

Umweltverträgliche Energie- und Industriepflanzenproduktion

Environmentally friendly production of energy and industrial crops

Dr.-Ing. Volkhard **Scholz**, Institut für Agrartechnik Bornim e.V.,
Prof. Dr. rer. nat. habil. Hans J. **Hellebrand**, Institut für Agrartechnik Bornim e.V.,
Dr. rer. nat. Axel **Höhn**, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung
e.V. Müncheberg

In folgendem Beitrag werden Ergebnisse zum Anbau von zehn für die energetische und stoffliche Nutzung geeigneten Pflanzenarten auf sandigem Boden vorgestellt, wie Pappeln, Weiden, Knautgras, Roggen, Topinambur und Hanf. Über einen Zeitraum von 8 Jahren wurden unter praxisnahen Bedingungen Ertrag und umweltrelevante Stoffe in Pflanzen, Boden und Luft ermittelt. Die Düngung erfolgte jeweils in 4 Varianten von 0 bis 150 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr sowie mit Holz- und Strohasche bzw. mineralischem Grunddünger. Auf Pflanzenschutzmittel wurde gänzlich verzichtet. Die Ergebnisse zeigen, dass für eine effiziente Rohstoffproduktion der Mineraldüngeraufwand reduziert werden kann und dass hinsichtlich umweltrelevanter Inhaltsstoffe und Schadstoffemissionen erhebliche Unterschiede zwischen den Pflanzenarten bestehen.

PROBLEM UND ZIELSTELLUNG

Energie- und Industriepflanzen tragen nicht nur zur Schonung fossiler Rohstoffressourcen bei, sondern können auch einen nicht unerheblichen Beitrag zur Verbesserung der Einkommenslage von Landwirten leisten. Diese Pflanzen, die vorzugsweise auf den für die Nahrungsmittelproduktion nicht benötigten landwirtschaftlichen Flächen angebaut werden, haben langfristig jedoch nur dann eine Chance, wenn ihre Produktion und ihre Nutzung keine unzulässigen Umweltbelastungen bewirken und der Ertrag pro Flächeneinheit ausreichend hoch ist.

Die verschiedenen in Frage kommenden Pflanzenarten unterscheiden sich hinsichtlich Ertrag, Habitus, Schaderregeranfälligkeit, Standortadaptation, Technologie, Erntefeuchte, Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelbedarf etc. Bei der Auswahl geeigneter Arten sind neben pflanzenbaulichen und technologischen Eigenheiten insbe-

sondere auch ökologische Aspekte der Produktion und Nutzung zu berücksichtigen. Dies ist besonders relevant für Pflanzen, die bisher kaum bzw. in anderer Form angebaut und genutzt wurden, wie Ganzpflanzengetreide, Topinambur, Hanf und Feldgehölze. Bisherige Untersuchungen beziehen sich überwiegend auf spezielle Fragestellungen oder ausgewählte Pflanzenarten auf unterschiedlichen Standorten, so dass ein Quervergleich kaum möglich ist. Für die leichten sandigen Böden der Mark Brandenburg liegen mit Ausnahme von *Miscanthus sinensis* bisher noch keinerlei Ergebnisse vor.

In einem mehrjährigen Verbundprojekt des Instituts für Agrartechnik Bornim, der Landesanstalt für Landwirtschaft Brandenburg und des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung wurde daher die ökologische Verträglichkeit beim Anbau verschiedener für energetische und stoffliche Nutzung geeigneter Pflanzenarten unter praxisnahen Bedingungen auf sandigem Boden ermittelt.

MATERIAL UND METHODEN

Das für die Anbauuntersuchungen parzellierte Versuchsfeld befindet sich auf dem Gelände des Instituts für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB) nordwestlich von Potsdam. Mit einer Gesamtfläche von 4,1 ha ist es Teil eines zuvor konventionell genutzten Schlags, der bereits in den zwanziger Jahren bodenkundlich analysiert und beschrieben wurde. Es ist in 10 Langparzellen a 0,25 ha und diese wiederum in jeweils 4 Blöcke a 624 m² geteilt (Bild 1).

Block A erhält im Frühjahr eine mineralische Grunddüngung und 150 kg Stickstoff (N) pro ha, die Blöcke B und C bekommen gleichzeitig eine Holz- und Strohaschegabe sowie jeweils 75 kg N/ha, und Block D wird nicht gedüngt. Als Düngemittel werden 540 bzw. 270 kg/ha Kalkammonsalpeter und 520 kg Kamex-Superphosphat-Gemisch (1:1,1) sowie jeweils 660 kg Rostasche (Grobasche) von einer 4 MW-Holz- und einer 3 MW-Strohfeuerungsanlage verwendet. Pflanzenschutzmittel kommen generell nicht zum Einsatz.

In den oberen Bodenhorizonten herrscht ein schwachhumoser, schwachlehmiger Sand und darunter sandiger Lehm vor (Grundwasserstand 8 m; Bodenwertzahl ca. 30). Im Untersuchungszeitraum 1994 bis 2001 betrug die Jahresmitteltemperatur $9,4 \pm 1,9$ °C und die Niederschlagssumme 552 ± 154 mm a⁻¹.

Als Pflanzen werden für die energetische und stoffliche Nutzung geeignete Arten angebaut, wobei der Schwerpunkt auf perennierende Pflanzen, wie Knaulgras, Weide, Pappel, Miscanthus, mehrjähriger Roggen und Topinambur gelegt wird. Die Auswahl der Sorten erfolgte auf Empfehlung land- und forstwirtschaftlicher Einrichtungen aus dem In- und Ausland (Scholz, Krüger, Höhn et al., 1999).

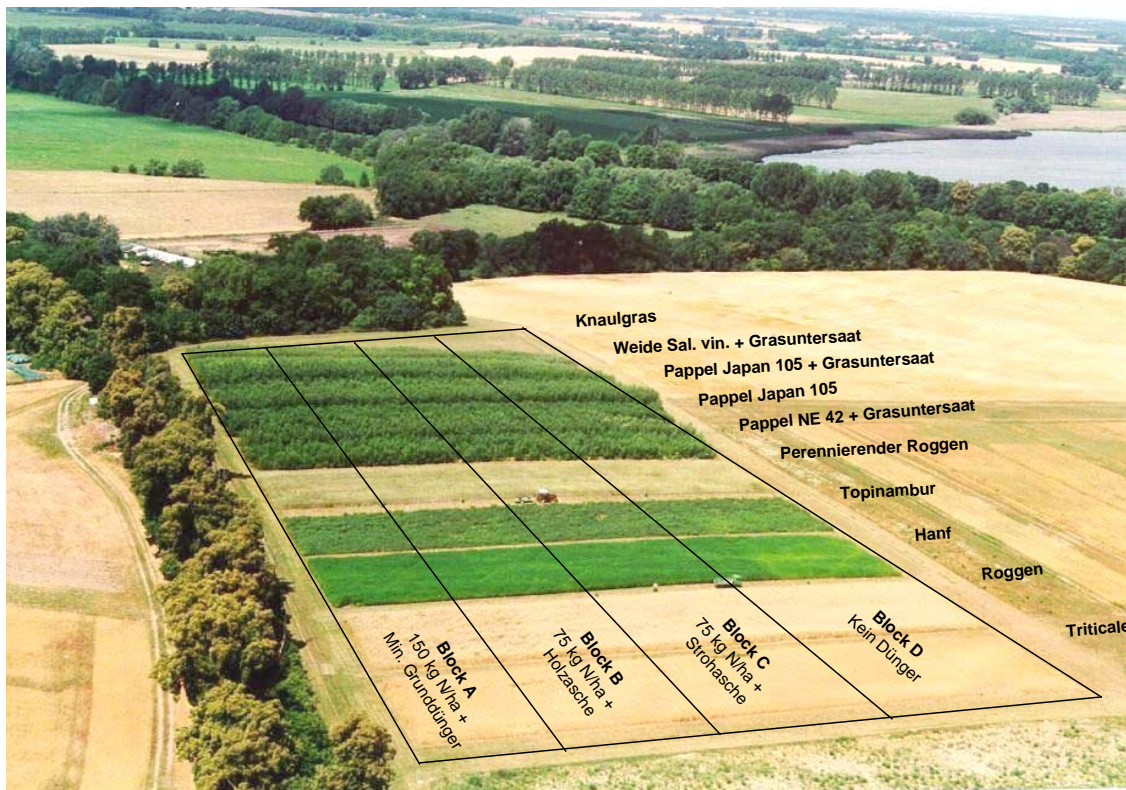


Bild 1: Rohstoffplantage Bornim - Struktur des Versuchsfeldes

Zur Messung der Erträge werden jeweils 5 Flächenstücke a 10 m² geerntet. Die Nährstoffe (N, P, K, S) und der Gehalt von Chlor und Schwermetallen (Cd, Zn, Pb, Cu, Mn, Fe) in Pflanzen, Boden und Düngemitteln sowie die übrigen Bodenparameter werden nach gängigen Methoden bestimmt. Die natürlichen und die durch Düngung induzierten Gasflüsse (N₂O, CH₄, CO₂) zwischen Boden und Atmosphäre werden über Gasflussskammern und gaschromatographischer Konzentrationsbestimmung an 24 Messstellen viermal wöchentlich erfasst (Hellebrand und Scholz, 2000).

ERTRÄGE

Auf den hochgedüngten Flächen (Block A) erreichen Hanf und Pappel ohne Untersaat mit 10,2 bis 11,2 $t_{TM} ha^{-1} a^{-1}$ sowie Winterroggen, Knautgras und Wintertriticale mit 8,4 bis 8,9 $t_{TM} ha^{-1} a^{-1}$ die höchsten Erträge, wobei mit einer die vergleichende Bilanzierung vereinfachenden Einheitsgabe von 150 kg N $ha^{-1} a^{-1}$ nicht in jedem Fall bedarfsgerecht gedüngt wurde. Die niedrigsten Erträge weist das ursprünglich vielversprechende Topinamburkraut auf. Neben dem Kraut können bei dieser Pflanze auch die frostresistenten Knollen für die Fruchtsaftherstellung oder die Insulingewinnung genutzt werden. Allerdings fällt der Ertrag an Kraut und Knollen im Laufe der Jahre erheblich ab (Bild 2).

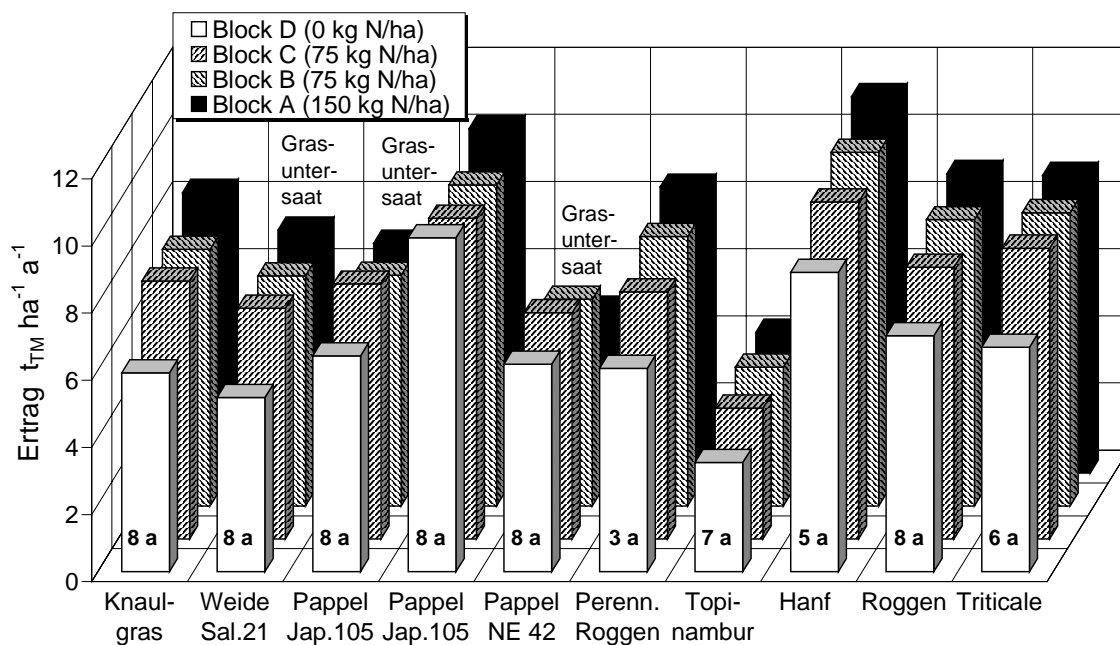


Bild 2: Mehrjähriges Ertragsmittel der untersuchten Rohstoffpflanzen (1994 bis 2001)

Bei 75 kg N $ha^{-1} a^{-1}$ (Block B und C) verringern sich die Erträge im achtjährigen Durchschnitt um lediglich 7 %, bezogen auf die Stickstoffgabe von 150 kg N $ha^{-1} a^{-1}$ (Block A), und zeigen keine zeitabhängige Tendenz. Eine gänzlich unterlassene Düngung (Block D) verursacht einen mehr oder weniger kontinuierlichen Ertragsrückgang auf ca. 40 bis 80 % im 8. Jahr (Bild 3).

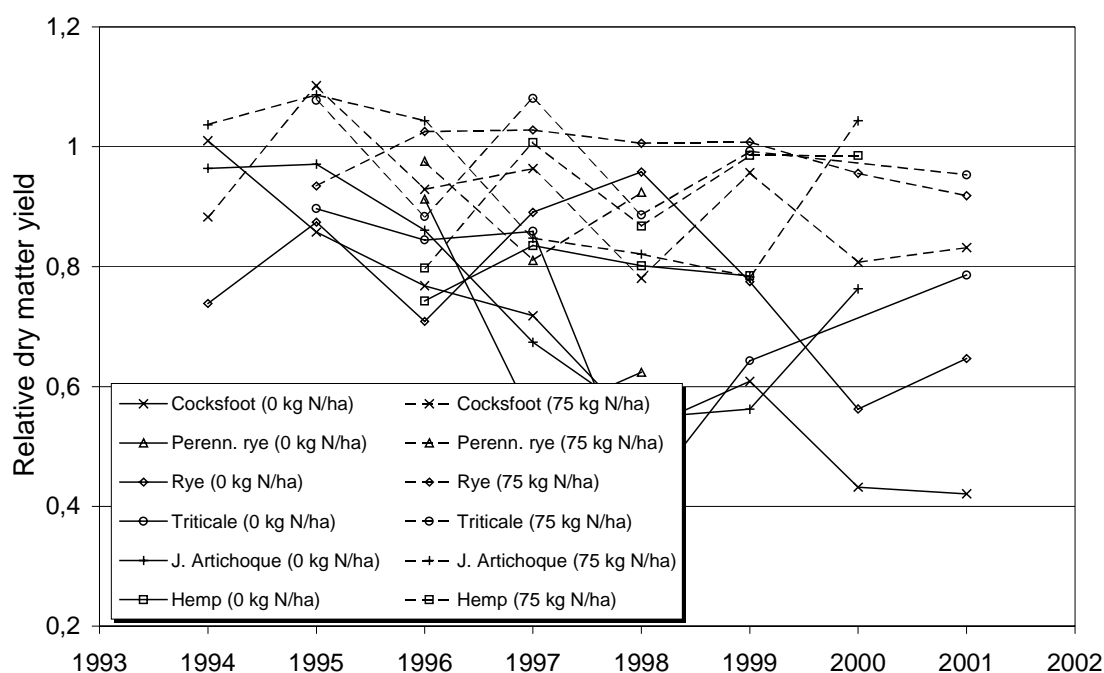


Bild 3: Relativer Ertrag halmgutartiger Rohstoffpflanzen bei reduzierter Stickstoffdüngung

Die Erträge der Feldgehölze (schnellwachsende Baumarten) werden weniger von der Düngergabe als vielmehr von Untersaat, Sorte und Alter des Bestandes bestimmt. Abgesehen von der Pappelsorte NE 42, die eine extrem hohe Mortalitätsrate aufweist, beträgt der Ertragsverlust der Pappeln (ohne Grasuntersaat) bei Nulldüngung (Block D) lediglich 3 % gegenüber der Volldüngung (Block A). Diese Ergebnisse decken sich mit Aussagen in der Literatur, wonach Pappeln auf ursprünglich gut versorgten Ackerflächen zumindest in den ersten Jahren keine Düngung benötigen (Hofman, 1999).

Die Untersaat, als erheblicher Wasser- und Nährstoffkonkurrent, bewirkt bei Pappeln eine mittlere Ertragseinbuße von 10 bis 35 % in den ersten 8 Jahren. Sie kann daher nicht uneingeschränkt empfohlen werden, zumal die ursprüngliche Absicht, die Artenvielfalt zu erhöhen, nicht realisiert wurde, wie Messungen der Universität Potsdam zum Laufkäferbesatz zeigen (Scholz, Krüger, Höhn et al., 1999). Außerdem wird die Untersaat aufgrund des großflächigen Laubes bei Pappeln nach 4 bis 6 Jahren ohnehin unterdrückt.

UMWELTRELEVANTE STOFFE

Stickstoff

Die Stickstoffgehalte (N_t) der verschiedenen Pflanzenarten weisen eine außerordentliche Spanne auf. Knaulgras, Getreide und Hanf erreichen mit 0,9 bis 1,9 % die höchsten mittleren N_t -Gehalte. Die Gehalte von Gehölzen und Topinamburkraut liegen mit 0,4 bis 0,7 % deutlich darunter (Bild 5). Die ermittelten Ergebnisse gestatten die Herstellung einer durch Regressionsanalyse bestätigten Korrelation zwischen Düngung und Stickstoffgehalt der Pflanzen. Eine Stickstoffgabe von 150 kg ha^{-1} bewirkt demnach je nach Pflanzenart eine durchschnittliche absolute Zunahme des N_t -Gehaltes von 0,1 bis 0,3 % (Scholz, Krüger und Höhn, 2001). Unter Berücksichtigung des experimentell bestätigten Zusammenhangs zwischen dem Stickstoffgehalt des Brennstoffs und der Bildung von Stickoxiden (NO_x) bei der Verbrennung [Kaltschmitt und Hartmann, 2001), bewirkt daher eine Stickstoffgabe von 150 kg ha^{-1} im groben Mittel etwa 45 mg m^{-3} zusätzliche NO_x -Emissionen, was bei einem gesetzlichen Grenzwert von 400 mg m^{-3} nicht unerheblich ist.

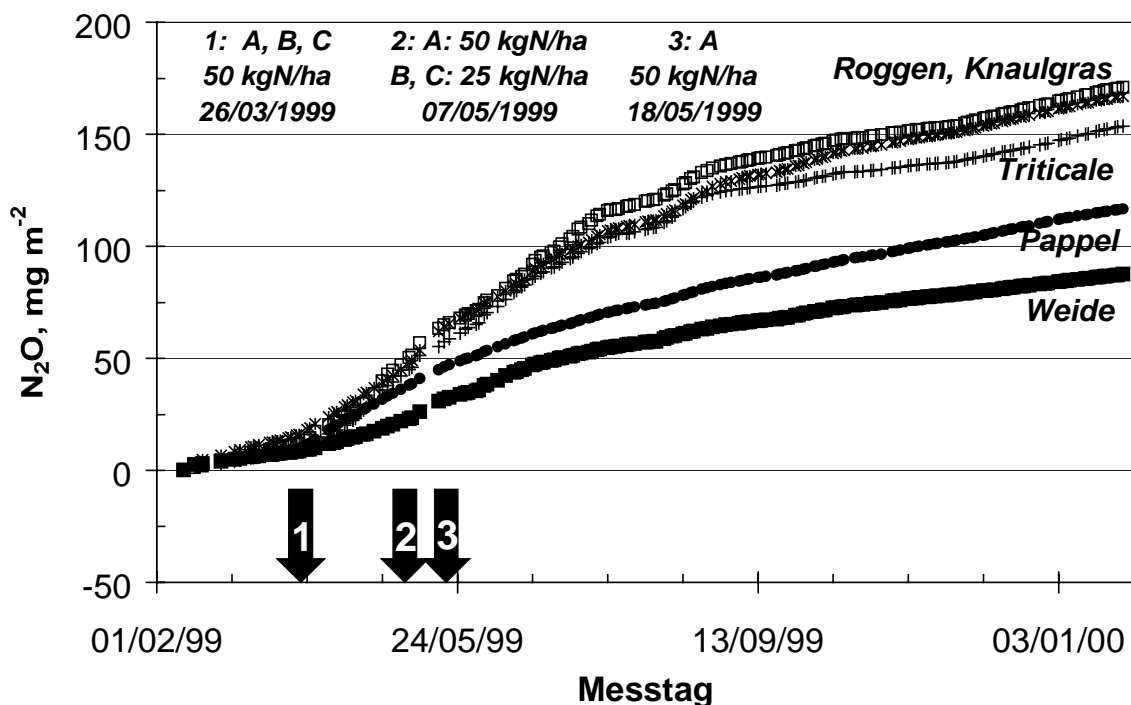


Bild 4: Mittlere akkumulierte Lachgasemissionen beim Anbau von Rohstoffpflanzen (Mittel aller Düngungsvarianten A bis D)

Bei den Umweltwirkungen von Stickstoff muss auch Lachgas (Distickstoffmonoxid N_2O) berücksichtigt werden, das infolge der Denitrifikation (mikrobielle Reduktion von Nitraten zu N_2O) aus dem Boden entweicht und mit einem CO_2 -Äquivalent von ca. 300 extrem klimawirksam ist (Treibhauspotential mit einem Zeithorizont von 100 Jahren). Wie mehrjährige Gasmessungen auf den Versuchsflächen zeigen, liegen die N_2O -Emissionsraten von Gehölzen um etwa 50 bis 80 $mg\ m^{-2}$ unter denen von Gras und Getreide (Hellbrand und Scholz, 2000) (Bild 4).

Die Höhe der Stickstoffgabe hat natürlich ebenfalls Einfluss auf die Lachgasemissionen. Gegenüber der Nulldüngung werden bei 150 $kg\ N\ ha^{-1}$ jährlich ca. 100 $mg\ m^{-2}$ N_2O zusätzlich freigesetzt. Diese Lachgasemissionen entsprechen einem Anteil von etwa 0,5 % des aufgebrauchten Stickstoffs (über alle Pflanzenarten im Mittel von drei Versuchsjahren). Damit liegen die N_2O -Emissionen auf dem untersuchten Standort unter dem vom IPCC (International Panel of Climate Change) empfohlenen Richtwert von 1,25 % als N_2O -N-Emissionsfaktor bei der Kalkulation von Treibhausgasinventuren (Hellebrand, Kern und Scholz, 2003).

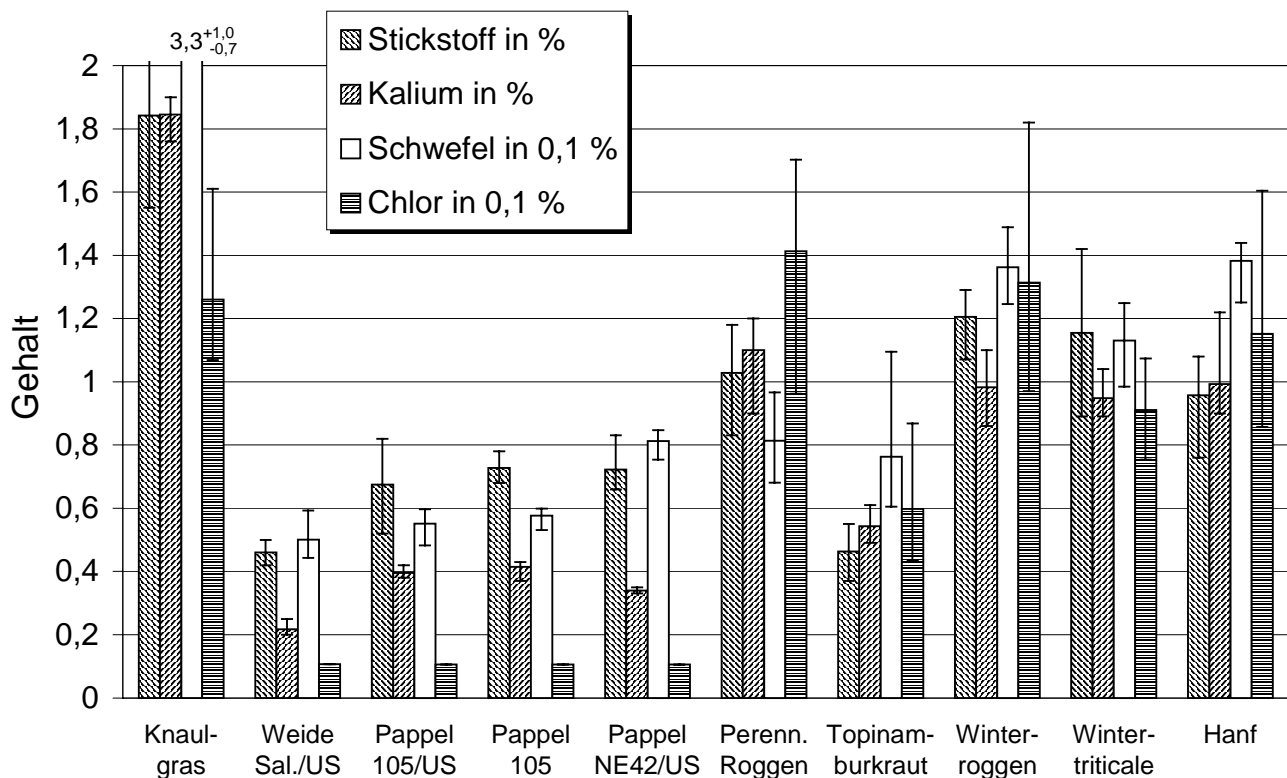


Bild 5: Mittlere Gehalte emissionsrelevanter Nährstoffe in den Pflanzen

Kalium, Schwefel und Chlor

Der Kaliumgehalt (K) von Knautgras, Ganzpflanzengetreide und Hanf weist Werte von $> 0,9\%$ auf, Pappel und Weide hingegen $< 0,5\%$. 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 mittleren Gehalte der bei Verbrennung besonders emissionswirksamen Elemente Schwefel (S \rightarrow SO_2) und Chlor (Cl \rightarrow HCl und Dioxine) liegen mit Ausnahme von Knautgras in der Spanne der Literaturangaben (Maier, J. et al. 1997; Hartmann und Böhm, 2000). Die winterannuellen Getreidearten und Hanf weisen mit $0,11$ bis $0,14\%$ S und $0,09$ bis $0,13\%$ 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.

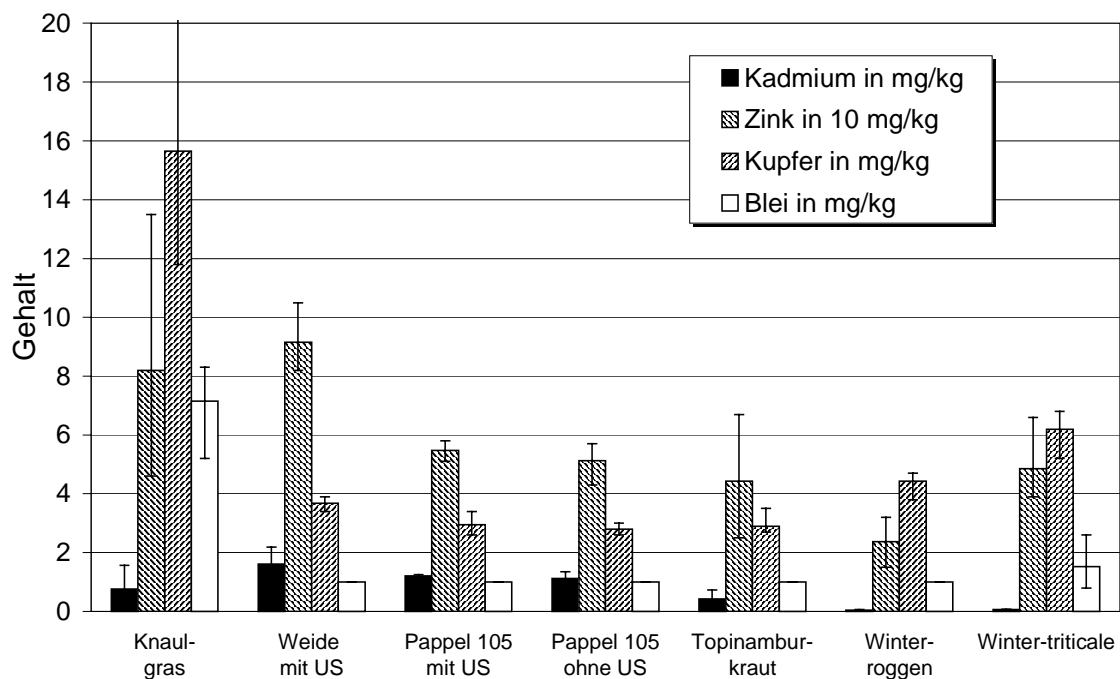


Bild 6: Schwermetallgehalte ausgewählter Pflanzenarten

SCHWERMETALLE

Von den in Boden und Pflanze analysierten Schwermetallen interessieren in diesem Zusammenhang vor allem diejenigen, deren Akkumulation durch energiebedingte Immissionen und/oder durch Einträge aus Düngemitteln verursacht wird, nämlich Kadmium, Blei, Kupfer und Zink. Die beiden Letztgenannten sind vergleichsweise wenig schädlich für Mensch, Tier und Pflanze und ohnehin essentiell, also in bestimmtem Umfang notwendig. Mit Ausnahme von Knaulgras weisen die verschiedenen Pflanzenarten keine erheblichen Unterschiede in den Gehalten an Kupfer und Zink auf. Auch bei Blei gibt es keine wesentlichen Differenzen, zumal die Gehalte auf dem verkehrsfernen Versuchstandort ohnehin an der unteren Nachweisgrenze liegen (Bild 6).

Kadmium ist ebenso wie Blei hochtoxisch und daher durch entsprechende gesetzliche Verordnungen für Düngemittel, Böden, pflanzliche Produkte und Abgase eng limitiert (Scholz und Ellerbrock, 2002). Dieses bei der Verbrennung anfallende und z.B. in Superphosphat 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_{TM}⁻¹ deutlich geringere Gehalte auf und führen daher unter Berücksichtigung aller Ein- und Austräge zu einer Anreicherung dieses Schwermetalls im Boden (Bild 7).

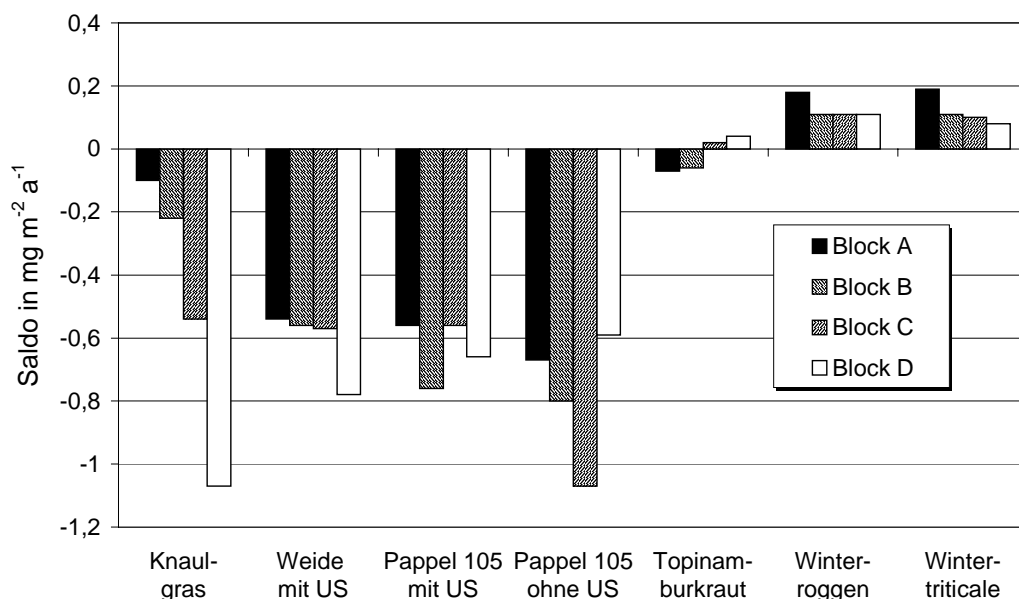


Bild 7: Kadmium-Bilanz ausgewählter Rohstoffpflanzen

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass beim Anbau von Energie- und Industriepflanzen auf sandigen Böden der Düngemiteleinsatz reduziert und auf Pflanzenschutzmittel unter Umständen verzichtet werden kann. Bei einer Verringerung der Stickstoffgabe von 150 auf 75 kg N ha⁻¹ verringert sich der Ertrag nur geringfügig. Ohne Düngung fällt er kontinuierlich ab und erreicht nach 8 Jahren ca. 40 bis 80 % des entsprechenden Ertrags von 150 kg N ha⁻¹. Eine Ausnahme bildet Pappel Japan 105 ohne Untersaat, die sogar ohne Stickstoff hohe Erträge gewährleistet. Bei der stofflichen Nutzung von Halmgütern ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich bei herbizidfreiem Anbau weniger die Menge als vielmehr die Qualität des Erntegutes aufgrund des erhöhten Beikrautbesatzes ändern kann.

Umweltrelevante Inhaltsstoffe und Emissionen der verschiedenen Rohstoffpflanzen weisen eine große Variabilität auf und hängen nicht nur von der Pflanzenart ab, sondern auch von der Produktionstechnologie und der anschließenden Nutzung und Entsorgung. Unter der Voraussetzung dass Produkte aus solchen Pflanzen am Ende ihres Lebensweges verbrannt werden, sind auch bei der stofflichen Nutzung abgasemissionsrelevante Inhaltsstoffe zu berücksichtigen.

Mit mittleren Gehalten von $\leq 0,7$ % Stickstoff, $\leq 0,4$ % Kalium, $\leq 0,08$ % Schwefel und $\leq 0,01$ % Chlor gehören Feldgehölze zu den Pflanzenarten, die die geringsten umweltschädigenden Nährstoffe aufweisen und demzufolge die geringsten Emissionen bei der Verbrennung verursachen. Darüber hinaus bewirken sie während der Vegetation geringere Lachgasemissionen als Gras und Getreide und weisen ein außerordentlich hohes Akkumulationsvermögen an Schwermetall, insbesondere an Kadmium, auf. 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. Technologisch und wirtschaftliche Vorteile von Feldholz sind die Ernte im Winter, die zwischen 2 und 10 Jahren frei wählbaren Ernteintervalle und die Möglichkeit des subventionierten Anbaus auf Stilllegungsflächen.

LITERATUR

- Hartmann, H., Böhm, T. und L. Maier: Naturbelassene Festbrennstoffe – umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Materialien 154, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München 2000
- Hellebrand, H.J., Kern, J. and V. Scholz: Long-term studies on greenhouse gas fluxes during cultivation of energy crops on sandy soil. Atmospheric Environment 37(2003) 1635-1644
- Hellebrand, H.J. und V. Scholz: Bestimmung bodenbürtiger Spurengasflüsse beim Anbau nachwachsender Rohstoffe. Agrartechnische Forschung 6 (2000) Nr. 4, S. 74-77
- Hofmann, M.: Modellvorhaben Schnellwachsende Baumarten. Zusammenfassender Abschlußbericht. In: Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 13, Münster 1999
- Kaltschmitt, M. und H. Hartmann: Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verl. Berlin Heidelberg New York, 2001
- Maier, J. et al.: Anbau von Energiepflanzen – Ganzpflanzengewinnung mit verschiedenen Beermethoden (ein- und mehrjährige Pflanzenarten); Schwachholzverwertung. Abschlußbericht, Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Müllheim 1997
- Scholz, V. and R. Ellerbrock: The growth productivity, and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. BIOMASS & BIOENERGY 23(2002) S. 81-92
- Scholz, V., Krüger, K., Höhn, A. et al.: Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Forschungsbericht des ATB 1999/1, Potsdam-Bornim 1999
- Scholz, V., Krüger, K. und A. Höhn: Umweltverträgliche und energieeffiziente Energiepflanzenproduktion. Agrartechnische Forschung 7(2001) Heft 3, S. 63-71