Energieeinsatz und Energieeffizienz in der Körnermaisproduktion bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung in der Südsteiermark

G. Moitzi, G. Thünauer, J. Robier und A. Gronauer

Energy use and energy efficiency in grain maize production in different nitrogen fertilization in South Styria (Austria)

1 Einleitung

Mit der Verfügbarkeit von fossilen Kraft- und Brennstoffen stieg der Energieeinsatz in der Landwirtschaft an (Boxberger & Moitzi 2008). Durch die Verknappung von fossilen Energieträgern und aufgrund des fortschreitenden Klimawandels erlangen Ressourcenschonung und Energieeffizienz zunehmend an Bedeutung (Pimentel et al., 1999; Von Weizsäcker et al., 2009). Um den fossilen Kraftstoffeinsatz zu reduzieren, stehen kurzfristig realisierbare Maßnahmen (z. B. Fahren mit reduzierter Motordrehzahl, sorgfältige Traktorwartung, angepasste Ballastierung bei Zugarbeiten, Optimierung der Geräteeinstellung, reduzierter Reifeninnendruck) und mittelfristige Maßnahmen (z. B. Auswahl von Maschinen mit einem geringen Leistungsbedarf, Auswahl von treibstoffsparsamen Traktoren, Umstellung des Bodenbearbeitungssystems, Verbesserung der Feldstückform und -größe etc.) sowie der Einsatz von Pflanzenöl-

Summary

In long term trials (2007–2012) at two experimental sites in South Styria (Wagna and Wagendorf), the direct energy use (fuel, heating oil, electricity) and indirect energy use (machinery, herbicide, fertilizer and seed) as well as energy efficiency in grain maize production were analysed. The influence of different mineral nitrogen fertilization treatments (0, 90, 115, 145, 175, 210 kg N/ha as CAN) and a liquid pig manure treatment were compared. The calculated energy efficiency indicators (energy intensity, energy output/energy input ratio, net-energy output) are decisively influenced by the soil fertility and fertilization level. The highest energy efficiency was reached with the liquid pig manure. The energy for drying and for fertilizer production was between 20.3 and 48.3 %, which means 20.7 and 37.2 % of the total energy input.

Key words: Energy consumption, energy efficiency, grain maize, nitrogen-fertilization, drying.

Zusammenfassung

In Langzeitversuchen (2007–2012) an zwei Standorten in der Südsteiermark (Wagna und Wagendorf) wurden der direkte Energieeinsatz (Kraftstoff, Heizöl, Elektrizität) und indirekte Energieeinsatz (Energie für die Herstellung von Landmaschinen, Herbiziden, Mineraldünger und Saatgut) sowie die Energieeffizienz beim Anbau von Körnermais untersucht. Dabei wurde der Einfluss unterschiedlicher mineralischer Stickstoffgaben (0, 90, 115, 145, 175, 210 kg N/ha als Kalkammonsalpeter) und eine Schweineflüssigmistvariante miteinander verglichen. Die berechneten Kennzahlen zur Energieeffizienz (Energieintensität, Energieoutput/Energieinput-Verhältnis und Netto-Energieoutput) werden entscheidend von der Bodenfruchtbarkeit des Standortes und dem Düngungsniveau beeinflusst. Die höchste Energieeffizienz konnte mit der Schweineflüssigmistdüngung erreicht werden. Die Trocknungsenergie betrug zwischen 20,3–48,3 % und die Herstellungsenergie von Mineraldüngern zwischen 20,7–37,2 % des Gesamtenergieaufwandes.

Schlagwörter: Energieverbrauch, Energieeffizienz, Körnermais, Stickstoffdüngung, Trocknung.

kraftstoffen zur Verfügung (MOITZI UND BOXBERGER 2009).

Die Intensität der landwirtschaftlichen Produktionsprozesse kann anhand des direkten und indirekten Energieeinsatzes gemessen werden. Der direkte Energieeinsatz ist auf den Einsatz von Kraftstoff, Strom und Heizöl zurückzuführen, während der indirekte Energieeinsatz durch die Prozessenergie für die Herstellung von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln (Landmaschinen, Kraftfutter, Saatgut, Dünger- und Pflanzenschutzmitteln, etc.) bestimmt ist (HÜLSBERGEN 2008).

Für einen landwirtschaftlichen Betrieb ist sowohl ein hoher Energieinput als auch ein verminderter Energiesaldo, der zu Ertragsminderung führt, wirtschaftlich und ökologisch unerwünscht. Sie bewirken zum einen eine vermehrte CO_2-Emission aus fossilen Energieträgern und zum anderen eine unzureichende Faktoreffizienz infolge energetisch ungünstiger Verfahrensabläufe (HEGE UND BRENNER 2004).

Die Verfügbarkeit mineralischer N-Dünger trägt bedeutend für die Steigerung der pflanzenbaulichen Erträge bei. Zahlreiche Untersuchungen (HOEPPNER et al., 2005; MOITZI et al., 2009; MOITZI et al., 2010; SCHÜLLER et al., 2011; SZALAY et al., 2010) zeigen, dass unter konventionellen Produktionsbedingungen, der indirekte Energieeinsatz über den mineralischen Stickstoffdünger den größten Beitrag zum fossilen Energieeinsatz im Pflanzenbau besitzt.

In Österreich hat der Körnermais in der Veredelungswirtschaft und zunehmend auch für industrielle Zwecke (Zitronensäure, Stärke, Bioethanol) eine große Bedeutung (Tabelle 1). Im Jahr 2012 wurden in Österreich auf 27 % (= 219.702 ha) der gesamten Getreideflächen (811.509 ha) Körnermais angebaut.

Die Körnermaiserträge konnten durch die Verwendung von spätreiferen Sorten und verbesserter Produktionstechnik gegenüber 1980 um 69 % gesteigert werden.

Dabei erfolgt die Düngung nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMFLUW 2006). Da der mineralische Stickstoffdünger unter hohem Energieaufwand hergestellt wird, gilt es die mineralische Stickstoffdüngermenge in der gesamten Körnermaisproduktion (Anbau – bis Trocknung des Erntegutes) zu finden, bei der der Gesamtenergieeinsatz am geringsten und die Energieeffizienz am höchsten ist.

Auf Basis von zwei langjährigen Stickstoffsteigerungsversuchen mit unterschiedlichen Bodenbonitäten in der Südsteiermark wurden der Energieeinsatz und die Energieeffizienz des Körnermaisanbaus analysiert.

2 Material und Methode

2.1 Standortbeschreibung

Die zwei Versuchsflächen zu den mehrjährigen Stickstoffsteigerungsversuchen des Versuchsreferates Steiermark befinden sich im Bezirk Leibnitz an den Standorten Wagna und Wagendorf. Die Standorte sind 5 km voneinander entfernt und haben ähnliche klimatische Verhältnisse (Jahresniederschlag – langjähriges Mittel: 917 mm, Jahresmitteltemperatur: 9,5 °C; ZAMG). Die Witterungsdaten für die Versuchsjahre 2007–2012 sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Der grundlegende Unterschied zwischen den Versuchsflächen liegt in der Beschaffenheit des Bodens. Ein wesentliches Merkmal des Bodens in Wagna ist die seichtgründige Schotterterrasse des Leibnitzer Feldes. Der Boden auf der

Tabelle 1: Körnermaisflächen und mittlere Körnermaiserträge in Österreich (GRÜNER BERICHT, BMLFUW 2013)
Table 1: Area for grain maize and mean grain maize yields in Austria (GRÜNER BERICHT, BMLFUW 2013)

	1980	1990	2000	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Fläche Körnermais (ha)	192.947	198.073	187.802	193.419	216.353	200.275	201.137	217.100	219.702
Ertrag[1)] (t/ha)	6,7	8,18	9,86	9,93	11,06	10,59	9,72	11,30	10,70

[1)] Inclusive Corn-Cob-Mix (CCM)

Tabelle 2: Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlagsmenge am Standort Wagna-Leibnitz (ZAMG)
Table 2: Yearly mean temperature and precipitation at the site Wagna-Leibnitz (ZAMG)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Ø 2007–2012
Jahresmitteltemperatur (° C)	10,4	10,4	10,2	9,6	11,0	11,2	10,5
Jahresniederschlagsmenge (mm)	883	902	1312	1016	724	998	973

Wagendorfer Terrasse hingegen ist tiefgründig mit einer Bodenzahl nahe 100. Der Boden in Wagna weist einen mittleren Humusgehalt von 2,4 % auf und setzt sich aus 55 % Sand, 33 % Schluff und 12 % Ton zusammen. Der tiefgründige Boden am Versuchsstandort Wagendorf besitzt einen mittleren Humusgehalt von 2,4 % mit einem Sandanteil von 9 %, Tonanteil von 19 % und Schluffanteil von 72 % (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK 2012).

2.2 Versuchsaufbau

Der Körnermaisversuch mit den 12 Stickstoffsteigerungsstufen am **Standort Wagna** wurde im Jahr 2007 mit dem Ziel, die umweltschonendste Variante hinsichtlich Nitrataustrag im Wasserschutzeinzugsgebiet festzustellen, geplant. Die Versuchsvarianten wurden als Blockanlage mit 12 Düngungsvarianten und 6-facher Wiederholung angelegt. Jede Parzelle der 72 Parzellen besitzt eine Größe von 10 m × 2,8 m. Die verwendeten N-Düngungsvarianten für die Berechnung der Energieeffizienz sind in der Tabelle 3 dargestellt. Der Standort Wagna befindet sich im Wasserschongebiet Westliches Leibnitzer Feld (VERORDNUNG DES LANDESHAUPTMANNES DER STEIERMARK vom 21. NovemberR 1990, LGBL. NR. 13/2009), bei dem eine Obergrenze für die Stickstoffdüngung zu Mais von 115 kg N/ha und Jahr festgelegt ist. Für die Durchführung der Stickstoffdüngungsstufen (145 und 175 kg N/ha), die über der Obergrenze lagen, wurden beim Amt der Steiermärkischen Landesregierung Ausnahmegenehmigungen eingeholt. Aufgrund der guten PK-Versorgung erfolgte in den Jahren 2007 und 2008 keine PK-Düngung. Ab 2009 erfolgte die PK-Versorgung der mineralischen N-Düngungsvarianten mit DC45 neu (12 % P_2O_5, 20 % K_2O und 8 % S) mit einer Menge von 375 kg/ha. Zur organischen Düngungsvariante mit Schweinegülle erfolgte keine PK-Düngung. Nach der Körnermaisernte (Ende September) wurde jährlich 100 kg Begrünungssaatgut (Grünroggen) mittels Anbauschleuderstreuer in Breitsaat gesät. Kurz nach der Grünroggenaussaat erfolgte das bodennahe Häckseln von Maisstroh mit einem Schlegelmulcher. Eine Woche vor der Körnermaisaussaat im Monat April wurde die Begrünung gepflügt und zweimal mit der Kreiselegge saatbettfertig bearbeitet. Die Aussaat des Saatgutes mit der Reifezahl 320 erfolgte mit einer pneumatischen Einzelkornsämaschine (8 reihig, Reihenabstand: 70 cm. Abstand in der Reihe: 17,5 cm; 81.600 Körner).

Der Versuch am **Standort Wagendorf** wurde als Blockanlage mit 13 Düngungsvarianten und 4-facher Wiederholung im Jahr 2008 mit dem Ziel, die Stickstoffdüngung im Körnermaisanbau auf speicherfähigen Böden zu optimieren, angelegt. Dieser besteht somit aus 52 Parzellen in einer Größe von 10 m x 2,9 m. Die für die Energieeffizienzanalyse verwendeten N-Düngungsvarianten sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Aufgrund der hohen PK-Versorgung erfolgte 2008 und 2009 keine PK-Düngung. Bei den mineralischen N-Düngungsstufen wurde ab dem Versuchsjahr 2010 112 kg/ha Hyperkorn (26 % P_2O_5) im April gedüngt. Zur Schweinegülle-Variante erfolgte keine PK-Düngung. Nach der Körnermaisernte (Mitte bis Ende Oktober) wurden das Maisstroh und die Stoppeln mit dem Schlegelmulcher bodennah gehäckselt und anschließend gepflügt. Im Frühjahr wurde der Boden zweimal mit einer Kreiselegge saatbettfertig bearbeitet. Die Aussaat des Saatgutes mit den Reifezahlen zwischen 380–420 erfolgte im April mit einer pneumatischen Einzelkornsämaschine (8-reihig, Reihenabstand: 72,5 cm. Abstand in der Reihe: 17,7 cm; 78.000 Körner).

2.3 Energetische Kennzahlen

Die energetische Beurteilung des Produktionssystems Körnermais mit Hilfe der berechneten energetischen Kennzahlen (Energieintensität, Energieoutput/Energieinput-Verhältnis, Netto-Energieoutput) wurde nach der Methode von HÜLSBERGEN (2008) durchgeführt. Die verwendeten Kennzahlen berechnen sich wie folgt:

$$Energieintensität\ \left(\frac{MJ}{kg}\right) = \frac{Energieeinsatz\ \left(\frac{MJ}{ha}\right)}{Kornertrag_{(14\%\ Feuchte)}\left(\frac{kg}{ha}\right)}$$

$$Energieoutput/Energieinput - Verhältnis = \frac{Energieoutput_{(Korn)}\left(\frac{GJ}{ha}\right)}{Energieeinsatz\left(\frac{GJ}{ha}\right)}$$

$$Netto - Energieoutput\ \left(\frac{GJ}{ha}\right) = Energieoutput_{(Korn)}\left(\frac{GJ}{ha}\right) - Energieeinsatz\left(\frac{GJ}{ha}\right)$$

Für die düngungsvariantenspezifische Berechnung der energetischen Kennzahlen wurde der mittlere Nassmaisertrag sowie Feuchtegehalt aus den Versuchsjahren 2007–2012 für den Standort Wagna und 2008–2012 für den Standort Wagendorf herangezogen. Für den Einsatz der direkten Energie (Dieselkraftstoff beim Landmaschineneinsatz, Heizöl und Elektrizität für die Trocknung von Nassmais) und indirekten Energie (Maschinenherstellung, mineralischer Stickstoffdünger, mineralischer Phosphor- und Kalidünger,

Tabelle 3: N-Düngungsvarianten am Standort Wagna und Wagendorf
Table 3: N-fertilization variant at the experimental site Wagna and Wagendorf

Düngungs-variante	**Standort Wagna 2007–2012**	**Standort Wagendorf 2008–2012**
0 kg N		
90 kg N	45 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 45 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung	45 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 45 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung
115 kg N	55 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 60 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung	55 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 60 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung
Schweinegülle	1. Gabe mit Gülletankwagen + Prallteller vor dem Anbau – anschließend eingeeggt, 2. Gabe mit Gülletankwagen + Schleppschlauchverteiler, Berechnung des feldfallenden N (N_{ff} = 87 % von N_{total}), N_{total} wurde chemisch analysiert, Gesamtmengen zw. 23 und 45 m^3/ha *2007: 146 kg N_{ff}* *2008:164 kg N_{ff}* *2009: 117 kg N_{ff}* *2010:142 kg N_{ff}* *2011:115 kg N_{ff}* *2012:124 kg N_{ff}*	1. Gabe mit Gülletankwagen + Prallteller vor dem Anbau – anschließend eingeeggt, 2. Gabe mit Gülletankwagen + Schleppschlauchverteiler, Berechnung des feldfallenden N (N_{ff} = 87 % von N_{total}), Gesamtmengen zw. 29 und 58 m^3/ha *2008: 121 kg N_{ff}* *2009: 115 kg N_{ff}* *2010: 96 kg N_{ff}* *2011:115 kg N_{ff}* *2012:94 kg N_{ff}*
145 kg N	55 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 90 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung	55 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 90 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung
175 kg N	55 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 60 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung, 60 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung	55 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 60 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung, 60 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung
210 kg N		70 kg N in KAS[1)] als Unterfußdüngung, 70 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung, 70 kg N in KAS[1)] als Reihendüngung

[1)] KAS: Kalkammonsalpeter, 26 % N

Saatgut und Wirkstoffen in Pflanzenschutzmitteln) wurden die Energieäquivalente (siehe Tabelle 4) herangezogen.

Der Kraftstoffaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte (Bodenbearbeitung, Saat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte) wurde mit Hilfe des Dieselbedarfs- und Feldarbeitsrechners des KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) berechnet. Die unterstellte Mechanisierung war ortsüblich und wurde für die verwendeten Traktoren (90 und 120 PS) erstellt. Für die Berechnung des Strom- und des Heizölverbrauchs bei der Körnermaistrocknung wurden Basisdaten von ROSSRUCKER (1977) herangezogen.

Der Körnermaisertrag wurde mit dem Energieäquivalent von 18,6 MJ/kg Trockenmasse für den Energieoutput bewertet (HÜLSBERGEN 2008).

Tabelle 4: Energieäquivalente von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln
Table 4: Energy-equivalents of farm facilities

Betriebsmittel	**Energieäquivalent**	**Quelle**
Dieselkraftstoff, Heizöl	47,8 MJ/l	*CIGR, 1999*
Elektrizität	12 MJ/kWh	*CIGR 1999*
Mineralischer N-Dünger	60 MJ/kg N	CIGR, 1999 ANGEPASST
Mineralischer P-Dünger	17,4 MJ/kg P_2O_5	*CIGR, 1999*
Mineralischer K-Dünger	13,1 MJ/kg K_2O	*CIGR, 1999*
Synth. Herbizide	242 MJ/kg	*HÜLSBERGEN 2008*
Saatgut	100 MJ/kg	*HÜLSBERGEN 2008, CIGR, 1999*
Maschinen	1956 MJ/ha	*BIEDERMANN 2009*

2.4 Statistische Auswertung der Ertragsdaten

Die statistische Datenauswertung der Körnermaiserträge wurde mit SPSS 21.0 durchgeführt. Neben der deskriptiven Statistik wurde mit dem strukturprüfenden Verfahren der Varianzanalyse (ANOVA) der Einfluss der N-Düngung auf den Körnermaisertrag (14 % Feuchte, gereinigt) für jedes Versuchsjahr einzeln untersucht. Anschließend an die ANOVA wurde der multiple Gruppenvergleich nach dem Student-Newman-Keuls-Test (SNK-Test) durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Körnermaisertrag – gereinigt (kg/ha bei 14 % Feuchte)

Im Mittel aller Versuchsjahre (2007 bis 2012) und Versuchsvarianten betrug am Standort Wagna der gereinigte Körnermaisertrag (14 % Feuchte) 9.117 kg/ha (Tabelle 5). Betrachtet man den Durchschnittsertrag über die Jahre variantenspezifisch, so erkennt man, dass zwischen der N-Düngungsstufe 145 und 175 kg N/ha kein signifikanter Unterschied besteht und somit diese N-Steigerung nicht ertragswirksam war. Die Düngungsvarianten (90 und 115 kg N) sowie die Düngungsvariante mit Schweinegülle) befinden sich in einer homogenen Gruppe ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tabelle 5).

Die Richtlinie für die sachgerechte Düngung empfiehlt bei Körnermais und mittlerer Ertragserwartung (6,0–10,0 t/ha) auf seicht gründigen Böden 120–140 kg Stickstoff je ha (BMLFUW 2006). Für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung ist der Reststickstoffgehalt (mineralisierter Stickstoff im Boden nach der Ernte) ein guter Maßstab. Langjährige Versuchstätigkeiten am Standort Wagna zeigten, dass der Reststickstoffgehalt auf leichten Böden unter 50 kg N/ha und auf tiefgründigen Böden unter 80 kg N/ha liegen soll (Robier et al., 2010). Am Standort Wagendorf, welcher ein hohes Ertragspotenzial aufweist, betrug der mittlere Körnermaisertrag (14 % Feuchte) über die Jahre (2008–2012) und Varianten (0 kg N bis 210 kg N/ha)13.651 kg/ha (Tabelle 6). Das hohe Ertragspotenzial des Standortes zeigte sich bei der Nullvariante (0 kg N/ha), bei welcher ein mittlerer Ertrag über fünf Jahre von 10.662 kg/ha festgestellt wurde. Der ertragswirksame Effekt der mineralischen N-Düngung konnte ab 90 kg N/ha nicht realisiert werden. Dies zeigte sich auch darin, dass die mineralischen N-Düngungsvarianten (90, 115, 145, 175 und 210 kg N/ha) in derselben statistischen homogenen Gruppe (gekennzeichnet mit ^{c}) zu finden sind.

Tabelle 5: Mittlerer Körnermaisertrag – gereinigt (kg/ha bei 14 % Feuchte) mit Standardabweichung bei den unterschiedlichen Düngungsvarianten und Versuchsjahren am Standort Wagna

Table 5: Average grain maize yield – cleaned (kg/ha at 14 % moisture) with standard deviation for different fertilization variants and investigation years at the experimental site Wagna

Düngungsvariante	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**Mittelwert 2007–2012**
Maissorte	Samanta (RZ 320)	Samanta (RZ 320)	PR38N86 (RZ 330)	PR38A79 (RZ 320)	PR38A79 (RZ 320)	PR38A79 (RZ 320)	
0 kg N	5.491 ±3.020	4.715^{a} ±1.712	5.544^{a} ±1.865	5.091^{a} ±756	4.494^{a} ±650	4.861^{a} ±924	**5.033^{a} ±1.624**
90 kg N	8.563 ±1.755	9.892^{b} ±1.376	9.138^{b} ±929	7.708^{ab} ±1093	10.110^{b} ±315	8.504^{b} ±474	**8962^{b} ±1.313**
115 kg N	9.181 ±2.746	10.669^{bc} ±921	10.685^{bc} ±1.563	8.100^{ab} ±2.198	10.634 ^{b} ±1.174	9.818^{c} ±996	**9.848^{b} ±1.875**
Schweinegülle	8.362 ±2.669	9.298^{b} ±2.448	9.273^{b} ±2.023	7.885^{ab} ±2.130	10.056 ^{b} ±865	8.508^{b} ±912	**8.897^{b} ±1.966**
145 kg N	9.391 ±2.800	12.305^{cd} ±1.631	11.886^{c} ±945	8.833^{b} ±3.374	11.647 ^{b} ±1.876	10.721^{cd} ±1.145	**10.797^{c} ±2.380**
175 kg N	9.283 ±828	13.315^{d} ±498	12.091^{c} ±694	8.888^{b} ±1.394	11.949 ^{b} ±1.080	11.453^{d} ±580	**11.163^{c} ±1.803**
Mittelwert	8.378 ±2.630	10.032 ±3.135	9.769 ±2.600	7.751 ±2.270	9.807 ±2.759	8.978 ±2.307	9.117 ±2.726
Signifikanz	P=0,079	*P=0,000*	*P=0,000*	*P=0,032*	*P=0,000*	*P=0,000*	***P=0,000***

[a] unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Student-Newman – Keuls Test, $\alpha = 0{,}05$) zwischen den Varianten im Versuchsjahr.

Tabelle 6: Mittlerer Körnermaisertrag – gereinigt (kg/ha bei 14 % Feuchte) mit Standardabweichung bei den unterschiedlichen Düngungsvarianten und Versuchsjahren am Standort Wagendorf
Table 6: Average grain maize yield (kg/ha at 14 % moisture) with standard deviation for different fertilization variants and investigation years at the experimental site Wagendorf

Düngungsvariante	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**Mittelwert 2008–2012**
Maissorte	Pixxie (RZ 420)	Sandra (RZ 380)	Sandra (RZ 380)	Sabrina (RZ 400)	Sabrina (RZ 400)	
0 kg N	13.836 ±882	10.009[a] ±1.613	9.042[a] ±1.025	9.995[a] ±924	10.426[a] ±1.305	**10.662[a] ±1.993**
90 kg N	14.581 ±511	14.744[bc] ±351	12.315[b] ±472	14.150[bc] ±648	13.300[b] ±228	**13.818[bc] ±1.014**
115 kg N	14.815 ±727	14.316[bc] ±482	13.448[c] ±366	14.555[bc] ±1.083	13.979[b] ±1.173	**14.223[c] ±884**
Schweinegülle	14.443 ±343	13.711[b] ±390	11.990[b] ±703	13.285[b] ±965	13.257[b] ±804	**13.337[b] ±1020**
145 kg N	14.310 ±811	15.277[c] ±871	13.686[c] ±713	15.118[c] ±1.010	14.033[b] ±742	**14.485[c] ±976**
175 kg N	14.221 ± 415	15.416[c] ±218	14.095[c] ±734	15.391[c] ±471	14.048[b] ±858	**14.634[c] ±831**
210 kg N	14.183 ±267	15.380[c] ±481	13.993[c] ±814	15.102[c] ±395	13.352[b] ±641	**14.402[c] ±908**
Mittelwert	14.341 ±612	14.122 ±365	12.653 ±1.800	13.942 ±1.918	13.199 ±1.433	13.651 ±1.715
Signifikanz	P=0,416	P=0,000	P=0,000	P=0,000	P=0,000	P=0,000

[a] unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Student-Newman – Keuls Test, $\alpha = 0{,}05$) zwischen den Varianten im Versuchsjahr.

Tendenziell wurde bei der N-Düngungsstufe 210 kg N/ha eine Ertragsdepression festgestellt. Im Durchschnitt (2008 und 2011) wurden bei der Nullvariante 107 kg N/ha über das Korn abgeführt. Bei der 90 kg N-Düngungsvariante betrug die Stickstoffabfuhr 151 kg N/ha; bei der 115 kg N-Düngungsvariante: 158 kg N/ha; bei der Schweinegüllevariante: 138 kg N/ha, bei der 145 kg N-Düngungsvariante: 165 kg N/ha, bei der 175 kg N-Düngungsvariante: 170 kg N/ha und bei der 210 kg N-Düngungsvariante: 174 kg N/ha. Mit Ausnahme der höchsten N-Düngungsstufe (210 kg N/ha) war die Stickstoffaufnahme aus dem Bodenvorrat höher als dem Boden zugeführt wurde (Versuchsreferat Steiermark 2012). Die N_{min}-Untersuchungen (0–90 cm) aus dem Jahr 2010 zeigten, dass im Mai zwischen 100 und 175 kg mineralisierter Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium vorliegt. Diese genannten Indikatoren sprechen für die hohe N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz am Standort Wagendorf.

Laut Richtlinie für sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006) ergibt sich für den Standort Wagendorf, der eine hohe Ertragswartung (10 bis über 13 t/ha) aufweist, ein Zuschlag für die Stickstoffdüngung von bis zu 40 % zur N-Düngungsempfehlung (120 bis 140 kg N/ha und Jahr) mit mittlerer Ertragserwartung. Dies bedeutet für den Standort Wagendorf bei einer Ertragserwartung von 11,5 bis 13,0 t/ha eine sachgerechte N-Düngung zwischen 156 und 182 kg N und bei einer Ertragserwartung von über 13,0 t/ha eine N-Düngungsempfehlung zwischen 168 und 196 kg N/ha und Jahr. Die erhobenen langjährigen Ertragsdaten (Tabelle 6) zeigten aber, dass ab einer N-Düngermenge von 115 kg N/ha kein statistisch gesicherter Mehrertrag zu erwarten ist.

3.2 Direkter Energieverbrauch (Kraftstoff, Heizöl, Strom)

Der berechnete Kraftstoffverbrauch betrug bei zweimaliger mineralischer N-Düngung am Standort Wagna 98,3 l/ha und am Standort Wagendorf 107,2 l/ha (Tabelle 7).

Der Kraftstoffverbrauch reduzierte sich wenn die mineralische N-Düngung entfiel (Nullvariante) auf 97,0 bzw. 105,7 l/ha. Bei dreimaliger N-Applikation (Düngungsvariante 175 und 210 kg N/ha) betrug der Kraftstoffverbrauch am Standort Wagna 99,0 l/ha und am Standort Wagendorf 108,0 l/ha. Für die organische Düngungsvariante wurde ein

Tabelle 7: Kraftstoffverbrauch[1](l/ha) im Körnermaisanbau bei den mineralischen N-Düngungsvarianten am Standort Wagna und Wagendorf
Table 7: Fuel consumption (l/ha) of grain maize cropping for the mineral N-fertilization variants at the experimental site Wagna and Wagendorf

	Wagna	**Wagendorf**
Bodenbearbeitung (Pflug, 2x Kreiselegge)	46,9	51,4
Pneumatische Einzelkornsaat	3,7	3,2
Herbizidapplikation (1x)	1,1	1,3
Applikation PK-Dünger (1x)	0,7	0,7
Applikation N-Dünger (2x)	1,3	1,5
Körnermaisernte	25,1	30,5
Korntransport Feld-Hof (2 km)	1,6	1,7
Breitsaat Grünroggen (Anbauschleuderstreuer)	1,0	
Häckseln von Maisstroh (bodennah) mit Schlegelmulcher[2]	16,8	16,8
Summe	**98,3**	**107,2**

[1] Berechnet für die verwendete und ortsübliche Mechanisierung mittels KTBL-Feldarbeits- und Dieselbedarfsrechner.
[2] Kalkuliert für einen Schlegelmulcher (2,8 m) mit einer Flächenleistung von 1ha/h und 78 kW Nennleistung bei 60 % Motorauslastung mit ÖKL-Richtwerten 2012.

Kraftstoffbrauch am Standort Wagna von 109,9 l/ha und am Standort Wagendorf von 118,0 l/ha berechnet.

Um die Lagerfähigkeit des geernteten Körnermais zu gewährleisten ist eine Trocknung auf eine Endfeuchte von 14 % notwendig. Nach zahlreichen Literaturangaben wird für Maistrockner ein spezifischer Energiebedarf von 1,0 bis 2,2 kWh je kg Wasser angegeben (Weingartmann 1995). Der mittlere Feuchtegehalt des geernteten Körnermais (Nassmais) über alle sechs Prüfjahre am Standort Wagna lag bei 22 %. Für das Erreichen der Endfeuchte von 14 % pro 100 kg Nassmais sind 9,3 kg Wasser zu entziehen (Rossrucker 1977). Bei einem angenommen spezifischen Energiebedarf von 1,05 kWh/kg Wasser für einen Durchlauftrockner beträgt der berechnete Heizölverbrauch 1 Liter pro 100 kg Nassmais. Der daraus berechnete Heizölverbrauch für die Trocknung (Tabelle 8) lag somit zwischen 57 l/ha (Nullvariante) und 124 l/ha (Düngungsvariante 175 kg N/ha). Der Verbrauch an elektrischem Strom ergibt sich bei der Körnermaistrocknung aus dem Antrieb des Gebläses, des Brenners und der Förder- und Reinigungseinrichtungen. Dieser hängt vom spezifischen Stromverbrauch ab und wird für die Berechnungen mit 0,04 kWh/kg Wasser angenommen. Somit ergibt sich nach Rossrucker (1977) ein Stromverbrauch von 0,37 kWh/100 kg Nassmais, welcher umgerechnet auf die Nassmaiserträge zwischen 20,9 und 46,0 kWh/ha beträgt (Tabelle 8).

Am Standort Wagendorf lag der mittlere Feuchtegehalt des geernteten Körnermais bei 24 %. Für das Erreichen der Endfeuchte von 14 % pro 100 kg Nassmais sind nach Rossrucker (1977) 11,6 kg Wasser zu entziehen. Bei einem angenommen spezifischen Energiebedarf von 1,05 kWh/kg Wasser für einen Durchlauftrockner beträgt der berechnete

Tabelle 8: Mittlerer Energieverbrauch bei der Trocknung von Nassmais (22 % Feuchte) auf 14 % Feuchte am Standort Wagna
Table 8: Average energy consumption for drying of wet grain maize (22 % moisture) to 14 % moisture at the experimental site Wagna

Düngungsvariante	**Mittlerer[1] Nassmaisertrag (kg/ha)**	**Heizölverbrauch (l) bei Trocknung auf 14 % Feuchte**	**Stromverbrauch (kWh) bei Trocknung auf 14 % Feuchte**	**Energieverbrauch für die Trocknung (MJ/ha)**
0 kg N	5.654	57	20,9	2.954
90 kg N	9.884	99	36,6	5.163
115 kg N	10.856	109	40,2	5.671
Schweinegülle	9.849	98	36,4	5.145
145 kg N	12.018	120	44,5	6.278
175 kg N	12.421	124	46,0	6.489

[1] Versuchsjahre 2007–2012; durchschnittliche Kornfeuchte bei der Ernte: 22 %; kein statistisch gesicherter Einfluss der Düngungsvariante auf die Kornfeuchte.

Tabelle 9: Mittlerer Energieverbrauch bei der Trocknung von Nassmais (24 % Feuchte) auf 14 % Feuchte am Standort Wagendorf
Table 9: Average energy consumption for drying of wet grain maize (24 % moisture) to 14 % moisture at the experimental site Wagendorf

Düngungsvariante	Mittlerer[1)] Nassmaisertrag (kg/ha)	Heizölverbrauch (l) bei Trocknung auf 14 % Feuchte	Stromverbrauch (kWh) bei Trocknung auf 14 % Feuchte	Energieverbrauch für die Trocknung (MJ/ha)
0 kg N	12.138	152	55,8	7.922
90 kg N	15.584	195	71,7	10.172
115 kg N	16.087	201	74,0	10.500
Schweinegülle	15.082	189	69,4	9.844
145 kg N	16.403	205	75,5	10.706
175 kg N	16.603	208	76,4	10.837
210 kg N	16.388	205	75,4	10.696

[1)] Versuchsjahre 2008–2012; durchschnittliche Kornfeuchte bei der Ernte: 24 %; kein statistisch gesicherter Einfluss der Düngungsvariante auf die Kornfeuchte

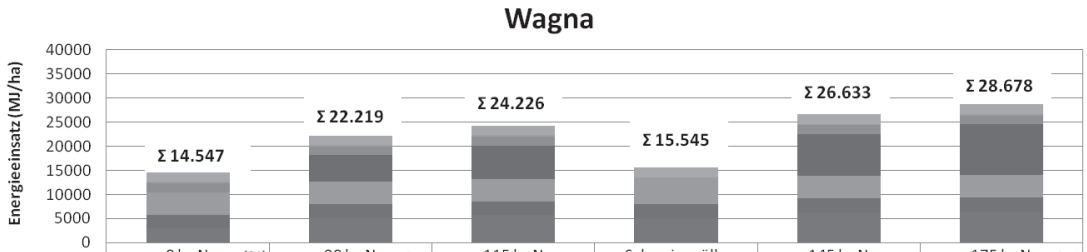
Heizölverbrauch 1,25 Liter pro 100 kg Nassmais. Der berechnete Heizölverbrauch für die Trocknung lag dadurch zwischen 152 und 208 l/ha (Tabelle 9). Bei einem spezifischen Stromverbrauch von 0,04 kWh/kg Wasser ergibt sich ein Stromverbrauch von 0,46 kWh/100 kg Nassmais (Rossrucker 1977). Der berechnete Stromverbrauch lag somit zwischen 58,8 und 75,4 kWh/ha (Tabelle 9).

3.3 Energieeinsatz pro Hektar

Der Energieeinsatz stieg mit zunehmender mineralischer N-Düngung von 22,2 GJ/ha auf 28,7 GJ/ha an (Abbildung 1). Durch den Wegfall der mineralischen Düngung bei der Schweinegüllevariante sank der gesamte Energieeinsatz auf 15,5 GJ/ha und war um 1 GJ/ha höher als bei der Nullvariante. Der flächenbezogene Energieeinsatz in der Schweinegüllevariante am Standort Wagna war um 37 % bzw. 41 % geringer als in der mineralischen 115 kg N/ha – Variante bzw. 145 kg N/ha – Variante. Am Standort Wagendorf wurden 27 % bzw. 32 % weniger Energie in der Schweinegüllevariante eingesetzt. Eine kanadische Untersuchung zeigte, dass durch die Substitution der mineralischen Stickstoffdüngung durch organische Düngung zwischen 36 und 52 % an Energie im Produktionssystem Körnermais eingespart werden können (McLaughlin et al., 2000). Dabei wurden bei den mineralischen N-Düngungsvarianten (zwischen 60 und 164 kg N/ha) mit Körnermaiserträgen zwischen 6,8 und 8,8 t/ha Energieaufwendungen zwischen 19,1 und 22,3 GJ/ha berechnet. Durch die Düngung mit Schweinegülle bei ähnlichen Körnermaiserträgen wie bei der mineralischen N-Düngung konnte der Energieeinsatz auf zwischen 11,9 und 12, 9 GJ/ha reduziert werden (McLaughlin et al., 2000). In Untersuchungen zum Körnermaisanbau in Italien konnte nachgewiesen werden, dass im biologischen Anbausystem um 58 % geringere Energieaufwendungen erforderlich waren als im konventionellen Produktionssystem mit mineralischen Düngermitteln (Sartori et al., 2003).

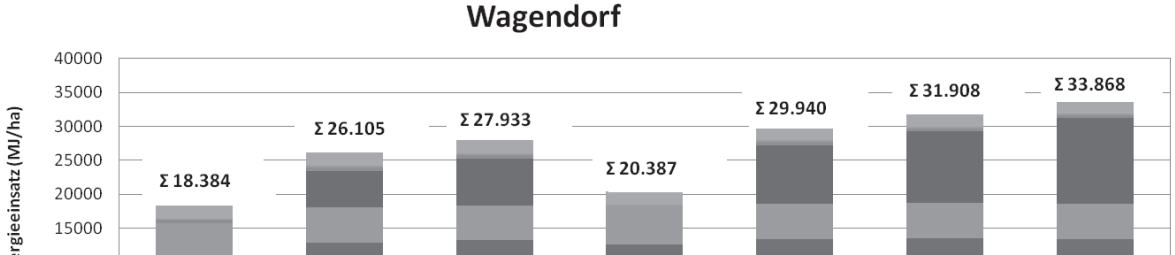
Auffallend war der hohe Trocknungsenergieanteil (Abbildung 1). Bei der N-Düngungsvariante (90 kg N/ha) lag die Trocknungsenergie auf dem ähnlichen Niveau wie der Energieaufwand für die Herstellung des mineralischen N-Düngers. Der prozentuelle Anteil des Energieeinsatzes durch den mineralischen Stickstoffdünger betrug bei 90 kg N/ha 24, 3 %, bei 115 kg N/ha 28,5 %, bei 145 kg N/ha 32,7 % und bei 175 kg N/ha 36,6 %. Vergleichend dazu ermittelte McLaughlin et al. (2000) auf schweren Böden bei 60 kg bzw. 77 kg mineralischem N einen energetischen Anteil von 35 %, auf mittelschweren Böden bei 164 kg bzw. 144 kg mineralischen N einen energetischen Anteil von 54 % und auf leichten Böden bei einer mineralischem N-Düngung von 118 kg/ha einen energetischen Anteil von 33 %. Der Anteil der Trocknungsenergie am Gesamtenergieeinsatz betrug bei den mineralischen N-Düngungsvarianten zwischen 20,3 % und 23,6 % (Abbildung 1). Mit zunehmender N-Düngung nahm der prozentuelle Anteil der Kraftstoffenergie von 21,1 auf 16,5 % ab.

Durch die höheren Körnermaiserträge am Standort Wagendorf war der Gesamtenergieaufwand (Abbildung 2) bedingt durch den höheren Trocknungsenergiebedarf bei der Nullvariante um 26 % (= 3,84 GJ/ha), bei der 90 kg N -Variante um 17 % (=3,89 GJ/ha), bei der 115 kg N-Varinate um 15 % (=3,71 GJ/ha), bei der 145 kg N-Variante um 12 % (=3,27 GJ/ha) und bei der 175 kg N-Variante um



	0 kg N	(%)	90 kg N	(%)	115 kg N	(%)	Schweinegülle	(%)	145 kg N	(%)	175 kg N	(%)
Maschinenherstellung	1956	(13,4)	1956	(8,8)	1956	(8,1)	1956	(12,6)	1956	(7,3)	1956	(6,8)
Herbizid	335	(2,3)	335	(1,5)	335	(1,4)	335	(2,2)	335	(1,3)	335	(1,2)
PK-mineralisch	1811	(12,4)	1811	(8,1)	1811	(7,5)	0	(0,0)	1811	(6,8)	1811	(6,3)
N-mineralisch	0	(0,0)	5400	(24,3)	6900	(28,5)	0	(0,0)	8700	(32,7)	10500	(36,6)
Kraftstoff	4636	(31,9)	4698	(21,1)	4698	(19,4)	5253	(33,8)	4698	(17,6)	4732	(16,5)
Saatgut	2856	(19,6)	2856	(12,9)	2856	(11,8)	2856	(18,4)	2856	(10,7)	2856	(10,0)
Trocknung	2954	(20,3)	5163	(23,2)	5671	(23,4)	5145	(33,1)	6278	(23,6)	6489	(22,6)

Abbildung 1: Mittlerer Energieeinsatz pro Hektar bei unterschiedlichen N-Düngungsvarianten am Standort Wagna
Figure 1: Mean energy input per hectare in different N-fertilization variants at the experimental site Wagna



	0 kg N	(%)	90 kg N	(%)	115 kg N	(%)	Schweinegülle	(%)	145 kg N	(%)	175 kg N	(%)	210 kg N	(%)
Maschinenherstellung	1956	(10,6)	1956	(7,5)	1956	(7,0)	1956	(9,6)	1956	(6,5)	1956	(6,1)	1956	(5,8)
Herbizid	217	(1,2)	217	(0,8)	217	(0,8)	217	(1,1)	217	(0,7)	217	(0,7)	217	(0,6)
PK-mineralisch	507	(2,8)	507	(1,9)	507	(1,8)	0	(0,0)	507	(1,7)	507	(1,6)	507	(1,5)
N-mineralisch	0	(0,0)	5400	(20,7)	6900	(24,7)	0	(0,0)	8700	(29,1)	10500	(32,9)	12600	(37,2)
Kraftstoff	5052	(27,5)	5123	(19,6)	5123	(18,3)	5639	(27,7)	5123	(17,7)	5161	(16,2)	5161	(15,2)
Saatgut	2730	(14,8)	2730	(10,5)	2730	(9,8)	2730	(13,4)	2730	(9,1)	2730	(8,6)	2730	(8,1)
Trocknung	7922	(43,1)	10172	(39,0)	10500	(37,6)	9844	(48,3)	10706	(35,8)	10837	(34,0)	10696	(31,6)

Abbildung 2: Mittlerer Energieeinsatz pro Hektar bei unterschiedlichen N-Düngungsvarianten am Standort Wagendorf
Figure 2: Mean energy input per hectare in different N-fertilization variants at the experimental site Wagendorf

11 % (=3,23 GJ/ha) höher als am Standort Wagna. Der Anteil der Trocknungsenergie am Gesamtenergieeinsatz war ebenfalls höher als am Standort Wagna und betrug zwischen 31,6 und 48,3 %. Der prozentuelle Anteil des Energieaufwandes durch die mineralische N-Düngung (zwischen 20,7 und 37,2 %) war ähnlich wie am Standort Wagna.

3.4 Energieeffizienz

Für die Beurteilung der Energieeffizienz in Abhängigkeit vom N-Einsatz haben die unterschiedlichen Energiekennzahlen (z. B. Energieintensität [MJ/kg Kornertrag], Energieoutput/Energieinput-Verhältnis, Netto-Energieoutput [GJ/ha]) eine unterschiedliche Aussagekraft, welche wesentlich von Standort und Bewirtschaftungsintensität beeinflusst werden (Hülsbergen 2008).

Die geringste Energieintensität mit höchstem Energieoutput/Energieinput-Verhältnis lag bei den mineralischen N-Düngungsvarianten am Standort Wagna bei einer N-Düngungsmenge bei 110 kg (Abbildung 3). Den höchsten Netto-Energieoutput mit 179 GJ/ha wurde bei einer N-Menge von 175 kg erreicht.

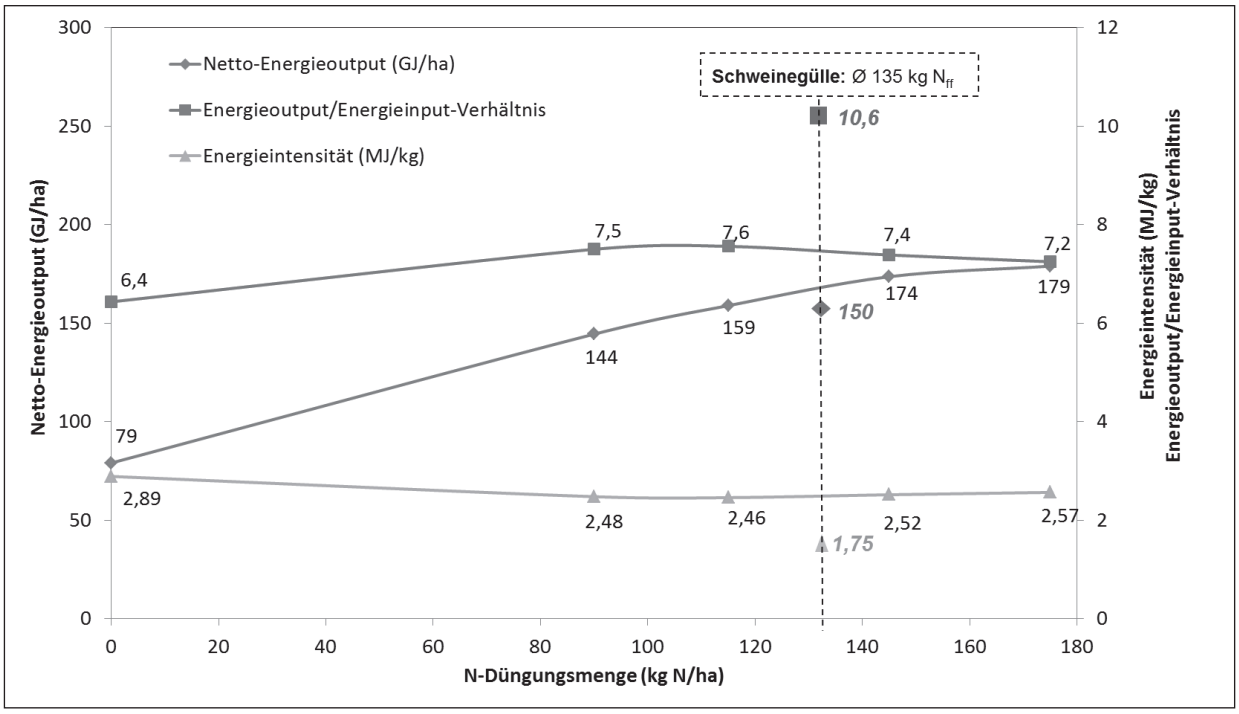


Abbildung 3: Durchschnittliche Energieeffizienz am Standort Wagna (2007–2012)
Figure 3: Mean energy efficiency at the experimental site Wagna (2007–2012)

Die organische N-Düngungsvariante (Schweinegülle), bei der im Durchschnitt 135 kg $N_{feldfallend}$ ausgebracht wurde, wies bei einem mittleren Netto-Energieoutput von 150 GJ/ha die niedrigste Energieintensität von 1,75 MJ/kg Körnermais und das höchste Energieoutput/Energieinput-Verhältnis von 10,6:1 auf. Mit Ausnahme der Kennzahl Netto-Energieoutput waren die Kurvenverläufe der Kennzahlen Energieintensität und Energieoutput/Energieinput-Verhältnis am Standort Wagendorf für die mineralischen N-Düngungsvarianten unterschiedlich (Abbildung 4). Verglichen mit allen mineralischen N-Düngungsvarianten zeigte die Null-Variante die niedrigste Energieintensität von 1,72 MJ/kg mit dem höchsten Energieoutput/Energieinput-Verhältnis von 10,8:1. Mit zunehmender mineralischer Düngung wurden die beiden energetischen Kennzahlen ungünstiger. Der Flüssigmist ist ein wertvoller „flüssiger Volldünger" im Ackerbau (BMLF 1991) und erbringt bei umweltschonender Ausbringtechnik mittels Schleppschlauchverteiler gute Erträge bei höchster Energieeffizienz. Die Düngungsvariante mit Schweinegülle erreichte bei einem Netto-Energieoutput von 228 GJ/ha die niedrigste Energieintensität von 1,53 MJ/kg und das höchste Energieoutput/Energieinput-Verhältnis von 12,2:1.

4 Schlussfolgerungen

Der Standort beeinflusste über die Bodenbonität entscheidend die Energieeffizienz in der Körnermaisproduktion. Die hohe Stickstoffnachlieferung aus der Bodensubstanz am Standort Wagendorf bewirkte, dass die Energieeffizienz bei der nicht gedüngten Variante am höchsten war und nur durch die organische Düngungsvariante übertroffen wurde. Eine zusätzliche Humus- und Stickstoffbilanzierung kann weitere Aufschlüsse bringen, bei welcher mineralischen N-Düngungsmenge der Humusgehalt nachhaltig stabilisiert werden kann. Standortunabhängig wies die Düngungsvariante mit Flüssigmist die höchste Energieeffizienz auf. Am Standort Wagna wurde die höchste Energieeffizienz in den mineralischen Stickstoffdüngungsvarianten bei 90 und 115 kg N/ha erreicht, während diese am Standort Wagendorf bei der Nullvariante (0 kg N/ha) lag.

Durch die Verwendung von erneuerbaren Energieträgern z. B. in Kombination mit Biomasse-Nahwärmeversorgungsanlagen oder mit Biogasanlagen besteht Potenzial, den fossilen Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung zu reduzieren. Die Trocknung von Nassmais entfällt ganz, wenn dieser nach der Ernte der Nassmaiskonservierung bzw. der Erzeugung von Maisstärke, Bioethanol und Zitronensäure zugeführt wird.

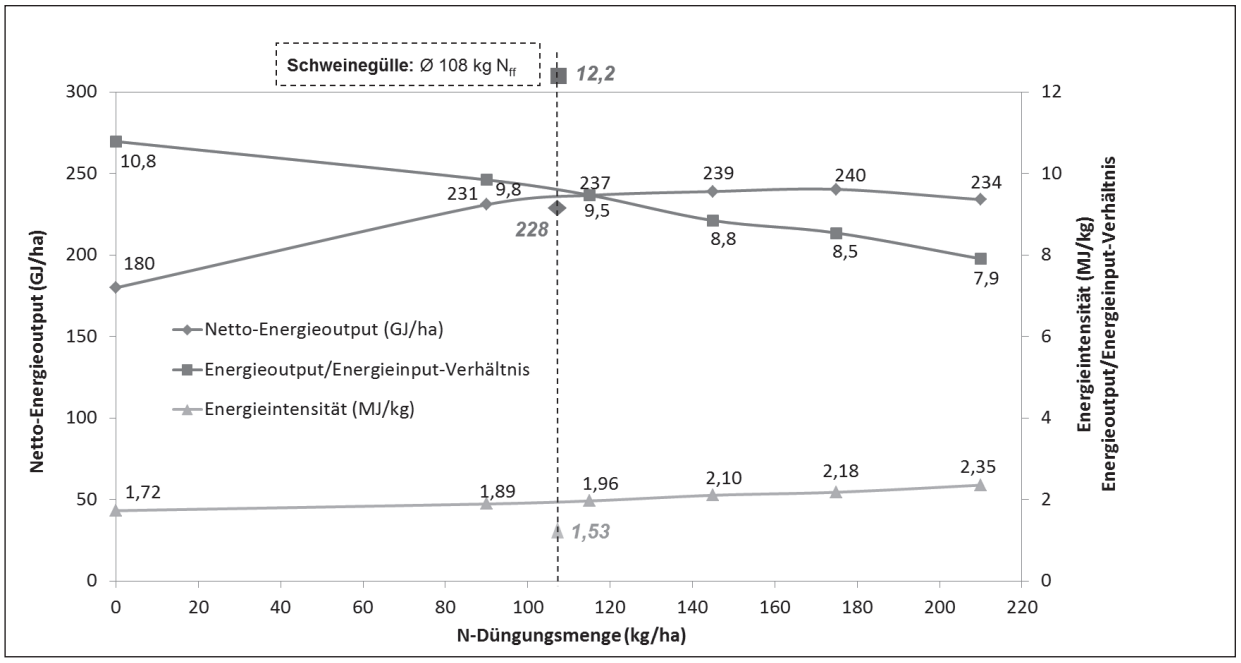


Abbildung 4: Durchschnittliche Energieeffizienz am Standort Wagendorf (2008–2012)
Figure 4: Mean energy efficiency at the experimental site Wagendorf (2008–2012)

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Versuchsdurchführung bei den Mitarbeitern Josef Pferscher und Manfred Drexler vom Versuchswesen der steirischen Landwirtschaftsschulen, Hatzendorf – Abt.6-FA Berufsbildendes Schulwesen, Amt d. Stmk. Landesregierung sowie bei den landwirtschaftlichen Betrieben Karl Krasser (Wagna) und Josef Lorber (Wagendorf). Für das Korrekturlesen gebührt Dank ao. Univ. Prof. Dr. Herbert Weingartmann.

Literatur

BIEDERMANN, G. (2009): Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Weizenproduktion bei verschiedenen Produktionssystemen (konventionell und ökologisch) und verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (Pflug, Mulchsaat, Direktsaat), Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

BMLFUW (2013): Grüner Bericht 2013. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Wien. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. www.gruenerbericht.at

BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz des BMLFUW, 6. Auflage, Wien.

BOXBERGER, J. & G. MOITZI (2008): Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Wandel. In: (Hrsg.) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), KTBL-Schrift 463. „Energieeffiziente Landwirtschaft" KTBL-Tagung vom 8. bis 9. April 2008 in Fulda. 7–16. ISBN 978-3-939371-59-5.

CIGR (1999): International Commission of Agricultural Engineering. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume V Energy and Biomass Engineering. American Society of Agricultural Engineers. http://www.cigr.org/Handbook.

BMLF (1991): Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (1991): Wirtschaftsdünger – richtige Gewinnung und Anwendung. Sonderausgabe der Zeitschrift „Förderungsdienst". Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

HEGE, U. & M. BRENNER (2004): Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL). Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. 9/2004 Institut für Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz. Internet: http://www.LfL.bayern.de.

HOEPPNER J. W., M. H. ENTZ, B. G. MCCONKEY, R. P. ZENTNER & C. N. NAGY (2005): Energy use and effici-

ency in two Canadian organic and conventional crop production systems. Renewable Agriculture and Food Systems: 21(1); 60–67.

Hülsbergen, K. J. (2008): Energieeffizienz ökologischer und integrierter Anbausysteme. In: (Hrsg.) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), KTBL-Schrift 463. „Energieeffiziente Landwirtschaft" KTBL-Tagung vom 8. bis 9. April 2008 in Fulda. 87–99. ISBN 978-3-939371-59-5. 87–99.

KTBL (2012): Diesel- und Feldarbeitsrechner. http://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html. http://daten.ktbl.de/dieselbedarf/main.html.

LGBl.Nr. 86/1990, 21. Nov. 1990, letzte Novelle LGBl. Nr. 13/2009: Wasserschongebietsverordnung Westliches Leibnitzer Feld. Verordnung der Steiermärkische Landesregierung.

McLaughlin, N. B., A. Hiba, G. J. Wall & D. J. King (2000): Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production. Canadian Agricultural Engineering. Vol. 42, No. 1. 2.1–2.14.

Moitzi, G. & J. Boxberger (2009): Kraftstoffverbrauch und Reduktionspotenziale. In: Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. In: Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau; Werte-Wege-Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel; Zürich, 11.–13. Februar 2009. ISBN 978-3-89574-700-7. 394–397.

Moitzi, G., K. Meier, S. Falb, J. Schrabauer & H. Wagentristl (2010): Energy efficiency in Arable Farms – a Comparative Analysis. In: University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Bucharest, Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. Scientific Papers; p. 109–112; ISSN 1844-5640.

Moitzi, G., T. Szalay, M. Schüller, H. Wagentristl, K. Refenner, H. Weingartmann & P. Liebhard (2009): Energy efficiency in different soil tillage systems in the semi-arid region of Austria. In: XXXIII CIOSTA CIGR V Conference 2009. Technology and management to ensure sustainable agriculture, agro systems, forestry and safety. Editors: Giametta G. – Zimbalatti G, 17. 19 June 2009. Reggio Calabria – Italy, 1173–1177.

ÖKL (2012): ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2012. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung. Wien.

Pimentel, D., M. Pimentel & M. Karpenstein-Machan (1999): Energy use in agriculture – an overview. E-journal CIGR. 1–32.

Robier, J., J. Fank, G. Dersch & F. Feichtinger (2010): Effiziente und ineffiziente Maßnahmen zum Grundwasserschutz. Tagungsbericht zur 65. ALVA-Tagung, Schloss Puchberg, Vom Lebensmittel zum Genussmittel – was essen wir morgen. S. 38–40.

Rossrucker, H. (1977): Die Kosten der Trocknung von Körnermais – ihre Berechnung und Problematik. Landtechnische Schriftenreihe Heft 33, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik (ÖKL), Wien.

Sartori, L., M. Betocco & M. Chiarion (2003): Energy and CO_2 Balance for Maize (*Zea Mais, L.*) and Wheat (*Triticum aestivum, L.*) in Organic and Conventional Production Systems in Italy. XXX CIOSTA-CIGRV Congress, Turin. Management and technology applications to empower agro-food systems. ISBN 88-88854-09-6.660-671.

Schüller, M., G. Moitzi, H.Weingartmann & P. Liebhard (2011): Fuel consumption, CO_2-emission and energy efficiency in soil tillage systems in Austria. In: BOKU – University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna CIOSTA CIGR, XXXIVCIOASTA, CIGR V Conference. Efficient and Safe production processes in sustainable agriculture and forestry. 29 June – 01 July 2011 Vienna – Austria, Book of Abstracts with papers on CD inside; ISBN: 978-3-200-02204-1.

Szalay, T. A., G. Moitzi, H. Weingartmann & P. Liebhard (2010): Energieeinsatz und Energieeffizienz unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme in einer viergliedrigen Fruchtfolge im semiariden Produktionsgebiet. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen (ALVA) (Hrsg.), Vom Lebensmittel zum Genussmittel – was essen wir morgen, Tagungsbericht 2010, 20–22; ISSN 1606-612X.

Versuchsreferat Steiermark (2012): Versuchsbericht 2012. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. www.versuchsreferat.at. Hatzendorf.

Von Weizsäcker, E., K. Hargroves, H. M. Smith, C. Desha & P. Stasinopoulos (2009): Factor Five – Transforming the Global Economy through 80 % Improvement in Resource Productivity. A Report to the Club of Rome. Earthscan, London, Sterling (ISBN 978-1-84407-591-1).

Weingartmann, H. (1995): Die Trocknungskosten von Körnermais – kritisch betrachtet. Der Fortschrittliche Landwirt Heft 21/1995. S. 7–8.

ZAMG: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte, Wien.

Anschrift der Autoren

Dr. Gerhard Moitzi, DI Georg Thünauer, Univ. Prof. Dr. Andreas Gronauer, Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Peter Jordan Straße 82, 1190 Wien
Dr. Johann Robier, Versuchsreferat der steirischen Landwirtschaftsschulen, Amt d. Stmk. Landesregierung, Abt. 6 – FA Berufsbildendes Schulwesen. A-8361 Hatzendorf 181
versuchsreferat@aon.at