

Maik Veste^{1,2}, Christian Halke^{1,3}, Daniel Garbe³, Dirk Freese³

Einfluss von Stickstoffdüngung und Kompost auf Photosynthese und Wachstum der Virginiamalve (*Sida hermaphrodita* Rusby)

Effect of nitrogen fertilizer and compost on photosynthesis and growth of Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby)

Zusammenfassung

Als mehrjährige Bioenergiepflanze kann *Sida hermaphrodita* eine wichtige Rolle für den Anbau auf marginalen Standorten in der nahen Zukunft spielen. In einem kontrollierten Topfexperiment wurde der Einfluss von verschiedenen Kompostgehalten (10, 20, 30, 50%) und mineralischem Stickstoffdünger (100 kg N ha⁻¹) auf Biomasse, Wuchshöhe und Kohlenstoffallokation während der Etablierungsphase untersucht. Weiterhin wurden ökophysiologische Parameter (Gaswechsel, Chlorophyllfluoreszenz, Chlorophyllgehalte) mit nicht-destruktiven Methoden bestimmt. Die Ergebnisse des Experimentes zeigen, dass sowohl die Stickstoffdüngung als auch die Kompostgabe positive Effekte für das Wachstumsverhalten hat. Während der Etablierungsphase erreichten die gedüngten Pflanzen eine mittlere Pflanzenhöhe von bis zu 127 cm (maximale Wuchshöhe 168 cm). Die Photosynthese wurde nicht durch die unterschiedlichen Behandlungen beeinflusst. Die mittlere CO₂-Austauschrate variiert zwischen 5,8 und 9,9 μmol m⁻² s⁻¹ und die Elektronentransportrate zwischen 34,5 und 53,9 μmol m⁻² s⁻¹. Die Verwendung von Kompost und Stickstoff ist für eine bessere Biomasseproduktion von *Sida* in marginalen

Böden möglich, auch wenn das Wachstum im ersten Jahr limitiert ist und es negative Rückwirkungen auf die Bestandsetablierung gibt.

Stichwörter: Nachwachsende Rohstoffe, Bioenergie, Biomasse, marginale Standorte, Gaswechsel, Chlorophyll, Düngung

Abstract

As a perennial bioenergy crop *Sida hermaphrodita* can play an important role on marginal lands in the near future. In a controlled pot experiments the influence of various proportions of compost (10, 20, 30, 50%) and nitrogen fertilizer (100 kg N ha⁻¹) on biomass, plant height, and carbon allocation were investigated during the establishment phase. Furthermore, ecophysiological parameters (gas exchange, chlorophyll fluorescence, chlorophyll content,) were determined with non-destructive methods. The results of this experiment demonstrated that nitrogen fertilization and compost application has an overall positive effect on the overall growth performance. During the establishment phase, the fertilized plants reached a

Institut

CEBra – Centrum für Energietechnologie Brandenburg e.V., 03046 Cottbus¹
Universität Hohenheim, Institut für Botanik (210a), Stuttgart²

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, Cottbus³

Kontaktanschrift

Dr. Maik Veste, CEBra – Centrum für Energietechnologie Brandenburg e.V., Friedlieb-Runge-Straße 3, 03046 Cottbus, E-Mail: maik.veste@uni-hohenheim.de

Zur Veröffentlichung angenommen

31. Oktober 2016

mean high of up to 127 cm (maximal plant height up to 168 cm). Photosynthesis was not influenced by the treatments and the mean net CO₂-exchange rates varied between 5,8 and 9,9 μmol m⁻² s⁻¹ and the electron transport rate between 34,5 and 53,9 μmol m⁻² s⁻¹. The application of compost and nitrogen for a better biomass production of *Sida* on marginal soils is possible, however the growth is limited in the first year with negative effects on the establishment of larger crops.

Key words: Renewable resources, bioenergy, biomass, marginal lands, gas exchange, chlorophyll, fertilization

Einleitung

Der steigende Bedarf an Bioenergie hat in den vergangenen Jahren zu einem verstärkten Anbau von Mais geführt. Dabei bieten sich aber auch mehrjährige Arten als neue Bioenergiepflanzen an. Neben der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum*) werden u.a. Chinaschilf (*Miscanthus × giganteus*), Rutenhirse (*Panicum virgatum*) oder Staudenknöteriche (*Fallopia japonica*, *F. × bohemica*, *F. sachalinensis*) in Betracht gezogen (VETTER et al., 2009; VESTE et al., 2011; SCHOO et al., 2016). In jüngerer Zeit rückt zunehmend *Sida* (*Sida hermaphrodita*, Malvaceae) wieder ins Blickfeld für die Verwendung als Bioenergiepflanze (BORKOWSKA und MOLAS, 2012; FRANZARING et al., 2014, 2015). Wie die Durchwachsene Silphie stammt die Virginiamalve ursprünglich auch aus Nordamerika und ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich auf den Nordosten der USA und angrenzende Gebiete Kanadas (SPOONER et al., 1985). Die Staude hat ein weites Anwendungsspektrum. Sie kann als silierbare Futterpflanze Verwendung finden und weist mit 30% in der Trockenmasse vergleichsweise hohe Eiweißgehalte auf (MAREK und CZYZ, 2010). Da die Stängel verholzen und einen hohen Zellulosegehalt aufweisen, hat *Sida* auch hohe Energiegehalte, die mit Pappelholz vergleichbar sind. Somit eignet sie sich vor allem für die Verbrennung (BORKOWSKA et al., 2006), wohingegen die Verwendung als Substrat in Biogasanlagen von untergeordneter Bedeutung ist, da die Methanausbeute als gering angesehen wird (FNR, 2012). In Polen, wo die Pflanze seit 1955 angebaut wird, werden hohe Trockenmasseerträge erzielt, die in Abhängigkeit von den Standort- und Wuchsbedingungen üblicherweise zwischen 9,3 und 20,0 t TM ha⁻¹ a⁻¹ liegen (BORKOWSKA et al., 2006). Dagegen werden in Mecklenburg-Vorpommern in sehr heterogenen Beständen Erträge zwischen 2,5 und 10 t TM ha⁻¹ a⁻¹ (FNR, 2012) und in Litauen zwischen 4,6 und 7,5 t TM ha⁻¹ a⁻¹ erreicht (SIAUDINIS et al., 2015). Für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen werden verstärkt marginale Standorte favorisiert, die für einen ökonomisch-orientierten Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen nicht interessant sind. Gerade in Brandenburg gibt es dafür ein hohes Flächenpotenzial (z.B. Bergbaufolgelandschaften, DILLY et al., 2010), was für eine

umweltgerechte Landnutzung durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen genutzt werden könnte. Da *Sida* als typische Präriepflanze auf nährstoffarmen sandigen und steinigen Böden mit geringen Bodenkohlenstoffgehalten wächst, wäre sie potentiell für diese Flächen geeignet. Der Anbau von mehrjährigen Pflanzen hätte zudem positive Aspekte für die Entwicklung dieser Böden durch die reduzierte Bodenbearbeitung, die Akkumulation von Kohlenstoff und einer geringeren Düngung. Aber die extremen Standortbedingungen stellen eine Herausforderung bei der Etablierung der Pflanzen dar. Das Ausbringen von Kompost verändert auf vielfältige Weise die chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften und fördert so das Pflanzenwachstum (HARGREAVES et al., 2008). Aus diesem Grund sollte der Einfluss von organischem Kompost im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung auf das Wachstum und die Ökophysiologie der Virginiamalve getestet werden, um ein verbessertes Verfahren zur Etablierung zu entwickeln.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Die Verfügbarkeit von qualitätsgerechtem Saatgut in ausreichenden Mengen ist eine Grundvoraussetzung für den großflächigen Anbau von *Sida*. Für die durchgeführten Versuche wurden daher Samen aus Polen beschafft, da dort eine gewisse Samenproduktion erfolgt. Die Jungpflanzen wurden aus Samen angezogen und als einjährige Setzlinge für die Versuche in Standarderde in einem Gewächshaus vorkultiviert.

Gefäßversuche mit Kompost und Stickstoff-Düngung

Die Einzelpflanzen wurden in 5 L-Töpfe transferiert, die mit unterschiedlich gemischten Substraten gefüllt wurden. Ausgangssubstrat war ein gesiebter lehmiger Sand (Textur: 67,7% Sand; 27,0% Schluff und 5,3% Ton). Die Substrate wurden wie folgt gemischt:

- Versuch A: a) Lehmiger Sand, b) Zusatz von mineralischer N-Düngung (100 kg N ha⁻¹), c) 20% Kompost und d) die Kombination 20% Kompost und mineralische N-Düngung (100 kg N ha⁻¹).
- Versuch B: a) Lehmiger Sand und Zusatz von b) 10%, c) 30% und d) 50% Kompost.

Vor Beginn der Versuche wurden die Pflanzen zurückgeschnitten, so dass alle Versuchspflanzen eine einheitliche Größe (10–15 cm) hatten. Die Töpfe wurden unter einem transparenten Dach aufgestellt. Die Wasserversorgung erfolgte mit einer automatischen Tröpfchenbewässerung, die über einen FDR-Sensor (Frequency Domain Reflectometry, SM-200, Delta-T Devices, Cambridge, GB) und einen Datenlogger (GP-1, Delta-T Devices, Cambridge, GB) gesteuert wurde, wodurch eine optimale Wasserversorgung (> 14 Vol.-%) gewährleistet war. Die Ernte der Pflanzen erfolgte nach 112 Tagen (Versuch A:

11. September 2013) bzw. nach 109 Tagen (Versuch B: 06. September 2012). Dabei wurde die gesamte oberirdische Biomasse (Blätter und Stängel) geerntet und bis zur Gewichtskonstanz bei 60°C im Trockenschrank getrocknet.

Netto-Photosynthese

Der CO₂-Gasaustausch von voll entwickelten Blättern wurde am Tag der Ernte mit einem Miniküvetten-System (CMS 400, Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Deutschland, MIDGLEY et al., 1997) gemessen. Die Änderungen der CO₂-Konzentrationen wurden mit einem Infrarot-Gasanalysator (BINOS 100-4P, Fisher-Rosemount, GmbH und Co, Hanau, Deutschland) bestimmt und die Netto-Photosynthese wurde mittels Standardsoftware (DIAGAS Vers. 2.1, Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Deutschland) berechnet und auf die einfache Blattoberfläche bezogen. Die Photonendichte (PPFD) an den Blättern wurde mit Hilfe einer Kaltlichtquelle (Walz GmbH, Effeltrich, Deutschland) über der Lichtsättigung der Photosynthese bei 1000–1100 μmol m⁻² s⁻¹ konstant gehalten, wobei die Lufttemperatur in der Küvette 20°C und der Taupunkt 10°C betrug.

Chlorophyllfluoreszenz

Zusätzlich wurde zur Ermittlung der effektiven Quantenausbeute und der Elektronentransportrate des Photosystems II die Chlorophyllfluoreszenz mit einem PAM-Fluorometer (Mini-PAM, Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Deutschland) bestimmt (Details siehe VESTE et al., 2000). Einzelblätter wurden in eine Blattkammer (Leaf Clip 2030-B) eingeschlossen und zur optimalen Beleuchtung mit einer externen Halogenlampe bestrahlt, sodass die Lichtintensität (PPFD) bei der Messung 1000–1100 μmol m⁻² s⁻¹ betrug. Die PPFD wurde mit einem integrierten PAR-Sensor gemessen. Die Analyse der effektiven Quantenausbeute des linearen Elektronentransports (ΦPSII) erfolgte aus dem Verhältnis der maximalen Fluoreszenz (F'_m) und der Grundfluoreszenz F'_t nach der Formel: ΦPSII = (F'_m - F'_t)/F'_m und die Berechnung der Elektronentransportrate (ETR) nach der Formel ETR = ΦPSII * PPFD * α * f. Für die Lichtabsorption der Blätter α wurde eine Absorption von 84% angenommen und der Faktor für die Lichtverteilung zwischen Photosystem I und II (f) wurde auf 0,5 gesetzt.

Chlorophyll- und Stickstoffgehalt

Der Chlorophyllindex der Blätter, die für die Chlorophyllfluoreszenz-Messungen benutzt wurden, wurde mit einem Chlorophyll-Meter (Yara-N-Tester, Yara International, Dülmen, Deutschland) durch die Messung der Lichttransmission im Wellenlängenbereich von 650 nm (Rot) und 940 nm (Infra-Rot) bestimmt. Die vom Yara-N-Tester ermittelten Chlorophyllgehalte korrelieren mit den Blatt-N-Gehalten und spiegeln die N-Nährstoffversorgung der Blätter wider (KONING et al., 2015). Der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Blätter wurde mit einem CNS Element Analyzer (Vario EL III, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Die gemessenen Netto-CO₂-Austauschraten für Sida liegen im Mittel zwischen 5,8 und 9,9 μmol m⁻² s⁻¹ (Abb. 1) und zeigten in beiden Experimenten keine Abhängigkeit vom Kompostgehalt bzw. der N-Düngung. Untersuchungen von FRANZARING et al. (2014) zeigten in einem Klimakammerversuch mit 12–17 μmol m⁻² s⁻¹ eine höhere Photosyntheseleistung für Sida, während für die Durchwachsene Silphie 6–16 μmol m⁻² s⁻¹ gemessen wurden. Die Autoren gehen aufgrund der höheren stomatären Blatleitfähigkeit auch von einer geringeren Wasserausnutzungseffizienz der Virginiamalve im Vergleich zur Durchwachsenen Silphie aus. Bei dem Hybrid-Staudenknöterich *Igniscum* lag die mittlere Netto-Photosynthese zwischen 3,7 und 9,7 μmol m⁻² s⁻¹ (KONING et al., 2015; MANTOVANI et al., 2014) und war somit mit Sida vergleichbar. Im Vergleich hierzu weisen annuelle Kulturpflanzen deutlich höhere Photosyntheseleistungen auf, so beträgt sie beispielsweise für Sonnenblumen (*Helianthus annuus*) 10–25 μmol m⁻² s⁻¹, für Tomaten (*Lycopersicon esculentum*) 12–24 μmol m⁻² s⁻¹ und für Auberginen (*Solanum melongena*) 18–26 μmol m⁻² s⁻¹ (BRECKLE et al., 2003). Auch die mittlere Elektronentransportrate (ETR) variierte zwischen 34,5 und 53,9 μmol m⁻² s⁻¹, wobei im Versuch A die Blätter der ungedüngten Versuchsvariante die

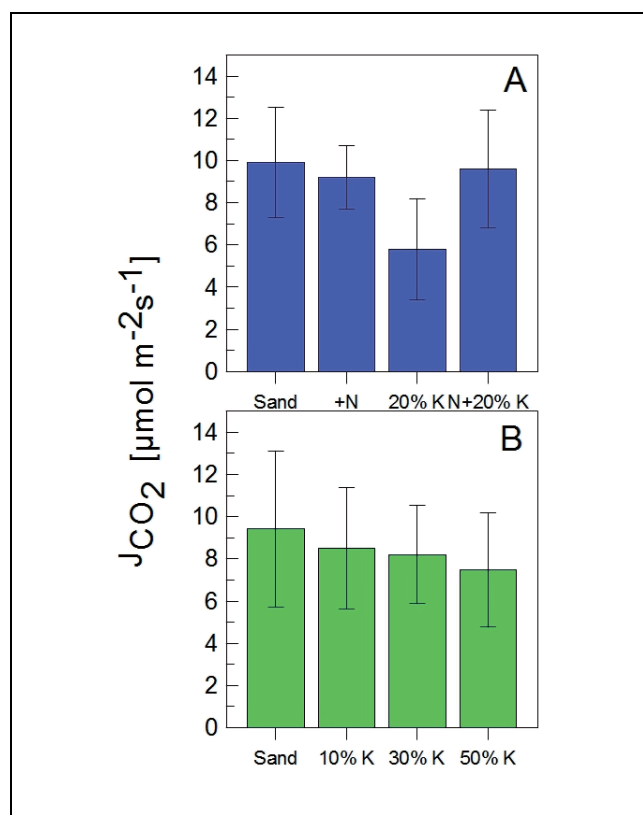


Abb. 1. Netto-CO₂-Austauschraten (J_{CO_2}) in Abhängigkeit von Stickstoffdüngung und Kompostgehalten. Versuch A: Sand (Kontrolle), +N: + 100 kg N ha⁻¹, 20% K: + 20% Kompost, N + 20%K: +100 kg N ha⁻¹ + 20% Kompost, Versuch B: Sand (Kontrolle), +10%, 30%, 50% Kompost.

höchsten Photosyntheseleistungen aufwiesen und im Versuch B eine maximale ETR von $49,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ erreicht wurde. Allerdings bestand innerhalb der Pflanze eine hohe Variation des Chlorophyllgehaltes und der Photosyntheseleistung, die unabhängig von der Boden-N-Versorgung ist (Abb. 2). Allerdings bestand zwischen dem Chlorophyllgehalt der Blätter und der Elektronentransportrate bzw. der Netto-Photosyntheserate ein linearer Zusammenhang (Abb. 3), die zudem vom Blatt-N-Gehalt abhängig war (VESTE et al., 2012; KONING et al., 2015). Im Versuch A wurde ein mittlerer N-Gehalt von 1,65–1,80% gemessen, während FRANZARING et al. (2014) bei anderen Sida-Herkünften 1,20–1,40% ermittelt hatten. Eine Remobilisierung des Blatt-N-Gehaltes während der Blattalterung und ein Anstieg des C:N-Verhältnisses mit Abnahme des SPAD-Wertes konnte bei Sida nachgewiesen werden (FRANZARING et al., 2014). Während eine Wirkung des Komposts und der N-Düngung auf die Photosynthese und den Chlorophyllgehalt in unserem Versuch nicht festgestellt werden konnte, zeigte sich eine deutliche Steigerung des Pflanzenwachstums und der Biomasseproduktion. Im ersten Jahr wurden bis zu drei Stängel je Pflanze gebildet, die eine mittlere Höhe von bis zu 120 cm erreichten (Abb. 4). NABEL et al. (2016) gibt ebenfalls eine mittlere Höhe von 118 cm bei NPK-Düngung an, während FRANZARING et al. (2014) berichtet, dass die Pflanzen im ersten Jahr eine mittlere Höhe von

65–92 cm erreichten und im darauffolgenden Jahr in einem Gartenexperiment Pflanzenhöhen von 213–258 cm aufwiesen. Dabei investieren die Pflanzen ihren Kohlenstoff im oberirdischen Bereich vor allem in den Aufbau der Stängel und nur bedingt in die Blätter (Abb. 5), welche etwa 28–40% der Trockenbiomasse ausmachten. Zudem war auch eine starke Kohlenstoffallokation in das Wurzelsystem zu beobachten. FRANZARING et al. (2014) berechneten, dass rund $\frac{1}{3}$ der Trockenmasse der Gesamtpflanze in das unterirdische Wurzelsystem investiert wurde und 36% in die Stängel, was auch unsere Beobachtungen einer verstärkten Bildung des Wurzelsystems im ersten Jahr bestätigt. Mit der vergrößerten Blattfläche (Abb. 5) ist auch eine höhere Gesamt CO_2 -Aufnahme und Transpiration pro Pflanze verbunden, so dass der Kohlenstoffhaushalt über die Allokation gesteuert wird und weniger über die Photosyntheseleistung der Pflanzen. Diese geringe Biomassebildung im oberirdischen Teil der Pflanze im ersten Jahr hat aber negative Konsequenzen für die Etablierung der Bestände. Zwar werden in der Regel vier Pflanzen pro m^2 gepflanzt, die allerdings in Folge ihrer Wuchsform keine flächendeckenden Bestände ergeben. Somit können verstärkt Beikräuter wachsen und zur starken Konkurrenz für Sida werden. Eine optimale chemische oder mechanische Unkrautbekämpfung ist während dieser Phase eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von geschlossenen Beständen

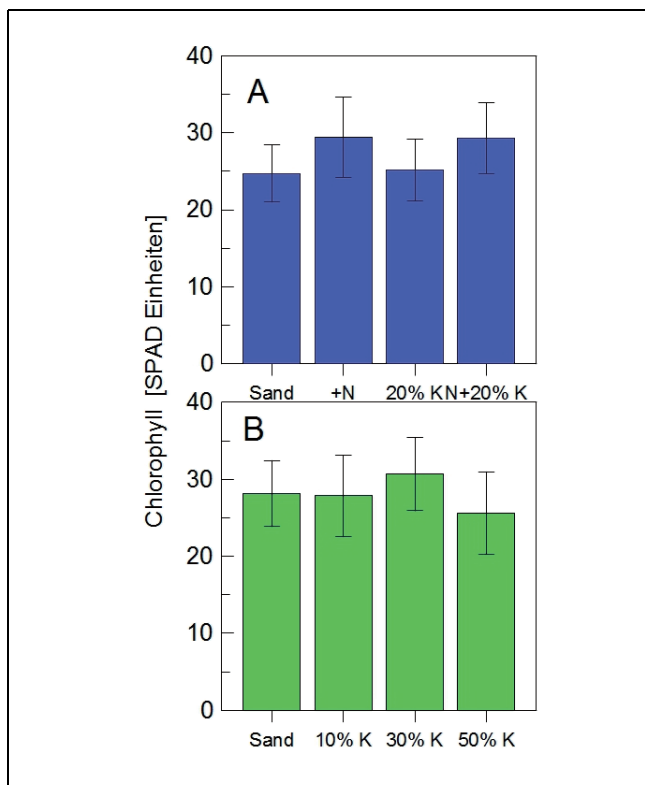


Abb. 2. Chlorophyllgehalte in Abhängigkeit von on Stickstoffdüngung und Kompostgehalten. Versuch A: Sand (Kontrolle), +N: +100 kg N ha^{-1} , 20% K: +20% Kompost, N + 20%K: +100 kg N ha^{-1} + 20% Kompost, Versuch B: Sand (Kontrolle), +10%, 30%, 50% Kompost.

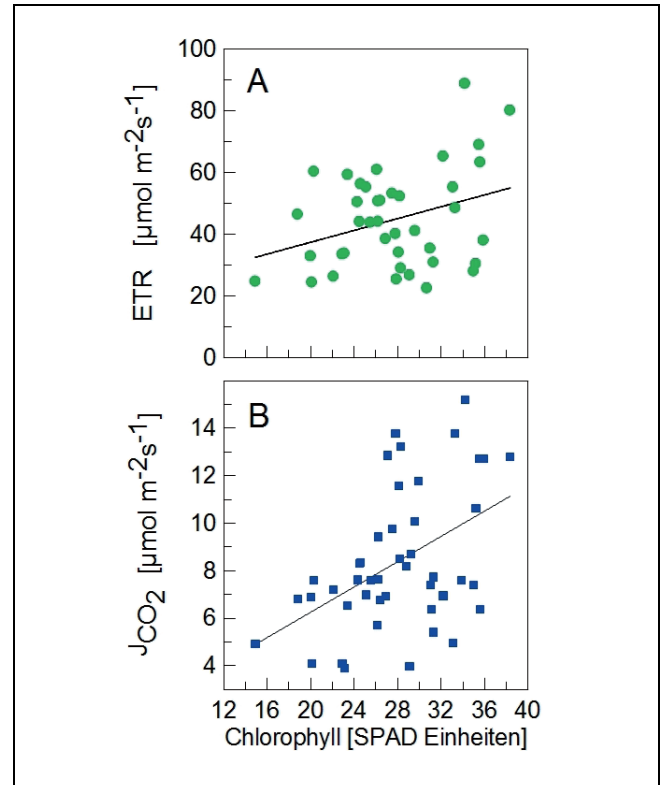


Abb. 3. Korrelation zwischen Chlorophyllgehalte (gemessen mit dem Yara-N-Tester) und (A) Elektronentransportrate (ETR) ($y = 0.959x + 18.25$, $R^2 = 0.106$) und (B) Netto- CO_2 -Austauschrate (J_{CO_2}) ($y = 0.266x + 0.934$, $R^2 = 0.219$).

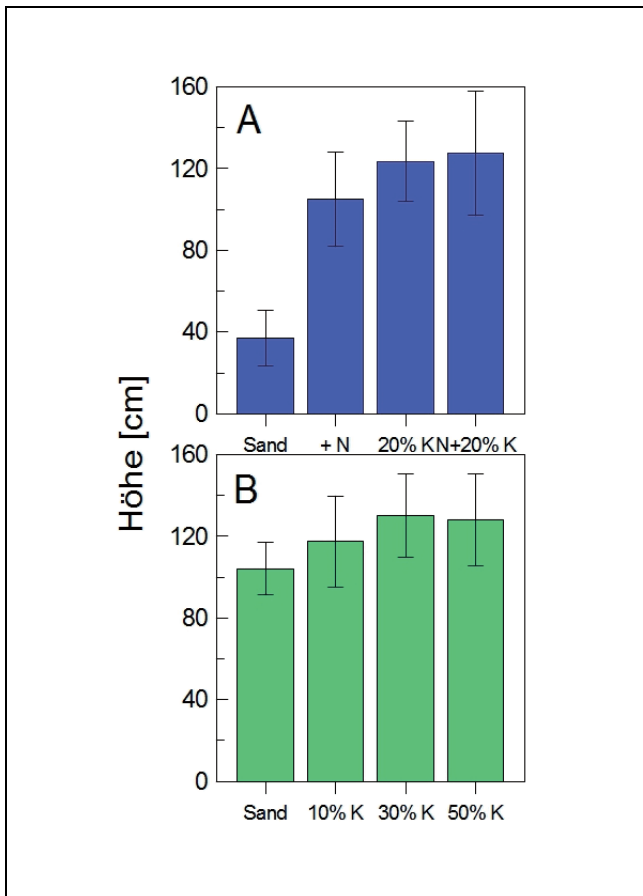


Abb. 4. Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von on Stickstoffdüngung und Kompostgehalten. Versuch A: Sand (Kontrolle), +N: + 100 kg N ha⁻¹, 20% K: + 20% Kompost, N + 20%K: +100 kg N ha⁻¹ + 20% Kompost; Versuch B: Sand (Kontrolle) +10%, 30%, 50% Kompost.

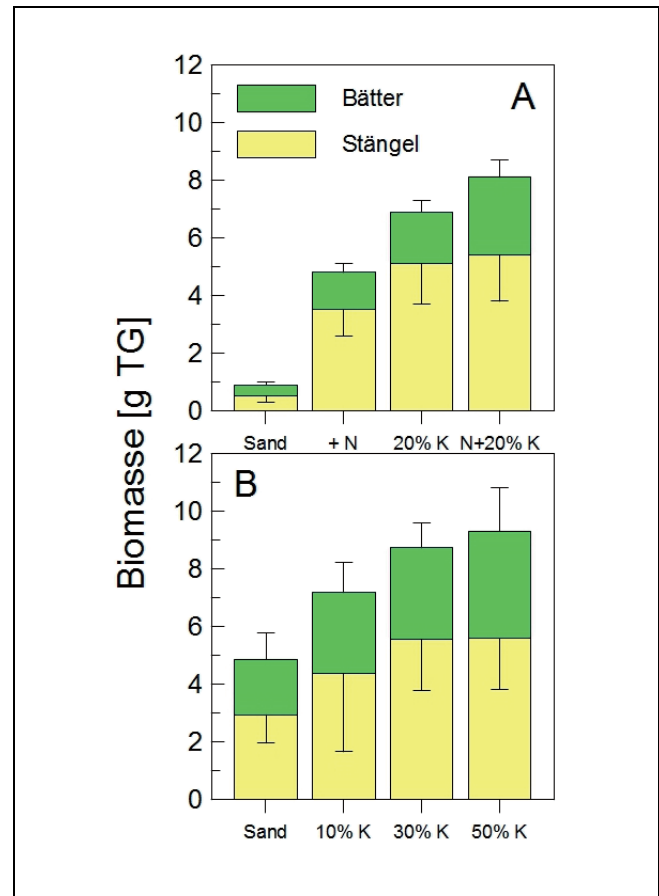


Abb. 5. Trockenbiomasse von Blättern und Stängeln in Abhängigkeit von on Stickstoffdüngung und Kompostgehalten.. Versuch A: Sand (Kontrolle), +N: + 100 kg N ha⁻¹, 20% K: + 20% Kompost, N + 20%K: +100 kg N ha⁻¹ + 20% Kompost, Versuch B: Sand (Kontrolle) +10%, 30%, 50% Kompost.

den. Dagegen können Silphie und *Igniscum* bereits in den ersten Jahren geschlossene Bestände bilden, obwohl auch hier ein regelmäßiger Herbizideinsatz notwendig ist. Dieses geringe Wachstum und die Konkurrenzsituation stellen während der Etablierung ein grundlegendes Problem dar, welches sich aber nicht durch Düngung lösen lässt.

In unseren Experimenten konnte gezeigt werden, dass eine Etablierung von *Sida hermaphrodita* auf nährstoffarmen sandigen Böden durch die Hinzugabe von Kompost und mineralischer N-Düngung möglich ist und deren Wachstum damit deutlich gesteigert wird, wie dies bereits in verschiedenen Kulturexperimenten gezeigt wurde (NGUYEN et al., 2012). Dabei zeigte sich, dass sowohl die Kompostapplikation als auch die mineralische Stickstoffdüngung zu ähnlichen Anstiegen der Biomasseproduktion führten. Die Verwendung von Kompost wäre aber zu bevorzugen, da dadurch auch die Wasserhaltekapazität verbessert wird, was sich wiederum positiv auf die Wasserversorgung und die Wasserausnutzungseffizienz der Pflanzen auswirkt (CELIK et al., 2004; ADAMTEY et al., 2010). Da die im Topfversuch verwendeten sandigen Substrate mit denen der marginalen Standorte vergleichbar sind, können die Ergebnisse bezüglich des Wach-

tums auch auf Freilandflächen übertragen werden (VESTE et al., 2014). Dabei muss allerdings die Konkurrenz mit Unkräutern berücksichtigt werden, da die verbesserten Bodeneigenschaften sich auch positiv auf die Unkräuter auswirken.

Danksagung

Gefördert wurde das Projekt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft für industrielle Forschung (Förderkennzeichen AiF – KF2835401SA1).

Literatur

- ADAMTEY, N., O. COFIE, K.G. OFOSU-BUDU, J. OFOSU-ANIM, K.B. LARYEA, D. FORSTER, 2010: Effect of N-enriched co-compost on transpiration efficiency and water-use efficiency of maize (*Zea mays* L.) under controlled irrigation. *Agricultural Water Management* 97, 995-1005.
- BRECKLE, S.-W., M. HAVERKAMP, A. SCHEFFER, M. VESTE, 2003: Ökologische Optimierung der Wassernutzung bei Bewässerung in ariden Gebieten. *Bielefelder Ökologische Beiträge* 16, 1-110.

- BORKOWSKA, H., R. MOLAS, A. KUPCZYK, 2009: Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) cultivated on light soil; height of yield and biomass productivity. *Polish Journal of Environmental Studies* **18** (4), 563-568.
- BORKOWSKA, H., R. MOLAS, 2012: Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as source for renewable bioenergy. *Biomass and Bioenergy* **36**, 234-240.
- BORKOWSKA, H., R. STYK, R. MOLAS, 2006: Energiepflanze mit hohem Potential. *Erneuerbare Energie* **7**, 76-77.
- CELIK, I., I. ORTAS, S. KILIC, 2004: Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertiliser on some physical properties of a Chromoxerist soil. *Soil Tillage Research* **78** (1), 59-67.
- DILLY, O., S. NII-ANNANG, J. SCHRAUTZER, V. BREUER, E.-M. PFEIFFER, W. GERWIN, W. SCHAAF, D. FREESE, M. VESTE, R.F. HÜTTL, 2010: Ecosystem manipulation and restoration on the basis of long-term conceptions. In: MÜLLER, F.; C. BAESSLER; H. SCHUBERT, S. KLOTZ (eds.), *Long-Term Ecological Research between Theory and Application*, Amsterdam, Springer Science + Business Media, 411-428.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe), 2012: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Gülzow-Prüzen.
- FRANZARING, J., I. SCHMID, L. BÄUERLE, G. GENSHEIMER, F. FANGMEIER, 2014: Investigations on plant functional traits, epidermal structures and the ecophysiology of the novel bioenergy species *Sida hermaphrodita* Rusby and *Silphium perfoliatum* L. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **87**, 36-45.
- FRANZARING, J., I. HOLZ, Z. KAUF, A. FANGMEIER, 2015: Responses of the novel bioenergy plant species *Sida hermaphrodita* Rusby and *Silphium perfoliatum* L. to CO₂ fertilization at different temperatures and water supply. *Biomass and Bioenergy* **81**, 574-583.
- KONING, L.A., M. VESTE, D. FREESE, S. LEBZIEN, 2015: Effects of nitrogen and phosphate fertilization on leaf nutrient content, photosynthesis, and growth of the novel bioenergy crop *Fallopia sachalinensis* cv. 'Igniscum Candy'. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **88**, 22-28.
- HARGREAVES, J.C., M.S. ADL, P.R. WARMAN, 2008: A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **123**, 1-14.
- MANTOVANI, D., M. VESTE, S. GYPSER, C. HALKE, L. KONING, D. FREESE, S. LEBZIEN, 2014: Transpiration and biomass production of the bioenergy crop Giant Knotweed *Igniscum* under various supplies of water and nutrients. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* **62**, 316-323.
- MIDGLEY, G., M. VESTE, D.J. VON WILLERT, G.W. DAVIS, M. STEINBERG, L.W. POWRIE, 1997: Comparative field performance of three different gas exchange systems. *Bothalia* **27** (1), 83-89.
- MAREK, B., H. CZYZ, 2010: Einfluss von Standortbedingungen und agrotechnischen Maßnahmen auf die Entwicklung und Erträge von *Sida* (*Sida hermaphrodita* Rusby). Westpommersche Technologische Universität zu Szczecin. 7 S.
- NABEL, M., D.B.P. BARBOSA, N.D. JABLONOWSKI, 2014: Energy crop (*Sida hermaphrodita*) fertilization using digestate under marginal soil conditions: A dose-response experiment. *Energy Procedia* **59**, 127-133.
- NABEL, M., V.M. TEMPERTON, H. POORTER, A. LÜCKE, N.D. JABLONOWSKI, 2016: Energizing marginal soils – The establishment of the energy crop *Sida hermaphrodita* as dependent on digestate fertilization, NPK, and legume intercropping. *Biomass and Bioenergy* **87**, 9-16.
- NGUYEN, T.-T., S. FUENTES, P. MARSCHNER, 2012: Effects of compost on water availability and gas exchange in tomato during drought and recovery. *Plant, Soil and Environment* **58**, 495-502.
- SCHOO, B., K.P. WITTICH, U. BÖTTCHER, H. KAGE, S. SCHITTENHELM, 2016: Drought tolerance and water-use efficiency of biogas crops: a comparison of cup plant, maize and lucerne-grass. *Journal of Agronomy and Crop Science*. DOI: 10.1111/jac.12173.
- SIAUDINIS, G., A. JASINSKAS, E. SARAUŠKIS, D. STEPONAVICIUS, D. KARCAUSKIEN, I. LAUDANSKIEN, 2015: The assessment of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* Rusby) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) productivity, physico-mechanical properties and energy expenses. *Energy* **93**, 606-612.
- SPOONER, D.M., A.W. CUSICK, G.F. HALL, J.M. BASKIN, 1985: Observations on the distribution and ecology of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby (Malvaceae). *Sida* **11** (2), 215-225.
- VESTE, M., A. BALASUS, J. KERN, W.B. HERPPICH, 2012: Influence of nitrogen fertilization on photosynthesis and leaf nitrogen content of leaves of poplar and willow plants in short rotation plantations. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* **42**, 138.
- VESTE, M., A. BEN-GAL, U. SHANI, 2000: Impact of thermal stress and high vpd on gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Citrus grandis* under desert conditions. *Acta Horticulturae* **531**, 143-149.
- VESTE, M., D. MANTOVANI, L. KONING, S. LEBZIEN, D. FREESE, 2011: Improving nutrient and water use efficiency of *Igniscum* – a new bioenergy crop. *Berichte der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*. DBG, 4p. <http://eprints.dbges.de/739/> (Stand 30. Juni 2016).
- VESTE, M., A. QUINKENSTEIN, D. FREESE, 2014: BioSida – Anbau von *Sida* als neue Kultur für Bioenergie und zur Inwertsetzung degradierter Standorte. Final Technical Report., Cottbus, CE Bra – Centrum für Energietechnologie Brandenburg, 1-35.
- VETTER, A., M. HEIERMANN, T. TOEWS (Hrsg.), 2009: Anbausysteme für Energiepflanzen, Frankfurt/Main, DLG Verlag.