

A large pile of straw bales, tightly packed and stacked, filling most of the frame. The bales are cylindrical and made of dry straw, showing a golden-brown color. In the background, a soft sunset sky with orange and pink hues is visible. A blue rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing white text.

Reststoffe für die Bioökonomie

Zwischen Hoffnung
und Realität

Impressum

denkhausbremen

denkhausbremen e.V.
Am Wall 174
28195 Bremen
www.denkhausbremen.de
info@denkhausbremen.de

Bearbeitung:

Peter Gerhardt, denkhausbremen
Ulrike Eppler, denkhausbremen
Jonas Daldrup, denkhausbremen

Titelbild:

Vladislav Havrilov, Shutterstock

Dieser Reader wurde erarbeitet im Rahmen des Projektes
„Zivilgesellschaftliches Aktionsforum Bioökonomie“
mit Förderung durch das Umweltbundesamt (UBA) mit
Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV).

Die Verantwortung für die Inhalte dieser Veröffentlichung
liegt bei den Autor*innen.

Bremen 2023

Das Projekt „Zivilgesellschaftliches Aktionsforum
Bioökonomie“ wird gefördert von



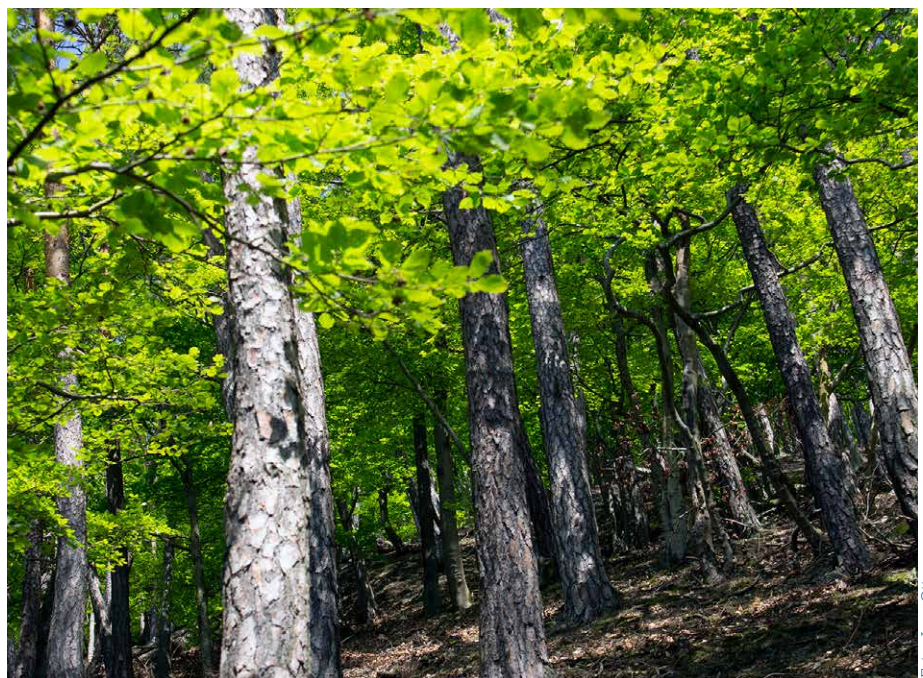
Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

Einleitung

Die Zukunft der Wirtschaft ist Bio! Zumindest, wenn man den Versprechungen der Bioökonomie Glauben schenken möchte. Der Klimawandel zwingt uns dazu, die Nutzung fossiler Rohstoffe schon in wenigen Jahrzehnten einzustellen, mineralische Ressourcen sind nur begrenzt verfügbar. Ihre Gewinnung ist energieaufwändig und geht mit der Zerstörung von Biodiversität und Landschaft einher. Daher wird die Wirtschaft der Zukunft vor allem mit biogenen Rohstoffen befeuert werden.

Der Haken an der Sache: Die Ökosysteme, aus denen diese Rohstoffe kommen sollen, sind schon heute dramatisch übernutzt. Zudem schränken Klimawandel und notwendige Maßnahmen zum Schutz der Biodiversität die ohnehin knappe nachhaltig nutzbare Biomasse in einem erheblichen Umfang ein. Es ist also absehbar, dass Äcker, Wälder und Meere nicht genug Rohstoffe für eine Bioökonomie liefern können, um unser hohes Konsumniveau abzudecken.

Doch Politik, Wissenschaft und Industrie haben scheinbar eine Lösung gefunden: Neben einer deutlichen Verringerung unseres Ressourcenverbrauchs soll die nachhaltige Bioökonomie auf weitere Rohstoffsäulen aufbauen. Große Industrieunternehmen und Think Tanks gehen davon aus, dass die Ressourcenbasis der Zukunft dreigeteilt sein wird: Neben der Anbau-Biomasse werden vor allem Abfall- und Reststoffe sowie direkt der Atmosphäre entzogener Kohlenstoff als wesentliche Quellen ins Spiel gebracht.



Mischwald im Nationalpark Kellerwald-Edersee

Foto: Jana Otten

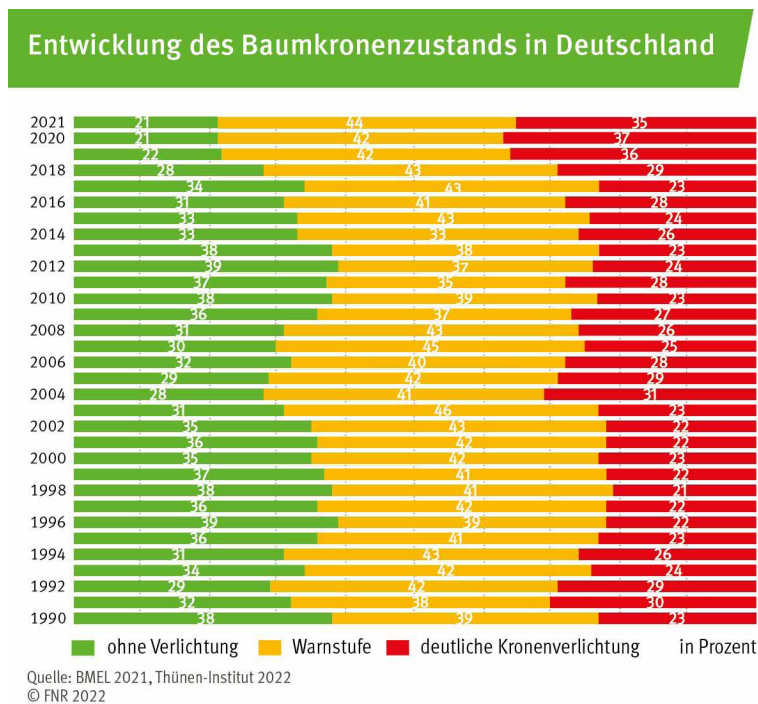
Doch so einfach ist die Sache leider auch hier nicht: Abfall- und Reststoffe werden mittlerweile in vielen Wirtschaftsbereichen eingesetzt und sind ein knappes Gut, um das es einen regen Wettbewerb gibt. Zum anderen kann der Begriff in die Irre führen. In der Landnutzung finden “Reststoffe” wie Stroh vielfach Verwendung – sie sind also längst Rohstoff. In der naturnahen Waldbewirtschaftung werden “Waldresthölzer” im Wald belassen und sind Teil des ökologischen Kreislaufs. Demnach wird schnell klar, dass dieses Rohstoff-Segment sicherlich nur überschaubare Mengen an Biomasse für die Bioökonomie zur Verfügung stellen kann.

Das Potential für aus der Luft gefilterten Kohlenstoff ist in absehbarer Zukunft ebenfalls ernüchternd. Immerhin: Was vor einigen Jahren noch nach Science Fiction geklungen hätte - CO₂ als Rohstoff in sogenannten Direct-air-capture-Verfahren aus der Luft zu filtern - gibt es mittlerweile tatsächlich. Allerdings befinden sich solche Anlagen noch im Versuchsstadium und scheinen meilenweit von der breiten Anwendung in der Praxis entfernt. Zudem sind sie teuer und mit einem hohen Energie- und Ressourcenaufwand verbunden. Ob sie einen Beitrag leisten können, unsere Klimaziele zu erreichen, ist mehr als fraglich. Nichtsdestotrotz sehen positive Voraussagen hier eine wichtige Kohlenstoffquelle für die Wirtschaft der Zukunft.

Ob Abfälle sowie Kohlenstoff aus der Luft eine relevante Rohstoffquelle für die Zukunft sind oder die nächste Sackgasse der Industriepolitik – dieser Frage wollen wir uns in der vorliegenden Broschüre nähern.

Holz – die Wälder werden schon geplündert

Beim Holz klaffen die verfügbaren Mengen und Ansprüche besonders weit auseinander. In vielen regierungsoffiziellen Programmen gilt die nachwachsende Ressource als wahrer Super-Rohstoff der Bioökonomie: Sie ist Kohlenstoffquelle und steht im walddreichen Deutschland angeblich massenhaft zur Verfügung. Zwar ist Deutschland zu gut einem Drittel mit Wald bedeckt. Allerdings sind die Wälder in einem ökologisch schlechten Zustand. Laut der Waldzustandserhebung 2020 des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft weisen 79 Prozent der Waldfläche in Deutschland deutliche Kronenverlichtungen auf.



Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Die Forstwirtschaft steht mit ihrem Businessmodell, das vor allem auf Nadelhölzer in Monokulturen gesetzt hat, vor dem Nichts. Klimawandel, Dürresommer und Borkenkäfer haben aus einst grünen Fichtenforsten in vielen Regionen graue Mondlandschaften gemacht. Die Klimakrise ist in unserem Wald angekommen.

Das hat direkte Auswirkungen auf die Holzmengen, die der Wald in Zukunft liefern kann. Um den ökologischen Zustand der Wälder zu verbessern und sie als natürliche CO₂-Senken zu bewahren, sehen daher etwa das UN-Abkommen zur Biologischen Vielfalt, sowie Biodiversitätsstrategien auf Ebene von Ländern, Bund und EU vor, mehr Waldflächen als bisher aus der Nutzung zu nehmen. Das Ergebnis ist eine eng begrenzte nachhaltig verfügbare Holzmenge, die mit Bedacht genutzt werden sollte.

Dementsprechend gering fallen auch die Mengen an Holz-Sortimenten mit geringem Stammdurchmesser oder schlechter Qualität aus, die nicht fürs Sägewerk, dafür aber für die Bioraffinerie interessant sein könnten. Dieses Holz wird gemeinhin unter dem irreführenden Begriff “Waldrestholz” in den Verkehr gebracht. Da es im Wald aber keine Reste gibt, sondern ausschließlich Biomasse mit einer ökologischen Funktion, sollte hier ehrlicher Weise von Waldholz gesprochen werden. In die gleiche Richtung argumentiert auch das Umweltbundesamt. Demnach herrscht auf 58 Prozent der Waldfläche in Deutschland durch die Ernte von ganzen Bäumen oder Reisig ein Nährstoffdefizit von mindestens einem Nährelement (etwa Phosphor, Kalium oder Magnesium).¹ Auf über der Hälfte der Waldfläche wird also jetzt schon zu viel Holz entnommen, um das Ökosystem in einem gesunden Gleichgewicht zu halten.



Foto: Peter Gerhardt

Geschädigter Wald

Eine verantwortungsvolle Holznutzung ist ebenfalls ein Hebel für eine nachhaltige Rohstoffversorgung. So wird in der Bioökonomie-Strategie der Bundesregierung auf das Potential der Kaskadennutzung für die Bioökonomie verwiesen. Hier sieht die reine Lehre folgendes vor: Stammholz aus dem Wald wird zunächst hochwertig stofflich verwertet, als Bau-, Möbel- oder Furnierholz. Als Altholz aus dem Gewerbe-, Bau- und Siedlungsabfall wird es etwa zu Spanplatten weiterverarbeitet und zum Schluss energetisch genutzt. Doch diese Kaskade hat so noch nie funktioniert, denn ein Drittel des in Deutschland geernteten Holzes wird verbrannt.

¹ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_hgp_umweltschutzwald_u_nachhaltigeholznutzung_bf.pdf, S.19

Aufgrund enorm gestiegener Energiekosten zahlen die Kraftwerke inzwischen hohe Preise für Stammholz, das zuvor stofflich genutzt worden war. So zeigten Recherchen von Greenpeace im Sommer 2022, dass Stammholz – zum Teil aus FFH-Gebieten – direkt in Kraftwerken verbrannt wurde.² Zudem entfachen Kohlekraftwerke mit Holzmitverbrennung, etwa in Großbritannien und den Niederlanden, einen starken Sog auf dem globalen Holzmarkt. In Deutschland sind entsprechende Projekte in Planung.

Auch in deutschen Haushalten ist Holz noch immer der mit Abstand größte erneuerbare Energieträger im Wärmesektor. Laut dem Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie wuchs die Zahl der in Deutschland eingebauten Holz-Heizungen im Jahr 2022 um 14 Prozent – zwischen Januar und Oktober 2022 bauten die Betriebe 75.000 Heizungsanlagen für Hackschnitzel oder Pellets ein. Neben hohen Preisen treiben zahlreiche Gesetze die Holznachfrage an. Zu nennen sind etwa das deutsche Gebäudeenergiegesetz, das regenerative Energien zum Beheizen in Neubauten vorschreibt, sowie das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Außerdem werden Instrumente wie die Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) die Nachfrage nach Pelletheizungen weiter befördern – und damit auch den Holzeinschlag. Nicht zuletzt könnten je nach Preisentwicklung der Europäische Emissionshandel, der Holz als Energieträger bislang nicht mit einem CO₂-Preis versieht sowie ein bereits diskutiertes Förderprogramm zur Holzverbrennung in Kohlekraftwerken die Nachfrage noch einmal deutlich steigern. Die Holzernte erreichte 2020 und 2021 mit 80,4 Millionen und 83 Millionen Kubikmetern laut Statistischem Bundesamt Höchstwerte. Im Gegensatz dazu hat das Öko-Institut eine Erntemenge von knapp über 60 Millionen Kubikmetern als ökologisch verantwortungsvoll berechnet.³

Auch Altholz für die Bioökonomie steht nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. Das Aufkommen von Altholz schätzt der Branchenverband der Entsorgungsbetriebe (Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung, bvse), auf etwa 8 Millionen Tonnen im Jahr. Es handelt sich um Verpackungsholz, Bau- und Abbruchholz oder Kastenmöbel sowie um Industrieholz aus Sägewerken. In dem turbulenten Jahr 2022 mit Inflation, Energiekrise und gestörten Lieferketten stand diese Ressource nicht zuverlässig zur Verfügung.

Die nachlassende Baukonjunktur mit weniger Schiffsladungen voller Paletten und weniger Sperrmüll nach den beiden Corona-Jahren führte ebenfalls zu Mengeneinbrüchen beim Altholz. Anfang 2023 klagten die Entsorgungsbetriebe, unter den vorherrschenden Bedingungen sei die stoffliche Verwertung kaum mehr konkurrenzfähig gegenüber der energetischen. Derzeit zieht der Energiesektor den hochwertigen Rohstoff Holz aus anderen Sektoren ab. Ein klassischer Fall von Marktversagen. Zudem sind Nutzungen, die auf Altholz beruhen, auf einen wachsenden Abfall-Strom in diesem Bereich angewiesen. Das widerspricht dem Gedanken einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.

Schon jetzt läuft Schwarzlauge, die bei der Papier- und Zellstoffproduktion anfällt, nicht einfach ins Abwasser. Jährlich fallen etwa 3 Millionen Tonnen des Wasser-

² https://www.greenpeace.de/publikationen/S04171_gp_Report_Energiepolitik_auf_dem_Holzweg_08_2022_0.pdf, S.4

³ Waldvision Deutschland <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Waldvision-Methoden-und-Ergebnisse.pdf>, S. 7

Lignin-Chemikaliengemisches an, die in der Regel vor Ort energetisch genutzt werden. Eine stoffliche Nutzung wäre auch bei Schwarzlauge sinnvoll, steckt aber noch in den Kinderschuhen des Versuchsstadiums.⁴

Damit die nachhaltig verfügbaren Holzmengen in sinnvolle Nutzungen im Sinne der Kaskade, etwa im Rahmen einer Holzbau-Initiative oder auch in stoffliche Anwendungen in Bioraffinerien gehen können, müsste der Status Quo überwunden, der Einsatz von Holz als Energieträger massiv zurückgefahren und die industrielle Holzverbrennung ganz beendet werden. Die Zielkonflikte, die sich aus dem Wald als Speicher für Treibhausgase und Biodiversität auf der einen, als Lieferant für Rohstoffe auf der anderen Seite ergeben, sind zwar ausreichend beschrieben, bislang aber nicht gelöst. Eine zusätzliche Holznachfrage durch die Bioökonomie wäre hier ein Brandbeschleuniger.

⁴ <https://www.cbp.fraunhofer.de/content/igb/de/geschaeftsfelder/nachhaltige-chemie/biobasierte-chemikalien.html>

Stroh – Engpass mit Ansage

Vor einiger Zeit haben Horst Fehrenbach und seine KollegInnen am Heidelberger Ifeu-Institut für Ressourcen, Biomasse und Ernährung die Potentiale von Reststoffen für die Energieproduktion untersucht – von Restholz bis Klärschlamm. Ernüchterndes Ergebnis der für das Umweltbundesamt erstellten Studie: Alle Reststoffe sind schon in Nutzungen eingebunden oder werden sogar schon übernutzt. Allein bei Stroh, Mist und Gülle sah das Ifeu-Team noch Potential für neue Anwendungen wie etwa in Bioraffinerien. Die Zahlen gingen allerdings größtenteils vom landwirtschaftlichen Status Quo aus: Intensiv-Ackerbau verbunden mit einem hohen Tierbestand in Stallhaltung, mit allen katastrophalen Folgen für Mensch und Umwelt, Biodiversität, Klima und Tierwohl. Denn die Verfügbarkeit von Stroh, Gülle und Mist ist von der Art der Landbewirtschaftung abhängig.

So fällt im ökologischen Landbau weniger Stroh an, in der Tierhaltung sind die Tierzahlen reduziert, es fällt weniger Gülle und Mist an und es wird mehr Stroh als Einstreu benötigt. Zudem werden Maßnahmen zum Schutz des Klimas und der Biodiversität das Biomassepotential weiter einschränken. So sehen etwa der Aktionsplan Klimaschutz der Bundesregierung sowie die Europäische Strategie zur Biologischen Vielfalt mehr Brachflächen vor, zudem sollen landwirtschaftliche Nutzflächen wieder vernässt werden. Wird die Ackerfläche verkleinert, sinken auch die Potentiale von Stroh. Ebenso wird durch eine von weiten Teilen der Agrarwissenschaft befürwortete Senkung des Tierbestands weniger Mist und Gülle anfallen.⁵



Foto: Stefan Lüddecke

Stroh ist ein vielfältiger, aber begrenzter Reststoff

⁵ <https://www.agrarheute.com/politik/gelingt-umbau-ernaehrungssysteme-592278>

Zugleich ergeben sich auf der anderen Seite eine Vielzahl neuer Bedarfe – in der Kraftstoff-, Chemie- und Pharmaindustrie – die derzeit nicht koordiniert erfasst werden. An sich ist Stroh ein seit jeher geschätzter Rohstoff. Chemisch eine Mischung aus Zellulose, Lignin und Kieselerde, ist er aufgrund seiner röhrenförmigen Struktur reißfest und flexibel und somit als Baurohstoff verwendbar. Die Luft in seinen Hohlräumen führt zu guten Isolationseigenschaften und seiner Eignung als Dämmstoff. In der Landwirtschaft dient Stroh der Humusbildung von Ackerböden, als stickstofffreier Dünger, als Unterlage in Spezialkulturen (Erdbeeren) sowie als Einstreu in der Tierhaltung. Im Rahmen der Dekarbonisierung des Verkehrs- und des Chemiesektors ist er nun als Rohstoff für „fortschrittliche Biokraftstoffe“ sowie für Plattformchemikalien in den Blick geraten. Mit Hilfe von Enzymen lässt sich Stroh zu Bio-Ethanol verarbeiten; unter anaeroben Bedingungen und unter Zugabe von Bakterien wird Stroh zu Bio-Methan vergoren, das als Erdgasersatz ins Netz eingespeist oder als Ausgangsstoff für Dünger, Kunst- oder Klebstoffe verwendet werden kann.

Eine systematische Übersicht über die Bedarfe der Industrie für Stroh gibt es nicht, außerdem sind die Märkte für Stroh regional und häufig informell organisiert. Das Aufkommen ist regional sehr unterschiedlich: Im Nordosten, in Mitteldeutschland rund um den Harz sowie im Norden Bayerns und Baden-Württembergs fällt Stroh im Überschuss an, der Norden und Osten NRWs sowie Teile Niedersachsens und Süddeutschlands sind Mangelregionen. Als relativ voluminöser Stoff lässt sich Stroh nicht kosten- und energieeffizient über lange Strecken transportieren. Aber es gibt Anhaltspunkte dafür, welche Mengen nötig wären, um eine Industrie darauf aufzubauen.

2020 wurden laut dem Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft 700.000 Tonnen Bioethanol hergestellt, die Kraftstoffen beigemischt wurden. Hierfür wurde beinahe ausschließlich Anbaubiomasse genutzt, nämlich 83 Prozent Futtergetreide (Mais und Weizen) sowie 17 Prozent Zuckerrübe. Die Produktionsmengen aus Reststoffen waren so gering, dass sie sich nicht beziffern ließen. Sollte nun statt Getreide Stroh zum Einsatz kommen, wären enorme Mengen nötig. Der Schweizer Chemie-Konzern Clariant plant für seine Bioethanol-Anlagen in Rumänien, jährlich aus 250.000 Tonnen Stroh 50.000 Tonnen Bioethanol herzustellen. Um also die bisherige deutsche Produktionsmenge an Bioethanol auf die Rohstoffbasis Stroh umzustellen, wären jährlich 3,5 Millionen Tonnen Stroh nötig. Das Deutsche Biomasseforschungszentrum geht von jährlich 5 bis 13 Millionen Tonnen verfügbarem Stroh für neue Anwendungen aus.⁶ In dem Mindestszenario von 5 Millionen Tonnen verfügbarem Stroh wären also allein 70 Prozent der Menge nötig, um den Status Quo der Bioethanol-Produktion aufrecht zu erhalten.

Allerdings hält nicht nur Fehrenbach den Einsatz von Stroh für Kraftstoffe für Verschwendung. Er hält es für bedenkenswert, ob die zur Verfügung stehenden Mengen in den Raffinerien der chemischen Industrie sinnvoller Verwendung finden könnten. Diese verbrauchen bislang etwa 5 Prozent des nach Deutschland importierten Rohöls und müssen diese Mengen mittelfristig durch andere Kohlenstoffträger ersetzen. Die Mengen sind dabei so enorm, dass ein Reststoff allein sie nicht

⁶ Der Strohmarkt in Deutschland, Seite 3 / https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00051612

decken kann – aber, so der Ifeu-Forscher: Die Produktion von Kunststoff, etwa für Verpackungen, muss im Rahmen einer sozial-ökologischen Transformation sowieso sinken.

Weitere für die Bioökonomie relevante Reststoffe sind Gülle und Mist, also Stroh, das mit Kot und Urin aus der Haltung der rund 170 Millionen Nutztiere in Deutschland vermischt ist. Die BioRest-Studie geht bei Gülle und Mist von einem Potential von 90 bis 160 Millionen Tonnen Frischmasse pro Jahr aus. Diese Stoffe werden bislang überwiegend als Direktdünger verwendet, aber auch in Biogasanlagen zu Bio-Methan vergoren. Das Umweltbundesamt hält Bio-Methan als wind- und sonnenunabhängigen Energieträger für einen Stabilisator in einem erneuerbaren Energiesystem.⁷ Der Einsatz von Gülle und Mist in Biogasanlagen ist im Vergleich zum Direkteinsatz als Dünger klimafreundlicher - darüber hinaus ist es deutlich sinnvoller als die Verwendung von Anbaubiomasse.

Es ist absehbar, dass die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Reststoffen für die Bioökonomie das Angebot bei Weitem übersteigt - insbesondere bei einer nachhaltigen Landnutzung.

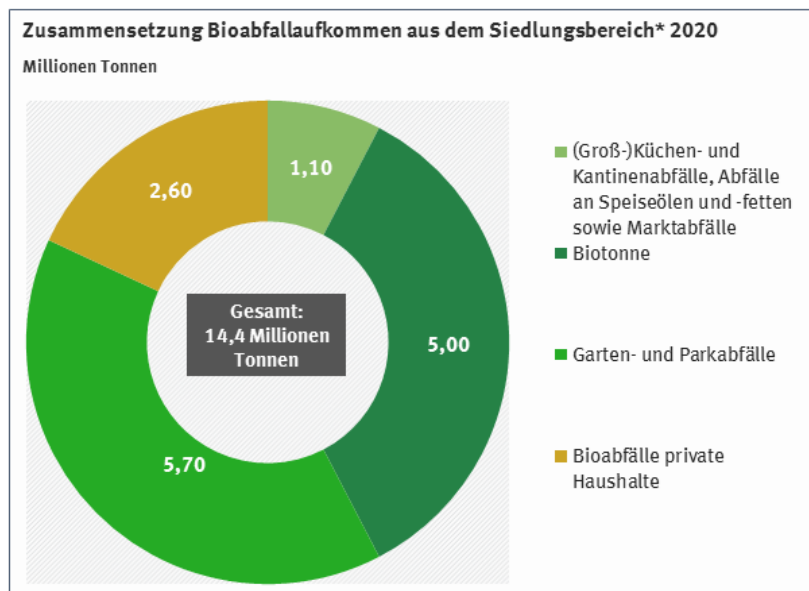
⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>

Bioabfall – Konkurrenz um begrenztes Angebot

Nach Waldholz und Stroh, die im Grunde nicht Reststoffe sind, sondern längst verbucht, kommen wir hier zu einem wirklichen “Rest” – Bioabfall. Dieser setzt sich aus Garten- und Park-, Küchen- und Kantinenabfällen, alten Speiseölen und -fetten sowie Marktabfällen zusammen. Sind sie der Heilsbringer für die Bioökonomie?

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes haben Haushalte und Kommunen 2020 rund 14,4 Millionen Tonnen Bioabfälle verursacht (ohne Bioabfälle aus der Landwirtschaft oder dem produzierenden Gewerbe). 11,8 Millionen Tonnen haben die Entsorger aus Biotonnen erhalten, etwa 2,6 Millionen Tonnen sind auf privaten Komposthaufen zu Kompost gereift.

Garten- und Parkabfälle machten demnach knapp die Hälfte (48,3 %) der von den Abfallentsorgungsanlagen angenommenen Bioabfälle aus, gefolgt von den Abfällen aus der Biotonne mit 42,4 % und biologisch abbaubaren Küchen- und Kantinenabfällen mit 8,2 %. Für letztere sank die Abfallmenge aufgrund der Coronapandemie gegenüber dem Jahr 2019 um 18,0 Prozent im Jahr 2020.⁸ Die anfallenden Mengen an Bioabfall sind ansonsten seit Jahren konstant.



Quelle: Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2022
(*ohne Bioabfälle aus der Landwirtschaft oder dem produzierenden Gewerbe)

⁸ Quelle: Statistisches Bundesamt (2022) Pressemitteilung Nr. 371 vom 5. September 2022. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_371_321.html

Für sie gibt es bisher klassische Verwertungswege, für die das Umweltbundesamt folgende Leitlinien setzt: Nasse Bio- und Speiseabfälle sollten am ehesten vergärt und als Biogas, die Gärreste als Dünger oder Kompost genutzt werden. Für lignin- und zellulosereiches Pflanzenmaterial, etwa aus der Park- und Landschaftspflege, sei die Kompostierung die beste Verwendung. Holzhaltige Bestandteile des Grünabfalls können auch als Brennstoff in Biomasseheizkraftwerken verwendet werden. Derzeit arbeiten etwa 1.000 große Kompostanlagen in Deutschland. In 100 bis 150 dieser Anlagen kann Bioabfall zu Biogas vergären.⁹ Auf diese Weise sind 2020 insgesamt 4,8 Millionen Tonnen Kompost sowie 746,6 Millionen Kubikmeter Biogas entstanden.

Neue Wege für den Stoffstrom Bioabfall werden in vielen Forschungsprojekten gesucht. Beispielsweise hat der Rems-Murr-Kreis in Baden-Württemberg 2020 knapp 41.000 Tonnen Biomüll gesammelt und, ganz klassisch, in der kreiseigenen Vergärungsanlage zu Biogas vergoren und damit Strom produziert. Seit 2021 verarbeitet die Anlage in einer Bioraffinerie zusätzlich täglich 1 Tonne Abfall zu verschiedenen Produkten: Biogas, Pflanztöpfe, Mulchmaterial, Dünger, Enzyme und Kunststoff. Dazu werden in verschiedenen Schritten Kohlenhydrate, Proteine, Fette und Fasern getrennt.

Am Potsdamer Leibniz-Institut für Agrarforschung und Bioökonomie (ATB) arbeiten Wissenschaftler daran, aus Bioabfall – etwa gemischten Speiseresten aus Kantinen oder aus Brot – mittels mikrobieller Fermentation Biokunststoffe zu gewinnen. Dazu lagert das Institut 500 bis 600 Bakterienstämme bei etwa –80 Grad Celsius im Tiefkühlschrank, die auf ihre Fähigkeit, Zucker zu verstoffwechseln, getestet werden können. Mit Milchsäurebakterien werden aus den Zuckern der im Abfall vorkommenden Polymere Cellulose und Hemicellulose organische Säuren, etwa Milch- oder Bernsteinsäure, generiert und diese schließlich zu biobasierten Kunststoffen weiterverarbeitet. Diese Prozesse haben einen hohen Wasserbedarf, da Mikroorganismen eine gleichmäßige Umgebung benötigen – die gibt es nur in Flüssigkeiten.



Foto: Friedemann Wagner

Aus Speiseresten lassen sich Biokunststoffe herstellen

⁹ <https://www.biooekonomie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/biowaste-products-bioraffinerie-verwandelt-bioabfall-neue-produkte>

All diese Projekte befinden sich derzeit im Forschungsstadium. Dabei forscht etwa das ATB „im Prozess, nicht in Potentialen“, sagt Joachim Venus, Arbeitsgruppenleiter Biokonversion am Institut. Soll heißen: Es werden Verfahren und Methoden entwickelt, unabhängig von tatsächlich zur Verfügung stehenden Abfallmengen.

Eine industrielle Nutzung von Bioabfall als Chemiegrundstoff existiert derzeit noch nicht. Und auch Biogasanlagen arbeiten bisher in der Regel nicht mit Reststoffen, sondern mit Anbaubiomasse wie etwa Mais. Diese Reaktoren auf Abfallstoffe umzustellen, ist nicht trivial. Venus hebt heraus, dass es sich bei Lebensmittelabfällen um einen sehr heterogenen Stoffstrom handelt, darum sei die Logistik entscheidend. Am sinnvollsten wären flexible Bioreaktoren im Containerformat, die Lebensmittelabfälle aus Haushalten, Restaurants, Kantinen und Handel sowie Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung direkt vor Ort in hochwertige Rohstoffe umwandeln können. Gleichwohl könnte das Aufkommen in Zukunft gering ausfallen, wenn die Bundesregierung ihre Nationale Strategie zur Reduzierung von Lebensmittelverschwendung erfolgreich umsetzt.

Auf die Bioabfälle bezogen ist am Ende die Frage entscheidend, womit sich die höchste Wertschöpfung erzielen lässt – mit der Herstellung von Chemikalien, Kompost oder Energie. Weil auch dieser Stoffstrom begrenzt ist, kommt es bei neuen Nutzungsoptionen zu Verdrängungsprozessen. Als Rohstoff für die Wirtschaft der Zukunft sind Bioabfälle jedenfalls kein Patentrezept.

CO₂ als Rohstoff – Hype oder Hoffnung?

Es ist wenig verwunderlich, dass Industrie und Politik auf der Suche nach einer alternativen, nicht-fossilen Kohlenstoffquelle irgendwann bei Kohlendioxid gelandet sind. Schließlich haben wir es hier mit einem Stoff zu tun, der nicht nur ausreichend, sondern im Überfluss vorhanden ist. CO₂ entsteht bei der Zellatmung von Lebewesen und bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Gas. Als Produkt eines Verbrennungsprozesses ist Kohlendioxid allerdings sehr reaktionsträge. Wer es dazu bringen möchte, chemisch zu reagieren, muss also viel Energie einsetzen - und doch scheint der Kohlenstoffträger verlockend. Auf Basis von Kohlendioxid könne eine „effiziente Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft aufgebaut und der Einsatz fossiler Ressourcen verringert werden“, heißt es auf der Website des Bundesforschungsministeriums (BMBF). Oliver Geden, Senior Fellow bei der Stiftung Wissenschaft und Politik in Berlin und Experte für die CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre, sieht in entsprechenden Technologien zumindest ein großes politisches und technisches Potential.

Und Unternehmen wie der aus Bayer hervorgegangene Polymer-Produzent Covestro setzen perspektivisch unter anderem auch auf CO₂ als Chemierohstoff. Zwar könne niemand sagen, welcher der drei künftigen Stoffströme der chemischen Industrie – Anbaubiomasse, Reststoffe und Kohlendioxid – in 30 Jahren dominieren werde, sagt Christian Hässler, Leiter des globalen Kreislaufwirtschafts-Programms der Covestro Deutschland AG im Gespräch. Aus seiner Sicht ist CO₂ aus der Luft allerdings neben Reststoffen zur Lösung des Müllproblems eine bevorzugte Kohlenstoffquelle, weil mit seiner Nutzung gleichzeitig das Klima entlastet werde. Auch der Weltklimarat hält es für notwendig, der Atmosphäre CO₂ zu entziehen, um das 1,5 Grad-Ziel zu erreichen. Allerdings müsste das Treibhausgas dafür dauerhaft gespeichert werden. Dazu stehen



DAC-Anlage der schweizer Firma Climeworks

Foto: Orjan Ellingvag

unterschiedliche Methoden zur Verfügung, etwa Aufforstungen im großen Stil, oder die Kohlendioxid-Speicherung in geeigneten unterirdischen Speichern, etwa alten Erdgaslagern.

Für den Bioökonomie-Diskurs von Interesse sind Verfahren, die CO₂ nicht nur abscheiden und unterirdisch verpressen, sondern das Gas stofflich nutzen. Infrage kommt dafür etwa, Kohlendioxid zu mineralisieren, um Baustoffe zu produzieren. Eine weitere Nutzungsoption wäre, CO₂ als Grundstoff der Chemieindustrie einzusetzen. Dieser CCU – Carbon Capture and Usage – genannte Ansatz wird von Forschungsinstituten und Industriepartnern verfolgt und erhält große mediale Aufmerksamkeit. Etwa läuft von 2020 bis 2024 das Projekt „Carbon2Chem“, in dem Unternehmen wie ThyssenKrupp, Evonik, Clariant und Covestro gemeinsam mit Max-Planck-Instituten und der Fraunhofer-Gesellschaft Hüttengas als Rohstoffquelle untersuchen.

Hüttengas entsteht bei der Stahlproduktion und setzt sich zusammen aus 44 Prozent Stickstoff, 23 Prozent Kohlenmonoxid, 21 Prozent Kohlendioxid, 10 Prozent Wasserstoff und zwei Prozent Methan. Diese Gase sind Basis für zahlreiche chemische Produkte. Aus Stickstoff und Wasserstoff lässt sich beispielsweise Ammoniak herstellen, eine Vorstufe für Mineraldünger. Die chemische Reaktion verläuft bei einem Druck von 200 bis 300 bar und einer Temperatur von 350 bis 450 Grad Celsius ab und ist damit ausgesprochen energieintensiv.

Potentiell lassen sich aus den Bestandteilen des Hüttengases neben Mineraldünger auch Kraft- oder Kunststoffe herstellen. Bis 2025 planen die beteiligten Partner Investitionen von mehr als 100 Millionen Euro. Für die kommerzielle Realisierung haben sie laut Bundesforschungsministerium mehr als 1 Milliarde Euro Fördergelder vorgesehen. Doch darf die Möglichkeit der CO₂-Abscheidung natürlich nicht dazu führen, weiter auf das Verbrennen fossiler Rohstoffe zu setzen. Zudem befinden sich viele Nutzungsmöglichkeiten von Kohlendioxid bislang noch im Laborstadium.

Auch Covestro-Manager Hässler nennt als wesentlichen Stoffstrom jenseits von Anbau-Biomasse derzeit noch Bioabfälle. So sammelt das Partnerunternehmen Neste Küchenfette ein und verarbeitet sie zu Pyrolyseöl, das anschließend gecrackt und Covestro als Grundstoff zur Kunststoffherstellung zur Verfügung gestellt wird. Dabei könnte es perspektivisch „um signifikante Mengen“ gehen, so Hässler. Bei Covestro ist man davon überzeugt, dass in den nächsten Jahren erst einmal die Bedeutung von Abfällen als Kohlenstoffquelle zunehmen wird, wenn die Herausforderungen gemeistert werden: unter anderem in der Logistik, also beim Sammeln, Sortieren, Trennen und bei den Inhaltsstoffen der Reststoffe.

Allerdings sind die Verfahren bislang noch sehr teuer und werden es mittelfristig bleiben – das gilt umso mehr auch für die direkte CO₂-Entnahme. „Kohlendioxid aus der Luft zu nutzen, wird absehbar das kostenintensivste Verfahren sein, um an Kohlenstoff zu gelangen“, sagt Politikberater Geden. Daher werden die Impulse für diesen Rohstoff nicht aus den Märkten kommen, sondern politisch getrieben sein, da sind sich die Experten einig. In welchem Umfang Kohlendioxid als Chemierohstoff einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Wertschöpfung der Branche leisten kann, wird wesentlich davon abhängen, ob die Skalierung aus dem Labormaßstab zur industriellen Anwendung gelingt.

Quellen Holz

<https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/forstwirtschaft/entwicklung-des-baumkronenstands-in-deutschland.html>

https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC122719/jrc-forest-bioenergy-study-2021-final_online.pdf

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_hgp_umweltschutz-wald_u_nachhaltigeholznutzung_bf.pdf

<https://www.bvse.de/themen-altholz-ersatzbrennstoffe-bioabfall/altholz-verwertung/altholz-verwertungs-optionen.html>

https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Marktentwicklung_Waerme-markt_2022-10.pdf

<https://www.bvse.de/verwertung/presse-altholz-ersatzbrennstoffe-bioabfall/9333-immer-mehr-alt-holz-wird-als-brennstoff-genutzt.html>

https://www.greenpeace.de/publikationen/S04171_gp_Report_Energiepolitik_auf_dem_Holzweg_08_2022_0.pdf

<https://www.wohllebens-waldakademie.de/media/65e47222-5cfa-49b7-9f3f-a2634a044bbe.pdf>

https://www.greenpeace.de/publikationen/s02061_greenpeace_studie_waldvision.pdf

Quellen Stroh

<https://www.verbio.de/presse/aktuelles/pressemitteilungen/detail/verbio-betreibt-erste-stroh-biomet-han-anlage-der-usa/>

https://www.verbio.de/fileadmin/user_upload/verbio/presse/artikel/2022/PM_VNA_GrandOpeningNevada-Biorefinery/VERBIO_NevadaGrandOpening_May6_PressRelease.pdf

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#Biogas>

<https://www.clariant.com/de/Corporate/News/2022/06/Clariant-produces-first-commercial-sunliquid-cellulosic-ethanol-at-new-plant-in-Podari-Romania>

<https://www.hafen-straubing.de/clariant-produkte-deutschland-gmbh/>

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/verkehr-tourismus/Tabellen/fahrleistungen-kraftstoffverbrauch.html>

<https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>

https://www.fona.de/medien/pdf/Biooekonomie_in_Deutschland.pdf

<https://www.agrarheute.com/politik/gelingt-umbau-ernaehrungssysteme-592278>

Quellen Abfall

https://www.abfallwirtschaft-rems-murr.de/fileadmin/user_upload/downloads/geschaeftsberichte/awrm_gb-2020_web.pdf

https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html

<https://www.biooekonomie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/biowaste-products-bioraffinerie-verwandelt-bioabfall-neue-produkte>

https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_371_321.html

<https://www.atb-potsdam.de/de/forschung/programme/multifunktionale-biomaterialien>

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/bioabfaelle#sammlung-von-bioabfall>

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2_abb_zusammensetzung-bioabfaelle_2022-11-11.png

Quellen CO2

<https://www.fdpbt.de/sites/default/files/2020-01/1914052.pdf>

<https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/carbon2chem/carbon2chem.html>

<https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/carbon2chem.php>

<https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/umwelt-und-klima/ressourcen/kohlendioxid-als-rohstoff.html>