

Anwendungen für Biomassevergasung und Biokohleproduktion



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autoren: Alex Bergamo, Benedikt Jaros, Lorenz Strimitzer (Österreichische
Energieagentur) in Zusammenarbeit mit Bioeconomy Austria

Fotonachweis: Cover: stock.adobe.com – Garnar

Wien, 2024. Stand: 26. März 2024

Optionaler Disclaimer:

Die bereitgestellten Informationen dienen lediglich zu Informationszwecken und nicht als Anlagenberatung oder Kaufempfehlung. Zudem wird von den Autor:innen keine Haftung für Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität der Informationen übernommen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an lorenz.stromitzer@energyagency.at.

Inhalt

1 Einleitung	4
2 Technische Grundlagen	6
2.1 Thermochemische Phasen.....	6
2.2 Pyrolyse.....	8
2.3 Vergasung	9
3 Rohstoffpotenziale	11
4 Anwendung der Produkte	13
4.1 Anwendung der Pyrolyseprodukte.....	13
4.1.1 Pyrolyseöl.....	13
4.1.2 Pyrolysegas	14
4.1.3 Biokohle	14
4.2 Anwendung der Produkte aus der Vergasung.....	16
4.2.1 Prozessasche.....	17
4.2.2 Syngas	17
5 Best-Practices Österreich	19
5.1 EnergieWerk Ilg GmbH (Dornbirn): Schwebebettvergaser	19
5.2 Sonnenerde GmbH (Riedlingsdorf): Verkohlungsanlage.....	20
5.3 KWS Ökokraft GmbH (Ternitz): KWK – Holzgas und Biokohle.....	21
6 Über klimaaktiv	22
Literaturverzeichnis	23
Tabellenverzeichnis	25
Abkürzungsverzeichnis	26

1 Einleitung

Kreislaufwirtschaft und kaskadische Nutzung von Rohstoffen sind, gerade in Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels, von stetig wachsender Bedeutung. Die Industrie und kommunale Haushalte, die Herstellung von Basischemikalien aus erneuerbaren Quellen und die Nutzung alternativer Kraftstoffe sind bedeutende Anwendungsgebiete für die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft. Auch die Abhängigkeit Österreichs von Gasimporten, größtenteils aus Russland, demonstriert die Notwendigkeit eines Umdenkens.

Laut der Studie „Strategische Handlungsoptionen für eine österreichische Gasversorgung ohne Importe aus Russland“ der Österreichischen Energieagentur (2022) ist der Gasverbrauch bis 2030 auf 60 TWh zu senken, um die Unabhängigkeit von russischen Gasimporten zu erlangen. Die Stärkung der Kreislaufwirtschaft und die Entwicklung innovativer Lösungsansätze erleichtern den Ausstieg aus fossilen Rohstoffimporten und können neue Arbeitsplätze schaffen.

Produkte aus der Pyrolyse und der Vergasung nachwachsender Rohstoffe, beispielsweise Biokohle für die Landwirtschaft oder für die Wasseraufbereitung, gereinigtes Gas für die chemische Industrie und die Synthese von Kraftstoffen, ermöglichen einen rascheren Ausstieg aus der Abhängigkeit fossiler Ausgangsstoffe. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bezeichnete 2019 die Pyrolyse von Biomasse bei anschließender Nutzung der entstandenen Kohle als vielversprechende negative Emissionstechnologie. Weltweit laufende Forschungstätigkeiten arbeiten an der Anpassung der Vergasungstechnik an die Herausforderungen neuartiger Ausgangsstoffe.

Das Programm klima**aktiv** Erneuerbare Energiewende hat unter anderem zum Ziel, zur Umsetzung der Bioökonomie in Österreich und der Maßnahmen des Bioökonomie-Aktionsplans beizutragen. Ähnlich dazu strebt Bioeconomy Austria danach, Wissen auszutauschen, Synergien zu nutzen und Kreisläufe zu schließen, um Bioökonomieprojekte zu entwickeln und umzusetzen. Oft fehlt es an Know-how, wie die stoffliche und energetische Nutzung bestmöglich miteinander kombiniert werden können. Ganz im Sinne der Bioökonomie sollten nachwachsende Rohstoffe auch in der Kreislaufwirtschaft einer möglichst ganzheitlichen Nutzung unterzogen werden.

Ziel der vorliegenden Publikation ist es, vor diesem Hintergrund ein tieferes Verständnis für die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe zu schaffen und einen Einblick in ausgewählte Anwendungen und Best-Practices zu geben.

2 Technische Grundlagen

Biomasse kann durch thermochemische, biochemische oder physikochemische Prozesse in feste, flüssige und/oder gasförmige Sekundärenergieträger umgewandelt werden. Durch die thermochemischen Verfahren kann Biomasse als Nutzenergie oder Sekundärenergieträger zum Einsatz kommen.

2.1 Thermochemische Phasen

Biomasse kann durch die folgenden vier Schritte vollständig thermochemisch umgewandelt werden: Erhitzung, pyrolytische Zersetzung, Vergasung und Oxidation. Bei der vollständigen Umwandlung von Biomasse (das heißt der klassischen Verbrennung) werden diese vier Phasen am selben Ort und zur selben Zeit durchgeführt. Alternativ können die vier Schritte auch an verschiedenen Orten oder zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgen.

In der ersten Phase, der Erhitzung, wird der Brennstoff endotherm erhitzt, sodass zunächst das frei verfügbare Wasser und dann das in den Biomassezellen gebundene Wasser freigesetzt werden. Die Biopolymere (das heißt Zellulosen, Hemizellulosen, Lignin) werden erst ab einer Temperatur von 150 °C thermisch zerstört. Die Phase der Erhitzung reicht bis zu einer Temperatur von 200 °C und geht anschließend in die pyrolytische Zersetzung über (Kaltschmitt, M. 2019).

Sowohl die Erhitzung als auch die pyrolytische Zersetzung finden ohne externen Sauerstoffeintrag statt ($\lambda = 0$). In dieser zweiten Phase der pyrolytischen Zersetzung werden Temperaturen von 500 °C erreicht. Unter Standardbedingungen sind die Produkte fester, flüssiger und gasförmiger Natur. Die Gase bestehen aus CO, CO₂, H₂, CH₄, niedrigen Kohlenwasserstoffen und anderen Gasen. Das flüssige Produkt, das heißt das Pyrolyseöl, besteht aus einem Gemisch von langkettigen und/oder polyaromatischen Kohlenwasserstoffen, möglicherweise vermischt mit Wasser, Kohlenstoff oder Asche. Das feste Produkt ist der Pyrolysekoks und besteht hauptsächlich aus festen Kohlenstoff- und Aschebestandteilen (Kaltschmitt, M. 2019).

In der Vergasungsphase, der dritten Phase, wird der bei der pyrolytischen Zersetzung verbleibende Feststoff in die Gasphase überführt, um brennbare Gase zu erzeugen. Diese Gase können zur Erzeugung von Nutzwärme oxidiert oder als Rohstoff für chemische Umwandlungsprozesse (zum Beispiel Synthesegas) verwendet werden. In einer Gasatmosphäre wird eine Sauerstoffquelle (zum Beispiel Luft, Wasserdampf, Sauerstoff) verwendet, um festen Kohlenstoff hauptsächlich in CO und auch in CO₂ umzuwandeln. Oxidation und partielle Oxidation von C, H₂ und den Zwischenprodukten CO und CH₄ führen zu den Produktgasen CO₂, CO, H₂O. Weitere Gleichgewichtsreaktionen können zu den Produkten H₂ und CH₄ führen. Diese Vergasung findet bei einem λ zwischen 0 und 1 und bei Temperaturen zwischen 700 und 1500 °C statt (Kaltschmitt, M. 2019).

Die Produkte aus der pyrolytischen Zersetzungs- oder Vergasungsphase werden unter Wärmeabgabe vollständig mit Sauerstoff oxidiert (vierte Phase). Da Sauerstoff für diesen Prozess unentbehrlich ist, muss die Luftüberschusszahl λ mindestens 1 betragen oder in der Regel höher sein als diese. Die wichtigsten Reaktionsprodukte sind CO₂ und H₂O. Damit die Gase aus den vorangegangenen Phasen vollständig oxidiert werden können, müssen die sogenannten 3-T-Kriterien (Temperature, Turbulence, Time) erfüllt sein: Die Temperatur muss hoch genug sein, um eine schnelle und vollständige Oxidation zu ermöglichen. Die Gase müssen für eine vollständige Oxidation gut mit Luft vermischt werden. Es sollte genügend Zeit zur Verfügung stehen, um die Oxidationsreaktionen vollständig zu ermöglichen (Kaltschmitt, M. 2019).

Die bewährten Techniken zur thermochemischen Umwandlung von Biomasse wie beispielsweise die Pyrolyse oder die Vergasung werden durch die zuvor definierten thermochemischen Phasen definiert. Thermochemische Verfahren wie beispielsweise die Pyrolyse, deren Hauptprodukte feste oder flüssige Sekundärenergieträger sind, durchlaufen die Phasen Erhitzung und pyrolytische Zersetzung. Wenn als Hauptprodukte gasförmige Sekundärenergieträger entstehen, wie es bei der Vergasung der Fall ist, werden die Phasen Erhitzung, pyrolytische Zersetzung und Vergasung durchlaufen. Die Verbrennung liefert Wärme als Hauptprodukt und durchläuft alle vier Phasen.

Tabelle 1: Thermochemische Phasen von Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung

Parameter	Phase 1: Erhitzung	Phase 2: pyrolytische Zersetzung	Phase 3: Vergasung	Phase 4: Oxidation
Pyrolyse	Ja	Ja	Nein	Nein
Vergasung	Ja	Ja	Ja	Nein
Verbrennung	Ja	Ja	Ja	Nein

Quelle: Kaltschmitt, M. 2019

Thermochemische Umwandlungsprozesse müssen nicht immer in gasförmiger Atmosphäre ablaufen. Bei der hydrothermalen Carbonisierung beispielsweise laufen die Phasen Erhitzung und pyrolytische Zersetzung in hydrothormaler Atmosphäre ab. Das Hauptprodukt ist dabei fest. Unter einer hydrothermalen Atmosphäre versteht man eine wässrige Atmosphäre mit erhöhten Temperaturen und Drücken.

2.2 Pyrolyse

Bei der Pyrolyse kann man zwischen der schnellen und langsamen Pyrolyse unterscheiden. In beiden Fällen werden die Phasen Erhitzung und pyrolytische Zersetzung vollständig in einer gasförmigen Phase durchgeführt. Das Ziel der langsamen Pyrolyse ist es, ein festes kohlenstoffreiches Material herzustellen. Bei der schnellen Pyrolyse hingegen ist die Produktion von Pyrolyseöl der Hauptzweck.

Die langsame Pyrolyse wird in der Regel bei Temperaturen von bis zu 600 °C und Verweilzeiten von Stunden bis Wochen durchgeführt. Die Luftüberschusszahl λ beträgt null (Libra et al. 2011). Die Erhitzungsgeschwindigkeiten liegen zwischen 0,01 und 2 K/s. Diese hohen Temperaturen und niedrigen Erhitzungsraten sind notwendig, um die im organischen Material enthaltenen Makromoleküle vollständig zu zerstören. Es werden auch Gase und Flüssigkeiten erzeugt, die in der Regel als Energiequelle für den Prozess genutzt oder auf dem Markt verkauft werden können.

Bei der schnellen Pyrolyse ist die Verweilzeit bedeutend geringer und beträgt 1 bis 3 Sekunden. Die Temperaturen liegen bei 400 bis 500 °C und der Temperaturgradient kann 1.000 bis 10.000 K/s erreichen. Während der pyrolytischen Zersetzungsphase zerfallen die

Makromoleküle der Biomasse in Fragmente unterschiedlicher Größe und es entstehen langkettige Kohlenwasserstoffe. Diese sind unter Standardbedingungen flüssig. Je kürzer die Verweilzeit ist, desto höher ist die Menge der Verbindungen, die unter Standardbedingungen flüssig sind. Darum muss der Dampf sofort abgekühlt werden, um weitere chemische Reaktionen zu verhindern, die die Menge des flüssigen Produkts verringern würden. Feste und gasförmige Produkte lassen sich nicht vermeiden, werden aber in der Regel zur Energieversorgung des Prozesses verwendet (Kaltschmitt, M. 2019).

Tabelle 2: Typische Parameter der langsamen und schnellen Pyrolyse

Parameter	Temperatur	Verweildauer	Temperaturgradient	Hauptprodukt
Langsame Pyrolyse	Bis zu 600 °C	Stunden–Wochen	0,01–2 K/s	Biokohle
Schnelle Pyrolyse	400–500°C	1–3 Sekunden	1.000–10.000 K/s	Pyrolyseöl

Quelle: Kaltschmitt, M. 2019

2.3 Vergasung

Ziel der Vergasung ist es, aus einem festen Biobrennstoff Gas zu erzeugen, das als Energieträger mit definierten Eigenschaften oder für die Synthese eines sekundären Energieträgers verwendet werden kann, der an einem anderen Ort oder zu einem anderen Zeitpunkt eingesetzt werden kann. Der λ -Wert wird so eingestellt, dass die Menge des gewünschten Produkts maximiert wird, und liegt normalerweise zwischen 0,2 und 0,45 (Osowski et al. 2005). Der Prozess ist endotherm und die Energie kann auf zwei verschiedene Arten bereitgestellt werden: autotherm durch Oxidation von Teilen des Biomasserohstoffs oder allotherm durch Verwendung einer externen Wärmequelle. Dabei können Temperaturen von 700 bis 1400 °C erreicht werden. Der feste Biobrennstoff wird vollständig in Gas umgewandelt, und es verbleiben nur Asche und manchmal geringe Mengen an Kohlenstoff in festem Zustand. Das Produktgas besteht hauptsächlich aus CO und H₂, kann aber durch die Vergasungsmittel wie Sauerstoff, Umgebungsluft oder Dampf beeinflusst werden (Kaltschmitt, M. 2019).

Je nach Ziel und je nach Größe des Reaktors werden unterschiedliche Reaktortypen eingesetzt. Man unterscheidet die Festbettvergasung, die Wirbelschichtvergasung und die

Flugstromvergasung. Die Schwebebettvergasung ist eine besondere Form der Festbettvergasung, bei der die Biomasse durch das Vergasungsmittel in Schwebelagerung gehalten wird und sowohl das Produktgas als auch die Asche/Biokohle den Reaktor am oberen Ende verlassen. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Eigenschaften der Reaktortypen dargestellt. Weitere Details über die Holzvergasung und zu den verschiedenen Vergasungstechnologien können der Website erneuerbaresgas.at entnommen werden (Servicestelle Erneuerbare Gase 2023).

Tabelle 3: Eigenschaften von verschiedenen Vergasungstechnologien

Parameter	Festbettvergaser	Wirbelschichtvergaser	Flugstromvergasung
Brennstoffflexibilität	Gering	Hoch	Hoch
Gleichmäßige Temperatur	Nein	Ja	Ja
Teergehalt	Hoch	Gering	Gering
Verweildauer	Stunden	Minuten	Sekunden
Skalierungsmöglichkeit	Begrenzt	Ja	Ja

Quelle: Daten von Deraman, M. R.; Rasid, R. A.; Othman, M. R. (2019)

3 Rohstoffpotenziale

In der Studie „Erneuerbares Gas in Österreich 2040“ der Österreichischen Energieagentur (2021) wurden die Rohstoffpotenziale für die Vergasung und für die Biogaserzeugung bis 2040 untersucht. Bis 2040 beläuft sich demnach das realisierbare Biomethanpotenzial auf 20,3 TWh. Biomethan aus organischen Reststoffen über die Vergärungsrouten nimmt mit 10,7 TWh etwa die Hälfte des berechneten Potenzials ein, die andere Hälfte entfällt auf die Vergasung holzartiger Biomasse mit 9,6 TWh.

Die Darstellung in der folgenden Abbildung zeigt, dass Brennholz das größte Potenzial im Bereich der Vergasung aufweist. Vom realisierbaren Potenzial von circa 9,6 Terawattstunden pro Jahr entfallen circa 62 % auf die Nutzung von forstlicher Biomasse (Hackgut und Brennholz) aus dem ungenutzten Zuwachs und ungefähr 38 % auf die Nutzung von Sägenebenprodukten. Mengenmäßig stehen im Jahr 2040 rund 537 Millionen Normkubikmeter aus forstlicher Biomasse (Brennholz und Hackgut) zur Verfügung. Darüber hinaus wird ein kleiner Teil der Sägenebenprodukte, insbesondere Rinde, auch für die Vergasung genutzt.

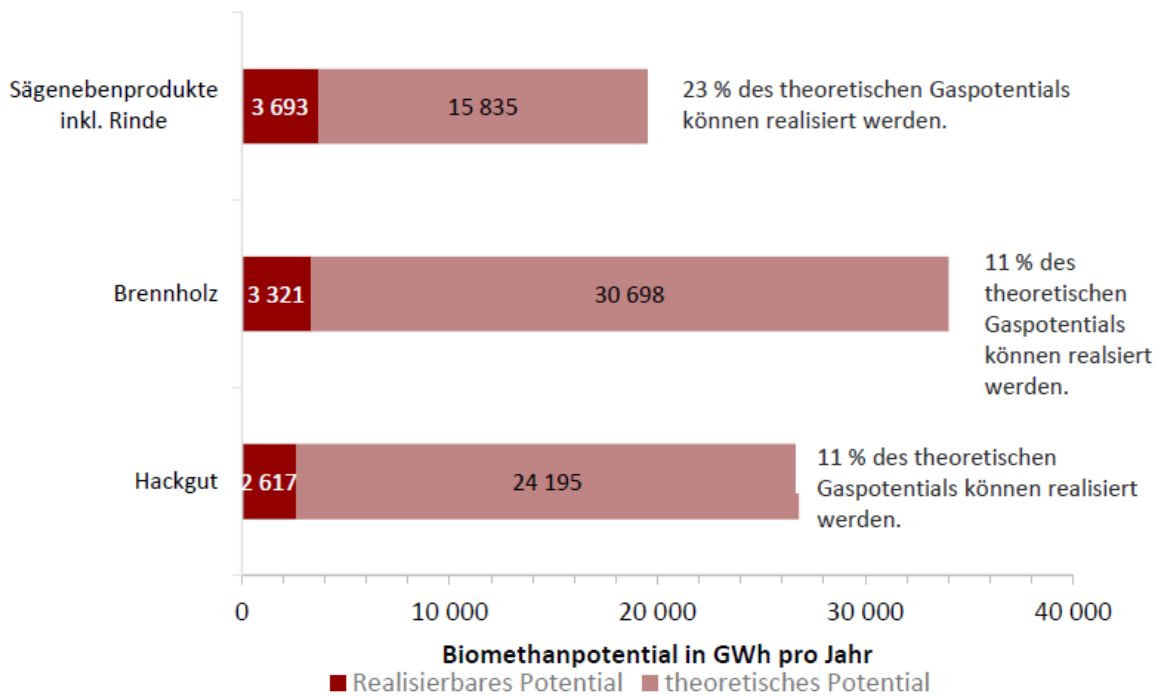
Für die Holzvergasung gibt es bestimmte Rohstoffspezifikationen, um eine effiziente Vergasung zu gewährleisten. Werden diese eingehalten, kann die Leistung maximiert und die Wartungs- und Betriebskosten minimiert werden. Die Flexibilität des Brennstoffs kann je nach Vergasungstechnologie variieren, wobei Festbettvergaser in der Regel weniger gut mit inhomogenen Brennstoffen umgehen können als Wirbelschichtvergaser. Bei beiden Technologien sollte der Brennstoff weitgehend frei von Stör- und Fremdstoffen sein. Für die Vergasung sind Hackschnitzel aus Wald- oder Industrierestholz mit einer Partikelgröße von 3,15 bis 45 mm ideal. Bei der Anlieferung sollten mindestens 60 % der Masse diese Korngröße aufweisen und nicht mehr als 20 % unter 3,15 mm liegen. Der Aschegehalt sollte unter 2 % liegen und der Wassergehalt kann bei der Anlieferung bis zu 50 % betragen. Vor dem Einsatz im Vergaser muss der Brennstoff auf unter 10 % Wassergehalt getrocknet werden.

Die Vermeidung von Konkurrenzsituationen zu bestehenden Verwertungspfaden für Holz sowie die Berücksichtigung weiterer Nachhaltigkeitsaspekte führen zu einem, im Vergleich

zum theoretischen Potenzial, relativ geringen realisierbaren Gaspotenzial aus der Biomassevergasung. Die wesentliche Herausforderung bei der Mobilisierung der Potenziale zur Erzeugung von biogenem Methan aus der Vergasung von forstlicher Biomasse und Sägenebenprodukten wird die Vermeidung von Zielkonflikten zwischen Naturschutz, Forstwirtschaft, Industrie und Energiewirtschaft sein. Ziel sollte es sein, Wertschöpfungsketten zu forcieren, die auf stoffliche und energetische Nutzung ausgerichtet sind.

Durch den Ausbau der fortschrittlichen Biokraftstoffe oder die verstärkte Nutzung von Biokohle können sich langfristig neue Nutzungskonkurrenzen ergeben, deren Ausmaß heute noch nicht abschätzbar sind.

Abbildung: Theoretische gegenüber realisierbaren Biomethanpotenzialen aus Vergasung für das Jahr 2040, aufgeteilt nach den verschiedenen Substratkategorien der thermochemischen Umwandlung



Quelle: Österreichische Energieagentur, Energieinstitut JKU, Energieverbundtechnik (2021)

4 Anwendung der Produkte

Die Produkte thermochemischer Umwandlungsprozesse sind aufgrund der zahlreichen beeinflussbaren Prozessparameter und der großen Auswahl an Ausgangsstoffen sehr vielfältig. Sie können gasförmig, fest oder flüssig sein und werden in zahlreichen Bereichen wie der chemischen Industrie, der Lebensmittelindustrie, der Landwirtschaft oder der Energiewirtschaft eingesetzt.

4.1 Anwendung der Pyrolyseprodukte

Die Verteilung und Zusammensetzung der Pyrolyseprodukte hängen stark von den Prozessbedingungen ab. Bei langen Verweilzeiten, wie bei der langsamen Pyrolyse, liegt die Verteilung der Endprodukte bei circa 35 % Biokohle, 30 % Pyrolyseöl und 35 % Pyrolysegas, bezogen auf das Gewicht (Libra et al. 2011). Bei Verweilzeiten von 1 bis 2 Sekunden, wie bei der schnellen Pyrolyse, ändert sich die Verteilung in Richtung 75 % Pyrolyseöl, 12 % Biokohle und 13 % Pyrolysegas. Die Temperatur und die Ausgangsbiomasse haben ebenfalls einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Produkte. Je nach Produktqualität beziehungsweise -zusammensetzung können die Produkte in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden.

4.1.1 Pyrolyseöl

Bei der langsamen Pyrolyse dient das Sekundärprodukt Pyrolyseöl eher der Energiebereitstellung für den Prozess. Es kann jedoch auch für verschiedene stoffliche oder energetische Zwecke verkauft werden. In abgelegenen Regionen kann das Pyrolyseöl als Brennstoff für die Wärme- und Stromerzeugung genutzt werden. Für den Einsatz in Dieselmotoren sind jedoch bestimmte Aufbereitungsprozesse erforderlich.

Stofflich kann das Pyrolyseöl zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie zur Gewinnung von wasserlöslichen Raucharomen eingesetzt werden. Ebenso kann es als Rohstoff für die Herstellung von Chemikalien wie Tensiden, Harzen, Bindemitteln oder biologisch abbaubaren Polymeren dienen.

4.1.2 Pyrolysegas

Die Nutzung von Pyrolysegas hängt von der Verfügbarkeit und der Zusammensetzung des Gases sowie den wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen ab. Am häufigsten wird es energetisch genutzt. Dabei kann es direkt im Pyrolyseprozess zur Wärmebereitstellung verbrannt oder zur Trocknung des Einsatzstoffes verwendet werden. Ebenso kann es zur Wärmebereitstellung mittels Nah- oder Fernwärme oder zur Stromerzeugung genutzt werden. Je nach Zusammensetzung kann das Pyrolysegas auch als Rohstoff für die Herstellung von Biokunststoffen und Basischemikalien genutzt werden.

4.1.3 Biokohle

Aufgrund der Vielseitigkeit, was ihre Struktur und Eigenschaften betrifft, hat Biokohle das Potenzial, in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt zu werden. Diese Bereiche reichen von diversen landwirtschaftlichen, zahlreichen industriellen bis hin zu einzelnen urbanen Anwendungen.

Die Forschung zur Biokohle begann ursprünglich im Bereich der Landwirtschaft, da man die positiven Effekte der sogenannten Terra Preta nutzen wollte, um die Bodenfruchtbarkeit zu steigern. Inzwischen gibt es zahlreiche Anwendungen von Biokohle in der Landwirtschaft, bei denen sie nicht in den Boden eingearbeitet wird. Biokohle wird beispielsweise als Futtermittelzusatz eingesetzt, da sie die Verdauung von Tieren verbessert sowie Mykotoxin- und Buttersäurebildung reduziert, was zu positiven Effekten auf Toxinadsorption, Blutwerte, Futtereffizienz und Fleischqualität führen kann (Schmidt, H.-P et al 2021).

Die Zugabe von Biokohle zum Einstreu in Tierställen verbessert das Stallklima sowie reduziert Geruchsbildung und Emissionen wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Methan. Es verringert das Risiko der Ausbreitung von Krankheitserregern. Biokohle kann auch dem Biogasprozess zugeführt werden. Dabei kann die Stabilität des Prozesses erhöht werden, die Methanausbeute gesteigert und die Emissionen von CO₂ und Ammoniak reduziert werden. In der Kompostierung lockert Biokohle das Material auf und sorgt für eine bessere Belüftung (Haubold-Rosar, M. et al. 2016).

Besonders wichtig ist die Verwendung von Biokohle als Bodenverbesserungsmittel und Träger für Düngemittel. Sie erhöht die Bodenporosität, die Aggregatstabilität, die Wasserhaltekapazität und verringert die Bodenschüttdichte. Chemisch gesehen kann Biokohle den organischen Kohlenstoffgehalt und die Kationenaustauschkapazität steigern

sowie die Speicherung von Kationen und die Nährstoffeffizienz verstärken. Sie beeinflusst den pH-Wert des Bodens und die Nährstoffmobilität. Zudem fördert sie das Wachstum und die Effizienz der mikrobiellen Biomasse, was die Nährstoffversorgung der Pflanzen verbessern kann. Ertragssteigerungen nach dem Einsatz von Biokohle wurden vor allem in tropischen oder wenig fruchtbaren Böden beobachtet. Obwohl eine weitere Ertragssteigerung in bereits optimalen Systemen mit hohen Erträgen und bei fruchtbaren Böden mit ausreichend Niederschlag nur schwer zu erreichen ist, könnte sich der Biokohleeinsatz trotzdem lohnen, da gleiche Erträge mit weniger Dünger möglich werden (Schmidt, H-P. et al. 2021).

Die Verwendung von Biokohle im städtischen Umfeld begann in Stockholm, wo sie erstmals in Bodenmischungen für Stadtbaumpflanzungen verwendet wurde. Aufgrund der positiven Auswirkungen auf das Baumwachstum und die Gesundheit haben viele andere Städte weltweit diese Anwendung übernommen. Weitere Ideen für urbane Anwendungen von Biokohle umfassen die Verwendung als Substrat für Dachbegrünung und im Regenwassermanagement. Die niedrige Dichte von Biokohle erweitert die Möglichkeiten für Dachbegrünung, während ihre hohe Porosität dazu beiträgt, Schadstoffe aus Regenwasser zu entfernen.

In der Industrie findet Biokohle sowohl für energetische als auch für stoffliche Zwecke Verwendung. Energetische Anwendungen umfassen den teilweisen Ersatz von fossiler Kohle in der Stromerzeugung und Wärmeerzeugung, insbesondere in der Metallurgie und der Zementindustrie. Stoffliche Anwendungen beinhalten die Verwendung von Biokohle als Zusatzstoff in Baumaterialien, Textilien und Kunststoffen, als Katalysator, zur Adsorption und Reinigung von Wasser und Gasen sowie für viele andere Zwecke. Biokohle kann auch physikalisch oder chemisch aktiviert werden, insbesondere in Reinigungsprozessen, um ihre Sorptionskapazität zu erhöhen und anorganische oder organische Verunreinigungen wie Schwermetalle und Arsenate zu entfernen.

Zur Kontrolle und Überwachung der gesetzlichen Grenzwerte bei der Herstellung und Anwendung von Biokohle werden Kontroll- und Bewertungssysteme eingesetzt. Die beiden wichtigsten Industriestandards für die nachhaltige Produktion und Anwendung von Biokohle sind das European Biochar Certificate (EBC) und die International Biochar Initiative (IBI). Die Anforderungen des EBC basieren auf der Gesetzgebung der EU, jedoch wurde 2023 das World Biochar Certificate eingeführt, um das Zertifikat an die globalen Marktanforderungen anzupassen. Die Richtlinien des WBC basieren auf den EBC-Richtlinien und enthalten ähnlich strenge Qualitätsanforderungen. Die entscheidenden

Parameter zur Qualitätsüberwachung von Biokohle wurden zwischen IBI und EBC harmonisiert. Die Richtlinien dieser Standards beschreiben detailliert, welche Ausgangsmaterialien verwendet werden dürfen und welche Grenzwerte für den Einsatz in den verschiedenen Bereichen eingehalten werden müssen. Zu den wichtigsten analytischen Parametern gehören beispielsweise die Elementaranalyse sowie die Analyse von Nährstoffen, Schwermetallen und organischen Schadstoffen.

Neben Zertifikaten für die nachhaltige Produktion und Nutzung von Biokohle gibt es Zertifikate, die den Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre berechnen und garantieren. Einer der Hauptgründe für die zunehmende Bedeutung von EBC ist die Zertifizierung des C-Senkenpotenzials. Das European Biochar Industry Consortium (EBI) hat daher eine Methodik entwickelt, um eine vollständige Klimabilanz für Biokohle zu berechnen und den absoluten Wert zu bestimmen, der als C-Senke angerechnet werden kann. Dieser sogenannte EBC-sink-Standard ist der derzeit strengste verfügbare Standard für C-Senken auf Basis von Pflanzenkohle und wird von C-Senken-Maklern und -Handelsplattformen genutzt, um die Glaubwürdigkeit der C-Senken nachzuweisen und zu zertifizieren.

Die Handelsplattform Carbonfuture verwendet den EBC-sink-Standard. Für die auf Puro.earth gehandelten Zertifikate wird der Puro-Standard verwendet. Dies ist die erste Methodik, die für Kohlenstoffsinken-Zertifikate entwickelt wurde. First Climate handelt wiederum mit Biokohlesenken-Zertifikaten, die nach der Norm ISO 14064-2 zertifiziert sind. Im August 2022 wurde die Methodik für die Nutzung von Biokohle in Boden- und Nicht-Boden-Anwendungen von Verified Carbon Standard (VCS) veröffentlicht, dem weltweit führenden Programm für die Anrechnung von Treibhausgasemissionen.

4.2 Anwendung der Produkte aus der Vergasung

Je nach eingesetzter Verfahrenstechnologie variieren die während des Vergasungsprozesses angefallenen Produkte sowohl in ihrer Zusammensetzung als auch in ihrer Menge. Das eingesetzte Vergasungsmittel beeinflusst die Zusammensetzung des Synthesegases und damit auch die weiteren Einsatzmöglichkeiten. Gerade diese Wirkung von Vergasungsmittel und Prozessführung ermöglicht die gezielte Beeinflussung der entstandenen Produkte. Im Allgemeinen entsteht hauptsächlich rohes Produktgas, welches nach der Gasreinigung weiterverwendet werden kann. Je nach eingesetzter Technologie entsteht zudem in veränderlichen Anteilen Asche.

4.2.1 Prozessasche

Während des Vergasungsprozesses entstehende Asche besteht hauptsächlich aus den in der eingesetzten Biomasse enthaltenen anorganischen Rückständen und neu entstandenen chemischen Verbindungen. Je nach Prozessführung ist die Zusammensetzung dieser Aschen schon während der Vergasung relevant. Das Schmelzverhalten wird von der Aschezusammensetzung beeinflusst und muss deshalb schon während des Vergasungsprozesses beobachtet werden. Eine nicht optimal abgestimmte Prozessführung und damit einhergehende Veränderung des Aschefließverhaltens können beispielsweise zur Korrosion von Anlagenteilen führen. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft wird an Anwendungsmöglichkeiten von Biomasseasche, zum Beispiel zu Dünge Zwecken, geforscht (Projektträger Jülich | Forschungszentrum Jülich GmbH). Teilweise wird in Vergasungsanlagen auch Biokohle produziert, die wie in Punkt 4.1.3 beschrieben genutzt werden kann.

4.2.2 Syngas

Das Hauptprodukt aus der Biomassevergasung stellt sogenanntes Produktgas dar. Dieses Gasgemisch unterscheidet sich je nach Vergasungsmittel und kann entweder direkt genutzt oder nach Aufreinigungsschritten zu unterschiedlichen Zwecken verwendet werden. In Tabelle 4 ist ersichtlich, wie sich das Vergasungsmittel auf das Produktgas auswirkt. Zudem wird gezeigt, dass der Begriff Synthesegas kein bestimmtes Gas oder Gasgemisch beschreibt, sondern vielmehr synonym für unterschiedliche Gase und Gasgemische stehen kann (Kaltschmitt, M. 2016).

Tabelle 4: Einfluss der eingesetzten Vergasungsmittel auf das entstehende Produktgas

Eingesetztes Vergasungsmittel	Entstandenes Produktgas
Sauerstoff	CO
Wasser (dampfförmig)	CO und H ₂
Kohlendioxid	CO
Wasserstoff	CH ₄
Luft	CO und N ₂

Quelle: Daten von Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2016)

Nach der Reinigung können die in Tabelle 4 aufgezählten Gase einer weiteren Nutzung unterzogen werden. Diese kann entweder energetisch oder stofflich erfolgen.

- Wärme: Das Produktgas kann ohne aufwendige Gasreinigung zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Es lässt sich einerseits zur Erzeugung kommunaler Wärme einsetzen, andererseits kann es den Prozesswärmebedarf decken. Industrielle Anwendungen finden sich beispielsweise in der Papier-, Zellstoff- und Zementbranche.
- Strom: Aus dem Produktgas kann Strom produziert werden. Dafür wird das Gas einem Brenner zugeführt. Die entstehende Wärme kann unter anderem in einem Motor oder im Dampfkraftprozess zu Strom umgewandelt werden.
- Kraftstoffe: Das Produktgas kann, je nach Zusammensetzung, zur Kraftstoffsynthese genutzt werden. Beispiele sind die Fischer-Tropsch-Synthese, die Synthese von Methanol oder Dimethylether oder die Erzeugung von reinem Wasserstoff. Es lassen sich auch Alkohole oder SNG (Synthetic Natural Gas) herstellen (Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. 2016)

Weiters können die verschiedenen Arten von Synthesegas teilweise auch zur Herstellung von wichtigen Ausgangschemikalien für die chemische Industrie genutzt werden.

5 Best-Practices Österreich

5.1 EnergieWerk Ilg GmbH (Dornbirn): Schwebebettvergaser

Technische Daten

- Anlagenart: Schwebebettvergaser, Firma Syncraft
- Produkte: Syngas, Biokohle
- 50.000 Betriebsstunden
- Ort: 6850 Dornbirn, Vorarlberg

Im Schwebebettvergaser der EnergieWerk Ilg GmbH werden aus fester Biomasse Syngas und Biokohle produziert. Die Besonderheit der von der Firma Syncraft entwickelten Anlage ist der eingesetzte Rohstoff. Im Gegensatz zu herkömmlichen Holzvergäsern, in denen grobe, gesiebte Biomasse genutzt wird, wird der patentierte Schwebebettvergaser mit trockenen Hackschnitzeln (G30, G50) betrieben.

Die genutzten Hackschnitzel werden regional bereitgestellt und direkt mittels der Abwärme aus der standorteigenen Biogasanlage getrocknet. Das entstandene Produktgas wird nach der Aufreinigung in einem Biomasseheizkraftwerk verstromt. Dieser Ökostrom wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Abwärme der Anlage wird nach Abgaskondensation ins Fernwärmenetz eingespeist. Im Zuge der Prozessführung entsteht zudem Biokohle, die einerseits in Biogasanlagen als Hilfsstoff fungieren kann, andererseits als Hilfsstoff in der Kompostierung oder als Bodenverbesserer eingesetzt werden kann.

Weitere Informationen finden Sie auf biomassehof.at und syncraft.at.

5.2 Sonnenerde GmbH (Riedlingsdorf): Verkohlungsanlage

Technische Daten

- Anlagenart: Pyreg-Reaktor
- Produkt: Biokohle
- 2012 in Betrieb genommen
- Ort: 7422 Riedlingsdorf, Burgenland

In der Verkohlungsanlage der Sonnenerde GmbH werden täglich bis zu 1.500 kg Biokohle hergestellt. Die Kohle wird mittels Pyrolyse in einem Pyreg-Reaktor produziert. Hierbei wird das eingetragene Material in einem Doppelwandreaktor über eine Doppelwellenschnecke nach oben transportiert und dabei auf 500 bis 600 °C erhitzt. Entstehendes Prozessgas wird gereinigt und direkt im Prozess zur Erwärmung des frischen Materials genutzt. Das circa 600 °C warme Abgas aus dem Prozess wird vor Ort in einer Trockenbox genutzt. Die entstandene Biokohle wird nach dem Reaktorausritt mit Wasser befeuchtet und gekühlt.

Anwendungsgebiete für die Biokohle umfassen die Düngeraufbereitung und die Kompostierung. Durch die große Oberfläche fungiert die Biokohle als Lebensraum für aerobe Mikroorganismen und speichert zudem Nährstoffe. Dadurch wird die Düngungseffizienz gesteigert. Als Zusatzstoff in der Kompostierung werden Nährstoffverluste um bis zu 50 % verringert. Die geruchs- und nährstoffbindenden Eigenschaften der Biokohle können in der Tierhaltung genutzt werden und wirken sich positiv auf das Stallklima aus.

Weitere Informationen zu diesem Projekt finden Sie auf sonnenerde.at.

5.3 KWS Ökokraft GmbH (Ternitz): KWK – Holzgas und Biokohle

Technische Daten

- Anlagenart: Holzkraftwerk (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK)
- Produkte: Produktgas (Strom und Wärme), Pflanzenkohle
- 9 Monate Bauzeit
- Ort: 2630 Ternitz, Niederösterreich

Im Blockheizkraftwerk in Ternitz werden aus Waldhackgut Holzgas und Pflanzenkohle produziert. Das Holzkraftwerk wird von der KWS Ökokraft GmbH betrieben und wurde zwischen 2019 und 2020 in neun Monaten Bauzeit von der Firma Syncraft errichtet. Jährlich werden dort rund 3 Millionen kWh Strom und 4,5 Millionen kWh Wärme erzeugt. Reststoffe aus der Forstwirtschaft werden in einem ersten Schritt zu Produktgas und Biokohle umgesetzt. Das entstandene Produktgas wird anschließend über ein Blockheizkraftwerk der Firma 2G Energy in Wärme und Strom umgewandelt. Der Brennstoffnutzungsgrad des Kraftwerks erreicht bis zu 92 %.

Die entstandene Pflanzenkohle dient beispielsweise zur Herstellung von Terra Preta (Schwarzerde) oder als Futtermittelzusatz in der Tierhaltung. Sie kann auch als Grillkohle eingesetzt werden. In Klärwerken dient die Kohle zur Wasserreinigung. Der Kohlenstoff wird derzeit versuchsweise auch Beton und Asphalt beigemischt mit dem Ziel, CO₂ langfristig zu binden. Das Produktgas wird im Fall der Anlage in Ternitz in Strom und Wärme umgewandelt. Nach weiterer Aufreinigung kann es auch ins Gasnetz eingespeist werden. Zudem kann das Gas als Ausgangsstoff zur Herstellung nachhaltiger Kraftstoffe verwendet werden.

Weitere Informationen zu dieser Anlage finden Sie auf syncraft.at.

6 Über klimaaktiv

klima**aktiv** ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klima**aktiv** zeigt, dass jede Tat zählt: Jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at.

Die Klimakrise, stark volatile Energiepreise und die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten machen einen Ausbau der erneuerbaren Energieproduktion in Österreich unerlässlich. Damit die nationalen Ziele der Klimaneutralität und Energiewende erreicht werden, muss die Geschwindigkeit des Ausbaus beschleunigt werden. Dies unterstützt das Programm klima**aktiv** Erneuerbare Energiewende. Wir identifizieren Hürden der Umsetzung von Projekten in Gemeinden, Unternehmen und bei Bürger:innen, zeigen Handlungsoptionen auf und liefern Fakten zur Energiewende. Mehr unter klimaaktiv.at/erneuerbare.

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klima**aktiv**

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abteilung VI/12 – Dialog zu Energiewende und Klimaschutz

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klima**aktiv** Erneuerbare Energiewende

Österreichische Energieagentur

Mariahilferstraße 136, 1150 Wien

Lorenz Strimitzer

lorenz.strimitzer@energyagency.at

Literaturverzeichnis

Deraman, M. R.; Rasid, R. A.; Othman, M. R. (2019): Co-gasification of coal and empty fruit bunch in an entrained flow gasifier: A process simulation study URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/702/1/012005; letzter Zugriff: 22.03.2024

Haubold-Rosar, M.; Heinkele, T.; Rademacher, A.; Kern, J.; Dicke, C.; Funke, A.; Germer, S.; Karagöz, Y.; Reinhold, J.; Neubauer, Y.; Medick, J.; Teichmann, I. (2016): Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden. URL: umweltbundesamt.de/publikationen/chancen-risiken-des-einsatzes-von-biokohle-anderer; letzter Zugriff: 22.03.2024

Kaltschmitt, M. (2019): Energy from organic materials (biomass): a volume in the encyclopedia of sustainability science and technology; Springer: New York

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2016): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; 3. Auflage, Springer Vieweg

Libra, J. A.; Ro, K. S.; Kammann, C.; Funke, A.; Berge, N. D.; Neubauer, Y.; Titirici, M.-M.; Fühner, C.; Bens, O.; Kern, J.; Emmerich, K.-H. (2011): Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels* 2011, 2 (1), 71–106; DOI 10.4155/bfs.10.81

Osowski, S.; Neumann, J.; Fahlenkamp, H. (2005): Gasification of Biogenic Solid Fuels. *Chemical Engineering & Technology* 2005, 28 (5), 596–604; DOI 10.1002/ceat.200407097

Österreichische Energieagentur (2022): Strategische Handlungsoptionen für eine Gasversorgung ohne Importe aus Russland URL: bmk.gv.at/service/presse/gewessler/2022/20220426_ausstieg-russisches-gas.html

Österreichische Energieagentur, Energieinstitut JKU, Energieverbundtechnik (2021): Erneuerbares Gas in Österreich 2040. URL: bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/erneuerbares-gas-2040.html; letzter Zugriff: 22.03.2024

Projektträger Jülich | Forschungszentrum Jülich GmbH: Ascheerweichung. URL: enargus.de/pub/bscw.cgi/d12497-2/*/*/Synthesegaschemie?search=asche%3b&scope=all&op=Wiki.getwiki letzter Zugriff: 22.03.2024.

Schmidt, H.-P.; Kammann, C.; Gerlach, A.; Gerlach, H. (2016): Der Einsatz von Pflanzkohle in der Tierfütterung. URL: ithaka-journal.net/pflanzkohle-tierfuetterung; letzter Zugriff: 22.03.2024

Schmidt, H.-P.; Kammann, C.; Hagemann, N.; Leifeld, J.; Bucheli, T. D.; Sánchez Monedero, M. A.; Cayuela, M. L.: Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. GCB Bioenergy 2021; DOI 10.1111/gcbb.12889

Servicestelle Erneuerbare Gase (2023): Synthesegas aus der Holzvergasung. URL: erneuerbaresgas.at/wissensdatenbank/synthetisches_gas; letzter Zugriff: 22.03.2024

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Thermochemische Phasen von Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung.....	8
Tabelle 2: Typische Parameter der langsamen und schnellen Pyrolyse	9
Tabelle 3: Eigenschaften von verschiedenen Vergasungstechnologien	10
Tabelle 4: Einfluss der eingesetzten Vergasungsmittel auf das entstehende Produktgas ..	17

Abkürzungsverzeichnis

EBC: European Biochar Certificate

EBI: European Biochar Industry Consortium

IBI: International Biochar Initiative

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

KWK: Kraft-Wärme-Kopplung

SNG: Synthetic Natural Gas

VCS: Verified Carbon Standard

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

<mailto:servicebuero@bmk.gv.at>

bmk.gv.at