entnommen. Dazu werden die Misch- und Gülleaufgabewagen an die gegenüberliegende Seite gefahren. Durch die stabile Bauweise und glatte Bauweise der Kompostierwanne konnte die

maschinelle Entnahme gut umgesetzt werden. Die Wanne konnte anschließend für einen neuen Versuch wieder befüllt werden.

Eine genauere Beschreibung der an Kompostieranlage eingesetzten Einzelkomponenten ist nicht möglich, da vom Hersteller der Anlage keine technische Dokumentation angefertigt und ausgehändigt sowie mehrere Anlagenteile über den Versuchszeitraum ausgetauscht wurden.

In einem zweiten 40 Fuß Container wurde der chemisch betriebene zweistufige Abluftwäscher eingebaut. Die Abluftreinigungsanlage wird als Kunststoffcontainerbaulösung in Form in den Container eingebaut. Die Anlage reicht teils oben aus dem Container. Die gesamte Abluftreinigungsanlage wurde mit 60 mm PU (WLS025) isoliert. In dem Container in der sich die Abluftreinigungsanlage befindet, wurden zusätzlich die für das Waschwasser benötigte Schwefelsäure und das Abschlammwasser gelagert.

Die Abluft (Rohgas) aus der Kompostieranlage wird mittels eines geregelten Ventilators in die Druckkammer der Abluftreinigungsanlage geführt. Hier wird die Luft senkrecht nach unten und anschließend nach oben um insgesamt 180 Grad umgelenkt, sodass die Luft in das erste und grobe Filterpaket gelangt. Das Filterpaket wird ständig mit Wasser, dessen pH-Wert  $<4$  ist, durchspült. In diesem Bereich wird der Großteil an Ammoniak und Staub abgefangen.

Bevor die Abluft zur zweiten Stufe gelangt, passiert sie einen Tropfenabscheider. Die Abscheidung der Tropfen aus der Abluft soll einen Wasserübertrag von der ersten in die zweite Stufe verhindern.

Anschließend wird die Luft wieder um insgesamt 180 Grad umgelenkt. Die Abluft wird jetzt senkrecht runter und wird durch ein zweites feineres Filterpaket geführt. Dieses feinere Filterpaket wird ständig besprüht und ebenfalls mit Waschwasser dessen pH-Wert  $<4$  ist, bedüst. In der zweiten Stufe wird nochmals Ammoniak abgefangen. Nachdem die Abluft auch das zweite Filterpaket passiert hat, wird sie wieder um 180 Grad umgelenkt und senkrecht nach oben durch einen zweiten Tropfenfänger geführt, wodurch die gereinigte Abluft als Reingas nach außen ausströmt. Der pH-Wert der beiden Waschbereiche wird mittels zwei automatischer Schwefelsäuredosierungen auf  $<4$  gehalten. Wasser, welches aus der ersten Stufe verdunstet oder abgeschlammmt wird, wird von aus der zweiten Stufe automatisch nachgefüllt. Die Abschlammung erfolgt, wenn die Leitfähigkeit mindestens 220mS/cm erreicht hat. Während des Projektes sollte versucht werden, erst bei einer noch höheren Leitfähigkeit abschlämmen zu lassen.

Die zweite Stufe wird mit Frischwasser versorgt und somit auf Niveau gehalten. Das Waschwasser wird mittels Tauchwärmetauscher aus dem vorhandenen Fernwärmenetz versorgt und somit ca. 1 bis 2 Grad über der Rohgastemperatur gehalten. Der Gesamtprozess wird über einen Regelcomputercomputer und Sensoren geregelt. Die technischen Daten der Abluftreinigungsanlage sind in Tab. 14 dargestellt.

**Tab. 14: Technische Daten des zweistufigen Abluftwäschers**

Zweistufiger chemischer Abluftwäscher		
Auslegung max. Abluftvolumenstrom	530 m <sup>3</sup> /h	
Stufe	1.	2.
spez.Oberfläche	125	240 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Filterhöhe	0,3	0,9 m
Filteroberfläche	1,32	1,32 m <sup>2</sup>
Filtervolumen	0,396	1,19 m <sup>3</sup>
Filterkontaktoberfläche	49,5	285,6 m <sup>2</sup>
Filterkörpervolumenbelastung	1338	445,38 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Berieselungsdichte	2,5	0,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Tropfenfängeroberfläche	1,32	0,66 m <sup>2</sup>

## Methodik

### Messplan und Versuchsablauf

Durch diverse organisatorische Probleme war eine Versuchsdurchführung erst im August 2021 möglich. Die Planung der Versuchsdurchgänge musste also dementsprechend angepasst werden:

**Tab. 15: Versuchszeiträume des DükonaR-Projektes**

Durchgangs Nr.	Von	Bis	Art der Kompostierung
1	03.08.2021	23.11.2021	Sommer
2	07.12.2021	29.03.2022	Winter
3	12.04.2022	02.08.2022	Sommer
4	16.08.2022	24.01.2023	Winter

Insgesamt betrug der Brutto-Versuchszeitraum seit Inbetriebnahme 540 Tage. Die Netto-Betriebszeit kann mit ca. 11.830 Betriebsstunden beziffert werden. Die Anlage arbeitete nach dem Chargen-Prinzip. Ein Durchgang hatte eine Sollversuchsdauer von 120 Tage. Durch die in Kapitel 4 aufgelisteten Ausfälle betrug die durchschnittliche Versuchsdauer ca. 135 Tage. Aufgrund mangelnder Zeit konnten tiefgreifende (technische) Anpassungen oder Veränderungen innerhalb dieses Zeitraums nicht vorgenommen werden. Allerdings konnten in den vier Durchgängen jeweils zwei Durchgänge in einer Sommer- bzw. Winterkompostierung durchgeführt werden, um jahreszeitliche Effekte abzubilden.

Der Versuchsablauf stellte sich wie folgt dar: Anfangs wurde versucht, die rechnerisch ermittelte Kompostfeuchte auf ca. 60 % zu halten. Eine dementsprechende Menge an Rohmaterial wurde zu Beginn eines jeden Durchgangs eingebracht, um mit ca. 200 l Gülle pro Tag ca. 60 % Wassergehalt im Kompost zu halten. Nach Einstreuen der Kompostvorlage wurde weiterhin täglich ca. 200 l Gülle/Tag über den Gülleschlitten auf die Kompostiervorlage aufbracht. Anschließend wurde die Gülle über die Misch- und Belüftungseinheit in die Kompostvorlage eingearbeitet. Im 6-stündigen Intervall erfolgten vier weitere Mischvorgänge. Ein Mischvorgang sollte ca. 5 Minuten dauern, wobei der Kompost durchmischt und belüftet werden sollte. Nach dem Mischvorgang fährt die Anlage in ihre Ausgangsposition zurück. Mit zunehmender Kompostdichte wurde die geplante Mischdauer teilweise deutlich überschritten, sodass gegebenenfalls die Anlage in einen Störbetrieb ging und stehen blieb. Zwischen den Mischvorgängen fuhren Temperatursonden in

unterschiedlichen Höhen als fixes Profil am abluftseitigen Ende in das Kompostgut ein. Dort wurde die Temperatur gemessen und im elektronischen Betriebstagebuch geloggt. In einer kurzen Übersicht (Tab. 16) sind alle geloggt Parameter aus dem Betriebstagebuch aufgelistet.

**Tab. 16: Parameter, die im EBTB aufgezeichnet werden**

Parameter	Kompost	ARA 1	ARA 2	Einheit
Komposttemperatur 125 cm	x			°C
Komposttemperatur 75 cm	x			°C
Komposttemperatur 25 cm	x			°C
Rohgastemperatur	x	x		°C
Reingastemperatur			x	°C
Auslastung der Lüftung	x			m <sup>3</sup> /h (%)
Relative Luftfeuchte	x	x		%
Leitfähigkeit				mS/cm
pH-Wert		x	x	
Wassertemperatur		x	x	°C
Wasserstand		x	x	cm
Durchfluss Frischwasser		x	x	%
Betriebsstunden		x	x	h
Abschlammung		x	x	m <sup>3</sup>
Stromverbrauch	x	x	x	kWh
Auslastung der Heizung		x	x	%

Der Bedarf an Fernwärme wurde nicht geloggt, sodass Aussagen dazu nur rechnerisch möglich sind bzw. auf Annahmen fußen. Des Weiteren konnte ohne Aufzeichnung der Außentemperatur und relativen Luftfeuchte der Belüftungsluft der Wasseraustrag nur auf Annahmen beruhend berechnet werden. Eine Nachsteuerung bzw. automatisierte variable Aufgabemenge an Gülle je nach täglichen Wasseraustrag war somit nicht möglich.

Um Aussagen zu den Inhaltsstoffen des Kompostes zu machen, wurden im zwei-wöchigen Abstand Proben vom Kompost aus einem Längs- und Tiefenstufe gezogen (s. Abb. 11).

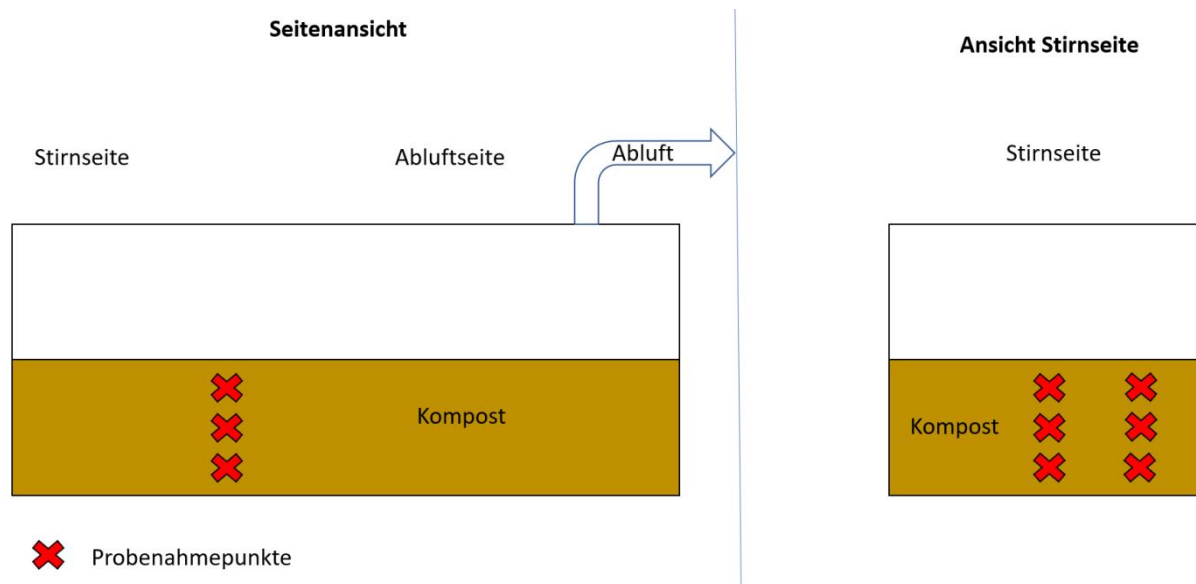
Nach Beendigung eines jeden Durchgang wurde die Mischung- und Belüftungseinheit und der Gülleschlitten an das abluftseitige Ende des Containers gefahren und das Kompostmaterial mit einem kleinen Hoflader aus dem Container gefahren und auf einer auf dem Betrieb befindlichen Brückenwaage verwogen.



## Probenahme

Die Probenahme der Kompostproben erfolgte bei jedem Vor-Ort-Besuch nach folgendem Muster. In dem ersten stirnseitigen Drittel wurde jeweils an halber bzw. viertel Kompostierbehälterbreite in drei Tiefenstufen Proben gezogen.

**Abb. 11: Übersicht des Probennahmeprofiles der Kompostproben**



Daraus ergaben sich 6 Messpunkte und aus diesen 6 Messpunkten wurden jeweils drei repräsentative Mischproben entnommen. Die Abweichung der Mischproben dürfen nicht größer 5 % betragen, da ansonsten die Gesamtaussage der Mischproben überprüft werden sollte. Unterschiede zwischen den Tiefenprofilen sollen jedoch gezielt aufgesucht werden, um eventuelle Unregelmäßigkeiten bei der Nährstoff- und Trockensubstanzverteilung zu erkennen.

## Angewandte Analysemethoden

Bevor die Inhaltstoffe nasschemisch analysiert werden, erfolgte vorab eine Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes der Proben. Dazu wurde ein Teil der gezogenen Proben in Tiegel eingewogen und anschließend über 24 Stunden bei 105°C in den Trockenschrank gestellt. Die Analyse der Nährstoffgehalte, der Leitfähigkeit und des chemischen Sauerstoffbedarfs erfolgte nach folgenden standardisierten Analysemethoden.

**Tab. 17: Analysemethoden nach Parametern**

Parameter	Analysemethode
Total Kjeldahl-N	DIN EN 25663:1993-11
Ammonium-N (NH <sub>4</sub> -N)	DIN 38406-5:1983-10
Orthophosphat (PO <sub>4</sub> -P)	DIN EN 25663:1993-11 (Hydrolyse) DIN EN ISO 6878:2004-09 (Photometrie)
Nitrit-N (NO <sub>2</sub> -N), Nitrat-N (NO <sub>3</sub> -N)	DIN EN ISO 10304-1:2009-07
Elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888:1993-11
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	DIN ISO 15705:2003-09

## 2.5 Nutzen für die Praxis

- Die DükonaR-Anlage hat in folgenden Bereichen Defizite, die für die praktische Umsetzung relevant sind: Fehlende Isolation
- Belüftung erfolgt nahezu ausschließlich über die Kompostoberfläche
- Anpassung der Güllemenge an den Wasseraustrag vom Vortag
- Mechanische Belastbarkeit der Anlagenkomponenten
- Daraus resultierend eine schlechte ökonomische Vorzüglichkeit

Die fehlende Isolation trägt maßgeblich dazu bei, dass anfänglich hohe Komposttemperaturen nicht lange gehalten werden konnten. Die größten Wärmeverlustquellen wurden in Abb. 3 aufgezeigt. Durch eine ausreichende Isolation mit Mineralwolle oder ähnlichen Dämmstoffen könnte ein Großteil des Wärmeverlustes vermieden werden.

Eine Isolation hat jedoch nur Sinn, wenn im gleichen Zuge die Belüftungsart verändert wird. Aktuell interagiert die angesaugte Luft kaum mit dem Komposthaufwerk. Es kommt lediglich zu einer Abkühlung der Ablufttemperatur. Dabei wäre eine Einbringung der Luft unter dem Haufwerk mittels Belüftungsböden wesentlich effektiver. Die „relativ“ kalte Frischluft wird durch das Durchströmen des Haufwerkes angewärmt und trägt durch die Erwärmung und der damit verbundenen Verdunstung den Wasserdampf aus.

Einer eventuellen „Luftkanal“-Bildung wird durch das Durchmischen des Kompostes entgegengewirkt. Bis zum Ende des 4. Durchgangs fiel auch kein Sickerwasser an, welches durch die Belüftungsböden hindurchtreten könnte. Gleichzeitig kann die Bildung einer anaeroben Kompostsohle verhindert werden, da jederzeit das Haufwerk von unten belüftet wird. Es ist dadurch mit deutlich geringeren Methanemissionen zu rechnen (vgl. Tab. 8). Des Weiteren wird der „Kamineffekt“ des Haufwerkes durch diese Art von Belüftung unterstützt, sodass eine gleichgerichtete Belüftung entsteht.

Alternativ ließe sich vorgewärmte Abluft aus einem der anliegenden Ställe entnehmen und zur Kompostierung hinzuführen. Die warme Luft ist in der Lage, relativ viel Wasserdampf und Ammoniak aus dem Container zu transportieren und gleichzeitig für geringere Wärmeverluste am Kompost sorgen.

Wird auf eine Isolation und eine angepasste Lüftung verzichtet, sollte zumindest die Güllemenge auf den Wasseraustrag des Vortages angepasst werden und auf eine optimale Kompostfeuchtigkeit von 60-80 %, je nach Sauerstoffversorgung ausgerichtet werden. Die Ermittlung der ausgetragenen Wassermenge kann dabei einfach rechnerisch erfolgen. Aus der Differenz, der durch die Belüftung von außen zugeführter Luftfeuchtigkeit und dem abgeführten Wasserdampf im Kompostiercontainer ermittelt sich die maximale Gülleaufgabemenge. Ziel ist es, variabel auf steigende oder fallende Außentemperaturen zu reagieren. Aus diesem Ansatz ergäbe sich bei aktuell vorhandener Anlage ein neuer Forschungsansatz, ohne größere bauliche Änderung an dem eigentlichen Kompostiersystem vorzunehmen. Es müsste lediglich zusätzlich ein Logging der Außentemperatur und der äußeren Luftfeuchtigkeit vorgenommen werden und in einem externen Erfassungssystem verarbeitet werden und selbsttätig in die Einstellung der maximalen Güllemenge der SPS des Kompostiercontainers eingreifen.

Ein weiteres großes Potenzial liegt in der Verbesserung der Anlagenkomponenten. Das Mischwerk und dessen Antriebsketten bzw. der Gülleaufgabewagen und dessen Zugseile müssen für deutlich höhere mechanische Belastungen ausgelegt werden. Durch einen unregelmäßigen Anlagenbetrieb verhindert die schlechte Zuluftführung und das Ausbleiben des Mischens die ordnungsgemäße

Durchlüftung des Haufwerks. Das hat zur Folge, dass anaerobe Zonen im Kompost entstehen können und kaum Wasser aus dem Kompost abgeführt wird. Seitens der Abluftreinigungsanlage traten kaum Probleme auf, sodass der Fokus nahezu ausschließlich auf der Verbesserung der Kompostieranlagen-Komponenten liegt.

## **2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse**

Die erarbeiteten Ergebnisse sollen eine Bewertung der Güllekompostierung in der Praxis ermöglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass noch erheblicher Forschungsbedarf in der Durchführung einer eingehausten Kompostierung besteht. Aktuell können an anhand der Ergebnisse keine konkreten Betriebsempfehlungen abgeleitet werden, da zu keinem Zeitpunkt ein zuverlässiger Betrieb der Anlage gewährleistet war und aus Kostengründen auf eine Isolation des kompletten Kompostiersystems verzichtet werden musste. Mit diesen Erkenntnissen könnten Folgeprojekte von Beginn an fehlerfreier gestartet werden.

## **2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit**

Der Betrieb der Anlage ist, wie in 2.4. zu sehen, nicht wirtschaftlich. Das hängt jedoch auch mit den in 2.5 beschriebenen Punkten zusammen. Eine Erprobung der Anlage unter diesen erfüllten Punkten und Bedingungen könnte durchaus komplett andere Ergebnisse liefern und damit auch wirtschaftlich deutlich vorzüglicher sein. Deshalb gibt es eine gewisse wissenschaftliche Anschlussfähigkeit, von der auch die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit abhängt. Bezüglich der Finanzierung des Projektes bzw. etwaiger Folgeprojekte besteht keine Anschlussfähigkeit.

## **2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept (LWK)**

Innerhalb der Projektlaufzeit waren regelmäßige Treffen der OG Mitglieder geplant, zu denen die Ergebnisse präsentiert werden sollten. Aufgrund der Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung des Coronavirus (SARS-CoV-2) haben diese Treffen regelmäßig als Microsoft-Teams Besprechungen stattgefunden.

Informationen zum Projekt wurden auf den Webseiten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ([https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/projekte/422\\_DuekonaR](https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/projekte/422_DuekonaR)) veröffentlicht.

## Literaturverzeichnis

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

**LWK NDS (2018):** Nährstoffbericht für Niedersachsen 2016/2017, URL:  
[https://www.ml.niedersachsen.de/download/128886/Naehrstoffbericht\\_fuer\\_Niedersachsen\\_2016-2017\\_nicht\\_vollstaendig\\_barrierefrei\\_.pdf](https://www.ml.niedersachsen.de/download/128886/Naehrstoffbericht_fuer_Niedersachsen_2016-2017_nicht_vollstaendig_barrierefrei_.pdf)