Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Kaskad-E

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Pyrochar

Erweiterung von Biomasse-Substraten für zusätzliche Energie- und Pflanzenkohleproduktion

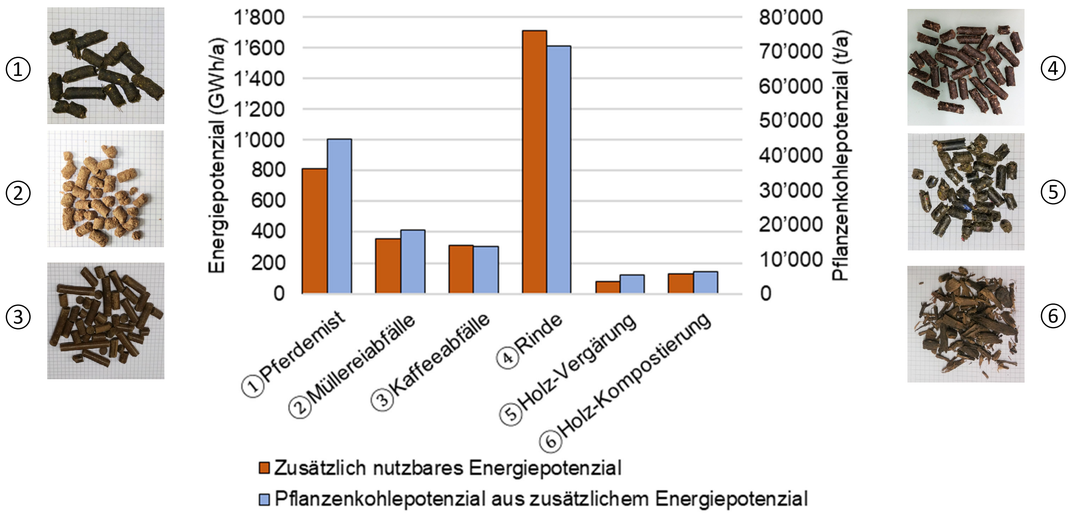
Stephan Gutzwiller[a, *], Timothy Griffin[b], Alexander Garcia[b], Léonard Marchand[b], Dieter Winkler[b]
[a] Kaskad-E GmbH, [b] Institut für Biomasse and Ressourceneffizienz, Windisch

Abstract

Die Pyrolysetechnik zur Herstellung von Pflanzenkohle ist inzwischen ausgereift. Für die Schweiz ist Pflanzenkohle seit dem 1. Januar 2018 als Bodenzuschlagsstoff in der gesamten Landwirtschaft zugelassen. Als Ausgangssubstrat ist heute aber nur naturbelassenes Holz erlaubt. Das Projekt "Pyrochar" untersucht mittels Labor- und Feldanalysen alternative Substrate, die sich für konventionelle Biomasseenergieanlagen schlecht eignen, sich hingegen mittels Pyrolyse wirtschaftlich in Wärmeenergie und marktfähige Pflanzenkohle umwandeln lassen. Das Schweizer Unternehmen Kaskad-E und die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) starteten das Projekt 2020.

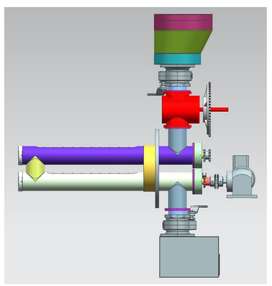
Biomassepotenziale

Basierend auf der Studie von Keel (2016) wurden mögliche "neue" Biomassen (d.h. biogenen Reststoffe) für eine zusätzliche energetische Nutzung und Pflanzenkohleproduktion in der Schweiz identifiziert. Anhand verschiedener Auswahlkriterien wurden 6 von 32 Substraten für weitere Untersuchungen ausgewählt. Diese Biomassen wurden im vorliegenden Projekt auf ihre technische und wirtschaftliche Eignung für die Pflanzenkohleproduktion untersucht.

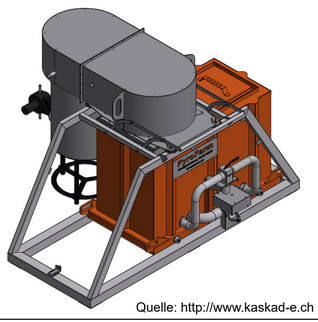


Pyrolyseversuche

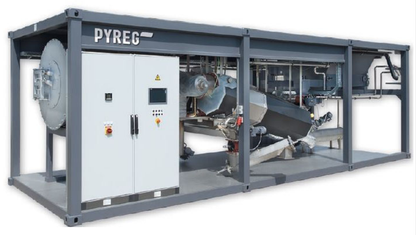
Pyrolyseversuche wurden an drei verschiedenen Anlagen mit unterschiedlicher Leistung und Verfahren durchgeführt.



Quelle: FHNW

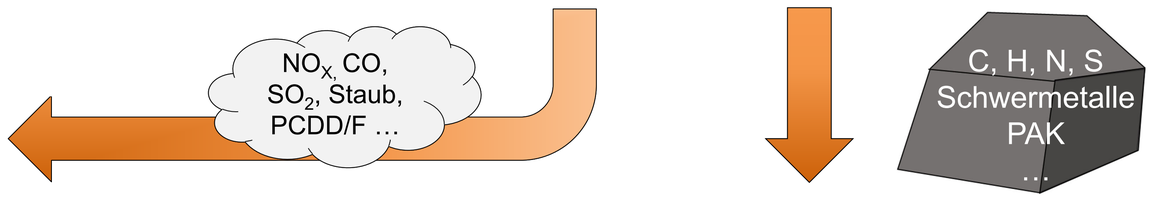


Quelle: http://www.kaskad-e.ch



Quelle: https://pyreg.com

Anlage	PyroTube	PyroFarm P40	Pyreg PX 1500
Wärmeleistung	5 kW_{th}	45 kW_{th}	650 kW_{th}
Substrat getestet	6 / 6	2 / 6	1 / 6
Art	Labor	kommerziell	kommerziell
Betriebsweise	kontinuierlich	Batch	kontinuierlich



Abgasemissionen

Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Substrate im Vergleich zu naturbelassenem Holz sind unterschiedliche (und evtl. erhöhte) Abgasemissionen zu erwarten. Die Messresultate zeigten, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte für Schadstoffemissionen wie NO_X, CO, Staub oder Dioxin/Furane (PCDD/F) - mit einigen Unterschieden zwischen den drei Anlagen - eingehalten werden konnten.

			Rinde			Weizenkleie		Kaffeeabfälle	
Parameter		**Einheit**	**PyroTube**	**Pyreg**	**PyroFarm**	**PyroTube**	**PyroFarm**	**PyroTube**	**PyroFarm**
O_2		Vol.-%	2.2	3.9	9.3	4.6	11.0	5.1	11.0
CO_2		Vol.-%	16.9	16.8	11	13.8	8.8	13.3	8.8
NO_X		mg/Nm^3	363	240	572	824	1'103	610	917
SO_2		mg/Nm^3	70	72	n.g.	291	240	n.g.	n.g.
CO		mg/Nm^3	7	5	5	< 1	11	< 1	10
CH_4		mg/Nm^3	< 1	3	12	11	5	10	14
Staub		mg/Nm^3	n.g.	5.9	n.g.	n.g.	9.1	n.g.	23.1
PCDD/F	inkl. BG	ng/Nm^3	n.g.	0.00085	n.g.	n.g.	0.00599	n.g.	0.00401
	exkl. BG	ng/Nm^3	n.g.	0.00002	n.g.	n.g.	0.00242	n.g.	0.00269
PAK	inkl. BG	mg/Nm^3	n.g.	0.00013	n.g.	n.g.	0.138	n.g.	0.871
	exkl. BG	mg/Nm^3	n.g.	0.00012	n.g.	n.g.	0.138	n.g.	0.871

BG: Bestimmungsgrenze
n.g.: nicht gemessen

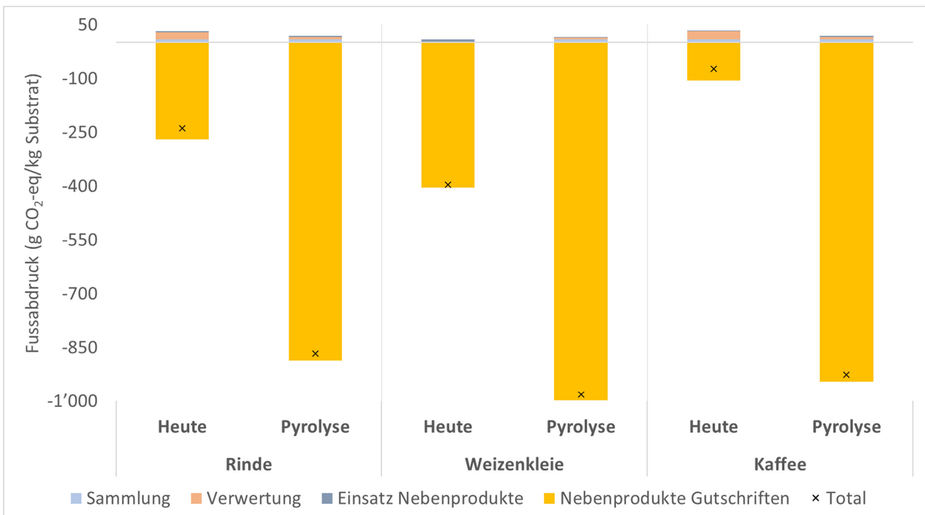
Pflanzenkohleeigenschaften

Bei der Pflanzenkohle liegen einzelne Schwermetallgehalte über den geforderten Grenzwerten. Da gilt es, die gemessenen Werte mit weiteren Messungen zu erhärten. Insbesondere die Schwermetallgehalte der Ausgangssubstrate unterliegen je nach Quelle einer grösseren Streuung und konnten im Rahmen dieser Studie nicht adäquat quantifiziert werden. Bei naturbelassenen Substraten, welche heute bereits in den Boden gelangen (über Kompostierung, Vergärung oder Fütterung), muss bedacht werden, dass bei der Pyrolyse die Schwermetalle prozessbedingt bis zu Faktor 3.5 aufkonzentriert werden. Hingegen wird Pflanzenkohle in viel geringeren Dosen und über die Jahre kumuliert in noch viel geringeren Gesamtmengen im Vergleich zu Kompost oder Gärgut in den Boden eingebracht. Die kumulierten Gesamtfracht an Schadstoffen in den Boden müsste daher näher untersucht werden und als Beurteilungsgrundlage dienen..

	EBC-Klasse					
	Futter	AgroBio	Agro	Urban	Gebrauchsmaterial	Rohstoff
Rinde	Zn, (Hg, PAK)		✓	✓	✓	✓
Weizenkleie	Zn, (PAK)		✓	✓	✓	✓
Kaffeeabfälle	Cu					✓

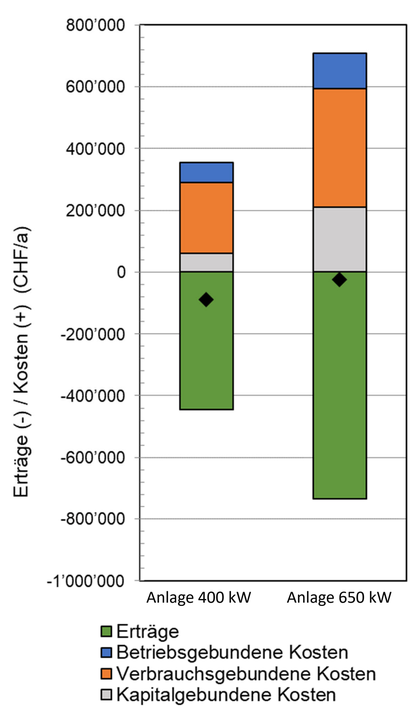
Ökobilanz

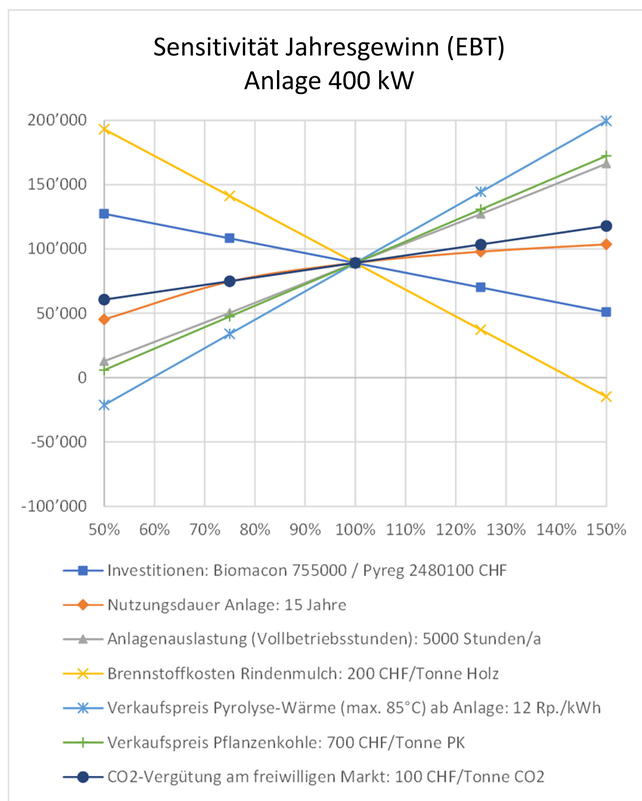
Die ökobilanzielle Analyse hat die Umweltauswirkung der heutigen Verwertungs- und Pyrolyse-Szenarien für jedes Substrat quantifiziert und miteinander verglichen. In den Umweltbilanzen wurden die Umwelthotspots identifiziert. Die Resultate der modellierten Ökobilanz zeigen, dass sich die Umsetzung der Pyrolysevariante bei allen Substraten im Vergleich zur heutigen Verwertung lohnen würde.
Die gewährten Gutschriften (Energieproduktion, langfristige C-Speicherung, usw.) übertreffen für alle Substrate bei allen Wirkungsabschätzungsmethoden die Verwertungsaufwände (Sammlung, Verwertungsprozesse, Schadstoffeintrag in die Umwelt) und ermöglichen eine umweltpositive Bilanz bei den Szenarien der heutigen Verwertung und noch viel deutlicher bei den Pyrolyseszenarien.



Techno-ökonomische Bewertung

Bei der techno-ökonomischen Bewertung wurden die Wärmegestehungskosten für zwei kommerzielle Pyrolyseanlagen für das zulassungsfähige Substrat Rindenmulch ermittelt und eine umfassenden Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Es werden dabei nicht die Wärmegestehungskosten als Mass der Bewertung, sondern der Jahresgewinn vor Steuern (EBT, Earnings Before Taxes) ermittelt und verglichen.
Fazit: Pyrolyseanlagen sind bereits heute wirtschaftlich zu betreiben. Doch gilt den Brennstoffkosten und dem Wärme-Verkaufspreis ein besonderes Augenmerk; eine Variation dieser Parameter haben den grössten Effekt auf die Wirtschaftlichkeit – für beide untersuchten Technologien. Auch sehr entscheidend sind der Verkaufspreis der Pflanzenkohle und die Anlagenauslastung (Vollbetriebsstunden). Erstaunlich wenig sensitiv wirkt eine mögliche CO_2-Vergütung auf die Wirtschaftlichkeit. Interessanterweise gilt das Gesetz der «economy of scales» bei den beiden untersuchten Technologien nicht, die um mehr als 50% leistungsfähigere Anlage schneidet wirtschaftlich klar schlechter ab.





Schlussfolgerung

Die Feldmessungen haben gezeigt, dass die Pflanzenkohleherstellung aus den untersuchten Substraten technisch machbar ist und die geltenden Grenzwerte bzgl. Abgasemissionen für alle Substrate eingehalten werden können. Bei den Abgasen stellen bei stickstoffreichen Substraten v.a. die entsprechend erhöhten Stickoxidemissionen im Fokus. Da sind bei Grossanlagen geeignete Entstickungsmassnahmen erforderlich.
Rinde hat das mit Abstand grösste Potenzial und erreicht auch die besten Ergebnisse bzgl. Pflanzenkohlequalität. Je holzähnlicher ein Substrat ist, desto besser eignet es sich für die Pflanzenkohleherstellung. Daher wird wohl auch in Zukunft Holz – auch mengenmässig – das wichtigste Edukt für die Pflanzenkohleherstellung sein. Dass nun ein exergiereicher Energieträger nur noch zu 50% energetisch genutzt werden soll, ist bei Energiefachleuten heute oftmals ein Hauptargument gegen die Pflanzenkohleproduktion aus Holz - v.a. solange noch fossile Energien genutzt werden und durch Holz ersetzt werden könnten. Tatsächlich ist bei einem solchen Vergleich die CO_2-Bilanz von Pyrolyse und Gesamtverbrennung identisch und die im Holz gespeicherte Sonnenenergie z.B. für den Winter wird weniger. Doch der ökologische Zusatznutzen der Kohle im Boden auf der einen Seite und die im Vergleich zu den neuen Erneuerbaren teurere, emissionsreichere und vom Gesamtpotenzial stark eingeschränkte Holzenergieproduktion auf der anderen Seite spricht zunehmend für eine stoffliche Nutzung von Holz. Das Holz der Zukunft ist nicht mehr primär eine Energie- sondern eine wertvolle Materialressource.

* Kontakt: s.gutzwiller@kaskad-e.ch
Schlussbericht: https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=45240
Basel/Windisch, den 2. November 2022