

Verfahrenstechnische und energetische Bewertung des Anbaues nachwachsender Rohstoffe auf zu rekultivierenden Flächen mithilfe von Klärschlammkompost

Stephan Knorre, Sabine Bernsdorf, Franziska Liemen und Ralph Meissner

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften Julius-Kühn-Str. 23, 06112 Halle(Saale), stephan.knorre@landw.uni-halle.de

1 Einleitung und Zielstellung

Anthropogen stark beanspruchte Flächen (Tagebaurestlöcher, Halden, Deponien) bestehen in der Regel aus Mineralböden, welche eine geringe Wasserhaltefähigkeit und geringe Nährstoffverfügbarkeit vorweisen. Um diese Böden rekultivieren zu können und ein nachhaltiges Pflanzenwachstum zu ermöglichen, müssen vor allem die oben genannten Eigenschaften verbessert werden. Diese Verbesserung des Bodens ist mit dem Einsatz von Komposten möglich. Auf Deponien ist der Aufbau einer funktionsfähigen Wasserhaushaltsschicht zur Reduzierung der Sickerwassermenge wichtig. Allerdings stehen zur Herstellung einer funktionierenden Wasserhaushaltsschicht nicht genügend große Mengen an Mineraloberboden zur Verfügung. Hier kann der Einsatz von Klärschlammkompost (KSK) sowohl die Wasserhaltefähigkeit als auch die Nährstoffverfügbarkeit des zur Verfügung stehenden Mineralbodens erhöhen.

Bisherige Untersuchungen zum Einsatz von Klärschlammkompost als Rekultivierungsmaterial beim Aufbau von Wasserhaushaltsschichten befassten sich mit dem Bodenwasser- und Stoffhaushalt pflanzlicher Biomasse (TAUCHNITZ, 2006; BERNSDORF et al., 2008). In Fortsetzung bisheriger Forschungsarbeiten zur Begrünung von Halden, Deponien und Rekultivierungsflächen mit Hilfe von Klärschlammkompost wurde auf der Deponie Erfurt-Schwerborn 2013 ein Versuch angelegt. Dabei wurden Varianten mit differenzierten Anteilen an Klärschlammkompost geprüft. Zur Anwendung kamen unterschiedliche Fruchtarten, die sich aus energetischer Sicht eignen, aber auch die Funktionen des Landschaftsbaus erfüllen. Neben Klärschlammkompost wurde auch vergleichend der Einsatz von Bioabfallkompost untersucht. Durch den Einsatz von KSK in der Rekultivierung wird auch der Phosphor, welcher als Makronährstoff für das Pflanzenwachstum wichtig ist, ohne großen Energieaufwand zurückgewonnen.

Untersuchungen von TAUCHNITZ (2006) zeigten, dass die chemischen und physikalischen Eigenschaften von KSK als Mischung mit dem mineralischen Bodenmaterial sowohl die Wasserspeicherfähigkeit als auch die Nährstoffverfügbarkeit steigern und somit das Pflanzenwachstum positiv beeinflussen. Eine weitere Folge der gesteigerten Biomasseproduktion ist eine Reduzierung der Sickerwassermengen. Der verwendete

Klärschlammkompost erfüllt alle gesetzlichen Anforderungen als Rekultivierungsmaterial im Hinblick auf die enthaltenen Schwermetalle.

Nach LIEMEN (2013) haben die durch die Pflanzenbiomasse aufgenommenen Schwermetalle aus dem Boden keine negativen Auswirkungen auf den Biogasprozess im Fermenter. Hierbei wurden einjährige ackerbaulich genutzte Kulturen geprüft. Jedoch weisen einige angebaute Kulturarten trotz Luxuskonsums an pflanzenverfügbaren Makronährstoffen im Boden einen leichten Mangel auf. Deshalb soll das Anbausystem diesbezüglich weiter überprüft und ggf. durch zusätzliche Düngung optimiert werden. Da bei einjährigen Kulturen nach der Ernte bis zur Aussaat meist keine Bodenbedeckung in Form von Biomasse vorhanden ist, kommt es je nach Niederschlagsverteilung zu erheblichen Bodenerosionen, welche die Funktionalität der Wasserhaushaltsschicht negativ beeinflussen. Auch sind Raumkulturen wie Mais oder Hirse aufgrund der hohen Reihenabstände von 75 cm noch bis weit in Ihre Jugendentwicklung bei Starkniederschlägen erosionsgefährdet. Um die Erosionsgefahr zu mindern, wird im aktuellen Forschungsvorhaben der Anbau von mehrjährigen bodenbedeckenden Kulturen untersucht.

Der Versuch wurde im Frühjahr 2013 begonnen. Untersuchungsparameter beziehen sich auf das Rekultivierungsmaterial (Boden, Klärschlammkompost, Bioabfallkompost) nach den gesetzlichen Vorgaben sowie auf das Sickerwasser und auf die pflanzliche Biomasse (Inhaltsstoffe, TM-Ertrag, Methanertrag). Mit Hilfe von Sickerwassersammlern und am Hangfuß vorhandenen Dränagen wird das anfallende Sickerwasser erfasst.

Erste Ergebnisse des Projektes werden vorgestellt und die Versuchsmethodik auf der Deponie Erfurt-Schwerborn dargelegt. Der Schwerpunkt soll dabei auf Verfahrenstechnik, ökonomische und ökologische Aspekte gelegt werden, mit dem Ziel, die bisherigen Erkenntnisse zu vertiefen und ganzheitlich in Form von Bilanzen zu betrachten.

2 Material und Methode

Auf dem 1. Erweiterungsabschnitt der Deponie Erfurt-Schwerborn wurde auf 5040 m² eine Versuchsfläche angelegt. Ab April 2013 wurde ein Mineralboden (MB) mit 110 cm Mächtigkeit auf der gesamten Versuchsfläche am Rande des oberen Plateaus aufgebracht. Bei der Versuchsanlage handelt es sich um eine zweifaktorielle Spaltanlage mit vier Wiederholungen. Ab Ende Mai wurden Klärschlammkompost (KSK) oder Grünschnittkompost (GSK) mit einem Radlader aufgetragen und zweimalig (längs und quer zum Hang) mit einer Umkehrfräse ca. 30 cm tief eingearbeitet. Es wurden dabei folgende Mischungsverhältnisse an KSK bzw. Grünschnittkompost (GSK) mit dem Mineralboden aufgebaut: 0 Vol. %, 15 Vol. % KSK, 30 Vol. % KSK, 30 Vol. % GSK. Somit ergaben sich vier Varianten mit je vier Wiederholungen. Zu den angebauten Dauerkulturen gehörten: Durchwachsene Silphie, Szarvasigras, mehrjährige Blümmischung, Energiegrasmischung. Als Referenzpflanzen für die Biogaserzeugung wurde zusätzlich noch die einjährige Kultur Mais, sowohl in Hauptfruchtstellung, als auch in Zweitfruchtstellung nach Grünschnittroggen angebaut.

In TABELLE 1 sind ausgewählte chemische Eigenschaften des Kultursubstrates der aufgetragenen KSK- und GSK-Varianten dargestellt. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) steigt mit zunehmender Menge an KSK bzw. GSK von 2258 kg/ha auf 4517 kg/ha bzw. 3805 kg/ha

an. Auch die mit den Komposten aufgebrauchten Mengen an Gesamtphosphor (P_t) und Gesamtkalium (K_t) stiegen mit zunehmenden Kompostmengen an. Allerdings lag der Hauptteil des N_t , P_t und K_t in organisch gebundener Form vor.

TABELLE 1: Ausgewählte chemische Eigenschaften des Kultursubstrates - Nährstoffgehalte

Parameter	Einheit	0 Vol. % KSK	15 Vol. % KSK	30 Vol. % KSK	30 Vol. % GSK
pH-Wert		7,8	7,9	7,9	7,9
Leitfähigkeit	$\mu\text{S/cm}$	615	470	570	620
DOC	mg/l	32	27	26	42
N_t	%	0,15	0,30	0,40	0,60
$\text{NH}_4\text{-N}$	mg/l	0,2	0,02	0,3	0,5
$\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l	1,4	0,6	9,0	8,9
C_t	%	5,1	6,0	8,0	8,9
C/N		34,0	20,0	20,0	14,8
P_t	mg/100g	84	92	260	270
K_t	mg/100g	570	520	410	400
N_t Aufgebracht	kg/ha	0	2258	4517	3805
P_t Aufgebracht	kg/ha	0	3089	6178	684
K_t Aufgebracht	kg/ha	0	588	1176	3649

Die in TABELLE 2 dargestellten Schadstoffgehalte der Kultursubstrate zeigen mit Ausnahme von Kupfer keine Überschreitung der von der Deponieverordnung geforderten Werte für Rekultivierungsschichten. Die leichte Überschreitung der Cu-Werte in den 30 Vol. % KSK- und GSK-Varianten beruhen auf den schon hohen Cu-Gehalten des verwendeten Mineralbodens.

TABELLE 2: Ausgewählte chemische Eigenschaften des Kultursubstrates - Schadstoffgehalte

Parameter	Einheit	0 Vol. % KSK	15 Vol. % KSK	30 Vol. % KSK	30 Vol. % GSK
Pb	mg/kg	44	25	46	56
Cr	mg/kg	45	30	40	58
Cd	mg/kg	0,2	0,2	0,5	0,5
Cu	mg/kg	38	32	110	170
Ni	mg/kg	36	26	32	42
Zn	mg/kg	100	95	260	255
Hg	mg/kg	0,1	0,1	0,2	0,2
Summe PAK	$\mu\text{g/kg}$	2073	3365	2113	2159
Summe PCB 6	$\mu\text{g/kg}$	11	7,3	22	27

TABELLE 3 zeigt die Kenngrößen des Wasserhaushalts. Dabei war zu erkennen, dass mit zunehmendem Anteil Kompost die Feldkapazität (FK) und die nutzbare Feldkapazität (nFK) steigen. Ebenso lagen die Trockenrohdichten (TRD) bei den KSK und GSK-Varianten deutlich unter der TRD des Mineralbodens.

TABELLE 3: Kenngrößen des Wasserhaushalts (n=4)

Parameter	Einheit	0 Vol. % KSK	15 Vol. % KSK	30 Vol. % KSK	30 Vol. % GSK
FK	Vol. %	30,6	37,8	42,5	38,6
PWP	Vol. %	15,0	14,1	14,3	11,8
nFK	Vol. %	15,6	23,7	28,2	26,8
Trockenrohdichte	g/cm ³	1,1	0,6	0,5	0,5

Klärschlammkompost wurde durch aerobe Kompostierung von gleichen Volumenanteilen Klärschlamm (kommunaler Herkunft, anaerob behandelt) mit Strukturmaterial (Grünschnitt, Rinde, Holz) bis zu den Rottegraden IV und V gewonnen (LIEMEN 2013).

3 Ergebnisse

Nachfolgend sind die Trockenmasseerträge, Methanausbeuten und Methanerträge aus der Dissertation LIEMEN (2013) aus Versuchen auf der Kalirückstandshalde Sondershausen aus dem Jahr 2008 dargestellt. Anschließend erfolgt die Darstellung erster Trockenmasseerträge sowie Roh Nährstoff- und Schwermetallgehalte der 1. Ernte der mehrjährigen Blümmischung von der Deponie Erfurt-Schwerborn.

In TABELLE 4 sind die Trockenmasseerträge ausgewählter Pflanzenarten bei 100 cm Mächtigkeit des Kultursubstrates dargestellt. Für alle Kulturen außer Roggen war mit zunehmendem Gehalt an KSK (Vol. %) ein Ertragszuwachs zu verzeichnen. Lediglich beim Roggen fiel der Ertrag von 10,8 t/ha (50 Vol.%) auf 8,1 t/ha (75 Vol. %) ab. Alle Kulturen zeigten einen deutlichen Anstieg der Trockenmasseerträge bei Zumischung von KSK (50 Vol. %) im Vergleich zur Nullvariante.

TABELLE 4: Trockenmasseerträge ausgewählter Pflanzenarten bei 100 cm Mächtigkeit des Kultursubstrates (LIEMEN 2013)

Zumischung KSK [Vol. %]	Roggen	Weizen	Sudangras [t/ha]	Mais	Raps
0 KSK	1,5 ± 0,3	4,2 ± 2,1	0,8 ± 0,3	1,4 ± 0,5	n.b.
50 KSK	10,8 ± 2,0	15,1 ± 1,7	10,8 ± 1,6	9,9 ± 6,7	7,4 ± 1,1
75 KSK	8,1 ± 0,9	16,7 ± 1,6	13,5 ± 2,0	20,3 ± 8,9	8,1 ± 0,8

Die in TABELLE 5 dargestellten Methanausbeuten zeigten innerhalb einer Pflanzenart kaum Unterschiede zwischen den Zumischungsvarianten an KSK. Auch unterscheiden sich die Pflanzenarten untereinander nur gering im Hinblick auf ihre Methanausbeute.

TABELLE 5: Methanausbeute ausgewählter Pflanzenarten bei 100 cm Mächtigkeit des Kultursubstrates (LIEMEN 2013)

Zumischung KSK [Vol. %]	Roggen	Weizen	Sudangras [l/kg oTS]	Mais	Raps
50 KSK	244	265	226	296	241
75 KSK	244	254	224	283	244

TABELLE 6 stellt die unterschiedlichen Methanerträge der Pflanzenarten in Abhängigkeit der Zumischung an KSK im Kultursubstrat dar. Da sich die Methanausbeuten (vgl. TABELLE 5) nur geringfügig unterscheiden, ist der Unterschied in den Methanerträgen hauptsächlich auf die unterschiedlich hohen Trockenmasseerträge (vgl. TABELLE 4) zurückzuführen.

TABELLE 6: Methanerträge ausgewählter Pflanzenarten bei 100 cm Mächtigkeit des Kultursubstrates (LIEMEN 2013)

Zumischung KSK [Vol. %]	Roggen	Weizen	Sudangras [m ³ /ha*a]	Mais	Raps
50 KSK	2272	3753	2208	3510	1592
75 KSK	2032	3935	2733	5291	1765

Erste Ergebnisse der Ertragsmessung auf der Deponie Erfurt-Schwerborn wurden in TABELLE 7 dargestellt. Die Trockenmasseerträge der 1. Ernte der mehrjährigen Blütmischung zeigten einen Anstieg von der Nullvariante zur 15 Vol. % KSK-Variante. Mit Zunahme des KSK- bzw. GSK-Anteils nimmt der Ertrag wieder ab. Die Ursache ist einerseits den geringen Niederschlägen im Juli/August 2013, andererseits in den hohen Salzgehalten der Kultursubstrate (vgl. TABELLE 1) zu suchen. Durch den hohen Salzgehalt, vor allem in der 30 Vol. % GSK-Variante ist der Anteil sowie die Masse an Sonnenblumen (Hauptertragsbildner im 1. Erntejahr) stark reduziert. Anzumerken hierbei ist jedoch noch, dass die mehrjährige Blütmischung in jeder Parzelle eine unterschiedliche Artenzusammensetzung (%) aufwies.

TABELLE 7: Trockenmasseerträge der mehrjährigen Blütmischung in Abhängigkeit des Kultursubstrates (n=4)

Kultur	0 Vol. % KSK	15 Vol. % KSK	30 Vol. % KSK	30 Vol. % GSK
	[t/ha]			
mehrjährige Blütmischung	0,87 ± 0,14	2,09 ± 0,65	1,89 ± 0,61	0,70 ± 0,27

Die Rohnährstoff und Schwermetallgehalte der mehrjährigen Blümmischung wurden in TABELLE 8 dargestellt. Der Trockensubstanzgehalt (TS) lag je nach Variante zwischen 18,9 und 20,8 %. Mit Zunahme der TS stieg auch der Rohfasergehalt. Die Gesamtphosphor- und Gesamtkaliumgehalte lagen bei 0,34 bis 0,40 % bzw. 3,20 bis 3,96 % und spiegelten damit den Luxuskonsum im Boden wider (vgl. TABELLE 1). Die Schwermetallgehalte der Biomasse lagen unter den in der BioAbfV §4 Abs. 7 festgelegten Werten. Somit ist eine Verwendung in einer Biogasanlage mit anschließender Nutzung der Gärreste als Dünger möglich.

TABELLE 8: Rohnährstoff- und Schwermetallgehalte der mehrjährigen Blümmischung in Abhängigkeit des Kultursubstrates

Parameter	Einheit	0 Vol. % KSK	15 Vol. % KSK	30 Vol. % KSK	30 Vol. % GSK
TS	% OS	18,9	20,1	19,5	20,8
C _t	g/kg OS	392	388	401	395
Kjeldahl-Stickstoff	% OS	2,1	1,8	2,2	2,2
Rohprotein	% OS	13,3	11,5	13,8	13,8
Rohfaser	% OS	19,1	25,0	23,4	25,6
Rohfett	% OS	3,8	3,2	3,9	2,9
P _t	mg/kg OS	3947	3368	3778	3822
K _t	mg/kg OS	31978	39154	37079	39580
Pb	mg/kg OS	3,1	2,5	2,6	2,7
Cr	mg/kg OS	3,5	1,5	1,2	1,2
Cd	mg/kg OS	0,2	0,2	0,2	0,2
Cu	mg/kg OS	19	16	19	19
Ni	mg/kg OS	2,7	1,7	1,6	1,7
Zn	mg/kg OS	69	72	73	81
Hg	mg/kg OS	0,0	0,0	0,0	0,0

4 Zusammenfassung

Der Einsatz von Klärschlammkompost als Rekultivierungsmaterial zeigt eine positive Wirkung auf das Pflanzenwachstum. Durch dessen Einsatz als Mischung mit vorhandenem Mineralboden wird sowohl die Wasserspeicherfähigkeit der Böden, als auch die Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanzen verbessert, was sich in höheren Biomasseerträgen zeigt. Die Sickerwassermengen können dadurch reduziert werden (TAUCHNITZ 2006; LIEMEN 2013). Auch lässt sich durch die Verwendung von Klärschlammkompost ein Phosphorreservoir im Boden schaffen.

In fortführenden Untersuchungen soll neben den ökonomischen und ökologischen Aspekten auch eine ganzheitliche Bilanzierung der Nährstoffe im Kreislauf betrachtet werden.

Gefördert wird dieses Projekt vom Land Thüringen, der Gemes Abfallentsorgung und Recycling GmbH in Schöngleina und der SWE Stadtwirtschaft GmbH / B&R Bioverwertung und Recycling GmbH in Erfurt.

Literatur

BBodSchV (2009): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 36. 1554-1582.

Bernsdorf, S., S. Tauchnitz, F. Liemen und R. Meißner (2008): Eignung von Klärschlammkompost als Rekultivierungsmaterial im Landschaftsbau. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Nr. 55. 1323-1328.

BioAbfV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Bundesgesetzblatt Teil 1. Nr. 65. 2955-2981.

DepV (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 22. 900-950.

Liemen, F. (2013): Eignung von Klärschlammkompost als Rekultivierungsmaterial zum Anbau von Energiepflanzen. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Tauchnitz, S. (2006): Untersuchungen zum Wasserhaushalt und Stickstoffumsatz von Rekultivierungsschichten aus Klärschlammkomposten. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (1991): Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage. Darmstadt: VDLUFA-Verlag.

