



Die Lücke zwischen Forschung und Bildung in der zirkulären Bioökonomie schließen

Lehrmaterial, um die zirkuläre Bioökonomie in die Klassenzimmer der Ostseeregion und darüber hinaus zu bringen.

Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union



CIRCULAR ECONOMY

BREC



Im folgenden Heft werden wir das Konzept der Bioökonomie sowie verschiedene Technologien zur Wiederverwertung von Abfällen oder Nebenprodukten, hauptsächlich aus der Landwirtschaft, aber auch aus der Aquakultur und Forstwirtschaft, erkunden. Es werden auch Herausforderungen für Innovationen im grünen Sektor sowie die politischen und klimatischen Vorteile dieser Technologien behandelt. Das Heft ist mit dem Ziel gestaltet, Lehrern eine Ressource für den Einsatz im Unterricht zur Verfügung zu stellen, um neue Arbeitskräfte im grünen Sektor auszubilden und den Übergang zu CO₂-neutralen Gesellschaften zu beschleunigen.

Research Team and Teacher Reference Group

Araldsen, Tord (Norwegen), Brønnick, Birgitte (Norwegen), Edström, Mats (Schweden), Fischer, Erik (Schweden/Deutschland), Fostad, Karen-Marie (Norwegen), Foth, Sebastian (Deutschland), Ghalibaf, Maryam (Finnland), Gunnarsson, Carina (Schweden), Honkanen, Anne (Finnland), Laaksonen, Ilmari (Finnland), Laurell, Carina (Schweden), Levins, Indulis (Lettland), Lundervold, Amalie (Norwegen), Sollihagen, Selma (Norwegen), Stuparu, Adelina (Schweden), Vircava, Ilze (Lettland)

Inhalt

Hintergrund	5
Lernziele	6
Teil I: Die Grundlagen der Bioökonomie	7
Terminologie	7
Bioökonomie	8
Lineare versus zirkuläre Wirtschaft	9
Zirkuläre Wirtschaft	9
Unterschied zwischen linearer und zirkulärer Wirtschaft	9
Lineare Bioökonomie	9
Zirkuläre Bioökonomie	10
Kaskadeneffekte.....	11
Die Wertschöpfungspyramide der Bioökonomie	12
Teil II: Technologien und Herausforderungen	13
Zirkuläre Landwirtschaft – ein Schritt nach oben	13
Zirkuläre Forstwirtschaft.....	14
Biorefining.....	15
Technologien zur Erreichung einer zirkulären Bioökonomie.....	16
Entwässerung von Mist.....	16
Vorbehandlung von zellulosehaltigem Material.....	18
Biogasproduktion – Anaerobe Vergärung	21
Aufwertung von organischem Dünger.....	27
Pyrolyse	30
Vergasung	33
Proteingewinnung.....	35
Phosphorrückgewinnung	37
Stickstoffrückgewinnung.....	40
Teil II: Umsetzung und Lösungen	41
Wesentliche Herausforderungen für Innovation und Kreation	41
Technologische Entwicklung.....	41
Markt- und finanzielle Unsicherheit	42
Nachhaltigkeit und Umweltauswirkungen.....	42
Politische und regulatorische Rahmenbedingungen	42
Globale und europäische Politik	43

Der Einfluss der Bioökonomie auf Gesellschaft und Umwelt	44
Der Klimanutzen der Nutzung von Biogas und Bio-Dünger	45
Positiver Einfluss durch erhöhte Produktion:	46
Weitere Möglichkeiten innerhalb der Bioökonomie:	47
Literaturverzeichnis	49
Thank you	Error! Bookmark not defined.

Hintergrund

Das Projekt BREC verbindet landwirtschaftliche Schulen, Behörden und Forscher, um zirkuläre landwirtschaftliche Praktiken unter Praktikern zu verbreiten und Technologien zu fördern, die die zirkuläre Bioökonomie vorantreiben.

Das Interreg-Projekt „Bridging the Gap between Research and Education in the Circular Bioeconomy“ (BREC) war darauf ausgerichtet, einige der Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft anzugehen. Im landwirtschaftlichen Sektor hat es eine umfangreiche technologische Entwicklung gegeben, die das Problem der sogenannten „Analyse-Paralyse“ mit sich bringt. Dieses Phänomen tritt auf, wenn zahlreiche neue Technologien gleichzeitig eingeführt werden, was ein Dilemma für die effektive Entscheidungsfindung schafft. BREC hat mehrere Schlüsseltechnologien identifiziert – wie Biogasproduktion, Proteinextraktion, Phosphorextraktion, Stickstoffanreicherung, die Herstellung von Pflanzenkohle und deren begleitende Vor- und Nachbehandlungsprozesse –, die zentral für den Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft sind.

Das Ziel der Arbeit bestand darin, eine Wissensdatenbank mit guten Beispielen bzw. Praxisbeispielen zu schaffen, wie die verschiedenen Technologien spezifische landwirtschaftliche Herausforderungen effektiv angehen können. Diese Datenbank kann als umfassendes Werkzeug dienen, das landwirtschaftlichen Schulen dabei hilft, die nächste Generation von Landwirten auszubilden, und das auch für erfahrene Praktiker, Berater und Bauernverbände von Nutzen ist.

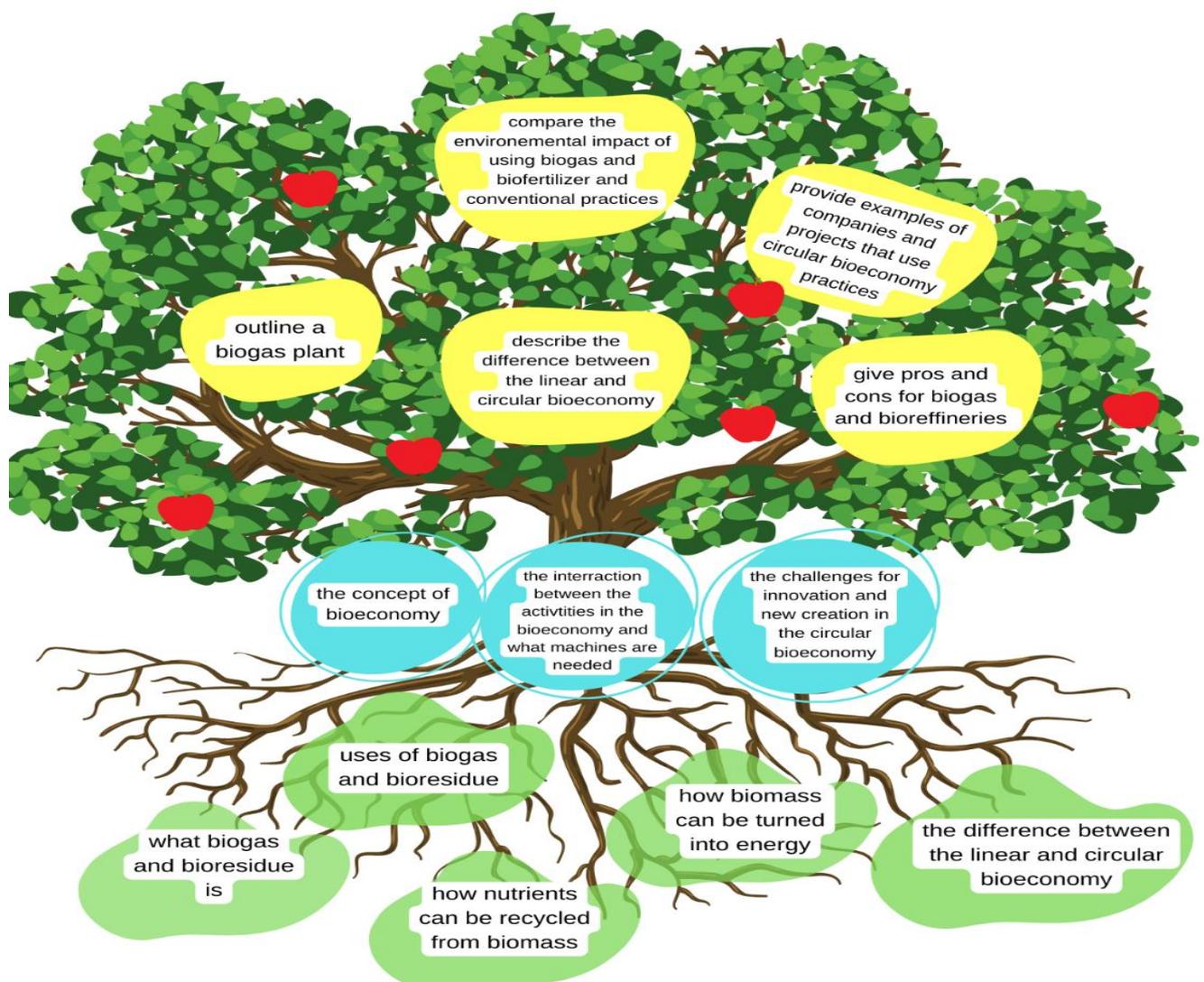
Wir sind der Überzeugung, dass durch die Verbreitung von Wissen und das Teilen von praktischen Erfahrungen mit neuen Technologien die Gesellschaften die Herausforderungen der Analyse-Paralyse bewältigen können. Die Befähigung der neuen Generation von Landwirten, sich mit diesen Technologien vertraut zu machen, ist ein zentrales Ziel dieser Initiative. Unser Bestreben ist es, dass landwirtschaftliche Schulen in ganz Europa zeigen können, was die zirkuläre Bioökonomie in der Praxis bedeutet.

Lernziele

Die BREC-Lernziele wurden im Frühjahr 2023 von der Lehrer-Referenzgruppe entwickelt, um festzulegen, was die Schüler im Rahmen des Programms erreichen sollen. Das Lernkonzept wird durch einen Baum symbolisiert, der das Wachstum des Wissens darstellt, das die Schüler erwerben werden.

- Die Wurzeln des Baumes stehen für das grundlegende Wissen, das die Schüler erwerben sollen.
- Der Stamm repräsentiert die Kernkonzepte, die die Schüler vollständig verstehen müssen.
- Die Krone veranschaulicht die Fähigkeiten und Kompetenzen, die die Schüler entwickeln sollen, und zeigt, was sie nach Abschluss einer Unterrichtseinheit zur Bioökonomie leisten können.

Die Lernziele und Unterrichtspläne sind flexibel und können an individuelle Bedürfnisse angepasst werden. Das umfassende Unterrichtspaket kann als Ganzes umgesetzt oder auf verschiedene Kurse und Lehrpläne zugeschnitten werden.



Teil I: Die Grundlagen der Bioökonomie

Terminologie



Bio-based

BASED ON BIOLOGICAL MATERIALS, ESPECIALLY AGRICULTURE OR FOREST RESOURCES.



CLOSING THE RESOURCE LOOP AND RECYCLING, REPURPOSING BIOLOGICAL RESOURCES.



OF ORGANIC ORIGIN, CONTAINING PLANT NUTRIENT, CARBON AND SOMETIMES LIVE MICROORGANISMS



Biomass

MATERIAL THAT COMES FROM LIVING OR RECENTLY LIVING ORGANISMS, WHICH CAN BE USED AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY. BIOMASS CAN BE CONVERTED INTO VARIOUS FORMS OF ENERGY, SUCH AS HEAT, ELECTRICITY OR BIOFUELS, AS AN ENERGY SOURCE, BIOMASS IS RENEWABLE AS IT CAN BE REPLENISHED NATURALLY OVER TIME.



Biochar

A TYPE OF BIOMASS THAT IS USED TO IMPROVE SOIL PROPERTIES, RESEMBLING CHARCOAL.



Biodiesel

A RENEWABLE TYPE OF FUEL DERIVED FROM PLANTS AND ANIMALS SUCH AS VEGETABLE FATS OR GREASE TO BE USED IN DIESEL ENGINES.



Blue bioeconomy

AN ECONOMIC TERM RELATED TO THE EXPLOITATION, PRESERVATION, AND REGENERATION OF THE MARINE ENVIRONMENT.



Carbon footprint

THE AMOUNT OF GREENHOUSE GASES RELEASED INTO THE ENVIRONMENT BY AN ACTIVITY, GROUP, PROCESS, OR INDIVIDUAL, USUALLY MEASURED IN KILOGRAMS OF CARBON DIOXIDE.



Bioplastics

A BIOBASED AND/OR BIODEGRADABLE PRODUCT MADE FROM RENEWABLE PLANT SOURCES, AS OPPOSED TO PETROLEUM.



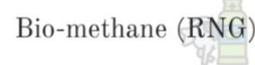
Biogas

A MIXTURE OF METHANE AND CARBON DIOXIDE, PRODUCED BY BACTERIAL DEGRADATION OF ORGANIC MATTER, OFTEN USED AS FUEL, HEAT OR FOR ENERGY PURPOSES OTHERWISE.



Emissions

A SUBSTANCE DISCHARGED INTO THE AIR, USUALLY BY AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE.



Bio-methane (RNG)

ALSO KNOWN AS RENEWABLE NATURAL GAS IS A BIOGAS THAT HAS BEEN UPGRADED TO A QUALITY SIMILAR TO FOSSIL NATURAL GAS AND HAS A METHANE CONCENTRATION OF 99% OR HIGHER. IT IS OBTAINED BY REMOVING CO₂ AND OTHER IMPURITIES FROM BIOGAS.



Biorefinery

A REFINERY THAT CONVERTS BIOMASS TO ENERGY AND OTHER BENEFICIAL BY-PRODUCTS (SUCH AS CHEMICALS).

Bioökonomie

[Die Bioökonomie](#) ist eine Wirtschaftsform, in der Materialien, Chemikalien und Energie aus erneuerbaren, biobasierten Rohstoffen stammen.

Um Schüler dazu zu bringen, die Definition der Bioökonomie weiter zu erkunden, kann eine interaktive Übung genutzt werden. Schreiben Sie auf ein Whiteboard den Begriff Bioökonomie in die Mitte. Laden Sie die Schüler ein, über verschiedene Konzepte, Prozesse und Aktivitäten nachzudenken, die mit diesem Begriff verbunden sein könnten. Notieren Sie die Antworten um den Begriff herum und erstellen Sie eine „Wortwolke“. Um die Übung noch weiter auszubauen, kann die Wortwolke als Bingo-Spiel genutzt werden.

Der Link führt zu einem Video, das den Schülern eine Erklärung zur Bioökonomie bietet und als Einführung in das Thema im Unterricht verwendet werden kann. Während das Video läuft, können Sie die Begriffe abhaken, die die Schüler in der Wortwolke genannt haben. Wurden mindestens sechs Wörter in der Wolke abgehakt?

Eine weitere Übung könnte eine Reflexion sein: Ist die Bioökonomie das, was ich erwartet hatte? Gab es etwas Überraschendes bei dem, was wir bisher entdeckt haben? Wenn ja, was war es? Wenn nicht, muss die Klasse tiefer in das Thema einsteigen und mehr Wissen zur Bioökonomie erforschen.

Eine lineare Bioökonomie bezieht sich auf die Produktion organischer Materialien, wie Pflanzen oder Tiere, für Lebensmittel, Futtermittel oder andere Produkte, ohne die natürliche Regenerationsfähigkeit dieser Materialien zu berücksichtigen. Zudem werden Nebenprodukte des Produktionsprozesses sowie andere organische Ressourcen wie Gülle oft nicht wiederverwendet oder effizient genutzt. Diese Ineffizienz kann zu einem Verlust wertvoller Nährstoffe und organischer Substanzen führen und möglicherweise Umweltprobleme wie Verschmutzung und Eutrophierung verursachen.



Lineare versus zirkuläre Wirtschaft

Lineare Wirtschaft

In einer linearen Wirtschaft folgen Produktion und Konsum einem einfachen Modell, bei dem Güter hergestellt, genutzt und anschließend als Abfall entsorgt werden (Miljødirektoratet, 2022). Es gibt nur begrenzte Bemühungen, Abfälle wiederzuverwenden, zu recyceln oder anderweitig zu verwerten. Ressourcen werden extrahiert, verbraucht und landen letztlich auf Deponien oder werden verbrannt. Dieses Modell konzentriert sich hauptsächlich auf wirtschaftliches Wachstum und Produktion, ohne die ökologischen und sozialen Folgen ausreichend zu berücksichtigen.

Zirkuläre Wirtschaft

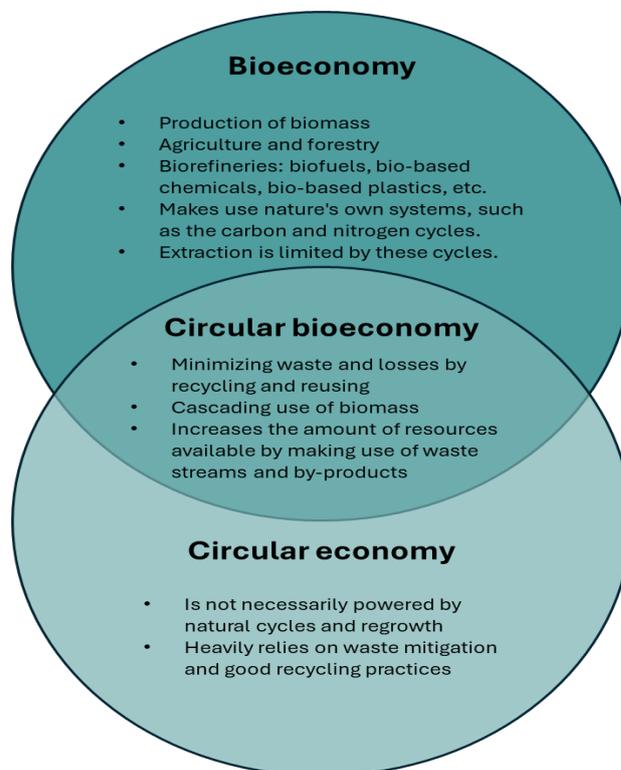
In einer zirkulären Wirtschaft werden Ressourcen als Teil eines kontinuierlichen Kreislaufs betrachtet, in dem Materialien und Produkte genutzt, zurückgewonnen und recycelt werden, um einen geschlossenen Kreislauf zu schaffen (Miljødirektoratet, 2022). Ziel ist es, Abfall und Ressourcenverluste durch Praktiken wie Wiederverwendung, Reparatur und Recycling zu minimieren. Dieses Modell betont die Erhaltung des Wertes von Produkten und Materialien so lange wie möglich, indem sie auf Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit ausgelegt werden. Es fördert auch das Teilen und Nutzen von Dienstleistungen anstelle des individuellen Besitzes von Produkten, wodurch das Gesamtvolumen der benötigten Güter reduziert wird. Die zirkuläre Wirtschaft unterstützt ein nachhaltiges und ressourceneffizientes System und berücksichtigt dabei auch ökologische und soziale Auswirkungen.

Unterschied zwischen linearer und zirkulärer Wirtschaft

Der grundlegende Unterschied zwischen der linearen und der zirkulären Wirtschaft liegt in ihrem Ansatz zur Ressourcennutzung und Abfallbewirtschaftung. In einer linearen Wirtschaft fließen die Ressourcen in einer geraden Linie von der Produktion bis zur Entsorgung, was häufig zu Abfall führt. Im Gegensatz dazu strebt die zirkuläre Wirtschaft an, einen geschlossenen Kreislauf zu schaffen, in dem Ressourcen kontinuierlich wiederverwendet und recycelt werden, um Abfall zu vermeiden und den Wert der Materialien zu erhalten.

Lineare Bioökonomie

In einer linearen Bioökonomie folgen Produktion und Konsum einem linearen Modell, bei dem organisches Material als Rohstoff zur Herstellung von Waren, Energie oder Chemikalien verwendet wird. Nach der Nutzung wird das organische



Material als Abfall entsorgt, ohne recycelt oder wiederverwendet zu werden. Anstatt vorhandenes organisches Material zurückzugewinnen und wiederzuverwenden, wird kontinuierlich neues organisches Material entnommen, oft ohne die natürliche Regenerationsfähigkeit zu berücksichtigen. Der Fokus in einer linearen Bioökonomie liegt primär auf wirtschaftlichem Wachstum und den Vorteilen der Nutzung von organischem Material, ohne dabei notwendigerweise die ökologischen und sozialen Konsequenzen zu beachten.

Ein Beispiel für eine lineare Bioökonomie ist die Rindfleischproduktion in Brasilien, bei der die Viehzucht zur Abholzung von Wäldern führt, um neue Weideflächen zu schaffen (Reis, T., Zu Ermgassen, E., & Pereira, O. 2023). Ein weiteres Beispiel ist die Überfischung. Es wird geschätzt, dass etwa 34 % der Fischbestände überfischt sind, was zu einem Rückgang der Fischpopulationen führt (Ritchie und Roser 2021). Ein drittes Beispiel ist die fischbasierte Aquakultur, bei der nahezu der gesamte Fischschlamm (eine Mischung aus Fischexkrementen und Futterresten) direkt ins umliegende Wasser und Ökosystem abgegeben wird (Spilling, 2016).

Zirkuläre Bioökonomie

Im Gegensatz zur linearen Bioökonomie betrachtet die zirkuläre Bioökonomie biologische Ressourcen als Teil eines kontinuierlichen Kreislaufs. Organisches Material, Nebenprodukte und Nährstoffe werden gesammelt, genutzt, zurückgewonnen und recycelt, um einen unendlichen Kreislauf zu schaffen. Ziel ist es, den Bedarf der Gesellschaft an Materialien und Energie zu decken, ohne die Kapazität unseres Planeten zu übernutzen. Die Photosynthese spielt eine große Rolle in der zirkulären Bioökonomie, da sie der Motor ist, der den Kohlenstoffkreislauf antreibt.

Die Optimierung des Ressourcenmanagements gemäß den Prinzipien der zirkulären Bioökonomie kann sehr anspruchsvoll sein, da wir ein tiefes Verständnis für die Grenzen der Natur benötigen und bestehendes Wissen oft auf Erkenntnissen aus der linearen Wirtschaft basiert. In einer zirkulären Bioökonomie können biologische Abfälle wie Abwasser, Lebensmittelabfälle und Holz recycelt werden. Lösungen umfassen zum Beispiel die Rückgewinnung von Nährstoffen durch Kompostierung oder die Gewinnung von Nährstoffen und Energie durch Biogasanlagen.

Praktiken der zirkulären Bioökonomie, wie die Nutzung von aus Abfällen gewonnenen organischen Düngemitteln und Bodenverbesserern, bieten sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Während diese Praktiken darauf abzielen, Stoffkreisläufe zu schließen und Abfälle zu reduzieren, bergen sie auch inhärente Risiken, die sorgfältig gemanagt werden müssen. Eines der Hauptanliegen ist die potenzielle Verbreitung von Schadstoffen.

Diese können umfassen:

- **Mikroplastik:** Abfallströme enthalten oft Plastikpartikel, die in der Umwelt verbleiben können.
- **Chemische Schadstoffe:** Industrie- und Haushaltsabfälle können schädliche Chemikalien in den Dünger einbringen.
- **Pathogene:** Organische Abfälle können krankheitserregende Organismen enthalten, die Risiken für die menschliche und pflanzliche Gesundheit darstellen.

- **Schwermetalle:** Bestimmte Abfallquellen können erhöhte Mengen an Metallen enthalten, die sich im Laufe der Zeit im Boden anreichern können.

Um diese Risiken zu mindern, wurden in vielen Regionen regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen. Diese beinhalten in der Regel:

- Strikte Grenzwerte für Schadstoffe
- Obligatorische Behandlungsverfahren zur Reduzierung der Pathogenbelastung
- Nutzungsbeschränkungen basierend auf Pflanzenart und Landnutzung
- Regelmäßige Tests und Qualitätskontrollprotokolle

Obwohl diese Maßnahmen darauf abzielen, die sichere Verwendung von aus Abfällen gewonnenen Produkten zu gewährleisten, gibt es nach wie vor Bedenken bei einigen Interessengruppen. Kritiker argumentieren, dass:

- Die langfristigen Auswirkungen wiederholter Anwendungen nicht vollständig verstanden sind.
- Bestimmte Schadstoffe, wie neu auftretende Schadstoffe oder Nanomaterialien, möglicherweise nicht ausreichend durch die aktuellen Vorschriften abgedeckt sind.
- Die Durchsetzung und Überwachung eine Herausforderung darstellen können, insbesondere in Regionen mit begrenzten Ressourcen.

Trotz dieser Herausforderungen argumentieren Befürworter der Praktiken der zirkulären Bioökonomie, dass die Vorteile oft die Risiken überwiegen, wenn geeignete Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Sie verweisen auf erfolgreiche Umsetzungen in verschiedenen Ländern und auf das Potenzial dieser Praktiken, die Abhängigkeit von synthetischen Düngemitteln zu verringern, Abfälle zu minimieren und die Bodenqualität zu verbessern.

Laufende Forschung und technologische Fortschritte konzentrieren sich darauf, Erkennungsmethoden zu verbessern, effektivere Behandlungsverfahren zu entwickeln und unser Verständnis der langfristigen Auswirkungen dieser Praktiken auf Bodenökosysteme und Lebensmittelsicherheit zu vertiefen.

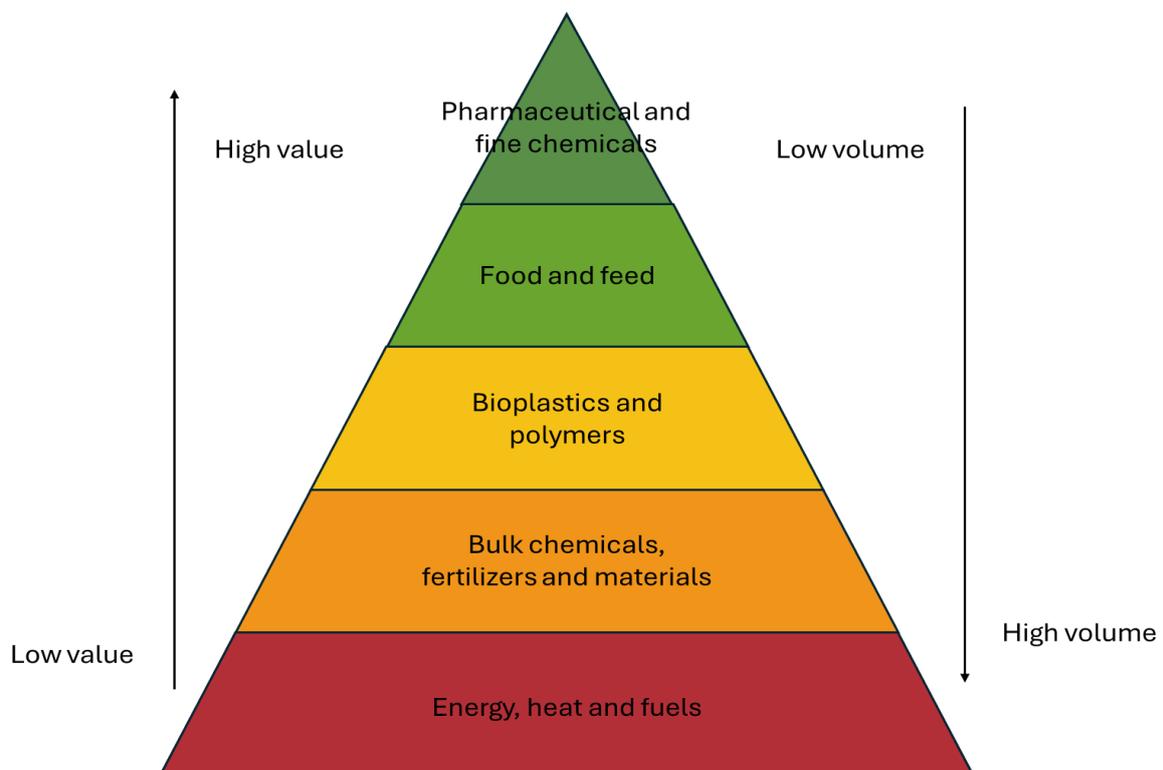
Letztendlich erfordert die erfolgreiche und sichere Umsetzung von aus Abfällen gewonnenen Bioprodukten und Bodenverbesserern einen ausgewogenen Ansatz, der eine rigorose wissenschaftliche Bewertung, anpassungsfähige Regulierung und kontinuierliches Engagement der Interessengruppen kombiniert, um Bedenken auszuräumen und die Vorteile zu optimieren.

Kaskadeneffekte

Kaskadeneffekte spielen eine wichtige Rolle innerhalb der Bioökonomie und sind ein Schlüsselprinzip für die nachhaltige Nutzung biologischer Ressourcen. Dieses Prinzip besteht darin, organische Materialreste und Abfallfraktionen in hierarchischer Weise zu nutzen, wobei die wertvollsten Komponenten zuerst extrahiert werden und die Reste für andere Zwecke geringeren Wertes verwendet werden. Ein Beispiel dafür ist das Abfallpyramidenmodell für die Bioökonomie.

Die Wertschöpfungspyramide der Bioökonomie

Die „Wertschöpfungspyramide der Bioökonomie“ stellt eine hierarchische Struktur für die Ressourcennutzung innerhalb der Bioökonomie dar (Stegmann, Londo, & Junginger, 2020). Das Modell zeigt, wie das Biomaterial mehrere Stufen der Nutzung durchläuft, um hochwertige Produkte zu extrahieren, bevor es zu Anwendungen mit geringerem Wert übergeht. An der Spitze der Pyramide steht die Herstellung von Biochemikalien und Medikamenten, die ein geringes Volumen, aber einen hohen wirtschaftlichen Wert haben. Diese wertvollen Produkte sind sowohl für die Gesundheitsindustrie als auch für andere Hightech-Anwendungen von großer Bedeutung. Die Reste dieses Prozesses können dann zur Herstellung von Lebens- und Futtermitteln verwendet werden. Schließlich, wenn die Ressourcen nicht mehr extrahiert werden können, können sie zur Energieerzeugung genutzt werden, was eine Produktion erfordert, die ein hohes Volumen an Biomasse benötigt. Die Abfallpyramide stellt sicher, dass das organische Material optimal genutzt wird und wertvolle Ressourcen extrahiert werden, bevor sie für weniger wertvolle Zwecke verwendet werden. Dies kann zu einer effizienteren und zirkuläreren Bioökonomie beitragen.



Teil II: Technologien und Herausforderungen

Zirkuläre Landwirtschaft – ein Schritt nach oben

Die zirkuläre Landwirtschaft umfasst die Wiederverwendung und Optimierung von Ressourcen, um Abfall zu minimieren. Anstelle eines linearen „Nehmen-Produzieren-Entsorgen“-Modells fördert die zirkuläre Landwirtschaft Ressourceneffizienz, Resilienz und Nachhaltigkeit.

Wichtige Prinzipien:

- **Nachhaltigkeit:** Nachhaltigkeit ist das Gleichgewicht zwischen Umwelt, Gerechtigkeit und Wirtschaft. Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart erfüllt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.
- **Ressourceneffizienz:** Das Ziel ist es, alles für etwas zu verwenden, idealerweise so weit oben in der Wertschöpfungspyramide der Bioökonomie wie möglich.
- **Biodiversität:** Vielfältige Anbausysteme erhöhen die Resilienz und unterstützen Ökosysteme.

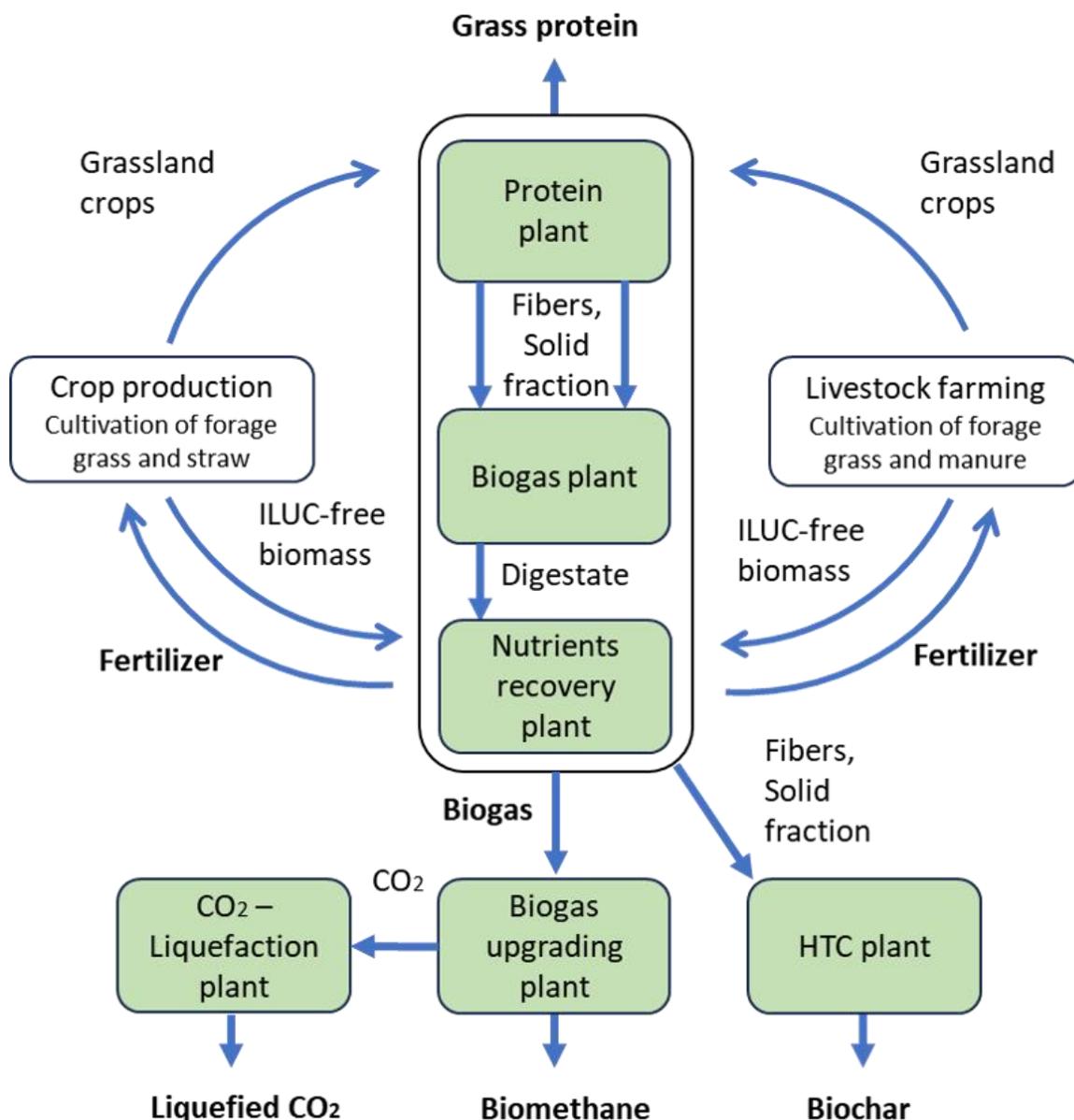
Beispiele für neue Verwendungen von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Abfällen:

- **Biogas:** Das Zersetzen organischen Materials in einem luftdichten Behälter erzeugt ein energiereiches Gas, das für Wärme, Strom oder als Kraftstoff verwendet werden kann.
- **Organischer Dünger:** Nach der anaeroben Vergärung bei der Biogasproduktion bleibt das verbleibende organische Material (Gärrest) als nährstoffreiche Substanz übrig, die die Bodenfruchtbarkeit verbessert und das Pflanzenwachstum fördert. Es enthält wertvolle Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium.
- **Biokohle:** Biokohle wird aus organischem Material durch Pyrolyse (Zersetzung bei hoher Temperatur ohne Sauerstoff) hergestellt und verbessert die Bodeneigenschaften und speichert Kohlenstoff.
- **Pflanzenproteine:** Die Extraktion von Proteinen aus Pflanzen wie Gras oder Silage bietet Alternativen zu importierten Tierfutterproteinen, wie z. B. Soja.
- **Recycelte Nährstoffe:** Die Wiederverwendung von Phosphor, einer begrenzten Ressource, die für die Lebensmittelproduktion unerlässlich ist, ist von entscheidender Bedeutung.
- **Futtermittel:** Insekten wie Larven der Schwarzen Soldatenfliege oder Mehlwürmer, die auf landwirtschaftlichen Nebenprodukten (z. B. Obst-, Gemüse- und Getreideresten) aufgezogen werden, werden zu Insektenmehl verarbeitet. Dieses proteinreiche Tierfutter eignet sich für Geflügel, Schweine und Fische in der Aquakultur.

Indirekte Landnutzungsänderung (ILUC): ILUC bezieht sich auf unbeabsichtigte

Umweltauswirkungen, die durch die Umwandlung von Land für landwirtschaftliche Zwecke aufgrund von Änderungen der Landnutzung an anderer Stelle entstehen. Wenn beispielsweise bestehendes Ackerland für die Produktion von Biokraftstoffen oder anderen Produkten genutzt wird, könnte zusätzliches Land (wie Wälder oder Grasland) gerodet werden, um die verdrängte Nahrungs- oder Futtermittelproduktion auszugleichen. Dies kann zu Entwaldung, Verlust der biologischen Vielfalt und erhöhten Kohlenstoffemissionen führen, wodurch die Umweltvorteile von Biokraftstoffen oder Bioenergie untergraben werden.

Im Gegensatz dazu bietet die Nutzung von ILUC-freiem organischem Material, wie Ernteresten, Gülle und organischen Abfällen, erhebliche ökologische Vorteile. Diese Materialien stammen aus bestehenden landwirtschaftlichen Betrieben und erfordern keine zusätzlichen Flächen oder Entwaldung. ILUC-freies organisches Material ist daher nachhaltiger. Dieser Ansatz ermöglicht es Landwirten, erneuerbare Energie (Biogas) und Bio-Dünger zu erzeugen, während gleichzeitig die Treibhausgasemissionen minimiert, die Abhängigkeit von synthetischen Düngemitteln reduziert und negative Auswirkungen auf die Lebensmittelproduktion und Ökosysteme vermieden werden.



Eine Darstellung eines landwirtschaftlichen zirkulären Bioökonomie-Systems.

Zirkuläre Forstwirtschaft

Wälder sind komplexe, lebende Ökosysteme, die auch bedeutende Reservoirs organischen Materials darstellen – die organische Substanz, aus der Bäume, Pflanzen und andere Elemente des Waldes bestehen. Diese Ökosysteme sind nicht statisch; sie unterliegen kontinuierlichen Veränderungen, die

durch eine Kombination aus menschlichen Managementpraktiken und Umweltbedingungen geprägt sind.

Historischer Fokus: Zirkuläres Management

Traditionell hat das Waldmanagement auf zirkuläre Praktiken fokussiert – Aufforstung nach der Ernte, um einen nachhaltigen Zyklus von Wachstum und Regeneration sicherzustellen.

- Zirkuläres Management zielt darauf ab, die Gesundheit der Wälder, die Biodiversität und die Ökosystemdienstleistungen zu erhalten.
- Die neue Grenze: Dieses Konzept impliziert, dass die Forstwirtschaft in eine neue Phase eintritt, die durch den Einsatz fortschrittlicher Technologien, datengestützter Ansätze und verbesserter Managementtechniken gekennzeichnet ist. Diese Innovationen zielen darauf ab, verschiedene Aspekte des Waldmanagements zu optimieren, einschließlich:
 - Maximierung des Holzernteertrags bei gleichzeitiger Erhaltung der Gesundheit des Ökosystems.
 - Ausgewogenheit zwischen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Zielen.
 - Minimierung von Abfall durch Verbesserung der Nutzung von Biomasse für Energie und andere Produkte.
 - Nutzung von Technologien wie Drohnen, Satellitenbildern, KI und Datenanalyse zur Verbesserung von Überwachung, Ernte und Regenerationsprozessen.

Über die Aufforstung hinaus:

Optimierung ist der Schlüssel. Es geht darum, die besten Entscheidungen zu treffen, um spezifische Ziele zu erreichen, während die verfügbaren Ressourcen effizient genutzt werden. Genauso wie die Landwirtschaft hat die Forstwirtschaft verschiedene Zwecke:

- Holzindustrie: Dieser Sektor konzentriert sich auf die Verarbeitung von Schnittholz, die Produktion von Bioenergie und die Verwendung von Holz im Bauwesen.
- Möbelindustrie: Holz wird in schöne und funktionale Möbelstücke verwandelt.
- Papier- und Zellstoffindustrie: Wälder liefern das Rohmaterial für die Papier- und Zellstoffproduktion.
- Zellulosebasierte Fasern und Kunststoffe: Innovative Materialien entstehen aus Waldbeständen, wie Biokunststoffen und Vanillin.

Biorefining

Allgemeine Prinzipien einer Biorefinery

In einem landwirtschaftlichen Umfeld umfasst das Biorefining die Umwandlung verschiedener Formen organischen Materials in wertvolle Produkte wie Biokraftstoffe, Chemikalien und Materialien. Die allgemeinen Prinzipien des Biorefinings in der Landwirtschaft sind:

- **Ressourceneffizienz:** Maximierung der Nutzung landwirtschaftlicher Rückstände und Nebenprodukte (z. B. Stroh, Schalen), um Abfall zu reduzieren und den Wert dessen zu steigern, was ansonsten als Abfallprodukt betrachtet wird.
- **Nachhaltige Praktiken:** Umsetzung umweltfreundlicher Prozesse, die die nachhaltige Landwirtschaft unterstützen, indem Energieverbrauch minimiert, Emissionen reduziert und Ressourcen geschont werden.

- **Wertschöpfung:** Umwandlung von rohem organischem Material in höherwertige Produkte wie Biokraftstoffe, Biokunststoffe und Spezialchemikalien, die wirtschaftliche Vorteile bieten und die landwirtschaftliche Wirtschaft unterstützen können.
- **Integrierte Verarbeitung:** Nutzung integrierter Systeme zur Verarbeitung verschiedener Arten von organischem Material, um die Gesamt-effizienz zu optimieren und Kosten zu senken. Dies kann mehrere Stufen umfassen, wie Vorbehandlung, Umwandlung und Raffination.
- **Zirkuläre Wirtschaft:** Förderung des Recyclings von Nebenprodukten und Abfällen zurück in den Produktionszyklus, um sicherzustellen, dass Ressourcen effizient genutzt werden und der ökologische Fußabdruck verringert wird.
- **Innovation und Technologie:** Einsatz fortschrittlicher Technologien und Prozesse, wie enzymatische Hydrolyse oder Fermentation, um die Effizienz und Effektivität der Umwandlung von organischem Material zu verbessern.
- **Wirtschaftliche Tragfähigkeit:** Sicherstellung, dass Biorefining-Prozesse wirtschaftlich tragfähig sind, indem die Kosten für Technologie, Energie und Rohstoffe mit dem Marktwert der Endprodukte in Einklang gebracht werden.
- **Lokale Integration:** Anpassung von Biorefinery-Systemen an lokale landwirtschaftliche Praktiken und verfügbare organische Materialtypen, um die Relevanz und Auswirkungen des Biorefinings in bestimmten Regionen zu verbessern.

Diese Prinzipien leiten die Entwicklung und den Betrieb von Biorefinerereien in landwirtschaftlichen Umgebungen, mit dem Ziel, die Nutzung organischen Materials zu optimieren und gleichzeitig nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Praktiken zu unterstützen.

Technologien zur Erreichung einer zirkulären Bioökonomie

Die Umsetzung einer zirkulären Wirtschaft erfordert innovative Prozessgestaltung, die hauptsächlich durch fortschrittliche Technologien vorangetrieben wird. Diese Technologien spielen eine entscheidende Rolle bei der Umwandlung von Materialien, wie landwirtschaftlichen Nebenprodukten und organischen Abfällen, in wertvolle Ressourcen, indem sie deren Eigenschaften modifizieren und ihr Potenzial zur Wiederverwendung erhöhen.

Entwässerung von Mist

Die Trennung von Mist in flüssige und feste Fraktionen wird aus verschiedenen Gründen häufig praktiziert. Dieser Prozess spielt eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung des Mistrecyclings und der Förderung der ökologischen Nachhaltigkeit, insbesondere in großflächigen landwirtschaftlichen Betrieben. Jede Technologie hat unterschiedliche Vorteile, je nach Feuchtigkeitsgehalt des Mistes, der Größe des Betriebs und der beabsichtigten Verwendung der getrennten Materialien, wie Energieproduktion, Dünger oder Umweltmanagement. Die wichtigsten Vorteile sind:

- **Verbesserte Nährstoffbewirtschaftung:** Die flüssige Fraktion enthält in der Regel eine höhere Konzentration an Stickstoff, der für die Pflanzenaufnahme leichter verfügbar ist. Dies kann als flüssiger Dünger für Pflanzen angewendet werden, um die Nährstoffaufnahme zu optimieren. Die feste Fraktion enthält mehr organisches Material, Phosphor und Kalium, was sie für Langzeitdünger oder Bodenverbesserer geeignet macht.

- **Einfachere Handhabung und Lagerung:** Flüssiger Mist ist einfacher zu pumpen und zu verteilen, wodurch die Anwendung effizienter wird. Die feste Fraktion, die kompakter ist, lässt sich einfacher lagern, transportieren und zu Kompost oder für die Trocknung verarbeiten.
- **Reduzierung von Gerüchen und Emissionen:** Die Trennung von Mist hilft, Gerüche und Treibhausgasemissionen, insbesondere Methan und Ammoniak, zu reduzieren, da die flüssige Fraktion leichter behandelt oder verteilt werden kann, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.
- **Effizienz der Biogasproduktion:** In Biogasanlagen kann die Trennung von Mist die Effizienz der Vergärung steigern. Die feste Fraktion, die reich an organischem Material ist, eignet sich ideal für die anaerobe Vergärung, während die flüssige Fraktion recycelt oder separat behandelt werden kann.
- **Verbesserung der Wasserqualität:** Durch die Trennung der Fraktionen lässt sich das Nährstoffmanagement einfacher gestalten, um Nährstoffabflüsse in Gewässer zu verhindern und die Wasserqualität in den umliegenden Gebieten zu schützen.

Technologien zur festen-flüssigen Trennung.

Es gibt mehrere Technologien zur Trennung von Mist in flüssige und feste Fraktionen, abhängig von der Betriebsgröße, den Effizianzorderungen und den spezifischen Zielen. Die gängigsten sind mit einem Stern (*) markiert.

- **Mechanische Trennung:**
 - **Schneckenpressen*:** Diese verwenden einen Schneckenmechanismus, um die feste Fraktion aus dem Mist herauszupressen, während die flüssige Fraktion hindurchgeht. Es ist eine der gängigsten Methoden, die auf Bauernhöfen verwendet werden, insbesondere für Milch- und Schweinemist.
 - Die Vorteile sind, dass es einfach und effektiv für eine Vielzahl von Mistarten ist und geringe Energieanforderungen sowie relativ wenig Wartung hat. Geeignet für mittelgroße bis große Betriebe.
 - **Rotationstrommel-Trenner*:** Eine rotierende Trommel mit Netz ermöglicht es, dass Flüssigkeiten durchfiltriert werden, während die Feststoffe zurückgehalten und entwässert werden.
 - Der Vorteil ist, dass es gut für die Verarbeitung von großen Mengen Mist geeignet ist und kontinuierlich mit minimalem Wartungsaufwand betrieben werden kann. Die Anwendung erfolgt in der Regel auf großen Milchbetrieben und Biogasanlagen.
 - **Belt Press Separatoren:** Ein kontinuierliches Band presst den Mist zwischen Walzen und trennt Feststoffe von Flüssigkeiten durch Druck. Bandpressen sind effektiv bei der Rückgewinnung eines hohen Anteils an Feststoffen, was sie auf Betrieben, die Mist kompostieren oder feste Materialien für andere Verwendungen benötigen, üblich macht.
 - Der Vorteil ist der hohe Feststoffgehalt im separierten Material und sie sind geeignet für Mist mit hohem Faseranteil. Die Anwendung erfolgt in Milchbetrieben und Geflügelbetrieben, wo die feste Fraktion wertvoll für Einstreu, Kompost oder für die weitere Trocknung zu organischen Düngemittelpellets ist.

- **Vibrationsieb:** Diese Siebe schütteln den Mist, sodass Flüssigkeiten durchlaufen können, während Feststoffe zurückgehalten werden. Es wird oft mit anderen Systemen kombiniert, um eine effizientere Trennung zu erreichen.
- **Zentrifugation:**
 - **Zentrifugalseparatoren*:** Diese nutzen Hochgeschwindigkeitsdrehungen, um Feststoffe von Flüssigkeiten basierend auf deren Dichte zu trennen. Die schwereren Festpartikel bewegen sich zu den äußeren Rändern, während die Flüssigkeit in der Mitte bleibt.
 - Der Vorteil ist, dass sie sehr effizient für die Trennung feiner Partikel sind und große Mengen verarbeiten können. Typische Anwendungen sind fortschrittliche Trennungen zur besseren Nährstoffbewirtschaftung in Biogasanlagen und zur Rückgewinnung von Nährstoffen wie Phosphor.
- **Absetzen und Setzbecken:**
 - **Schwerkraft-Absetzbecken oder -tanks:** Der Mist wird in großen Becken oder Tanks abgesetzt, wo die schwerere feste Fraktion zu Boden sinkt und die Flüssigkeit von oben abgesogen werden kann. Dies ist eine technologiearme, aber effektive Methode, die oft in großflächigen oder weniger mechanisierten Betrieben verwendet wird.
 - Der Vorteil ist die minimalen Ausrüstungs- und Betriebskosten, da sie leicht zu handhaben sind. Oft genutzt in Schweine- und Rinderbetrieben, wenn Land für große Speicherbecken verfügbar ist. Die Notwendigkeit einer Abdeckung kann die Kostenwirksamkeit reduzieren.
- **Filtersysteme:**
 - **Geotextilbeutel-Filter:** Dies sind große durchlässige Stoffbeutel, in die Mist gepumpt wird. Die flüssige Fraktion sickert durch den Stoff, während die Feststoffe im Inneren zurückgehalten werden. Es ist eine aufkommende Technologie im Agrarsektor.
 - Der Vorteil ist, dass es tragbare und einfach zu installierende Technologien sind, die wenig Wartung benötigen. Geeignet für kleine und mittlere Betriebe zur einfachen Mistbewirtschaftung.

Der Bericht „Klimafreundliche landwirtschaftliche Praktiken“ in Lettland: Trennung von flüssigem Mist und Vergärungsrückständen“ von der Lettischen Universität für Lebenswissenschaften und Technologien (2020) bietet praktische Beispiele und Anwendungen in einem landwirtschaftlichen Umfeld.

Vorbehandlung von zellulosehaltigem Material

Viele landwirtschaftliche Nebenprodukte, wie Stroh und Maisstängel, sind reich an Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Cellulose, ein wichtiger Bestandteil pflanzlicher Materialien, ist zäh und widerstandsfähig gegenüber Abbau, was diese Materialien für Nutztiere, insbesondere für monogastrische Tiere (z. B. Schweine und Geflügel) und, in geringerem Maße, für Wiederkäuer (z. B. Rinder und Schafe) schwer verdaulich macht. Eine Vorbehandlung macht die zähe, faserige Struktur zellulosehaltiger Futtermittel weicher und leichter für die Tiere zu kauen und zu verdauen. Dies verbessert die Schmackhaftigkeit des Futters und fördert die Futteraufnahme durch das Vieh. Die Vorbehandlung hilft, diese Strukturen abzubauen, sodass Mikroorganismen leichter auf das Material zugreifen und es verdauen können. Landwirtschaftliche Abfälle, die reich an Cellulose sind, wie Erntereste, sind oft im Überfluss vorhanden, aber untergenutzt. Durch die Vorbehandlung dieser

Materialien wird eine effizientere Rückgewinnung von Energie und Nährstoffen ermöglicht, wodurch Abfall in wertvolle Inputs für Prozesse wie die Biokraftstoffproduktion umgewandelt wird.

Verbesserte Biogasproduktion und besserer Bio-Dünger:

- **Effizienz der anaeroben Vergärung:** In Biogasanlagen werden zellulosehaltige Materialien (z. B. Stroh, Maisstängel) häufig als Substrate verwendet. Die Vorbehandlung baut die Cellulose und Hemicellulose in einfachere Zucker ab, die Mikroorganismen zu Biogas vergären können.
 - **Höhere Ausbeuten:** Durch die Verbesserung der Verdaulichkeit des Materials erhöht die Vorbehandlung die Gesamtausbeute an Biogas, wodurch der Prozess effizienter und kosteneffektiver wird.
 - **Schnellere Verarbeitung:** Die Vorbehandlung zellulosehaltiger Materialien reduziert die Zeit, die das Material in Bioreaktoren oder Kompostierungssystemen benötigt, um abzubauen. Diese kürzere Verweildauer ermöglicht schnellere Umsetzungen und eine größere Verarbeitungs-capazität.
 - **Einheitliches Substrat:** Die Vorbehandlung kann große, faserige Pflanzenmaterialien in kleinere, einheitlichere Partikel zerkleinern, was die Mischung der Substrate in Biogasanlagen verbessert.
 - **Ligninabbau:** Lignin, ein komplexes organisches Polymer in den Zellwänden von Pflanzen, kann die mikrobielle Aktivität bei der anaeroben Vergärung hemmen. Einige Vorbehandlungs-Methoden tragen dazu bei, den Ligningehalt zu reduzieren, wodurch die hemmenden Effekte minimiert und eine bessere mikrobielle Verdauung ermöglicht wird.
 - **Freisetzung von Nährstoffen:** Die Vorbehandlung hilft, Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium, die in den Zellwänden von Pflanzen eingeschlossen sind, freizusetzen, wodurch sie nach Kompostierung oder Vergärung leichter verfügbar werden, wenn sie als Dünger oder Bodenverbesserer verwendet werden.

Erhöhung der Nährstoffverfügbarkeit für Futter:

- **Energiefreisetzung:** Die Vorbehandlung hilft, die in den komplexen Kohlenhydraten (Cellulose und Hemicellulose) gespeicherte Energie freizusetzen. Nach dem Abbau können diese eine leichter zugängliche Energiequelle für Tiere bereitstellen, was zu besseren Wachstumsraten und Futtereffizienz führt.
- **Erhöhte Proteinverfügbarkeit:** Während Cellulose selbst kein Protein enthält, hilft die Vorbehandlung oft, gebundene Nährstoffe, einschließlich Proteinen und Aminosäuren aus den Zellwänden von Pflanzen, freizusetzen, sodass sie bioverfügbarer werden.
- **Lignin und Tannine:** Lignin, das in den Zellwänden von Pflanzen vorkommt, ist nicht verdaulich und kann Nährstoffe binden, wodurch sie für Tiere unzugänglich werden. Bestimmte Vorbehandlungsverfahren helfen, den Ligningehalt zu reduzieren und die allgemeine Nährstoffqualität des Futters zu erhöhen.
- **Entfernung von Toxinen:** Einige landwirtschaftliche Rückstände enthalten Verbindungen wie Tannine oder andere antinutritive Faktoren, die die Verdauung beeinträchtigen. Die Vorbehandlung kann helfen, diese Substanzen zu entfernen oder zu neutralisieren.

- **Weichmachung des Materials:** Die Vorbehandlung macht die zähe, faserige Struktur zellulosehaltiger Futtermittel weicher und leichter für die Tiere zu kauen und zu verdauen. Dies verbessert die Schmackhaftigkeit des Futters und fördert die Futteraufnahme durch das Vieh.
- **Enzymatische Hydrolyse:** Bestimmte chemische oder enzymatische Vorbehandlungsprozesse können komplexe Kohlenhydrate in einfachere Zucker aufspalten und das Kohlenhydratprofil im Futter verbessern. Dies kann helfen, den Energiegehalt im Vergleich zu Proteinquellen auszugleichen und eine vollständigere Ernährung zu schaffen.
- **Nutzung landwirtschaftlicher Nebenprodukte:** Die Vorbehandlung ermöglicht es, kostengünstige, zellulosehaltige landwirtschaftliche Nebenprodukte, die andernfalls verschwendet würden, in wertvolles Viehfutter umzuwandeln. Dies bietet Landwirten eine erschwingliche und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Futtermitteln.
- **Bessere Nutzung von Nährstoffen:** Die Vorbehandlung führt zu einer verbesserten Nährstoffaufnahme und Verdauung, was zu weniger Abfall führt, der von Tieren ausgeschieden wird. Dies ist besonders wichtig in intensiven Landwirtschaftsbetrieben, wo die Maximierung der Futtereffizienz entscheidend ist.

Übliche Vorbehandlungsmethoden:

- **Mechanische Vorbehandlung:** Zerkleinern, Mahlen oder Häckseln von organischem Material in kleinere Partikel, um die Oberfläche zu vergrößern.
 - **Übliche Anwendungen:** Verbessert die Schmackhaftigkeit und Verdaulichkeit von Tierfutter; steigert die Biogasproduktion, indem das organische Material für Mikroorganismen leichter abbaubar wird.
- **Chemische Vorbehandlung:** Einsatz von Säuren (z. B. verdünnte Schwefelsäure), Laugen (z. B. Natriumhydroxid, Ammoniak) oder Enzymen zur Aufspaltung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin.
 - **Übliche Anwendungen:** Laugen verbessern die Verdaulichkeit in Wiederkäuerfutter; steigert die Effizienz in der Bioenergieproduktion, indem die Zellulosestruktur geöffnet wird. Säuren setzen fermentierbare Zucker aus Biomasse für die Bioenergieproduktion (z. B. Ethanol und Biogas) frei.
- **Thermische Vorbehandlung:** Anwendung von Hitze oder Dampf, um das organische Material zu erweichen und seine Struktur aufzubrechen.
 - **Übliche Anwendungen:** Weit verbreitet in der Biogas- und Bioethanolproduktion; kann auch verwendet werden, um die Verdaulichkeit von Tierfutter, insbesondere von faserreichen Materialien, zu verbessern.
- **Biologische und enzymatische Vorbehandlung:** Einsatz spezifischer Pilze zur Zersetzung von Lignin, um die Zellulose zugänglicher zu machen, oder die Verwendung spezifischer Enzyme (wie Cellulasen und Hemicellulasen).
 - Nicht sehr verbreitete Methoden, da sie für großtechnische Anwendungen kostenintensiv sind.

Vorbehandlungsmethoden sind entscheidend, um zellulosereiche landwirtschaftliche Rückstände für die mikrobielle Verdauung zugänglicher zu machen, sei es in der Tierfütterung oder in der Bioenergieproduktion. Jede Methode hat spezifische Vorteile, abhängig von der Art des organischen

Materials und dem beabsichtigten Verwendungszweck, sei es zur Verbesserung der Futtermittelverdaulichkeit oder zur Umwandlung von Biomasse in erneuerbare Energiequellen wie Biogas oder Biokraftstoffe.

Mehr dazu finden Sie im Übersichtsartikel von Rasaq et al. (2024) „Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications“.

Biogasproduktion – Anaerobe Vergärung

Biogas wird durch einen natürlichen Prozess namens anaerobe Vergärung erzeugt, bei dem organisches Material – wie organische Abfälle, Pflanzenreste und Viehmist – von Mikroorganismen in einer sauerstofffreien Umgebung abgebaut wird. Dieser Prozess produziert ein Gemisch aus Gasen, hauptsächlich Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2), wodurch Biogas zu einer erneuerbaren Energiequelle wird. Einer der Hauptvorteile der anaeroben Vergärung besteht darin, dass sie die Masse und den Geruch organischer Abfälle reduziert, diese stabilisiert und in wertvolle Produkte wie Biogas und Bio-Dünger umwandelt.



Quellen für Biomüll, der anaerob vergoren werden kann, um Biogas und Bio-Dünger zu produzieren.

Biogaszusammensetzung:

Methan (CH_4):

- Methan ist der Hauptenergieträger von Biogas.
- Der Methangehalt liegt typischerweise zwischen 45 % und 75 % des Volumens.
- Der Energiegehalt von Biogas variiert je nach Methankonzentration.

Kohlenstoffdioxid (CO_2):

- CO_2 ist die andere Hauptkomponente im Biogas.
- Es entsteht als Nebenprodukt des anaeroben Vergärungsprozesses und kann als Bio- CO_2 genutzt werden, um fossiles CO_2 zu ersetzen, das zum Beispiel in Gewächshäusern für das Pflanzenwachstum verwendet wird.

Die Größe einer Biogasanlage ist entscheidend, da die Nutzung des erzeugten Biogases von der Menge der produzierten Energie abhängt. Große Biogasanlagen können oft die Investition in ein Gasaufbereitungssystem rechtfertigen. Im Gegensatz dazu produzieren kleine bis mittelgroße Anlagen in der Regel Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung.



Eine Biogasanlage kann das Potenzial haben, aufbereitetes Biogas als Kraftstoff für Fahrzeuge zu produzieren.

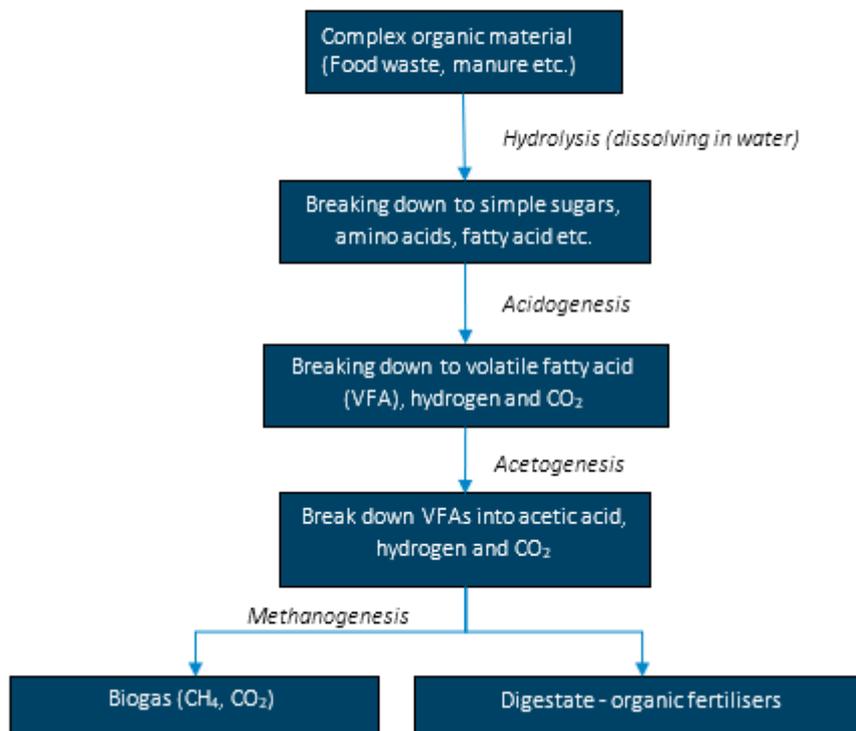
Biogasproduktionspfade – Vergärung von komplexem organischem Material

Der Biogasproduktionsprozess besteht aus mehreren mikrobiologischen Stoffwechselschritten, die von verschiedenen Bakterienarten in einem Reaktor durchgeführt werden. Organisches Material wird anaerob, also ohne Anwesenheit von Sauerstoff, abgebaut. Während einige Bakterien im Reaktor Sauerstoff tolerieren können, ist dies bei anderen nicht der Fall. Der letzte Schritt, die Methanogenese, wird von strikt anaeroben Bakterien durchgeführt, die in Anwesenheit von Sauerstoff nicht überleben können und sehr empfindlich auf Temperaturschwankungen und niedrige pH-Werte reagieren. Um die Biogasproduktion zu optimieren, muss die Umgebung für diese Mikroorganismen genau überwacht werden, einschließlich Temperatur, Alkalität und flüchtiger Säuren.



Im Biogasprozess werden große organische Moleküle in die Gase Methan und Kohlendioxid abgebaut. Dies ist aufgrund einer sehr komplexen Interaktion zwischen verschiedenen Mikroorganismen möglich. Zum Beispiel kann ein Organismus die „Nahrung“ für einen anderen Organismus produzieren oder durch eine Änderung des pH-Werts der Umgebung die richtigen Bedingungen für das Wachstum eines anderen Organismus schaffen. Alles, was nicht in Gas umgewandelt wird, verbleibt als Rückstand und kann als organischer Dünger oder Bodenverbesserungsmittel verwendet werden. Dazu gehören Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium in Form von pflanzenverfügbaren Nährstoffen. Der organische Dünger enthält auch den

Kohlenstoff, der nicht in Gas umgewandelt werden konnte, was oft auf etwa 50 % des Kohlenstoffs im ursprünglichen organischen Material geschätzt werden kann, jedoch je nach Material variiert.
40



Vereinfachte Beschreibung des Biogasprozesses mit den verschiedenen biochemischen und mikrobiologischen Schritten.

Bioreaktoren:

Ein Bioreaktor ist ein abgeschlossener, luftdichter Behälter oder Tank, der mit einem Rührmechanismus ausgestattet ist, um eine gleichmäßige Durchmischung sicherzustellen. In Durchfluss-Systemen wird das Substrat mit der gleichen Rate zugeführt, mit der das vergorene Material (Bio-Dünger) entnommen wird. Die durchschnittliche Verweilzeit im Bioreaktor beträgt in der Regel 20 bis 40 Tage, je nach Prozessbedingungen. Natürlich vorkommende Mikroorganismen bauen das organische Material ab und produzieren dabei Biogas. Das Biogas wird aus dem Gassammelraum des Bioreaktors gewonnen.



Verbrennung oder Kraft-Wärme-Kopplung (KWK):

Ein Biogas-Kessel verbrennt Biogas zur Wärmeerzeugung, die zum Beheizen von Gebäuden genutzt werden kann. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) oder eine Turbine erzeugen sowohl Wärme als auch Strom. Etwa ein Drittel der Energie wird in Strom umgewandelt, während die restlichen zwei Drittel zur Wärmeerzeugung verwendet werden können.“



Aufbereitung zu Biomethan:

Biomethan, auch als erneuerbares Erdgas bekannt, ist aufbereitetes Biogas, bei dem CO₂ und andere Verunreinigungen wie Schwefelwasserstoff entfernt wurden. Biomethan ist mit dem vorhandenen Erdgasnetz kompatibel. Der Aufbereitungsprozess kann durch verschiedene Techniken wie Waschverfahren, Membranen, chemische Behandlungen oder temperaturbasierte Methoden erreicht werden. Mit einem höheren Energiegehalt als Biogas ist Biomethan eine sauberere Alternative zu fossilen Brennstoffen, insbesondere für den Verkehrssektor. Das aufbereitete Biogas kann auch in komprimierter oder verflüssigter Form weiterverarbeitet werden, um eine einfachere Lagerung und Handhabung zu ermöglichen.



Bio-CO₂: Eine grüne Lösung für industrielle Anwendungen

During the production of biogas, a significant byproduct emerges which is bio-CO₂. This carbon dioxide, which is derived from biological sources, can play a pivotal role in reducing industrial emissions. There are two primary approaches to utilising this bio-CO₂:

- **Direkte Nutzung:** Einsatz des Bio-CO₂ in gasförmiger Form, z.B. zur Herstellung von Biochemikalien, Brennstoffen und Beton.
- **Verflüssigung:** Umwandlung in flüssige Form. Dieser Prozess ist zwar energieintensiver, bietet jedoch mehrere Vorteile. Flüssiges CO₂ ist dichter und kann effizienter gelagert und transportiert werden als seine gasförmige Form. Dies ist besonders vorteilhaft für Anwendungen, die große Mengen an CO₂ erfordern oder bei denen der Lagerraum begrenzt ist.

Die Energiekosten für die Verflüssigung müssen jedoch gegen diese Vorteile abgewogen werden. Wird Bio-CO₂ durch Prozesse wie die Methanisierung zu Methan aufgewertet, kann es fossiles CO₂ in kleineren Mengen ersetzen und so möglicherweise zu erheblichen Emissionsreduktionen führen.

Erhöhung des Biogasausstoßes durch Methanisierung

Die Methanisierung ist ein Prozess, der Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂) unter Verwendung von Wasserstoff (H₂) in Methan (CH₄) umwandelt. Dieser Prozess ist entscheidend, um Methan aus nicht-methanischen Quellen zu erzeugen und die Effizienz sowie Reinheit von Biogas zu verbessern. Beispielsweise kann überschüssiger Strom aus Windkraftanlagen zur Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse genutzt werden. Dieser Wasserstoff kann dann in der Methanisierung eingesetzt oder einem anaeroben Fermenter hinzugefügt werden, um die Methanproduktion zu steigern.

Fazit:

Die anaerobe Vergärung ist ein gängiges Verfahren zur Behandlung biologischer Abfälle, wie z. B. Klärschlamm und Lebensmittelabfälle. Dieser Prozess verringert das Abfallvolumen, stabilisiert es biologisch, reduziert Krankheitserreger und minimiert das Geruchspotential vor der Lagerung und Verwendung als Bio-Dünger. Die kontrollierte anaerobe Vergärung von Mist erhöht zudem die Verfügbarkeit von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, und erleichtert die Ausbringung. Biogas bietet eine wichtige Lösung, um den Energiebedarf zu decken und gleichzeitig die Umwelt zu schützen. Durch die Umwandlung organischer Abfälle in Energie und stabilen Kohlenstoff verwandeln wir weggeworfene Materialien in eine wertvolle, nachhaltige Ressource für die Zukunft.

Vorteile der Biogasproduktion:

- **Effizientes Abfallmanagement:** Biogas bietet eine effiziente Möglichkeit zur Verarbeitung organischer Abfälle, einschließlich Lebensmittel- und Tierabfälle. Es ermöglicht das Recycling wichtiger Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium, die als Dünger in der Landwirtschaft verwendet werden können.
- **Schaffung von Arbeitsplätzen:** Die Biogasindustrie kann durch ihre Wertschöpfungskette von der Abfallsammlung bis zur Biogasproduktion eine erhebliche Anzahl von Arbeitsplätzen und wirtschaftlichem Wert generieren.
- **Erneuerbare Ressource:** Biogas und Bio-Dünger werden aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt, wodurch unsere Abhängigkeit von nicht-nachhaltigen Ressourcen wie Öl und chemischen Düngemitteln verringert wird.

Nachteile der Biogasproduktion:

- **Abhängigkeit von organischen Materialien:** Eine stetige Biogasproduktion erfordert ausreichend organisches Material. Der Wettbewerb um diese Materialien aus anderen Sektoren kann zu Herausforderungen bei der Ressourcenverteilung führen.
- **Geruchs- und Standortprobleme:** Die Abfallwirtschaft kann unangenehme Gerüche erzeugen, was die Standortwahl von Biogasanlagen entscheidend macht, um potenzielle Geruchsprobleme in der Nähe bewohnter Gebiete zu minimieren.
- **Einfluss der Temperatur:** Die Biogasproduktion ist temperaturabhängig, und klimatische Bedingungen können die Produktionseffizienz beeinflussen. In kälteren Regionen sind mehr Ressourcen erforderlich, um die Anlagen zu isolieren und zu heizen, was die Produktionskosten erhöht.
- **Kosten und Investitionen:** Der Aufbau einer Biogasanlage erfordert erhebliche Kosten und Investitionen, insbesondere für die Infrastruktur und die Lagerung von Bio-Dünger.
- **Methanleckage:** Methanemissionen können während der Lagerung von Bio-Dünger auftreten, wenn der Tank nicht ordnungsgemäß versiegelt ist. Darüber hinaus kann Methan aus der Biogasanlage entweichen, wenn es nicht effektiv verbrannt oder aufgefangen wird.

Obwohl es Herausforderungen gibt, können viele durch Planung, Technologiefortschritt und effiziente Betriebsabläufe gemeistert werden. Die Biogasproduktion hat systemische Herausforderungen, die politischen Willen erfordern, um sie anzugehen. Trotz der Nachteile gibt es das Wissen und die Technologie zur Produktion von Biogas, was es zu einer tragfähigen Option für die nachhaltige Energieproduktion macht.



Große Biogasanlage

Ein Beispiel in Norwegen ist Den Magiske Fabrikken (Die Magische Fabrik), die die Kapazität hat, etwa 120 GWh Biogas zu produzieren. In der Anlage werden Lebensmittelabfälle und Tiermist in Biogas, organischen Dünger aus der Gärreste und Wurmkompost sowie grünes CO₂ umgewandelt. Die Lebensmittelabfälle stammen von etwa 1,2 Millionen Bewohnern in Ostnorwegen, während der Tiermist von Rinder- und Schweinefarmen in Vestfold bezogen wird.

Die Magische Fabrik ist jedoch mehr als nur eine Biogasanlage. Sie fungiert als Knotenpunkt für die Vernetzung von Industrien durch verschiedene Projekte und Initiativen und legt den Grundstein für nachhaltige Entwicklung, Innovation und grünes Wachstum. Das regionale Abfallwirtschaftsunternehmen VESAR hat ein Wissens- und Erfahrungszentrum in der Nähe der Biogasanlage eingerichtet. Dieses Zentrum bietet Kindern und Jugendlichen praktische Lernmöglichkeiten über Abfalltrennung, Recycling, Lebensmittelproduktion und erneuerbare Energien. Ein zentrales Element des Bildungserlebnisses ist die Verbindung von Theorie und Praxis, die es den Teilnehmern ermöglicht, in realen Umgebungen zu sehen, zu schmecken und zu riechen.

Ein Beispiel aus Schweden ist More Biogas Småland AB, das im Februar 2011 nach mehreren Jahren der Vorbereitung gegründet wurde. Das Unternehmen hat 21 Aktionäre, darunter 15 Landwirte aus Förlösa, Läckeby und Rockneby, die sich nördlich von Kalmar befinden. Die Anlage produziert

komprimiertes Fahrzeuggas für den lokalen Gebrauch. Die Rohstoffe umfassen Mist von den Höfen der Landwirte und Lebensmittelabfälle aus Haushalten in den umliegenden Gemeinden.

Aus 100.000 Tonnen Substrat produziert das Unternehmen nahezu die gleiche Menge an flüssigem organischen Dünger. Der Großteil dieses organischen Düngers wird an die Landwirte zurückgegeben. Er enthält höhere Nährstoffgehalte im Vergleich zu Stallmist, mit einer erhöhten Stickstoffkonzentration.

Aufwertung von organischem Dünger.

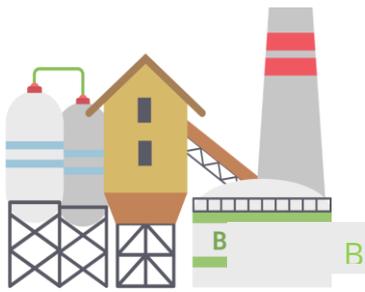
Was ist organischer Dünger?"

Organische Dünger stammen aus natürlichen organischen Quellen wie tierischem Mist, Kompost, Lebensmittelabfällen und Pflanzenresten. Organische Dünger liefern Nährstoffe für Pflanzen, oft in einer langsam freisetzenden Form, verbessern die Bodenstruktur und fördern die mikrobielle Aktivität. Diese Dünger enthalten typischerweise wichtige Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, sekundäre Nährstoffe wie Schwefel und verschiedene Mikronährstoffe. Organische Dünger enthalten organischen Kohlenstoff, der entscheidend für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und die Unterstützung eines gesunden Ökosystems ist.

Die Aufwertung organischer Dünger umfasst Prozesse, die das organische Material stabilisieren, die Nährstoffe besser verfügbar machen und das Pflanzenwachstum sowie die Bodenqualität verbessern. Zusätzlich können pflanzliche Biostimulanzien, die das Pflanzenwachstum und die Stressresistenz verbessern, oder Bio-Dünger, die die Nährstoffverfügbarkeit durch Mikroorganismen erhöhen, aus organischen Düngern gewonnen werden."

Arten von organischen Düngern und ähnlichen Produkten:

- **Organischer Dünger aus anaerober Vergärung:** Ein Nebenprodukt der Biogasproduktion, das aus organischen Materialien wie tierischem Mist oder Lebensmittelabfällen gewonnen wird. Dieser Dünger verbessert die Bodenfruchtbarkeit und fördert gesundes Pflanzenwachstum, indem organisch gebundener Stickstoff in besser verfügbares Ammoniumstickstoff umgewandelt wird. Auch als Digestat, Bioschlammen oder Bio-Dünger-Rückstände bekannt.
- **Kompost:** Hergestellt aus zersetztem organischen Material wie Hühner- oder Kuhmist, bereichert er den Boden mit essentiellen Nährstoffen, verbessert die Bodenstruktur und steigert die mikrobielle Aktivität.
- **Vermikompost:** Produziert von Regenwürmern, die organische Abfälle zersetzen, ist Vermikompost reich an Nährstoffen und nützlichen Mikroorganismen, was die Bodenqualität und Fruchtbarkeit weiter verbessert.
- **Frass:** Der Kot von Insekten wie schwarzen Soldatenfliegenlarven oder Mehlwürmern, Frass ist ein nährstoffreicher biologischer Dünger, der als effektives Bodenverbesserungsmittel dient und das Pflanzenwachstum sowie die Bodenqualität fördert.



Technologie zur Aufwertung organischer Dünger

Technologien wie anaerobe Vergärung, Trocknung und Kompostierung werden zur Herstellung organischer Dünger eingesetzt. Diese Technologien verbessern die Qualität und Wirksamkeit der Dünger, was sie für die landwirtschaftliche Nutzung vorteilhafter macht. Hier ist, wie jede Technologie dazu beiträgt:

Anaerobe Vergärung – Flüssig- oder Festgärgülle

- **Mechanismus:** Organische Materialien (wie Gülle, Lebensmittelabfälle oder Ernterückstände) werden in Abwesenheit von Sauerstoff durch Mikroorganismen abgebaut. Dabei entstehen Biogas (Methan und Kohlendioxid) und Gärreste (ein nährstoffreicher Rückstand). "
- Vorteile:
 - **Verbesserte Nährstoffzusammensetzung:** Organische Dünger aus der anaeroben Vergärung sind reich an Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor und Kalium und haben oft eine bessere Nährstoffverfügbarkeit im Vergleich zu den rohen Ausgangsmaterialien.
 - **Reduzierte Krankheitserreger und Gerüche:** Der Vergärungsprozess reduziert Krankheitserreger und Gerüche, wodurch der Dünger sicherer und angenehmer in der Handhabung ist.
- **Anwendung:** Gärreste, egal ob flüssig oder fest, können mit derselben Ausrüstung ausgebracht werden, die üblicherweise für die Ausbringung von Gülle aus Milchvieh- oder Schweinebetrieben verwendet wird.

Trocknung – Granulierte oder pelletierte organische Düngemittel

- **Mechanismus:** Organische Materialien oder deren Nebenprodukte (wie kompostierter Hühnerdung) werden getrocknet, um den Feuchtigkeitsgehalt zu reduzieren und die Handhabung und Lagerung zu erleichtern.
- Vorteile:
 - **Längere Haltbarkeit:** Getrocknete Düngemittel sind länger haltbar und weniger anfällig für mikrobiellen Verderb oder Abbau während der Lagerung.
 - **Erhöhte Nährstoffkonzentration:** Durch das Trocknen können Nährstoffe konzentriert werden, was den Dünger pro Gewichtseinheit effektiver macht.
 - **Verbesserte Handhabung:** Trockene, granulierte oder pelletierte Produkte sind leichter zu transportieren, zu lagern und auszubringen als feuchte oder halbfeste organische Materialien.
- **Anwendung:** Getrocknete Düngemittel können mit derselben Ausrüstung ausgebracht werden, die üblicherweise für die Ausbringung von Mineraldüngern verwendet wird, wie Streuwagen.

Kompostierung – Organischer Dünger oder Bodenverbesserungsmittel

- **Mechanismus:** Organische Materialien werden durch Mikroorganismen in Anwesenheit von Sauerstoff abgebaut und in Kompost umgewandelt, der ein stabiles, nährstoffreiches Bodenverbesserungsmittel darstellt.
- Vorteile:
 - **Verbesserte Nährstoffverfügbarkeit:** Durch die Kompostierung werden Nährstoffe stabilisiert und für Pflanzen leichter verfügbar gemacht.
 - **Verbesserung der Bodenstruktur:** Kompost verbessert die Bodenstruktur, Belüftung und Wasserhaltekapazität, was der Bodenfruchtbarkeit zugutekommt.
 - **Reduzierung von Krankheitserregern und Unkrautsamen:** Eine ordnungsgemäße Kompostierung verringert Krankheitserreger und Unkrautsamen, was die Sicherheit des Düngers erhöht.
- **Anwendung:** Kompost kann mit Geräten ausgebracht werden, die ähnlich wie Miststreuer für eingestreute Gülle verwendet werden, wie Streuwagen, die üblicherweise für Schaf- und Rinderbetriebe eingesetzt werden.

Vorteile der Aufbereitung von organischem Dünger

- **Nährstoffreicher Rohstoff:** Biologische Düngemittel wie Gülle enthalten essentielle Nährstoffe, die für das Pflanzenwachstum benötigt werden. Die Aufbereitung dieser Düngemittel kann das Nährstoffgleichgewicht und die Verfügbarkeit verbessern. Zum Beispiel hat Bio-Dünger, der aus einer Mischung von vergorener Gülle und Lebensmittelabfällen in einer Biogasanlage hergestellt wird, oft bessere Nährstoffprofile im Vergleich zu reiner Gülle. Dieser aufbereitete Bio-Dünger bietet in der Regel eine bessere Stickstoffverfügbarkeit und eine ausgewogenere Nährstoffzusammensetzung, was ihn für das Pflanzenwachstum effektiver macht.
- **Kohlenstoff und Bodenstruktur:** Die Zugabe von organischem Material zum Boden hilft, Kohlenstoff zu binden und trägt so zur Eindämmung des Klimawandels bei, indem es den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre reduziert. Biologischer Dünger trägt zur Speicherung von organischem Kohlenstoff im Boden bei. Organische Substanz verbessert die Bodenstruktur, die Wasserhaltekapazität und die Nährstoffverfügbarkeit. Gesunder Boden führt zu höheren Erträgen und gesünderen Pflanzen.
- **Marktnachfrage:** Es gibt eine wachsende Nachfrage nach nachhaltigen und ökologischen Anbaumethoden, was die Marktchancen für biologisch basierte Düngemittel erhöhen kann.
- **Reduziertes Risiko von Umweltverschmutzung:** Richtig gehandhabte biologische Düngemittel sind weniger anfällig für Nährstoffverluste und Wasserverunreinigung im Vergleich zu synthetischen Alternativen.
- **Geringerer CO₂-Fußabdruck:** Die Herstellung und Verwendung von organischen Düngemitteln führt im Allgemeinen zu geringeren Treibhausgasemissionen im Vergleich zu synthetischen Düngemitteln.

Nachteile

- **Krankheitserreger:** Wenn sie nicht richtig verarbeitet werden, können aufbereitete Düngemittel immer noch Krankheitserreger oder Unkrautsamen enthalten, obwohl dieses Risiko bei gut verwalteten Aufbereitungsprozessen in der Regel geringer ist.

- **Vorschriften:** Es kann regulatorische Anforderungen für die Verwendung und Anwendung von aufbereiteten biologischen Düngemitteln geben, die je nach Region variieren und die Einhaltung spezifischer Standards erfordern.
- **Energieverbrauch:** Einige Aufbereitungsprozesse, wie z. B. die Trocknung, erfordern erheblichen Energieeinsatz.
- **Lageranforderungen:** Einige aufbereitete biologische Düngemittel erfordern spezielle Lagerbedingungen, um ihre Wirksamkeit zu erhalten und eine Verschlechterung zu verhindern.
- **Handhabungsprobleme:** Bestimmte Formen von aufbereiteten Düngemitteln, wie z. B. solche in flüssiger oder granulärer Form, können spezielle Geräte für die Ausbringung erfordern.
- **Variable Qualität:** Das Nährstoffprofil von aufbereiteten Düngemitteln kann je nach Ausgangsmaterialien und angewandten Verfahren variieren.
- **Höhere Produktionskosten:** Aufbereitungsprozesse wie Kompostierung, Wurmkompostierung oder Biogasproduktion können teurer sein als die Verwendung unbehandelter Gülle.

Beispiele für aufgewertete biologische Düngemittel für den Tomatenanbau

Ein Beispiel in Norwegen ist Den Magiske Fabrikken (Die Magische Fabrik), die über eine Kapazität zur Produktion von etwa 120 GWh Biogas verfügt. In der Anlage werden Lebensmittelabfälle und Gülle in Biogas, Bio-Dünger, Wurmkompost und grünes CO₂ umgewandelt. Die Lebensmittelabfälle stammen von etwa 1,2 Millionen Einwohnern aus Ostnorwegen, während die Gülle von Rinder- und Schweinefarmen in der Region Vestfold bezogen wird.

Ein Pilotprojekt, ein sogenanntes Bubble-Gewächshaus (BBBLS), wurde neben der Biogasanlage errichtet. Es nutzt aufgefangenes Bio-CO₂ und entwässertes flüssiges Gärprodukt aus der Biogasanlage sowie Wurmkompost, der aus dem Gärprodukt gewonnen wird. Das System nennt sich Digeponik. Digeponik ist eine Anbaumethode, bei der die organischen Düngerprodukte der anaeroben Vergärung, einschließlich CO₂, mit dem Gewächshausanbau von Gemüse kombiniert werden. Dieses nachhaltige System produziert klimafreundliche Tomaten für lokale Supermärkte. Die Bubble-Gewächshaus-Technologie allein bietet eine Energieeinsparung von 80 %, und in Kombination mit der Nutzung von Bio-CO₂ und Bio-Dünger erreicht das Gewächshaus eine bemerkenswerte Reduzierung des Energieverbrauchs um 90 % im Vergleich zu herkömmlichen Gewächshäusern.

Pyrolyse

Die Pyrolyse-Lösung: Was ist Pyrolyse?

Pyrolyse ist ein Prozess, bei dem Biomasse (wie Holz) ohne Sauerstoff auf hohe Temperaturen (bis zu 500-600 Grad Celsius) erhitzt wird (Universität Oslo, 2022). Anstatt zu verbrennen, zerfällt das organische Material in Gase, Öle und feste Kohlenstoffrückstände. Es handelt sich um eine molekulare Umwandlung, bei der lange und komplexe Moleküle in kürzere und einfachere Verbindungen umgewandelt werden.

Das Abholzungsdilemma:

Verbleibende Holzmasse: In Abholzungsgebieten bleibt oft bis zur Hälfte der Holzmasse ungenutzt zurück.

Vorteile:

- **Erneuerbare Energiequelle:** Forstbiomasse kann zur Energieerzeugung genutzt werden, was als erneuerbar gilt und dazu beitragen kann, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.
- **Reduzierung von Abfällen:** Die Nutzung von Holzresten und anderen Forstnebenprodukten zur Energiegewinnung trägt dazu bei, Materialien zu verwenden, die ansonsten ungenutzt blieben.
- **Wirtschaftliche Chancen:** Das Sammeln von Biomasse kann wirtschaftliche Vorteile bieten, einschließlich der Schaffung von Arbeitsplätzen in ländlichen Gebieten und der Unterstützung der Forstwirtschaft.



Herausforderungen:

- **Auswirkungen auf das Ökosystem:** Abholzung kann Ökosysteme stören, Lebensräume von Wildtieren beeinträchtigen und zum Verlust der Biodiversität führen. Nachhaltige Bewirtschaftungspraktiken sind notwendig, um diese Auswirkungen zu mindern.
- **Kohlenstoffemissionen:** Obwohl Biomasse erneuerbar ist, können die Prozesse des Abholzens und Transports von Holz Kohlendioxid und andere Treibhausgase freisetzen. Dies kann einige der Klimavorteile der Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung ausgleichen.
- **Landnutzungsänderung:** Die Umwandlung von Wäldern zur Biomasseproduktion kann zu Abholzung oder Landdegradation führen, was die Kohlenstoffspeicherung und die Bodengesundheit beeinträchtigt.
- **Nachhaltigkeit:** Sicherzustellen, dass die Abholzung nachhaltig erfolgt und nicht zu einer Übernutzung oder Erschöpfung der Waldressourcen führt, ist eine zentrale Herausforderung.

Im Wesentlichen hebt das „Abholzungs-dilemma“ die Notwendigkeit einer sorgfältigen Bewirtschaftung und Politik hervor, um den konkurrierenden Anforderungen der Energieproduktion und des Waldschutzes gerecht zu werden.

Biokohle: Eine kohlenstoffreiche Lösung

Biokohle ist ein poröses, kohlenstoffreiches Material, das aus erneuerbaren Quellen wie Holz und Pflanzen hergestellt wird. Anders als konventionelle Kohle, die nicht erneuerbar ist, ähnelt Biokohle einem natürlichen Schwamm mit seinen winzigen Löchern und Poren.



Terra Preta

Im Amazonasgebiet wurde die antike Erde, bekannt als „Terra Preta“, mit Biokohle angereichert, was ihre historische Bedeutung für die Bodenverbesserung zeigt (Pommeresche, 2018). Die poröse Struktur der Biokohle hilft, Wasser effektiv zu speichern und schafft günstige Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Sie speichert auch Nährstoffe und unterstützt Mikroorganismen, die zur Bodengesundheit beitragen. Darüber hinaus spielt Biokohle eine bedeutende Rolle bei der Kohlenstoffspeicherung, indem sie CO₂ speichert. Die Zugabe von einem Kubikmeter Biokohle zum Boden kann die Emission von 1000 kg CO₂ verhindern (Jære, 2017).

Energieerzeugung:

Biokohle hat auch Anwendungen in der Energieerzeugung. Sie kann weniger umweltfreundliche Energiequellen ersetzen und wird als Brennstoff in Kraftwerken, Industriebetrieben und Haushalten zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt. Als kohlenstoffneutrales Material wird Biokohle aus Pflanzen hergestellt, die durch Photosynthese CO₂ aufgenommen haben.

Bio-Öl: Ursprünge der Pyrolyse:

Bio-Öl wird durch Pyrolyse produziert und ist eine dunkelbraune Flüssigkeit, die Wasser, organische Verbindungen wie Phenole, Aldehyde und Ketone sowie kleine Mengen an nicht kondensierbaren Gasen enthält. Die genaue Zusammensetzung variiert je nach Pyrolysetemperatur (O'Toole & Grønlund, 2012).

Anwendungen von Bio-Öl:

- **Energiequelle:** Bio-Öl kann zur Beheizung von Gebäuden oder zur Stromerzeugung genutzt werden. Es ist eine Alternative zu herkömmlichen fossilen Brennstoffen.
- **Veredlungsmöglichkeiten:** Durch weitere Veredelung wird Bio-Öl für den Transportsektor geeignet.
- **Kulinarische Erlebnisse:** Schon mal von „flüssigem Rauch“ gehört? Es handelt sich um ein aus Bio-Öl hergestelltes Aromamittel, das Lebensmitteln einen rauchigen Geschmack verleiht.

Vorteile von Bio-Öl:

- Bio-Öl kann aus verschiedenen Biomassequellen hergestellt werden: Diese Flexibilität gewährleistet eine breite Palette von Rohstoffen.
- **Energieeffizienz:** Die Produktion von Bio-Öl ist energieeffizient und minimiert Energieverluste. Es kann problemlos in bestehende Infrastrukturen (wie Raffinerien) integriert werden (Opdal & Hojem, 2007).

Nachteile von Bio-Öl:

- Lagerung und Handhabung: Bio-Öl hat einen hohen Wassergehalt und kann korrosiv sein, was spezielle Handhabungs- und Lagerbedingungen erfordert.
- Energiedichte: Seine Energiedichte ist im Vergleich zu herkömmlichen fossilen Brennstoffen niedriger, was seine Nutzung in einigen Anwendungen einschränken kann.

Vergasung

Die Vergasung ist ein thermochemischer Prozess, bei dem organische oder kohlenstoffhaltige Materialien wie Holzbiomasse (700–800 °C) in ein Gasgemisch, bekannt als Synthesegas (Syngas), umgewandelt werden. Dieser Prozess erfolgt bei hohen Temperaturen in einer kontrollierten Umgebung mit begrenztem Sauerstoff oder Wasserdampf. Die Hauptbestandteile von Syngas sind Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂), Kohlendioxid (CO₂) und manchmal Methan (CH₄).

Der historische Kontext: Die Wurzeln der Vergasung

Die Vergasung ist keine neue Technologie – sie hat eine lange Geschichte. Bereits im 19. Jahrhundert wurde Gas zur Straßenbeleuchtung in Städten verwendet. Während des Zweiten Weltkriegs wurden aufgrund von Erdölknappheit in Europa Autos mit Holzgas betrieben (Hofstad, 2020).

Der Vergasungsprozess: Was ist Vergasung?

Er wandelt feste oder flüssige Biomasse-Brennstoffe in Gas um – speziell in Syngas (ein Gemisch aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und anderen Gasen). Die Technologie wird als Vergaser bezeichnet, bei der die Biomasse ohne Sauerstoff auf etwa 800–1000 Grad Celsius erhitzt wird und Gas entsteht.



Vielseitigkeit der Ressourcen:

Die Vergasung ist vielseitig in der Ressourcennutzung und kann eine Vielzahl von Materialien verarbeiten, darunter:

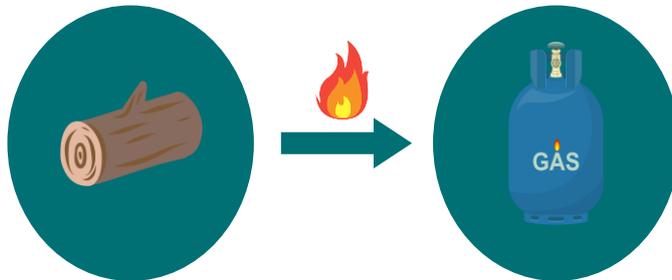
- Biomasse (wie Holz, Rinde und Hackschnitzel)
- Kohle
- Erdgas
- Organische Abfallstoffe

Vorteile:

- **Reduzierte gefährliche Emissionen:** Die Vergasung minimiert die Emissionen schädlicher Stoffe wie Schwefel und Chlor (Hofstad, 2020). Diese werden im Aschebestandteil gebunden, was die Luft sauberer hält und das Risiko von saurem Regen verringert.
- **Intelligente Ressourcennutzung:** Die Vergasung verwandelt Abfälle (sowohl biologische als auch fossile) in Gas. Es ist wie die Verwandlung von Müll in wertvolle Ressourcen – sie verringert die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und fördert die Nachhaltigkeit.
- **Erhalt von recycelbaren Metallen:** Anders als bei Hochtemperaturprozessen, die Metalle zerstören, bleiben bei der Vergasung recycelbare Materialien erhalten. Wertvolle Metalle können ohne Zerstörung wiederverwendet werden.

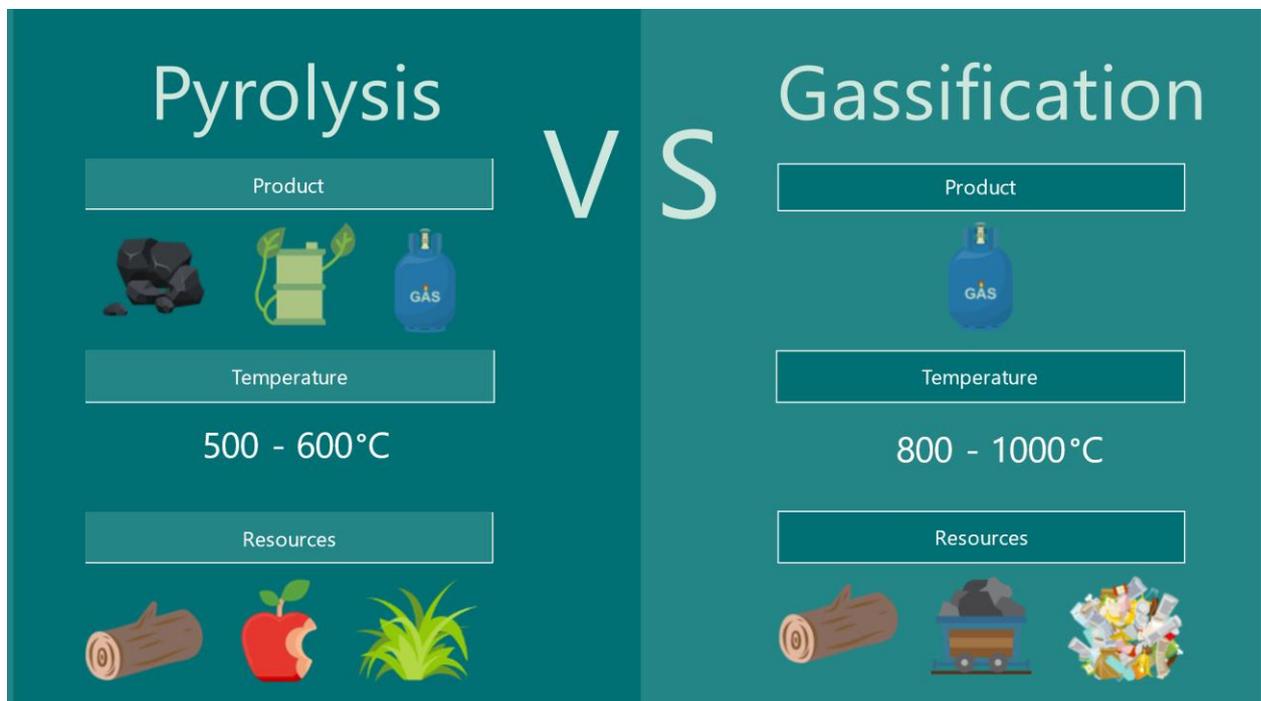
Nachteile:

- **Geringe Energiedichte:** Die Energieeffizienz der Vergasung liegt bei etwa 55 Prozent (Fornybarklyngen, 2020). Ein erheblicher Teil der eingebrachten Energie geht verloren, was eine größere Gasproduktion für den gewünschten Energieoutput erforderlich macht.
- **Komplexität:** Abfälle bestehen aus einer Mischung verschiedener Stoffe, was die Effizienz der Vergasung beeinflusst. Eine Vorverarbeitung oder Sortierung der Abfälle kann notwendig sein (Hofstad, 2020).



Unterschiede zwischen Vergasung und Pyrolyse:

- **Produkt:** Die Vergasung erzeugt ausschließlich Syngas, während die Pyrolyse Bio-Öl, Holzkohle und einen kleineren Gasanteil liefert.
- **Temperatur:** Die Vergasung erfordert höhere Temperaturen (800–1000 °C), während die Pyrolyse bei niedrigeren Temperaturen (500–600 °C) stattfindet.
- **Ressourcenvielfalt:** Die Vergasung kann eine größere Vielfalt an Ressourcen verarbeiten, während die Pyrolyse typischerweise auf Biomasse und organische Abfälle beschränkt ist.



Verschiedene Arten von thermochemischen Umwandlungsprozessen für Biomasse (Mishra & Upadhyay, 2021)

Prozess	Temperature (C)	Pressure (MPa)	Main Products
Torrefaktion	230-300	0.1	Festbrennstoffe
Verflüssigung	250-330	5–20	Bio-Öle, Gase
Pyrolyse	300-600	0.1–0.5	Bio-Öle, Transportkraftstoffe
Vergasung	700-1300	≥0.1	Synthesegas
Verbrennung	700-1400	≥0.1	Wärme, Elektrizität

Proteingewinnung

Proteingewinnung durch thermische Hydrolyse: Die Bausteine der Natur freisetzen

Grundlagen der Proteingewinnung: Warum Proteine extrahieren?

Proteine sind lebenswichtig – sie sind die Bausteine von Zellen, Geweben und Enzymen. Die Proteingewinnung ermöglicht es uns, diese wertvollen Moleküle für verschiedene Zwecke zu nutzen.

Rohmaterialien und Methoden:

Proteine können aus verschiedenen proteinreichen Quellen extrahiert werden:

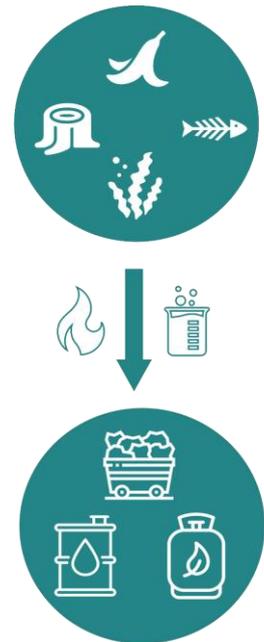
- Gras
- Tierische Nebenprodukte
- Bohnen

Verschiedene Technologien werden verwendet, wie z. B.:

Wasserbasierte Extraktion: Die einfachste Methode, bei der Proteine durch das Mischen von Pflanzenmaterial mit Wasser extrahiert werden, oft mit pH-Anpassungen. Nach Filtration und Zentrifugation werden die Proteine von den restlichen Pflanzenbestandteilen getrennt.

Alkalische Extraktion und isoelektrische Fällung: Bei dieser Methode wird der pH-Wert auf ein alkalisches Niveau eingestellt, um die Proteine aus dem Pflanzenmaterial zu lösen. Der pH-Wert wird dann auf den isoelektrischen Punkt des Proteins gesenkt, wo es ausfällt und isoliert werden kann.

Enzymatische Hydrolyse: Enzyme werden verwendet, um die Zellwände des Pflanzenmaterials aufzubrechen und die Proteine freizusetzen. Dies bietet einen schonenderen Prozess und hilft, die Funktionalität der Proteine zu bewahren.



Thermische Hydrolyse: Hierbei werden Wärme und Druck eingesetzt, um komplexe organische Moleküle wie Proteine in kleinere Einheiten zu zerlegen. Im Zusammenhang mit der Pflanzeneiweißextraktion kann die thermische Hydrolyse helfen, die Zellwände des Pflanzenmaterials aufzubrechen und Proteine freizusetzen. Dies kann vorteilhaft sein, um die Proteinausbeute zu erhöhen oder die Verdaulichkeit der Proteine zu verbessern. Es ist jedoch wichtig, Wärme und Druck so zu steuern, dass eine Denaturierung der Proteine vermieden wird, da dies ihre funktionellen Eigenschaften in Lebensmitteln beeinträchtigen könnte.

Thermische Hydrolyse erklärt: Was ist thermische Hydrolyse?

Stellen Sie sich vor, Sie erhitzen Gras (oder anderes Rohmaterial) und pressen es dann, um eine Flüssigkeit zu extrahieren. Diese Flüssigkeit enthält Proteine – die Schätze, nach denen wir suchen! Das restliche Gras wird in zwei Teile geteilt: einen nassen und einen festen Teil.

Verarbeitung der festen Rückstände:

Je nach Ziel können wir die festen Rückstände auf verschiedene Weise weiterverarbeiten:

- 1. Trocknung:** Durch das Entfernen der Feuchtigkeit aus den Rückständen erhalten wir ein stabiles, trockenes Produkt in Form von Pulver oder Pellets. Diese Methode hilft, den Proteingehalt für eine längerfristige Lagerung zu bewahren und erleichtert den Transport.
- 2. Flüssige Lösung:** Manchmal ist das flüssige Nebenprodukt, das Proteine enthält, in seiner nassen Form wertvoller. Diese Lösung kann direkt in einigen Anwendungen verwendet werden oder durch weitere Prozesse spezifische Proteinfractionen oder Nährstoffe isolieren.

Vielseitige Anwendungen:

Proteinreiche Nebenprodukte aus Pflanzen können genutzt werden, um eine neue Generation von pflanzlichen Lebensmitteln für Menschen und Tiere zu schaffen.

- **Fleischersatz:** Mit der wachsenden Nachfrage nach Alternativen zu tierischen Produkten bieten pflanzliche Proteine aus Resten eine vielversprechende Lösung. Diese Proteine können zu strukturierten Fleischersatzprodukten formuliert werden, die Geschmack und Textur von traditionellem Fleisch nachahmen.
 - **Proteinreiche Riegel und Snacks:** Stellen Sie sich vor, Riegel und Snacks zu kreieren, die nicht nur proteinreich sind, sondern auch aus nachhaltigen Quellen wie Gras oder anderen pflanzlichen Reststoffen stammen!
 - **Tierfutter:** Proteine sind auch für die Gesundheit und das Wachstum von Nutztieren unerlässlich. Durch die Einbindung von pflanzlichen Protein-Nebenprodukten in Tierfutter können wir die Ernährung von Nutztieren verbessern. Anstatt Soja oder andere Proteinquellen zu importieren, die einen größeren CO₂-Fußabdruck haben, könnten wir sie möglicherweise durch lokal gewonnene, proteinreiche Nebenprodukte ersetzen.

Einige Unternehmen entwickeln modulare Proteingewinnungssysteme, die für kleinere Betriebe ausgelegt sind. Hier ist ein Beispiel:

Alfa Laval – Pflanzliche Proteingewinnung

[Alfa Laval](#) bietet Proteingewinnungssysteme im kleineren Maßstab an, die für den lokalen oder landwirtschaftlichen Gebrauch geeignet sind. Sie bieten eine Reihe von skalierbaren und

anpassbaren pflanzlichen Proteinverarbeitungssystemen an. Ihre Lösungen umfassen Proteingewinnung, Trennung und Reinigung, die effizient und nachhaltig gestaltet sind.

Phosphorrückgewinnung

Die Gewinnung von Phosphor aus biologischem Material wie organischem Abfall, Gülle oder Lebensmittelresten hat mehrere wesentliche Vorteile, insbesondere da Phosphor ein entscheidender Nährstoff für das Pflanzenwachstum ist. Hier sind die Hauptgründe, warum Phosphor aus biologischem Material gewonnen werden sollte:

- **Phosphor ist eine begrenzte Ressource:** Phosphor wird hauptsächlich aus Phosphatgestein gewonnen, einer nicht erneuerbaren Ressource, die erschöpft wird. Die Gewinnung von Phosphor aus biologischem Material bietet eine nachhaltige Möglichkeit, diesen wichtigen Nährstoff zu recyceln und die Abhängigkeit von abgebautem Phosphor zu verringern.
- **Nachhaltiges Abfallmanagement:** Biologische Materialien wie Gülle, Lebensmittelabfälle und Abwasser enthalten erhebliche Mengen an Phosphor. Die Extraktion hilft, Nährstoffe aus Abfällen zu recyceln, die sonst zur Verschmutzung beitragen würden. Durch die Rückgewinnung von Phosphor verringern wir Abfälle und die Umweltauswirkungen von Nährstoffeinträgen, die zu Eutrophierung von Gewässern und „toten Zonen“ führen können.
- **Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit:** Phosphor ist unerlässlich für die Wurzelentwicklung, den Energietransfer und die allgemeine Pflanzengesundheit. Die Gewinnung von Phosphor aus organischen Materialien und seine Rückführung in den Boden hilft, nährstoffarme landwirtschaftliche Böden wieder aufzufüllen und ihre Fruchtbarkeit und Produktivität langfristig zu erhalten.
- **Reduzierung des Einsatzes von chemischen Düngemitteln:** Die Gewinnung von Phosphor aus biologischem Material trägt dazu bei, die Abhängigkeit von synthetischen chemischen Düngemitteln zu verringern. Dies unterstützt nachhaltigere landwirtschaftliche Praktiken und senkt die Umwelt- und Wirtschaftskosten, die mit der Herstellung und dem Transport von chemischen Düngemitteln verbunden sind.
- **Kreislaufwirtschaft:** Durch die Gewinnung von Phosphor aus Abfallstoffen wird das landwirtschaftliche System zirkulärer. Nährstoffe werden wiederverwendet, was den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entspricht und sowohl Abfälle als auch den Bedarf an externen Inputs wie synthetischen Düngemitteln reduziert.
- **Deckung der landwirtschaftlichen Nachfrage:** Phosphor ist einer der Hauptnährstoffe, die für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, und die Nachfrage ist hoch. Die Gewinnung von Phosphor aus biologischem Material bietet eine alternative Quelle, um die wachsende Nachfrage in der Landwirtschaft zu decken, insbesondere angesichts des steigenden Bedarfs an globaler Nahrungsmittelproduktion.

Zusammengefasst fördert die Phosphorrückgewinnung aus biologischem Material die Nachhaltigkeit, verringert Umweltschäden und unterstützt die landwirtschaftliche Produktivität auf eine zirkuläre und ressourceneffiziente Weise.

Es gibt mehrere Technologien zur Phosphorrückgewinnung, und zwei Technologien werden vorgestellt.

Da die Phosphorreserven weltweit extrem begrenzt sind, sind Technologien zur Rückgewinnung von großer Bedeutung. Darüber hinaus sind die aktuellen Phosphorquellen zunehmend kontaminiert und befinden sich an schwer zugänglichen Orten wie China, Marokko und Russland, was bedeutet, dass Phosphor ein geopolitisches Thema darstellt.

Die [Europäische Plattform für nachhaltigen Phosphor](#) bietet Erfolgsgeschichten zur Rückgewinnung von Phosphat aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten und Abfallströmen wie Klärschlamm und Abwasser. Es gibt viele Technologien zur Phosphorrückgewinnung, und laut der Europäischen Phosphorplattform gehören einige der folgenden dazu:

Anuvia Plant Nutrients	Metawater alkaline ash leaching	RSR (Green Sentinel)
Ash2Phos (EasyMining)	NuReSys	Rubiphos-TTBS
AshDec (Metso Outotec)	P-roc	SIMPPhos-process (Cirkel)
Charlene - ReCord	PAKU (Endev)	Sinfert
Ecophos, EcophosLoop (Prayon)	Parforce	Sludge lysis
EuPhore	Pearl (Ostara)	Spodofos (ThermusP)
Flashphos (Uni. Stuttgart, Italmatch)	PHOS4Green (Glatt)	Struvite enhanced: Return streams
GetMoreP (Prayon)	Phos4Life (ZAR – Técnicas Reunidas)	Struvite enhanced: acid (MSE-mobile)
HAIX ion exchange (LayneRTTM)	PHOSPHIX (Clean TeQ Water)	Struvite precipitation
HTCycle	Phosphogreen (Suez)	SusPhos
ICL	Phosphorce (Veolia)	TerraNova (HTC)
Kemira iron / aluminium phosphate	RAVITA (Helsinki HSY)	TetraPhos (Remondis)
Kubota	Renewable Nutrients	Varcor
LYSTEK	RePeat (Nijhuis Saur Industries)	ViviMag® (Kemira)
		WasStrip (Ostara)

Es gibt verschiedene Technologien und Managementsysteme zur Phosphorrückgewinnung. Die beiden vorgestellten Wege sind die Bildung von Struvit und die Rückgewinnung von Phosphor aus Asche.

Struvitbildung - Phosphorquelle für nachhaltige Landwirtschaft

Was ist Struvit?

Struvit ist ein Mineral, das entsteht, wenn bestimmte Substanzen – Ammonium, Phosphat und Magnesium – in einer flüssigen Mischung zusammenkommen. Stellen Sie sich winzige Kristalle vor, die Sand oder kleine Steine ähneln.

Das Problem:

Struvit kann in Rohren und Abwassersystemen Chaos anrichten, Blockaden und Störungen verursachen (Blytt, 2022).



Struvit-Extraktionsprozess:

- **Sammlung und Bildung:** Wir beginnen mit der Sammlung von Abwasser, das Struvit enthält. Anschließend fügen wir spezifische chemische Substanzen hinzu, um die Bildung von Struvitkristallen zu unterstützen. Diese Kristalle enthalten wichtige Nährstoffe: Phosphor, Stickstoff und Magnesium.
- **Trennung und Isolation:** Sobald die Struvitkristalle gebildet sind, trennen wir sie von der Flüssigkeit.
- **Filtration oder Absetzen** ermöglicht es uns, die Struvitkristalle zu isolieren.
- **Düngemittelpotenzial:** Diese isolierten Struvitkristalle sind bereit zur Verwendung als Düngemittel. Sie sind reich an Phosphor – einem kritischen Nährstoff für das Pflanzenwachstum.

Vorteile der Struvit-Extraktion:

1. Wertvollen Phosphor erhalten: Phosphor ist eine begrenzte Ressource, und Struvit hilft uns, ihn besser zu nutzen. Durch die Extraktion von Struvit stellen wir eine nachhaltige Versorgung für die Landwirtschaft sicher.
2. Wasserschutz: Übermäßiger Phosphor im Wasser führt zu schnellem Algenwachstum, das Ökosysteme stört. Die Entfernung von Struvit aus Abwasser trägt zu saubererem Wasser bei.

Struvitbildung tritt auf und kristallisiert, wenn Sie eine Flüssigkeit mit der richtigen Temperatur, dem richtigen pH-Wert und der Konzentration von Stickstoff als Ammoniumstickstoff, Magnesiumionen und Phosphor als Phosphat haben. Um den Kristallisationsprozess zu steuern, wurden verschiedene Technologien entwickelt und sind auf dem Markt erhältlich. Normalerweise müssen Sie das Gleichgewicht der Ionen NH_4^+ , PO_4^{2-} und Mg^{2+} kontrollieren, und oft muss Magnesium hinzugefügt werden, um die richtigen Bedingungen zu schaffen.

Die Dairy Research Farm De Marke in den Niederlanden hat Technologien zur Struvitrückgewinnung in ihrer Biorefinery implementiert. Mehrere andere Kläranlagen, wie die Waßmannsdorf-Anlage in Berlin, haben ebenfalls ähnliche Systeme wie AirPrex® installiert, um Struvit aus Abwasserschlamm/Biosolids zu gewinnen. Dies hilft, die Phosphatwerte im Abwasser zu senken und ein vermarktbare Düngemittel zu produzieren.

Phosphorextraktion aus Asche

EasyMining konzentriert sich auf die Phosphor-Rückgewinnung und adressiert Europas starke Abhängigkeit von abgebautem Phosphor (Blytt et al., 2017). Ihre Ash2®Phos-Technologie extrahiert Phosphor aus Klärschlammasche nach der Verbrennung. Bis zu 90 % des Phosphors können aus dieser Asche zurückgewonnen werden (EasyMining, 2023).

Dreistufiger Prozess:

- **Säurestufe:** Lösen Sie Phosphor aus der Asche mit Säure, was ein phosphorreiches Zwischenprodukt ergibt.
- **Alkalische Stufe:** Stabilisieren Sie das Zwischenprodukt für die weitere Verarbeitung.
- **Umwandlungsstufe:** Erstellen Sie ein benutzerfreundliches Phosphorprodukt für landwirtschaftliche Nutzung."

Die Technologie von EasyMining nutzt Abfall als Ressource. Sie holt nicht nur Phosphor zurück, sondern auch andere wertvolle Metalle (EasyMining, 2023). In Zusammenarbeit mit Gelsenwasser

wird EasyMining das weltweit erste Phosphor-Rückgewinnungswerk unter Verwendung der Ash2Phos-Technologie in Deutschland bauen. Der Betrieb soll Anfang 2027 beginnen. Die Technologie wird zirkulären Phosphor liefern, der in Düngemitteln verwendet wird.

Stickstoffrückgewinnung

Plasmabehandlung – Stickstoffanreicherung

Die Produktion mineralischer Düngemittel steht vor Nachhaltigkeitsproblemen. Die Rohstoffe sind endlich, und der Herstellungsprozess basiert auf fossilen Brennstoffen, die schädlich für das Klima sind. Daher ist es entscheidend, innovative und umweltfreundliche Methoden zur Produktion von Düngemitteln zu erkunden, die notwendige Nährstoffe bereitstellen, ohne unserer Umwelt zu schaden.

N2Applied hat eine bahnbrechende Technologie entwickelt, um Stickstoffoxidemissionen, ein starkes Treibhausgas, zu reduzieren. Diese Innovation ermöglicht es Landwirten, ihre Umweltbelastung zu verringern und die Landwirtschaft nachhaltiger und effizienter zu gestalten. Durch die Umwandlung von atmosphärischem Stickstoff (N₂), den Pflanzen nicht nutzen können, in Ammoniumnitrat, bietet es den Pflanzen einen zugänglichen und wertvollen Nährstoff. Die Technologie besteht hauptsächlich aus drei Komponenten: einer Stromversorgung, einer Plasmanlage und einem Absorbturm. Der Prozess umfasst die Trennung von Stickstoff aus der Luft und die Kombination mit Wasser zur Herstellung eines flüssigen Düngemittels. Was N2Applied's Technologie besonders macht, ist ihre Fähigkeit, Düngemittel vor Ort, beispielsweise auf einem Bauernhof, zu produzieren. Dies eliminiert die Notwendigkeit für den Transport und gibt den Landwirten mehr Kontrolle über die Produktion. Die Technologie hilft auch, Stickstoffoxidemissionen zu reduzieren, was der Umwelt und dem Klima zugutekommt.

Die Technologie von N2Applied wird derzeit an zehn Standorten in sechs verschiedenen europäischen Ländern angewendet.

Norwegen: Eine N₂-Einheit wurde auf dem Hof in Røros installiert, die die Gülle von 130 Milchkühen behandelt. Die Installation auf Galåvolden Gård nutzt lokal produzierte Energie, die aus Solarzellen erzeugt wird.

Dänemark: Die Anlage in Foulum besteht aus vier Reaktoren mit 15 L, vier Reaktoren mit 200 L, zwei Reaktoren mit 10 m³, zwei Reaktoren mit 30 m³ und dem Hauptfermenter mit 1200 m³ mit einer Kapazität zur Behandlung von etwa 80 Tonnen Rohmaterialien pro Tag. Die N₂-Einheit an der AU Foulum behandelt derzeit einen Teil des gesamten erzeugten Digestats.

Schweden: More Biogas, Småland wurde im Februar 2011 als Fermentationsanlage gegründet, die komprimiertes Fahrzeugbenzin für die lokale Nutzung in Kalmar, Schweden, produziert. Das Unternehmen hat 22 Mitbesitzer, von denen 18 nahegelegene Hühner-, Schweine- und Rinderbauern in Förlösa, Läckeby und Rockneby nördlich von Kalmar sind. Jährlich werden etwa 90.000 Tonnen Substrat zur Anlage transportiert. Das Substrat besteht aus Gülle von den Betrieben sowie Lebensmittelabfällen aus Haushalten in den angrenzenden Gemeinden. Im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit den liefernden Landwirten wird diese Gülle im Durchschnitt 7,5 km

von der Anlage transportiert und auf den Feldern der liefernden Bauern verteilt, was etwa 3.500 Hektar Land entspricht. Durch die Integration der Plasmatechnologie von N₂ in die bestehende Infrastruktur von More Biogas im Jahr 2021 kann das Nebenprodukt des Digestats behandelt werden, was zu einem leistungsstarken organischen Dünger führt.

Ammoniumstickstoff zurückgewinnen – Scrubbing-Technologie

Ammoniumstickstoff kann aus Flüssigkeit zurückgewonnen werden, indem der pH-Wert durch Lauge erhöht wird, was Ammonium in Ammoniakgas umwandelt. Das Ammoniak wird dann mit einer Säure gewaschen, um es wieder in Formen wie Ammoniumnitrat oder Ammoniumsulfat umzuwandeln. Diese Technologie wird in Kläranlagen verwendet, und ein Beispiel stammt von einem finnischen Biogaskraftwerk zur Behandlung von Klärschlamm und Bioabfällen.

Beispiel aus Finnland

Das Forssa-Energieproduktionswerk in Finnland, seit Juli 2024 Sallia Energia genannt – ist eines von über 130 solchen Standorten, die von Nevel betrieben werden. Sie erzeugen jährlich 190 GWh Energie, wobei feste Bioenergie als Hauptbrennstoff verwendet wird, jedoch auch Klärschlamm, Lebensmittelabfälle und tierische Nebenprodukte. Das produzierte Biogas wird teilweise zur Erzeugung von Wasserdampf verwendet, der für den technologischen Prozess notwendig ist, ein Teil wird zur Strom- und Wärmeproduktion in einem Blockheizkraftwerk genutzt, und ein Teil des Biogases wird zusätzlich gereinigt und zu Biomethan angereichert, das an einer nahegelegenen Biomethan-Tankstelle verkauft wird (komprimiertes Biogas). Während der Agrarsaison wird den nahegelegenen Betrieben kostenlos Bio-Dünger zur Verfügung gestellt. Während der Wintermonate wird die Trockenmassefraktion von der vergorenen Substanz mit Hilfe von Zentrifugen getrennt und bis zum Frühjahr und

Teil II: Umsetzung und Lösungen

Wesentliche Herausforderungen für Innovation und Kreation

Innovation und neue Kreationen innerhalb der Bioökonomie stehen vor spezifischen Herausforderungen. Hier sind einige der wichtigsten Herausforderungen:

Technologische Entwicklung

Eine Herausforderung innerhalb der Bioökonomie besteht darin, Technologien zu entwickeln und zu verbessern, die eine effiziente Nutzung organischer Materialien und das Recycling von Nährstoffen ermöglichen. Dies kann Technologien zur Biomasse-Energieumwandlung, Biotechnologie zur Optimierung von Produktionsprozessen und Methoden zur Wiederverwertung und Rückgewinnung von Nährstoffen umfassen. Die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien erfordert erhebliche Forschung, Investitionen und Tests.

- *Beispiel:* Entwicklung kostengünstigerer und nachhaltigerer Methoden zur Biomasseumwandlung, beispielsweise in der Produktion von Bioethanol aus Cellulose-Materialien. Die Herausforderung liegt darin, optimale Prozesse zu finden, die den Energieverbrauch und die Produktionskosten ausbalancieren.

Markt- und finanzielle Unsicherheit

Die Bioökonomie entwickelt sich ständig weiter, und es gibt oft Unsicherheiten in Bezug auf Marktchancen und finanzielle Rentabilität. Bioökonomische Produkte und Dienstleistungen können Herausforderungen hinsichtlich der Nachfrage, Preise und des Wettbewerbs durch etablierte Industrien gegenüberstehen.

- *Beispiel:* Während Biokunststoffe ein umweltfreundlicher Ersatz für herkömmliche Kunststoffe sein können, kann der Preis höher sein, was die Nachfrage verringern kann (Fredri & Dorigato, 2021).

Nachhaltigkeit und Umweltauswirkungen

Die Bioökonomie steht vor Herausforderungen im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Umweltauswirkungen. Es ist notwendig sicherzustellen, dass die Produktion und Nutzung organischer Materialien auf eine nachhaltige Weise erfolgt, die die ökologischen Folgen berücksichtigt, wie Abholzung, Wasserverbrauch, Chemikalien und Treibhausgasemissionen.

- *Beispiel:* Eine erhöhte Nutzung organischer Materialien kann zu Konflikten zwischen dem Bedarf an Nahrungsmittelproduktion und der Produktion von Rohstoffen für bioökonomische Produkte führen. Beispielsweise kann eine steigende Nachfrage nach Biokraftstoffen zu Konkurrenz um landwirtschaftliche Flächen für die Nahrungsmittelproduktion führen. Die Produktion organischer Materialien kann auch die lokale Ökologie und Biodiversität beeinträchtigen. Abholzung zur Gewinnung organischer Materialien kann zum Verlust von Lebensräumen für gefährdete Arten und zu Veränderungen in Ökosystemen führen.

Politische und regulatorische Rahmenbedingungen

Die Bioökonomie operiert innerhalb eines komplexen Sets politischer und regulatorischer Rahmenbedingungen. Herausforderungen können in Form von fehlender Harmonisierung von Vorschriften, unklaren Regelungen für Bioökonomie-Produkte und fehlenden Anreizen für eine nachhaltige Bioökonomie auftreten (Olsen & Torrissen, 2023).

- *Beispiel:* Es gibt gesetzliche Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung von Klärschlamm-basierten Bio-Dünger. Auch die Algen- und Kelpindustrie sowie die Insektenindustrie haben Schwierigkeiten, sich aufgrund von Einschränkungen in der Gesetzgebung bezüglich Produktdefinitionen zu etablieren.

Um diese Herausforderungen anzugehen, ist eine Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Industrie, Behörden und der Gesellschaft im Allgemeinen erforderlich. Investitionen in Forschung und Entwicklung, die Gestaltung unterstützender Politiken und Regulierungen, das Bewusstsein für

Nachhaltigkeit und Umweltauswirkungen sowie Maßnahmen zur Förderung von Wissen und Kompetenz innerhalb der Bioökonomie sind notwendig.

Globale und europäische Politik

Hier sind einige schnelle Fakten über die politischen Strategien, die mit der Erreichung einer nachhaltigeren Zukunft verbunden sind und wo die Bioökonomie eine Rolle spielt. Wenn Sie die Schüler mit Quizzen und Spielen einbeziehen möchten, bietet die Lern-Ecke [der EU viele interaktive Aktivitäten](#), aus denen Sie auswählen können.

Lassen Sie uns die Schüler fragen: Glauben Sie, dass wir die Ziele bis 2050 erreichen werden?
Stellen Sie sich vor, es ist 2030 und Sie haben Ihr eigenes Unternehmen im grünen Sektor. Was sind Sie bereit zu tun, um zu den Zielen beizutragen? Vielleicht erneuerbare Energie produzieren? Mit Forschern zusammenarbeiten, um neue innovative Technologien zu testen? Ihren Abfall sammeln, um ihn später in neue Produkte umzuwandeln? Einen Garten anlegen, der Unterschlupf und Nahrung für Bestäuber bietet? Jetzt lassen Sie uns weiteres Wissen erwerben.

Das Pariser Abkommen:

Ein Vertrag zur Bekämpfung des Klimawandels. Es zielt darauf ab, den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Jedes unterzeichnende Land arbeitet auf vereinbarte Ziele hin. Zum Beispiel hat Schweden sich verpflichtet, bis 2045 klimaneutral (Netto-0-Emissionen) zu werden. Finnland ist eines der ehrgeizigsten Länder Europas und möchte bis 2035 Klimaneutralität erreichen (Außenministerium Finnland). Fast die gesamte Welt arbeitet darauf hin, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen; die einzigen Länder, die das Pariser Abkommen nicht unterzeichnet haben, sind Iran, Libyen und Jemen.

Der EU-Grüne Deal

[Zunächst können wir ein erklärendes Video ansehen.](#)

Um solche wichtigen Ziele zu erreichen, sind auf europäischer, nationaler und lokaler Ebene mehr Strategien und konkrete Pläne erforderlich. Um eine gemeinsame Vision zu haben, hat das EU Parlament 2021 für den EU-Grünen Deal gestimmt, ein Dokument, das darlegt, wie Klimaneutralität bis 2050 erreicht werden kann. Es ist ein Fahrplan zur Transformation der EU-Wirtschaft, mit Maßnahmen zur Förderung der effizienten Nutzung von Ressourcen durch den Übergang zu einer sauberen, zirkulären Wirtschaft sowie zur Wiederherstellung der Biodiversität und zur Reduzierung der Verschmutzung.

Der Grüne Deal hat mehrere Hauptziele:

- **Klimaneutralität:** Die EU zielt darauf ab, bis 2050 Netto-Null-Treibhausgasemissionen zu erreichen. Das bedeutet, die Menge der emittierten Treibhausgase mit der Menge zu bilanzieren, die aus der Atmosphäre entfernt wird.
- **Saubere Energie:** Der Plan umfasst eine Strategie für einen nachhaltigeren Energiesektor mit einem größeren Fokus auf erneuerbare Energiequellen und dem Ziel, die Energieeffizienz zu erhöhen.

- **Nachhaltige Industrie:** Die EU plant, die Industrie zu unterstützen, um Innovationen voranzutreiben und weltweit führend in der grünen Wirtschaft zu werden. Dazu gehört die Förderung sauberer Technologien und Prozesse.
- **Bau und Renovierung:** Die EU zielt darauf ab, die Energieeffizienz von Gebäuden zu verbessern und deren CO₂-Fußabdruck durch Renovierungs- und Gestaltungsverbesserungen zu reduzieren.
- **Null-Verschmutzung:** Das Ziel ist es, die Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden zu verhindern und zu reduzieren, um eine giftfreie Umwelt zu gewährleisten.
- **Biodiversität:** Die EU plant, Ökosysteme und die Biodiversität sowohl an Land als auch im Ozean zu schützen und wiederherzustellen.

Der Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft der EU (CEAP) ist Teil des europäischen Grünen Deals. Er plant:

- den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft für nachhaltiges Wachstum.
- den Druck auf natürliche Ressourcen zu reduzieren und den Verlust der Biodiversität zu stoppen.

Der Einfluss der Bioökonomie auf Gesellschaft und Umwelt

Bioökonomie und Arbeitsplätze

Die Bioökonomie generiert über 17 Millionen Arbeitsplätze in der EU. Sie repräsentiert 4,7 % des BIP der EU und 8,3 % ihrer Erwerbsbevölkerung zum Zeitpunkt des Schreibens. Sie hat positive Spillover-Effekte entlang der Wertschöpfungskette. Sie profitiert sowohl von städtischen als auch von ländlichen Gebieten, zum Beispiel:

- **Ländliche Revitalisierung:** Die Bioökonomie kann ländliche Wirtschaften ankurbeln, indem sie die Nachfrage nach lokal beschafften biologischen Ressourcen schafft.
- **Nachhaltige Landwirtschaft und Forstwirtschaft:** Bioökonomische Praktiken fördern nachhaltige Landwirtschaft und Forstwirtschaft, was zur Erhaltung und Verbesserung der natürlichen Ressourcen in ländlichen Gebieten beiträgt.
- **Gemeinschaftliche Ermächtigung:** Durch die Schaffung von Arbeitsplätzen und die Ankurbelung wirtschaftlicher Aktivitäten kann die Bioökonomie ländliche Gemeinschaften stärken und die ländlich-urbanen Disparitäten verringern.

Die zirkuläre Bioökonomie weist einen Weg zur Resilienz und wirkt direkt darauf hin, den Klimawandel zu verlangsamen, was sich auf unsere Sicherheit und Gesundheit auswirkt. Aber wer wird sie aufbauen und wie können kleine Landwirte beitragen? Sicher, große Investitionen können getätigt werden, die kleine landwirtschaftliche Gemeinschaften oft nicht aufbringen können. Doch das hat die Gemeinschaften nicht daran gehindert, beispielsweise den Anteil Europas an sauberer erneuerbarer Energie zu erhöhen.

[Sehen wir uns an, wie sich das in Europa entwickelt hat.](#)

Viele haben sich dem Begriff der Energie-Demokratie zugewandt. Energie-Demokratie bedeutet, dass eine Gemeinschaft gemeinsam in den Bau einer gemeinsamen Energieproduktionsanlage investiert, zum Beispiel als Genossenschaft. Nehmen wir beispielsweise eine Landwirtschaftsgemeinschaft, die ihren Abfall besser nutzen möchte, aber weit von einer Stadt lebt,

die ein Biogaswerk hat. Sie bündeln Ressourcen, um gemeinsam ein größeres Biogaswerk in ihrer Region zu bauen und haben gemeinschaftliches Eigentum.

Der Klimanutzen der Nutzung von Biogas und Bio-Dünger

Der Klimanutzen beinhaltet die Verringerung von Treibhausgasemissionen. Maßnahmen wie der Übergang zu erneuerbaren Energien und der Erhalt von Wäldern tragen dazu bei, die globale Erwärmung zu begrenzen und den Klimawandel zu mildern.

Wirtschaftliche Vorteile:

- Die Entwicklung grüner Technologien und erneuerbarer Energiequellen schafft neue Arbeitsplätze und fördert das Wirtschaftswachstum.
- Die Reduzierung der Abhängigkeit von kostspieligen und schädlichen Ressourcen kommt sowohl der Umwelt als auch der Wirtschaft zugute.
- Energieeffizienz und Klimaanpassung können auch die Kosten im Zusammenhang mit Energieverbrauch und Infrastruktur senken.

Soziale Wohlfahrt:

Die Klimavorteile wirken sich auf die Gesundheit und Lebensqualität der Menschen aus.

- Die Reduzierung der Luftverschmutzung durch Treibhausgase verringert Atemwegserkrankungen
- Die Klimaanpassung schützt gefährdete Gemeinschaften und hilft ihnen, ihre Lebensgrundlagen und die Resilienz der Gemeinschaft aufrechtzuerhalten.

Kosten-Nutzen-Balance:

Obwohl die Bekämpfung des Klimawandels teuer sein kann, schaffen die langfristigen Vorteile eine nachhaltigere und resilientere Gesellschaft.

Umweltauswirkungen der Nutzung von Biogas und Dünger:

Nehmen wir Norwegen als Beispiel. Der Klimanutzen wird als Prozentsatz ausgedrückt. Investitionen in Biogas können einen Klimanutzen von über 100 Prozent erzielen (Pederstad, 2017).

Beispielillustration:

Stellen Sie sich ein Fahrzeug vor, das 100 Tonnen CO₂-Äquivalente mit normalem Benzin emittiert. Wenn wir Benzin durch Biogas ersetzen und die Emissionen um 100 Tonnen CO₂-Äquivalente reduzieren, erreichen wir einen Klimanutzen von 100 Prozent. Mit anderen Worten: Wir haben Treibhausgasemissionen, die dem Referenzpunkt fossiler Brennstoffe entsprechen, eliminiert oder reduziert.

Dreifacher Klimanutzen:

Biogas reduziert nicht nur die Emissionen, sondern trägt auch zu:

- Nährstoffrecycling
- der Abscheidung schädlicher Treibhausgase wie Methan bei

Diese kombinierten Effekte können mehr als 200 Prozent Klimanutzen im Vergleich zu normalen fossilen Brennstoffen bieten (EU, 2018).

Gründe für den hohen Klimanutzen:

Lassen Sie uns das in vier Hauptpunkte unterteilen:

- Ersatz fossiler Energieträger: Biogas verhindert Methanemissionen und ersetzt fossile Brennstoffe, wodurch CO₂-Emissionen aus der Verbrennung reduziert werden (Pederstad 2017).
- CO₂-Aufwertung: Das aus Biogas gewonnene CO₂ ersetzt fossiles CO₂.
- Biorefinery-Rückstände: Biogas kann mineralische Dünger ersetzen.
- Abfall- und Güllebehandlung: Biogasanlagen haben eine geringere Klimawirkung als alternative Behandlungsmethoden.

Positiver Einfluss durch erhöhte Produktion:

Je mehr Biogas wir produzieren, desto größer der Klimanutzen. Norwegen produziert derzeit Biogas im Umfang von 0,7 TWh (Biogass Oslofjord und Biogass Norge, 2023). Die Produktion von 2,8 TWh Biogas könnte die CO₂-Emissionen potenziell um etwa 552.000 Tonnen pro Jahr (Ersatz von Erdgas) oder 716.000 Tonnen (Ersatz von Diesel) reduzieren (Lyng & Berntsen, 2023). Dies entspricht 6 bis 8 Prozent der nationalen Emissionen aus dem Straßenverkehr, je nach ersetztem Brennstoff (Lyng & Berntsen, 2023).

1. Ersatz fossilen CO₂ durch Bio-CO₂:

Das während des Biogasaufwertungsprozesses produzierte CO₂ hat das Potenzial, fossiles CO₂ zu ersetzen, das in verschiedenen Industrien verwendet wird. Dieses Bio-CO₂ kann eine nachhaltige Alternative bieten und die Abhängigkeit von industriellem CO₂ aus fossilen Brennstoffen verringern.

2. Biogas-Digesta als nachhaltiger Dünger:

Biogas-Digesta, ein Nebenprodukt der Biogasproduktion, recycelt Nährstoffe aus organischen Abfällen effizient und stellt eine umweltfreundliche Alternative zu chemischen Düngemitteln dar. Die Herstellung chemischer Düngemittel ist energieintensiv und basiert auf fossilen Brennstoffen, während Biogas-Digesta nicht nur Umweltschäden mindert, sondern auch hilft, Lachgasemissionen zu reduzieren. Darüber hinaus reichert Biogas-Digesta den Boden mit organischem Kohlenstoff an, verbessert die Bodenqualität und trägt zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung bei.

3. Nutzung von Abfall und Gülle in Biogasanlagen:

In Norwegen ist das Gülle-Management eine bedeutende Emissionsquelle. Die Behandlung von Viehgülle in Biogasanlagen hilft, diese Emissionen zu reduzieren, indem die Lagerzeit verkürzt wird, was Methan- und Lachgasemissionen verringert. Durch die Verwendung von Gülle zur Biogasproduktion kann das Land erhebliche Reduktionen der Treibhausgasemissionen erreichen – geschätzt 55.000 Tonnen CO₂-Äquivalente bis 2030 und 155.000 Tonnen bis 2050 (Lyng & Berntsen, 2023).

4. Optimierung der Biogasproduktion für den Klimaschutz:

Um die Klimavorteile von Biogas vollständig zu realisieren, ist es entscheidend, die Produktion und Nutzung zu optimieren. Das Abfackeln von Rohbiogas, das Verbrennen ohne Energieerfassung, ist eine Verschwendung von Potenzial. Eine effiziente Verwaltung der

Biogasproduktion stellt sicher, dass wir seinen Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel maximieren und diese wertvolle erneuerbare Ressource bestmöglich nutzen.

Weitere Möglichkeiten innerhalb der Bioökonomie:

Proteinextraktion aus Gras: Eine nachhaltige Alternative für Tierfutter

1. **Die Herausforderung: Nachhaltige Proteinquellen finden:** Soja ist eine weit verbreitete Proteinquelle im Tierfutter, aber die starke Abhängigkeit von importiertem Soja bringt Umwelt- und Nachhaltigkeitsprobleme mit sich. Der Anbau von Soja führt oft zu Abholzung, insbesondere in Regenwäldern, und schafft eine Abhängigkeit von ausländischen Lieferanten, die sowohl Ökosysteme als auch die Ernährungssicherheit gefährdet.
2. **Die Lösung: Biorefinierung von Gras und Klee:** Um diese Herausforderungen zu bewältigen, entwickeln Forscher einen skalierbaren Prozess zur Extraktion von Protein aus lokalen Ressourcen wie Gras und Klee. Diese Pflanzen, die auf Feldern oder in speziell angepflanztem Klee geerntet werden, bieten eine nachhaltige Alternative. Während rohes Gras Lignin und Cellulose enthält, die für nicht-wiederkäuende Tiere wie Schweine und Hühner unverdaulich sind, macht der Biorefinierungsprozess es zu einer geeigneten Futteroption.
3. **Der Extraktionsprozess:** Der Prozess beginnt mit dem Pressen von Gras, um Gras Saft zu gewinnen. Dieser Saft wird erhitzt, wodurch die gelösten Proteine fest werden. Diese festen Proteine werden herausgefiltert, was zu einem konzentrierten Proteinprodukt führt. Dieses Grasprotein-Konzentrat kann als nachhaltige Zutat im Tierfutter verwendet werden.
4. **Vorteile von Grasprotein:** Das Grasprotein-Konzentrat bietet eine nachhaltige und lokal beschaffte Alternative zu Soja im Tierfutter, erhältlich in feuchter und trockener Form. Durch die Verwendung von Grasprotein können Landwirte ihre Abhängigkeit von importiertem Soja verringern, ihre Umweltbelastung reduzieren und die regionale Selbstversorgung fördern, was zu einem nachhaltigeren und resilienteren Agrarsystem beiträgt.

Landwirtschaftliche Abfälle als Ressource

Landwirtschaftliche Abfälle, oft als Entsorgungsproblem angesehen, können eine wertvolle Ressource sein. Ernterückstände wie Stroh, Schalen und Stängel sind reich an Cellulose, einem komplexen Kohlenhydrat, das die strukturelle Komponente der Zellwände von Pflanzen bildet. Diese Rückstände können verarbeitet werden, um Cellulosefasern zu extrahieren.

Fasern gewinnen

Der Prozess zur Gewinnung von Fasern aus landwirtschaftlichen Abfällen umfasst mehrere Schritte. Zunächst wird der Abfall gesammelt und gereinigt. Dann wird er einer Reihe von mechanischen und chemischen Behandlungen unterzogen, um die Cellulosefasern von anderen Komponenten wie Lignin und Hemicellulose zu trennen. Die resultierenden Cellulosefasern können in verschiedenen

Anwendungen verwendet werden, einschließlich der Produktion von Papier, Textilien und Biokompositen.

Produktion von Biokunststoffen

Biokunststoffe können ebenfalls aus landwirtschaftlichen Abfällen hergestellt werden. Stärke, ein häufiges Element vieler landwirtschaftlicher Rückstände, kann extrahiert und verarbeitet werden, um biologisch abbaubare Kunststoffe zu erzeugen. Dies umfasst die Behandlung der Stärke mit Weichmachern und anderen Additiven sowie das Erhitzen und Formen in die gewünschte Form. Der resultierende Biokunststoff ist nicht nur biologisch abbaubar, sondern hat auch einen sign

Agrarische Abfälle als Quelle wertvoller Verbindungen

Agrarische Abfälle enthalten wertvolle Verbindungen. Viele Arten von agrarischen Abfällen, wie Obstschalen, Saatgut-Hülsen und Ernte-Rückstände, enthalten bioaktive Verbindungen, die potenzielle Anwendungen in pharmazeutischen und nutraceutical Produkten haben.

Extraktion von pharmazeutischen Inhaltsstoffen

Die Extraktion von pharmazeutischen Inhaltsstoffen aus agrarischen Abfällen umfasst mehrere Schritte. Zunächst werden die Abfälle gesammelt und gereinigt. Anschließend werden sie verschiedenen Extraktionsprozessen unterzogen, die je nach spezifischer Zielverbindung variieren können. Diese Prozesse können Lösungsmittel-Extraktion, Dampfdestillation oder superkritische Flüssigextraktion umfassen. Die extrahierten Verbindungen können dann gereinigt und in der Formulierung von pharmazeutischen Produkten verwendet werden.

Gewinnung von nutraceutical Inhaltsstoffen

Ähnlich können auch nutraceutical Inhaltsstoffe aus agrarischen Abfällen gewonnen werden. Nutraceuticals sind aus Lebensmitteln gewonnene Substanzen, die gesundheitliche Vorteile bieten, und können Antioxidantien, Ballaststoffe und Probiotika umfassen. Viele davon finden sich in agrarischen Abfällen. Zum Beispiel sind Obstschalen und -kerne oft reich an Antioxidantien, während Ernte-Rückstände eine Quelle von Ballaststoffen sein können.

Literaturverzeichnis

Bernatek R. E., and Kaland, T. (12. January 2023) Alkohol (kjemi) Collected from: https://snl.no/alkohol - kjemi (In Norwegian) [Online Resource]
Biogass Oslofjord og Biogass Norge, (2023) Statistikk. Collected at: https://biogassnorge.no/statistikk (In Norwegian) [Online Resource]
Blytt, L.D., Brod, E., Øgaard, A.F., Johannessen, E., Estevez, E.M.E and Paulsrud, B. (2017) bedre utnyttelse av fosfor, Published by Miljødirektoratet report no. M-848, 2017. Collected from https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M846/M846.pdf , (In Norwegian) [Online Resource]
EasyMining (10. September 2023). ASH2™PHOS. Collected at https://www.easymining.com/technologies/ash2phos2/ash2phos/ [Online Resource]
EU - European parliament (2018) Reducing carbon emissions: EU targets and policies. Collected at : https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20180305STO99003/reducing-carbon-emissions-eu-targets-and-policies [Online Resource]
Fornybarklyngen, 2020
Fredi G. and Dorigato A., (2021) Recycling of bioplastic waste: A review. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 4, Issue 3, July 2021, Pages 159-177 (In English)
Hannah Ritchie and Max Roser (2021) - "Fish and Overfishing" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: https://ourworldindata.org/fish-and-overfishing [Online Resource]
Hofstad, K (29. Desember 2020): gassifisering i Store norske leksikon på snl.no. Collected 17. September 2024 fra https://snl.no/gassifisering (In Norwegian) [Online Resource]
Jære, L. (5. October 2017) This ingenious approach not only binds CO2, but also improves the soil. Collected from : https://www.sintef.no/en/latest-news/2017/this-ingenious-approach-not-only-binds-co2-but-also-improves-the-soil/ (In Norwegian) [Online Resource]
<i>Latvia University of Life Sciences and Technologies (2020). Climate friendly agriculture practice in Latvia - Separation of liquid manure and digestate. Report online: https://www.lbtu.lv/sites/default/files/files/lapas/09-Skidro-kutsmeslu-separesana-ENG.pdf [Online Resource]</i>
Lyng K-A., and Berntsen I.C. (2023) Mulighetsrommet for produksjon av biogass i Norge Potensialstudie av aktuelle råstoff, nye teknologier og klimanytte, Norsus report.No OR 06.23 ISBN no: 978-82-7520-911-3 ISSN no: 2703-8610 (in Norwegian) [Online Resource]
Miljødirektoratet, (2022): Klimakur 2030, report M-1625-2020 (The Norwegian Environment Agency) (in Norwegian) [Online Resource]

O'toole, A. and Grønlund, A. (2012) Produksjon av 2. generasjons- biodrivstoff via termokjemiske prosesser - Kunnskapsstatus, kostnader, og potensial for klimagassreduksjon i Norge (in Norwegian) Bioforsk rapport vol 7(112) 2012 (In Norwegian) [Online Resource]
Olsen & Torrissen (04. January 2023) Hva ligger bak begrepet «sirkulærøkonomi»? , Dagsavisen Collected at www.dagsavisen.no/demokraten/debatt/2023/01/04/hva-ligger-bak-begrepet-sirkulaer-biookonomi/
Opdal, O. A., & Hojem, J. F. (2007). Biofuels in ships: A project report and feasibility study into the use of biofuels in the Norwegian domestic fleet. ZERO report, 18.
Pederstad A. (2017) Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass. Kunnskapsgrunnlag og anbefalinger til innkjøpere. Avfall Norge report 11/2017, ISBN 82-8035-035-7 . (In Norwegian) [Online Resource]
Pommeresche, R. (16. April 2018) Biokull - status for forskning og utprøving i Norge, Collected at: https://www.agropub.no/fagartikler/biokull-status-for-forskning-og-utproving-i-norge , In Norwegian [Online Resource]
Rasaq S. Abolore, Swarna Jaiswal, Amit K. Jaiswal, (2024): Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications: A review, Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, Volume 7, 2024, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893923001172 [Online Resource]
Reis, T., zu Ermgassen, E., & Pereira, O. (2023). Brazilian beef exports and deforestation. Trase. https://doi.org/10.48650/FTSC-RG72 In English [Online Resource]
Spilling, A. J. (19. August 2016) Husdyrgjødsel + fiskeslam = biogass. Collected from web site https://www.nibio.no/nyheter/husdyrgjodsel-fiskeslam--biogass (In Norwegian) [Online Resource]
Stegmann, P., Londo, M. and Junginger, M. (2020). The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters, Resources, Conservation & Recycling: X. Volume 6, 2020, https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029 (In English)
Mishra. S. and Upadhyay, R. K, (2021) Review on biomass gasification: Gasifiers, gasifying mediums, and operational parameters, Materials Science for Energy Technologies, Volume 4, 2021, thermochemical conversion
Universitetet I Oslo (11. April 2023) Pyrolyse. Collected from the web site. Published 26 February 2022, revised 11 April 2023 https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/pyrolyse.html In Norwegian [Online Resource]

Danke