

Volkhard Scholz, Potsdam, Karen Krüger, Güterfelde, und Axel Höhn, Müncheberg

# Umweltverträgliche und energieeffiziente Energiepflanzenproduktion

*Energiepflanzen könnten bald ein fester Bestandteil des Energieträgermixes Deutschlands sein. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass Pflanzenarten verwendet werden, deren Anbau und Nutzung umweltverträglich sind und deren Ertrag an Energie den Aufwand rechtfertigt. Die über einen Zeitraum von sechs Jahren durchgeführten praxisnahen Anbauversuche mit zehn Energiepflanzenarten unter verschiedenen Düngungsregimen zeigen, dass Feldgehölze (Pappeln, Weiden) deutlich weniger umweltbelastende Inhaltsstoffe aufweisen als Knaulgras, Roggen, Hanf und Triticale und zudem zur Schwermetallentlastung des Bodens beitragen.*

Dr.-Ing. Volkhard Scholz ist Mitarbeiter im Institut für Agrartechnik Bornim e. V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim (Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zanke); e-mail: [vscholz@atb-potsdam.de](mailto:vscholz@atb-potsdam.de)  
Dr. agr. Karen Krüger ist Dezernatsleiterin in der Landesanstalt für Landwirtschaft Brandenburg und Dr. rer. nat. Axel Höhn ist Mitarbeiter im Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e. V. Müncheberg

Referierter Beitrag der **LANDTECHNIK**, die Langfassung finden Sie unter **LANDTECHNIK-NET.com**.

## Schlüsselwörter

Energiepflanze, Ertrag, Nährstoff, Schwermetall, Energieertrag

## Keywords

Energy crops, yield, nutrient, heavy metal, energy yield

Literaturhinweise sind unter LT 01304 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

**E**nergiepflanzen tragen sowohl zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bei als auch zur Stabilisierung der Einkommen von Landwirten. Diese Pflanzen, die vorzugsweise auf für die Nahrungsmittelproduktion nicht benötigten Flächen angebaut werden, könnten mittelfristig etwa ein Drittel der aus Biomasse erzeugten Energie liefern und damit immerhin 3% des Primärenergiebedarfs in Deutschland decken. Obwohl es sich um einen erneuerbaren Energieträger handelt, haben Energiepflanzen langfristig nur dann eine Chance, wenn ihr Anbau und ihre Nutzung keine unzulässigen Umweltbelastungen bewirken und der Nettoenergiegewinn pro Flächeneinheit ausreichend hoch ist.

## Methode

Das auf dem Gelände des ATB gelegene Versuchsfeld ist in zehn Langparzellen a 0,25 ha und diese wiederum in jeweils vier Blöcke a 624 m<sup>2</sup> geteilt (siehe Bild auf Seite 123). Block A erhält eine mineralische Grunddüngung und 150 kg N/ha, die Blöcke B und C bekommen eine Holz- und Strohaschegabe sowie jeweils 75 kg N/ha und Block D wird nicht gedüngt. Pflanzenschutzmittel kommen generell nicht zum Einsatz. Als Pflanzung oder Vergasung geeignete Arten angebaut, wobei der Schwerpunkt auf mehrjährige Pflanzen gelegt wird. In den oberen Bodenhorizonten herrschen ein schwachhumoser, -lehmyger Sand und darunter sandiger Lehm vor (Bodenwertzahl ≈ 30). Im Untersuchungszeitraum 1994 bis 1999 betrug die Jahresmitteltemperatur  $9,3 \pm 1,8$  °C und die Niederschlagssumme  $523 \pm 184$  mm/a [1].

## Erträge

Auf den hochgedüngten Flächen (Block A) erreichen Hanf mit 11,8 t<sub>TM</sub>/ha sowie Winterroggen, Knaulgras und Wintertriticale mit 8,5 bis 9,4 t<sub>TM</sub>/ha die höchsten Halmguterträge. Die niedrigsten Erträge weist das ursprünglich vielversprechende Topinamburkraut auf (Bild 1).

Bezogen auf die Stickstoffgabe von 150 kg N/ha (Block A) verringern sich die Erträge

bei 75 kg N/ha (Block B und C) im sechs-jährigen Durchschnitt um lediglich 6% und weisen keine zeitabhängige Tendenz auf. Eine gänzlich unterlassene Düngung (Block D) verursacht einen Ertragsrückgang um etwa 20% bis 40% im sechsten Jahr.

Die Erträge der Feldgehölze (Kurzumtriebsgehölze) weisen eine außerordentliche Spanne auf und werden weniger von der Düngergabe als vielmehr von Untersaat und Alter des Bestandes bestimmt. Die Untersaat, als erheblicher Wasser- und Nährstoffkonkurrent, bewirkt eine mittlere Ertrags-einbuße von 10 bis 65%. Abgesehen von der nicht repräsentativen Pappelsorte NE 42, die eine extrem hohe Mortalitätsrate aufweist, beträgt der Ertragsverlust der Pappeln ohne Grasuntersaat bei Nulldüngung (Block D) je nach Rotationsintervall lediglich 1% bis 6% gegenüber der Volldüngung (Block A) [2, 3].

## Umweltrelevante Nährstoffe

Die Stickstoffgehalte (N<sub>t</sub>) der verschiedenen Pflanzenarten weisen eine außerordentliche Spanne auf. Knaulgras, Getreide und Hanf erreichen mit 0,8 bis 1,7% die höchsten mittleren N<sub>t</sub>-Gehalte. Die Gehalte von Gehölzen und Topinamburkraut liegen mit 0,3 bis 0,8% deutlich darunter. Die ermittelten Ergebnisse gestatten die Herstellung einer durch Regressionsanalyse bestätigten Korrelation zwischen Düngung und Stickstoffgehalt der Pflanzen. Eine Stickstoffgabe von 150 kg/ha bewirkt demnach je nach Pflanzenart eine durchschnittliche absolute Zunahme des N<sub>t</sub>-Gehaltes von 0,1 bis 0,3%.

Unter Berücksichtigung des experimentell bestätigten Zusammenhangs zwischen dem Stickstoffgehalt des Brennstoffs und der Bildung von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) bei der Verbrennung [4, 5], bewirkt daher eine Stickstoffgabe von 150 kg/ha im groben Mittel etwa 50 mg/m<sup>3</sup> zusätzliche NO<sub>x</sub>-Emissionen, was bei einem gesetzlichen Grenzwert von 400 mg/m<sup>3</sup> nicht unerheblich ist [6]. Wie mehrjährige Gasmessungen auf den Versuchsfeldern zeigen, werden infolge der Stickstoffdüngung bei 150 kg N/ha außerdem jährlich bis zu 100 mg/m<sup>2</sup> zusätzliches Lachgas (N<sub>2</sub>O) im Boden freigesetzt [7], das bis zu 20% der anrechenbaren Gesamtemission klimawirksamer Gase bei der Erzeu-

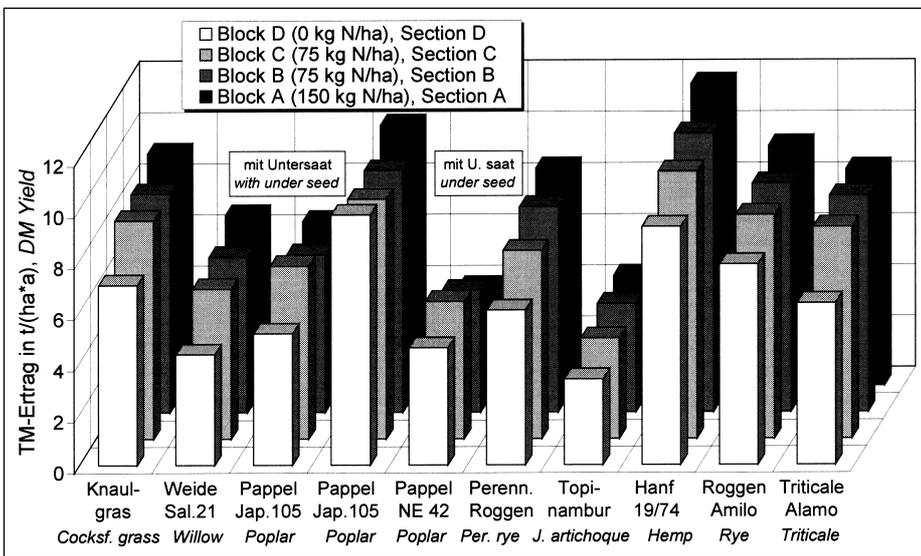


Bild 1: Mehrjähriges Ertragsmittel der untersuchten Energiepflanzen (1994 bis 1999)

Fig. 1: Several years' median yield of the energy crops investigated (1994 to 1999)

gung und Nutzung von pflanzlichen Festbrennstoffen ausmacht [8].

Der Kaliumgehalt (K) von Knautgras, Ganzpflanzengetreide und Hanf weist Werte von  $> 0,85\%$  auf, Pappel und Weide hingegen  $< 0,45\%$ . Hohe Kaliumgehalte führen bei der Verbrennung zu verstärkter Korrosion und Schlackebildung und sind daher unerwünscht. Ähnlich wie bei Stickstoff zeigt sich auch hier ein Zusammenhang zwischen den Gehalten in der Pflanze und im Boden.

Die Gehalte der beiden besonders emissionswirksamen und teilweise hochtoxische Verbindungen verursachenden Mikronährstoffe Schwefel (S) und Chlor (Cl) liegen mit Ausnahme von Knautgras in der Spanne der Literaturangaben [9 bis 14]. Die Wintergetreidearten und Hanf weisen mit  $0,10$  bis  $0,14\%$  S und  $0,08$  bis  $0,16\%$  Cl deutlich höhere Werte auf als die Gehölze ( $\leq 0,08\%$  S und  $\leq 0,01\%$  Cl). Der Schwefelgehalt der Pflanzen ist offenbar auch von der Düngung abhängig. Bei Chlor ist dagegen keine eindeutige Abhängigkeit festzustellen (Bild 2).

### Schwermetalle

Von den in Boden und Pflanze analysierten Schwermetallen interessieren hier vor allem diejenigen, deren Akkumulation durch energiebedingte Immissionen und/oder durch Einträge aus Düngemitteln verursacht wird, nämlich Kadmium, Blei, Kupfer und Zink. Wobei ersteres besonders problematisch ist. Dieses bei der Verbrennung anfallende und in Superphosphat und teilweise auch in Biomasseasche enthaltene Schwermetall ist phytotoxisch und kann zu schweren Gesundheitsschäden führen. Mit mittleren Gehalten von  $1,2$  bis  $2,2$  mg je kg Trockenmasse wird Kadmium (Cd) bevorzugt von Pappeln und Weiden aufgenommen. Ganzpflanzengetreide wie Roggen und Triticale weisen mit  $0,03$  bis  $0,08$  mg/kg<sub>TM</sub> deutlich geringere Gehalte auf.

### Energiegewinn

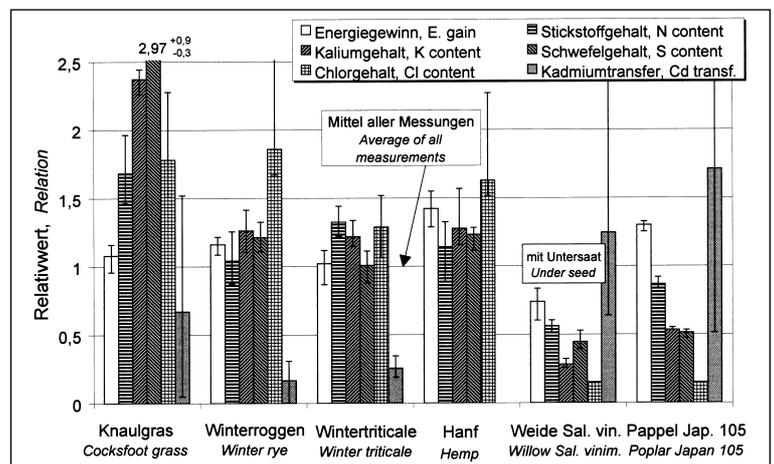
Zur Bestimmung des Energiegewinns müssen Aufwand und Ertrag an Energie ermittelt und gegenübergestellt werden. Die Ermittlung des kumulierten Energieaufwandes (KEA) erfolgt nach einer aufwendigen, bereits früher erläuterten Methode, die zum Beispiel auch den Energieaufwand für die Herstellung von Traktoren und Düngemitteln berücksichtigt [15, 16]. Für Anbau und Ernte der untersuchten Pflanzen beträgt er  $2$  bis  $14$  GJ/(ha·a) je nach Pflanzenart, Ernteintervall, Technologie und Düngergabe.

Der Energieertrag (EE) ist insbesondere von Pflanzenart, Untersaat und Düngung abhängig. Werden die extrem ertragsschwachen Versuchsglieder, wie Topinamburkraut und Feldgehölze mit Untersaat, außer Acht gelassen, so liegt er im Bereich von  $90$  bis  $170$  GJ/(ha·a).

Der jährliche (Netto-) Energiegewinn, der sich aus der Differenz von Aufwand (KEA) zu Ertrag (EE) ergibt, liegt bei Hanf, Pappel (ohne Untersaat), Knautgras und Getreide für alle Düngungsvarianten zwischen  $88$  und  $158$  GJ/(ha·a).

Bild 2: Vergleich energetisch und ökologisch relevanter Parameter von ausgewählten Energiepflanzen

Fig. 2: Comparing energetically and ecologically relevant parameters for selected energy crops



### Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass beim Anbau von Energiepflanzen auf sandigen Böden der Düngemiteinsatz erheblich reduziert und auf Pflanzenschutzmittel meist verzichtet werden kann. Bei einer Verringerung der Stickstoffgabe von  $150$  auf  $75$  kg N/ha verringert sich der Ertrag nur geringfügig. Ohne Düngung fällt er kontinuierlich ab und erreicht nach sechs Jahren etwa  $60$  bis  $80\%$  des entsprechenden Ertrags von  $150$  kg N/ha. Eine Ausnahme bildet Pappel Japan 105 ohne Untersaat, die auch ohne Stickstoffeinsatz hohe Erträge liefert.

Eine Stickstoffgabe von  $150$  kg/ha ist energetisch ineffizient. Nachhaltig hohe Energiegewinne werden auch mit Gaben von  $\leq 75$  kg N/ha realisiert. Mit Ausnahme von Topinamburkraut und Gehölzen mit Untersaat liegen die Nettoenergiegewinne bei reduzierter Stickstoffdüngung im Bereich von  $2800$  bis  $4200$  Liter Öläquivalent pro Hektar und Jahr.

Mit Gehalten von  $\leq 0,8\%$  N,  $\leq 0,4\%$  K,  $\leq 0,08\%$  S und  $\leq 0,01\%$  Cl gehören Pappeln und Weiden zu den Energiepflanzenarten, die bei der Verbrennung die geringsten Emissionen verursachen und ein außerordentlich hohes Akkumulationsvermögen an Schwermetall, insbesondere an Kadmium, aufweisen. Infolge der Konzentrierung der Schwermetalle in der Filterasche kann dadurch selbst bei Rückführung der Rostasche als Düngemittel ein nachhaltiger Beitrag zur Dekontamination des Bodens geleistet werden. Weitere Vorteile von Feldholz sind die Ernte im Winter, die zwischen zwei und zehn Jahren frei wählbaren Ernteintervalle und die Möglichkeit des subventionierten Anbaus auf Stilllegungsflächen. Der entscheidende Vorzug ist jedoch, dass es sich hierbei um einen Brennstoff handelt, für den bewährte emissionsminimierte Feuerungstechnologien bereits zur Verfügung stehen.