Perséphone

Integration von Biogas in das Zukunftsfeld der Bioökonomie

Ergebnisse

2016 - 2020

Interreg Grande Région | Großregion Perséphone
Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNION EUROPEENNE
Wallonie
Grand Est ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE L'Europe s'invente chez nous
LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG Ministère du Développement durable et des Infrastructures
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr SAARLAND
Ostbelgien

Table des matières

Projekt PERSEPHONE 3

1. Ziele 3
   - Hauptziel 3
   - Sekundäre Ziele 4
2. Projektpartner 4
3. Synopsis 5

Aktion 3 : Diversifizierung von Biogasanlagen durch Integration von erneuerbarem Wasserstoff und Raffinierung von Gärgut 6

1. Biologische Umwandlung von CO_2 und erneuerbarem Wasserstoff in Methan : Eine mobile Pilotenanlage zur Verarbeitung des Gärguts 6
   - Einleitung 6
   - Ein mobiler Prototyp mit einem innovativen Konzept 7
     - *Zwei sehr spezifisch geplante Reaktoren 7*
     - *Gasförmige Zufuhr aus dem «H2»-Reaktor 8*
     - *Eine Herausforderung in Bezug auf Sicherheit und Mobilität 8*
   - Schlussfolgerungen und Aussichten 9
2. Gärgutfraktionierung 9
   - Kontext 9
   - Ziele 10
   - Strategie 10
     - *Fraktionierung durch Filtration 10*
     - *Phasentrennung 10*
     - *Dynamische Nanofiltration 10*
     - *Umkehrosmose 10*
     - *Überkonzentration und Unterfraktionierung 11*

Aktion 4: Algenproduktion in der Großregion für neue Märkte 13

1. Verwertung der verschiedenen Gärgutfraktionen bei der Algenproduktion 13
2. Inventar der Einheiten, die Mikroalgenkultur und Gaserzeugungseinheiten auf dem Gelände der Großregion kombinieren 14
3. Wissenschaftlicher und technischer Bericht über die Kultur von Mikroalgen auf Gärgut 15

Aktion 5 : Gärrest und dessen Fraktionen als Ersatz chemischer Dünger; Auswirkung auf den Boden und die Wasserqualität 16

1. Gärrest und dessen Fraktionen als Ersatz chemischer Dünger 16
   - Einleitung 16
   - Vorherige Bewirtschaftung der Versuchsstandorte 16
   - Bodeneigenschaften 17
   - Varianten 18
   - Bewirtschaftung der Parzellen: Düngung und Ernte 19
   - Vorteile der organischen Düngung 19
   - Ergebnisse 20
2. Auswirkungen auf die Wasserqualität 22
3. Auswirkungen auf die mikrobielle Funktion des Bodens 24

Aktion 6 : Einführung von Ökosystemdienstleistungen und Verbesserung des Wasserschutzes durch Biogas 26

1. Einleitung 26
2. Ökologische Stärken und Schwächen von Biogas 26
3. Möglichkeiten zur Integration von Wasserschutz in die Substratgewinnung für Biogas 28
4. Fazit 28
5. Referenzen 29

Aktion 7: Umweltwirkungen und ökonomische Machbarkeiten der Aktionen 3 bis 6 30

1. Einleitung 30
2. Biogas und der Beitrag zum Klimaschutz 30
3. Makroökonomische Aspekte von Biogas oder Einbindung von Biogas in die Bioökonomie 30
4. Fazit 32
5. Referenzen: 32

Projekt PERSEPHONE

Production d'**E**nergies **R**enouvelable**S**, **E**ngrais et **P**roduits **H**armonieux d'**O**rigines **N**atur**E**lles

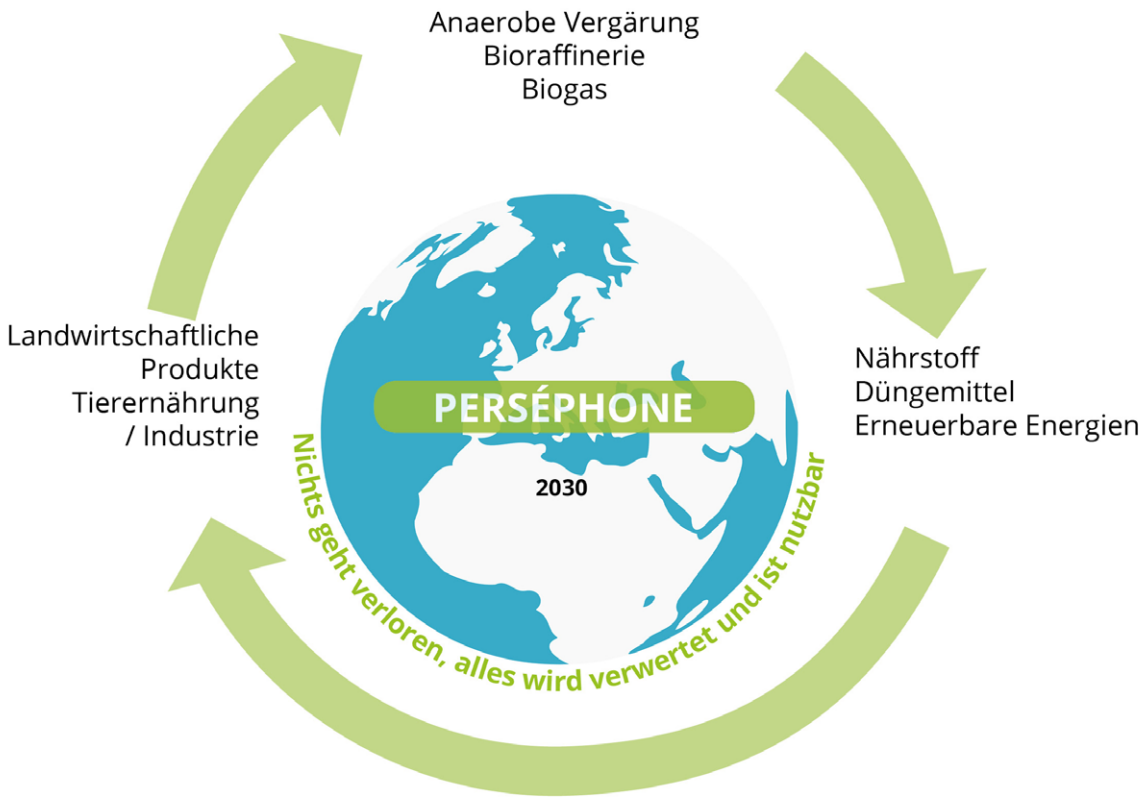
Projekt eingeführt im Rahmen des Programms Interreg VA 2013 -2020 mit der Unterstützung von :

1. Ziele

Hauptziel

Hauptziel von Perséphone ist es, den Biogassektor **in der neuen Bioökonomie und der Kreislaufwirtschaft zu positionieren**. Perséphone hat den Willen, den bestehenden landwirtschaftlichen Einheiten einen neuen Mehrwert zu verschaffen, um sie bis 2020-2030 nachhaltig werden zu lassen. Auch zukünftige Einheiten werden in der Lage sein, diese neuen Daten in ihre Geschäftspläne zu integrieren.

Um dieses primäre Ziel zu erreichen, schlagen die Projektpartner von PERSEPHONE vor, hauptsächlich auf der Ebene der Verwertung der Produkte des Biogaserzeugungsprozesses zu handeln, die heute wenig oder schlecht wertgeschätzt werden.



Sekundäre Ziele

Biomethanisation und Energie

Die Biomethanisation spielt eine Rolle als Stromeinspeise-Regulator im Energiemix und eine innovative Steigerung der Biomethanproduktion kann durch die Zugabe von Wasserstoff in den Biogas-Reaktor erreicht werden (Aktion 3, 6 und 7).

Biomethangaserzeugung, Gärrest und nachhaltige landwirtschaftliche Produktion

Entwicklung von drei Gärrest-Verwertungsmethoden, im vollen Einklang mit dem Respekt für die Umwelt und der Lebensqualität in der Gesellschaft, damit diese Methoden die konventionelle Landwirtschaft zu nachhaltiger Lebensmittel- Energie- und Rohstoffproduktion verhelfen (Aktion 3, 4, 5 und 6).

Biomethan und Umwelt

Eine detaillierte Studie über die wirtschaftlichen (Aktion 7) und umweltbezogenen Auswirkungen (Aktion 6) der in diesem Projekt entwickelten, innovativen Alternativen .

2. Projektpartner

- 1 Federführender Begünstigter :
- 6 Wissenschaftler :
- 5 Pilotbetriebe :
- 2 Industrielle :
- 2 Strategische Projektpartner :

Die Partnerschaft basiert auf den folgenden Aktionen:

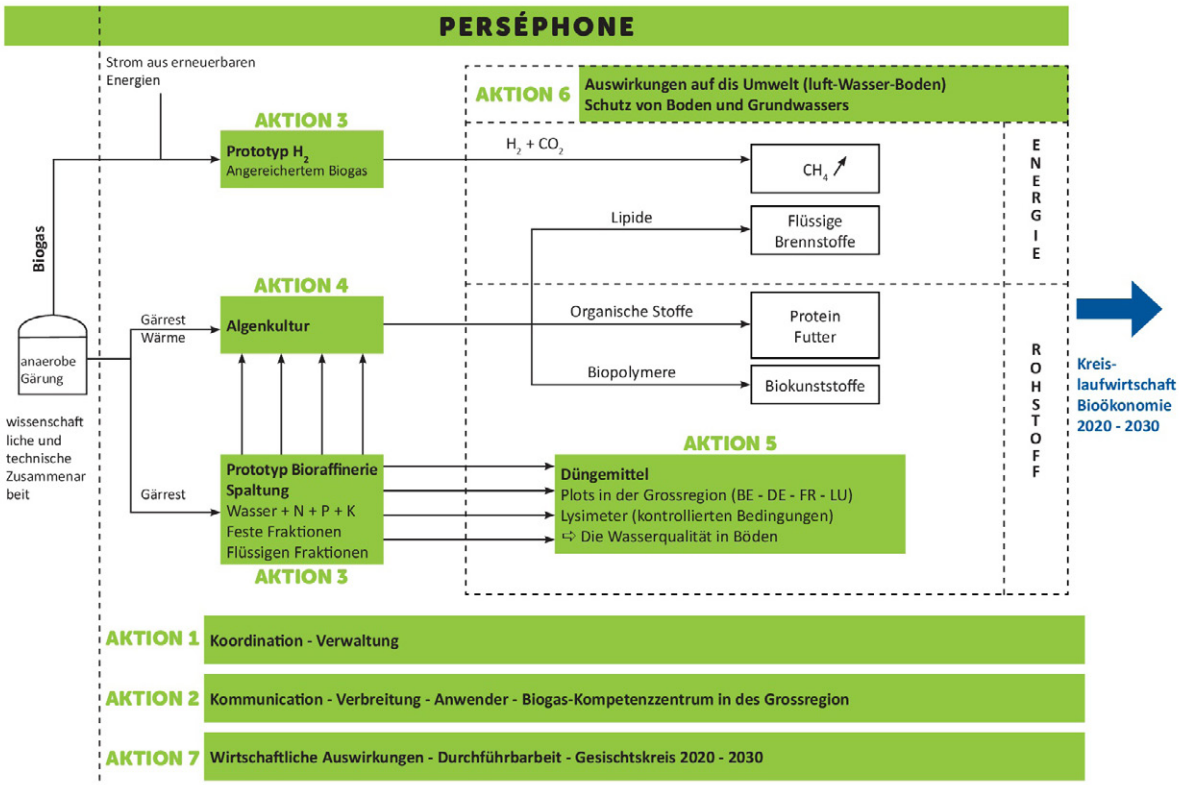
- ✓ Diversifizierung von Biogasanlagen durch Integration von erneuerbarem Wasserstoff und Raffination von Gärgut;
- ✓ Algenproduktion in der Großregion zur Stimulierung neuer Märkte;
- ✓ agronomische Vitrinen: Gärgut und seine Fraktionen als Ersatz für chemische Düngemittel - Auswirkungen auf die Boden- und Wasserqualität;
- ✓ Zusammenarbeit mit den in der Wasserwirtschaft und im Umweltschutz tätigen Unternehmen und Diensten zur Objektivierung der Beiträge der Biogaserzeugungskette zur Erhaltung der Wasserqualität und der aquatischen Umwelt;
- ✓ ökologische Bewertung und wirtschaftliche Machbarkeit der verschiedenen Maßnahmen für den Biogassektor bis 2020-2030.

Die Einrichtung von agronomischen Vitrinen in allen Bereichen der Großregion mit verschiedenen Formen der Düngung im Vergleich zu chemischen Düngemitteln wird es der Partnerschaft ermöglichen:

- ✓ Eine begründete Anpassung der Nitratrichtlinie vorzuschlagen;

- ✓ aufzuzeigen, dass die sachgemäße Verwendung von Gärgut chemische Düngemittel mit einem reduzierten Kohlenstoff-Fußabdruck vorteilhaft ersetzen kann;
- ✓ aufzuzeigen, dass die Wasserqualität verbessert wird;
- ✓ zu bestätigen, dass das mikrobielle Leben im Boden erhalten bleibt und nachhaltiger ist.

3. Synopsis



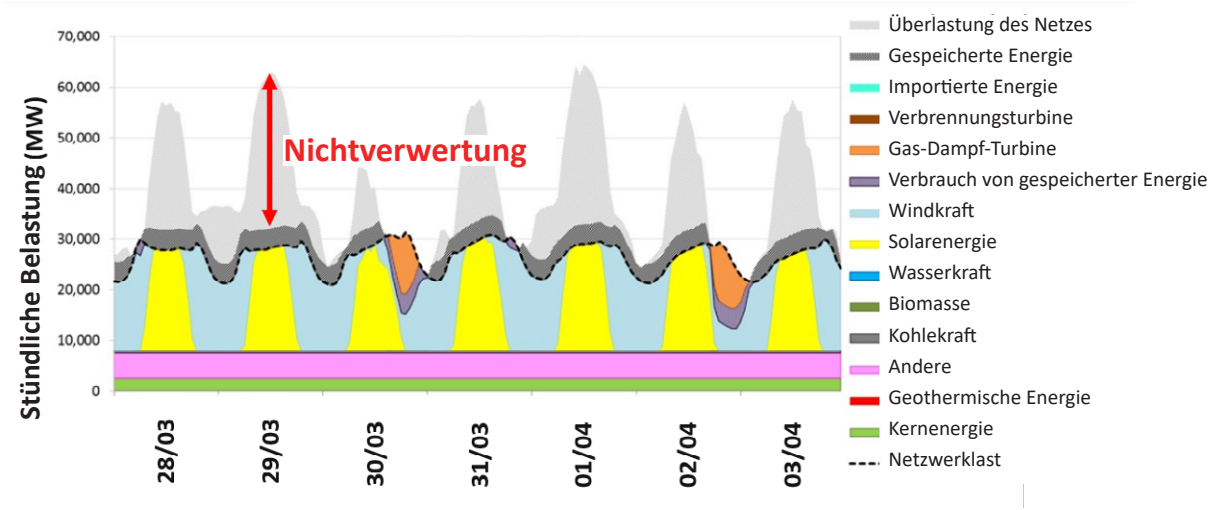
Aktion 3 : Diversifizierung von Biogasanlagen durch Integration von erneuerbarem Wasserstoff und Raffinierung von Gärgut

1. Biologische Umwandlung von CO_2 und erneuerbarem Wasserstoff in Methan : Eine mobile Pilotenanlage zur Verarbeitung des Gärguts

LIST

Einleitung

Die meisten erneuerbaren Stromquellen sind vorübergehender Natur (Figur 1). Insbesondere hängt die elektrische Leistung von Sonnenkollektoren von der Sonneneinstrahlung und von Windturbinen von der Windgeschwindigkeit ab. Im Vergleich dazu weist die Belastung des Stromnetzes mit diesen Stromerzeugungen asynchrone Schwankungen auf. Dies führt zu mangelnder Verwertung von elektrischer Energie, da die Speichertechnologien derzeit noch wenig effizient sind.



Figur 1 : Modellierung des Strombedarfs und der Stromproduktion in Texas für eine Woche im Jahr 2050 (Grafik angepasst von https://solarlove.org/much-more-renewable-energy-could-be-integrated-into-us-grid-without-reliability-problems/)

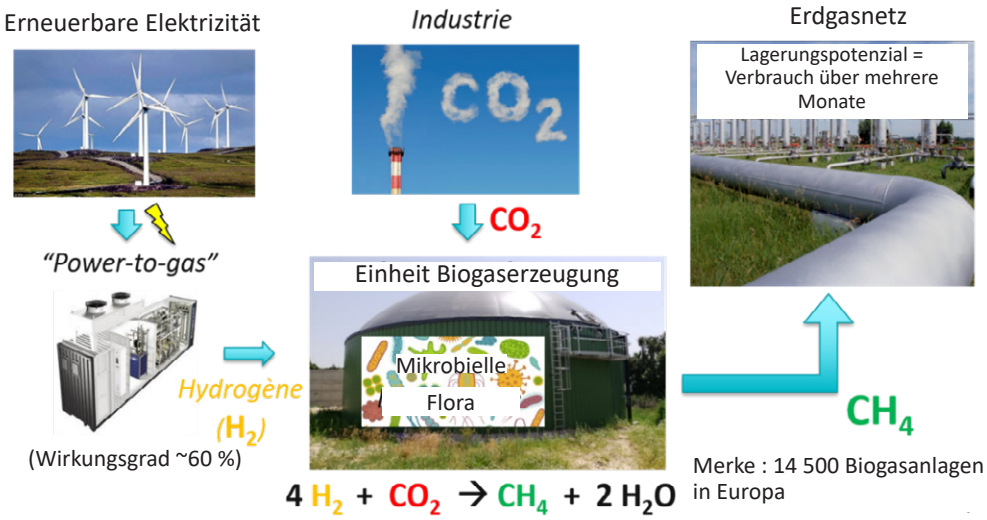
In diesem Zusammenhang schlagen wir vor, der Biogaserzeugung eine Rolle als Regulator der erneuerbaren Stromproduktion zu geben, indem die mikrobielle Flora der Fermenter genutzt wird. Denn diese enthält Mikroorganismen, die Wasserstoff (H_2) und Kohlendioxid (CO_2) in Methan (CH_4) umwandeln müssen. Methan kann im Gegensatz zu Elektrizität leicht im Erdgasnetz gespeichert werden, einer bereits bestehenden Infrastruktur, die weit verzweigt ist und über eine bedeutende Speicherkapazität verfügt. Außerdem :

- Kann Wasserstoff bei Bedarf durch Elektrolyse von Wasser (eine Technologie, die *Power-to-Gas* bezeichnet wird) hergestellt werden, zum Beispiel mit Hilfe von Elektrizität aus Windturbinen oder Fotovoltaik;
- liegt Kohlendioxid weitgehend in löslicher Form im Gärgut der Biogaserzeugung vor oder kann in gasförmiger Form als Nebenprodukt der Biogasreinigung zu Biomethan oder durch industrielle Ableitung bereitgestellt werden.

Unser Konzept, das in Figur 2 dargestellt ist, kann eine wirtschaftliche Stärkung des Biogaserzeugungssektors ermöglichen, indem es eine Lösung bietet (1) für die Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien auf intermittierende Art (Nacht und Tag, Wind und Windstille) ; (2) als Werkzeug zur besseren Synchronisierung von Produktion und Verbrauch von Strom aus erneuerbaren Energien durch seine Umwandlung in Wasserstoff, der seinerseits in einer bestehenden Infrastruktur in speicherbares Methan umgewandelt wird ; (3) als Möglichkeit zur Intensivierung der Methanproduktion durch eine drastische Erhöhung der Qualität des Biogases.

Um dieses Konzept im realen Maßstab vorzuführen, haben wir einen Pilot-Bioreaktor entworfen, der

online auf den Gärgutstrom von Bioreaktoren im industriellen Maßstab übertragen werden kann. Das Pilotprojekt wurde als mobiles Werkzeug konzipiert, um vor Ort sicherzustellen, dass die komplexen und spezifischen mikrobiellen Konsortien jeder Biogaserzeugungsanlage befähigt sind, CO_2 in Gegenwart von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen effizient zu CH_4 zu biomethanisieren.



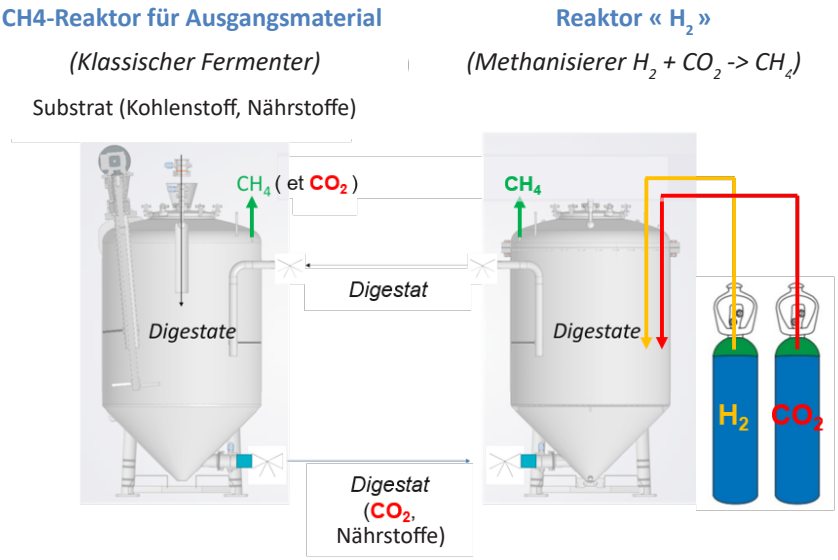
Figur 2 : Allgemeines Konzept

Ein mobiler Prototyp mit einem innovativen Konzept

Zwei sehr spezifisch geplante Reaktoren

Das Herz des Prototypen besteht aus zwei Edelstahlreaktoren mit einem effektiven Volumen von 800 Litern, die durch eine in einer Doppelwand zirkulierende Wärmeübertragungsflüssigkeit auf eine Temperatur von 37 °C erhitzt werden (Figur 3) :

- Ein erster Reaktor (*«CH_4»-Reaktor*), mechanisch gemischt, simuliert einen «konventionellen» Biogaserzeugungs-Fermenter. Er ist für die Umwandlung von organischem Substrat in Biogas (CH_4 und CO_2) ausgelegt und dient als Ausgangsmaterial für den zweiten Reaktor.
- Ein zweiter Reaktor (*«H_2»-Reaktor*) ist für die eigentliche biologische Umwandlung von Wasserstoff und CO_2 in CH_4 vorgesehen. Er kann versorgt werden: (1) Mit Gärgut aus dem «CH_4»-Reaktor als Quelle für CO_2 in löslicher Form, mikrobieller Flora und Nährstoffen; (2) mit gasförmigem H_2 und CO_2. Die gasförmige Wasserstoff- und CO_2-Zufuhr aus dem «H_2»-Reaktor wird durch Flaschen bereitgestellt und simuliert jeweils die H_2-Zufuhr aus einem Elektrolyseur und die CO_2-Zufuhr, die beispielsweise aus einer industriellen Ableitung oder einer Biogasreinigung zur Herstellung von Biomethan resultiert.

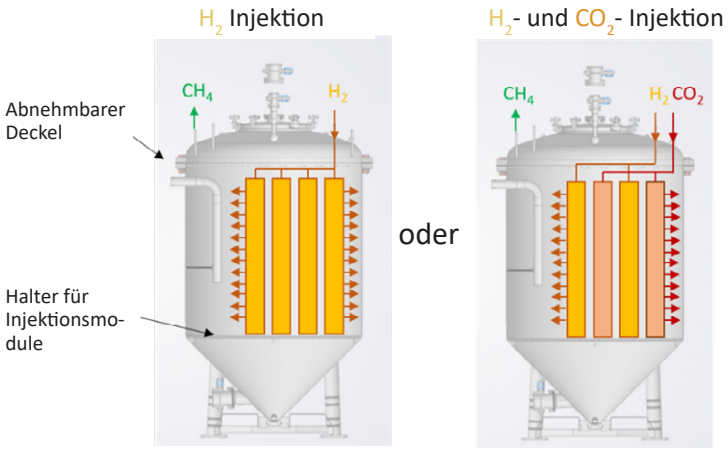


Figur 3 : Allgemeiner Grundsatz des Prototyps

Eine Peristaltikpumpe ermöglicht alternativ den Austausch von Gärgut zwischen den beiden Reaktoren und das Rühren des «H2»-Reaktors durch Rezirkulation.

Gasförmige Zufuhr aus dem «H2»-Reaktor

Um die Zufuhr von Wasserstoff (und möglicherweise CO2) zur mikrobiellen Flora des «H2»-Reaktors zu ermöglichen, wurde ein vielseitiges Membraninjektionssystem entworfen (Figur 4). Es basiert auf 55 vertikalen Modulen, von denen jedes 36 Injektionsrohre aus verschiedenen Elastomertypen aufnehmen kann. Ein am Boden des Reaktors angebrachtes Gitter stützt die Injektionsmodule und ein abnehmbarer Deckel ermöglicht ihre Wartung.

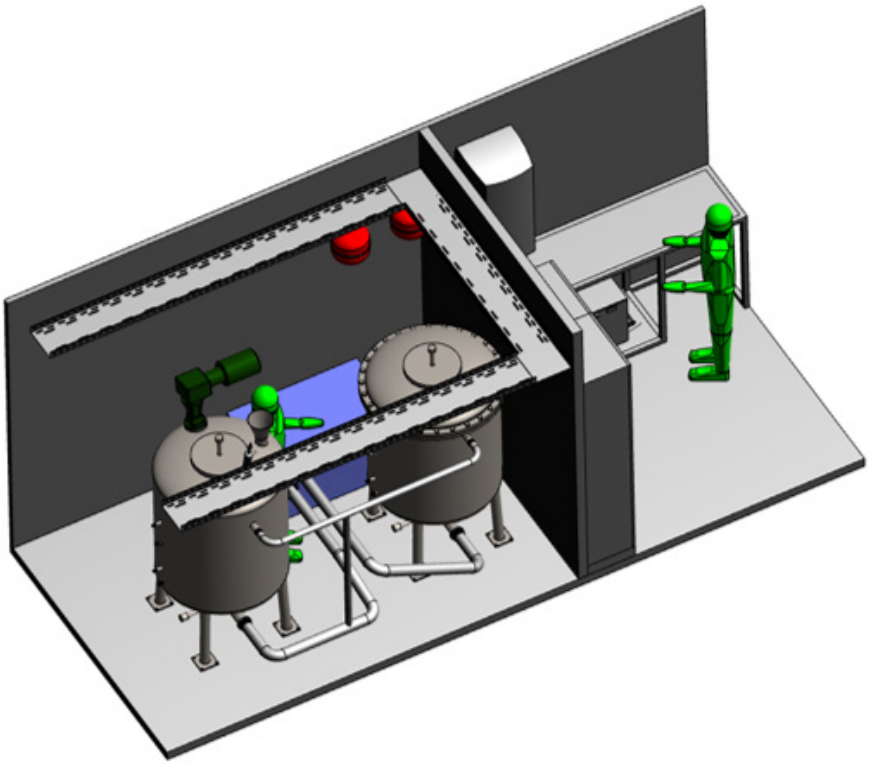


Figur 4 : Wasserstoffeinspritzung mit möglicher CO_2-Zufuhr in das Gärgut des «H_2»-Reaktors

Eine Herausforderung in Bezug auf Sicherheit und Mobilität

Die Arbeit mit Wasserstoff in einem geschlossenen Raum kann nicht improvisiert werden, da dieses Gas besonders explosiv ist. Daher wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Sicherheit der Benutzer des Prototyps zu gewährleisten. Insbesondere wurde die Mehrheit der elektrischen Ausrüstung so gewählt, dass sie der ATEX-Norm (explosionsfähige Atmosphäre) entspricht, und die elektrische Ausrüstung, die dieser Norm nicht entspricht, wurde von den Reaktoren durch eine dichte Trennwand isoliert, die eine «Risiko»-Zone und eine «sichere» Zone abgrenzt. Außerdem sorgt die Belüftung für eine kontinuierliche Erneuerung der Umgebungsluft, die die Reaktoren in der «Risiko»-Zone umgibt. Schließlich misst ein Wasserstoffgasdetektor ihre Umgebungskonzentration und steuert ein Absperrventil an der Wasserstoffzufuhr, wenn sich seine Konzentration der Explosionsgrenze nähert.

Um die Mobilität des Prototyps zu gewährleisten, war ursprünglich vorgesehen, die Komponenten in einem Anhänger vom «Koffer»-Typ mit beweglichen Seitenwänden einzubauen. Diese Lösung bietet den Vorteil, dass sie mit einem Fahrzeug vom Typ SUV beweglich ist und die Vorrichtung der Öffentlichkeit vorgeführt werden kann. Letztendlich entschied man sich für die Verwendung eines Containers, der per LKW transportiert werden konnte, da das Gesamtgewicht der Komponenten zu hoch war, um eine Straßenzulassung des Prototyps nach dem Einbau in einen Anhänger zu ermöglichen. Ein 3D-Schema, das das endgültige Aussehen des Prototyps darstellt, wird in Figur 5 gezeigt.



Figur 5 : 3D-Darstellung des Prototyps

Schlussfolgerungen und Aussichten

Die ersten theoretischen Bewertungen des Prototyps sind vielversprechend: Berechnungen, die auf der Basis mehrerer Elastomertypen durchgeführt wurden, zeigen, dass die großvolumige Injektionsfläche des Gasinjektionssystems (ca. 70 m² pro m³ Gärgut) eine große mikrobielle Biomasse in direktem Kontakt mit den Membranen der Wasserstoffquelle aufnehmen kann. Außerdem erlaubt die Mobilität des Prototyps die Bewertung von Gärgut verschiedener mikrobieller Zusammensetzungen, was zur Beantwortung einer komplexen Frage beitragen kann: Welche Arten von Mikroorganismen (und ihre symbiotischen Verbindungen) sind am besten an die Umwandlung von Wasserstoff und CO2 in Methan im Gärgut der Biogaserzeugung angepasst ?

2. Gärgutfraktionierung

Ama Mundu Technologies

Kontext

Die Biogaserzeugung ist ein Verfahren zur energetischen Verwertung von organischen Abwässern wie Gülle, Mist, Agrar- und Lebensmittelresten, Kläranlagenschlamm usw. Das Material wird unter Luftabschluss (anaerobe Bedingungen) unter Freisetzung von Biogas, einem brennbaren Gas, das zur Erzeugung von Wärme und Strom verwendet wird, vergoren. Die Restsäfte aus der Vergärung, Gärgut genannt, sind reich an Nährstoffen und werden als Dünger verwendet. Da die Düngszeiträume jedoch begrenzt sind, muss das Gärgut einen Teil des Jahres gelagert werden, was raumbedingte und finanzielle Ressourcen erfordert.

Die Biogaserzeugung hat den doppelten Vorteil, dass sie vollständig im Einklang mit einem zirkulären Ansatz steht und gleichzeitig erneuerbare Energie wie Wind- oder Sonnenenergie liefert, die kontinuierlich, kontrolliert und speicherbar erzeugt werden kann. Allerdings leidet der Sektor derzeit unter einer geringen wirtschaftlichen Rentabilität und kann ohne finanzielle Beteiligung der Staaten nicht überleben.

Ziele

Das gesamte Perséphone-Projekt zielt darauf ab, die Integration des Biogaserzeugungssektors in die Bioökonomie zu verbessern. Für eine bessere wirtschaftliche Rentabilität von Biogaserzeugungsanlagen werden neben der einfachen Nutzung von Biogas mehrere andere Wege der Verwertung untersucht.

Ein Teil der Aktion 3 des Perséphone-Projekts ist speziell einer besseren Verwertung des Gärguts gewidmet. Es wurden zwei komplementäre Achsen erörtert :

- Reduzierung der Nutzvolumina: Das von einer Biogaserzeugungsanlage erzeugte Gärgut kann in Zehntausenden von Tonnen gezählt werden. Die Lagerung und der Transport solcher Mengen verursachen relativ hohe Kosten, die der Verwertung des Gärguts in Form von Dünger wirtschaftlich abträglich sind. Durch die Entnahme eines Teils der 85-90% des im Gärgut enthaltenen Wassers können die Mengen und somit die damit verbundenen Betriebskosten erheblich reduziert werden, ohne den agronomischen Wert zu mindern.
- Produktion von Fraktionen mit höherem Mehrwert: Gärgut ist eine komplexe Mischung aus Nährstoffen und anderen nützlichen Molekülen. Diese Elemente können geschickt getrennt werden, um Nebenprodukte mit höherem Mehrwert zu erzeugen. Außerdem eröffnen diese neuen Produkte den Weg für andere Formen der Verwertung als die einfache Ausbringung auf Feldern (Beispiel: Mikroalgenkultur - siehe nachstehend).

Strategie

Fraktionierung durch Filtration

Ama Mundu Technologies entwickelt innovative Technologien, um belastete Abwässer effizient in verschiedene Fraktionen von Interesse zu trennen. Sie basieren auf dem sukzessiven Einsatz fortschrittlicher Membranfiltrationstechnologien, die immer feiner und feiner werden (Figur 1a).

Phasentrennung

In einem ersten Schritt werden grobe Feststoffpartikel mit Hilfe einer Schneckenpresse entfernt. Das Ergebnis ist eine feste Fraktion, die so wie sie ist oder nach der Kompostierung ausgebracht werden kann.

Dynamische Nanofiltration

Das flüssige Gärgut wird dann durch Nanofiltrationsmembranen mit einer sehr feinen Porosität von etwa 5 nm gefiltert. Die hohe Dichte des Gärgutes verbietet die Verwendung herkömmlicher Membranen, die sich zu schnell zusetzen würden. Daher wurde eine innovative dynamische Filtrationstechnologie implementiert. Sie gründet auf der Verwendung von runden Keramikmembranen. Die Rotation dieser Scheiben während der Filtration erzeugt Scherkräfte an der Oberfläche der Membranen, die die Verstopfung stark einschränken. Dadurch wird die Filtrationseffizienz erhöht und der Energieverbrauch stark reduziert.

In dieser Stufe wird eine flüssige Fraktion erhalten, die reich an organischem Stickstoff und Phosphor ist.

Umkehrosmose

In einer letzten Stufe der fortgeschrittenen Filtration entstehen zwei neue flüssige Fraktionen: Einerseits eine Fraktion, die reich an mineralischem Stickstoff und Kalium ist, und andererseits Wasser, das entweder lokal genutzt oder in die natürliche Umwelt abgeleitet werden kann.

In einer ersten Phase der Studie wurde eine mobile Fraktionierungseinheit, Mobilis (Figur 2) genannt, an mehreren Biogaserzeugungsstandorten von Partnern des Projekts eingesetzt. Verschiedene Gärguttypen wurden getestet, um die Verfahrensparameter zu optimieren. Gleichzeitig wurden

die erzeugten Fraktionen für die Durchführung von Düngungstests auf Grünland (Aktion 5) und Mikroalgenkulturtests (Aktion 4) verwendet.

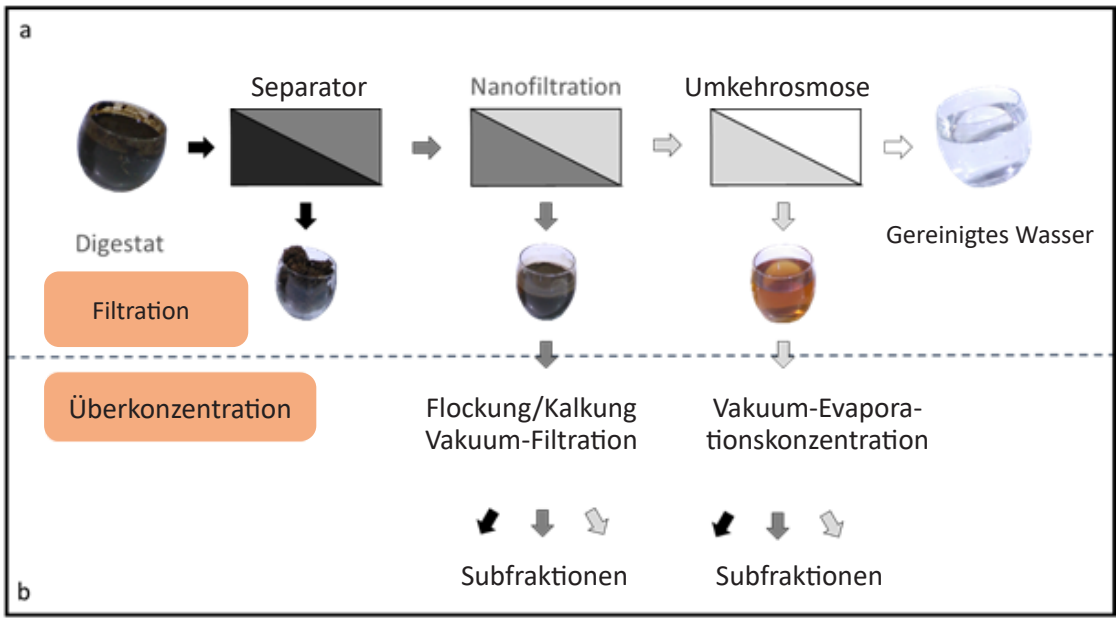
Mikroalgen sind eine Pflanzenform, die immer mehr Interesse auf sich zieht. Sie weisen hohe Flächenerträge auf und sind reich an Ölen (die zur Herstellung von Biokraftstoffen verwendet werden) und Verbindungen mit sehr hohem Mehrwert wie Nahrungsergänzungsmittel (Omega 3, Astaxanthin). Das Gärgut enthält alle für die Kultivierung von Mikroalgen notwendigen Nährstoffe, kann aber so, wie es ist, nicht verwendet werden. Denn es färbt die Kulturbecken und verhindert, dass die Mikroalgen die Lichtstrahlen erhalten, die sie für ihr Wachstum benötigen. Die Fraktionierung hat es ermöglicht, eine nährstoffreiche, aber viel weniger gefärbte Fraktion zu erzeugen, die mit der Kultur von Mikroalgen kompatibel ist.

Überkonzentration und Unterfraktionierung

Die zweite Phase der Studie war dem Einsatz komplementärer Technologien zur Unterfraktionierung der verschiedenen durch Membranfiltration erzeugten Fraktionen gewidmet (Figur 1b). Dieser Ansatz ist Teil eines Bioraffineriekonzepts, nach dem durch eine feine Trennung der verschiedenen Bestandteile des Gärgutes eine Vielzahl interessanter Moleküle hergestellt werden kann, die die derzeit von der Petrochemie hergestellten Produkte vorteilhaft ersetzen. Diese Unterfraktionierungsschritte haben auch den Vorteil, dass eine zusätzliche Wasserfraktion aus dem Gärgut extrahiert wird, wodurch die letztendlich zu meisternden Nutzvolumina reduziert werden.

Nach vorläufigen Laborversuchen, vom Partner LIST durchgeführt, wurden verschiedene Technologien für Tests vor Ort ausgewählt :

- **Vakuum-Evaporationskonzentration** : Biogasanlagen, die mit einem Blockheizkraftwerk ausgestattet sind, erzeugen vor Ort Strom und Wärme aus Biogas. Diese Wärme kann vorteilhaft zur Erwärmung der Gärgutfraktionen genutzt werden, um das darin enthaltene Wasser und andere flüchtige Verbindungen zu verdampfen. Nach der Kondensation entstehen einerseits eine konzentrierte Nährstoffsubfraktion und andererseits eine ammoniakreiche wässrige Lösung. Der Vorgang wird unter Vakuum durchgeführt, um die Siedetemperaturen zu senken und damit Energie zu sparen.
- **Vakuumtisch**: Durch die Zugabe von Kalk und Flockungsmitteln kann ein guter Teil der Nährstoffe ausgefällt werden, die dann durch Filtration auf einem Vakuumtisch zurückgewonnen werden. Das Ergebnis ist ein fester Organocalciumdünger (daher leichter lagerfähig) mit einem erhöhten agronomischen Wert.
- Filterpresse: Obwohl komplizierter durchzuführen, ermöglicht die Filterpresse, die anstelle des Vakuumtisches eingesetzt wird, die Herstellung noch kompakterer und entwässerter Feststofffraktionen. Die notwendigen Lagervolumina werden weiter reduziert.



Figur 1 : Gärgutfraktionierungsverfahren
a) Das Gärgut wird zunächst durch mehrere aufeinanderfolgende Stufen mit zunehmend feinerer Membranfiltration getrennt.
b) Die durch Filtration erzeugten Fraktionen werden durch komplementäre Technologien aufbereitet, um Unterfraktionen mit höherem Mehrwert zu erzeugen und gleichzeitig so viel Wasser wie möglich zu entfernen, um das Nutzvolumen zu reduzieren.

Figur 2 : Mobile Filteranlage Mobilis
Die mobile Anlage Mobilis vereint auf demselben Anhänger : einen Phasentrenner, zwei dynamische Nanofiltrationsmodule und fünf Umkehrosmosemodule.

Aktion 4: Algenproduktion in der Großregion für neue Märkte

1. Verwertung der verschiedenen Gärgutfraktionen bei der Algenproduktion

SUSTAINWATER

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde auf dem Gelände des Bauernhofs Faascht der KESSLER SPRL, einem Partner des Projekts, ein Gewächshaus eingerichtet. Bei der Installation des Gewächshauses wurde das Heizsystem so konzipiert, dass es mit einem Bruchteil der Abwärme gespeist wird, die von der am gleichen Standort installierten Biogaserzeugungsanlage erzeugt wird.

In diesem Gewächshaus wurden drei ertragreiche Algenkanäle vom Typ « Racetrack Chenal Algal mit hoher Leistung » installiert, in denen die Algenkulturen getestet wurden. In diesen Kanälen wurden verschiedene Algenstämme kultiviert und verschiedene Gärgutfraktionen als Nährstoffquelle verwendet, um das Potenzial dieser verschiedenen Fraktionen für die Algenproduktion zu bewerten.

Es sei darauf hingewiesen, dass bereits zu Beginn des Projekts der Reaktortyp für die Durchführung der Algenkulturversuche der Chenal Algal mit hoher Leistung (High Rate Algal Pond) gewählt wurde, ein offener Photobioreaktor, der einen Airlift mit einer externen Zirkulation kombiniert, die durch den Kanal selbst gebildet wird.

Frühere Arbeiten, die von Sustainwater durchgeführt wurden, hatten gezeigt, dass das Airlift-System weniger Energie zum Bewegen des Wassers im Kanal verbraucht als die in diesem Reaktortyp häufig verwendeten Schaufelräder.

Neben dem reduzierten Energieverbrauch, um das Wasser mit der für die Kulturbedingungen gewählten Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen, bietet das Airlift-System eine höhere Effizienz bei der Sicherstellung der notwendigen Gastransfers (O_2, aber auch CO_2).

Während des Perséphone-Projekts setzte Sustainwater die Arbeit an der Charakterisierung der Hydrodynamik von CAHR-Reaktoren (HRAP) und der damit verbundenen Massentransfers (O_2 und CO_2) fort, um über Dimensionierungs- und Modellierungswerkzeuge für verschiedene Reaktorgrößen zu verfügen. Es ist ein wesentliches Instrument, das als Upscaling bezeichnet wird, um von kleinen Reaktoren (wenige Liter), die im Labor verwendet werden, zu größeren Pilotreaktoren und dann zu Reaktoren in Echtgröße zu gelangen, die mehrere tausend m^3 erreichen können.

Die verschiedenen Gärgutfraktionen wurden alle von Ama Mundu Technologies, einem weiteren Partner des Projekts, geliefert. Diese Fraktionen wurden zunächst durch Nanofiltration und/oder Umkehrosmose von Gärgut aus der Biogasanlage auf dem Hofgelände von Faascht und dann von anderen Projektpartnern gewonnen.

Vor dieser Studie waren bereits andere Tests durchgeführt worden, um einen Teil der Abwärme aus Kraftwärmekopplungsanlagen, die in Methanisierern installiert sind, zurückzugewinnen.

Diese Kulturen, insbesondere Spirulina, stellen keine besonderen Probleme dar, da sie aus sauberem Wasser und Nährstoffen hergestellt werden, die keine Abwässer oder Nebenprodukte sind. Es wird dann nur die Abwärme genutzt.

Wir testeten drei verschiedene Stämme : Zwei klassische Stämme (*Scenedesmus und Chlorella*) sowie einen Stamm, der aufgrund seiner guten Anpassung an brackige Umgebungen ausgewählt wurde, und zeigten, dass unter bestimmten Bedingungen, insbesondere bei hohen Verweilzeiten, eine natürliche Bioflockung auftreten kann, die die Mikroalgensammlung erleichtert.

Wir haben auch gezeigt, dass es möglich ist, verschiedene Mikroalgenstämme auf flüssigen Fraktionen von Gärgut zu produzieren, die Nährstoffe wie N und P enthalten.

Wir haben auch einen weniger klassischen Stamm ausgewählt und identifiziert (*Desmodesmus*), der gut an Brackwasser wie das aus Fermentern angepasst ist.

Die Bilder oben zeigen das Versuchsgewächshaus, die drei Pilotreaktoren mit Airlift und künstlicher Beleuchtung.

Dagegen bleiben die erzielten Produktivitäten (in der Größenordnung von 1,3 g MS m^{-2} T^{-1}) ziemlich begrenzt und niedriger als die Produktivitäten, die für dieselben Stämme unter optimalen Bedingungen erzielt werden können. Tatsächlich benachteiligt der relativ hohe Salzgehalt des Gärguts sowie seine starke Färbung trotz des Einsatzes der Membrantechnologie die Photosynthese. In diesem Fall wäre es zur Verbesserung der Produktivität notwendig, an weniger konzentrierten Fraktionen und mit größerer Klarheit zu arbeiten.

Schließlich haben wir Methoden zur Messung von Massentransfers (Sauerstofftransfers, aber auch, viel heikler, CO_2-Transfers) an Pilotanlagen in den Faasch-Treibhäusern und anschließend an Großanlagen entwickelt. Dies ermöglicht die Dimensionierung von Anlagen mit einem Algenkanal, der mit einem Airlift gekoppelt ist, um den Energieverbrauch der Anlage zu reduzieren und die CO_2-Zufuhr zur Steigerung der Produktivität zu optimieren. Denn die Algenkultivierung im Chenal ist im Allgemeinen durch den Gehalt an anorganischem Kohlenstoff (CO_2) begrenzt. Eine Zufuhr von CO_2 ermöglicht dann eine Produktivitätssteigerung und bietet die Möglichkeit, eine Kohlenstoffsenke zu bilden.

Es ist anzumerken, dass im Persephone-Projekt die Algen nicht verwertet wurden, sondern ihr Energiegehalt bewertet wurde, da in diesem Fall die offensichtlichste Verwertung darin bestünde, die Algenbiomasse in den Fermenter zu geben, um die Biogasproduktion zu erhöhen und gleichzeitig das Abwasser aus dem Fermenter zu behandeln.

2. Inventar der Einheiten, die Mikroalgenkultur und Gaserzeugungseinheiten auf dem Gelände der Großregion kombinieren

Agria Grand Est

In der Großregion gibt es derzeit nicht viele Beispiele für eine Kopplung zwischen Biogaserzeugung und Mikroalgenkultur (bisher nur eine bekannt). Im gesamten Gebiet Kontinentalfrankreichs gibt es etwa knapp zehn solcher Anlagen.

Es ist interessant festzustellen, dass diese Einheiten viele Gemeinsamkeiten haben :

- Sie sind **neueren** Datums (2013 für die ältesten und weitere sind erst in Planung) ;
- sie sind **mit landwirtschaftlichen anaeroben Biogasanlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 160 - 250 kW verbunden;**
- sie verwenden ein **Verfahren zur Kultivierung von Mikroalgen in einem Gewächshausbecken** ;

- sie produzieren **Spirulina** ;
- das **verwendete Licht ist natürlich ;**
- sie nutzen **die Wärme der Gaserzeugung**, aber keine von ihnen verwendet Gärgut als Nährboden ;
- die angekündigten Erträge liegen zwischen **1 und 2 kg TM/m²/Jahr** ;
- die produzierten Mikroalgen sind auf den menschlichen Lebensmittelmarkt in kurzem Kreislauf ausgerichtet.

Das hiernach beschriebene Modell scheint für Methanisierungsanlagen vom Typ « Gaserzeugung im landwirtschaftlichen Betrieb » gut geeignet zu sein. Es kann jedoch sinnvoll sein, andere Modelle in Betracht zu ziehen, die an größere Einheiten (kollektive, industrielle oder territoriale Methanisierungseinheiten) angepasst sind. Denn höhere Mengen an verfügbarer Wärme könnten z. B. eine Größenordnung der Mikroalgenproduktion ermöglichen, die ausreicht, um die beachtlichen Anfangsinvestitionen für den Aufbau einer Photobioreaktorkultur zu rechtfertigen. Die besser kontrollierten Parameter dieser Kulturmethode könnten es wiederum ermöglichen, eine größere Stammvielfalt zu kultivieren und neue Absatzmöglichkeiten in Betracht zu ziehen.

3. Wissenschaftlicher und technischer Bericht über die Kultur von Mikroalgen auf Gärgut

Agria Grand Est

So haben alle untersuchten Publikationen gezeigt, dass die Verwendung von flüssigem Gärgut als Nährboden für Mikroalgen möglich ist und es ermöglicht, eine interessante Biomasse zu erhalten und gleichzeitig diesen Abfluss zu reinigen.

Die hohe **Trübung des Gärgutes**, die die Durchlässigkeit des einfallenden Lichtes verringert, sowie seine **hohe Konzentration an ammoniakalischem Stickstoff**, der bei hohen Werten für Mikroalgen toxisch ist, erfordern jedoch seine Verdünnung und/oder die Anwendung von Vorbehandlungen. Diese Vorgänge werden einen erheblichen Wasserverbrauch sowie beträchtliche Wirtschafts- und Energiekosten verursachen. Die ökologische und ökonomische Bilanz der Kultur wird dadurch negativ beeinflusst und das Interesse an der Verwertung des Abwassers verringert.

Es wurden nur wenige Arbeiten zu reinem Gärgut durchgeführt, aber die durchgeführten sind ermutigend und zeigen, dass dieser Weg noch erforscht werden muss, insbesondere durch den Einsatz von Mutantenstämmen.

Das Gärgut stellt ein weiteres Problem dar, nämlich das der Nährstoffbegrenzung : **Kohlenstoffbegrenzung** auf der einen Seite und **Phosphorbegrenzung** auf der anderen. Die Lösung dieses Problems durch Supplementierung wird die Produktivität und folglich die Reinigungseffizienz verbessern.

Insbesondere für Kohlenstoff wäre es interessant, ein Verfahren zur Anreicherung des Abwassers zu entwickeln, insbesondere durch Rückgewinnung des CO_2 aus der Gaserzeugung, um die Kosten und die Umweltbilanz zu optimieren.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die verfügbaren Ressourcen hauptsächlich Experimente beschreiben, die unter kontrollierten Bedingungen (Photobioreaktor) in kleinem Maßstab durchgeführt werden. Daher wird es wichtig sein, auch die Kultivierung von Mikroalgen auf Gärgut in großen Gewächshausbecken zu evaluieren.

Außerdem müssen bei kontinuierlichen Prozessen auch andere Parameter als die anfängliche Konzentration und Zusammensetzung des Gärgutes berücksichtigt werden, wie z. B. die Häufigkeit der Ernte und die geerntete Menge.

Aktion 5 : Gärrest und dessen Fraktionen als Ersatz chemischer Dünger; Auswirkung auf den Boden und die Wasserqualität

1. Gärrest und dessen Fraktionen als Ersatz chemischer Dünger

AGRA OST

Einleitung

Unser Düngeversuch wurde auf fünf verschiedenen Standorten durchgeführt. Diese verteilen sich über die unterschiedlichsten Gegenden der Großregion und vereinen eine Vielzahl klimatischer Bedingungen und Bodentypen. Die genaue Lage unserer Standorte im gemähten Dauergrünland sind nachstehend aufgeführt.

1. Grendel (Attert, BE)
2. Emmels (Saint-Vith, BE)
3. Steinborn (DE)
4. Erpeldange (LU)
5. La Bouzule (Nancy, FR)

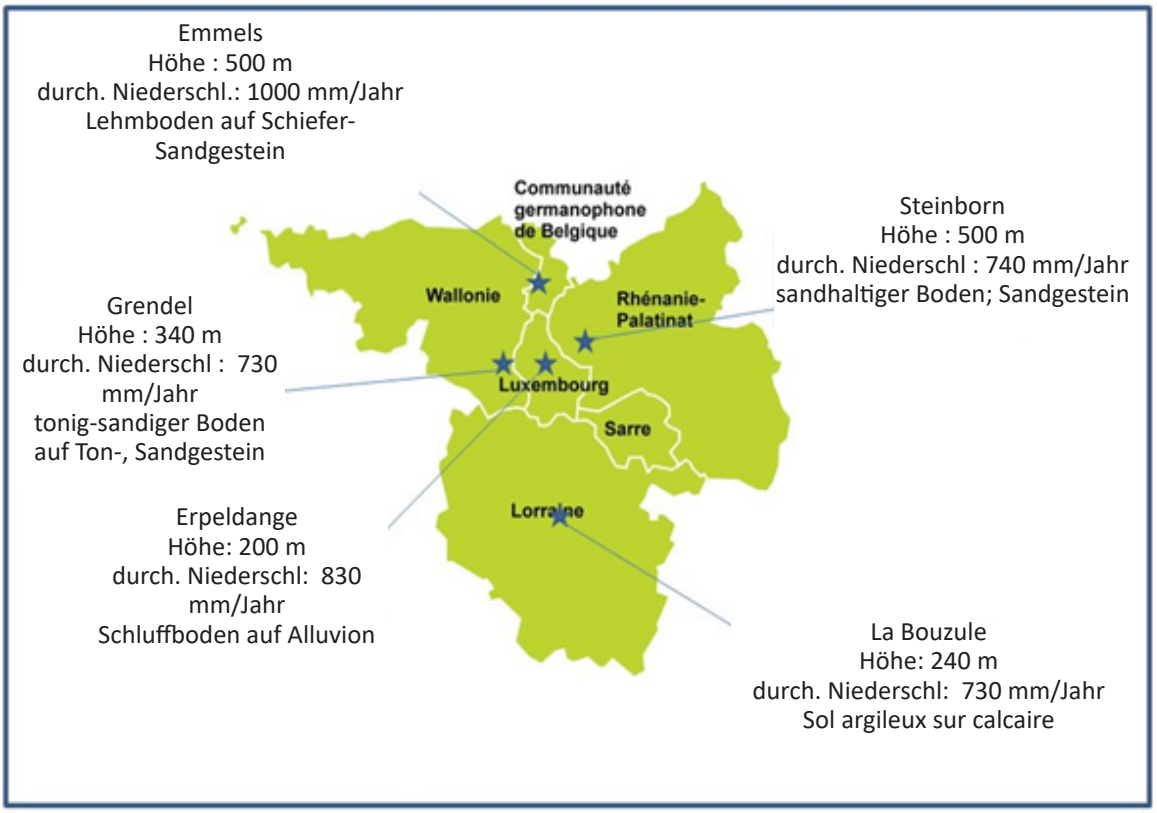


Abbildung 1 : Standort der agronomischen Versuche (Karte stammt von http://www.luxembourg.public.lu/fr/cartes-du-luxembourg/11-grande-region/index.html)

Vorherige Bewirtschaftung der Versuchsstandorte

Die meisten Feldversuche starteten Ende des Winters 2017. Der Standort Grendel-Faascht diente bereits seit 2014 als Versuchsstandort.

Auf dem französischen Standort La Bouzule sind zwei Versuchsparzellen angelegt worden :

- eine im Dauergrünland, welches bereits seit zahlreichen Jahren so genutzt wurde
- eine im Wechselgrünland, welche im Vorjahr als Mais bewirtschaftet wurde.

Die Standorte Grendel-Faascht, Emmels und Erpeldange sind im Dauergrünland angelegt.
Der Standort Steinborn liegt auf Wechselgrünland.

Bodeneigenschaften

Gegen Ende des Winters 2017 wurden Proben an den Stellen entnommen, die noch nicht durch die Versuche beeinflußt wurden.

Die Partikelgröße der Böden ist nachstehend dargestellt, mit Aufteilung zwischen Nutzschicht (0-30 cm) und tieferem Profil (60-90 cm).

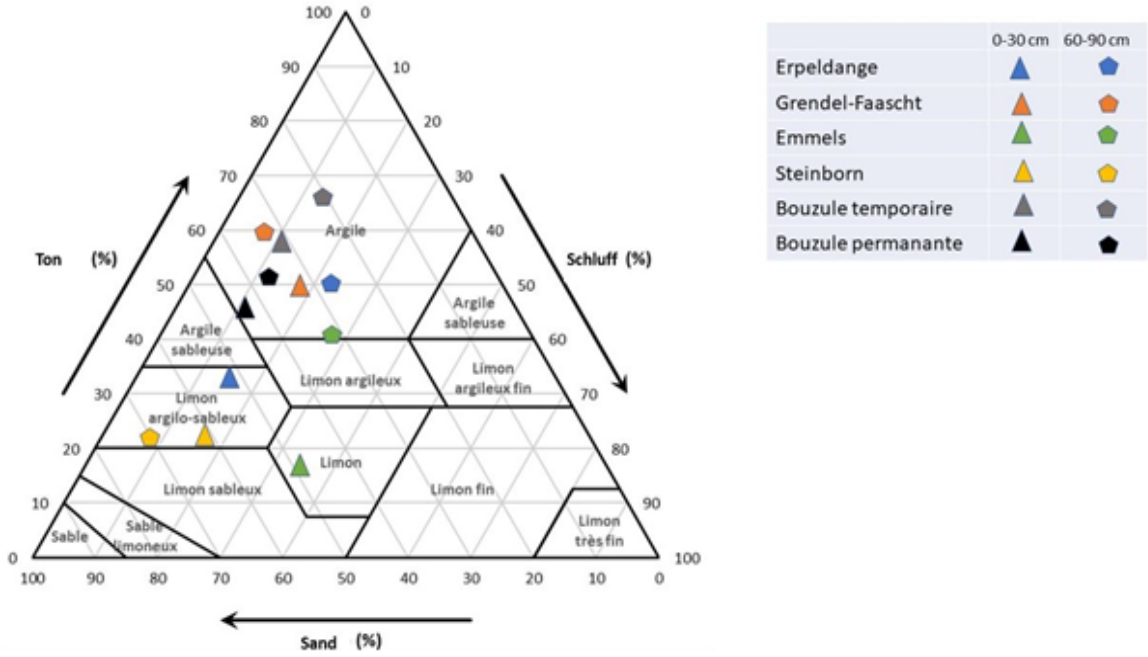


Abbildung 2 : Partikelgröße

Die Böden des Standortes in La Bouzule auf Kalksubstrat werden von Ton dominiert. Dies ist generell auch der Fall für die Böden in Grendel-Faascht, obwohl heterogene Zonen durch dazwischenliegende Sandschichten im Profil beobachtet werden.

In Erpeldange, auf einem Standort im Talgrund, der auf Alluvionsboden angelegt ist beobachten wir ebenfalls eine Heterogenität durch eine aus lehmig-sandigem Schluff bestehende Oberschicht des Profilbildes, welche in der Tiefe tonhaltiger wird und lokale Kiesschichten aufweist.,

Der Standort Steinborn befindet auf Sandstein und zeichnet sich daher durch sandigere Böden aus.

Der Boden in Emmels liegt auf Schiefer-Sandgestein, ist in Oberflächennähe schluffhaltiger und toniger in der Tiefe.

Die pH-Werte (H2O und KCl), ebenso wie die Kationenaustauschkapazität und der Basen-Sättigungswert wurden gemessen.

Boden (Tiefe in cm)	pH H_2O	pH $_{H2O}$ minus pH $_{KCl}$	pH KCl	KAK mmol/ kg	% Na	% K	% Mg	% Ca	Basensätti-gungswert %
Erpeldange (0-30)	6,6	1,4	5,2	30,7	0,7	0,7	2,6	19,9	24,0
Erpeldange (30-60)	7,2	2,0	5,3	28,5	0,9	0,6	1,9	14,6	17,9
Erpeldange (60-90)	7,4	1,8	5,6	30,2	0,7	0,7	2,6	12,8	16,8
Faascht (0-30)	7,2	1,8	5,4	25,0	0,9	0,9	4,9	17,9	24,7
Faascht (30-60)	7,7	3,0	4,7	27,6	0,7	0,8	3,4	11,6	16,5
Faascht (60-90)	7,2	3,1	4,1	29,4	0,3	0,9	3,6	9,2	14,0
Emmels (0-30)	6,5	1,8	4,7	20,4	1,5	2,1	5,0	27,2	35,7
Emmels (30-60)	5,8	1,1	4,7	20,2	1,2	0,7	2,4	14,7	19,0
Emmels (60-90)	5,6	0,8	4,8	20,3	0,5	0,7	2,6	13,8	17,6
Steinborn (0-30)	6,2	0,9	5,3	17,2	1,6	4,0	6,1	28,0	39,7
Steinborn (30-60)	6,0	1,0	5,0	15,9	1,6	3,3	5,2	23,3	33,4
Steinborn (60-90)	5,4	1,2	4,2	17,4	0,7	2,0	2,4	14,7	19,8
Bouzule Wechsel (0-30)	7,4	-0,1	7,5	25,1	0,5	1,9	1,3	51,9	55,5
Bouzule Wechsel (30-60)	7,7	0,1	7,6	21,2	0,7	1,5	1,6	61,3	65,1
Bouzule Wechsel (60-90)	7,8	0,2	7,6	17,1	1,5	1,5	2,9	92,6	98,5
Bouzule Wechsel (0-30)	7,6	0,5	7,1	18,4	1,1	4,3	2,8	83,3	91,6
Bouzule Wechsel (30-60)	7,9	0,5	7,4	17,2	2,4	4,0	2,2	78,0	86,6
Bouzule Wechsel (60-9)0	8,0	0,4	7,6	18,9	0,6	2,7	2,3	71,7	77,4

Abbildung 3 : Verhältnis pH – Basensättigungswert

Der Boden in La Bouzule zeichnet sich durch höhere pH-Werte (vor allem pH KCl), durch einen geringen Unterschied zwischen pH H2O und KCl und einen hohen Basensättigungswert, mit einem dominierenden Kalziumwert, aus. Dies ist bedingt durch das kalkhaltige Muttergestein.

Die Standorte Erpeldange und Faascht weisen pH H2O-Werte, die nahe der Neutralität liegen, weitaus saurere pH KCl-Werte, einen geringen Basensättigungswert und somit eine hohe Säurereserve auf.

Auf den Standorten Emmels und Steinborn verzeichnen wir leicht saure pH-H2O Werte, weitaus saurere pH KCl Werte einen geringen Basensättigungswert und somit eine hohe Säurereserve.

Die Stickstoff- und Phosphorgehalte, ebenso wie der Anteil organischer Materie wurden ermittelt.

Varianten

Auf den Versuchsstandorten testen wir bis zu 21 Varianten :

- Ohne Düngung (Zeuge)
- Referenz Gärrest (230 Einheiten N/ha)
- Lokaler Gärrest (230 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest flüssige Phase (230 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest feste Phase (230 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest Granulat (230 Einheiten N/ha)
- Lokale Rohgülle (230 Einheiten N/ha)
- Konzentrat Nano Filtration (230 Einheiten N/ha)
- Konzentrat inverse Osmose flüssig (230 Einheiten N/ha)
- Ammoniumnitrat (230 Einheiten N/ha)
- Lokaler Gärrest (350 Einheiten N/ha)

- Referenz Gärrest (350 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest (230 Einheiten N/ha) + Ammoniumsulfat (120 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest (230 Einheiten N/ha) + Ammoniumnitrat (120 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest (230 Einheiten N/ha) + Harnstoff (120 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest (170 Einheiten N/ha) + Ammoniumsulfat (60 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest (170 Einheiten N/ha) + Ammoniumnitrat (60 Einheiten N/ha)
- Referenz Gärrest (170 Einheiten N/ha) + Harnstoff (60 Einheiten N/ha)
- Ammoniumsulfat (350 Einheiten N/ha)
- Kalziumnitrat (350 Einheiten N/ha)
- Ammoniumnitrat (350 Einheiten N/ha)
- Harnstoff (350 Einheiten N/ha)

Die Bezeichnung “lokal” bedeutet, dass der Dünger aus der Nähe des Versuchsstandortes stammt. Die Gülle, die beispielsweise auf der Parzelle von Erpeldange ausgebracht wurde, stammt von einem Betrieb des Dorfes Erpeldange. Die lokale Gülle, die ausgebracht wird, unterscheidet sich somit jeweils von einem Standort zum anderen. Dieser Unterschied wird durch die Einbringung eines hygienisierten Referenz-Gärrestes und einer Analyse der unterschiedlichen Gülle ausgeglichen, damit auf jedem Standort eine gleichbleibende Menge Stickstoff ausgebracht wird.

Nicht alle Varianten sind auf den verschiedenen Standorten angelegt. Die Varianten, die auf allen Standorten getestet werden sind :

- Ohne Düngung (Zeuge)
- Referenz Gärrest (230 Einheiten N/ha)
- Lokaler Gärrest (230 Einheiten N/ha)
- Lokale Rohgülle (230 Einheiten N/ha)
- Ammoniumnitrat (230 Einheiten N/ha)

Die Resultate dieser Varianten werden hier erläutert.

Bewirtschaftung der Parzellen: Düngung und Ernte

Die Dünger werden auf vier Gaben aufgeteilt (eine Ausbringung nach jedem Schnitt), so wie hier dargestellt :

Ausgebrachte Dosis	Düngung			
	Gabe 1	Gabe 2	Gabe 3	Gabe 4
230 Einheiten N/ha	100 U	45 U	40 U	45 U
350 Einheiten N/ha	100 U	100 U	100 U	50 U
170 Einheiten Norg/ha + 60 Einheiten Nmin/ha	100	35	0	35
	0	10	40	10
230 Einheiten Norg/ha + 120 Einheiten Nmin/ha	100 U	45 U	40 U	45 U
	0 U	50 U	60 U	10 U

Legende: N/ha = Gesamtstickstoff pro Hektar ; Norg/ha = organischer Stickstoff pro Hektar ; Nmin/ha = mineralischer Stickstoff pro Hektar

Vorteile der organischen Düngung

Neben der direkten Düngewirkung, liefert die organische Materie die weiteren Nährstoffe, die für die Pflanzen essentiell sind. Die Zusammensetzung der Gülle und Gärreste stehen in nachfolgender Tabelle. Wir haben die Grunddüngung durch die ausgebrachte Gülle und Gärreste ebenfalls berechnet.

Die Selbstkosten und die Einsparung der Kosten der Grunddüngung führen dazu, dass der Einsatz organischer Materie bei weitem rentabler ist als chemische Düngung (Ammoniumnitrat).

Düngung von 230 Einh.N	Rindergülle	Gärrest	Ammoniumnitrat
Ausgebrachte Nährstoffe in kg pro Tonne Frischmasse			
TM %	7,7	6,3	
Gesamt (Kg/t)	3,5	5,3	270
P2O5 (Kg/t)	1,8	2	
K2O (Kg/t)	4,1	4	
CaO (Kg/t)	2,1	2,5	
Agronomischer Wert/Tonne Frischmasse	7,72 €	8,36 €	200 €
Auszubringende Menge	65,7 m³/ha	43,4 m³/ha	851 kg/ha
Kosten der Ausbringung	2,3 €/m³ (Injektion)	2,3 €/m³ (Injektion)	25 €/ha
Finanzielle Kosten für eine Ausbringung 230 Einheietn	151 €	100 €	195 € (170 + 25 €)
Ersparnis pro ha an Grunddüngung (P2O5, K2O, CaO)	347 €	242,8 €	0,00 €
Dies entspricht	entweder 118 u de P2O5, 270 u de K2O, 137 u de CaO 170 VN	entweder 87 u de P2O5, 173 u de K2O, 108 u de CaO 140 VN	
Ertrag TM	6,0 t/ha	6,2 t/ha	7,3 t/ha
Kosten pro erzeugte Tonne Trockenmasse	25 €	16 €	27 €

Ergebnisse

Auf nachstehender Abbildung 4 ist ersichtlich, dass die allgemeinen Tendenzen auf den verschiedenen Standorten identisch sind. Wir stellen fest, dass die Ammoniumnitrat - Variante die mit der höchsten Futterproduktion ist. Diese Variante produziert durchschnittlich 1 T TM mehr, als die Varianten mit organischer Düngung. Innerhalb der Varianten mit organischer Düngung, liefern die Gärreste -lokal oder Referenz-Gärrest- höhere Erträge mit 0,5 T TM mehr, als die Gülledüngung. Die Zeugen-Parzellen sind allgemein um 1 bis 2 Tonnen TM weniger produktiv als die gedüngten Varianten.

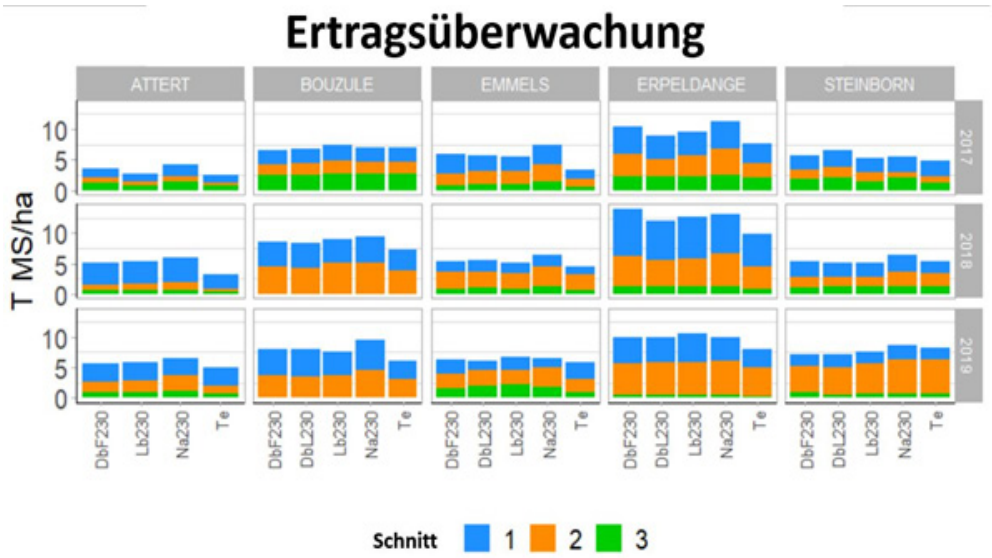


Abbildung 4 : Ertrag in T TM pro Hektar je nach Düngung. Mit Ausnahme des Zeugen wurden alle Parzellen mit 230 Einheiten N/ha gedüngt

Was den Proteingehalt des Futters angeht, sind die mit Gärrest gedüngten Varianten proteinhaltiger als der Zeuge und erreichen ähnliche Werte, wie das Ammoniumnitrat (+- 14%). Die mit Gülle gedüngten Varianten erzielen die höchsten Proteingehalte (15 %).

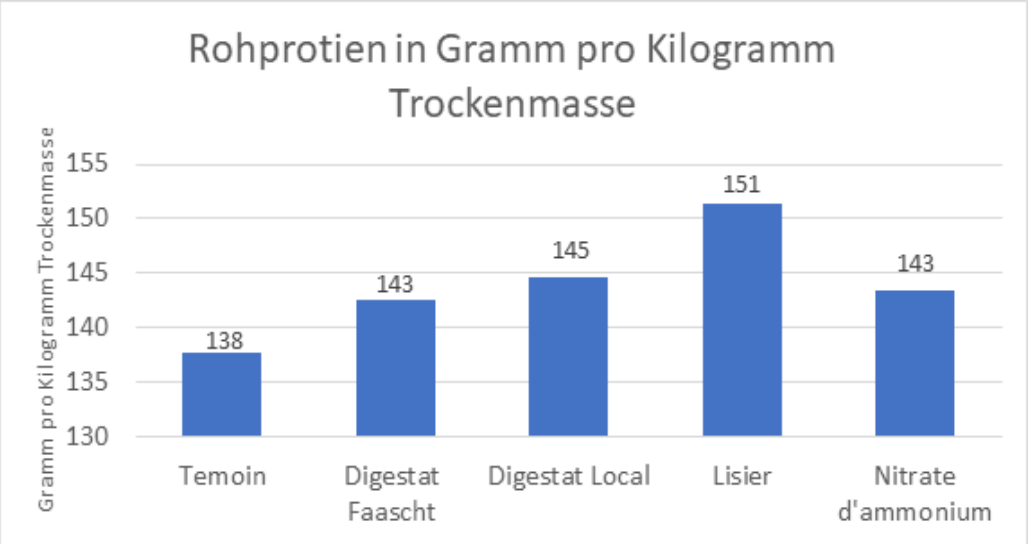


Abbildung 5 : Rohprotein in Gramm pro Kilogramm Trockenmasse (Jahr 2017)

Die Effizienz bezieht sich auf die exportierte Menge Stickstoff im Vergleich zur ausgebrachten Menge Stickstoff. Die Effizienz des Gärrestes liegt leicht über der der Effizienz Gülle. Die durchschnittlichen Werte belaufen sich auf 15 %. Dies ist dennoch halb so hoch wie die Effizienz des Ammoniumnitrats. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer Ausbringung von Gärrest bei angepassten Wetterbedingungen, um die Verflüchtigungsverluste des Ammoniaks zu verringern.

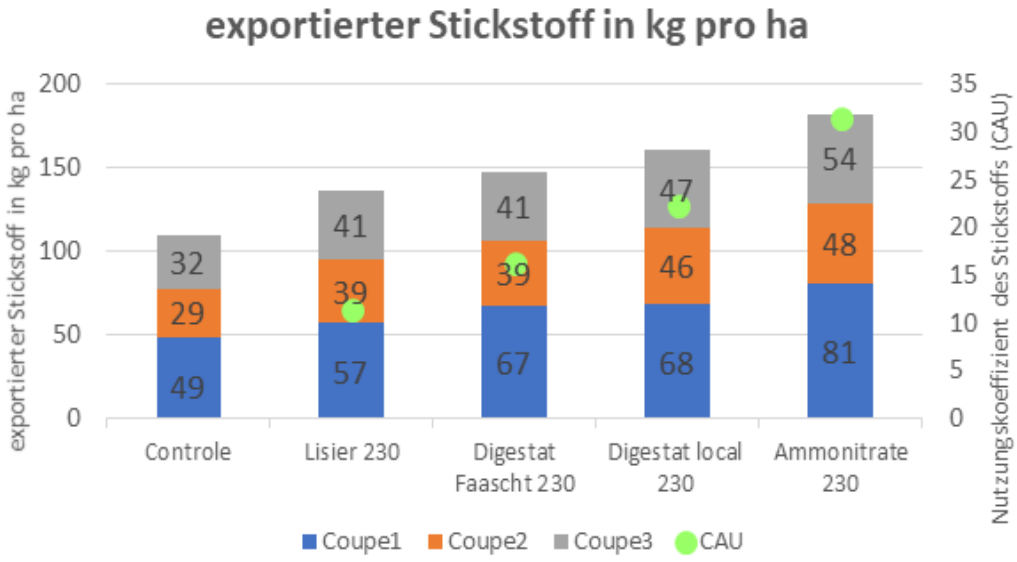


Abbildung 6 : exportierter Stickstoff und Nutzungskoeffizient der Düngung in % (Jahr 2017)

Die erzielten Ergebnisse zum potentiell auswaschbaren Stickstoff (PAS) sind sehr interessant. Die Ausbringung von Gärrest, selbst bei einer übermäßigen Düngung, führt in der Tat in keiner Weise zu einer signifikativen Erhöhung der PAS-Werte (durchschnittlich 40 kg N-NO3-) im Vergleich zum Zeugen (durchschnittlich 35 kg N-NO3-). Im Gegensatz zur chemisch gedüngten Variante, die die höchsten PAS-Werte von 70 kg N-NO3- verzeichnet, werden durch die Gülle lediglich mittlere Werte erzielt.

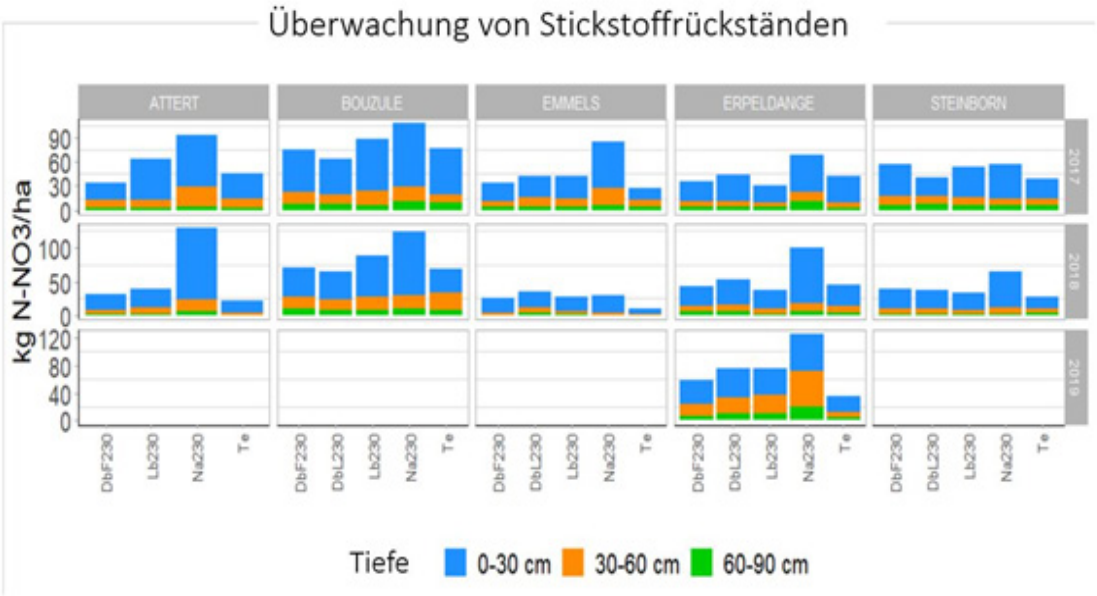
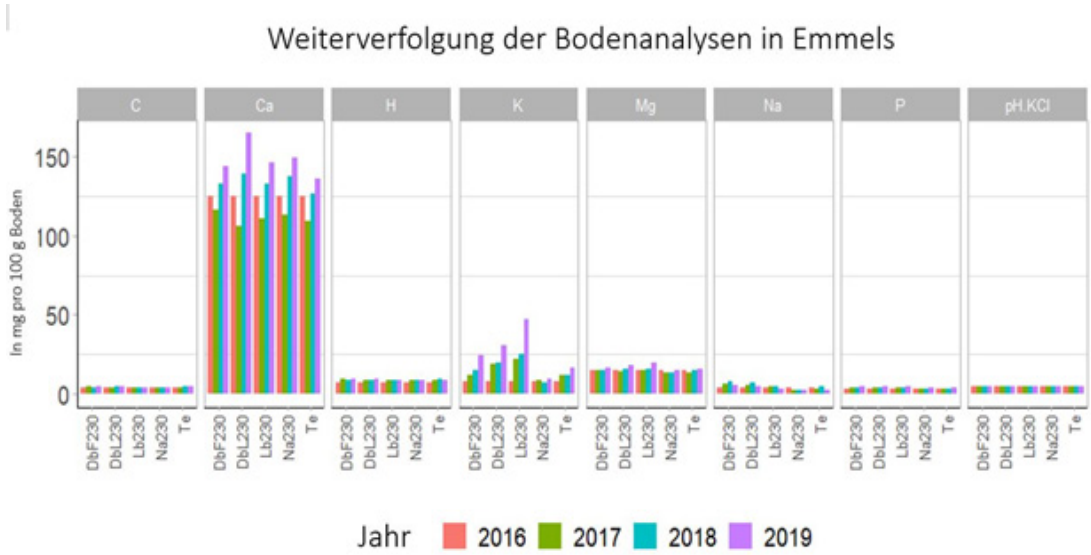


Figure 7 : Überwachung von Stickstoffrückständen kg de N-NO3-

Entwicklung der Bodennährstoffe :



Der Einsatz organischer Materie, insbesondere Gärrest ermöglicht eine Erhöhung der Gehalten an Ca, K, Mg und Na im Boden. Diese Erhöhung der Werte ist gewiss ein Vorteil, der es ermöglicht die zusätzliche Grunddüngung, über die klassische Düngung hinaus, zu reduzieren. Eine Tendenz, wenngleich noch gering, geht in Richtung einer Erhöhung des Kohlenstoffgehalts im Boden. Ein höherer Kohlenstoffgehalt im Boden ermöglicht eine bessere Trockenheitsresistenz und gewährleistet somit eine Futterproduktion unter schwierigeren klimatischen Bedingungen.

2. Auswirkungen auf die Wasserqualität

ULIÈGE

Poröse Kerzen sind Hilfsmittel, die interstitielles Wasser aus dem Boden sammeln (Abbildung 1). Mit Hilfe einer Vakuumpumpe wird in der Kerze ein Vakuum erzeugt. Ein mit einem Schlauch versehener Stopfen, der gequetscht wird, sobald das Vakuum erzeugt wird, hält das Vakuum in der Kerze aufrecht. Das keramische Ende der Kerze saugt Wasser aus dem Boden, das dann mit einem starren Schlauch, der mit einer Sammelflasche verbunden ist, aufgefangen wird. In dieser Flasche wird ein Vakuum erzeugt, das es ermöglicht, das Wasser aufzusaugen. Die in diesem Wasser vorhandenen Nitrate werden im Labor dosiert.

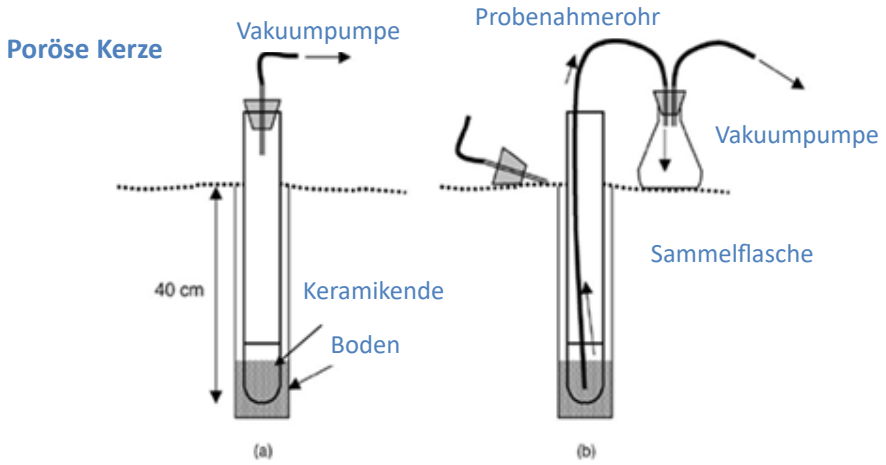


Abbildung 1 Schematische Darstellung einer porösen Kerze (https://www.fire.upmc.fr/abac/?q=node/2)

Zu Beginn des Projekts war das Versuchsprotokoll anspruchsvoll. Auf dem Testgelände in Faascht wurden zu viele Kerzen aufgestellt, so dass die Probenahme nicht an einem Tag durchgeführt werden konnte. Die Ergebnisse zeigen, dass das Protokoll nicht geeignet war (Abbildung 2) : Es fehlten viele Daten und die Ergebnisse waren heterogen. Bei diesen ersten Messkampagnen konnten weder saisonale Trends noch der Einfluss von Varianten festgestellt werden.

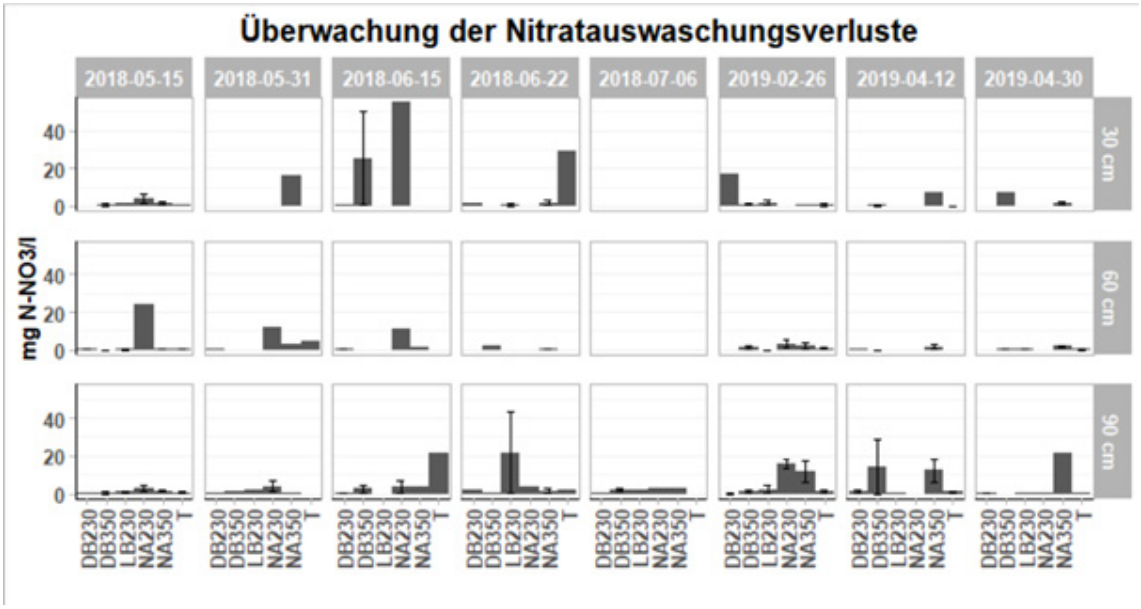


Abbildung 2 Verfolgung der Nitratauswaschungsverluste zu Beginn des Projekts. DB230 = Rohgärrest 230 N-Einheiten; DB350 = Rohgärrest 350 N-Einheiten; LB230 = Gülle 230 N-Einheiten; NA230 = Ammonitrat 230 N-Einheiten; NA350 = Ammonitrat 350 N-Einheiten; T = Kontrolle

Das Protokoll ist daher überarbeitet worden. Die Anzahl der verfolgten Varianten wurde auf 6 reduziert, so dass insgesamt 54 Kerzen beibehalten werden müssen. Die Wartung und die Probenahme der Kerzen konnten so an einem Tag durchgeführt werden. Im Feld war die erste Beobachtung eine Verringerung der Verschmutzung der Kerzen, wodurch die externe Kontamination des entnommenen Wassers verringert werden konnte.

Die nach der Änderung des Protokolls gesammelten Daten ergaben Ergebnisse, die für jede Probenahmekampagne ähnliche Trends zeigten (Abbildung 3) :

- Im Herbst 2019 waren die erzielten Werte wesentlich höher. Zu dieser Jahreszeit tritt die Vegetation in eine Phase der Verlangsamung ihrer Entwicklung ein, was einen Rückgang des Nährstoffverbrauchs impliziert. Ein Eintrag von Stickstoff in Form von Nitrat zu dieser Jahreszeit erhöht das Risiko von Nitratverlusten durch Auswaschung erheblich. Ein organischer Dünger muss mineralisiert sein, dazu muss der Boden warm sein, damit die Bodenmikroorganismen aktiv bleiben können. Dies sind die optimalen Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Im Spätwinter

und Frühjahr (Januar 2020 bis März 2020) werden die höchsten Nitratkonzentrationen in einer Tiefe von 90 cm gefunden. Dieser Zeitraum entspricht der Wiederaufnahme der Vegetation, die Pflanzen pumpen die Nährstoffe, die sie für den Wachstumsbeginn benötigen. Die Pflanzen nehmen die Nährstoffe in den ersten Zentimetern des sich erwärmenden Bodens auf und ermöglichen so die Mineralisierung des für die Wurzeln verfügbaren Stickstoffs. Zudem wird im Winter in den tiefen Bodenschichten durch Starkniederschläge und Inaktivität der Vegetation Stickstoff ausgewaschen. Der bei 90 cm gefundene Stickstoff ist die wahrscheinliche Folge dieses Phänomens.

– Es scheint, dass die 350-Einheiten-Ammoniumnitrat-Varianten für die höchsten Nitratkonzentrationen verantwortlich sind. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen, die mit den APL erzielt wurden. Die Erklärung kommt von einer Überdosierung dieser Dünger zu einem Zeitpunkt, als die Pflanze sie nicht brauchte, da die Bodenaktivität ausreicht, um den Stickstoffbedarf der Pflanze zu decken.

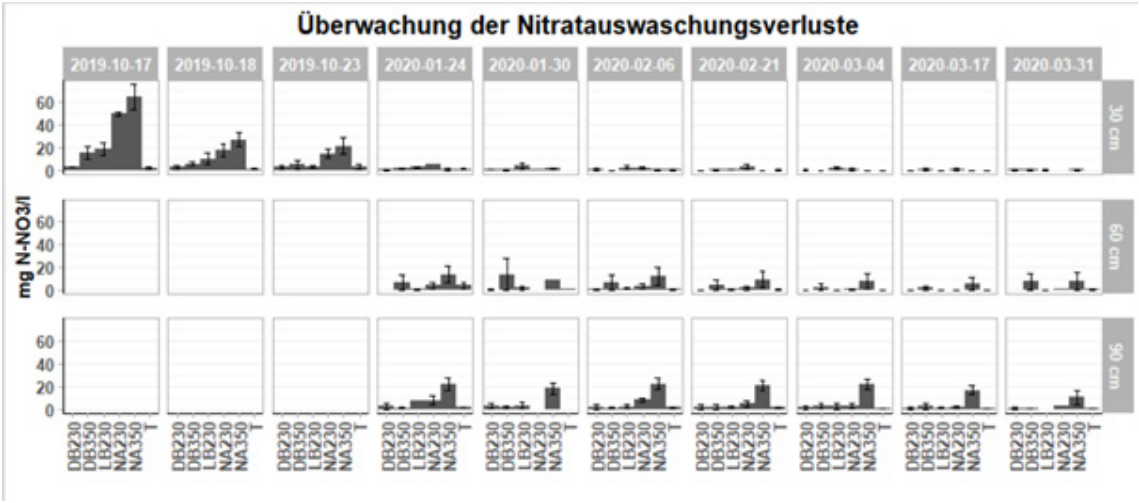


Abbildung 3 Überwachung der Nitratauswaschungsverluste nach Änderung des Versuchsprotokolls. DB230 = Rohgärrest 230 Einheiten Stickstoff; DB350 = Rohgärrest 350 Einheiten Stickstoff; LB230 = Gülle 230 Einheiten Stickstoff; NA230 = Ammonitrat 230 Einheiten Stickstoff; NA350 = Ammonitrat 350 Einheiten Stickstoff; T = Kontrolle. Für die Daten 17.10., 18.10. und 23.10.2019 fehlen die Daten für Tiefen von 60 und 90 cm aufgrund des durch die sommerliche Dürre verursachten Wassermangels.

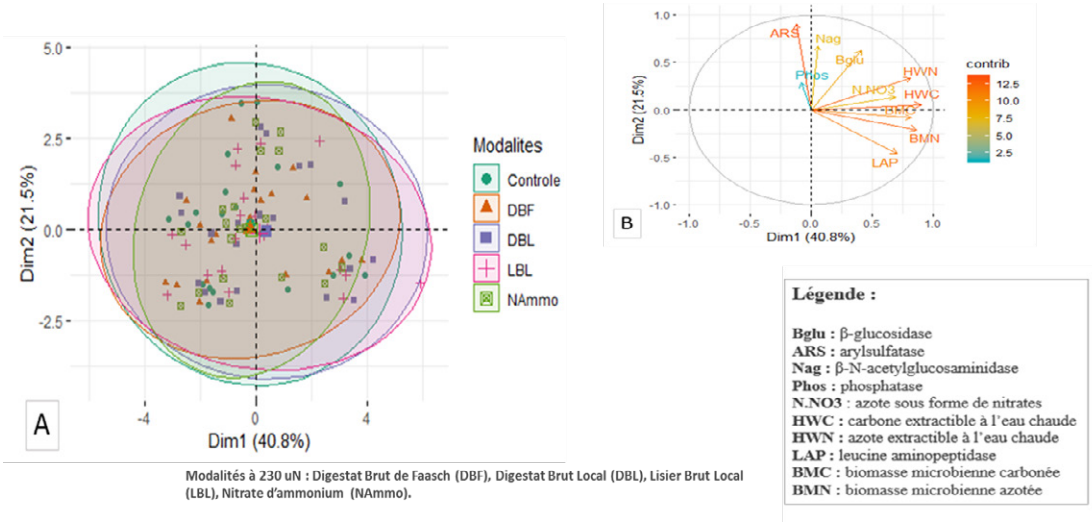
In den letzten beiden Jahren (2019 und 2020) ist ein zusätzliches Problem erschienen: der Wassermangel im Frühjahr und Sommer. Daher war die Entnahme des Wassers aus den porösen Kerzen für diese Zeiträume, insbesondere von April 2019 bis Oktober 2019, unmöglich.

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sollte die Nitratkonzentration bei Wasser für den menschlichen Gebrauch 50 mg/l nicht überschreiten, um negative Auswirkungen auf die Gesundheit zu vermeiden. Die Konzentrationen von 20 mg/l, die im Frühling in tiefen Schichten auf mit Ammoniumnitrat gedüngten Parzellen gefunden wurden, werfen Fragen über das Risiko der Trinkwasserverschmutzung auf. Was die organischen Varianten betrifft, so wurden keine potenziell problematischen Konzentrationen für das Grundwasser festgestellt.

3. Auswirkungen auf die mikrobielle Funktion des Bodens

ULORRAINE - ENSAIA

Um die Funktionsweise des Bodens zu charakterisieren, beobachteten wir zweimal jährlich verschiedene Indikatoren, die sich auf die Größe des mikrobiellen Kompartiments beziehen (kohlenstoff- und stickstoffhaltige mikrobielle Biomasse), seine Aktivität (Marker-Enzyme, die an der Mineralisierung der organischen Substanz in Verbindung mit Kohlenstoff-, Stickstoff-, Schwefel- und Phosphorkreisläufen beteiligt sind) sowie die extrahierbaren Pools des gesamten Kohlenstoffs und Stickstoffs (leicht für das Wachstum der Bodenmikroorganismen verwendbar) sowie Mineralstickstoffs (einschließlich Nitrat- und Ammoniumionen, die für das Wachstum von Pflanzen und Mikroorganismen unerlässlich sind).



Modalités à 230 uN : Digestat Brut de Faasch (DBF), Digestat Brut Local (DBL), Lisier Brut Local (LBL), Nitrate d'ammonium (NAmmo).

Figur 3 : Analyse in den Hauptkomponenten (Dimensionen 1 und 2), durchgeführt an den 5 Düngungsmodalitäten für alle Standorte im März 2019. Die Individuen werden auf Grafik A nach der illustrativen Variablen « Befruchtungsmodalität » gruppiert und die Konstruktionsvariablen des faktoriellen Plans werden auf dem Korrelationskreis auf Grafik B dargestellt.

Figur 3A, die die Positionierung der Individuen im faktoriellen Plan hervorhebt, die durch alle gemessenen Variablen bestimmt wird (Figur 3B), zeigt, dass nicht alle Individuen nach den gleichen Koordinaten auf den beiden Achsen des faktoriellen Plans angeordnet sind. Die Kreise entsprechen dem Konfidenzintervall der Werte, die von den Individuen, die zu jeder Befruchtungsmodalität gehören, eingenommen wurden. Diese Kreise überschneiden sich, was darauf hindeutet, **dass es nach zwei Jahren Versuchsaufbau noch nicht möglich ist, einen Effekt der Düngungsmodalitäten auf die mikrobielle Funktionsweise des Bodens zu unterscheiden, zumal der Effekt der pedoklimatischen Bedingungen größer ist als der des Düngungsregimes. Die Anwendung von Gärgut hat nach den ersten beiden Düngenskampagnen keine schädlichen Auswirkungen auf die mikrobielle Funktion des Bodens**.

Aktion 6 : Einführung von Ökosystemdienstleistungen und Verbesserung des Wasserschutzes durch Biogas

IZES

1. Einleitung

Biogasanlagen zählen zu den Hauptstromproduzenten im Bereich der Biomassenutzung. Einhergehend mit dem Zubau von Biogasanlagen stieg auch deren Bedeutung in der Landwirtschaft. Heute ist die Biogasproduktion eng mit dem ländlichen Raum verknüpft. Die Erzeugung von Biogas kann zu direkten und indirekten Veränderungen im ländlichen Raum führen, da Natur, Boden, Wasser und Landschaft vom Anbau, der Nutzung und der Verwertung von Pflanzen zur Biogasgewinnung betroffen sind. Durch die Integration von Biogas in die landwirtschaftliche Produktion können viele Schutzfunktionen verbessert werden.

2. Ökologische Stärken und Schwächen von Biogas

Mit Bezug auf die Biogasproduktion wird regelmäßig von einem Rückgang der Biodiversität gesprochen. Dies ist jedoch nicht zwangsläufig der Fall, denn auch der Anbau von Biomasse kann zur Erhaltung von Biodiversität beitragen. Das Spektrum der für die Biogasproduktion einsetzbaren Pflanzen ist dabei breiter, als derzeit auf Grund ökonomischer Zwänge genutzt wird Ökosystemdienstleistungen stellen dabei den Zusammenhang zwischen den ökologischen Leistungen für das menschliche Wohlergehen her, um somit die Wirkung des menschlichen Handelns auf das Ökosystem zu verdeutlichen (Bouwma et al. 2018).

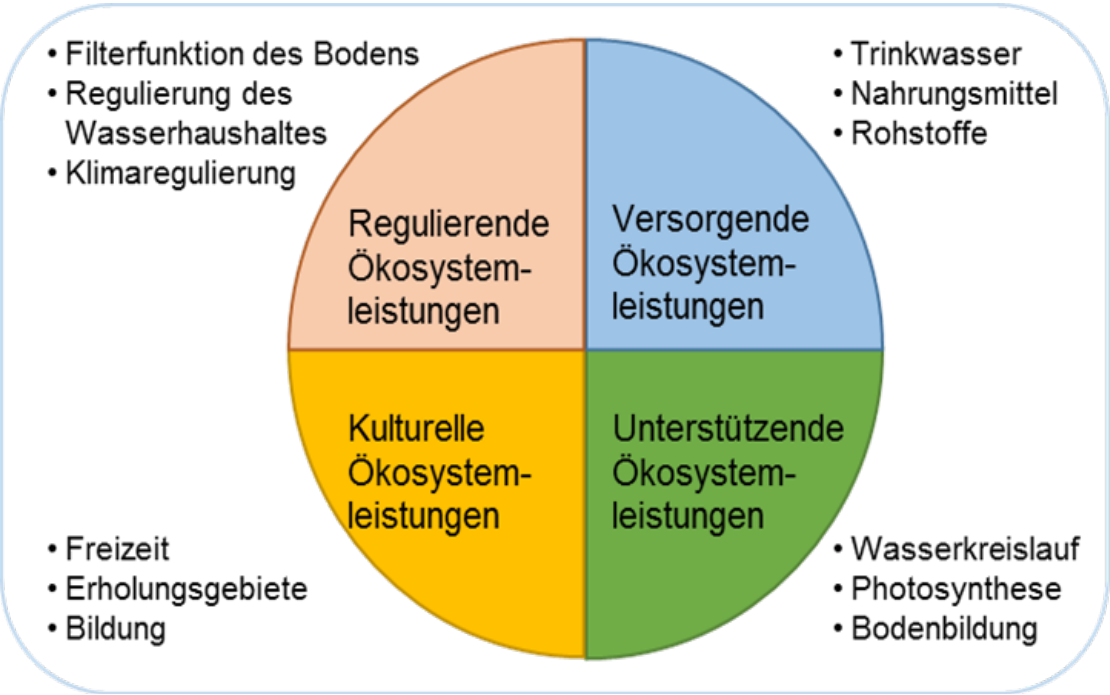


Abbildung 1 Schaubild Ökosystemdienstleistungen (basierend auf Daily 1997)

Besonders deutlich werden diese Effekte bei der Herstellung der Substrate, dem Produktionsverfahren und dem Gärrestmanagement. Die Wirkungen können jeweils positive aber auch negative Einflüsse auf die Ökosystemdienstleistungen haben. Die Ausprägung der Wirkung hängt stets von der Handhabung ab und häufig können fehlerhaftes Handling von Substraten, Gärresten sowie Produktionsfehler bei der Herstellung von Biogas zu negativen Auswirkungen führen. Bei einer Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsregeln treten die positiven Wirkungen der Biogasnutzung deutlicher hervor.

Betrachtet man die ökologischen Einflüsse von Biogas auf den ländlichen Raum, ergeben sich je nach Fragestellung und Betrachtungsraum unterschiedliche Antworten. Um die tatsächliche Wirkweise von Biogas im ländlichen Raum zu beschreiben, sind ökologische Stärken und Schwächen zu definieren.

Prinzipiell sind ökologischen Stärken und Schwächen von Biogas in annähernd gleicher Anzahl vorhanden (siehe Abbildung 2). Die meisten Schwächen treten jedoch hauptsächlich auf, wenn der Anbau von Substraten in Monokulturen stattfindet, die Biogasproduktion nicht korrekt abläuft und Gärreste nicht sorgfältig ausgebracht werden.

Viele der Nachteile einer Biogasproduktion lassen sich verhindern, wenn nachhaltig gehandelt wird. Auch im Rahmen des EEG sind Nachhaltigkeitsgrundsätze festgelegt, die dazu dienen die ökologischen Schwächen von Biogas möglichst gering zu halten. Werden diese Anforderungen beachtet, überwiegen die ökologischen Vorteile für den ländlichen Raum. Auch werden durch monetäre Anreize im Rahmen des EEG versucht, den Anbau und die Nutzung von Substraten zu steuern.

Insgesamt lassen sich diese Stärken als Systemdienstleistungen zusammenfassen, da Biogas nicht nur zur Energieproduktion wichtig ist, sondern weitere Funktionen für andere Teilbereiche und Ökosysteme erfüllt.

	Ökologische Stärken	Ökologische Schwächen
Inputmaterialien	Energiepflanzenanbau als Monokultur: • neue Absatzmärkte für landwirtschaftliche Produkte Nutzung von kommunalen Abfällen und Wirtschaftsdünger zur Energieerzeugung: • Beitrag zu einer Kreislaufwirtschaft • Kaskadennutzung (zuerst energetisch, dann als Düngermittel) trägt zu der regionalen Wertschöpfung bei • Verminderung der Emissionen, die zuvor durch die Lagerung von Wirtschaftsdünger entstanden	Energiepflanzenanbau als Monokultur: • Gefahr der Bodenerosion und des Auswaschens von Nährstoffen • erhöhtes Risiko von Schädlingsbefall • Abnahme von Biodiversität • Bodenmüdigkeit • Auswirkungen auf den Wasserhaushalt • Abbau von Humusschichten • Flächenkonkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion • Veränderung der Transpiration und des Reflexionsvermögen der Sonneneinstrahlen durch den Umbruch von Dauergrünland und die folgenden Auswirkungen auf das regionale Klima
Ausbringung der Gärreste	• eine geringere Geruchsbelästigung als bei Ausbringung von Gülle • Abtötung von Unkrautsamen und Krankheitskeimen • Verringerung der Überdüngungsgefahr durch und ein positiver Effekt auf die Grundwasserqualität • bessere Verfügbarkeit des Stickstoffs in Form von Gärresten als in Form von Gülle	• THG Emissionen und Nährstoffauswaschung durch nicht sorgfältige Ausbringung

Abbildung 2 Ökologische Stärken und Schwächen der Biogasproduktion (IZES 2018)

3. Möglichkeiten zur Integration von Wasserschutz in die Substratgewinnung für Biogas

Biogasanlagen entwickelten sich in den letzten Jahren zu einem zentralen Bestandteil der Energiewende. Im Zuge dessen stieg aber auch der Bedarf an landwirtschaftlicher Fläche für die Biogasanlagen und damit die Diskussion über die Folgen des Substratanbaues. Insbesondere Bodenerosion und eine hohe Belastung des Grundwassers mit Nitrat werden mit der Landwirtschaft und insbesondere mit Mais in Verbindung gesetzt (Linhart und Dhungel, 2013). Für die Biogasproduktion wurden 2019 in Deutschland auf rund 1,55 Mio. ha Substrate für Biogasanlagen angebaut (BMEL 2020). Dabei stellt Mais mit 62% der Flächen die wichtigste Energiepflanze dar. Auf Grund seiner guten Eigenschaften zur Biogasproduktion (geringe spezifische Anbaukosten, hoch optimierte Anbautechniken, Zuchtfortschritt) ist ein Ersatz durch andere Pflanzen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur schwer realisierbar. Jedoch offenbarten sich durch den Anbau von Mais in der Vergangenheit mehrere Probleme. Diese reichen von der Erosionsgefahr durch das langsame Auflaufen der Pflanzen im Frühjahr, Akzeptanzproblemen in der Öffentlichkeit (Rüskamp 2010) bis hin zu einem hohen Düngeeinsatz, der für die Nitratbelastungen im Grundwasser mit verantwortlich gemacht wird (Buttlar und Willms 2016). In Folge hoher Nitratbelastungen im Grundwasser müssen im Zuge der Trinkwasserbereitstellung kostenintensive Anlagen zur Nitratentfernungen bereitgestellt werden. Mittels eines potenziellen Finanzierungsansatz sollen die Kosten für die Trinkwasseraufbereitung mit eingesparten Gewässerbelastungen (N,P), durch die Integration einer Biogasanlage mit optimiertem Substratanbau und Gärrestmanagement verglichen werden.

Vielversprechend hat sich in den letzten Jahren die durchwachsene Silphie gezeigt. Als mehrjährige Leguminose kann sie selber Stickstoff im Boden binden und sich positiv auf Bodelebewesen und die Bodenfruchtbarkeit auswirken. Als Alternative für Mais überzeugt die durchwachsene Silphie mit hohen Mengen und Methanerträgen und eignet sich somit gut als Substrat in Biogasanlagen. Versuche haben aber auch gezeigt, dass bei der Erzielung hoher Erträge diese Pflanzen, wie andere auch, mit der Nitratgabe korrelieren (LTZ 2012). Im Projekt Persephone wurde ermittelt wie hoch der Anteil der Aufbereitungskosten is, die durch die Landwirtschaft verursacht werden und wie diese mittels eines alternativen Substratanbaus reduziert werden können. Am Beispiel einer Biogasanlage mit 500 kWel. Bemessungsleistung und 4.700 Produktionsstunden wurden unterschiedliche Optimierungsmodelle berechnet. Dabei hat sich gezeigt, dass bezogen auf die produzierte Kilowattstunde(el.) nur ein Anteil von max. 0,33 Cent auf Seiten der Wasserwirtschaft eingespart werden bzw. von dieser erstattet werden kann. Hierbei zeigte sich, dass im besten Fall, die Fläche wie im Referenzszenario (Mais) beibehalten wird und zugleich aber die Anlage auf den verringerten Energieertrag des neuen Substratmixes optimiert wird. Dadurch entstehen Mehrkosten von 2,18 Cent/kWhel.. Im Großteil der Regionen sind die Aufbereitungskosten nicht so hoch, als dass sich darüber der alternative Anbau bezahlt macht. Dennoch kann das Modell in Regionen, die eine hohe Nitratbelastung im Grundwasser aufweisen, von Interesse sein bzw. ist hier eine wirtschaftliche Umsetzung des Modells möglich. Gleiches gilt auch für Gebiete, in denen das Grundwasser ein wichtiger Wirtschaftsfaktor ist. Hier ist die Getränkeindustrie zu nennen, die aufgrund höherer Verkaufswerte des Wassers und zusätzlichen positiven Werbefaktoren Potential besäße, einen alternativen Substratanbau zu fördern (vgl. BfN 2009).

4. Fazit

Die Landwirtschaft und damit auch die Biogaserzeugung hat die Chance, einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Gewässerqualität zu leisten. Da in Biogasanlagen nahezu jegliche Biomasse vergoren werden kann, sind diese geradezu prädestiniert eine weite und variable Fruchtfolge zu nutzen. Durch eine vielfältige Fruchtfolge, in der auch Mais einen geeigneten Platz findet, lässt sich zudem die Erosionsgefahr mindern. Der Schutz des Wasserkörpers ist eine wichtige Aufgabe der Landwirtschaft und durch die Integration von Biogas in die landwirtschaftliche Produktion können viele Schutzfunktionen verbessert werden. Umso mehr gilt es auch für die Biogasbranche, Maßnahmen umzusetzen, die den Zustand der Gewässer verbessern. Ein potenzieller Finanzierungsansatz könnte die Einsparung von Kosten für die Trinkwasseraufbereitung durch die Integration einer Biogasanlage mit optimiertem Substratanbau und Gärrestmanagement sein.

5. Referenzen

BfN (2009): Wasserversorgungsunternehmen bezahlen Landwirte für grundwasserschonende und biodiversitätsfreundliche Landbewirtschaftung, Bundesamt für Naturschutz, 13. Mai 2009, Bonn https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/oekonomie/dokumente/topf_schweppe-kraft_2009_pes_water.pdf [16.07.2019]

BMEL (2020): Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten 2019, 62. Jahrgang Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn

Bouwma, Irene; Schleyer, Christian; Primmer, Eeva; Winkler, Klara Johanna; Berry, Pam; Young, Juliette et al. (2018): Adoption of the ecosystem services concept in EU policies. In: Ecosystem Services 29, S. 213–222.

Buttlar, C. von; Willms, M. (2016): Bewertung des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. In: Berichte über Landwirtschaft 94 (2). DOI: 10.12767/buel.v94i2.121.g293.

Linhart, E., A.-K. Dhungel (2013): Das Thema Vermaisung im öffentlichen Diskurs, Berichte über Landwirtschaft, Band 91, Heft 2, August 2013, Hg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, ISSN 3296-5099 https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/22/linhart-html

LTZ (2012): Erste Versuchsergebnisse mit der Durchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum L.) in Baden-Württemberg Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) Karlsruhe

Rüskamp, W. (2010): Man sieht die Landschaft vor lauter Mais nicht mehr. Badische Zeitung, Rheintal 17.09.2010. Hg. Badische Zeitung. http://www.badische-zeitung.de/suedwest-1/man-sieht-die-landschaft-vor-lauter-mais-nicht-mehr--35524272.html [Stand: 05.02.2018]

Aktion 7: Umweltwirkungen und ökonomische Machbarkeiten der Aktionen 3 bis 6

IZES

1. Einleitung

Das Projekt Persephone diversifiziert das Produktportfolio der Biogasproduktion zu und analysiert die technischen und einzelbetrieblichen Möglichkeiten. Insbesondere die Bedeutung für den Klimaschutz und die positiven Aspekte für strukturschwache ländliche Räume bleiben häufig ungeachtet. Die Ansichten und Einstellungen gegenüber Biogas sind regional unterschiedlich, jedoch wird Biogas häufig auf die Systemdienstleistungen Strom und Wärme reduziert. Unbeachtet bleiben die vielfältigen Beitragsmöglichkeiten von Biogasanlagen im Sinne der Bioökonomie.

2. Biogas und der Beitrag zum Klimaschutz

Die Nutzung von Biomasse zur Gewinnung von Energie hat direkte positive Auswirkungen für das Klima, wenn dadurch fossile Energieträger verdrängt werden, die in der Regel höhere spezifische Treibhausgasemissionen über ihren Lebenszyklus aufweisen. Jedoch gibt es im laufenden Betrieb häufig noch Optimierungspotenziale, die im Falle einer Umsetzung dazu führen, dass der biogasbasierte Strom, insbesondere im Bereich des Klimaschutzes und des Ressourcenverbrauchs, eine deutlich bessere Umweltwirkung aufweist als fossile Energieträger. Diese Optimierungspotenziale von Biogasanlagen durch alternative Verwertungen von Strom, Wärme und Gärrest Untereinbeziehung von indirekten Systemdienstleistungen sind das Kernthema von Persephone.

Bei einer Lebenszyklusanalyse werden alle Emissionen, die über den Lebensweg der Biomasse entstehen, ausgenommen der direkten Emissionen bei der finalen Nutzung (die direkten Emissionen entsprechen der in der Biomasse photosynthetisch gebundenen CO2-Menge), zusammengerechnet und auf eine funktionale Einheit allokiert (hier 1 kWh). Je nach Inputsubstrat ergeben sich in der Vorkette der Anbaubiomasse durch Stickstoffdüngemittel und Treibstoffe für Bodenbearbeitung, Ernte und Logistik sensitive Einflussgrößen. Bei effektiven Klimaschutzmaßnahmen ist davon auszugehen, dass zukünftig auch in den Vorketten spezifisch geringere Emissionen zu erwarten sind. Es ist heute aber noch unsicher in welchem Umfang z.B. Kraftstoffe oder auch Düngemittel auf der Basis erneuerbarer Energien eingesetzt werden und diese zu einer Reduktion der indirekten Emissionen in den Vorketten beitragen können.

In Bezug auf die Nutzung von landwirtschaftlichen Wirtschaftsdüngern (Gülle und Mist) ist zu bedenken, dass diese bei einer konventionellen (d.h. offenen) Lagerung sowie bei einer konventionellen Ausbringung diffuse Methan- und Lachgasemissionen abgeben. Da Methan eine 23-fach höhere Klimawirksamkeit (Global Warming Potential - GWP) und Lachgas ein GWP von 265 besitzen, haben selbst geringe Emissionen dieser beiden Klimagase einen großen Effekt auf die THG-Bilanz. In beiden Fällen wird bei der Verwertung der Reststoffe über den Biogasprozess sichergestellt, dass die Reststoffe über längere Zeit in einem gasdichten Raum verweilen (Fermenter) und so die Emissionen deutlich reduziert werden können. Zudem verringern sich von flüssigen und festen tierischen Exkrementen, in der gasdichten Lagerung der Biogasanlage, die Ammoniakemissionen.

3. Makroökonomische Aspekte von Biogas oder Einbindung von Biogas in die Bioökonomie

Biogas als Stromlieferant ist bekannt, allerdings beeinflussen Biogasanlagen zahlreiche andere Wirkbereiche außerhalb des Energiesystems. Eine Reduzierung von Biogas auf den Wirkungssektor Strom berücksichtigt daher die Effekte der Biogasproduktion nur sehr einseitig. Die verschiedenen Funktionen bestehen nicht nur in den oben genannten Dienstleistungen im Strommarkt, Abbildung 3 zeigt die Leistungen jenseits des Energiesektors. Dabei handelt es sich um zusätzliche Aspekte, z.B. der Landschaftspflege, des Naturschutzes, der Agrarstruktur, der Entsorgungs- und Ressourcenpolitik

oder des Emissionsschutzes. Als multifunktionaler Systemdienstleister wirkt Biogas zudem in anderen Sektoren u.a. kostensenkend oder trägt zu einer höheren Wertschöpfung bei (Guss u. a. 2016).

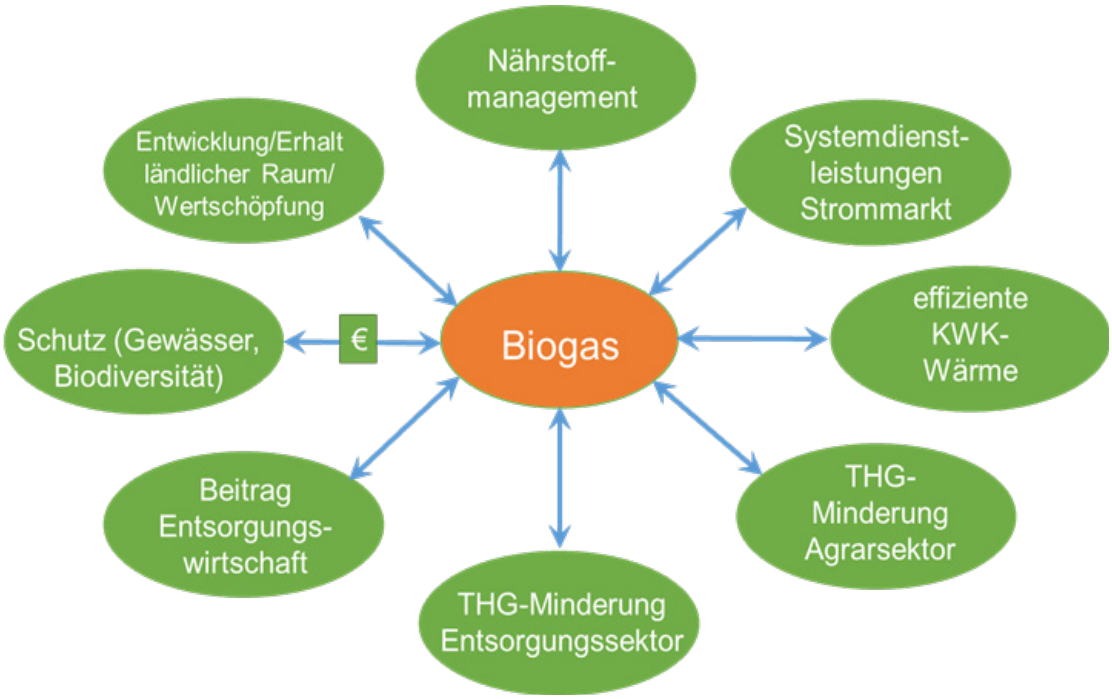


Abbildung 3 Generelle ökonomische Effekte von Biogas (eigene Darstellung Izes)

Die Erzeugung von Bioenergie hat den Agrarsektor besonders beeinflusst, da zunächst viele landwirtschaftliche Betriebe in diesem Bereich investiert haben. Somit konnten Landwirte ihr häufig volatiles Einkommen stabilisieren (Borris, Maart-Nölck 2013) und somit zu einer Stärkung im Agrarsektor beitragen.

Auch auf die landwirtschaftliche Praxis hat sich die Nutzung von Bioenergie ausgewirkt. Anbautechniken, Fruchtfolgenplanung, Nutzung von Reststoffen und Koppelprodukten sowie angepasste Nährstoffstrategien können zugunsten von Bioenergie angepasst werden und somit eine positive Wirkung für das Ökosystem erzielen. Jedoch ist bei der Maximierung von Biogaserträgen zu beachten, dass diese auch zu Verschlechterungen des Ökosystems beitragen können (FNR 2013).

Zu den Ökosystemdienstleistungen auf die Biogas wirkt gehören Klima, Biodiversität und Artenvielfalt. Neben den Umweltwirkungen gibt es auch Wechselbeziehungen von Biogasanlagen und der Struktur des ländlichen Raumes. Dabei steht vor allem die Inwertsetzung von landwirtschaftlichen Flächen und Beschäftigungseffekte entlang der Wertschöpfungskette im Fokus.

Neben diesen Wirkbereichen hat die Nutzung von Bioenergie einen großen Einfluss auf die Entsorgungswirtschaft. Dort übernehmen Biogasanlagen die Aufgabe einer hochwertigen Verwertung gemäß §8 KrWG. Durch diese Nutzungsform können die THG Emissionen im Bereich der Entsorgungswirtschaft minimiert werden. Insgesamt betrachtet leistet Biogas einen Beitrag zu Beschäftigung und Wertschöpfung, sowohl im industriellen Bereich der Anlagenherstellung als auch im ländlichen Raum. Insbesondere durch die Reaktivierung von Stilllegungsflächen für den Energiepflanzenanbau kann eine zusätzliche Wertschöpfung auf diesen Flächen generiert werden. Die Wertschöpfungseffekte dieser Reaktivierung sind jedoch unklar, da einerseits die vorherige Stilllegung der Flächen u. a. der EU-Stilllegungspolitik geschuldet war und andererseits der finanzielle Mitteleinsatz für den Energiepflanzenanbau Alternativinvestitionen mit entsprechender Wertschöpfung verdrängt (Matschoss et al. 2019).

Verglichen mit den dominierenden Technologien der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland, Windkraft und PV, generiert die Biogasnutzung einen deutlich höheren Anteil der Wertschöpfung – und auch der Kosten – in der Betriebsphase der Anlage (Bost et al. 2012; Hirschl et al. 2015). Vor allem die Beschäftigungswirkung hängt aber von regions- und fallspezifischen Faktoren ab, insbesondere davon, ob und welche Alternativinvestitionen getätigt würden. Es empfiehlt sich daher, Auswirkungen

auf ländliche Wertschöpfung und Beschäftigung der Biogas-Nutzung als Co-Benefit zu betrachten, aber nicht als prioritären Fördergrund. (Isermeyer und Zimmer 2006; WBA 2007, 183ff.; Hermeling und Wölfing 2011, S. 82). Grund hierfür ist neben den unsicheren Wirkungen auch, dass strukturelle Probleme im Agrarsektor durch die Biogasförderung nicht ursächlich adressiert würden, sondern Anpassungsprozesse letztendlich verzögert würden.

4. Fazit

Der Einfluss von Biogas in den verschiedensten Wirkbereichen ist vielschichtig. Der zuvor gegebene Überblick stellt zudem nur offensichtliche Zusammenhänge zwischen Biogas und dessen Wirkweisen dar. Dennoch wird deutlich, dass Biogas viele positive Effekte erzielen kann, wenn es gemäß Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung produziert wird.

Diese positiven Effekte der einzelnen Wirksektoren leisten auf makro- und mikroökonomischer Ebene einen Beitrag, wobei sich nicht alle Wirkbereiche zur finanziellen Stabilisierung von Biogasanlagen eignen.

5. Referenzen:

Borris, Johanna ; Maart-Nölck, Syster: Investition in Biogas: ja oder nein? Eine qualitative Analyse von Entscheidungsgründen landwirtschaftlicher Betriebsleiter. Berichte über Landwirtschaft -und Landwirtschaft. In: Zeitschrift für Agrarpolitik 91 (2013), Nr. 1

Bost, Mark; Böther, Timo; Hirschl, Bernd; Kreuz, Sebastian; Neumann, Anna; Weiß, Julika (2012): Erneuerbare Energien Potenziale in Brandenburg 2030. Erschließbare technische Potenziale sowie Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte – eine szenariobasierte Analyse. Im Auftrag von Greenpeace e. V., Hamburg. iöw. Berlin. Online verfügbar unter https://www.ioew.de/publikation/erneuerbare_energien_potenziale_in_brandenburg_2030

FNR: Bioenergie die vielfältige erneuerbare Energie. 5. überarbeitete Auflage. Gülzow, 2013 (196)

Guss, Hermann ; Pertagnol, Joachim ; Hauser, Eva ; Wern, Bernhard ; Baur, Frank ; Gärtner, Sven ; Rettenmaier, Nils ; Reinhardt, Guido: Biogas – Quo vadis? gefördert durch das BMUB. Saarbrücken, Heidelberg, 2016. – gefördert durch das BMUB

Hermeling, Claudia; Wölfing, Nikolas (2011): Energiepolitische Aspekte der Bioenergienutzung: Nutzungskonkurrenz, Klimaschutz, politische Förderung. Endbericht. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW). Mannheim.

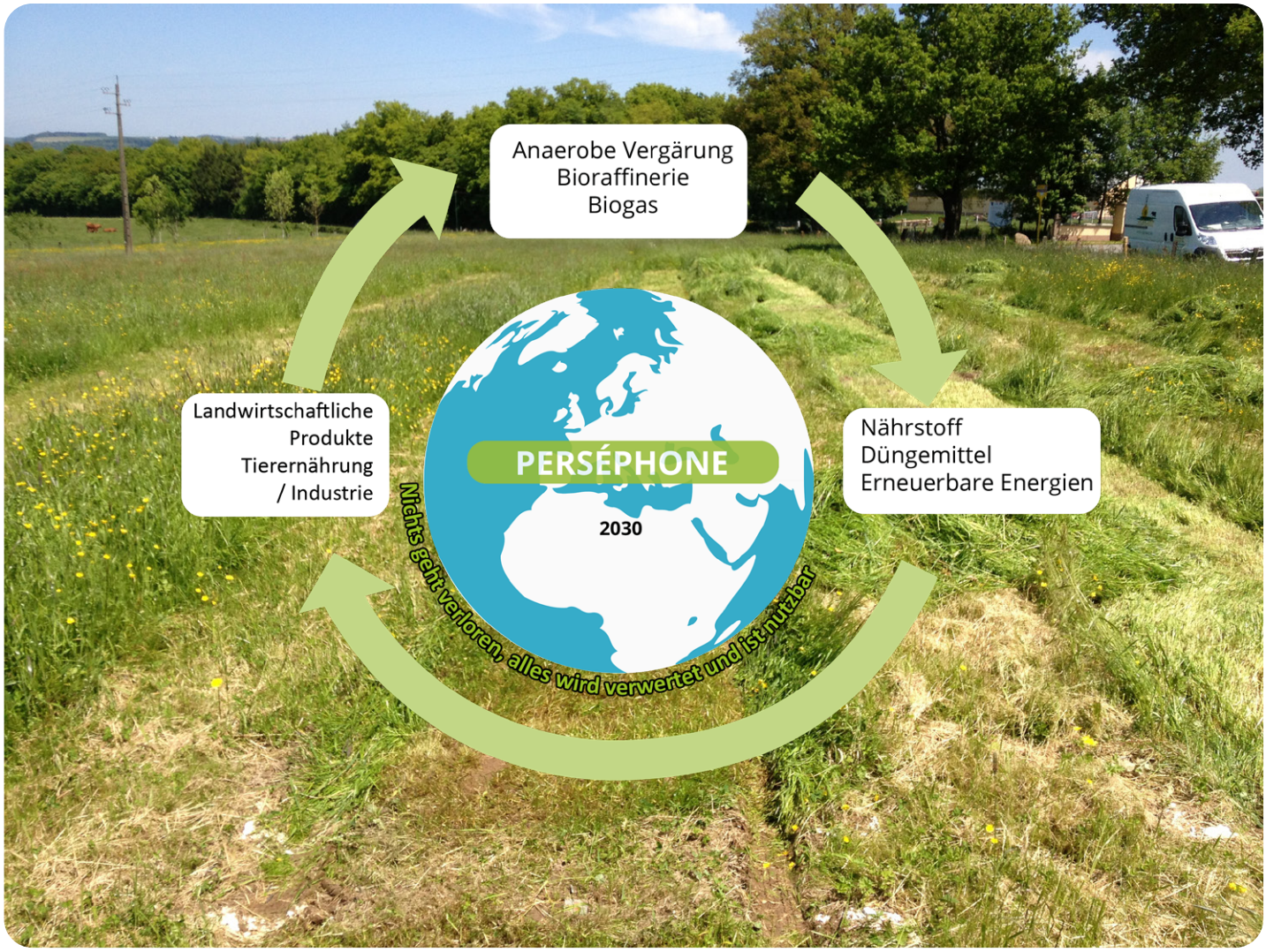
Hirschl, Bernd; Heinbach, Katharina; Prahl, Andreas; Salecki, STeven; Schröder, André; Aretz, Astrid; Weiß, Julika (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene. Gefördert durch die Bundesrepublik Deutschland. Zuwendungsgeber: Bundesministerium für Wirt-schaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, FKZ 0325463. Schriftenreihe des IÖW 210/15. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). Berlin.

Isermeyer, F.; Zimmer, Y. (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Betriebswirtschaft. Braunschweig (Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie, 02/2006).

Matschoss, P.; Pertagnol, J.; Wern, B.; Bur, A.; Baur, F.; Dotzauer, M.; Oehmichen, K.; Koblenz, B.; Khalsa. J.; Korte, K.; Purkus, A.; Thrän, D.; Gawel, E.; Bulach, W. (2019): Analyse der gesamtökonomischen Effekte von Biogasanlagen. Wirkungsabschätzung des EEG (MakroBiogas), Verbundvorhaben gefördert durch die deutsche Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) / Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL). IZES, DBFZ, UfZ. Saarbrücken, Leipzig. DOI: 10.13140/RG.2.2.13184.17920

Perséphone

Integration von Biogas in das Zukunftsfeld der Bioökonomie



Federführender Begünstigter :

Asbl Au Pays de l'Attert
Voie de la Liberté 107 - 6717 Attert - Belgique
Tél. : +32 63 22 78 55
asbl.apda@attert.be - www.aupaysdelattert.be/persephone

Au Pays de l'Attert

Interreg Grande Région | Großregion Perséphone
UNION EUROPEENNE
Wallonie
Grand Est
L'Europe s'invente chez nous
LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable et des Infrastructures
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr
SAARLAND
Ostbelgien