

ENERGIE UND PFLANZEN- KOHLE AUS NEUEN QUELLEN

Holz ist ein beliebter Energieträger. Doch es gibt weitere Arten von Biomassen, die energetisch genutzt werden können. Ein Weg, dies zu tun, führt über die Pyrolyse (Verkohlung). Dabei können Wärmeenergie und Pflanzenkohle erzeugt werden. Letztere kann unter anderem als Bodenzuslagstoff in der Landwirtschaft verwendet werden. Wissenschaftler der Fachhochschule Nordwestschweiz haben gemeinsam mit Industrievertretern untersucht, welche «neuen» Biomassen auf diese Art genutzt werden könnten.



Eine «neue» Biomasse mit grossem Potenzial für die Bereitstellung von erneuerbarer Wärme und von Pflanzenkohle: Rinde von Waldholz. In der Schale ist die daraus erzeugte Pflanzenkohle zu sehen. Foto: Léonard Marchand/FHNW

In der Energiediskussion werden unter dem Begriff «Biomasse» alle pflanzlichen und tierischen Stoffe zusammengefasst, aus denen sich Wärme, Strom oder Bewegungsenergie gewinnen lassen. Die wichtigste Biomassefraktion ist Holz. Sie wird in Form von Pellets, Hackschnitzeln oder Stückholz zur Energieproduktion genutzt. Der Energieträger Holz ist begehrt, denn er ist oft lokal verfügbar, einfach zu handhaben und gilt als CO₂-neutral, sofern bei der Verbrennung nur so viel Treibhausgas entsteht, wie der Atmosphäre beim Wachstum der Bäume entzogen wurde.

Gemäss der Schweizerischen Holzenergiestatistik nutzten die im Jahr 2021 installierten Holzfeuerungen insgesamt 5.8 Millionen Kubikmeter bzw. 16'000 GWh Energieholz. Das entspricht gut drei Vierteln des nachhaltig nutzbaren Energieholz-Potenzials. Auch wenn der Energieträger Holz in der Schweiz noch nicht voll ausgeschöpft ist, plädieren Fachleute wie Andreas Keel, Geschäftsführer des Verbandes Holzenergie Schweiz, für die energetische Nutzung «neuer» Biomassen wie Pferdemist-Einstreu, Hühnerfedern oder Müllereiresten. Hier bestehe ein nutzbares Potenzial von 9'000 GWh (32 PJ) pro Jahr, sagte Andreas Keel im Herbst 2022 anlässlich einer Fachtagung.

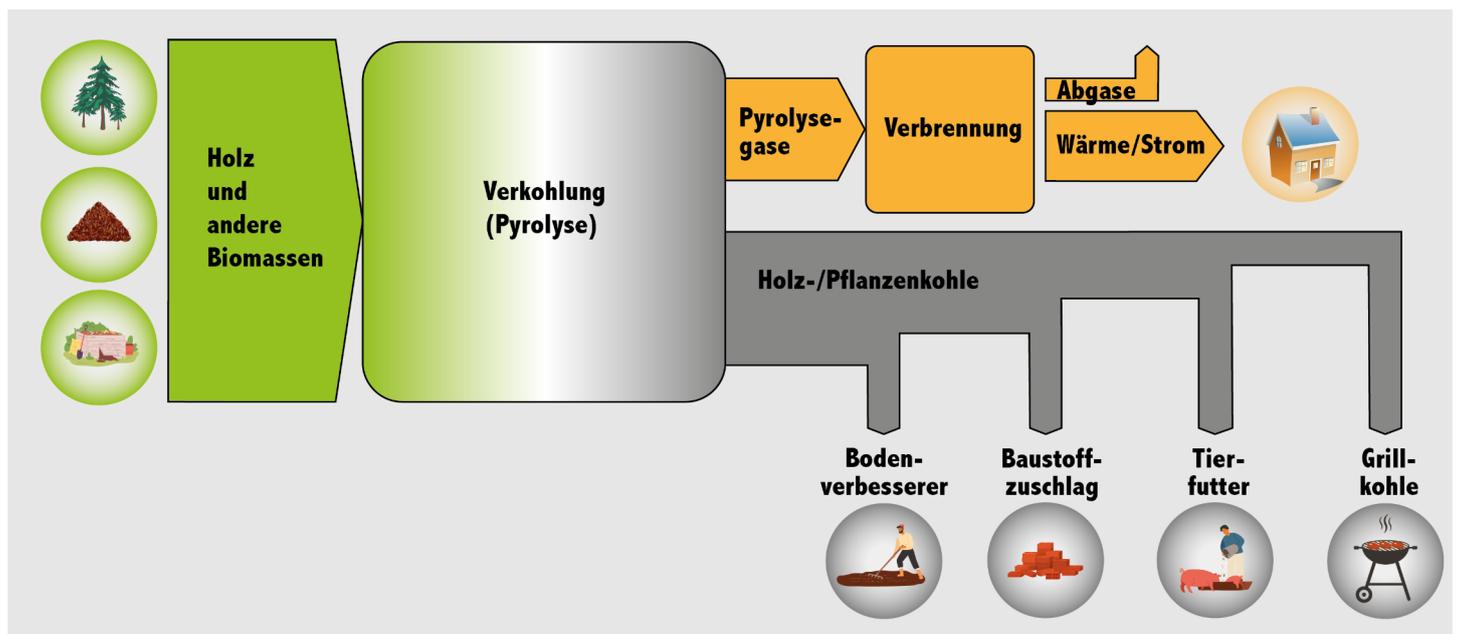
Energie und Pflanzenkohle aus Biomasse

Die Firma Kaskad-E GmbH (Basel), die Fachhochschule Nordwestschweiz (Windisch/AG) und die Bioburn AG (Zell/AG) gingen in einem vom BFE unterstützten Forschungsprojekt

(«PyroChar») der Frage nach, ob bzw. wie dieser Schatz an erneuerbarer Energie gehoben werden kann. Zur Energiegewinnung werden Holz und andere Biomassen in der Regel verbrannt. Alternativ kann Biomasse unter Luftabschluss verkohlt werden. Bei diesem Prozess – der Pyrolyse – wird das organische Material in Kohle umgewandelt: aus Holz wird Holzkohle, aus pflanzlichen Substraten Pflanzenkohle. Zusätzlich entsteht ein Gemisch aus gasförmigen (H₂, CO, CO₂, CH₄) und flüssigen Phasen (Teer), aus dem durch Verbrennung Wärme gewonnen werden kann. «Rund die Hälfte der Ausgangsenergie wird dabei in Wärmeenergie umgewandelt, die zum Beispiel in Fernwärmenetzen genutzt werden kann», sagt Stephan Gutzwiller, PyroChar-Projektleiter und Inhaber der Firma Kaskad-E, die Pyrolyse-Anlagen plant und baut. Pflanzenkohle wird als Tierfutter und Bodenverbesserer verwendet und kann auch als Zuschlag für Baustoffe eingesetzt werden (vgl. Textbox S. 4).

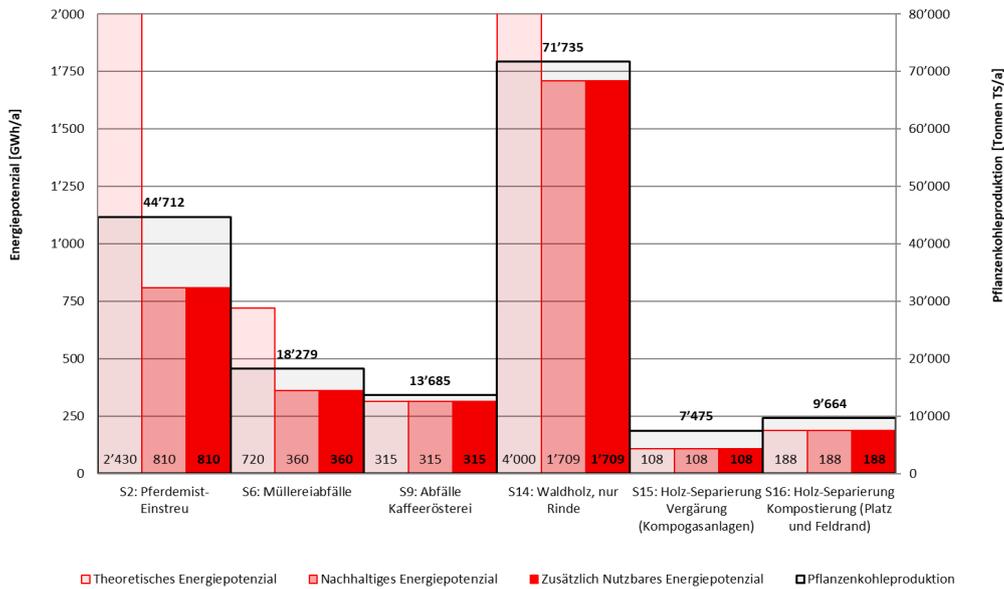
Sechs Substrate in der engeren Wahl

Das PyroChar-Forschungsteam untersuchte 32 Arten von Biomassen und zog nach einer ersten Beurteilung sechs in die engere Wahl: Pferdemist-Einstreu; Müllereinebenprodukte (Weizenkleie und Gerstenabgang); Abfälle aus Kaffeeröstereien; Rinde von Waldholz; Holzsiebreste aus der Feststoffvergärung; Holzsiebreste aus der Kompostierung. Aus den sechs Substraten würden sich bei einer rein energetischen Verwertung (also Verbrennung, nicht Pyrolyse) rund 3'490 GWh (12 PJ) pro Jahr gewinnen lassen, errechneten die PyroChar-



Bei der Verkohlung von Holz und anderen Biomassen entstehen Energie sowie Holz- und Pflanzenkohle. Illustration: B. Vogel

Neue Substrate für die Pflanzenkohleproduktion, Auswahl 6 Substrate



Die Grafik zeigt das Potenzial von sechs untersuchten Arten von Biomasse: Am grössten ist das nachhaltig nutzbare energetische Potenzial von Rinde: rund 1'700 GWh pro Jahr. Wird aus den Substraten nicht nur Energie hergestellt, sondern gleichzeitig auch Pflanzenkohle, dann halbiert das den Energieertrag. Aus dem Energieträger Waldholz-Rinde liessen sich in diesem Fall pro Jahr 71'735 t Pflanzenkohle und rund 850 GWh Energie gewinnen. In der Grafik wird das «nachhaltige» Energiepotenzial jeweils mit dem «zusätzlich nutzbaren» Energiepotenzial gleichgesetzt. Das ist nicht ganz korrekt, denn ein (kleiner) Anteil der Substrate wird heute schon energetisch genutzt, wenn z.B. Kaffeerösterei-Abfälle in einer Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt werden. Grafik: Schlussbericht Pyrochar

Forscher (vgl. Grafik oben). Wird aus den Substraten mittels Pyrolyse gleichzeitig Energie und Pflanzenkohle hergestellt, sinkt der Energieertrag auf die Hälfte (also jährlich rund 1'745 GWh (6 PJ).

Ein Team um Prof. Timothy Griffin vom Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz der FHNW untersuchte die sechs Substrate in einer Pyrolyse-Laboranlage in Windisch – zum einen auf die Abgasemissionen während der Verkohlung, zum anderen auf die stoffliche Zusammensetzung der Pflanzenkohle. Drei der Substrate erwiesen sich als besonders er-

folgversprechend: Waldholz-Rinde, Weizenkleie und Kaffeerösterei-Abfälle. Sie wurden anschliessend auf zwei kommerziellen Pyrolyse-Anlagen in Basel und Stettlen (BE) zusätzlichen Messungen unterzogen.

Emissionen und Schwermetalle

Als «geeignet» für die Herstellung von Energie und Kohle beurteilt das Projektteam die Rinde von Waldholz. Damit bei dem Pyrolyse-Prozess der Grenzwert der Luftreinhalteverordnung für Schwefeldioxid (SO₂) eingehalten wird, dürfte allerdings eine Entschwefelung erforderlich sein. Die Messungen



Die Basler Energieversorgerin IWB betreibt seit 2021 eine Pyrolyse-Anlage. Diese erzeugt aus der Verwertung von Holz Fernwärme für rund 170 Haushalte (insgesamt 1'500'000 kWh) und 550 Tonnen Pflanzenkohle für Hobbygärtner, Gärtnereien und die Landwirtschaft. Foto: IWB



Auf einem Bauernhof in Stettlen (BE) läuft seit November 2020 eine Pyrolyse-Anlage, die Holz hackschnitzel als Substrat nutzt. Hier werden jährlich rund 50'000 kWh Heizwärme und 5 t Pflanzenkohle produziert. Die Wärme wird für die Heizwärme- und Warmwasserproduktion von vier Wohnungen verwendet. Foto: Fridolin Hanel

Substrat	CO	SO ₂	CH ₄	NO ₂	PCDD/F (inkl. BG)
	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	ng/Nm ³
Holzhackschnitzel	20	n.g.	< 1	86	n.g.
Pferdemist	1	185	3	355	n.g.
Pferdemist (PCDD/F-Messung)	7	n.g.	7	480	0.21
Gerstenabgang	3	n.g.	7	560	n.g.
Weizenkleie	< 1	291	11	824	n.g.
Kaffeeabfälle	< 1	n.g.	10	610	n.g.
Rinde	7	70	< 1	363	n.g.
Holz-Vergärung	< 1	170	5	504	n.g.
Holz-Vergärung (PCDD/F-Messung)	22	201	3	497	0.38
Holz-Kompostierung	50	88	< 1	326	n.g.

Die Pyrolyse unterschiedlicher Biomassen führt zu Emissionen an Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid (SO₂), Methan (CH₄), Stickoxiden (NO_x) und Dioxinen (PCDD/F). Die Werte für Schwefeldioxid und Dioxine überschreiten teilweise die Grenzwerte, die für Anlagen zum Verbrennen von Siedlungs- und Sonderabfällen gelten (Art. 71 LRV); die orange unterlegten Werte überschreiten die Grenzwerte um 50 bis 400 %, die rot unterlegten Werte sogar über 400 %. Ein anderes Bild zeigt sich, wenn man die Vorschriften für Anlagen zum Verbrennen von biogenen Abfällen und Erzeugnissen der Landwirtschaft (Art. 74 LRV) heranzieht. In diesem Fall verletzen die gemessenen Emissionen keinerlei Grenzwerte. Grafik: PyroChar-Schlussbericht.

ergaben für die Pflanzenkohle zudem leicht erhöhte Werte beim Schwermetall Zink und bei der Schadstoffgruppe der PAK (Polyaromatische Kohlenwasserstoffe). Die Pflanzenkohle könnte gemäss dem europäischen EBC-Regelwerk (für: «European Biochar Certificate») somit zwar als Bodenzusatz in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt werden, nicht aber als Tierfutter oder im Biolandbau. Denkbar wäre auch ein Zuschlag in Baustoffen. Rinde ist ein naturbelassener Holzbestandteil und darf nach aktueller Schweizer Gesetzlage für die Herstellung von Pflanzenkohle genutzt werden.

Weitere Messungen nötig

Pflanzenkohle aus Weizenkleie (Müllereiabfall) und Kaffeerösterei-Abfällen hingegen hätte in der Schweiz heute noch keine Zulassung. Doch auch diese Substrate eignen sich gemäss den PyroChar-Forschern grundsätzlich zur Produktion von Energie und Pflanzenkohle. Erforderlich wären Massnahmen zur Verminderung der Stickoxid- und Schwefeldioxid-Emissionen. Zu beachten ist überdies der in den Messungen festgestellte Gehalt an Schwermetallen (Zink, Kupfer). Diese Stoffe schränken die Verwendung der Kohle in der Landwirtschaft ein.

PFLANZENKOHLE SPEICHERT DAS TREIBHAUSGAS CO₂ IM BODEN

Die Verkohlung (Pyrolyse) von Holz hat eine lange Tradition. Holzkohle war früher in der Metallverarbeitung verbreitet, da sie höhere Temperaturen ermöglicht als die Verbrennung von Holz und gleichzeitig als Reduktionsmittel dient. Heute kommt Holzkohle in unseren Breitengraden hauptsächlich im Grill zum Einsatz, wo sie eine lang anhaltende Glut ohne Flammen und Rauch bereitstellt.

Holz- und Pflanzenkohle werden in jüngster Zeit als CO₂-Speicher diskutiert. Mischt man solche Kohlen nämlich dem Erdreich bei, wird der in der Kohle gebundene Kohlenstoff langfristig der Atmosphäre entzogen. Es handelt sich in diesem Fall um eine sogenannte Negativemissionstechnologie (NET). In Zahlen: Bei der Pyrolyse werden ca. 60 % des im Holz gebundenen Kohlenstoffs in Pflanzenkohle umgesetzt (und können in dieser Form langfristig im Boden eingelagert werden), 40 % entweichen bei der Verbrennung der Pyrolysegase als CO₂ in die Umwelt. In der Schweiz ist Pflanzenkohle seit 2016 – sofern sie aus naturbelassenem Holz hergestellt wurde – als Bodenzusatzstoff zugelassen, seit 2018 auch im Biolandbau.

Skeptisch äussern sich die Wissenschaftler zur Verwendung der übrigen drei Substrate: Pferdemit-Einstreu und Holzsiebreste aus der Feststoffvergärung stossen bei der Verbrennung des Pyrolysegases problematische Dioxinmengen aus, wenn man die sehr strengen Grenzwerte heranzieht, die für Abfallverbrennung gelten. Bei den Holzsiebresten aus der Kompostierung sprechen die Verunreinigung des Substrats durch Steine gegen eine wirtschaftliche Verkohlung. Die PyroChar-Forscher betonen, die registrierten Schadstoff-Werte sollten durch weitere Messungen erhärtet werden. Ob die gemessenen Werte tatsächlich problematisch sind, hängt davon ab, ob man die Grenzwerte für Anlagen zum Verbrennen von biogenen Abfällen und Erzeugnissen der Landwirtschaft (Luftreinhalte-Verordnung LRV, Art. 74) oder für Anlagen zum Verbrennen von Siedlungs- und Sonderabfällen (LRV, Art. 71) heranzieht. Zu dieser Frage besteht Klärungsbedarf.

Die drei aussichtsreichsten Substrate – Rinde, Weizenkleie, Röstereiabfälle – haben bei Verwertung durch Pyrolyse ein energetisches Potenzial von jährlich bis zu 1'200 GWh (4.3 PJ), was in etwa dem jährlichen Wärmebedarf von 80'000 Einfamilienhäusern entspricht. Hierbei ist zu beachten, dass vor allem Röstereiabfälle, aber auch Rinde schon heute teilweise in Biogasanlagen und Kehrichtverbrennungsanlagen energetisch genutzt werden. Zusätzlich entstünden rund 100'000 t Pflanzenkohle pro Jahr, was in der Grössenordnung dem 25-fachen der heutigen Inlandproduktion entspricht.

Offene Fragen

Welche Bedeutung die Herstellung von Energie und Kohle aus Holz und anderen Biomassen künftig haben wird, ist noch kaum absehbar. «Je holzähnlicher ein Substrat ist, desto besser eignet es sich für die Pflanzenkohleherstellung. Daher wird wohl auch in Zukunft Holz – auch mengenmässig – der wichtigste Ausgangsstoff für die Pflanzenkohleherstellung sein», stellt der PyroChar-Schlussbericht fest. FHNW-Professor Timothy Griffin sieht für die Nutzung «neuer» Biomassen ein erhebliches Potenzial: «Oft besteht ein wirtschaftliches Interesse daran, diese Reststoffe auf andere Weise als bisher zu verwerten. Unsere techno-ökonomischen Analysen zeigen, dass die Erträge aus dem Verkauf von Pflanzenkohle und Wärme sehr attraktiv sein können. Aus Sicht der Umweltauswirkungen zeigen Okobilanzen, dass die Pyrolyse im Vergleich zu ihrer derzeitigen Verwendung oft vorteilhaft ist.»



Zwei Forscher des Instituts für Biomasse und Ressourceneffizienz (IBRE) der FHNW führen in Basel auf dem Dach der Pyrolyse-Anlage der Industriellen Werke Basel (IWB) Abgasmessungen durch. Foto: Stephan Gutzwiller

- Der **Schlussbericht** zum Forschungsprojekt «PyroChar – Erweiterung von Biomasse-Substraten für zusätzliche Energie- und Pflanzenkohleproduktion» ist hier abrufbar: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=45240>
- **Auskünfte** zum Projekt erteilt Dr. Sandra Hermle, Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Bioenergie: [sandra.hermle@bfe.admin.ch](https://www.sandra.hermle@bfe.admin.ch).
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Bioenergie unter www.bfe.admin.ch/ec-bioenergie.