Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf für den Winterweizenanbau im semiariden Produktionsbetrieb

T. Szalay, G. Moitzi, P. Liebhard und H. Weingartmann

Influence of different tillage systems on fuel consumption and requirement of working time in winter wheat cropping in a semiarid area of production

1 Einleitung

Der Energieeinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion ist ein wesentlicher Kostenfaktor und verursacht zudem CO_2-Emissionen. Laut Statistik Austria (2014) wird für das Jahr 2012 für den Sektor Landwirtschaft ein energetischer Endverbrauch an Dieselkraftstoff von 9.172 TJ angegeben. Bezogen auf den volumetrischen Heizwert (35,2 MJ/l) und einer Dichte von 0,83 kg/dm^3 bei 20 °C entspricht dies einer Dieselkraftstoffmenge von 216.272 t.

Mehr als ein Drittel der Gesamtkosten einer Traktorstunde sind aufgrund der hohen Energiepreise auf die variablen Kraftstoffkosten zurückzuführen (Schrottmaier et al., 2009). Konventionelle Bodenbewirtschaftungssysteme mit Pflug sind z. T. sehr energieintensiv und stellen daher einen beträchtlichen Kostenfaktor in der Pflanzenproduktion dar.

Veränderte ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen erfordern ein Optimieren der herkömmlichen Verfahren in der Bodenbearbeitung. Ziel sind kosten- und energiesparende sowie bodenschützende Alternativen im

Summary

In a long term trial (since 1996) with five different tillage systems (conventional, reduced, minimum, combined-integrated, no till), process parameters (fuel consumption, field performance, slip) in each tillage process were measured. A 92 kW-AWD tractor with real time data acquisition system was used. The mean fuel consumption at conventional tillage was 39.9 l/ha and was reduced by 42 % in reduced tillage, by 55 % in minimum tillage, by 32 % in combined-integrated tillage and by 85 % in no till. The mean requirement of working time of 2.2 h/ha at conventional tillage was reduced by 39 % (reduced tillage), by 48 % (minimum tillage), by 33 % (combined-integrated tillage) and by 81 % in no till.

Key words: Fuel consumption, requirement of working time, tillage, winter wheat, time for turning.

Zusammenfassung

In einem Langzeitversuch (seit 1996) mit fünf verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (konventionelle BB, reduzierte BB, minimale BB, kombiniert-integriertes BB, Direktsaat) wurden verfahrenstechnische Parameter (Kraftstoffverbrauch, Flächenleistung, Schlupf) bei den einzelnen Arbeitsgängen erfasst. Dabei kam ein 92 kW-Allradtraktor mit integrierter Messtechnik zum Einsatz. Die Ergebnisse zum mittleren Kraftstoffverbrauch zeigen, dass dieser bei konventioneller BB 39,9 l/ha betrug und bei der reduzierten BB um 42 %, bei der minimalen BB um 55 %, bei der kombiniert-integrierten BB um 32 % und bei Direktsaat um 85 % reduziert werden konnte. Der mittlere Arbeitszeitbedarf von 2,2 h/ha in der konventionellen BB wurde um 39 % (reduzierte BB), um 48 % (minimale BB), um 33 % (kombiniert-integrierte BB) bzw. bei der Direktsaat um 81 % reduziert.

Schlagwörter: Kraftstoffverbrauch, Arbeitszeitbedarf, Bodenbearbeitungssystem, Winterweizen, Wendezeit.

Ackerbau. Eine Verminderung der Bodenbearbeitungsintensität trägt wesentlich dazu bei, die Produktionskosten zu senken und der zunehmenden Erosion und Verdichtung der Böden entgegenzuwirken. Bodenbearbeitungssysteme können nach der Intensität der Bodenbearbeitung und der Bodenbedeckung mit Mulchauflage nach der Aussaat beschrieben werden (LOIBL, 2006). Daher werden Bodenbearbeitungssysteme, bei denen mehr als 30 % Bodenbedeckung nach der Saat aufliegen, als konservierend (Mulchsaat, Streifensaat und Direktsaat) und darunter als konventionell (wendend mit Pflug, nicht wendend mit Grubber) bezeichnet. Die weite Variation im Kraftstoffverbrauch bei den verschiedenen Feldarbeitsgängen wird in der unterschiedlichen Bodenart und der unterschiedlich eingesetzten Traktor- und Gerätetechnik begründet (KALK UND HÜLSBERGEN, 1999).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden in einem pflanzenbaulichen Langzeitversuch mit fünf Bodenbearbeitungssystemen im Herbst 2005 verfahrenstechnische Kennwerte (z. B. Kraftstoffverbrauch, Schlupf und Flächenleistung) bei den einzelnen Arbeitsgängen mit ortsüblicher Mechanisierung erhoben. Die untersuchten Bodenbearbeitungssysteme wurden anschließend hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf vergleichend beurteilt.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsstandort

Der Langzeitversuch an der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf der Universität für Bodenkultur Wien befindet sich in Raasdorf (48° 15′ N/ 16° 37′ E; 8 km östlich von Wien, Seehöhe: 153 m) im südwestlichen Marchfeld. Die vorherrschenden Klimaverhältnisse sind für das pannonische Gebiet repräsentativ und sind geprägt durch heiße, trockene Sommer sowie schneearme Winter. Die langjährige mittlere Jahrestemperatur beträgt 10° C (Monatsmittel: Maximum im Juli mit +20 °C, Minimum im Jänner mit -0,5 °C). Die langjährige mittlere Jahressumme der Niederschläge liegt bei 544 mm. Das Maximum der Niederschläge fällt im Sommer (mittlere Monatssummen: Maximum im Juni mit 68 mm, Minimum im Jänner mit 26 mm). Der Standort ist besonders gekennzeichnet durch geringe relative Luftfeuchtigkeit und wenig Taubildung. Zwischen den Jahren und auch innerhalb eines Jahres bestehen große Schwankungen (SZALAY, 2003).

2.2 Boden

Der Boden des Versuchsfeldes ist ein Tschernosem der Praterterrasse, der aus kalkhaltigen Feinsedimenten entstand. Das Relief ist eben. Der Boden ist tiefgründig und mittelschwer und die Bodenart ist ein schluffiger Lehm, wobei der Schluffgehalt im Unterboden stark zunimmt. Der Ap-Horizont reicht von 0 bis 30 (40) cm und hat eine graubraune Farbe. Der Oberboden ist humos, der Humusgehalt beträgt 3,05 %. Im Ah-Horizont (30 bis 50 cm) fällt der Humusgehalt auf 2,50 % ab. Die Humusform ist Mull. Die Krume fällt bei der Bearbeitung schollig bis blockig und neigt bei starken Niederschlägen zu Verschlämmung, Verkrustung und Dichtlagerung. Die Durchwurzelbarkeit in tiefen Bodenschichten ist gut.

Der AC-Horizont reicht von 50 bis 90 cm Tiefe. Es handelt sich um einen humusfleckigen Schwemmlöß. Diese Bodenschicht ist stark lehmig, mäßig durchwurzelt und belebt und reagiert ebenfalls alkalisch. Der C-Horizont besteht aus ockerfarbigem Schwemmlöß und reicht bis in eine Tiefe von 100 bis 120 cm. Darunter liegt mittelfeiner Schotter. Der Boden weist eine hohe Wasserspeicherfähigkeit und mäßige Durchlässigkeit auf. Die Feldkapazität wird bei 28,4 Vol. %, der permanente Welkepunkt bei 14,7 Vol. % Wassergehalt in der Krume erreicht. Damit ergibt sich eine von den Pflanzen nutzbare Wasserkapazität von ca. 14 Vol. %. Die Kraftstoffverbrauchsmessungen wurden im Oktober 2005 unter als optimal geschätzten Anbaubedingungen (trockenen Bodenverhältnissen) durchgeführt.

2.3 Bodenbearbeitungssysteme

Der Bodenbearbeitungssystemvergleich wurde im Jahr 1996 als zweifaktorieller Versuch mit den Faktoren Bodenbearbeitung (5 Abstufungen) und Fruchtfolge (2 Abstufungen) konzipiert und als Spaltenanlage (Parzellengröße: 40 m × 24 m) in vierfacher Wiederholung angelegt. Seit 1996 wurde die Bodenbearbeitung in den fünf Systemen jeweils gleich behalten.

2.3.1 Konventionelle Bodenbearbeitung

Bei dieser Bodenbearbeitungsvariante (Lockerbodenwirtschaft nach BAEUMER 1992) erfolgt jährlich eine Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug. Der Boden wird vor jeder Hauptfrucht auf Krumentiefe (ca. 25 cm) mit dem Streich-

blechpflug gelockert und gewendet. Die aufliegende makroorganische Substanz wird dabei vollständig vergraben, an der Bodenoberfläche verbleiben keine Erntereste. Vor der Saat (mit einer Drill-, Band-, Breit- oder Einzelkornsämaschine) erfolgt eine Saatbettbereitung (meist mit Kreiselegge) auf Tiefe der Saatgutablage.

2.3.2 Reduzierte Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung entspricht im Wesentlichen der Lockerboden-Mulchwirtschaft (BAEUMER, 1992). Bei sämtlichen Bearbeitungsmaßnahmen wird auf das Wenden verzichtet; der Boden wird vor jeder Hauptfrucht auf Krumentiefe (ca. 20 cm) mit einem Flügelschargrubber gelockert. Vor der Aussaat der Hauptfrucht wird entweder mit einem flach mischenden Gerät (z. B. Kreiselegge auf 5 cm Tiefe) das Saatbett bereitet oder gleich direkt mit einer mulchsaattauglichen Sämaschine gesät.

2.3.3 Minimale Bodenbearbeitung

Diese entspricht der Festboden-Mulchwirtschaft (BAEUMER, 1992), bei der die ursprüngliche Schichtung des Bodens erhalten bleibt. Die Bodenbearbeitung beschränkt sich auf eine in Saattiefe flächendeckende wühlende Stoppelbearbeitung und teilweise einer flachen Saatbettbereitung. Das Bodenbearbeitungsgerät ist ein Flügelschargrubber mit einer Packerwalze als Nachläufer. Dieser Grubber ermöglicht eine flache Bodenbearbeitung mit einer Arbeitstiefe von nur 7 bis 10 cm. Die Saat erfolgt mit einer Direktsä- oder Mulchsaatsämaschine.

2.3.4 Direktsaat

Bei der extremen Festboden-Mulchwirtschaft (BAEUMER, 1992), der „Direktsaat“, wird auf die Bodenbearbeitung verzichtet. Der Boden wird bei jeder Saat nur in der Saatreihe mit speziellen Direktsämaschinen auf Saattiefe und Säscharbreite geöffnet. Der bestehende Bewuchs wird vor der Saat mittels chemischer Unkrautbekämpfung mit einem Totalherbizid beseitigt.

2.3.5 Kombiniert-integrierte Bodenbearbeitung

Bei dieser Bodenbearbeitungsvariante erfolgt eine Kombination von reduzierter Bodenbearbeitung und konventioneller Pflugwirtschaft. Es werden in Abhängigkeit der jeweiligen Vor- und Nachfrucht die Bodenbearbeitungsgeräte Pflug, Tiefenlockerer und Grubber eingesetzt. Es gibt kein starres Vorgehensmuster. Soweit möglich, erfolgt grundsätzlich die Bodenbearbeitung in reduzierter Form. Der Streichblechpflug zur Oberkrumenwendung und der Grubber zur Bodenlockerung werden abwechselnd eingesetzt, wenn dies für die Folgefrucht (Zuckerrübe, Kartoffel, …) oder zur Bekämpfung von Unkräutern erforderlich ist (LIEBHARD, 1995).

2.4 Traktor und Geräte

Für sämtliche Arbeiten wurde ein Allradtraktor der Marke Steyr, Type 9.125a, mit 92 kW (125 PS) eingesetzt. Beim Motor handelt es sich um einen 6 Zylinder-Dieselmotor mit 6.600 cm^3 Hubraum und Abgasturbolader. Die Nenndrehzahl beträgt 2.300 U/min und das max. Drehmoment 497 Nm bei einer Motordrehzahl von 1.500 U/min. Das Getriebe ist ein Vollsynchron-Wendegetriebe mit 4 Lastschaltstufen und 6 Gängen.

Die Arbeitsbreiten betrugen mit Ausnahme des Pfluges (1,6 m) einheitlich 3,0 m.

Tabelle 1: Bodenbearbeitungssysteme mit eingesetzten Geräten sowie Arbeitstiefe in cm
Table 1: Tillage systems with used implements and working depth in cm

	Konventionelle Bodenbearbeitung	Direktsaat	Reduzierte* Bodenbearbeitung	Minimale Bodenbearbeitung	Kombiniert-integr. Bodenbearbeitung*
Pflug (2x4)	25	–	–	–	25
Kreiselegge	5	–	–	–	5
Tiefenlockerer	–	–	35	–	–
Grubber tief	–	–	20	–	20
Grubber flach	–	–	–	10	–
Sämaschine	4	4	4	4	4
Grubber (Stop.sturz)	5	–	5	5	5

* Pflug und Kreiselegge bzw. Tiefenlockerer werden nur jedes vierte Jahr eingesetzt (viergliedrige Fruchtfolge)

2.5 Messtechnik

Die analogen und digitalen Signale (Tabelle 2) wurden in einem Datalogger (Squirrel Datalogger 2020) mit einer Scanrate von 1 Hz aufgezeichnet.

Aus der tatsächlichen und theoretischen Geschwindigkeit wurde der Schlupf berechnet (MOITZI et al., 2014). Die eingesetzte Messtechnik ermöglichte in Echtzeit bei der vorhandenen Parzellenlänge von 40 m eine Erfassung der verfahrenstechnischen Parameter (Tabelle 2) für die Hauptzeit und Wendezeit. Da Rüst- und Wegezeiten sowie sonstige Teilzeiten von einzelbetrieblichen Bedingungen abhängig sind (WAGNER, 2001; AUERNHAMMER et al., 2001), wurden diese nicht untersucht.

Zur volumenstrombasierten Kraftstoffmessung wurde ein Durchflussmessgerät (PLU 116H) in die Kraftstoffanlage des Versuchstraktors Steyr 9.125a integriert. Das Durchflussmessgerät mit dem Proportional-Integral-Controller arbeitet nach dem Mess- und Funktionsprinzip des servogeregelten Verdrängerzählers (Dp = 0). Das Digitalsignal, welches als optoentkoppeltes Rechtecksignal vorliegt und als Frequenz aufgezeichnet wird, besitzt eine Messgenauigkeit von 0,3 % bezogen auf den Messwert (AVL, 2005). Der Aufbau der Kraftstoffmessung ist in MOITZI et al. (2014) ausführlich beschrieben.

Der Kraftstoffverbrauch [l/ha] wurde daher für die Hauptzeit (d. h. ohne Berücksichtigung der Wendezeit) aus den Faktoren Kraftstoffverbrauch [l/h] und Arbeitszeitbedarf [h/ha] wie folgt berechnet (Gleichung 1).

$$KV_{HZ} = B_{HZ} \times AZ \quad (1)$$

KV_{HZ} = Kraftstoffverbrauch in der Hauptzeit [l/ha]
B_{HZ} = mittlerer Kraftstoffverbrauch [l/h]
AZ = Arbeitszeitbedarf [h/ha]

Die technische Flächenleistung [ha/h] wurde mit Gleichung 2 berechnet.

$$A_{tech} = b \times v \times 0.1 \quad (2)$$

A_{tech} = technische Flächenleistung [ha/h]
b = Arbeitsbreite des Gerätes [m]
v = Fahrgeschwindigkeit [km/h]

Der Arbeitszeitbedarf [h/ha] wurde aus dem Kehrwert von A_{tech} berechnet.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm „SPSS für Windows“, Version 15.0.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Kraftstoffverbrauch

Der mittlere Kraftstoffverbrauch für die eingesetzten Geräte in den fünf Bodenbearbeitungssystemen ist in der Abbildung 1 dargestellt. Die Arbeitsschritte für Düngungs-, Pflanzenschutz- oder Erntemaßnahmen wurden nicht berücksichtigt, da diese bei allen Bodenbearbeitungssystemen über die Jahre gleich waren. Im kombiniert-integrierten Bodenbearbeitungssystem wurden der Pflug und die Kreiselegge jedes vierte Jahr eingesetzt, daher kam es zur aliquoten Berücksichtigung des Kraftstoffverbrauchs, d. h. ein Viertel des Kraftstoffverbrauchs von Pflug und Kreiselegge und drei Viertel des Kraftstoffverbrauchs Grubber tief. Bei der reduzierten Bodenbearbeitung wurde ein Viertel des Kraftstoffverbrauchs vom Tiefenlockerer hinzugerechnet, da dieser alle vier Jahre zusätzlich eingesetzt wurde.

Mit zunehmender Bearbeitungsintensität, welche durch die Bearbeitungstiefe und Anzahl der Bearbeitungsgänge bestimmt wird, stieg der Kraftstoffverbrauch. Erwartungsge-

Tabelle 2: Gemessene verfahrenstechnische Parameter und deren Messtechnik
Table 2: Measured procedural parameters and their measurement technology

Verfahrenstechnische Parameter	Messtechnik
aktueller Kraftstoffverbrauch (B)	Durchflussmessgerät (PLU 116H), induktiver Verdrängerzähler generiert ein optoentkoppeltes Rechtecksignal (22–2800 Hz)
tatsächliche Fahrgeschwindigkeit (v)	Radarsensor: generiert ein Rechtecksignal (130 Impulse/m = 36,11 Hz/km/h)
theoretische Fahrgeschwindigkeit (v_0)	Induktiver Getriebesensor generiert über einen D-/A-Wandler eine Gleichspannung (0,4–3,8 V)
Motordrehzahl (n_M)	Induktivsensor der Lichtmaschine generiert über einen D-/A-Wandler eine Gleichspannung (0–12 V)

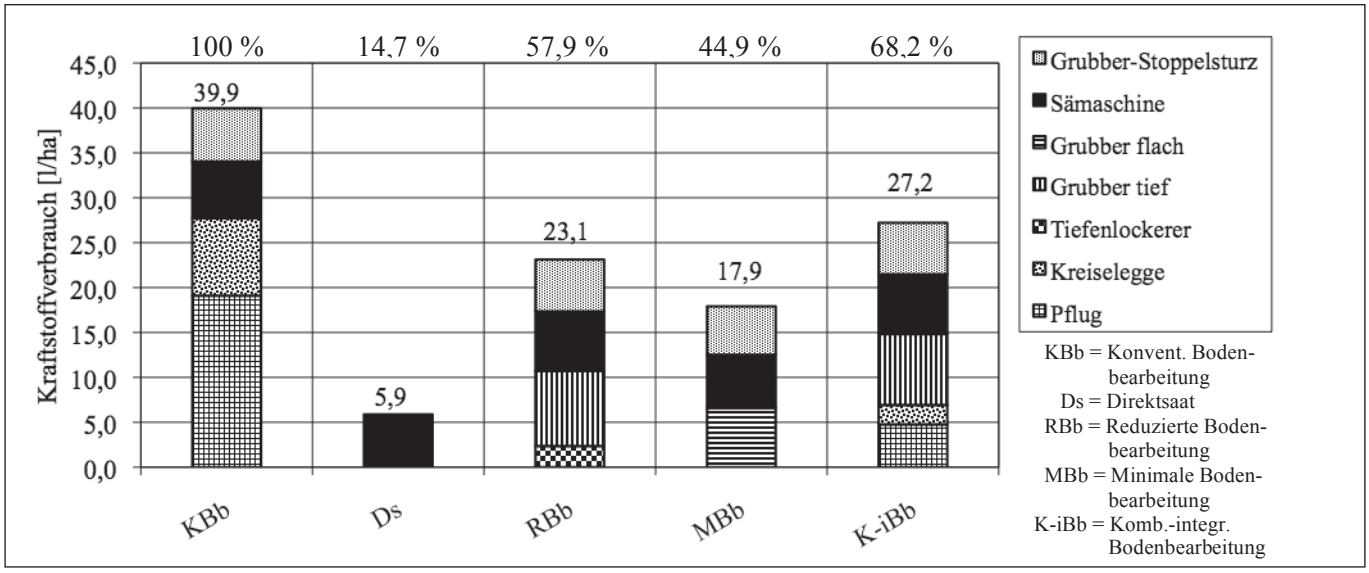

Abbildung 1: Mittlerer Kraftstoffverbrauch [l/ha] (ohne Wendezeit) bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen für Bodenbearbeitung, Saat und Stoppelsturz bei Winterweizen. KBb = 100 %

Figure 1: Mean Fuel consumption [l/ha] (without time for turn-over) on different tillage systems for tillage, sowing and stubble field skimming at winter wheat. KBb = 100 %

mäß war der Kraftstoffverbrauch im konventionellen Bodenbearbeitungssystem durch die intensive Bearbeitung mit Pflug und Kreiselegge am höchsten (ca. 40 l/ha), wobei der Pflugeinsatz alleine beinahe die Hälfte des Gesamtverbrauchs erforderte (19,1 l/ha). Auch der Kreiseleggeneinsatz benötigte zusätzlich noch 8,6 l/ha. Bei der Direktsaatvariante wurde außer der Saat keine Bodenbearbeitung durchgeführt. Der Kraftstoffbedarf für den Anbau lag bei 5,9 l/ha.

Bei der reduzierten Bodenbearbeitung wurden ein Grubber und ein Tiefenlockerer eingesetzt. Der Kraftstoffverbrauch beim Grubbern (20 cm Arbeitstiefe) betrug 8,3 l/ha, welcher etwa einem Drittel des Gesamtverbrauchs dieser Variante entsprach. Beim Tiefenlockerer lag der jährliche (anteilsmäßige) Verbrauch bei 2,4 l/ha und war damit relativ gering. Bei der minimalen Bodenbearbeitung, bei der vor der Saat nur gegrubbert wurde, betrug der Kraftstoffbedarf für das Grubbern (10 cm Arbeitstiefe) 6,6 l/ha. Im kombiniert-integrierten Bodenbearbeitungssystem wurden sowohl Pflug und Kreiselegge als auch der Grubber eingesetzt. Es wurde ein jährlich-aliquoter Verbrauch von 4,8 l/ha beim Pflug und 2,1 l/ha bei der Kreiselegge hinzugerechnet. Der jährliche (anteilsmäßige) Kraftstoffbedarf für den Grubber (20 cm Arbeitstiefe) lag bei 7,9 l/ha. Der Kraftstoffverbrauch für die Saat lag zwischen 5,9 l/ha (Direktsaat) und 6,7 l/ha (kombiniert-integrierte Bodenbearbeitung) und unterschied sich damit nicht signifikant zwischen den Varianten. Auch beim Stoppelsturz verhielt es sich ähnlich. Dort lag der Verbrauch zwischen 5,4 l/ha (minimale Bodenbearbeitung) und 5,9 l/ha (konventionelle Bodenbearbeitung).

Während bei der Stoppelbearbeitung aufgrund kongruenter Ziele und Geräte die Unterschiede minimal sind, werden bei der Grundbodenbearbeitung durch Einsatz unterschiedlicher Technik größere Unterschiede ersichtlich (Dutzi, 2008). Die konventionelle Bodenbearbeitung mit der jährlich wendenden Bodenbearbeitung weist den höchsten Kraftstoff- und Arbeitszeitbedarf auf. Bei Bodenbearbeitungsgängen mit einheitlicher Arbeitstiefe, z. B. bei der Saat oder beim Stoppelsturz, unterscheidet sich der Kraftstoffverbrauch zwischen den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen nur gering. Bei der reduzierten und minimalen Bodenbearbeitung konnte gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung eine Verminderung des Kraftstoffverbrauchs zwischen 42 % und 55 % festgestellt werden. Untersuchungen von Schreiberhuber (1985) und in Deutschland (Mumme und Hörner, 2007; Dutzi, 2008) mit ähnlicher Fragestellung ergaben ähnliche Ergebnisse.

Extensive Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat ermöglichen nach Kalkulationen von Daniels-Spangenberg (2000) Einsparungen bei den Arbeitserledigungskosten von 30 %.

Tabelle 3 bis Tabelle 9 zeigen ergänzend die statistischen Kennzahlen für die eingesetzten Arbeitsgeräte.

Tabelle 3: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für den Pflug (Arbeitsbreite 1,60 m, Arbeitstiefe 25 cm); n=3043
Table 3: Statistical key data for process parameter of the plough (working width 1,60 m, working depth 25 cm); n=3043

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	6,4	1,0	4,0	8,9	6,4	6,5	16,2
theor. Geschw	km/h	6,7	1,2	4,0	9,0	6,7	6,8	17,3
Schlupf	%	6,1	2,7	0,0	28,2	6,0	6,2	43,5
Motordrehzahl	U/min	1920	218	1400	2293	1911	1928	11
Kraftstoffverbr.	l/h	19,2	2,7	13,0	24,0	19,1	19,4	14,1
Kraftstoffverbr.	l/ha	18,8						
techn. Fl.leist.	ha/h	1,0						

Tabelle 4: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für den Tiefenlockerer (Arbeitsbreite 3 m, Arbeitstiefe 35 cm); n=1545
Table 4: Statistical key data for process parameter of the subsoiler (working width 3 m, working depth 35 cm)); n=1545

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	7,2	0,8	5,5	9,6	7,1	7,2	11,5
theor. Geschw	km/h	7,7	1,0	5,6	10,0	7,6	7,8	12,3
Schlupf	%	6,3	3,6	0,0	30,0	6,1	6,5	56,9
Motordrehzahl	U/min	1970	224	1400	2294	1958	1983	11
Kraftstoffverbr.	l/h	20,3	2,2	15,0	24,0	20,2	20,4	10,9
Kraftstoffverbr.	l/ha	9,4						
techn. Fl.leist.	ha/h	2,2						

Tabelle 5: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für den Grubber tief (Arbeitsbreite 3 m, Arbeitstiefe 20 cm); n=2893
Table 5: Statistical key data for process parameter of the field cultivator deep (working width 3 m, working depth 20 cm); n=2893

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	7,3	1,1	5,5	10,4	7,3	7,3	14,9
theor. Geschw	km/h	7,7	1,1	5,5	10,5	7,7	7,8	14,1
Schlupf	%	6,3	2,9	0,0	23,1	6,2	6,4	45,7
Motordrehzahl	U/min	2024	208	1501	2395	2016	2032	10
Kraftstoffverbr.	l/h	20,5	2,5	13,2	24,5	20,4	20,6	12,0
Kraftstoffverbr.	l/ha	9,4						
techn. Fl.leist.	ha/h	2,2						

Tabelle 6: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für den Grubber flach (Arbeitsbreite 3 m, Arbeitstiefe 10 cm); n=1169
Table 6: Statistical key data for process parameter of the field cultivator smooth (working width 3 m, working depth 10 cm); n=1169

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	9,0	1,6	6,5	12,3	8,9	9,1	17,7
theor. Geschw	km/h	9,2	1,6	6,5	12,4	9,1	9,3	17,6
Schlupf	%	3,3	1,4	0,1	18,4	3,2	3,4	43,7
Motordrehzahl	U/min	2138	142	1806	2394	2129	2147	7
Kraftstoffverbr.	l/h	18,2	3,4	13,0	24,5	17,9	18,4	18,5
Kraftstoffverbr.	l/ha	6,7						
techn. Fl.leist.	ha/h	2,7						

Tabelle 7: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für die Kreiselegge (Arbeitsbreite 3 m, Arbeitstiefe 5 cm); n=641
Table 7: Statistical key data for process parameter of the rotary harrow (working width 3 m, working depth 5 cm); n=641

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	7,7	0,5	6,5	8,5	7,7	7,7	6,0
theor. Geschw	km/h	7,8	0,5	6,5	8,5	7,8	7,9	5,9
Schlupf	%	2,2	1,5	0,0	10,8	2,1	2,3	68,8
Motordrehzahl	U/min	1943	96	1704	2100	1935	1951	5
Kraftstoffverbr.	l/h	19,9	2,2	15,0	23,5	19,7	20,1	11,0
Kraftstoffverbr.	l/ha	8,6						
techn. Fl.leist.	ha/h	2,3						

Tabelle 8: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für die Sämaschine (Arbeitsbreite 3 m, Arbeitstiefe 4 cm); n=3403
Table 8: Statistical key data for process parameter of the drilling machine (working width 3 m, working depth 4 cm); n=3403

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	8,2	1,5	0,3	12,0	8,2	8,3	18,6
theor. Geschw	km/h	8,7	1,6	5,6	12,0	8,6	8,7	18,6
Schlupf	%	6,4	2,7	0,0	27,3	6,3	6,5	42,3
Motordrehzahl	U/min	1866	188	1024	2192	1859	1873	10
Kraftstoffverbr.	l/h	15,6	2,6	10,5	22,3	15,5	15,7	16,8
Kraftstoffverbr.	l/ha	6,3						
techn. Fl.leist.	ha/h	2,5						

Tabelle 9: Statistische Kennzahlen der verfahrenstechnischen Parameter für den Stoppelsturz (Arbeitsbreite 3 m, Arbeitstiefe 5 cm); n=4268
Table 9: Statistical key data for process parameter of the stubble field skimming (working width 3 m, working depth 5 cm); n=4268

Bezeichnung	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
tats. Geschw.	km/h	9,5	0,8	7,0	10,9	9,5	9,5	8,1
theor. Geschw	km/h	9,6	0,8	7,0	10,9	9,6	9,6	8,2
Schlupf	%	1,3	1,0	0,0	12,1	1,3	1,4	77,5
Motordrehzahl	U/min	1602	81	1401	1793	1599	1604	5
Kraftstoffverbr.	l/h	16,1	1,5	13,0	20,0	16,1	16,2	9,4
Kraftstoffverbr.	l/ha	5,7						
techn. Fl.leist.	ha/h	2,9						

3.2 Arbeitszeitbedarf

Der in Abbildung 2 dargestellte mittlere Arbeitszeitbedarf bezieht sich nur auf die Hauptzeit (d. h. ohne Berücksichtigung der Wendezeit).

Erwartungsgemäß war beim Pflug aufgrund der geringen Arbeitsbreite (1,60 m) und niedrigen Fahrgeschwindigkeit (6,4 km/h) der ermittelte Arbeitszeitbedarf mit ca. 1 h/ha am höchsten.

Der Tiefenlockerer (35 cm Arbeitstiefe) und der Grubber (20 cm Arbeitstiefe) benötigten aufgrund der größeren Arbeitsbreite (3 m) und höheren Fahrgeschwindigkeit (7,2 bzw. 7,3 km/h) jeweils etwa 0,5 h/ha. Bei der Kreiselegge (3 m Arbeitsbreite) und Sämaschine (3 m Arbeitsbreite) betrug die mittlere Fahrgeschwindigkeit 7,7 km/h bzw. 8,2 km/h. Diese benötigten mit ungefähr 0,4 h/ha in etwa gleich viel Arbeitszeit wie der Tiefenlockerer und der Grubber (20 cm Arbeitstiefe). Den geringsten Arbeitszeitbedarf wiesen das flache Grubbern (10 cm Arbeitstiefe) und der Stoppelsturz auf. Bedingt durch die hohe Fahrgeschwindigkeit (über 9 km/h) und der Arbeitsbreite von 3 m lag der Arbeitszeitbedarf unter 0,4 h/ha.

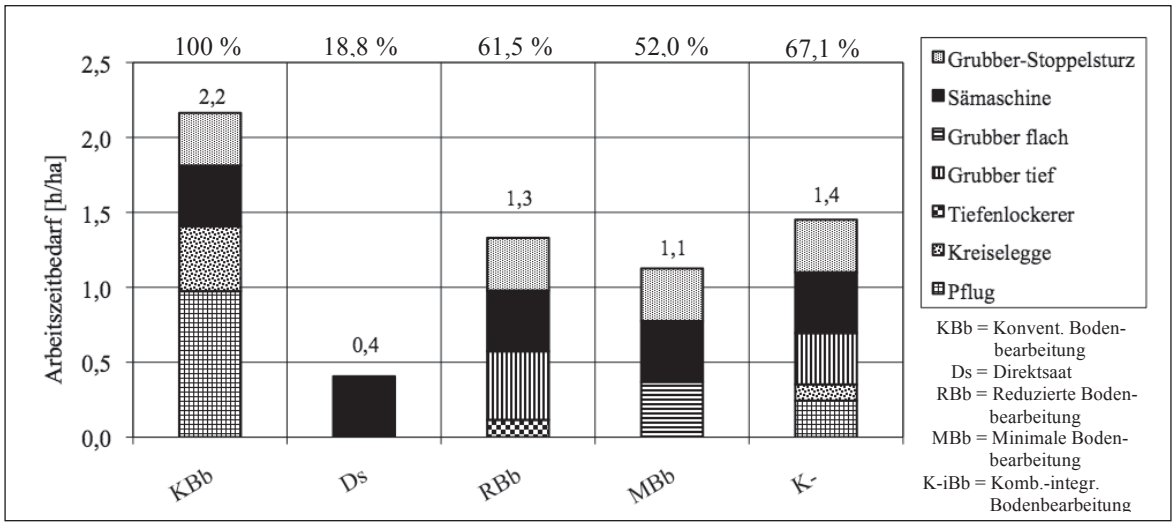

Abbildung 2: Arbeitszeitbedarf [h/ha] (ohne Wendezeit) bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen für Bodenbearbeitung, Saat und Stoppelsturz bei Winterweizen. KBb = 100 %

Figure 2: Requirement of working time [h/ha] (without time for turn-over) on different tillage systems for tillage, sowing and stubble field skimming at winter wheat. KBb = 100 %

3.3 Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf für das Wenden

Die Wendezeit gehört zur Nebenzeit. Der Zeitaufwand pro Wendevorgang (Tabelle 10) betrug zwischen 0,35 Minuten (Grubber Stoppelsturz) und 0,59 Minuten (Pflug). Der stündliche Kraftstoffverbrauch beim Wenden lag zwischen 5,0 l/h (Pflug) und 5,8 l/h (Tiefenlockerer).

Der Wendezeitenanteil ist abhängig von Größe und Form des Grundstückes. Die Abbildung 3 zeigt den berechneten Wendezeitenanteil beim Pflügen (1,6 m Arbeitsbreite), Grubbern (3 m Arbeitsbreite) und Säen (3 m Arbeitsbreite) in einem rechteckigen Feldstück (Seitenverhältnis 1:2) mit einer Feldstückgröße zwischen 1 und 30 Hektar.

Die tatsächliche Leistungsfähigkeit schlagkräftiger und leistungsstarker Mechanisierungsverfahren steht in Abhängigkeit zur Topographie und Geometrie landwirtschaftlicher Nutzflächen. Je nach Schlaggröße und Schlagform ist eine unterschiedliche Anzahl an Wendevorgängen erforderlich (ENGELHARDT, 2004).

Tabelle 10: Zeitaufwand pro Wendevorgang [min.] und Kraftstoffverbrauch beim Wenden [l/h] für die eingesetzten Geräte
Table 10: Expenditure of time per turning at the headland [min.] and fuel consumption at turn-over [l/h] for applied implements

Gerät	Einheit	Mittelwert	Standard-abweichung	Spannweite		95% Konf.interv.		Var.koeff. [%]
				Min	Max	untere Gr.	obere Gr.	
Pflug (2x4)	min	0,59	0,07	0,47	0,87	0,58	0,60	12,6
	l/h	5,0	2,5	0,9	20,4	4,9	5,1	49,9
Tiefenlockerer	min	0,50	0,08	0,30	0,73	0,48	0,52	15,7
	l/h	5,8	3,5	1,3	21,8	5,6	5,9	61,3
Grubber tief	min	0,43	0,06	0,27	0,58	0,42	0,44	13,3
	l/h	5,2	2,1	1,4	19,2	5,2	5,3	40,7
Grubber flach	min	0,39	0,07	0,25	0,57	0,37	0,40	17,1
	l/h	5,4	2,0	0,9	12,5	5,3	5,5	37,9
Kreiselegge	min	0,37	0,07	0,23	0,48	0,34	0,40	19,7
	l/h	5,6	1,9	1,3	13,9	5,5	5,8	33,6
Sämaschine	min	0,54	0,11	0,32	0,88	0,53	0,56	19,4
	l/h	5,3	1,8	1,4	15,8	5,2	5,3	34,0
Grubber Stoppelsturz	min	0,35	0,07	0,22	0,65	0,34	0,36	20,0
	l/h	5,8	2,0	1,9	18,4	5,7	5,8	33,9

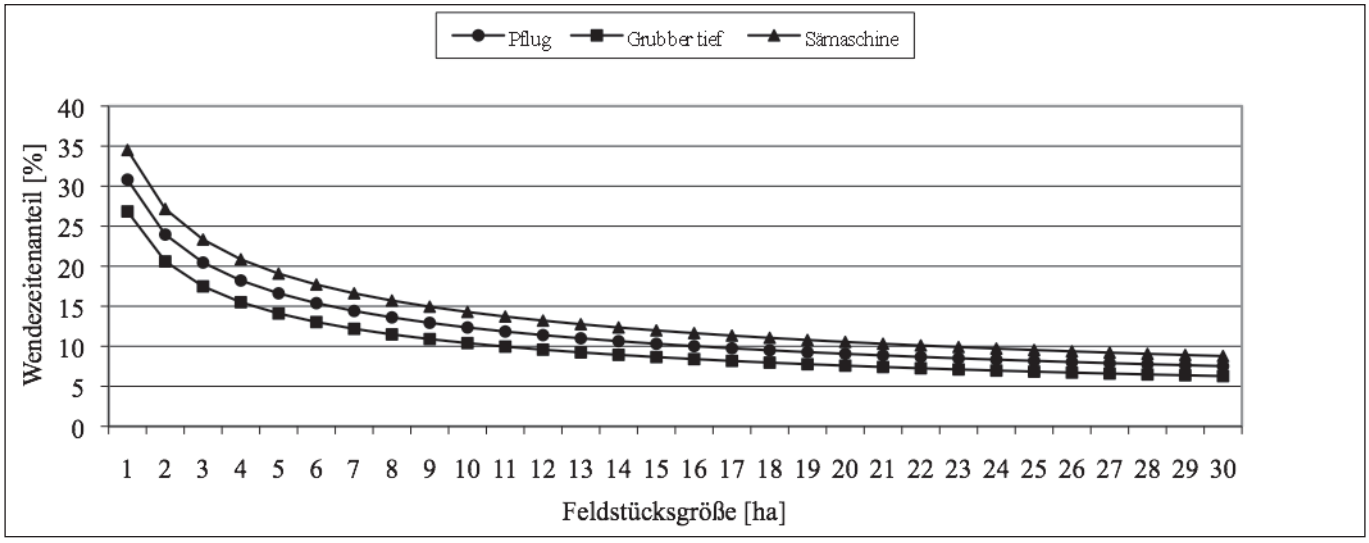

Abbildung 3: Wendezeitenanteile [%] von Pflug, Grubber tief und Sämaschine in Abhängigkeit von der Grundstücksgröße bei einer Rechtecksform des Feldstücks mit dem Seitenverhältnis von 1:2

Figure 3: Time proportion for turning at the headland [%] for plough, field cultivator deep and drilling machine in dependence on the dimension of the field size by a rectangular field with the width-to-length ratio from 1:2

In Bezug auf die Schlaggröße ist der negative ökonomische Effekt kleiner Schläge bekannt. SCHMIDT (1998) beziffert die Einsparung von Lohn- und Maschinenkosten im Zuckerrübenanbau bei einer Erhöhung der Schlaggröße von 0,5 auf 5 Hektar und einer „mittleren Maschinenausstattung" mit rund 20 %. Werden Maschinen überbetrieblich eingesetzt und die Maschinenausstattung „mittelfristig angepasst", können nach SCHMIDT (1998) auf Schlägen größer 5 Hektar weitere Kosteneinsparungen erzielt werden.

AUERNHAMMER (2001) weist darauf hin, dass auf kleinstrukturierten Flächen Wendevorgänge, Randstreifeneffekte und Überlappungen bei der maschinellen Arbeitserledigung die Bewirtschaftungskosten gegenüber großen Flächen erhöhen.

Nach SEUFERT (2000) ist bei einem Anteil der Arbeitserledigungskosten von über 50 % an den Produktionskosten eine Analyse über den Einfluss von Schlaggröße und Schlagform auf die Verfahrenstechnik im Marktfruchtbau als Verbesserungsansatz erforderlich.

Schlussfolgerungen

Die verwendete Messtechnik ermöglichte eine Echtzeitmessung von verfahrenstechnischen Parametern (Kraftstoffverbrauch, tatsächliche und theoretische Fahrgeschwindigkeit, Schlupf) in Parzellenversuchen mit praxisüblicher Mechanisierung. Durch eine Differenzierung der Datensätze in die Hauptzeit- und Wendezeit ist eine Darstellung des Kraftstoffverbrauchs und Arbeitszeitbedarfs für die Hauptzeit (unabhängig von der Feldstückform) möglich. Die erhobenen gerätespezifischen Basisdaten für die Haupt- und Wendezeit dienen auch für die Modellierung des Kraftstoffverbrauchs und Arbeitszeitbedarfs in Abhängigkeit der Feldstückgröße.

Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme haben über die eingesetzten Geräte einen signifikanten Einfluss auf den flächenbezogenen Kraftstoffverbrauch für die Hauptzeit. Von großer Bedeutung sind Bearbeitungstiefe und Anzahl der erforderlichen Arbeitsgänge. Mit zunehmender Bearbeitungsintensität und steigender Arbeitstiefe erhöht sich der Kraftstoffverbrauch. Die Bodenbearbeitungssysteme Direktsaat, reduzierte und minimale Bodenbearbeitung ergaben gegenüber dem konventionellen Bodenbearbeitungssystem mit dem Pflug ein hohes Kraftstoffeinsparungspotential.

Die singuläre Betrachtung des Kraftstoffverbrauchs in der Bodenbearbeitung darf jedoch die Arbeitsqualität und Ernteerträge nicht vernachlässigen. Auch für die Bewertung hinsichtlich der Umweltwirkungen sind weitere Aspekte (z. B. N_2O-Emissionen etc.) zu berücksichtigen. Die Untersuchungsergebnisse zu den gerätespezifischen Kraftstoffverbräuchen liefern eine Datengrundlage für Life Cycle Assessments (LCA), die es ermöglichen, ökologische Auswirkungen umfassender zu beurteilen.

Danksagung

Die Autoren danken den MitarbeiterInnen der BOKU-Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf für ihre umfangreiche Unterstützung bei der Versuchsdurchführung.

Literatur

Auernhammer, H., M. Demmel und M. Rothmund (2001): Gewannebewirtschaftung im Projekt Zeilitzheim. Landtechnik, 56, 3, 136–137.

AVL (2005): Product description – technical specification PLU 116H. AVL List GmbH. Graz. www.avl.com.

Baeumer, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. überarb. und erw. Aufl., Ulmer, Stuttgart.

Daniels-Spangenberg, v. H. (2000): Für wie viel DM/dt ist Weizenproduktion möglich? DLG-Pressedienst zur Wintertagung im Jahr 2000 in Erfurt. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), Frankfurt/M.

Dutzi, S. (2008): Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Aussaatsysteme auf energetische und pflanzenbauliche Parameter. Landtechnik, 63. Jahrgang, 6/08: 338–340.

Engelhardt, H. (2004): Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen.

Kalk, W. D. & K. J. Hülsbergen (1999): Dieselkraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion. Landtechnik, 54, 6, 332–333.

Liebhard, P. (1995): Effekte langjähriger unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung auf ausgewählte Bodenkennzahlen und das Ertragsverhalten von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Körnermais (*Zea mays* L.) und Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris altissima Doel*) im semihumiden Ackerbaugebiet Oberösterreichs. Habilitationsschrift. Universität für Bodenkultur Wien.

Loibl, B. (2006): Einteilung der Bodenbearbeitungssysteme unter Berücksichtigung der Bodenbedeckung. Landtechnik, 61, SH, 302–303.

Moitzi, G., H. Wagentristl, K. refenner, H. Weingartmann, G. Piringer, J. Boxberger & A. Gronauer (2014): Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements. *CIGR Ejournal, 16 (1)*, 182–190.

Mumme, M. & R. Hörner (2007): Kraftstoffverbrauch am Boden halten. DLG-Test, Landwirtschaft (März 2007): 10–13.

Schmidt, F. (1998): Und es funktioniert doch – Freiwilliger Landtausch. DLG-Mitteilungen 8/1998: 22–23.

Schreiberhuber, A. (1985): Einfluss verschiedener Tiefen der Primärbearbeitung des Bodens bei einer 4-gliedrigen Fruchtfolge im semi-humiden Klimagebiet auf Ertrag und Kosten. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien.

Schrottmaier, J., F. Handler, M. Nadlinger, P. Wiederkehr, H. Miglbauer, N. Pickl & R. Krutak (2009): Spritsparen mit Traktoren. Trainerhandbuch. Hrsg. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Seufert, H. & A. Wagner (2000): Verfahrenskosten der Grünlandbewirtschaftung. Landtechnik, 3, 230–235.

Statistik Austria (2014): Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2012 Detailinformation). http://www.statistik.at

Szalay, T. (2003): Einfluss von stabilisierten Stickstoffdüngern zur Saat als Unterfußdünger bei Durumweizen. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.

Wagner, P. (2001): Gewannebewirtschaftung – Kosten und Nutzen. KTBL Sonderveröffentlichung 034 – Gewannebewirtschaftung, KTBL-Fachtagung am 05.07.2001 in Ulm-Seligweiler. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt: 30–41.

Anschrift der Autoren

Dipl. Ing. Tibor Szalay, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 Wien

Dr. Gerhard Moitzi, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien

Ao. Univ.-Prof. Dr. Peter Liebhard, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 Wien

Ao. Univ.-Prof. Dr. Herbert Weingartmann, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien