58 Erweiterung der Verwertungs-Kaskaden von Reststoff-Biomassen durch die Herstellung von HTC-Biokohle am Beispiel unterschiedlicher Güllearten

Michael Röhrdanz, Frank Pannemann, Kathrin Dittrich, Thomas Klenke, Rainer Buchwald und Michael Wark

Zusammenfassung

Die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) stellt ein Verfahren zur Umwandlung von feuchten Biomassen in HTC-Biokohle dar. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob und wie das HTC-Verfahren neue Verwertungs-Alternativen für unterschiedliche Güllearten (Bullen-, Rinder- und Schweinemastgülle) eröffnet. Prinzipiell ließen sich alle drei Güllearten carbonisieren; der Kohlenstoff wurde in der HTC-Biokohle angereichert. Schweinemastgülle ließ sich am geringsten zu HTC-Biokohle umwandeln, vermutlich aufgrund hoher Ascheanteile. Eine Phosphoranreicherung fand bei allen Güllearten statt, bei der Schweinemastgülle am meisten. Durch unterschiedliche Verwertungskaskaden der HTC-Biokohle und HTC-Flüssigphase ergeben sich diverse Möglichkeiten zur Wertschöpfung aus Reststoff-Biomassen.

Schlüsselwörter

HTC · Gülle · HTC-Biokohle · Kohlenstoffanreicherung · Phosphorrückgewinnung

M. Röhrdanz (✉) · F. Pannemann · K. Dittrich · T. Klenke · R. Buchwald · M. Wark
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Deutschland
E-Mail: kai.michael.roehrdanz@uni-oldenburg.de; f.pannemann@posteo.de; kathrin.dittrich@uni-oldenburg.de; thomas.klenke@uni-oldenburg.de; rainer.buchwald@uni-oldenburg.de; michael.wark@uni-oldenburg.de

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

J. Marx Gómez et al. (Hrsg.), *Smart Cities/Smart Regions – Technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Innovationen*,
https://doi.org/10.1007/978-3-658-25210-6_58

58.1 Einleitung

Die Tierhaltung wurde in Europa wie in vielen anderen Ländern in den letzten Jahren nochmals verstärkt ausgeweitet, wobei auch für die nächsten Dekaden von einer weiteren Steigerung verbunden mit einem starken Überschuss an tierischen Reststoffen in Form von Mist und Gülle in Haltungsregionen auszugehen ist [1]. Damit wird auch der Umgang mit Reststoff-Biomassen zu einer immer größeren Herausforderung. Das Beispiel der so genannten Veredlungsregionen in Niedersachsen zeigt auf, wie der Einsatz von lokal produzierten und vor allem im großen Umfang importierten Futterstoffen letztlich zu großen Massen an Reststoff-Biomassen führen, die das Maß dessen, was regional an Bio-Düngern aufgebracht werden kann, erheblich übersteigen und negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bedingen. Gerade bei Gülle und Gärresten ist die Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen problematisch, da viele Nährstoffe, vor allen Stickstoff in Form von Nitrat, in das Grundwasser überführt werden und somit Oberflächen- und Grundwasser nachhaltig verunreinigen. Alleine in Niedersachsen beträgt das Aufkommen von Gülle jährlich rund 39 Millionen Tonnen [2].

Gleichzeitig gibt es aber auch einen großen Bedarf an Rohstoffen. So ist die Gartenerdenindustrie in den letzten Jahren vermehrt auf der Suche nach alternativen Substraten zum Torf, der eine endliche Ressource darstellt. Mit den aktuell verfügbaren torffreien Substraten können jedoch nur maximal 30 % des Marktes gedeckt werden [3]. Viele Bestrebungen zielen vermehrt darauf ab, Phosphor als endliche Ressource rückzugewinnen, bspw. aus Klärschlamm oder auch Gülle [4]. Nicht zuletzt besteht auch bei landwirtschaftlichen Böden die Idee, Kohlenstoff für die Verbesserung von Nährstoff- und Wasserhaltevermögen der Böden zu erhöhen [5].

Ziel sollte es daher sein, anstatt weitere Biomasse als Rohstoffquellen anzubauen, den Bedarf an Ressourcen vorrangig aus dem Überschuss an Reststoff-Biomassen zu decken. Eine Möglichkeit, Reststoffe wie Gülle in Produkte in Zuge einer Kaskadennutzung zu überführen, stellt die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) dar. In nur wenigen Stunden (etwa 2–12 Stunden) kann nahezu jede Reststoff-Biomasse, also auch Gülle, mittels HTC in ein kohleartiges Produkt (HTC-Biokohle) umgewandelt werden [6, 7]. Die Biomasse wird dabei in einem gasdichten Druckbehälter in Wasser auf etwa 180 bis 240 °C erhitzt, wodurch sich ein Druck von rund 20 bar aufbaut. Das Wasser fungiert hierbei als Lösungsmittel und Reaktionsmedium. Durch verschiedene thermo-chemische Reaktionen wird der Kohlenstoff im Produkt angereichert und vor allem der in der Biomasse enthaltene Sauerstoff abgespalten [6]. Nach den Reaktionen liegt eine Kohle-Wasser-Suspension vor, die durch einfache Filtration getrennt werden kann. Die Kohlenstoffbilanz liegt zwischen 80 % und 90 %. Dies bedeutet, dass sich rund 80 % bis 90 % des Kohlenstoffs der Ausgangsbiomasse im Endprodukt der Kohle wiederfinden lässt. Etwa 5–10 % des Kohlenstoffs finden sich in der Flüssigphase wieder, sodass auch diese ein Verwertungspotenzial darstellt. Der restliche Kohlenstoff-Anteil (5–10 %) geht vornehmlich als CO_2 in die Gasphase über.

Im Folgenden wird auf die Erweiterung von Verfahrensoptionen in der Bioökonomie durch die Einbindung von HTC-Anwendungen am konkreten Beispiel der Behandlung von unterschiedlichen Güllearten aus der Tierhaltung durch Carbonisierung und Phosphor-Rückgewinnung eingegangen. Hierbei werden verschiedene Nutzungspfade im Zuge der Kaskadierung von Reststoff-Biomassen dargestellt.

58.2 Carbonisierungsversuche von Güllen

58.2.1 Material und Methoden

Die Herstellung der Kohlen erfolgte aus drei Güllearten, Bullen-, Rinder- und Schweinemastgülle (aus dem nordwest-deutschen Raum). Es wurden je nach Probenverfügbarkeit zwischen 340 ml und 420 ml Gülle in einem 800 ml Teflon Liner gefüllt, welcher in einen Edelstahlautoklaven gestellt und verschraubt wurde. Die Autoklaven wurden in einen Ofen gestellt, die Prozessparameter auf 180 °C, 200 °C, 220 °C und 240 °C eingestellt, bei einer Verweilzeit von zwei oder acht Stunden. Im Anschluss kühlte der Ofen auf Raumtemperatur ab. Das Kohle-Wasser-Gemisch wurde anschließend durch Filtration in Flüssig- und Festphase (HTC-Biokohle) getrennt. Die HTC-Biokohle wurde über 24 Stunden bei 105 °C getrocknet, um für chemische Analysen bereitzustehen.

Für die chemischen Analysen der Gülle und der daraus hergestellten HTC-Biokohlen wurden rund zwei Gramm getrocknetes Material in einer Kugelmühle zerkleinert. Im Anschluss fand eine Elementar-Analyse nach DIN EN 15104:2011 auf die Elemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Stickstoff (N) statt (Einwaage ca. 2–3 mg). Die Analyse des Aschegehalts wurde nach DIN EN 14775:2010-04 bei 550 °C mit einer Probeneinwaage von rund einem Gramm durchgeführt.

Für die Phosphoranalyse wurde zunächst ein „Mikrosäureaufschluss“ angesetzt. Dafür wurden 5–10 mg der zuvor bei 105 °C getrockneten Probe mit konz. Salpetersäure versetzt und für 6 h bei 95 °C erhitzt. Nach dem Aufschluss wurden die Proben 2 h lang bei 56 °C mit konz. Wasserstoffperoxid nachbehandelt. Parallel zum Mikrosäureaufschluss wurden zwei weitere Lösungen angesetzt. Für Lösung A wurde Ammoniumheptamolybdat in konz. Schwefelsäure gelöst und anschließend destilliertes Wasser zugegeben. Für Lösung B wurden Ascorbinsäure und $SnCl_2$ in einer Schwefelsäure-Lösung solvatisiert. Die Probe aus dem Mikrosäureaufschluss wurde in einem Verhältnis von 1:10 mit Wasser verdünnt, Lösung A wurden zugegeben und nach 2–3 Minuten wurde Lösung B hinzugefügt. Die resultierende Lösung wurde geschüttelt und nach 30 min bei 680 nm im Fotometer gemessen [9].

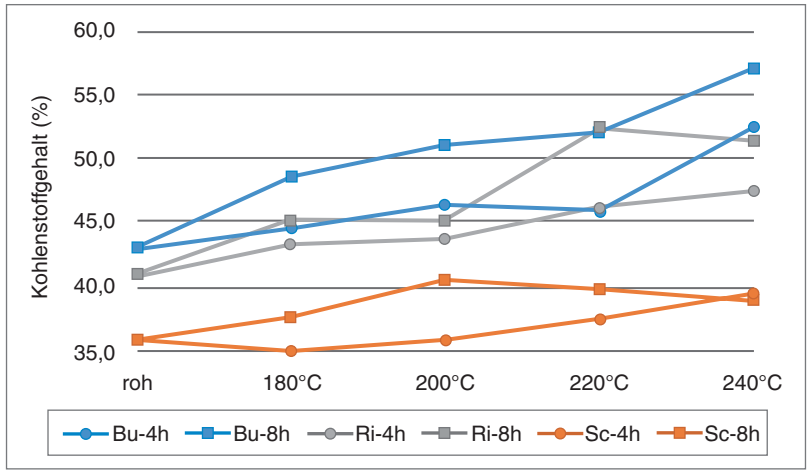

Abb. 58.1 Kohlenstoffgehalte von Bullen-, Rinder- und Schweinemastgülle sowie den daraus hergestellten HTC-Biokohlen bei Prozessbedingungen zwischen 180 °C und 240 °C sowie bei zwei oder acht Stunden Verweilzeit. Die Trockensubstanzgehalte lagen zwischen 8 und 11 % [9, 10]

58.2.2 Ergebnisse

58.2.2.1 Kohlenstoffgehalte

Alle drei Güllearten (Bullen-, Rinder- und Schweinemastgülle) ließen sich carbonisieren. Der Kohlenstoffgehalt nahm mit der Reaktionshärte (ansteigende Temperatur; längere Verweilzeit) zu Abb. 58.1. Diese Kohlenstoff-Zunahme entspricht den Erfahrungen anderer Autoren bei der Verwendung unterschiedlicher Biomassen [8]. Jedoch gibt es große Unterschiede zwischen den Güllearten. So lässt sich der Kohlenstoffgehalt der Schweinegülle nur geringfügig steigern, von etwa 36 % auf maximal 40 %. Grund hierfür ist vermutlich der hohe Anteil anorganischer Substanzen der Gülle selbst von rund 30 % [9]. Am besten lässt sich die Bullenmastgülle carbonisieren, mit einer Kohlenstoffgehalt-Erhöhung von rund 43 % auf maximal 57 %. Hier lag auch der Anteil anorganischer Substanz mit 16 % deutlich niedriger im Vergleich zu Schweinemastgülle [10].

58.2.2.2 Phosphor-Recycling

Bullen- und Rindermastgülle haben annähernd gleiche Phosphorgehalte Abb. 58.2. Mit zunehmender HTC-Reaktionshärte, d. h. zunehmender Reaktionstemperatur und -zeit steigt der Phosphorgehalt in der HTC-Biokohle. Schweinemastgülle hat einen deutlich höheren Phosphoranteil (ca. 42 mg/g) als Bullen- oder Rindermastgülle (10–15 mg/g). Der höhere Phosphorgehalt in Schweinegülle deckt sich mit Daten aus vielen Studien der Landwirtschaftskammer und ist auf unterschiedliche Fütterung zurückzuführen. Auch bei Schweinemastgülle nimmt der Phosphorgehalt mit zunehmender HTC-Reaktionshärte deutlich zu, vor allem bei einer Reaktionszeit von acht Stunden werden über 80 mg/g P in der HTC-Biokohle erreicht. Für alle Güllen ergibt sich bei der HTC nahezu eine Verdopplung des Phosphor-Gehaltes in

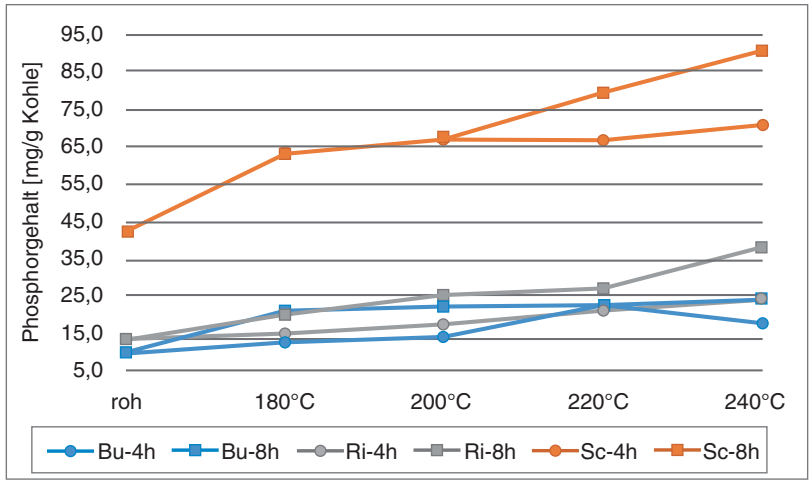

Abb. 58.2 Phosphorgehalte von Bullen-, Rinder- und Schweinemastgülle sowie den daraus hergestellten HTC-Biokohlen bei Prozessbedingungen zwischen 180 °C und 240 °C sowie bei zwei oder acht Stunden Verweilzeit. Die Trockensubstanzgehalte lagen zwischen 8 und 11 % [9, 10]

der Kohle. Dieser Phosphor kann aus der Kohle extrahiert werden; bei Gärresten aus einer Biogasanlage konnten bei der Carbonisierung rund 90 % des Phosphors als Kalzium-Phosphat recycelt werden [11].

Aus den wässrigen Flüssigphasen der HTC lässt sich Phosphor in Form von Phosphaten über eine Nassoxidation mit Eisensulfat abtrennen. Die Nassoxidation dient vor allem der Herabsetzung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) bei der Aufreinigung der mit organischen Substanzen belasteten Wasserphase [12]. Nach der Anwendung dieses Verfahrens wurden in HTC-Wässern aus Gülle und auch aus Klärschlamm Phosphorkonzentration von maximal 2 mg/l gemessen. In Versuchen ohne Eisensulfat wiesen die Abwässer hingegen Phosphor-Konzentration von bis zu 53 mg/l auf [12]. Die Abnahme des Phosphatgehaltes in den Lösungen um bis zu 96 % ist durch die Bildung von Eisenphosphat zu erklären. Es wird bei der Niederdrucknassoxidation ein Feststoffgemisch aus Eisenoxid und Eisenphosphat ausgefällt. Diese nahezu vollständige Fällung des Phosphors kann eine spätere Rückgewinnung ermöglichen.

58.3 Anwendungen der HTC-Technologie und deren Produkte

58.3.1 Effekte auf die Gülle

Durch die Carbonisierung der Gülle kann diese zunächst hygienisiert werden Abb. 58.3. Durch die hohen Temperaturen um 200 °C werden Krankheitserreger (bspw. Bakterien) abgetötet. Einen weiteren Effekt der Carbonisierung stellt der Abbau von Antibiotika dar. Hier ist jedoch unklar, in wieweit diese bei den HTC-Prozessbedingungen abgebaut

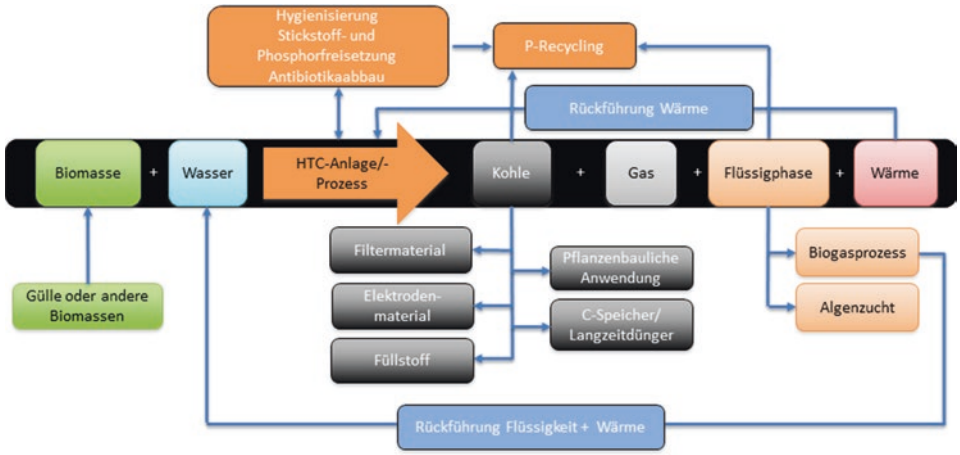

Abb. 58.3 Schaubild zur Funktionsweise des HTC-Verfahrens am Beispiel von Gülle sowie zur den Verwertungs- bzw. Anwendungsoptionen der anfallenden Produkte

werden. Der in Gülle befindliche Stickstoff liegt nach der HTC tendenziell eher als Ammonium-Stickstoff (pflanzenverfügbar) anstatt als Nitrat-Stickstoff (nicht pflanzenverfügbar) in der HTC-Biokohle und HTC-Flüssigphase vor [13, 14].

58.3.2 HTC-Biokohle

Wie in Abb. 58.3 dargestellt, ergibt sich für die HTC-Biokohle eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten. Für eine Verwertung im Gartenbau als Gartenerde sind die Gülle-Kohlen eher ungeeignet, da die Nährstoffgehalte viel zu hoch sind, wodurch eine Schädigung der Pflanzenwurzeln die Folge wäre [15]. Lediglich der Einsatz als Beischlagstoff in Gartenerden in geringen Anteilen wäre hier denkbar. Der Einsatz als Bodenverbesserer auf landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen wäre grundsätzlich möglich, je nach Abbaubarkeit der HTC-Biokohlen und damit auch der Freisetzung von Nährstoffen im Boden [11]. Gerade bei der Schweinegülle-Kohle ist jedoch fraglich, ob die nur geringe Kohlenstoffanreicherung in den Kohlen eine bodenverbessernde Wirkung hat, oder ob eine direkte Ausbringung der Gülle ohne Carbonisierung wirtschaftlicher wäre. Neben der Wirtschaftlichkeit sind natürlich auch Änderungen in der Gesetzgebung in der Düngeverordnung zur Ausbringung von Gülle zu berücksichtigen. Grundsätzlich wäre auch zu klären, wie stabil HTC-Biokohlen aus Gülle gegenüber dem Abbau von Mikroorganismen im Boden sind. Ein Langzeiteffekt zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit kann nur dann eintreten, wenn die Kohlen über Jahrzehnte im Boden abbaustabil sind. Andernfalls käme der Einsatz der Kohlen als Langzeitdünger in Betracht. Dieser Fragestellung wird am Beispiels von HTC-Biokohle aus Mais im Forschungsprojekt „BIOCAS“ an der Universität Oldenburg aktuell nachgegangen. Offen bleibt die Frage, ob die Erkenntnisse auf andere HTC-Edukte übertragbar wären.

Eine Anwendung im technischen Bereich stellt bspw. der Einsatz als Filtermaterial für die Abluft- und Abwasserreinigung dar. Dazu ist jedoch eine Erhöhung der Porosität der HTC-Biokohlen, die typischerweise nur bei ca. 10 m^2/g liegt, notwendig. Anhand von HTC mit Kokosnuss-Schalen als Substrat wurde gezeigt, dass dieses durch den Zusatz von Zink-Salzen zum HTC-Prozess erreicht werden kann [16]. Dadurch entstanden in der HTC-Biokohle ca. 5–10 Nanometer große Poren und die innere Oberfläche erhöhte sich auf ca. 150 m^2/g. Vermehrt kleine Poren mit Durchmessern von 1–2 Nanometern wurden durch Wasserdampfbehandlung generiert, wodurch Oberflächen von bis zu 500 m^2/g erreicht werden. Für die Nutzung von Gülle laufen derartige Versuche zur Porositätserhöhung derzeit in der Gruppe Wark (Technische Chemie) an der Universität Oldenburg. Der Einsatz von Biokohle in Bereich der Erzeugung von Elektroden ist ebenfalls denkbar; hierzu ist jedoch die Ausbildung grafitischer Anteile in der Kohle notwendig. Eine niederwertigere Verwendung der HTC-Biokohle, auch derjenigen aus Gülle, ist derzeit schon als Füllstoff realistisch; so kann diese bspw. Biokunststoff-Materialien zur Stabilisation zugesetzt werden.

58.3.3 HTC-Flüssigphase

Die HTC-Flüssigphase wird oftmals als eines der größten Hemmnisse der HTC angesehen. Blöhse weist allerdings nach, dass die HTC-Flüssigkeit eine große Menge leicht abbaubarer Inhaltsstoffe, u. a. organische Säuren, enthält [17]. Loewen hat gezeigt, dass durch den Einsatz der HTC-Flüssigphase im Biogasprozess (hier Festbettreaktor) den Biogasertrag durch den Abbau der organischen Verbindungen deutlich steigern kann [18]. Die bei der Verstromung des Biogases anfallende Wärme kann wiederum verwendet werden, um den HTC-Prozess mit (einem Teil der nötigen) Wärme zu versorgen, bei gleichzeitiger Verwertung des bei der Vergärung anfallenden Flüssigphase für die HTC. Entgegen älteren Abschätzungen verläuft die HTC mit einer Energiefreisetzung von maximal 1 MJ/kg verwertete Biomasse nur sehr schwach exotherm. Daher ist die Einspeisung von Wärme notwendig, um den Prozess aufrechtzuhalten. In der Technischen Chemie der Universität Oldenburg laufen derzeit Untersuchungen zur Nutzung der HTC-Flüssigphase als Zusatz in Nährmedien für die Algenzucht. Es zeigt sich, dass die Algen durch die organischen Stoffe in der Flüssigphase nicht signifikant in ihrem Wachstum behindert werden, wohl aber zu einer vermehrten Fettsäure-Produktion angeregt werden [19].

58.4 Schlussbetrachtung

Die Untersuchungen belegen, dass sich HTC-Verfahren zur Behandlung von verschiedenen Güllearten einsetzen lassen. Daraus ergeben sich zwei zentrale Implikationen: Einerseits ist die Erweiterung des Portfolios an Möglichkeiten zur Wertschöpfung aus Reststoff-Biomassen und somit zur Fortführung der Kaskadierungskette von Biomassen möglich;

hierbei sind insbesondere die hier dargestellten Optionen weiter wissenschaftlich zu fundieren bzw. weiter unter Einbeziehung von Marktteilnehmern zu erschließen. Anderseits ergeben sich durch eine HTC-gestützte Behandlung von Biomasse-Reststoffen aus einer Tierhaltung, die die regionalen Düngenotwendigkeiten übersteigt, neue Möglichkeiten eines nachhaltigen Reststoffmanagements. Zu sehen sind hier insbesondere die gezielte Rückgewinnung von Mangelnährstoffen (z. B. Phosphor) bzw. der Abbau von Schadstoffen, pathogenen und sekundäre Effekte in der menschlichen Gesundheit und der Wiedergewinnung guter ökologischer Zustände von Boden und Wasser.

Danksagung Teile der Arbeiten wurden durch Mittel der EU und des Landes Niedersachsen in den Vorhaben EU-EFRE „HTC in Niedersachsen“ und INTERREG VB Nordsee Region „BIOCAS“ mitfinanziert.

Literatur

1. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U (2010) Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. Livest Sci 130(1–3):57–69
2. N.N. (2017) Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2015/2016. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg
3. Meinken E (2014) Eignung von Pflanzenkohle als Torfersatzstoff in gärtnerischen Kultursubstraten. präsentiert bei Qualitätssicherung und Umwelteffekte von Pflanzenkohle, Hannover
4. N.N. (2014) Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm – Machbarkeitsstudie. SEG – Stadtentwässerung, Göppingen
5. Ramke HG, Hendricks A (2013) Charakterisierung von HTC-Biokohle für die Nutzung als Bodenhilfsstoff. In: Hydrothermale Carbonisierung von Biomasse. ESV, Osnabrück, S 149–162
6. Libra JA, Ro KS, Kammann C, Funke A, Berge ND, Neubauer Y, Titirici M-M, Fühner C, Bens O, Kern J, Emmerich KH (2011) Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels 1:71–106
7. Titirici M-M, Thomas A, Antonietti M (2007) Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO_2 problem? New J Chem 31:787–789
8. Röhrdanz M, Rebling T, Ohlert J, Greve T, Buchwald R, von Frieling P, Wark M (Mar. 2016) Hydrothermal carbonization of biomass from landscape management – Influence of process parameters on soil properties of hydrochars. J Environ Manag 173:72–78
9. Pannemann F (2016) Eignung von Rinder- und Schweinegülle für die hydrothermale Karbonisierung. Bachelor-Abschlussarbeit, Institut für Chemie, Technische Chemie, Carl von Ossietzky University Oldenburg
10. Dittrich K (2016) Analyse von Biokohlen aus der Karbonisierung von Bullenmastgülle und Wintergülle. Bachelor-Abschlussarbeit, Institut für Chemie, Technische Chemie, Carl von Ossietzky University Oldenburg
11. Zhao X, Becker GC, Faweya N, Correa CR, Yang S, Xie X, Kruse A (2017) Fertilizer and activated carbon production by hydrothermal carbonization of digestate. Biomass Conv Bioref 7:1–14
12. Ohlert J (2015) Hydrothermale Carbonisierung (HTC) von Faul- und Klärschlämmen. Dissertationsschrift, Institut für Chemie, Technische Chemie, Carl von Ossietzky University Oldenburg
13. Bargmann I, Kücke M, Greef J-M (2013) Effekte von HTC-Biokohle auf Nährstoffhaushalt und Pflanzenwachstum. In: Hydrothermale Carbonisierung von Biomasse. ESV, Osnabrück, S 163–173

14. Fettig J, Liebe H (2013) Analytik und physikalisch-chemische Behandlung von Prozesswässern aus der hydrothermalen Carbonisierung von organischen Abfällen – erste Ergebnisse. In: Hydrothermale Carbonisierung von Biomasse. ESV, Osnabrück, S 115–130
15. Röhrdanz M, Greve T, de Jager M, Buchwald R, Wark M (2019) Co-composted hydrochar substrates as growing media for horticultural crops. Sci Hortic 252:96–103. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.055
16. Multhaupt H (2018) Potential of hydrochars obtained by hydrothermal carbonization under saline conditions. Dissertationsschrift, Institut für Chemie, Technische Chemie, Carl von Ossietzky University Oldenburg
17. Blöhse D (2013) Co-Vergärung der HTC-Prozesswässer – Ergebnisse aus Laborversuchen. In: Hydrothermale Carbonisierung von Biomasse. ESV, Osnabrück, S 29–40
18. Loewen A (2013) HTC – Eine sinnvolle Ergänzung zu bisherigen Bioenergie-Technologien. präsentiert bei Statusseminar zur Hydrothermalen Carbonisierung in Niedersachsen, Hannover
19. Blanke J (2017) Einfluss von HTC-Wässern auf das Wachstum von Algen des Typs Chlorella vulgaris. Bachelor-Abschlussarbeit, Institut für Chemie, Technische Chemie, Carl von Ossietzky University Oldenburg