

## Abschätzung des Aufkommens an Kohlenstoff in Biomasse-Reststoffen in Deutschland für eine Verwertung über Hydrothermale Carbonisierung (HTC) und Einbringung von HTC-Kohle in den Boden

Frank Schuchardt und Klaus-Dieter Vorlop\*

### Zusammenfassung

Pflanzliche Rest- und Abfallstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft, der Lebensmittelindustrie, der Biotop- und Landschaftspflege und den Kommunen werden als Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Verwertung herangezogen. Sie enthalten Nährstoffe und Spurenelemente und können zur Bodenfruchtbarkeit beitragen. Da in Deutschland bereits sämtliche anfallenden Biomasse-Reststoffe verwertet werden, besteht auf dem Markt teilweise eine Nutzungskonkurrenz zwischen diesen Stoffen. Die jährlich in Deutschland anfallende Gesamtmasse pflanzlicher Rest- und Abfallstoffe ist nicht bekannt, da diese statistisch nicht erfasst wird, so dass sie zu einem großen Teil nur auf der Grundlage von Annahmen und Faustzahlen errechnet werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, basierend auf dieser Datengrundlage des Biomasseanfalls in Deutschland, das für eine Hydrothermale Carbonisierung (HTC) mit anschließender Einbringung der HTC-Kohle in den Boden zur Verfügung stehende Kohlenstoffpotenzial abzuschätzen. Weiterhin wird eine Definition des HTC-Potenzials vorgeschlagen. Nach Abzug der durch ökologische und technische Restriktionen nicht verwertbaren Biomasse-Reststoffe verbleibt ein technisch-ökologisches Kohlenstoffpotenzial von etwa 29 Mio. t jährlich. Das entspricht 61 % des theoretischen Potenzials von 47 Mio. t. Da jedoch das technisch-ökologische Potenzial an Biomasse-Reststoffen bereits anderweitig genutzt wird, stehen von den 29 Mio. t lediglich 1,77 Mio. t oder etwa 6,1 % als Kohlenstoff als Verwertungspotenzial für die Hydrothermale Carbonisierung zur Verfügung. Das in der vorliegenden Arbeit geschätzte HTC-Potenzial ist noch unsicher, da wesentliche Fragen, die das mögliche HTC-Potenzial mitbestimmen könnten, wie z. B. Gesamt-Energiebilanzen, die Wirkung der HTC-Kohle im Boden und eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) bisher unbeantwortet sind.

*Schlüsselworte: Biomasse-Reststoff, Hydrothermale Carbonisierung, HTC, Kohlenstoff, Bilanz*

### Summary

#### **Estimation of the carbon amount in biomass residues in Germany for hydrothermal carbonisation (HTC) and disposal of HTC-coal to the soil**

Crop waste and residues from agriculture, forestry, food industry, biotope and landscape management and municipalities are raw materials for energy and material recycling. They contain nutrients and trace elements and can maintain soil fertility. Partially there is a competition for its use at the market, because no unused and free waste is available. The total amount of crop waste and residues in Germany is unknown, because no statistical data are available. Widely it can be calculated on assumptions and standard values only. Because all biomass residues in Germany are used, a utilization competition occurs at the market. In the present paper we tried to estimate the carbon potential for hydrothermal carbonisation (HTC) and following land application, based on the data for biomass residues in Germany. Furthermore a definition for the HTC potential is recommended. After subtraction of unusable biomass residues by ecological and technical restrictions the technical-ecological carbon potential is about 29 million tonnes annually. Because the technical-ecological potential of biomass residues is used otherwise already, from the 29 million tonnes only 1.56 million tonnes or 5.4 % of the carbon are available for hydrothermal carbonisation. The estimated HTC-potential is uncertain because substantial questions influencing the HTC-potential are unanswered until now: The total energy balance, the effect of HTC-coal in the soil and a life cycle assessment (LCA).

*Keywords: Biomass residues, hydrothermal carbonisation, HTC, carbon, balance*

---

\* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, frank.schuchardt@vti.bund.de

### 1 Einleitung

Die in der Land- und Forstwirtschaft, der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, der Biotop- und Landschaftspflege und den Kommunen anfallenden pflanzlichen Rest- und Abfallstoffe (Biomasse-Reststoffe) sind Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Verwertung. Durch ihre Gehalte an organischer Substanz, Nährstoffen und Spurenelementen können sie beitragen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Pflanzen- und Tierernährung. Auch eine Verwertung z. B. als Baumaterial oder Fermentationssubstrat ist möglich. Dabei besteht auf dem Markt teilweise eine Nutzungskonkurrenz zwischen diesen Stoffen, da es keine ungenutzten, frei verfügbaren Biomasse-Reststoffe gibt. Eine Ausnahme könnte im Wald verbleibendes Rest- und Schwachholz sein (UBA, 2007).

Im Bereich Landwirtschaft werden die organischen Stoffe in den Produktionskreislauf verbracht, teilweise nach einer Zwischennutzung in Biogasanlagen. In den übrigen Bereichen sind auf der Grundlage des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG, 1994) seit langem feste Verwertungswege etabliert (z. B. energetisch in Kraftwerken, stofflich als Tierfutter, Kompost, Mulch oder Pflanzendünger). Eine alternative Verwertung dieser Stoffe ist nur dann anzunehmen, wenn sich dadurch ökonomische Vorteile für den Abfallverursacher ergeben. Die jährlich in Deutschland anfallende Gesamtmasse organischer Rest- und Abfallstoffe ist nicht bekannt, da nicht statistisch erfasst, und kann zu einem großen Teil nur auf der Grundlage von Annahmen, Abschätzungen und Faustzahlen errechnet werden. Die Kenntnis der tatsächlich für bestimmte Zwecke zur Verfügung stehenden Biomassen

hat einen Einfluss auf ökonomische, politische und technische Entscheidungen und Entwicklungen.

Verstärktes Interesse hat in den vergangenen Jahren die Aufbereitung von Reststoff-Biomasse über das Verfahren der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC) gefunden und die Verwertung der dabei entstehenden „Biokohle“ zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bzw. zur Sequestrierung von Kohlenstoff vor dem Hintergrund des Klimawandels (FNR, 2010; Kammann et al., 2010; Wallmann et al., 2010). Durch höhere Ernteerträge bei verbesserter Bodenfruchtbarkeit und CO<sub>2</sub>-Gutschriften soll das Einbringen von HTC-Kohle in den Boden auch ökonomische Vorteile bieten. Alternative Möglichkeiten zur Anwendung von HTC-Kohle als CO<sub>2</sub>-neutrales Substitut für fossile Kohle, z. B. als Energieträger in Kraftwerken oder zur Herstellung von Synthesegas, werden diskutiert.

Auf der Grundlage des Anfalls von Reststoff-Biomasse in Deutschland und deren Verwertungsalternativen wird der Versuch unternommen, das für das HTC-Verfahren zur Verfügung stehende Biomasse- und Kohlenstoffpotenzial abzuschätzen. Zoomasseabfälle werden im Rahmen dieser Veröffentlichung nicht betrachtet.

### 2 Biomasse-Reststoffe in Deutschland und die Verwertungspotenziale

#### 2.1 Landwirtschaft und Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Der Ursprung der Biomasse-Reststoffe der Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie ist die Pflanzenproduktion auf Ackerflächen und Grünland (Abb. 1). Die dabei direkt entstehenden Reststoffe werden stofflich verwertet.

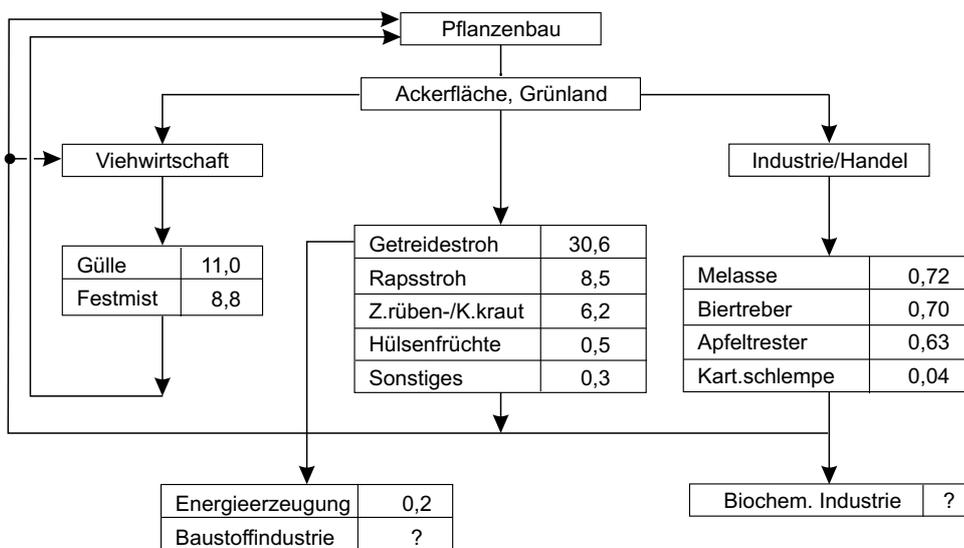


Abbildung 1: Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) im Bereich Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie

Sie verbleiben zum Humusausgleich auf dem Feld oder werden als Einstreu oder Futter in der Tierhaltung geborgen und gelangen auf diesem Umweg wiederum auf das Feld bzw. Grünland. Von den in Deutschland jährlich anfallenden 36 Mio. t Stroh gelangen auf diesem Wege etwa 8,5 Mio. t als Einstreu in die Ställe. Die Strohmenngen, die zur Energieerzeugung genutzt werden, sind vergleichsweise gering. Die Mengen der in der Baustoffindustrie verwendeten Strohmenngen sind nicht bekannt, werden aber als unbedeutend angesehen. Wegen der hohen Kosten werden Reststoffe häufig nicht vom Acker geborgen.

Für die in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie anfallenden Reststoffe gibt es keine genauen Daten, häufig werden sie geheim gehalten. Der bedeutendste Weg der Verwertung von Rückständen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie ist der als Viehfutter. Reststoffe der Stärkeproduktion und der Pflanzenölverarbeitung spielen dabei eine wichtige Rolle. Daneben sind pflanzliche Rückstände für die chemische Industrie von Interesse zur

- Gewinnung von Inhaltsstoffen (z. B. Vitamine, Weinsäure, Antioxidantien, Coffein, Tannine, Pektin, Lecithin, Farb- und Duftstoffe aus der Verarbeitung von Obst und Gemüse sowie aus der Wein-, Kaffee- und Kakaoproduktion),
- Verwendung bei biotechnischen Fermentationsprozessen (insbesondere zuckerhaltige Reststoffe) und
- Gewinnung von Plattformchemikalien.

Auch über eine direkte (aktuelle oder potentielle) Nutzung von Prozessrückständen wird berichtet, wie z. B. die Verwendung von Trester und Treber als Supplement in der Ziegelherstellung, als Isoliermaterial und als Adsorbentien in der Wasseraufbereitung (Mahro, 2010).

Da bereits alle Biomasse-Reststoffe aus Landwirtschaft und Nahrungs- und Genussmittelindustrie einer Verwertung zugeführt werden, ist in diesem Sektor kein nennens-

wertes HTC-Potenzial zu erwarten, es sei denn es kommt zu einem Verdrängungswettbewerb.

### 2.2 Forstwirtschaft

Die in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft anfallenden Rest- und Abfallstoffe werden nahezu vollständig stofflich oder energetisch verwertet, teilweise in einer Kaskadennutzung (Abb. 2). Ungenutzte Potenziale zur energetischen Verwertung werden in der Nutzung von bisher nicht genutztem Waldholz gesehen (UBA, 2007).

### 2.3 Biotop- und Landschaftspflege

Die in der Biotop- und Landschaftspflege (z. B. erhaltenswerte Biotope wie Heideflächen, Feuchtbiotope, Streuobstwiesen) anfallende Biomasse, einschließlich der von kommunalen Gärten, Parks, Sportplätzen und Friedhöfen sowie Randstreifen von Verkehrswegen, besteht im Wesentlichen aus gras- und krautartigem Material und zu einem geringeren Teil aus Holz (Abb. 3). Da diese Biomasse in der Regel nicht von der Fläche entfernt und zu keiner öffentlichen Anlage transportiert wird, kann deren Masse nur geschätzt werden. Ein Nachteil für die Verwertung der Biomasse aus der Biotop- und Landschaftspflege ist deren je nach Jahreszeit unterschiedliche Zusammensetzung und der Anfall zu verschiedenen Zeitpunkten auf weit gestreuten Flächen (z. B. Straßenbegleitgrün). Dadurch ist deren Nutzung, auch aus wirtschaftlichen Gründen, erschwert. Gleichwohl ist aus Sicht des Naturschutzes eine Bergung des Grasschnitts erwünscht, um eine wünschenswerte „Aushagerung“ zu erreichen bzw. ein Verfilzen der Grassoden zu verhindern (UBA, 2007). Die geborgenen Biomassen werden derzeit stofflich genutzt zur Herstellung von Kompost, so dass hier alternativ ein HTC-Potenzial möglich ist.

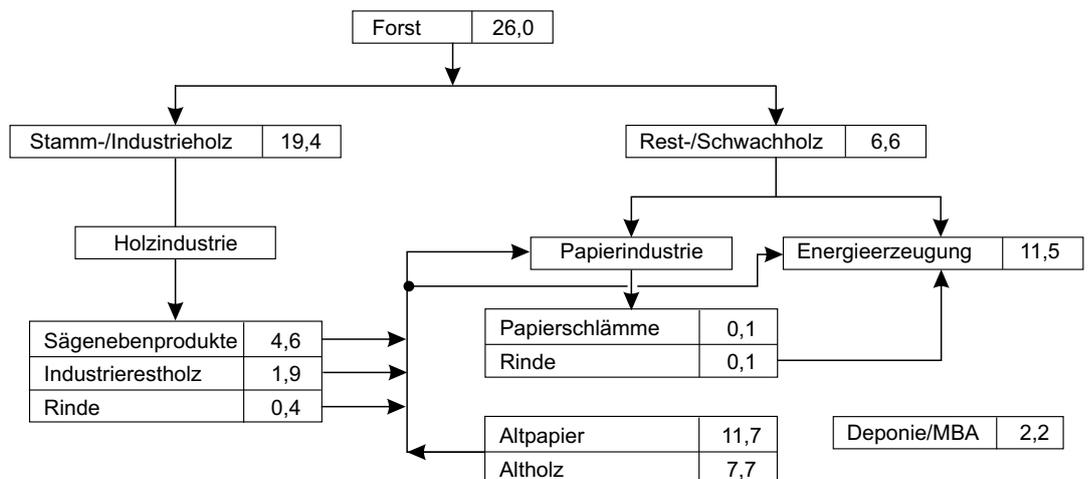


Abbildung 2: Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) im Bereich Forst und Holz- und Papierindustrie

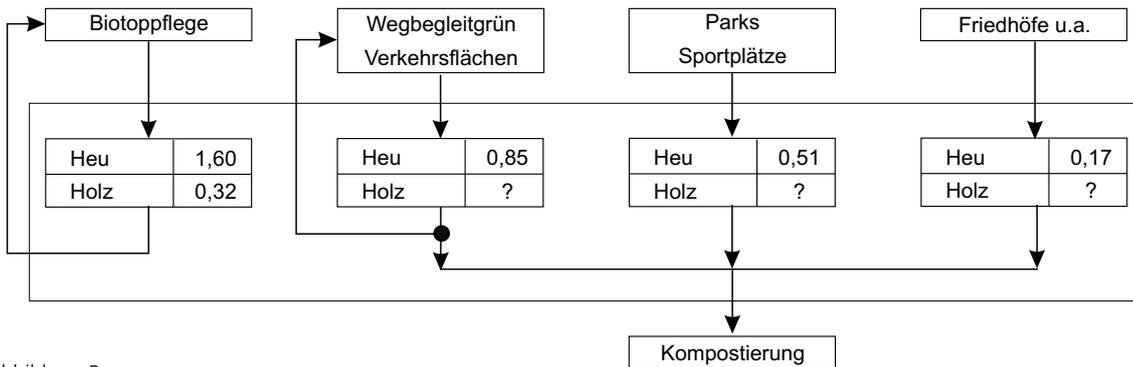


Abbildung 3: Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) aus der Biotop- und Landschaftspflege einschließlich Parks, Sportplätzen und Friedhöfen

2.4 Kommunen

Die in den Kommunen anfallenden Biomasse-Reststoffe sind vor allem Bio- und Grünabfall und Klärschlamm (Abb. 4). Die Biomasse im Hausmüll steht als solche nicht zur HTC-Verwertung zur Verfügung, da sie mit dem Restmüll vermengt ist, welcher nicht abgetrennt wird. Bio- und Grünabfall werden Kompostierungs- und Biogasanlagen zugeführt und hauptsächlich in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau verwertet. Etwa 10 % des Anlageninputs in Kompostierungsanlagen von Bio- und Grünabfall sind holziges Material, die als Strukturmaterial eingesetzt oder in Kraftwerken energetisch verwertet werden (Wallmann et al., 2009). Etwa 44 % der Klärschlämme werden in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau verwertet. Der übrige Teil wird verbrannt, vermutlich wegen Schadstoffbelastung bzw. wegen fehlender Ackerflächen und fehlender Bereitschaft der Landwirte zur Verbringung des Schlammes auf eigenen Flächen. Dieser Anteil wird daher auch nicht als HTC-Potenzial angesehen.

3 Biomasse-Reststoffe als HTC-Potenzial

Bei der Berechnung der anfallenden bzw. zur Verfügung stehenden Biomasse-Reststoffe wird unterschieden zwischen dem theoretischen und dem technisch-ökologischen Potenzial (UBA, 2007).

Theoretisches Potenzial

Die nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten grundsätzlich angebotene Biomasse, unabhängig von den technischen oder organisatorischen Hemmnissen. Das theoretische Potenzial gibt die maximal verfügbare Biomasse an.

Technisch-ökologisches Potenzial

Diejenige Teilmenge des theoretischen Potenzials, das unter ökologischen und technischen Restriktionen tatsächlich nutzbar ist. Die Restriktionen berücksichtigen die Mobilisierbarkeit der Biomasse, technische Nutzungsoptionen und ökologische Restriktionen wie beispielsweise

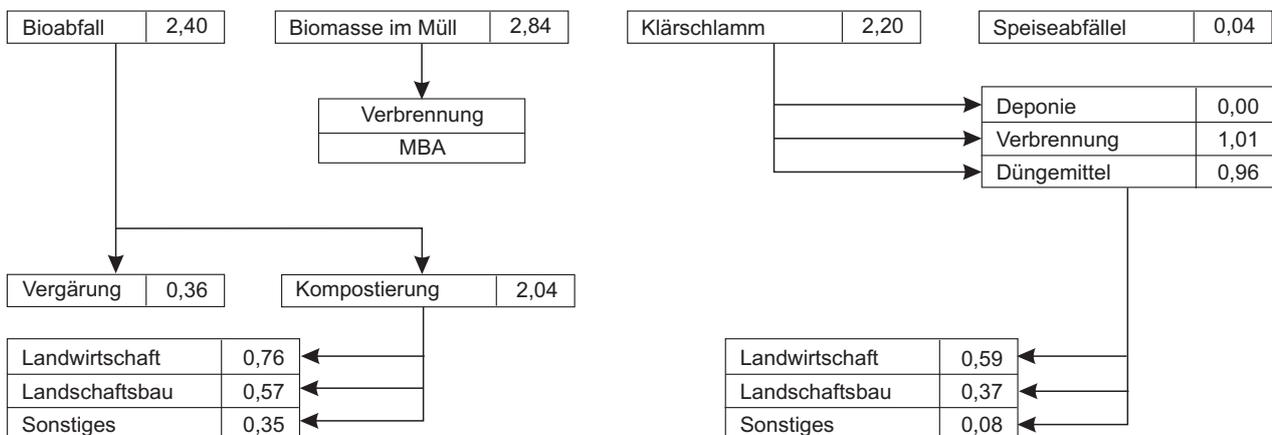


Abbildung 4: Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) aus den Kommunen

Tabelle 1:

Biomasse-Reststoffe in Deutschland; nach (UBA, 2007; SRU, 2007; Mahro, 2010), eigene Berechnungen

Bereich	Theoretisches Potenzial					techn./ökol. Potenzial		HTC-Potenzial Mio t C	Verwertung
	FM Mio. t/a	TM %	TM Mio. t/a	C in TM %	C Mio. t/a	%	Mio t C		
<b>Landwirtschaft</b>									
Getreidestroh <sup>1)</sup>	27,56	86	23,70	48	11,38	12	1,37	0	Humusersatz, Energieerzeugung
Rüben-/Kartoffelkraut	24,94	25	6,24	48	2,99	42	1,26	0	Humus- und Nährstoffersatz
Rapsstroh	9,86	86	8,48	48	4,07	42	1,71	0	Humusersatz, Energieerzeugung
Hülsenfrüchte	1,05	50	0,53	50	0,26	42	0,11	0	Humus- und Nährstoffersatz
Gemüsereste	0,37	16	0,06	50	0,03	42	0,01	0	Humus- und Nährstoffersatz
Sonnenblumenstroh	0,31	86	0,27	50	0,13	42	0,06	0	Humusersatz, Energieerzeugung
Gülle	150,52	7,3	10,99	45	4,94	91	4,50	0	Humus- und Nährstoffersatz
Festmist	32,11	27	8,77	47	4,12	91	3,75	0	Humus- und Nährstoffersatz
<i>Summe</i>	246,72		59,02		27,93		12,76	0	
<b>Forstwirtschaft</b>									
Sägenebenprodukte	5,76	80	4,61	49	2,26	100	2,26	0	Energieerzeugung
Rinde	0,65	80	0,52	49	0,25	94	0,24	0	Humus- und Nährstoffersatz
Alt-/Industrieholz	9,68	80	7,74	49	3,79	100	3,79	0	Energieerzeugung
Altpapier (Endverbraucher)	12,33	95	11,71	49	5,74	82	4,71	0	Wiederverwertung
Papierschlämme	0,58	15	0,09	49	0,04	100	0,04	0	Energieerzeugung, stoffl. Vw
Rest-/Schwachholz	8,30	80	6,64	49	3,25	75	2,44	0	Energieerzeugung
<i>Summe</i>	37,30		31,31		15,34		13,48	0	
<b>Lebensmittelindustrie</b>									
Biertreber	2,80	25	0,70	50	0,35	100	0,35	0	Viehfutter
Melasse	0,90	80	0,72	50	0,36	100	0,36	0	Viehfutter, Industrie
Kartoffelschlempe	0,78	6	0,04	50	0,02	100	0,02	0	Viehfutter, Industrie
Apfeltrester	0,25	25	0,06	50	0,03	100	0,03	0	Viehfutter, Industrie
<i>Summe</i>	4,73		1,53		0,76		0,76	0	
<i>nach Mahro (2010)</i>									
Herstellung von Weißwein	0,10	k.A.	-	-	-	-	-	-	Humus- und Nährstoffersatz
Herstellung von Rotwein	0,30	k.A.	-	-	-	-	-	-	Humus- und Nährstoffersatz
Frucht- und Gemüsesaftproduktion	2,16	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter, Industrie
Frucht- und Gemüseverarbeitung	0,49	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter, Industrie
Pflanzenölproduktion	4,17	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Herstellung von Maisstärke	0,15	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Herstellung von Kartoffelstärke	1,78	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Herstellung von Weizenstärke	0,28	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Zuckerrübenverarbeitung	26,50	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter, Industrie
<b>Biotop- und Landschaftspflege <sup>2)</sup></b>									
Heu	3,68	85	3,13	48	1,50	50	0,75	0,75	Humus- und Nährstoffersatz
Holz	0,42	50	0,21	49	0,10	50	0,05	0	Energieerzeugung
<i>Summe</i>	4,10		3,34		1,60		0,80	0,75	
<b>Kommunen</b>									
Bioabfall	6,00	40	2,40	25	0,60	100	0,60	0,60	Humus- und Nährstoffersatz
Klärschlamm	39,29	6	2,20	43	0,95	100	0,95	0,42	Humus- und Nährstoffersatz
<i>Summe</i>	45,29		4,60		1,55		1,55	1,02	
<b>Summe total</b>	<b>338,13</b>		<b>99,80</b>		<b>47,19</b>		<b>29,35</b>	<b>1,77</b>	

<sup>1)</sup> um eine Doppelzählung mit dem Stroh im Festmist zu vermeiden, wurden 8,45 Mio t FM abgezogen; Ges. 36,0 Mio t<sup>2)</sup> Summe aus Wegränder, Parks, Sportplätze, Friedhöfe, Biotoppflege (soweit Daten vorliegen) 2003

k.A. keine Angaben

die Wahrung der Bodenfruchtbarkeit und geschlossener Nährstoffkreisläufe, den Schutz von Lebensräumen und die Nachwuchsrate.

Zur Definition eines *HTC-Potenzials* für die Verwendung als Bodenhilfsstoff und zur C-Sequestrierung schlagen die Autoren vor:

Teilmenge des technisch-ökologischen Potenzials abzüglich

- trockener Biomasse ( $H_i > 11$  MJ/kg, entsprechend KrW-/AbfG §6, 2) (KrW-/AbfG, 1994) zur Energieerzeugung anstelle von fossilen Energieträgern,
- Biomasse, die stofflich als Viehfutter und industriell verwertet wird,
- Biomasse, die aufgrund ihrer Schadstoffgehalte entsprechend den gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen des Bodenschutzes (BBodSchG, 1998; BioAbfV, 1998; AbfKlärV, 1992) nicht in den Boden verbracht werden darf sowie Biomasse die aufgrund der hohen Kosten für Bergung, Sammlung, Transport, Lagerung und Aufbereitung nicht zur Verfügung steht.

Das HTC-Potenzial könnte sich aufgrund negativer oder positiver Ökobilanzen (Life Cycle Assessment, LCA) verringern oder erhöhen. Diese Bilanzen sind bisher nicht durchgeführt worden.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in Deutschland jährlich anfallenden Biomasse-Reststoffe und deren Zuordnung als theoretisches, technisch-ökologisches und HTC-Potenzial zur Verwendung als Bodenhilfsstoff und zur C-Sequestrierung. Wegen fehlender statistischer Daten beziehen sich die Zahlenangaben teilweise auf unterschiedliche Jahre zwischen 2002 und 2008. Insgesamt fallen in Deutschland jährlich etwa 338 Mio. t Biomasse-Reststoffe mit etwa 47 Mio. t Kohlenstoff aus den genannten Bereichen an. Entsprechend den oben genannten Definitionen beträgt das technisch-ökologische Potenzial etwa 29 Mio. t Kohlenstoff und das HTC-Potenzial etwa 1,8 Mio. t.

Holz (lufttrocken), Stroh und Heu entsprechen mit einem  $H_i$  von  $>11$  MJ/kg den Vorgaben zur energetischen Verwertung entsprechend KrW-/AbfG §6, 2 (KrW-/AbfG, 1994). In der Tabelle 1 wurde das Holz aus der Biotop- und Landschaftspflege ebenfalls als Energieträger zur Verbrennung angesehen, da der  $H_i$  von Landschaftspflegeholz mit 9,2 MJ/kg nahe am geforderten  $H_i$  von 11 MJ/kg liegt (Tabelle 2). Sofern das „Heu“ aus der Biotop- und Landschaftspflege lufttrocken gesammelt werden kann, was vielfach aber nicht möglich ist, könnte es ebenfalls zur Energieerzeugung verwendet werden.

Tabelle 2:  
Heizwerte ( $H_i$ ) von Biomasse

	MJ/kg
Heizöl	43
Steinkohle	30
Braunkohle	18
Holz (lutro)	15
Stroh, Heu	14
Landschaftspflegeholz	9,2
Klärschlamm TS 40 %	3
Bioabfall TS 40 %	3
Festmist TS 27 %	1,5
Klärschlamm TS 20 %	0
Gülle TS 7 %	-1,7

#### 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Entsprechend den Definitionen beträgt das technisch-ökologische Kohlenstoffpotenzial aus pflanzlichen Reststoffen in Deutschland etwa 29 Mio. t jährlich. Das entspricht 61 % des theoretischen Potenzials von 47 Mio. t. Von diesen 29 Mio. t Kohlenstoff sind lediglich 1,77 Mio. t oder etwa 6,1 % als Kohlenstoff als Verwertungspotenzial für die Hydrothermale Carbonisierung zu bezeichnen. Nicht berücksichtigt ist dabei die Nutzungskonkurrenz der Rest- und Abfallstoffe, zum Beispiel für die Energiegewinnung, die Produktion chemischer Rohstoffe (Bioraffinerie) oder die Produktion von Pflanzsubstraten. Zudem müsste die Verwertung der organischen Stoffe über eine Hydrothermale Carbonisierung für den Abfallverursacher ökonomische Vorteile bieten.

Das HTC-Potenzial könnte sich verringern, da die gesamte Masse des technisch-ökologischen Potenzials an Bioabfall und Klärschlamm als schadstoffarm entsprechend den Grenzwerten der BioAbfV und KlärAbfV angenommen wurde. Während das für den Bioabfall zutrifft, werden vom Klärschlamm derzeit nur 44 % über den Boden verwertet (Abb. 4). Der übrige Anteil ist vermutlich aus Gründen der Schadstoffbelastung bzw. fehlender Alternativen der landwirtschaftlichen Verwertung auch für eine HTC-Verwertung auszuschließen. Ein Aufbringen von größeren Mengen oder stärker belasteten organischen Abfällen (Klärschlamm, Kompost) auf Flächen mit dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sollte aus Gründen des langfristigen Bodenschutzes unterbleiben. Auch auf belasteten Brachflächen, auf denen keine Erzeugung von Lebens- oder Futtermitteln, wohl aber der Anbau nachwachsender Rohstoffen möglich ist, darf nach Ansicht der Bodenschutzkommission beim Umweltbundesamt die Belastung

mit Schadstoffen nicht zunehmen, um die Funktionalität des Bodens nicht noch weiter einzuschränken (UBA/KBU, 2008).

Eine nachhaltige Landwirtschaft hat eine ihrer wesentlichen Aufgaben darin, die Ertragsfähigkeit des Bodens zu sichern und zu erweitern. Dazu gehört auch ein ausgeglichener Humussaldo (Breitschuh and Eckert, 2006). Daher ist anzustreben, die Reststoffe des Ackerbaus als humusmehrnde organische Substanz in den Boden zurück zu führen. Das trifft insbesondere zu für die „humuszehrenden“ Fruchtarten (Hackfrüchte, Getreide), wie sie vor allem auch beim Anbau nachwachsender Rohstoffe vorkommen. Zunehmende Bodenabträge sind ein Hinweis auf ungünstige Bodenstrukturen aufgrund unzureichender Humusversorgung (Hege and Brenner, 2004). Daher ist ein Entzug organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft zur Aufbereitung über eine Hydrothermale Carbonisierung, aber auch zu einer anderen Verwertung (z. B. Bioraffinerie) vor dem Hintergrund einer nicht ausgeglichenen Humusbilanz der Böden kritisch zu betrachten. Das bedeutet aber nicht, dass regional keine organischen Reststoffe in größerer Menge für eine Hydrothermale Carbonisierung zur Verfügung stehen können.

Das HTC-Potenzial könnte sich erhöhen, wenn Reststoffe der Lebensmittel- und Genussindustrie aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr industriell oder als Viehfutter verwertet werden. Die große Unsicherheit bei der Erfassung und Berechnung bzw. zwangsläufigen Abschätzung der Reststoffe der Lebensmittel- und Genussindustrie lassen allerdings einen weiteren Spielraum des HTC-Potenzials zu.

Wesentliche Fragen, die das HTC-Potenzial mitbestimmen könnten, sind bisher unbeantwortet. Es sind dies die Gesamt-Energiebilanzen, die Wirkung der HTC-Kohle im Boden und eine Lebenszyklusbewertung (LCA) (Vorlop et al., 2009).

## Literatur

- AbfKlärV (1992) Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), die zuletzt durch Artikel 19 des Gesetzes vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542) geändert worden ist
- BBodSchG (1998) Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist
- BioAbfV (1998) Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298) geändert worden ist
- Breitschuh G, Eckert H (2006) Kriteriensystem Nachhaltige Landwirtschaft : Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen. Schriftenr Thüringer Landesanst Landwirtsch 2006/08:10-27
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010) Hydrothermale Carbonisierung. Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 135 p; Gülzower Fachgespr 33
- Hege U, Brenner M (2004) Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL). Freising : LfL, 49 p, Schriftenr Bayerischen Landesanst Landwirtsch 2009/9
- Kammann C, Grünhage L, Busch D, Müller C, Dörger G, Hanewald K, Schmid T (2010) Biokohle : ein Weg zur dauerhaften Kohlenstoff-Sequestrierung? [online]. Zu finden in <[http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim\\_a/infoblatt\\_biokohle.pdf](http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim_a/infoblatt_biokohle.pdf)> [zitiert am 15.10.2010]
- KrW-/AbfG (1994) Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist
- Mahro B (2010) Biogene Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie. Müll Abfall 42:56-62
- SRU (2007) Klimaschutz durch Biomasse : Sondergutachten ; Juli 2007. Berlin : Schmidt, 124 p
- UBA (2007) Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3135.html>> [zitiert am 18.10.2010]
- UBA/KBU (2008) Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe - Empfehlungen der „Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt“. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 81 p
- Vorlop KD, Schuchardt F, Prüße U (2009) Hydrothermale Carbonisierung - Analyse und Ausblick. Gülzower Fachgespr 33:64-73
- Wallmann R, Fritz T, Fricke K (2009) Energie aus Abfall - Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten. Müll Abfall:42(5):250-258
- Wallmann R, Loewen A, Höbel W (2010) Hydrothermale Karbonisierung zur weitergehenden Klärschlammaufbereitung als Baustein einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. MüllAbfall 42(7):316-318