

## **Anbau von Biomasse auf Wasserhaushaltsschichten aus Klärschlammkompostgemischen unter dem Aspekt der energetischen Verwertung**

Franziska Liemen<sup>A</sup>, Sabine Bernsdorf<sup>A</sup> und Ralph Meißner<sup>AB</sup>

<sup>A</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Julius-Kühn-Str. 23, 06112 Halle/S.  
[franziska.liemen@landw.uni-halle.de](mailto:franziska.liemen@landw.uni-halle.de)

<sup>B</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Bodenphysik, Dorfstr. 55, 39615 Falkenberg

### **Einleitung und Zielstellung**

Bisherige Arbeiten zum Einsatz von Klärschlammkompost (KSK) als Rekultivierungsmaterial beim Aufbau von Wasserhaushaltsschichten befassten sich mit dem Bodenwasser- und Stoffhaushalt (Bernsdorf und Liemen 2010, Liemen und Bernsdorf 2010). Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, am Beispiel eines dreijährigen Versuchs auf der Kalirückstandshalde Sondershausen Biomasseerträge verschiedener Energiepflanzen bei differenzierten Mächtigkeiten und Mischungsverhältnissen von Wasserhaushaltsschichten zu ermitteln sowie deren Inhaltsstoffe zu analysieren. Die pflanzlichen Inhaltsstoffe und Erträge sind Grundlage für die Berechnung der Biogas- und Methanausbeute. Anhand der für die Vergärung ermittelten wichtigen Nährstoffe wurde die Eignung von KSK als Rekultivierungsmaterial ausgewiesen.

### **Material und Methoden**

Die Versuchsfläche von 3600 m<sup>2</sup> wurde im Juni 2007 auf einem Plateau der Kalirückstandshalde in Sondershausen errichtet. Aufgebaut wurden zwei verschiedene Mächtigkeiten (70 und 100 cm) und Mischungsverhältnisse von KSK mit einem sandigen Boden (SI2/SI3) von 50 und 75 Vol%. Zusätzlich wurde eine Vergleichsvariante aus mineralischem Bodenmaterial angelegt. Somit ergab sich ein Versuchsumfang von 6 Varianten. Auf diesen Flächen wurden je 3 Fruchtfolgen angebaut, die sich unter energetischen Gesichtspunkten eignen:

Senf – Winterweizen - Sommerraps

Winterroggen – Sudangras – Mais

Energiegrasmischung (Knautgras, Rotschwingel, Glatthafer) mit zwei- bis dreimal jährlicher Mahd

In Tabelle 1 sind ausgewählte chemische Eigenschaften der verwendeten KSK-Varianten dargestellt. Die Gesamtstickstoffgehalte (N<sub>t</sub>) stiegen mit zunehmender Kompostbeimengung von 0,02 auf 0,97% an. Es ist anzumerken, dass der Hauptteil des N<sub>t</sub> in organisch gebundener Form vorlag. Weiterhin zeigte sich bei den KSK-Varianten eine gute Nährstoffversorgung der Substrate, die in der Gehaltsklasse E nach VDLUFA (1991) lag.

Es wurden ebenfalls die Schadstoffgehalte des Rekultivierungsmaterials analysiert, die in Tabelle 2 ausgewiesen sind. Die geltenden Grenzwerte nach BBodSchV (1999) wurden eingehalten.

Tabelle 1 Chemische Eigenschaften des Rekultivierungsmaterials - Nährstoffe

| Parameter          | Einheit | Zumischung KSK in Vol% |      |       |
|--------------------|---------|------------------------|------|-------|
|                    |         | 0                      | 50   | 75    |
| pH                 |         | 7,5                    | 7,3  | 7,4   |
| Salzgehalt         | mg/100g | 46,1                   | 105  | 177   |
| OS                 | %       | 0,40                   | 9,30 | 21,60 |
| N <sub>t</sub>     | %       | 0,02                   | 0,51 | 0,97  |
| NH <sub>4</sub> -N | mg/100g | 0,12                   | 1,06 | 1,97  |
| NO <sub>3</sub> -N | mg/100g | 0,07                   | 0,45 | 2,11  |
| C <sub>t</sub>     | %       | 0,23                   | 6,29 | 13,67 |
| C/N                |         | 11,5                   | 12,3 | 14,1  |
| P                  | mg/100g | 1,6                    | 56,0 | 79,1  |
| K                  | mg/100g | 6,4                    | 59,9 | 101,0 |
| Mg                 | mg/100g | 6,4                    | 87,8 | 104,0 |

Tabelle 2 Chemische Eigenschaften des Rekultivierungsmaterials - Schadstoffe

| Parameter       | Einheit  | Zumischung KSK in Vol% |       |      |      |
|-----------------|----------|------------------------|-------|------|------|
|                 |          | 0                      | 50    | 75   | 100  |
| As              | mg/kg    | 5,2                    | 5,3   | 5,2  | 4,4  |
| Ni              | mg/kg    | 33                     | 23    | 29   | 20   |
| Pb              | mg/kg    | 9,5                    | 22    | 18   | 43   |
| Cr              | mg/kg    | 49                     | 48    | 48   | 77   |
| Cu              | mg/kg    | 11                     | 37    | 35   | 87   |
| Cd              | mg/kg    | <0,1                   | 0,18  | 0,17 | 0,5  |
| Hg              | mg/kg    | 0,01                   | 0,047 | 0,05 | 0,21 |
| Zn              | mg/kg    | 86                     | 150   | 170  | 310  |
| Summe PCB       | mg/kg    | n.n.                   |       | n.n  |      |
| Summe PCDD/PCDF | ng TE/kg | 0,1                    |       | 10   |      |
| Summe PAK       | mg/kg    | 0,06                   |       | 1,89 |      |

Um hinsichtlich des Bodenwasserhaushaltes Aussagen treffen zu können, wurden 48 Sickerwassersammler auf der Versuchsfläche eingebaut, die monatlich sowohl qualitativ als auch quantitativ beprobt wurden. Wichtige untersuchte Parameter waren hierbei der N-Gehalt (NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N), Phosphat, Chlorid, pH-Wert und Leitfähigkeit.

Um eine Eignung der auf KSK angebauten Pflanzen bezüglich der Vergärung nachzuweisen, wurden wichtige pflanzliche Inhaltsstoffe wie Nähr- und Schadstoffe als auch Rohprotein, -fett und -faser untersucht.

## Ergebnisse

### Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität bei organischen Rekultivierungsmaterialien - Vegetationstest

Zur weiteren Charakterisierung des eingesetzten Materials wurden mit Hilfe eines Vegetationstests unter Nutzung von Sonnenblumen die Wasserhaushaltsparameter des Bodens (Feldkapazität - FK und Permanenter Welkepunkt - PWP) bestimmt.

Bei Rekultivierungsmaterialien mit hohen Anteilen an organischer Substanz ist die Anwendung der DIN ISO 11274 durch die gegebene Struktur des Klärschlammkompostes als problematisch zu bewerten. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der ungenügende kapillare Kontakt der hydrophilen grobstrukturierten Bestandteile im Substrat (FREDE et al. 1983).

Zur Durchführung des Vegetationstests wurden drei textuell voneinander abweichende Bodenarten (S, Su2, Su4) mit unterschiedlichen Anteilen an KSK (0, 20, 40, 60 und 80 Vol%) versetzt. Die Wassergehalte bei FK und PWP wurden gravimetrisch bestimmt.

In der Abbildung 1 sind die durch den Vegetationstest ermittelten Ergebnisse beispielhaft für die Bodenart S und Zumischungen an KSK dargestellt. Es zeigte sich mit steigender Zumischung von KSK eine deutliche Erhöhung sowohl der FK als auch der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Die nFK ergibt sich rechnerisch aus der Differenz von FK und PWP. Bei einer Zumischung von 60 Vol% KSK war ein Anstieg der FK um 67% zu verzeichnen. Maximale nFK-Werte wurden bei einer Zumischung von 80 Vol% KSK erreicht. Bei Betrachtung der PWP des reinen Sandes, lagen diese bei 6 Vol% und stiegen mit zunehmender Zumischung an KSK bis auf einen Wert von 11 Vol% (80 Vol% KSK) an. Durch die Verwendung von KSK kann die Wasserspeicherefähigkeit von Böden deutlich erhöht werden, dies gilt besonders für die sorptionsschwachen, ton- und schluffarmen Sande.

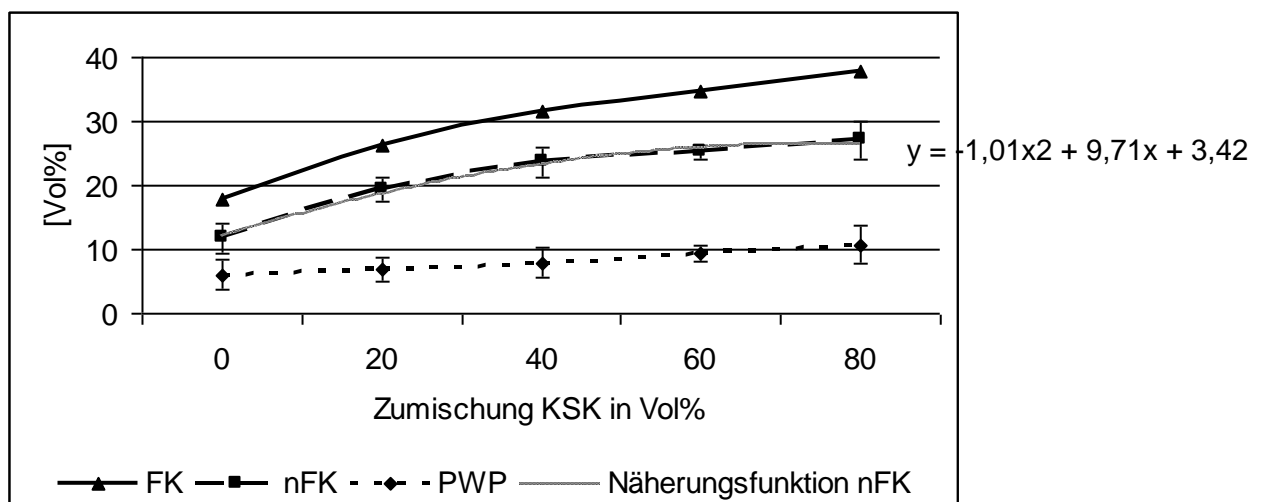


Abbildung 1 Wassergehalte für FK, nFK und PWP bei unterschiedlichen Zumischungen von KSK zu der Bodenart S und Darstellung der Näherungsfunktion

### Sickerwasser

Am Beispiel von Energiegras werden die Nitratstickstoffkonzentrationen im Sickerwasser während des dreijährigen Versuchszeitraumes in Abbildung 2 dargestellt. Anfänglich waren die höchsten Konzentrationen bis 400 mg/l (50 und 75 Vol% Zumischung KSK / 70 cm Mächtigkeit) zu beobachten, die bis zum Versuchsende in allen Varianten auf unter 100 mg/l fielen. Währenddessen verhielten sich die Ammoniumgehalte konträr und erreichten die höchsten Konzentrationen bei einer Schichtmächtigkeit von 100 cm (Daten nicht abgebildet).

Die anfangs hohen N-Auswaschungen konnten durch hohe Gehalte an Stickstoff im Rekultivierungsmaterial erklärt werden. Die Schwankungen der N-Austräge waren begründet in der jahreszeitlichen N-Dynamik aufgrund von Feuchte, Temperatur und Durchlüftung.

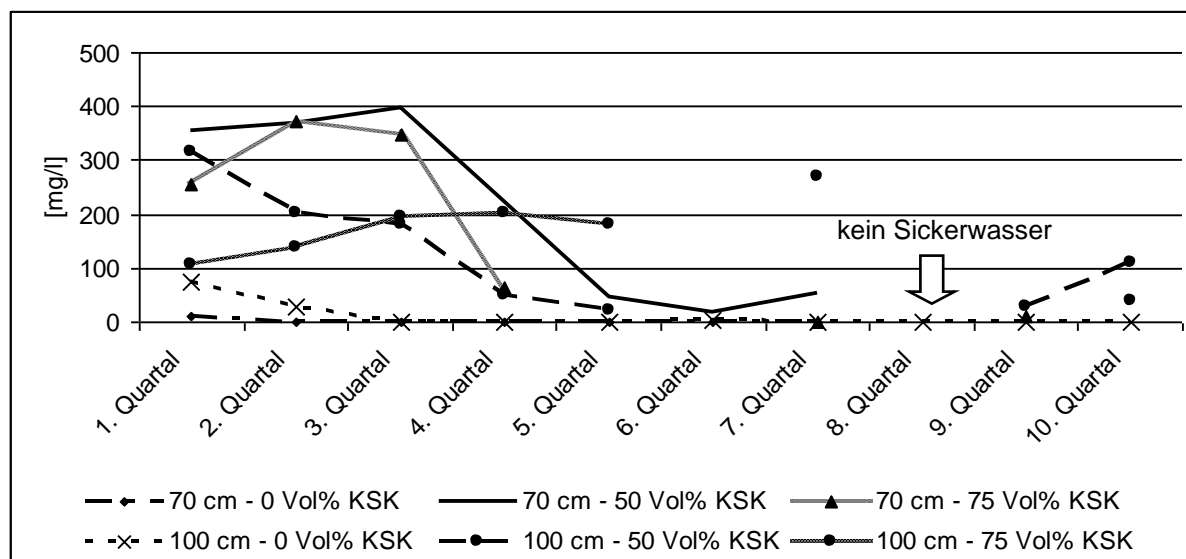


Abbildung 2: Verlauf der NO<sub>3</sub>-N Konzentrationen im Sickerwasser (Energiegras)

Um den Wasserhaushalt von Klärschlammkomposten auf der Kalihalde nicht nur durch praktische Ergebnisse ausweisen zu können, wurden mit dem von DUNGER (2002) entwickelten Deponie- und Wasserhaushaltsmodell BOWAHALD die wesentlichen hydrologischen Prozesse in der wasserungesättigten Wasserhaushaltsschicht simuliert. In Tabelle 3 sind die mittleren Restdurchsickerungsmengen bei Energiegrasbewuchs dargestellt. Es zeigte sich, dass eine Kulturschicht mit KSK-Zumischung wesentlich geringe Sickerwassermengen als die Nullvariante aufweist. Bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 596 mm am Standort Sondershausen tritt ohne KSK-Einsatz bis 142 mm Sickerwasser auf, während sich dieser Wert durch KSK-Beimengung auf maximal 42% reduziert. Es ist festzustellen, dass sich eine Zunahme der Mächtigkeit bei allen Zumischungsvarianten als positiv erweist und zu einer Reduzierung der Durchsickerung führt. Hingegen wirkt sich die höhere Zumischung bei den KSK-Flächen von 75 Vol% kaum aus.

Tabelle 3: Simulierte langjährige mittlere Restdurchsickerungsmengen

| Mächtigkeit    | [cm]   | 70  |    |    | 100 |    |    |
|----------------|--------|-----|----|----|-----|----|----|
|                |        | 0   | 50 | 75 | 0   | 50 | 75 |
| Zumischung KSK | [Vol%] |     |    |    |     |    |    |
| Mittleres Jahr | [mm/a] | 142 | 59 | 54 | 126 | 35 | 31 |

## Biomasse

### Erträge

In Tabelle 4 sind die Frischmasseerträge der angebauten Fruchtarten dargestellt. Es zeigte sich bei allen untersuchten Arten bei Anbau auf KSK eine deutliche Steigerung der Biomasseerträge. Der Einfluss der Mächtigkeit und Zumischungsvariante an KSK war von der Fruchtart abhängig. Grundsätzlich konnte jedoch konstatiert werden, dass eine Schichtmächtigkeit von 100 cm höhere Erträge erkennen ließ. Eine höhere Zumischung an

KSK beeinflusste bei Weizen, Sudangras, Mais und Raps den Ertrag positiv. Sehr deutliche Unterschiede waren gerade bei Mais und Sudangras erkennbar.

Tabelle 4: Frischmasseerträge der angebauten Fruchtarten für unterschiedliche Zumischungsvarianten und Mächtigkeiten

| Mächtigkeit<br>[cm] | Zumischung KSK<br>[Vol%] | [t/ha]     |            |            |            |             |            |     |
|---------------------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----|
|                     |                          | Senf       | Roggen     | Weizen     | Sudangras  | Mais        | Raps       |     |
| 70                  | 0                        | 8,0 ± 0,5  | 4,1 ± 2,4  | 2,4 ± 0,8  | 1,8 ± 1,1  | 4,1 ± 1,1   |            |     |
| 70                  | 50                       | 41,4 ± 1,3 | 22,7 ± 4,8 | 14,0 ± 2,2 | 34,9 ± 2,6 | 32,6 ± 4,8  | 16,5 ± 3,7 |     |
| 70                  | 75                       | 39,0 ± 8,1 | 26,5 ± 0,9 | 16,7 ± 3,2 | 44,8 ± 5,7 | 50,8 ± 10,8 | 18,1 ± 1,5 |     |
| 100                 | 0                        | 8,4        | 4,6        | 4,3 ± 1,0  | 4,9 ± 2,6  | 2,2 ± 0,8   | 4,8        | 2,3 |
| 100                 | 50                       | 42,6 ± 4,0 | 35,5 ± 6,7 | 17,4 ± 1,9 | 36,4 ± 5,7 | 45,9 ± 10,3 | 21,9 ± 2,9 |     |
| 100                 | 75                       | 34,2 ± 4,5 | 26,8 ± 4,5 | 19,0 ± 1,8 | 45,3 ± 8,9 | 59,6 ± 17,3 | 23,2 ± 2,2 |     |

Im Folgenden bezieht sich die Auswertung aufgrund der Vielzahl der erlangten Ergebnisse ausschließlich auf das angebaute Energiegras. Die erzielten Erträge des Energiegrases sind in Abbildung 3 aufgeführt. Durch eine Kompostzumischung konnte der Biomassezuwachs deutlich gesteigert werden. Es zeigte sich eine Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Kulturschicht. Eine Schichtmächtigkeit von 100 cm wirkte sich auf das Pflanzenwachstum aufgrund erhöhter Durchwurzelungstiefe positiv aus. Es wurde 20 t/ha Frischmasseertrag mehr innerhalb von 3 Jahren erzielt. Die Zumischungen von 50 und 75 Vol% lagen in Abhängigkeit von der Mächtigkeit auf einem Ertragsniveau. Ab dem 3. Anbaujahr wurden die Unterschiede deutlicher. Verglichen mit mittleren Erwartungswerten der Literatur nach KTBL (2006) wurden sehr hohe Biomasseerträge erzielt.

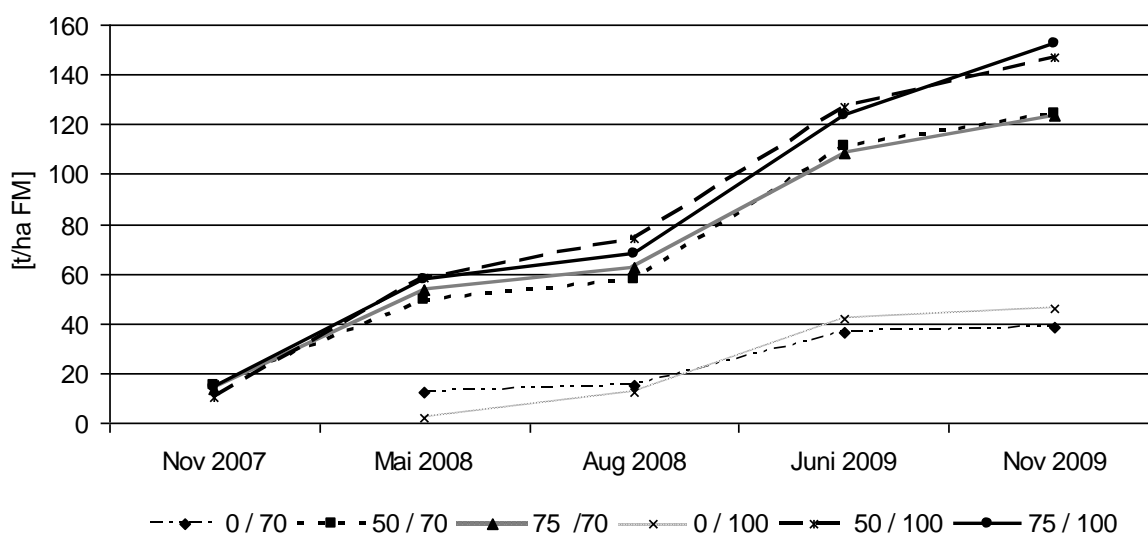


Abbildung 3: Kumulierte Biomasseerträge des Energiegrases für unterschiedliche Zumischungsvarianten und Mächtigkeiten in einem Zeitraum von 3 Jahren

## Inhaltsstoffe

Des Weiteren wurden die Inhaltsstoffe, die für die Vergärung von entscheidender Bedeutung sind, näher betrachtet. In Tabelle 5 sind einige untersuchte Nähr- und Schadstoffparameter ausgewiesen. Es zeigte sich, dass mit zunehmender Kompostbeimengung der Gehalt von Na, Mg, P, S, K und Fe anstieg, während z.B. Ca mit geringfügig abnehmenden Gehalten reagierte. Bei der Betrachtung der Schwermetallgehalte konnte ein Einfluss des KSK bei den

Parametern Fe, Cu, Zn und Pb nachgewiesen werden. Die Gehalte stiegen aufgrund der Zumischung an. Es ist allerdings anzumerken, dass selbst bei der höchsten Zumischung an KSK von 75 Vol% im Vergleich zur Futtermittelverordnung keine hohen Gehalte an Schwermetallen in den Pflanzen zu finden waren. Bei Grünfutter gilt zum Beispiel in der Verordnung für Pb ein Grenzwert von 30 mg/kg.

Tabelle 5: Inhaltsstoffe Energiegras der 100 cm mächtigen Variante

| Parameter          | Einheit | Zumischung KSK [Vol%] |        |        |
|--------------------|---------|-----------------------|--------|--------|
|                    |         | 0                     | 50     | 75     |
| Na                 | mg/kg   | 121                   | 408    | 741    |
| Mg                 | mg/kg   | 1102                  | 1946   | 2146   |
| P                  | mg/kg   | 1571                  | 2272   | 2273   |
| S                  | mg/kg   | 1167                  | 1847   | 1943   |
| K                  | mg/kg   | 18101                 | 25541  | 25775  |
| Ca                 | mg/kg   | 2812                  | 2098   | 2056   |
| NO <sub>3</sub> -N | g/kg    | 0,08                  | 2,93   | 2,77   |
| Fe                 | mg/kg   | 64,15                 | 126,13 | 118,90 |
| Cu                 | mg/kg   | 2,33                  | 5,13   | 5,58   |
| Zn                 | mg/kg   | 13,94                 | 24,79  | 29,97  |
| Cd                 | mg/kg   | 0,04                  | 0,03   | 0,03   |
| Hg                 | mg/kg   | 0,01                  | 0,01   | 0,01   |
| Pb                 | mg/kg   | 0,16                  | 0,33   | 0,22   |

### Biogasausbeute

Die theoretische Biogasausbeute wurde unter Verwendung der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe nach Reifestadium mit Hilfe der Formel von BASERGA (1998), die von KEYMER und SCHILCHER (1999) ausgeführt wurde, berechnet. Es gehen der organische Trockensubstanz-, Rohprotein-, Rohfett-, Rohfasergehalt und die stickstofffreien Extraktstoffe der untersuchten Biomasse ein. Die Verdaulichkeiten wurden der DLG Futterwerttabelle (DLG 2010) entnommen und beziehen sich demzufolge auf Verdauungsvorgänge beim Wiederkäuer. In diversen Literaturangaben wird beschrieben, dass die Verweilzeit im Pansen nur eingeschränkt mit der in der Biogasanlage vergleichbar ist (FNR 2006). Durch eine erhöhte Verweilzeit in der Biogasanlage im Vergleich zu derjenigen im Pansen, kann von deutlich höheren Verdauungskoeffizienten ausgegangen werden. Die theoretische Berechnung gibt folglich ein zu geringes Potential wieder.

Da die Gehalte an Rohasche, -protein, -fett und -faser bei Energiegras im zeitlichen Verlauf eines Jahres in Abhängigkeit vom Schnitttermin schwanken, wurden die Werte auf die jeweiligen Schnittzeitpunkte bezogen. Des Weiteren unterschieden sich die Werte der ersten Ernte 2007 nach dem Aufbau der Kulturschicht aufgrund sehr hoher verfügbarer Nährstoffgehalte enorm von den Folgenden. Aus diesem Grund wurde die erste Ernte 2007 gesondert betrachtet. Der erste Schnitt der Nullvarianten war gekennzeichnet durch die geringsten Rohaschegehalte. Der Vergleich der Zumischungsvarianten zeigte eine Abhängigkeit von der Mächtigkeit, während sich die Zumischung innerhalb einer Mächtigkeit nicht unterschieden. Sehr hohe Rohproteingehalte mit über 20% wiesen die ersten Ernten der Zumischungsvarianten auf, da NH<sub>4</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N in großen Mengen zur Verfügung stand. Die folgenden Schnitte lagen im Durchschnitt 10% niedriger. Es war ein deutlicher Unterschied zwischen den Schnittzeitpunkten zu erkennen. Bei den Zumischungsvarianten

lag der Rohproteingehalt beim ersten Schnitt jeden Jahres um 5% niedriger. Die geringsten Gehalte wiesen mit Abstand die Nullvarianten auf. Es konnte kein deutlicher Unterschied zwischen den Zumischungsverhältnissen und Mächtigkeiten festgestellt werden. Ein ähnliches Verhalten zeigte der Rohfettgehalt. Auch hier wiesen die Nullvarianten die geringsten Gehalte auf. Der erste Schnittzeitpunkt hatte jeweils geringere Rohfettwerte und die KSK-Varianten unterschieden sich nicht aufgrund der Zumischung und der Mächtigkeit. Bezüglich der Rohfasergehalte konnte konstatiert werden, dass der erste Aufwuchs mit den höheren Rohfasergehalten einher ging. Die 70 cm mächtigen Varianten besaßen im Vergleich zur 100 cm Varianten leicht höhere Rohfasergehalte. Ein Unterschied zwischen einer Zumischung von 50 oder 75 Vol% KSK wurde nicht deutlich. Die Nullvarianten besaßen die höchsten Biogas- und Methanausbeuten zum Zeitpunkt des ersten Schnittpunktes. Je geringer der Gehalt an Rohasche in der Biomasse ist, umso höhere Ausbeuten können theoretisch erzielt werden. Da sich die 50 und 75 Vol% Zumischungsvarianten innerhalb der Mächtigkeiten hinsichtlich der Rohnährstoffe nicht unterschieden, konnten auch keine deutlichen Unterscheide zwischen den Biogas- und Methanausbeuten festgestellt werden. Die Ausbeuten bewegten sich in einem Bereich zwischen 426 und 457 l/kg oTS (Biogas) bzw. 252 und 261 l/kg oTS (Methan).

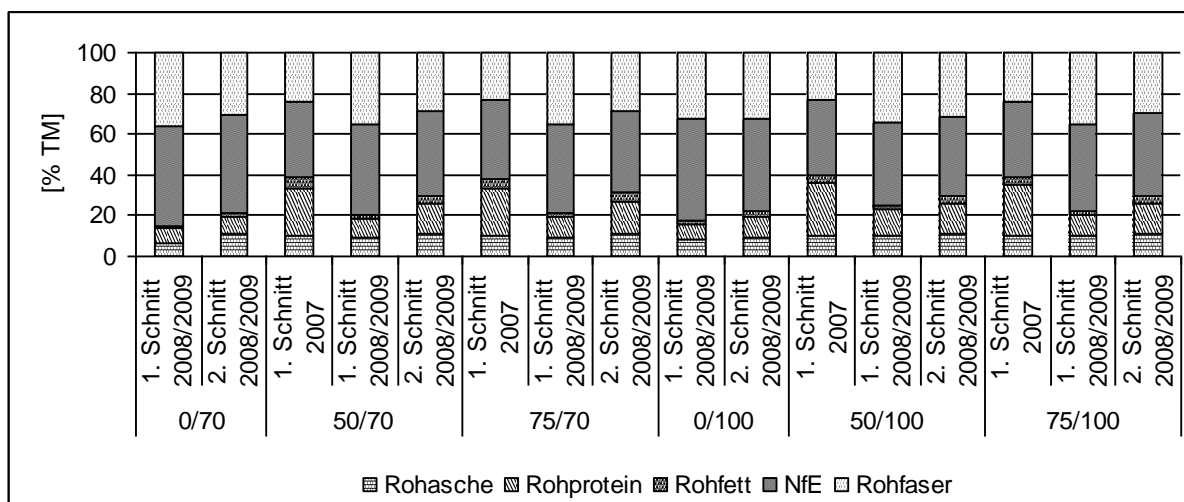


Abbildung 4: Prozentuale Gehalte der Rohnährstoffe des Energiegrases nach Schnittzeitpunkt am Standort Sondershausen

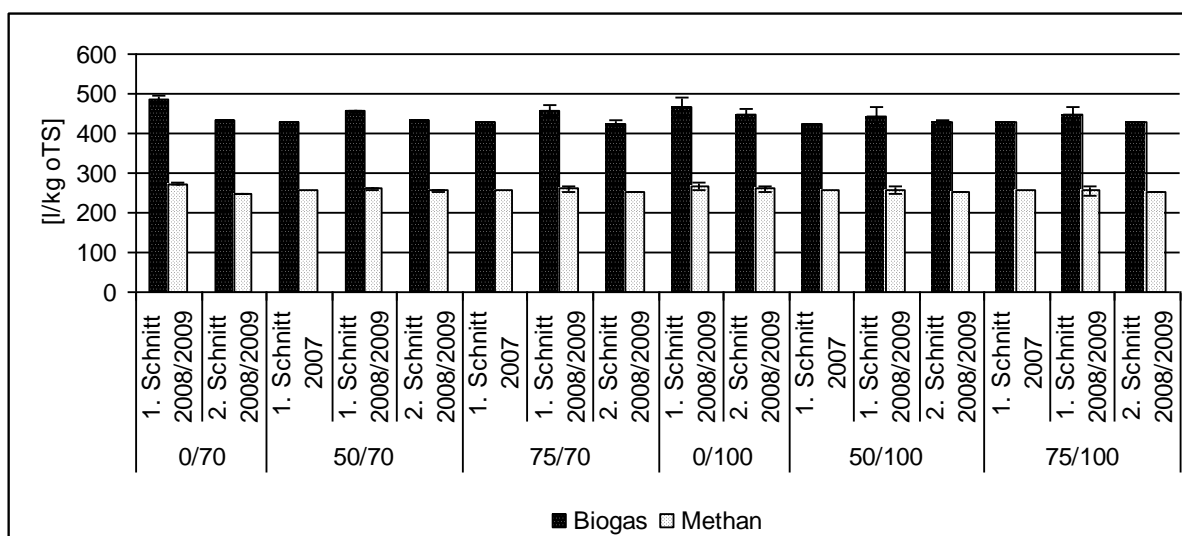


Abbildung 5: Theoretische Biogas- und Methanausbeute [l/kg oTS] nach Schnittzeitpunkt am Standort Sondershausen

Es war zusätzlich möglich, die Biogasausbeuten auf Hektarerträge für die einzelnen Jahre hochzurechnen. Aufgrund enormer Unterschiede in den Ernteerträgen ergaben sich differente Ausbeuten (Abbildung 6). Die Nullvarianten wiesen in den Jahren 2 und 3 die geringsten Biogas- und Methanausbeuten auf. Im ersten Jahr fand ein später Schnitt mit geringem Biomasseaufwuchs auf allen untersuchten Varianten statt. In den folgenden Jahren war ein besseres Wachstum auf den 100 cm mächtigen Varianten zu beobachten, welches sich in einer bis zu 26% Steigerung der Methanausbeute bemerkbar machte (Jahr 3 – 75/100 im Vergleich zu 75/70). Ein deutlicher Ertragszuwachs wurde im Laufe der Jahre erfasst. Innerhalb der Mächtigkeit von 70 cm waren keine Unterschiede auffällig, während eine Steigerung des Zumischungsverhältnisses bei der 100 cm mächtigen Variante im 3. Jahr deutlich höhere Gasausbeuten erzielte.

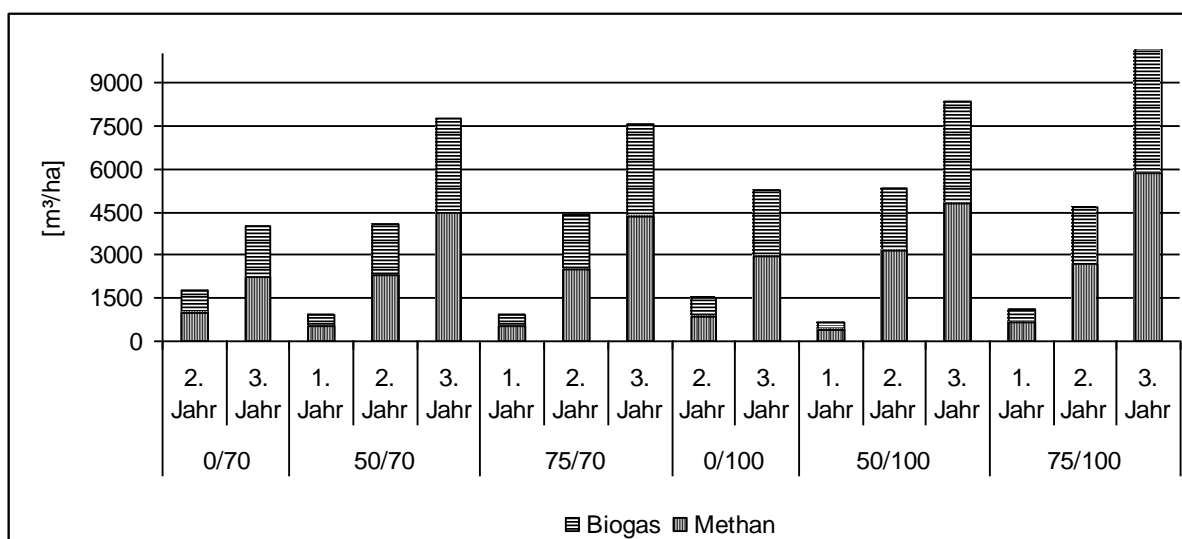


Abbildung 6: Theoretische Biogas- und Methanausbeute [m³/ha] des Energiegrases nach Jahren am Standort Sondershausen

### Makronährstoffverhältnis

Als essentielle Nährstoffe für die an der Methanbildung beteiligten Bakterien gelten N, P und S. Die benötigte Menge ist artspezifisch. Die Bakterien bestehen zu 50% aus C, 11% N, 2%



P und 1% S in der TM (BISCHOFBERGER et al. 2005). Demzufolge ist das C/N und das C:N:P:S Verhältnis der Biomasse von entscheidender Bedeutung für die Vergärung. Das C/N Verhältnis sollte sich zwischen 10 und 30 bewegen, während für das C:N:P:S-Verhältnis 500:15:5:3 angenommen wird (KTBL 2006).

In Tabelle 6 sind die untersuchten C/N-Verhältnisse des Energiegrases dargestellt. Die Nullvarianten zeigten unabhängig von der Mächtigkeit die weitesten C/N-Verhältnisse. Aufgrund hoher Gehalte an verfügbarem N auf den KSK-Varianten im ersten Anbaujahr, lagen auch in der Pflanze hohe Gehalte vor, die sich im C/N-Verhältnis widerspiegelten. Die Zumischungsvarianten in Sondershausen wiesen beim Vergleich der Mittelwerte ähnliche C/N-Verhältnisse im Bereich zwischen 22 und 28 bei Betrachtung des ersten Schnitzeitpunktes 2007-2009 auf. Der zweite Schnitt war gekennzeichnet durch niedrigere C/N-Werte in einem Bereich zwischen 18 und 19. Allen analysierten Biomasseproben der Zumischungsvarianten konnten ein für die Vergärung optimales Verhältnis von C/N unterstellt werden. Bezüglich des C:N:P:S-Verhältnisses unterschieden sich die Zumischungsvarianten kaum. Der zweite Schnitt ging mit höheren S-Gehalten einher. Grundsätzlich konnte das Makronährstoffverhältnis für P als zu niedrig eingestuft werden, während es für den Parameter S in einem noch optimalen Bereich lag.

Tabelle 6: C/N-Verhältnis und C:N:P:S-Verhältnis des Energiegrases über 3 Versuchsjahre

| Mächtigkeit<br>[cm] | KSK<br>[Vol%] |                      | C/N         | C:  | N:         | P:        | S         |
|---------------------|---------------|----------------------|-------------|-----|------------|-----------|-----------|
| 70                  | 0             | 1. Schnitt 2008-2009 | 45,5 ± 18,7 | 500 | 12,0 ± 4,9 | 1,7 ± 0,4 | 1,2 ± 0,1 |
|                     |               | 2. Schnitt 2008-2009 | 33,4 ± 0,1  | 500 | 15,0 ± 0,0 | 2,1 ± 0,6 | 2,0 ± 0,2 |
| 70                  | 50            | 1. Erntetermin 2007  | 10,8        | 500 | 46,3       | 5,2       | 3,7       |
|                     |               | 1. Schnitt 2008-2009 | 28,4 ± 2,9  | 500 | 17,7 ± 1,8 | 2,8 ± 0,2 | 1,8 ± 0,6 |
|                     |               | 2. Schnitt 2008-2009 | 18,8 ± 5,2  | 500 | 27,7 ± 7,6 | 3,1 ± 0,6 | 2,7 ± 0,5 |
| 70                  | 75            | 1. Erntetermin 2007  | 11,6        | 500 | 43,1       | 4,9       | 3,3       |
|                     |               | 1. Schnitt 2008-2009 | 26,2 ± 1,7  | 500 | 19,1 ± 1,2 | 2,9 ± 0,5 | 2,0 ± 0,1 |
|                     |               | 2. Schnitt 2008-2009 | 17,7 ± 3,1  | 500 | 28,6 ± 4,9 | 2,9 ± 0,2 | 2,8 ± 0,4 |
| 100                 | 0             | 1. Schnitt 2008-2009 | 37,9 ± 15,5 | 500 | 14,4 ± 5,9 | 2,3 ± 0,8 | 1,6 ± 0,5 |
|                     |               | 2. Schnitt 2008-2009 | 26,0 ± 3,1  | 500 | 19,4 ± 2,3 | 2,2 ± 0,0 | 2,1 ± 0,1 |
| 100                 | 50            | 1. Erntetermin 2007  | 10,1        | 500 | 49,6       | 5,5       | 3,7       |
|                     |               | 1. Schnitt 2008-2009 | 22,4 ± 6,9  | 500 | 23,4 ± 7,2 | 3,2 ± 1,0 | 2,1 ± 0,2 |
|                     |               | 2. Schnitt 2008-2009 | 18,8 ± 3,1  | 500 | 27,0 ± 4,4 | 3,1 ± 0,3 | 2,8 ± 0,4 |
| 100                 | 75            | 1. Erntetermin 2007  | 10,3        | 500 | 48,5       | 5,9       | 3,6       |
|                     |               | 1. Schnitt 2008-2009 | 26,5 ± 3,9  | 500 | 19,1 ± 2,8 | 3,1 ± 0,9 | 2,1 ± 0,1 |
|                     |               | 2. Schnitt 2008-2009 | 18,4 ± 3,5  | 500 | 27,6 ± 5,2 | 2,8 ± 0,0 | 2,8 ± 0,3 |

## Zusammenfassung

Durch den Einsatz von KSK im Landschaftsbau kann aufgrund der Erhöhung der Wasserspeicherkapazität der Rekultivierungsschichten eine deutliche Abnahme der Sickerwassermengen erreicht werden. Die anfangs mit den Sickerwässern ausgetragenen hohen  $\text{NO}_3\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  Konzentrationen gingen innerhalb eines Zeitraumes von einem Jahr deutlich zurück. Hinsichtlich der auf KSK angebauten Biomasse lässt sich eine Eignung für die Vergärung herausstellen, da relevante Parameter positiv beeinflusst werden. Weiterhin ist durch die hohe Nährstoffzufuhr eine Zunahme der Erträge zu verzeichnen. Die

Biogas- und Methanausbeuten auf den Hektar bezogen von Energiegras liegen im Vergleich zu Literaturangaben auf einem mittleren Niveau. Eine Schichtmächtigkeit von 100 cm lässt sich grundsätzlich als vorteilhaft für das Pflanzenwachstum herausstellen.

KSK stellen in dieser Hinsicht ein geeignetes Material zur Verbesserung der Standorteigenschaften von degradierten Flächen dar, die durch den Anbau von Energiepflanzen ökonomisch bewirtschaftet werden können.

---

Gefördert wird dieses Projekt vom Land Sachsen-Anhalt, der Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH und der GEMES Abfallentsorgung und Recycling GmbH in Schöngleina.

#### Literatur

Baserga U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512 Tänikon, 1 – 11.

Bernsdorf, S., Tauchnitz, S., Liemen F., Meißner, R. (2008). KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Nr. 55, 1323 – 1328.

Bernsdorf, S. und Liemen F. (2010): Anforderungen an den Bewuchs und den Oberboden bei der Gestaltung von Rekultivierungs-/Wasserhaushaltsschichten. Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2010. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt.

Bischofsberger W., Dichtl N., Rosenwinkel K.-H., Seyfried C. F., Böhnke B. (2005): Anaerobtechnik. 2. Auflage. Berlin Heidelberg.

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (1999). BGBl.I, Nr 36, 1554 – 1582.

DLG, Datenbank Futtermittel. Internetangebot. Stand 2010.

Dunger, V. (2002). Dokumentation des Modells BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von wasserungesättigten Deponien/Halden und deren Sicherungssystemen. Nutzerhandbuch, Version 04/2002.

Energiepflanzen - KTBL-Datensammlung mit Internetangebot (2006). ATB Agrartechnik Bornim, Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt und Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Potsdam. Darmstadt.

Frede, H. G.; Gäth, S.; Meyer, B. (1983): Saugspannungs-Wassergehalts-Beziehungen von Sandböden unterschiedlichen Humusgehaltes, erstellt am Drucktopf- und in der Zentrifugemethode. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 38, 85-90.

Keymer, U. und Schilcher A. (2003): Biogasanlagen: Berechnung der Gasausbeute von Kosubstraten. <http://www.ifl.bayern.de/ilb/technik/03029/>.

Liemen, F. und Bernsdorf, S. (2010): Wasserhaushaltsschichten aus Klärschlammkompost im Gemisch mit mineralischem Bodenmaterial zur Rekultivierung von Deponien und Halden sowie erste Erkenntnisse zum Anbau von Nutzpflanzen. Deponiefachtagung Leipzig.

Richtlinie für die Abdeckung und Begrünung von Kalihalden im Freistaat Thüringen –Kali-Halden-Richtlinie (2002). ThürStAnz Nr. 19: 1539 – 1560.

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

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