

ÖKOBILANZ IM RAHMEN DES EU-INTERREG PROJEKTES „BIOCHAR: CLIMATE SAVING SOILS“

Jan-Markus Rödger, Jim Hammond, Achim Loewen, Simon Shackley

SUMMARY

Pyrolysis biochar systems are a relatively undeveloped technology, with most life cycle assessments to date based on assumed, constructed or literature data. Reported here, a new life cycle assessment model was build using Gabi 4.4 software, with a focus on high quality data from operating pyrolysis kilns, stability assessments of biochar carbon and real data from field trials using the same or comparable biochars.

Five cases were modelled as follows: [a) Real, b) Technical feasible, c) Norway, d) Germany and e) Co-Combustion]. Carbon abatement was found to be $0.56 \text{ t CO}_{2\text{eq}} \text{ t}_{\text{Feedstock}}^{-1}$ (25% moisture content), 1.13, 0.65, 0.65 and $1.38 \text{ t CO}_{2\text{eq}} \text{ t}_{\text{Feedstock}}^{-1}$ respectively. The major contributions to carbon abatement were stable carbon in the biochar; use of thermal energy released through combustion of the syngas and vapours as an offset for natural gas. Greenhouse gas savings through suppression of nitrous oxides and crop productivity increase were found to be relatively insignificant when modelled for only one year. Emissions from transport, pyrolysis energy demand and feedstock production (mixed wood chips) were also relatively small. Combusting the biochar in a CHP power plant was found to offer the greatest carbon savings, but this is not a viable long term strategy as it pre-supposes the use of coal as the major fuel in such power plants

ZUSAMMENFASSUNG

Die Herstellung von Pflanzenkohle mittels Pyrolyseverfahren ist eine relativ junge Technologie und die Umweltbewertung basiert zumeist auf abgeschätzten oder Literaturdaten. Im Rahmen der hier vorgestellten Analyse wurde mithilfe der Software GaBi 4.4 ein neues Umweltbilanzmodell einwickelt, das eigens erhobene Daten bzgl. des Pyrolyseprozesses, der Kohlenstoffstabilität und aus Feldversuchen nutzt.

Es werden fünf verschiedene Fallbeispiele [a) Real, b) Technisch möglich, c) Norwegen, d) Deutschland und e) Co-Verbrennung] analysiert. Ein Treibhausgas-minderungspotenzial von $0,56 \text{ t CO}_{2\text{eq}} \text{ t}_{\text{Biomasse}}^{-1}$ (25% Wassergehalt), 1,13, 0,65, 0,65 und $1,38 \text{ t CO}_{2\text{eq}} \text{ t}_{\text{Biomasse}}^{-1}$ wurde identifiziert. Die maßgeblichen Faktoren sind der stabile Kohlenstoffanteil, die energetische Nutzung der Synthesegase und die damit verbundene Verdrängung fossiler Energieträger. Eine mögliche Steigerung des Biomasseertrages sowie die Verminderung von Lachgasemissionen haben über eine Vegetationsperiode nur einen geringen Einfluss. Der Transport, die Pyrolyse und die Biomassebereitstellung tragen bei dem gewählten Substrat (Holzhackschnitzel) nur geringfügig zu den Treibhausgasemissionen bei. Die Co-Verbrennung der Pflanzenkohlen zeigt das höchste Minderungspotenzial, jedoch ist dies keine nachhaltige Strategie, da sie die Nutzung von Kohle als Hauptenergieträger in den Kraftwerken voraussetzt.

1. EINLEITUNG

Die Vermeidung des globalen Temperaturanstiegs (vgl. IPCC, 2012) und der damit einhergehende Umstieg auf eine kohlenstoffarme bzw. -negative Energieerzeugung wird inzwischen auch auf breiter politischer Ebene unterstützt (Europäische Kommission, 2007). Eine vielversprechende Technologie zur Erreichung dieser Ziele ist die Herstellung der sogenannten Pflanzenkohle, die dauerhaft in Ackerböden sequestriert werden kann (Lehmann et al., 2009). Durch die thermische Konversion (Pyrolyse) von Biomasse in stabile Kohlenstoffverbindungen können diese tausende Jahre in Böden gespeichert werden (Lehmann et al., 2008; Liang, et al., 2008)).

Um Systeme und Produkte auf ihren Einfluss zum Klimawandel zu bewerten, werden heutzutage Kennzahlen wie z.B. der „Carbon-Footprint“ und der „CO₂-Ausstoß“ genutzt. Das gestiegene öffentliche Interesse an dieser Thematik erfordert jedoch eine fundierte Berechnungsmethode, um eine qualitative und quantitative Umweltanalyse durchführen zu können. Diese Bewertungen können bereits bei der Entwicklung von neuen Produkten eingesetzt werden um eine Technikfolgenabschätzung durchzuführen. Die Identifikation der Umweltauswirkungen wird so zur Performanceverbesserung genutzt oder wirkt bereits bei der Entwicklung unterstützend.

Eine Grundlage für die Berechnung der Umweltauswirkungen wird durch die ISO 14040/44 geschaffen um vergleichbare Ergebnisse für verschiedene Technologien und Produkte zu erzielen. Dieser Standard beschreibt, dass der gesamte Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung und Entsorgung) eines Produktes oder Systems auf dessen Umwelteinfluss (z.B. Primärenergieverbrauch oder das Treibhauspotenzial) zu untersuchen ist, um somit eine ganzheitliche Bewertung gewährleisten zu können. Für die Erstellung einer ISO-konformen Bilanz sind vier Schritte notwendig:

- Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz (Energie- und Stoffbilanzen)
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung und Interpretation

Im Rahmen des NSR¹ INTERREG IVb-Projektes „Biochar: Climate Saving Soils“ soll der Einsatz von Pflanzenkohle² in der Landwirtschaft untersucht werden und das mögliche Potenzial zur Vermeidung von Treibhausgasen (z.B. CO₂, CH₄, N₂O) analysiert werden. Es werden in den teilnehmenden Ländern Feldversuche parallel über einen Zeitraum von zwei Jahren mit derselben Pflanzenkohle (Applikationsrate von 20 t_{TM}/ha) durchgeführt. Aufgrund regionaler Unterschiede wird verschiedenes Saatgut genutzt, um die vom Fördergeber geforderte praxisnahe Umsetzung zu garantieren³.

Der zu untersuchende Lebenszyklus der Pflanzenkohle ist durch drei maßgebliche Schritte geprägt:

¹ Nordseeregion (Großbritannien, Deutschland, Dänemark, Belgien, Schweden, Norwegen, Niederlande)

² Pyrolytisch hergestellte Kohle, die ökologisch nachhaltig in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann (vgl. Europäisches Pflanzenkohle Zertifikat, 2012)

³ Weitere Informationen beim Institute for Agricultural and Fisheries Research, Plant Sciences Unit - Crop husbandry and environment, Belgium, Email: greet.ruysschaert@ilvo.vlaanderen.be

- Bereitstellung des Substrates
- Wahl des Pyrolyseprozesses
- Nutzungspfade der Fraktionen (Kohle, Öl und Gas)

Nach Schmidt et al. (2012) muss schon bei der Auswahl des Substrates auf Nachhaltigkeit geachtet werden um das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat (EPZ) zu erhalten. Unter anderem betrifft dieses die Transportentfernung oder die zertifizierte Bewirtschaftung des Waldes durch den Forest Stewardship Council (FSC) bei dem Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP). Bei dem Betrieb der Pyrolyse ist z.B. darauf zu achten, dass max. 8 % des Heizwertes der im gleichen Zeitraum eingesetzten Biomasse für den Betrieb der Anlage (Trocknung, Strom für Antriebe etc.) genutzt werden und die Nutzung von fossilen Brennstoffen untersagt ist. Die energetische Nutzung der Synthesegase ist vorgeschrieben und die national rechtlichen Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen sind zu berücksichtigen. Diese Vorgaben sind sehr ambitioniert und können bei den bestehenden Anlagen in Europa nur teilweise umgesetzt werden. Um eine fundierte Aussage über den Beitrag der Pflanzenkohle zur Vermeidung des Klimawandels zu treffen, müssen verschiedene Faktoren und bereits bestehenden Vorschriften miteinander verknüpft und in ein ganzheitliches Modell eingebunden werden.

2. UMWELTBILANZMODELL

Im Rahmen des INTERREG-Projektes wird zur Analyse der Pflanzenkohlenherstellung eine Erhebung von Prozessdaten verschiedener Hersteller in Europa durchgeführt. Auf Basis dieser Daten ist ein Bilanzierungsmodell (siehe Abbildung 1) durch das Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik (NEUTec) der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) und dem Biochar Research Center der Universität Edinburgh (UKBRC) entwickelt worden, das für verschiedene Parameter und Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Lebenszyklusschritte eine ganzheitliche Bilanz erstellt.

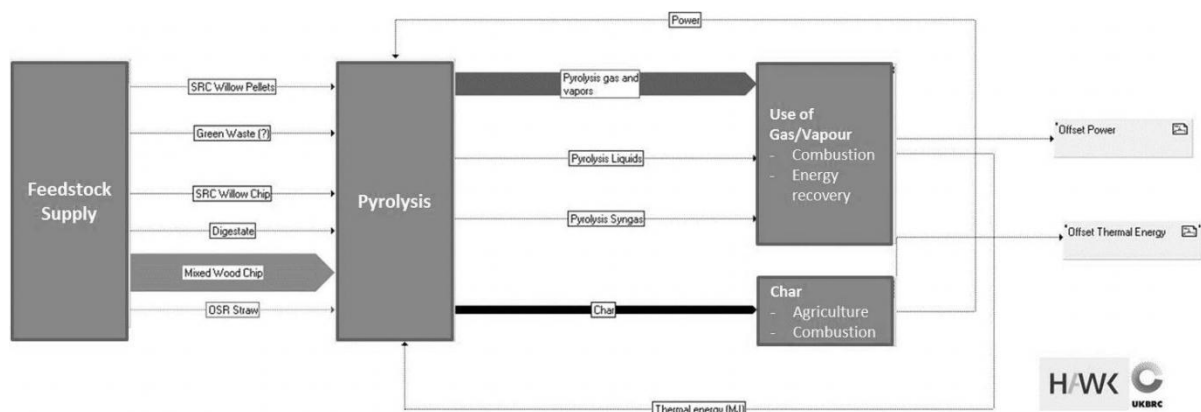


Abbildung 1: Beispiel des Aufbaus des Umweltbilanzmodells im Programm GaBi 4.4 für Pyrolyse-Systeme im Rahmen des NSR INTERREG-Projektes "Biochar: Climate Saving Soils" (HAWK, UKBRC, 2012)

Der Ansatz zur Modellierung beinhaltet verschiedene Annahmen und Abschneidekriterien, die im Folgenden kurz erläutert werden. Auf dieser Grundlage erfolgt eine fundierte Wirkungsabschätzung bzgl. des Treibhauspotenzials⁴:

⁴ Nach der Methodik des Instituts für Umweltwissenschaften der Universität Leiden, das aktuelle Charakterisierungsfaktoren verschiedener Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O etc.) bestimmt wodurch die Kohlendioxidäquivalenten bestimmt werden können

Grundlegende Annahmen

Das modulare Modell basiert auf realen Daten aus dem Jahr 2012 und nutzt die Umweltbilanzierungssoftware GaBi 4.4⁵ der Firma PE International. Dieses Programm verfügt bereits über validierte Datensätze, wie z.B. für die Bereitstellung von Kraftstoffen oder verschiedenen Werkstoffen. Für die Analyse müssen jedoch Annahmen getroffen werden, die zur fundierten Einschätzung der Bilanzergebnisse wichtig sind:

- Keine Berücksichtigung von Kohlendioxidemissionen bei der Verbrennung der Gas- und Ölfraktion aus der Pyrolyse, da die eingesetzte Biomasse die entsprechende Menge an CO₂ beim Wachstum aufgenommen hat
- Bisher keine Landnutzungsänderungen angenommen (LUC und iLUC)
- Infrastruktur sowie Startenergie bleiben unberücksichtigt
- Benötigte Maschinen der Herstellung noch nicht bilanziert (hohe Unsicherheit)
- Länderspezifische Strom- und Wärmebereitstellung eingebunden
- Kraftstoffbereitstellung und Transportemissionen basieren auf EU-Werten
- Umweltauswirkungen der Feldapplikation für ein Jahr betrachtet

Weitere Annahmen sind in den jeweiligen Lebenszyklusabschnitten gesondert erläutert. Die Analyse und jegliche Werte beziehen sich auf eine Tonne frische Biomasse, die in der Pyrolyseanlage eingesetzt wird.

Biomassebereitstellung

Beim genutzten Substrat für die Biokohleproduktion wird zwischen fünf verschiedenen Varianten (KUP⁶-Hackschnitzel, KUP-Pellets, Gärrest, Holzhackschnitzel und Rapsstroh) gewählt. Dabei sind alle verursachten Energieströme und Emissionen berücksichtigt, die einen Einfluss auf die Treibhausgasbilanz haben. Dies umfasst z.B. die Hilfs- und Betriebsstoffe für den Anbau und die Ernte von Weiden-KUP's oder den Energieverbrauch für die Pelletisierung.

Tabelle 1: Eingesetzte Parameter (grau hinterlegt) der Bereitstellung des Substrates für den Einsatz in dem Modell

Substrat		Holzhack-schnitzel	Holzhack-schnitzel	KUP-Pellets	KUP-Pellets	Gärrest	Gärrest
Substratbereitstellung	Transport [-]						
	Entfernung [km]	131	80	131	80	131	80
	Stadt [%]	30	30	30	30	30	30
	Landstraße [%]	50	70	50	70	50	70
	Autobahn [%]	20	0	20	0	20	0
	Auslastung [%]	80	40	90	50	90	50
	Nutzlast [t]	17,3	11,4	17,3	11,4	17,3	11,4
	Leerfahrt [ja/nein]	nein	ja	nein	Ja	nein	Ja
	Verluste [%/kg _{FM}]	2	2	2	2	2	2
	Trockensubstanz [kg/kg _{FM}]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,07	0,10

Desweiteren sind unterschiedliche Transportdistanzen und Auslastungsfaktoren der Transportmittel angenommen worden (siehe Tabelle 1). Die Werte sind einerseits den deutschen Gegebenheiten und andererseits denen des EPZ angepasst worden. Bei kürzeren Transportdistanzen wird ein höherer Leerfahrtenanteil angenommen sowie eine Verschiebung der Straßenanteile (DIW, 2011).

⁵ <http://www.gabi-software.com>

⁶ KUP: Kurzumtriebsplantage, in diesem Falle Weide

Pyrolyse

Aufgrund der Heterogenität der verschiedenen Anlagen in Europa muss ein Ansatz entwickelt werden, der möglichst genau einen aktuellen Pyrolyse-Reaktor und dessen Beitrag zur Kohleproduktion in der Nordseeregion abbildet. Dabei wurde auf Basis von drei heutigen Anlagen ($A_{i=1-3}$) folgender Ansatz gewählt und mit Messwerten der Versuchsanlagen des UKBRC ergänzt:

- Anteil der jährliche Fütterungskapazität von Anlage i an der Gesamtfütterungskapazität m_{ai}/m_{ges}
- Technology Readiness Level⁷ der Anlage i (TRL_i) bezogen auf die Summe der Technology Readiness Levels aller Anlagen (TRL_{ges})
- Verfügbarkeit als Verhältnis der Summe aus den Betriebsstunden und der Bereitschaftszeit einer Anlage zur Gesamtstundenzahl eines Jahres (availability factor AF_i)

Zur Berechnung des jeweiligen Einflusses der Anlage auf das Modell (BAPU⁸) wurde ein relativer Ansatz gewählt (Beispiel: Fütterungskapazität Anlage 1). :

$$\frac{m_{a1}}{m_{ges}} = \dot{m}_{a1} \left(\sum_i^{n=3} \dot{m}_{ai} \right)^{-1}$$

Die spezifischen Einflüsse der verschiedenen Anlagen werden kumuliert und daraus der Gesamteinfluss der Anlage auf die jeweiligen Parameter (z.B. Kohleertrag) abgeleitet:

$$A_1 = \frac{\frac{m_{a1}}{m_{ges}} + \frac{TRL_1}{TRL_{ges}} + AF_1}{n}$$

Dies bedeutet, dass z.B. die Daten der Anlage 1 aufgrund ihrer geringen Fütterungskapazität, des hohen TRL's und der mittleren Verfügbarkeit von 6.500 h zu 25 % in das Modell einfließen. Durch diesen Ansatz ist es möglich, die erhobenen Daten in ein Gesamtmodell zu überführen und eine repräsentative Anlage in der NSR zu modellieren (in Tabelle 2 aufgeführte Werte sind über diesen Ansatz berechnet worden).

Tabelle 2: Ermittelte Parameter der Pyrolyse in dem BAPU-Modell (HAWK, UKBRC, 2012)

		Holzhack-schnitzel	Holzhack-schnitzel	KUP-Pellets	KUP-Pellets	Gärrest	Gärrest
Trocknung	[ja/nein]	ja	ja	nein	nein	ja	ja
Wassergehalt	[% kg _{FM} ⁻¹]	25	25,00	7	7	90	90
Wassergehalt Pyrolyse	[% kg _{FM} ⁻¹]	15	12,00	7	7	15	12
Methode	[-]	Screw Hot	Screw Hot	No drying	No drying	Screw Hot	Screw Hot
Temperatur	[K]	373	373	0	0	383	383
Pyrolysemodell	[Modell]	BAPU	BAPU	BAPU	BAPU	BAPU	BAPU
Standort		EU-15	GER	EU	EU	GB	GB
Temperatur	[°C]	550	550	550	550	550	550
Verweilzeit	[h]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kohleertrag	[% kg _{FM} ⁻¹]	28	28	32	32	34	34
Separation	[ja/nein]	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja
Gas/Öl	[% kg _{FM} ⁻¹]	72	72	68	-	66	-
Gas	[% kg _{FM} ⁻¹]	-	-	-	14	-	30
Öl	[% kg _{FM} ⁻¹]	-	-	-	54	-	36

⁷ TRL = Entwicklungsstadium, bewertet anhand einer Skala von 1 (Idee) – 7 (Marktreife)

⁸ BAPU = Best Available Pyrolysis Unit

Es ist ferner möglich einzelne Fallbeispiele für andere Hersteller und Substrate (z.B. KUPs und Gärrest) zu berechnen. Ein solcher generischer Ansatz wird als zielführend angesehen, um die Frage zu beantworten, ob die Pflanzenkohlenproduktion und deren Einsatz generell nachhaltig sind. Die Datenanalyse ergibt, dass der Energiebedarf für Lagerung, Trocknung, Steuerung etc. durch die Verbrennung der Nebenprodukte bei intakter Infrastruktur in der Regel gedeckt werden kann. Ein möglicher Energieüberschuss (thermisch und elektrisch) kann dem System als Gutschrift (Offset) auf Basis der Kohlendioxidäquivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) des länderspezifischen Mixes oder des substituierten Brennstoffes (z.B. Steinkohle) zugeführt werden. Bei der Trocknung der Substrate kann zwischen unterschiedlichen Wassergehalten der Substrate gewählt werden und auf den gewünschten Wert für die Pyrolyse (i.d.R. 15 %) eingestellt werden. Zur Trocknung wird ein Plattenbandtrockner mit einer erforderlichen Heizleistung von ca. 300 kW genutzt. Dieser modulare Aufbau des Modells ermöglicht es, verschiedene Aspekte der Bereitstellung und Pyrolyse zu kombinieren und zu bewerten.

Nutzung der Produkte

Die Nutzung der unterschiedlichen Fraktionen ist maßgeblich für die Treibhausgasbilanz. So können die Öl- und Gasfraktion zur Energiegewinnung genutzt werden. Dazu sind in diesem Modell, neben einer möglichen Separation des Gemisches, z.B. drei dem heutigen Stand der Technik entsprechende Technologien (Gasturbine, Stirling-Motor und Dampfturbine) hinterlegt. Die Pflanzenkohle kann als Substitut im Kohlekraftwerk eingesetzt werden oder in der Landwirtschaft. In Tabelle 3 sind fünf verschiedene Fallbeispiele für den Einsatz von Holzhackschnitzeln aufgezeigt, die anhand des Modells berechnet werden.

Tabelle 3: Beispielhafte Eingangsdaten für die vergleichende Bewertung der Prozessketten beim Einsatz von Holzhackschnitzeln und bei unterschiedlichen Nutzungspfaden der verschiedenen Produkt-Fraktionen

		Fall 1. Real	Fall 2. Technisch möglich	Fall 3. Norwegen dezentral	Fall 4. Deutschland	Fall 5. Co- Verbrennung
Nutzung	Pflanzenkohle	Feld	Feld	Feld	Feld	Verfeuerung
	Kohlenstoff	75,30	75,30	84,48	73,00	75,30
	Stabil (100a)	97,00	97,00	94,13	95,00	97,00
	Flüchtig	2,27	2,27	1,47	3,00	2,27
	Dichte	333	333	333	333	333
	Unterer Heizwert	-	-	-	-	24,0
	Applikationsrate	10	10	10	10	-
	Ertragsänderung	5,6	6,1	3,0	3,0	-
	N-Dünger (200 kg/ha)	120,0	120,0	120,0	120,0	
	SOC Priming Effekt	0,002159	0,002159	-0,00015	0,002159	-
	CH4 Emissionen	0	0	2	2	-
	N₂O Emissionen	0	-10	50	50	-
	Transport	120	80	40	131	245
	Gas/Vapour	Verbrennung	Verbrennung	Verbrennung	Verbrennung	Verbrennung
	Verbrennungstech.	Stirling	Stirling	Stirling	Gasturbine	Gasturbine
	Separation	N	N	J	N	J
	Eigennutzung	J	J	J	J	J
	Gutschrift	N	J	J	J	J
	Wärme	N	J	N	N	J
	Strom	N	N	J	J	J
Nation	EU-15	EU-15	Norwegen	Deutschland	EU-15	
Quelle	NSR – INTERREG, UKBRC	NSR – INTERREG, UKBRC	u.a. UKBRC +Annahmen	u.a. Annahmen	u.a. Annahmen	

Die maßgeblichen Einflussfaktoren für die Umweltwirkungsabschätzung der Pflanzenkohle werden im Rahmen des INTERREG IVb-Projektes analysiert und gelten als valide (vgl. Tabelle 3, grau hinterlegte Spalte). Der zugrunde gelegte Biomasseertrag basiert auf unterschiedlichen Feldversuchsdaten aus Großbritannien (Hammond et al., 2012 (nicht veröffentlichte Daten)). Es werden keine Änderungen der Lachgas- und Methanemissionen im ersten Ansatz angenommen, da divergente Ergebnisse publiziert wurden (Hammond et al. (2011), van Zwieten et al. (2009), Libra et al., 2011). Der oft genannte Albedo Effekt wird nicht berücksichtigt, da bisher keine fundierte Bewertung vorgenommen wurde. Eine Einsparung an Stickstoffdünger (80 kg ha^{-1}) wird im Modell durch eine Gutschrift berücksichtigt. Verluste entlang der Wärmenutzung, z.B. in der Pyrolyse, werden pauschal mit 10 % des Heizwertes der Biomasse angenommen.

3. WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

Im Folgenden wird eine Analyse des Treibhauspotenzials der oben genannten fünf Fälle basierend auf Daten aus den Tabellen 1-3 vorgestellt. Als Ausgangssubstrat sind jeweils Holzhackschnitzel gewählt worden und es wird vorausgesetzt, dass sich die Emissionen der Bereitstellung nur hinsichtlich der Transportentfernungen unterscheiden. Das Ergebnis für Fall 1 („Real“, siehe Abbildung 2) ist als konservative und zuverlässigste Analyse einzuschätzen. Jedoch ist bei der Wahl eines anderen Ausgangssubstrates (z.B. Weiden-KUPs) mit höheren Emissionen der Bereitstellung (Feedstock Creation) zu rechnen. Durch eine mögliche Nutzung der überschüssigen Wärme (Fall 2 „Technisch möglich“) aus der Verbrennung der Gas- und Flüssigfraktion, sind weitere Einsparpotenziale ($583 \text{ kgCO}_{2\text{eq}} \text{ t}_{\text{Feedstock}}^{-1}$) zum heutigen Stand möglich. Eine leichte Steigerung des Biomasseertrages und eine Verkürzung der Transportdistanz (lt. EPZ) führt zu weiterem Einsparpotenzial.

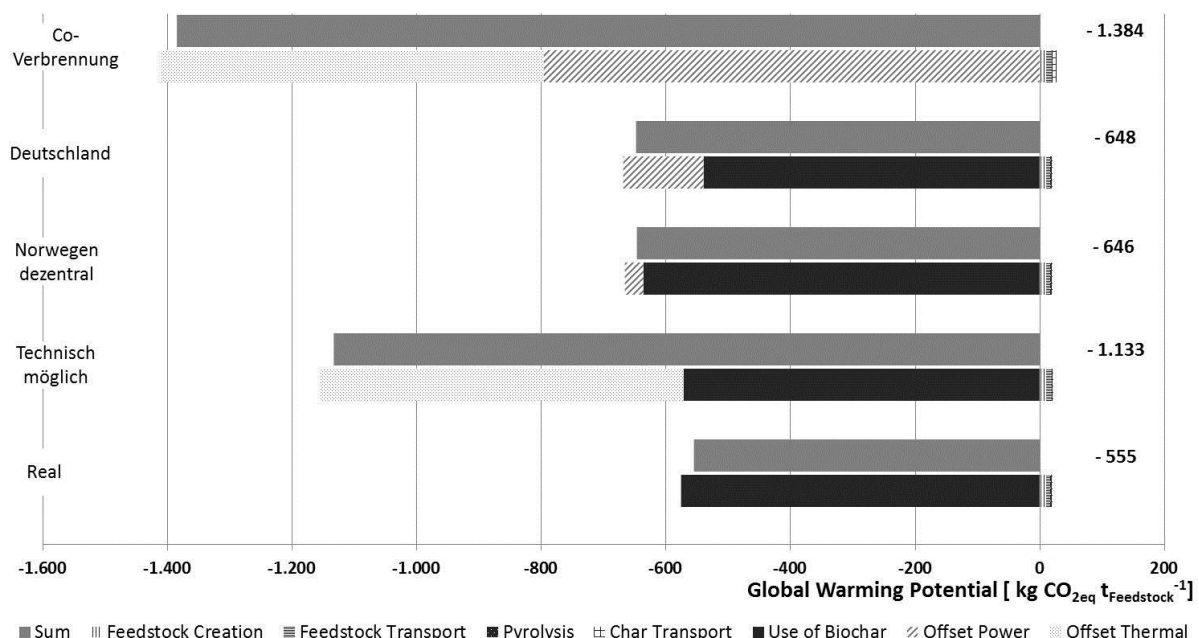


Abbildung 2: Treibhausgasbilanz des Lebenszyklus von Pflanzenkohlen in der Nordseeregion für verschiedene Nutzungspfade (HAWK, UKBRC, 2012)

Neben der thermischen Energie wird elektrische Energie erzeugt und kann ins Netz eingespeist werden, um Gutschriften zu erzielen (Fall 3 „Norwegen“ und 4 „Deutschland“). Jedoch sind dabei regionale Besonderheiten in der NSR zu

beachten, da sich z.B. die spezifischen Treibhausgase der Strombereitstellung (vgl. Norwegen und Deutschland) mitunter stark unterscheiden. Dies führt in Fall 3 zu weniger Gutschriften, obwohl im Vergleich zu Fall 4 ein effizienter Stirling-Motor eingesetzt wurde. Bei der Nutzung aller Fraktionen inkl. der Kohle zur Erzeugung von Energie (Fall 5) ist es kurzfristig möglich die höchsten Einspareffekte zu erzielen. Jedoch ist dieser Ansatz zu diskutieren, da eine möglicherweise notwendige Ausschleusung von Kohlendioxid (vgl. Hansen et al., 2008) aus dem Kreislauf nicht erreicht und der Betrieb kohlebefeuerter Kraftwerke für die Co-Verbrennung vorausgesetzt werden.

4. DISKUSSION

Der Vergleich bereits durchgeführter Umweltanalysen (siehe Tabelle 4) zeigt, dass bisher nachgewiesene positive Effekte des Einsatzes von Pflanzenkohle auf Treibhausgasemissionen durch die hier durchgeführten Berechnungen bestätigt werden. Allerdings ergeben sich unterschiedliche Werte, da jeweils unterschiedliche Annahmen (z.B. hinsichtlich Substraten und Regionen) den Studien zugrunde lagen.

Tabelle 4: Vergleich bisheriger Analysen des Treibhauspotenzials mit den Ergebnissen aus dem NSR INTERREG IVb Projekts

Quelle	Substrat [-]	Trock-	Kohle-	Treibhauspotenzial		
		substanz [% kg _{FM} ⁻¹]	ertrag [% kg _{FM} ⁻¹]	[kg CO _{2eq} t _{FM} ⁻¹]	[kg CO _{2eq} t _{TS} ⁻¹]	[kg CO _{2eq} t _{Kohle} ⁻¹]
NSR INTERREG Projekt	1. Real	75	28	- 555	- 740	- 2.339
	2. Technisch möglich	75	28	- 1.133	- 1.511	- 4.776
	3. Norwegen	75	28	- 647	- 862	- 2.726
	4. Deutschland	75	28	- 648	- 864	- 2.731
	5. Co-Verbrennung	75	28	- 1.384	- 1.846	- 5.834
Gaunt und Lehmann (2008)	Switchgrass	50	8,5	- 654*	- 1.307	- 7.688*
	Miscanthus	50	8,7	- 930*	- 1.328	- 10.685*
Gaunt und Cowie (2009)	Switchgrass	50	38,5	- 580* / -910*	- 1.160 / -1.820	- 1.506* / -2.363*
	Weizenstroh	80		- 792* / -1.320*	- 990 / 1.650	- 2.057* / -3.428*
Roberts et al. (2010)	Switchgrass	50	29	-221*	- 442	-762*
	Rapsstroh	45		- 356* / - 389*	- 793 / -864	- 1.227* / -1.341*
Hammond et al. (2011)	Holzspäne	75	33,5	- 877*	- 1.170	- 2.619*
	KUP	50		-565*	- 1.130	- 1.687*

* ohne Gewähr, umgerechnet anhand des Trockensubstanzanteils und dem Kohleertrag lt. der jeweiligen Studie

Bei dem gewählten Substrat ist entlang des Lebenszyklus der Transport kein ausschlaggebender Faktor. Bei Substraten mit geringem TS-Gehalt muss dieses Aussage erneut überprüft werden. Ein möglicher Biomasseertrag, der generell im gemäßigten Klima von Nordeuropa nach Jeffrey et al. (2011) nicht mehr als 10 % beträgt, hat nur geringen Einfluss auf die Treibhausgasbilanz. Maßgeblich für eine positive Bilanz ist die energetische Nutzung der Gas- und Flüssigfraktionen um eine möglichst hohe Gutschrift für das System zu erhalten. Jedoch wird durch die Verbrennung aller Fraktionen ebenfalls Kohlendioxid frei, was nicht zu einer Senkung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre führt. Um eine langfristige Kohlenstoffsenke zu erreichen ist daher eine Kohle mit hohem stabilen Kohlenstoffanteil herzustellen und im Boden einzulagern. Außerdem darf sie nur einen geringen bzw. positiven Einfluss auf die Methan- und Lachgasemissionen und einen negativen Priming Effekt haben.

LITERATUR

- Brownsort, P.A. (2009): Biomass Pyrolysis Processes: Performance parameters and their influence on Biochar system boundaries; Dissertation, UK Biochar Research Center, Edinburgh
- DIW. (2011): Verkehr in Zahlen 2011/2012, DVV Media Group GmbH, Berlin
ISBN: 978-3-87514-456-9
- Europäische Kommission. (2007): Eine Energiepolitik für Europa; Mitteilung der Kommission an den Europäischen Rat, Brüssel
- Gaunt J., Lehmann J (2008) Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environ Sci Technol* 42, S. 4152–4158
- Gaunt J., Cowie A (2009) Biochar greenhouse gas accounting and emissions trading. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management*, Earthscan, London, S. 317–340
- Hagberg, L.; et al. (2009): LCA calculations of Swedish wood pellet production chains, IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., Stockholm : IVL Report B1873.
- Hammond, J. und Shackley, S. (2011): Prospective life cycle carbon abatement for pyrolysis biochar systems in the UK, *Energy Policy* (39), S. 24646-2655
- IPCC; et al. (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge University Press, S. 582, Cambridge, (UK) and New York (USA)
- Jeffrey, S., et al. (2011): A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems and Environment* (144), S.175-187, Elsevier B.V.
- Lehmann, J.; et al. (2008): Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon, *Nature Geoscience* (1), S. 832-835
- Lehmann, J.; et al. (2009): *Biochar for Environmental management - Science and Technology*, Johannes Lehmann und Stephen Joseph, Earthscan, S. 183-205, London
- Liang, B.; et al. (2008): Stability of biomass-derived black carbon in soils, *Geochimica et cosmochimica acta* (72), S. 6069-6078
- Libra, J.; et al. (2011): . Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis, *Biofuels* 2(1), S. 89-124, ISSN 1759-7269
- Roberts, K.G.; et al. (2010): Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic and climate change potential. *Environ Sci Technol* 44(2), S. 827–833
- Rödl, A. (2008): *Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb*, Johann Heinrich von Thünen-Institut für ländliche Räume, Wald und Fischerei, Hamburg
- Schmidt, H.P., (2012): *Europäisches Pflanzenkohlen Zertifikat - Richtlinien für die Produktion von Pflanzenkohle*, Delinat-Institut, Ayent
- van Zwieten, L; B. Singh und S. Joseph (2009): Biochar and emissions of non-CO2 greenhouse gases from soil, *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, Earthscan, S. 227-249, London