

Energiepflanzen im Konnex zum Bodenwasser- und Stoffhaushalt

U. SCHINDLER, G. VERCH, M. WOLFF, F. EULENSTEIN und L. MÜLLER

Zusammenfassung

Die Energiefruchtarten und Fruchtartenkombination (Energiewinterweizen, Winterroggen plus Silomais) waren den herkömmlichen Fruchtarten (Winterweizen, Zuckerrübe, Winterraps) im Ertrag und der Effizienz der Wasserausnutzung (WUE) nicht überlegen. Die exotischen Fruchtarten (Sudangras, Steinklee, Zuckerhirse) erbrachten geringere Erträge und waren den regional spezifischen Energiefruchtarten ebenso hinsichtlich Effizienz der Wasserausnutzung unterlegen. Die Effizienz der Wasserausnutzung war zwischen den Böden unterschiedlich. Bei gleichen Fruchtarten war die WUE auf den fruchtbaren Böden (Lehm-Parabraunerde) höher als auf der Braunerde aus grobsandigem Bodenmaterial.

Abstract

Yields and water use efficiency values (WUE) were not different between energy crops (energy corn, energy winter wheat, winter rye plus silage corn) and conventional crops (winter wheat, sugar beet, winter rape). Exotic crops (sudan grass, sweet clover, sugar millet) produced lower yields and had lower water use efficiency values compared with conventional crops. The water use efficiency differed between the soils. For same crops, the WUE was higher at fertile loam soils than at sandy soils.

Einleitung

Bei der Diskussion um den verstärkten Anbau nachwachsende Rohstoffe als Ersatz für die Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern sind folgende Schwerpunkte im Focus. Einerseits soll durch den zunehmenden Ersatz fossiler Energieträger die Versorgungssicherheit

erhöht werden. Andererseits bewirkt eine verstärkte Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen eine Reduzierung der klimarelevanten CO₂-Emission. Hinter einer zunehmenden Konzentrierung des Energiepflanzenanbaus können sich aber auch Risiken für eine Nachhaltigkeit der Landbewirtschaftung ergeben. Hier ist die Wissenschaft aufgefordert Kenntnisse und Grundlagen zu erarbeiten für die Ableitung standortgerechter und nachhaltiger Strategien zum Energiepflanzenanbau unter Berücksichtigung von Boden- und Gewässerschutz und Biodiversität.

Nordostdeutschland ist infolge Niederschlagsarmut gekennzeichnet durch einen angespannten Wasserhaushalt. Der Anbau von Energiepflanzen mit einem hohen Wasserbedarf und geringer Effizienz der Wasserausnutzung ist im Sinne einer nachhaltigen Boden- und Wasserbewirtschaftung in dieser Region nicht empfehlenswert. Im Rahmen dieser Studie war die Beziehung zwischen Ertragsleistung, Wasserbedarf und Effizienz der Wasserausnutzung für herkömmliche Fruchtarten und ausgewählte Energiefruchtarten auf typischen Böden des Nordostdeutschen Tieflandes zu prüfen. Die Ergebnisse sollen eine Grundlage liefern für die Ableitung geeigneter Fruchtarten und Fruchtfolgen beim Energiepflanzenanbau.

Material und Methode

Standort und Lysimeter

Die Untersuchungen erfolgten in der Lysimeteranlage des ZALF in Dedelow in der Uckermark. Die Uckermark ist eine der fruchtbarsten aber auch niederschlagsärmsten Regionen des nord-ostdeutschen Tieflandes. Die Böden bestehen hauptsächlich aus Geschiebelehm im Oberboden und Mergel im Untergrund. Auf Endmoränenrücken im Süden der Uckermark sind daneben auch Bodenbildungen aus sandig-kiesigem Material anzutreffen (ATLAS ZUR GEOLOGIE VON BRANDENBURG, 1991). Moore und Sölle in den Tieflagen der vorwiegend abflusslosen Kleineinzugsgebiete bilden typische Landschaftselemente. Das langjährige Mittel des gemessenen Jahresniederschlags am Standort Dedelow beträgt 530 mm (korrigiert nach ATV-DVWK, 2002). Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,4 °C.

Die Lysimeteranlage besteht aus 32 nicht wägbaren Lysimetern (Grundfläche 1*1m, Tiefe 2 m) und wurde 1989 in Betrieb genommen. Alle Lysimeter wurden mit dem gleichen Boden (Bodentyp Lehm-Parabraunerde (Haplic Luvisol)) befüllt. Detaillierte Informationen zur Konstruktion und zu den Bodeneigenschaften sind bei SCHINDLER et al. (2001) nachzulesen. In 2001 wurde die Lysimeteranlage rekonstruiert.

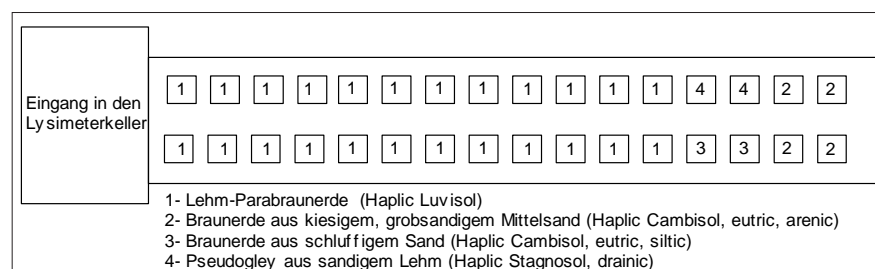


Abbildung 1: Lysimeteranlage Dedelow

Autoren: Dr. Uwe SCHINDLER, G. VERCH, M. WOLFF, Frank EULENSTEIN und Dr. Lothar MÜLLER, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), Institut für Bodenlandschaftsforschung, Eberswalder Str. 84, D-15374 MÜNCHEBERG, uschindler@zalf.de

Zur Erweiterung der Bodenvarianten wurden 8 Lysimeter neu befüllt (*Abbildung 1*).

- 4 Lysimeter Braunerde aus kiesigem, grobsandigem Mittelsand (Haplic Cambisol, eutric, arenic)
- 2 Lysimeter Braunerde aus schluffigem Sand (Haplic Cambisol, eutric, siltic)
- 2 Lysimeter Pseudogley aus sandigem Lehm (Haplic Stagnosol, drainic)

Um Informationen zur bodenhydrologischen Dynamik (Bodenwassergehalt und Saugspannung) im Inneren der Lysimeter zu erhalten wurden ausgewählte Lysimeter mit TDR Sensoren und Tensiometern nachgerüstet.

Wetter und Bewirtschaftung

Die Lysimeterstudie bezieht sich auf den Untersuchungszeitraum von 2001-2006. Die jährlichen Niederschlagshöhen (korrigiert nach ATV-DVWK, 2002) und die Jahresmitteltemperatur sind in *Tabelle 1* für diesen Zeitraum zusammengestellt. Der Jahresniederschlag war danach um etwa 50 mm gemindert gegenüber dem langjährigen Mittel, während die Jahresmitteltemperatur etwa um 0,2°C höher lag. Bis 2004 wurden die Fruchtarten Winterweizen, Zuckerrübe, Winterraps, Sommergerste und Erbse in zwei Fruchtfolgen angebaut. Ab 2005 wurden zusätzlich Energiefruchtarten und Fruchtartenkombinationen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen (*Tabelle 2*). Die Stickstoffdüngung variierte fruchtartenabhängig zwischen 40 kgN ha⁻¹a⁻¹ und 240 kgN ha⁻¹a⁻¹.

Für die nachfolgende Auswertung wurde die Trockenmasse der Gesamtpflanze (Summe aus Haupt und Nebenprodukt) betrachtet.

Tabelle 1: Jahresniederschlagshöhe und Jahresmitteltemperatur am Standort Dedelow von 2001-2006

Jahr	Niederschlagshöhe (mm)	Temperatur (°C)
2001	561	8,5
2002	530	9,1
2003	399	8,5
2004	459	8,5
2005	458	8,6
2006	365 ¹⁾	
Mittel	481 ²⁾	8,6

¹⁾ bis September; ²⁾ 2001-2005

Tabelle 2: Herkömmliche Fruchtarten 2001-2006, Energiefruchtarten 2005-2006 und Stickstoffdüngung

Fruchtarten 2001-2006	kg N ha ⁻¹	Energiefruchtarten 2005-2006	kg N ha ⁻¹
Winterweizen (WW)	120-240	Energiemais EM	160
Zuckerrübe (ZR)	80-100	Energiewinterweizen (EWW)	190
Winterraps (WRa)	150-200	Sonnenblume (SB)	80
Sommergerste (SG)	40-60	Steinklee (STK)	0
Erbse (E) ¹⁾	0	Sudangras (SUG)	220
		Zuckerhirse (ZH)	100
		Winterroggen ²⁾ (WR) + Silomais (SM)	160
		Klee gras (KG)	120

¹⁾ Bis 2003 angebaut, ²⁾ Milchreife

Tabelle 3: Festlegungen zur Ermittlung des Wasserverbrauches für Fruchtarten

Fruchtart	Niederschlag	Bodenspeicher	Sickerwasserabfluss
EM; SB; STK; SUG; ZH	April-September	+	
ZR; KG	April-Oktober	+	
SG; E	April-Juli	+	
WW; WRa	Oktober-Juli	+	-
WR plus SM	Oktober-September		-

Tabelle 4: Ertrag Gesamttrockenmasse in dt ha⁻¹ (Haupt- und Nebenprodukt) für Fruchtarten auf unterschiedlichen Böden

Fruchtart	PB	s	B_S	s	B_uS	s	PG	s	Mittel	s
2001-2004										
herkömmliche Fruchtarten										
WW	158	53	104	30	180	10	74	10	149	26
ZR	204	61	116	22	184	15	177	15	191	28
WRa	206	69	80	44			200	46	186	53
SG	152	55							152	55
E ¹⁾	75	18							75	18
2005-2006										
herkömmliche Fruchtarten										
WW	103	24							103	24
WRa	238	3							238	3
Energiefruchtarten und Fruchtartenkombination										
EM	185	43							185	43
EWW	158	12							158	12
SB	122	18							122	18
STK	68	21	28	4					48	26
SUG	126	12	64	10	73	9	40	37	86	39
ZH	122	46							122	46
WR+SM	200	11	125	9	187	16	163	1	169	32
KG	56	7							56	7

PB Lehm-Parabraunerde; B_S Braunerde aus Grobsand; B_uS Braunerde aus schluffigem Sand; PG Pseudogley; s Standardabweichung; ¹⁾ nur bis 2003

Wasserverbrauch und water use efficiency (WUE)

Der Wasserverbrauch (WB) für die Fruchtart wurde auf die Vegetationsperiode bezogen. Er wurde berechnet unter Berücksichtigung des Niederschlages, des Bodenwasserspeichers und des Sickerwasserabflusses (*Tabelle 3*). Der Bodenwasserspeicher wurde für die Böden bilanziert mit: Lehm-Parabraunerde (170 mm); Braunerde aus Grobsand (60 mm); Braunerde aus schluffigem Sand

(100); Pseudogley (130 mm). Die Water Use Efficiency (WUE) errechnet sich aus dem Wasserverbrauch in Liter je Gramm Trockenmasse (gTRM l⁻¹H₂O).

Stoffauswaschung

Die Stoffauswaschung wurde auf der Basis der Sickerwassermenge und der Stoffkonzentration (Nitrat, Ammonium, Phosphor, Kalzium, Kalium und Magnesium) berechnet. Die Sickerwasseranalyse erfolgte ein Mal monatlich. Bei

Tabelle 5: Sickerwasserabfluss (mm) für Fruchtarten und Böden in den Zeiträumen 2001-2004 und 2005-2006

Fruchtart	PB	s	B_S	s	B_uS	s	PG	s	Mittel	s
2001-2004										
herkömmliche Fruchtarten										
WW	61	45	92	90	49	70	40	30	64	59
ZR	32	27	144	79	60	16	162	72	54	49
WRa	14	43	116	46			79	7	34	32
SG	29	39							29	39
E ¹⁾	44	38							44	38
2005-2006										
herkömmliche Fruchtarten										
WW	14	20							14	20
WRa	62	39							62	39
Energiefruchtarten und Fruchtartenkombination										
EM	27	54							27	54
EW	6	8							6	8
SB	42	42							42	42
STK	43	43	116	19					80	31
SUG	47	48	125	20	61	20	36	52	63	35
ZH	31	32							31	32
WR+SM	27	31	124	6	77	10	104	89	83	34
KG	40	48							40	48
Mittel	39	38	111	43	58	29	77	57	51	41

Tabelle 6: Water Use Efficiency (gTRM l⁻¹H₂O) für Fruchtarten und Böden in den Zeiträumen 2001-2004 und 2005-2006

Fruchtart	PB	s	B_S	s	B_uS	s	PG	s	Mittel	s
2001-2004										
herkömmliche Fruchtarten										
WW	4,9	1,5	4,6	1,6	5,5	1,5	3,0	0,3	4,8	1,2
ZR	4,0	1,5	3,0	0,5	4,5	0,4	3,8	0,3	3,9	0,7
WRa	5,6	1,7	3,0	1,6			6,3	1,3	5,3	1,5
SG	3,1	1,4							3,1	1,4
E ¹⁾	1,5	0,3							1,5	0,3
2005-2006										
herkömmliche Fruchtarten										
WW	3,0	0,8							3,0	0,8
WRa	9,3	1,1							9,3	1,1
Energiefruchtarten und Fruchtartenkombination										
EM	4,0	0,9							4,0	0,9
EW	4,9	0,3							4,9	0,3
SB	2,6	0,4							2,6	0,4
STK	1,5	0,4	0,8	0,1					1,1	0,3
SUG	2,7	0,3	1,8	0,3	1,9	0,2	1,0	0,9	2,0	0,4
ZH	2,7	1,0							2,7	1,0
WR+SM	4,5	0,1	3,6	0,3	4,8	0,3	4,6	1,1	4,4	0,5
KG	1,1	0,1							1,1	0,1

jedem Sickerwasserabfluss wurde aus dem Sickerwasser jeweils ein Aliquot entnommen, eingefroren und die Mischprobe am Monatsende analysiert.

Ergebnis

Ertrag Trockenmasse

Wegen unterschiedlicher Messzeiträume für die Fruchtarten (herkömmliche Fruchtarten 2001-2006, Energiefruchtarten

2005-2006) sind die Ergebnisse auch nur direkt vergleichbar im jeweiligen Zeitraum. Entsprechend wurden in *Tabelle 4-6* die Ergebnisse für gleiche Zeiträume ausgewiesen. Bei vergleichbarer Düngung waren die Erträge auf der Lehm-Parabraunerde (PB) am größten. Insgesamt zeigte sich, dass die regional typischen Energiefruchtarten den exotischen Fruchtarten wie Steinklee, Sudan- gras und Zuckerhirse im Ertrag überle-

gen waren. Energiemais und die Frucht- kombination Winterroggen (Milchreife) und Silomais erbrachten im Vergleichs- zeitraum 2005 bis 2006 sehr hohe Erträge. Der höchste Ertrag wurde jedoch bedingt durch den hohen Strohanteil vom Winterraps erzielt. Das Korn-/Strohver- hältnis betrug zwischen 1:3 und 1:4. Es sollte geprüft werden, ob Lysimeterref- ekte (seitlicher Überstand des Rapsbe- standes) das Ertragsniveau insbesondere beim Winterraps entscheidend beein- flusst haben kann. Bei den herkömmli- chen Fruchtarten war die Zuckerrübe im Ertragsniveau Trockenmasse den Ener- giefrüchten ebenbürtig.

Sickerwasserabfluss

Während die Unterschiede im Sicker- wasserabfluss zwischen den Fruchtarten bei gleichem Boden gering und nicht sig- nifikant waren, zeigte sich ein zwei bis drei Mal höherer Sickerwasserabfluss auf der sandigen Braunerde gegenüber den anderen Böden. Die Streuung zwi- schen den Einzelysimetern war hoch.

Effizienz der Wasserausnutzung

Eine hohe Effizienz der Wasserausnut- zung wurde sowohl von den Energie- fruchtarten und Fruchtartenkombination Energiemais, Energiewinterweizen, Winterroggen plus Silomais (WUE 4,0 bis 4,9 gTRM l⁻¹H₂O) als auch von den herkömmlichen Fruchtarten Winterwei- zen, Zuckerrübe, Winterraps (WUE 4,0 bis 9,3 gTRM l⁻¹H₂O) erzielt.

Bei den Energiefruchtarten waren die regional spezifischen Fruchtarten (Ener- giemais, Energiewinterweizen) den exo- tischen Fruchtarten (Steinklee, Sudan- gras, Zuckerhirse) überlegen. Mit schlechterer Bodenqualität (Braunerde aus kiesig, grobsandigem Mittelsand, Sand) verminderte sich die WUE.

Stoffauswaschung

Für die Auswertung zur Stoffauswas- chung standen nur Stoffkonzentrationen im Sickerwasser der Jahre 2004 und 2005 zur Verfügung. Die Ergebnisse beispielhaft dargestellt für Nitrat (*Tabelle 7*) dienen als erste Orientierung, weisen jedoch noch keine statistische Sicherheit auf. Die einzigen klaren Unterschiede bei der jährlichen Nitratauswaschung zeig- ten sich zwischen den vergleichsweise hohen Werten (31,5 kgN ha⁻¹) auf der

Tabelle 7: Nitrat auswaschung mit dem Sickerwasser

Fruchtart	PB	B_S	B_uS	PG	Mittel
Winterweizen (WW)	6,0	37,5	3,0		8,0
Zuckerrübe (ZR)	5,1	29,0			8,5
Winterraps (WRa)	1,7	25,8		9,3	7,3
Sommergerste (SG)					
Erbse (E)					
Energiemais (EM)	13,3				13,3
Energiewinterweizen (EWW)					
Sonnenblume (SB)	11,2				11,2
Steinklee (STK)	2,8	30,0			16,4
Sudangras (SUG)	1,2	31,2	7,3	4,0	10,9
Zuckerhirse (ZH)	7,6				7,6
Winterroggen + Silomais (WR+SM)					
Kleegrass (KG)					
Mittel	5,3	31,5	5,2	6,7	8,6

PB Lehm-Parabraunerde; B_S Braunerde aus Grobsand; B_uS Braunerde aus schluffigem Sand; PG Pseudogley

sandigen Braunerde (B_S) gegenüber 5,2 - 6,7 kgN ha⁻¹ auf den anderen Böden. Diese niedrigen Werte belegen die gute fachliche Praxis (bedarfsgerechte Düngung) der Lysimeterbewirtschaftung. Zwischen den Fruchtarten waren die Unterschiede bei gleichem Boden gering.

Schlussfolgerungen

Winterraps erbrachte im Vergleich zu allen anderen Fruchtarten die höchsten Erträge und hatte die beste Effizienz der Wasserausnutzung. Es ist aber zu vermuten, dass Lysimeteffekte (seitlicher

Überstand des Rapsbestandes) das Ertragsniveau und die WUE entscheidend beeinflusst haben können. Das ist durch Ertragsserhebungen auf Praxisfeldern zu prüfen.

Für die statistische Absicherung der Ergebnisse zum Bodenwasser- und Stoffhaushalt von Energiefruchtarten müssen die Untersuchungen weitergeführt werden.

Literatur

- ATLAS ZUR GEOLOGIE VON BRANDENBURG, 1997: Hrsg. W. Stackebrandt, G. Ehmke und V. Manhenke. Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg. Maßstab 1:1000000.
- ATV-DVWK-Regelwerk, 2002: Merkblatt M 504, Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden, Hennef: GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, pp. 44.
- SCHINDLER, U., WOLFF, M. und G. KÜHN, 2001: Lysimeterstudie zum Einfluss von Düngung und Bewirtschaftung auf die Ertragsbildung, den Wasserhaushalt und die Nährstoffauswaschung im Trockengebiet der Uckermark. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, (164) 697-703.