

Diversität arbuskulärer Mykorrhizapilze in Ackerkulturen bei Direktsaat und Pflug

Claudia Maurer¹, Murielle Rüdy¹, Andreas Chervet¹, Wolfgang G. Sturny¹, René Fleisch² und Fritz Oehl²

¹Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern, Rütli, 3052 Zollikofen, Schweiz

²Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Claudia Maurer, E-Mail: claudia.maurer@vol.be.ch



Abb. 1 | Luftaufnahme der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) im Juni 2004.
(Foto: Gabriela Brändle, Agroscope)

Einleitung

Seit 1994 wird auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) das Ziel verfolgt, einen ökonomisch, ökologisch und sozial verträglichen Ackerbau unter Praxisbedingungen zu entwickeln (Sturny *et al.* 2007). Dabei sollen ein Direktsaat- und ein Pflugsystem im Hinblick auf Kulturwahl und -abfolge, Düngerart und -menge, Pflanzenschutzmittelwahl und -einsatz sowie Stroh- und Gründüngungsmanagement optimiert werden.

Die Bodenorganismen spielen insbesondere für den Erfolg des Anbausystems Direktsaat eine zentrale Rolle: Neben den Regenwürmern, welche die Bodenstruktur- bildung und den Abbau organischer Substanzen wesentlich mitbestimmen (Maurer-Troxler *et al.* 2005), sind Bakterien und Pilze die «Drehscheibe» für Pflanzenernährung und -gesundheit. Rund 80 % aller Pflanzen nutzen die Vorteile einer Partnerschaft mit Wurzelpilzen (Smith und Read 2008): Diese so genannten Mykorrhizapilze bieten den Pflanzen leichteren Zugang zu Nährstoffen, insbesondere Phosphor, aber auch Stickstoff und Wasser,

indem sie den Boden mit ihren Hyphen bis in kleinste, von den Pflanzenwurzeln nicht mehr erreichbare Poren erschliessen. Im Gegenzug geben die Pflanzen den Pilzen einen Teil ihrer assimilierten Kohlenhydrate ab.

Die meisten Acker- und Wiesenpflanzen leben in einer relativ unspezifischen Symbiose mit arbuskulären Mykorrhizapilzen (AM-Pilze). Weltweit sind ca. 270 AM-Pilzarten beschrieben. Ihr Vorkommen wird hauptsächlich von der Bodenbeschaffenheit und der Bewirtschaftungsform bestimmt. Deshalb eignen sie sich als Bioindikatoren in landwirtschaftlich genutzten Böden (Oehl *et al.* 2011a). Die Förderung spezifischer Mykorrhizapilzgemeinschaften könnte einen wesentlichen Beitrag leisten für wasser- und nährstoffeffiziente Anbausysteme (Köhl *et al.* 2014).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Diversität der Mykorrhizapilze in langjährigen Direktsaat- mit derjenigen von Pflugparzellen zu vergleichen, Kultureffekte zu bestimmen, Indikatorarten zu bezeichnen und die Ergebnisse mit bereits vorhandenem Wissen zu diskutieren.

Material und Methoden

Versuchsanlage und Probenahme

Die Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» befindet sich auf einem tiefgründigen Braunerdeboden. Die sechs nebeneinander liegenden Parzellen (Abb. 1) werden je zur Hälfte direkt besät (Direktsaatsystem) beziehungsweise gepflügt (Pflugsystem). Die sechsjährige Fruchtfolge besteht aus Wintereiwisserbsen, Winterweizen, Ackerbohnen, Wintergerste, Zuckerrüben und Silomais. Im Februar 2011 wurden in allen zwölf Teilparzellen Bodenproben aus 0–10 cm Tiefe entnommen. Je Teilparzelle wurde eine Mischprobe aus 20 über die Parzelle verteilten Einstichen gebildet (ca. 1 kg). Beprobt wurden die Hauptkulturen Wintereiwisserbsen, Winterweizen und Wintergerste, zwei Parzellen mit einem abfrierenden, aus mehreren Pflanzenarten zusammengesetzten Gründüngungsgemenge nach den Vorkulturen Winterweizen und Wintergerste (Chervet und Sturny 2013), sowie eine Parzelle mit einer nicht abfrierenden, kaum etablierten Vorerntesaat aus Eiweisserbsen und Ackerbohnen nach Zuckerrüben.

Bestimmung der AM-Pilze

Die Sporen der AM-Pilze wurden mit Hilfe einer kombinierten Nasssiebung und Dichte-Gradient-Technik isoliert (Oehl *et al.* 2005) und unter dem Lichtmikroskop bei 400-facher Vergrößerung bestimmt (Błaszowski 2012). Für die AM-Pilze wurde die Systematik nach Oehl *et al.* (2011b) verwendet. *Glomus intraradices* und *Gl. irregu-* >

Zusammenfassung ■ Auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) werden seit 1994 ein Direktsaat- und ein Pflugsystem miteinander verglichen. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss beider Anbausysteme und verschiedener Ackerkulturen inklusive Gründüngungsgemengen auf die Vielfalt arbuskulärer Mykorrhizapilze (AM-Pilze) untersucht. Hierzu wurden Pilzsporen isoliert und morphologisch bestimmt. Rund zwei Drittel der insgesamt 39 identifizierten Arten waren in beiden Anbausystemen vorhanden. In allen Kulturen wurde bei Direktsaat ein höherer Artenreichtum (15–21 Arten) und eine höhere Diversität nach Shannon-Weaver ($H = 2,12\text{--}2,86$) festgestellt als im Pflugsystem (10–17 Arten bzw. $H = 1,77\text{--}2,56$). Beim Wintergetreide zeigten sich tendenziell niedrigere Artenzahlen als beim Anbau einer Gründüngungsmischung. Die Charakterart für das langjährige Direktsaatsystem ist *Septoglomus constrictum*, diejenige für die gepflügten Parzellen *Funneliformis caledonius*. Die Förderung spezifischer Mykorrhizapilzgemeinschaften könnte einen wesentlichen Beitrag für ein funktionierendes Direktsaatsystem leisten.

Tab. 1 | Ausgewählte Bodenparameter, Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker», Rütli-Zollkofen

Anbausystem	Direktsaat						Pflug					
	WEE	WW	WG	GD nach WW	GD nach WG	VS nach ZR	WEE	WW	WG	GD nach WW	GD nach WG	VS nach ZR
Chemische Bodenparameter												
organischer Kohlenstoff C _{org} (%)	1,46	1,40	1,56	1,48	1,61	1,73	1,37	1,33	1,48	1,38	1,58	1,30
pH-Wert pH (H ₂ O)	6,0	6,4	6,3	5,9	6,1	6,6	6,4	6,2	6,4	6,4	6,5	6,1
Phosphor P ¹	164	165	177	153	195	195	177	177	225	182	212	78
Phosphor P ²	31	30	25	26	30	25	30	29	23	28	19	11
Kalium K ¹	129	163	137	137	177	141	109	121	79	124	162	103
Magnesium Mg ¹	86	84	105	87	91	83	65	68	77	80	78	54
Calcium Ca ¹	1715	1959	2246	1782	1994	2492	1906	1802	2997	2279	2409	1113
Physikalische Bodenparameter												
Ton (%)	19	18	19	18	19	16	17	18	18	18	17	16
Biologische Bodenparameter												
Biomasse Regenwurmpopulation (g m ⁻²)												
Epigäische Arten	8	8	20	11	23	7	8	8	16	6	15	5
Endogäische Arten	66	86	84	80	111	109	71	89	110	72	29	131
Anözische <i>Lumbricus terrestris</i>	29	57	60	127	56	53	0	0	10	9	7	0
Anözische <i>Nicodrilus</i> spp	33	86	43	7	64	72	25	10	9	2	20	25
Mikrobielle Biomasse (mg C kg ⁻¹), Basalatmung (mg CO ₂ -C kg ⁻¹ d ⁻¹)												
Biomasse SIR	633	665	521	454	622	1007	388	290	346	400	494	320
Biomasse FEM	537	502	505	510	463	795	335	260	380	432	402	346
Basalatmung	80	83	81	85	84	126	39	26	40	61	49	24

¹Ammonium-Azetat-Extraktion (mg kg⁻¹)

²CO₂-Extraktion P-Test

Die Werte wurden – je nach Parameter – zwischen 2006 und 2010 erhoben (Oberboden 0–20 cm, ausgenommen Regenwurmpopulation).

WEE: Wintererbsen, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste, ZR: Zuckerrüben, GD: Gründüngungsgemeinde, VS: Vorerntesaat

SIR: Mikrobielle Biomasse mit substratinduzierter Respiration, FEM: Mikrobielle Biomasse mit Fumigations-Extraktionsmethode

lare wurden dabei in eine Artengruppe zusammengefasst, weil deren Unterscheidung an älteren Sporen nicht immer zweifelsfrei möglich war. Die Sporendichte wurde für jede Art als Anzahl Sporen pro 100 g lufttrockener Boden bestimmt.

Statistik

Zur Charakterisierung der Diversität wurde für jede Kultur beziehungsweise jede Teilparzelle (Kultur x Anbausystem) der Diversitätsindex nach Shannon-Weaver mit der Formel $H = -\sum (n_i / N) \ln (n_i / N)$ errechnet, wobei n_i die Sporendichte der Art i darstellt und N die Gesamtsporendichte aller Arten einer Probe. Mit Hilfe des Mittelwertvergleichs (t-Test) wurden eventuell signifikante Unterschiede zwischen den beiden Anbausystemen geprüft. Mit der Redundanzanalyse konnten die Einflüsse ausgewählter chemischer, physikalischer und biologischer Begleitparameter (Tab. 1) auf die AM-Pilzgemeinschaften und die daraus resultierende Parzellen- und Systemgruppierung beziehungsweise -separierung aufgeklärt werden.

Resultate und Diskussion

Direktsaat: Stabile Artenzahl und hohe Diversität

Insgesamt wurden 39 AM-Pilzarten identifiziert, davon 38 Arten beim Direktsaat- und 25 Arten beim Pflugsystem (Tab. 2 und 3). Die Anzahl identifizierter Arten in den verschiedenen Kulturen (= Teilparzellen) schwankte bei Direktsaat zwischen 15 und 21, bei Pflug zwischen 10 und 17. Auch der Mittelwertvergleich zeigte, dass bei Direktsaat (Mittelwert 18,5) signifikant höhere AM-Artenzahlen zu finden waren als im Pflugsystem (Mittelwert: 13,2; t-Test: $p < 0,01$). In beiden Anbausystemen konnten bei Wintererbsen mehr Arten (21/17) nachgewiesen werden als bei Winterweizen (17/15), Gründüngungsgemeinde nach Winterweizen (17/14) und bei Wintergerste (15/11). Beim Gründüngungsgemeinde nach Wintergerste und bei der Vorerntesaat nach Zuckerrüben konnten im Direktsaatsystem so hohe Artenzahlen identifiziert werden wie bei Wintererbsen, nämlich 21 respektive 20 Arten, im Pflugsystem dagegen nur 12 beziehungsweise 10. Bei der Vorerntesaat nach Zuckerrüben

Tab. 2 | Anzahl identifizierter AM-Pilzarten und Diversitätsindex (H) nach Shannon-Weaver, Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker», Rütli-Zollkofen.

Anbausystem Kultur (Teilparzelle)	Anzahl AM-Pilzarten		Shannon-Weaver Diversitäts-Index (H)	
	Direktsaat	Pflug	Direktsaat	Pflug
Wintereisserbsen	21	17	2,86	2,56
Winterweizen (WW)	17	15	2,46	2,51
Wintergerste (WG)	15	11	2,12	2,05
Gründungsgemeinde nach WW	17	14	2,56	2,24
Gründungsgemeinde nach WG	21	12	2,45	1,91
Vorerntesaat nach Zuckerrüben	20	10	2,49	1,77
Total aus allen Kulturen	37	25		
Mittelwert über alle Kulturen	18,5 a	13,2 b	2,49 a	2,17 b
P (T-Test)	0,005 ¹		0,080 ²	

¹Signifikanzniveau $p < 0,01$;²Signifikanzniveau $p < 0,1$.

rüben könnte die Erklärung darin liegen, dass die Zuckerrübe eine nicht mykorrhizierfähige Kulturpflanze ist, und dass bei der Zuckerrübenernte der Boden in den obersten 10 cm stark bewegt wird. Dieser Eingriff scheint sich aber nur in den regelmässig für die Saat der Hauptkultur gepflügten Parzellen negativ auszuwirken. Bei Direktsaat blieb die Artenzahl hoch, die Interaktion Pilzpflanze scheint stabiler zu sein.

Neben der Anzahl Arten ist auch deren Häufigkeit beziehungsweise die Sporendichte zur Beschreibung der Diversität wichtig (Tab. 3). Der Vergleich der Mittelwerte über alle Kulturen (sechs Teilparzellen) zeigt einen höheren Diversitätsindex bei Direktsaat ($H = 2,49$) als bei Pflug ($H = 2,17$, Tab. 2), allerdings mit einer geringen Signifikanz ($p < 0,10$). Beim Direktsaatsystem lagen die kulturspezifischen Werte zwischen 2,12 und 2,86, beim Pflugsystem zwischen 1,77 und 2,56. Die H-Werte für die Direktsaat sind vergleichbar mit Werten, wie sie aus früheren Studien in Mitteleuropa für biologische Anbauverfahren oder Graslandstandorte vorliegen (Oehl *et al.* 2004, 2005, 2010b).

Charakterarten bei Direktsaat und Pflug

Die Artenliste zeigt, dass etwa ein Drittel der Arten regelmässig in beiden Anbausystemen nachgewiesen werden konnte (Tab. 3, Gruppe A mit 13 Arten beziehungsweise 12 Artengruppen, grauer Hintergrund). Die Mehrheit der Arten, nämlich 24, wurde vornehmlich oder ausschliesslich bei Direktsaat gefunden, davon 11 Arten mit relativ

hoher Sporendichte (Gruppe B, blauer Hintergrund) und 13 Arten mit relativ geringer Sporendichte (Gruppe C, gelber Hintergrund). In letztgenannter Gruppe finden sich mehrheitlich Arten, die für eine extensive Bewirtschaftung und konservierende Bodenbearbeitung oder vor allem für Graslandstandorte typisch sind (Jansa *et al.* 2002, 2003; Oehl *et al.* 2005, 2010a, 2010b, 2011a; Wetzel *et al.* 2014). Von allen 39 identifizierten Arten respektive Artengruppen wurden nur zwei hauptsächlich oder ausschliesslich in den gepflügten Parzellen gefunden (Gruppe D, roter Hintergrund).

Die multivariaten Analysen trennten die Sporengemeinschaften der beiden Anbausysteme Direktsaat und Pflug deutlich voneinander (Abb. 2). Als Einzel-Variablen betrachtet zeigten der organische Kohlenstoff im Boden (C_{org}), das Anbausystem (Variable «Bodenbearbeitung», Abb. 2A) und die mikrobielle Biomasse (erhoben mittels substratinduzierter Respiration [SIR] und Fumigation-Extraktions-Methode [FEM], Abb. 2B) den grössten Einfluss auf die Zusammensetzung der AM-Pilzgemeinschaften. Signifikant waren C_{org} ($P = 0,016$) und pH ($P = 0,034$) bei den chemischen sowie die mit SIR erhobene Biomasse ($P = 0,026$) bei den biologischen Parametern. Der Einfluss des Anbausystems auf die AM-Pilzgemeinschaft zeigt sich somit indirekt über diese Parameter, insbesondere über den höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff in der obersten Bodenschicht (0–10 cm) bei Direktsaat (Müller *et al.* 2007). Eine höhere AM-Pilz-

Tab. 3 | Artenliste und Sporendichte der identifizierten AM-Pilzarten (Anzahl Sporen pro 100 g lufttrockener Boden), Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker», Rütli-Zollikofen.

Anbausystem	Direktsaat						Pflug						
	Kultur (Teilparzelle)	WEE	WW	WG	GD nach WW	GD nach WG	VS nach ZR	WEE	WW	WG	GD nach WW	GD nach WG	VS nach ZR
Gruppe A: in beiden Anbausystemen häufig identifizierte AM-Pilzarten													
<i>Archaeospora myriocarpa</i>	14	14	4			2	4	6	6		18		
<i>Archaeospora trappei</i>	6	10	2				20	14	10	6	14	2	2
<i>Claroideoglomus claroideum</i>	12	8	16	10		18	14	6	10	14	32	34	18
<i>Claroideoglomus luteum</i>	2	4		8			6	2		4		2	2
<i>Funneliformis geosporus</i>	22	34	38	16		74	36	22	16	12	30	40	16
<i>Funneliformis mosseae</i>	22	6	28	4		4	40	14	14	24	14	4	54
<i>Glomus aureum</i>	4	6	4			8	26	2	4		2		
<i>Glomus diaphanum</i>	10	6	64	6		16	28	2	12	30	10	16	6
<i>Glomus intraradices & Gl. irregulare</i>	4	4	10	4		2	10	6	6	4		6	4
<i>Paraglomus lacteum</i>				6		2	8		2		4	4	
<i>Paraglomus occultum</i>	8	10	6	18		32	4	6	10		10	6	6
<i>Paraglomus</i> sp BE10	14	30	4	26		12	4	4	16	4	54	2	
Gruppe B: vornehmlich oder ausschliesslich in Direktsaat identifizierte AM-Pilzarten mit relativ hoher Sporendichte													
<i>Acaulospora longula</i>	4		2			2		8					
<i>Acaulospora paulinae</i>	14												
<i>Acaulospora sieverdingii</i>	12												
<i>Ambispora gerdemannii</i>	10			6				8					
<i>Ambispora reticulata</i>	22												
<i>Ambispora</i> sp BE14			6	20		24			4			2	2
<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	16	4	2			8		2	2				
<i>Glomus invermaium</i>						22	10						
<i>Glomus microcarpum</i>			2			12							
<i>Scutellospora calospora</i>	6			24		30	8	4			4		
<i>Septoglomus constrictum</i>	4	2	22	4		2	80			2			
Gruppe C: vornehmlich oder ausschliesslich in Direktsaat identifizierte AM-Pilzarten mit geringer Sporendichte													
<i>Cetraspora armeniaca</i>				8		2					2		
<i>Cetraspora helvetica</i>				2									
<i>Cetraspora pellucida</i>	2												
<i>Diversispora celata</i>		4				2		2					
<i>Entrophospora infrequens</i>		4					2		4				
<i>Funneliformis verruculosus</i>		4											
<i>Gigaspora margarita</i>						2							
<i>Glomus badium</i>							4						
<i>Glomus fasciculatum</i>		2		4							2		
<i>Glomus heterosporum</i>							4						
<i>Glomus macrocarpum</i>							6						
<i>Glomus</i> sp BR11							2						
<i>Glomus</i> sp BE13	8							4					
Gruppe D: vornehmlich oder ausschliesslich im Pflugsystem identifizierte AM-Pilzarten													
<i>Funneliformis caledonius</i>				2		2			2	8	16		18
<i>Paraglomus</i> sp BE12										2		6	

WEE: Winterweisserbsen, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste, ZR: Zuckerrüben, GD: Gründüngungsgemenge, VS: Vorerntesaat

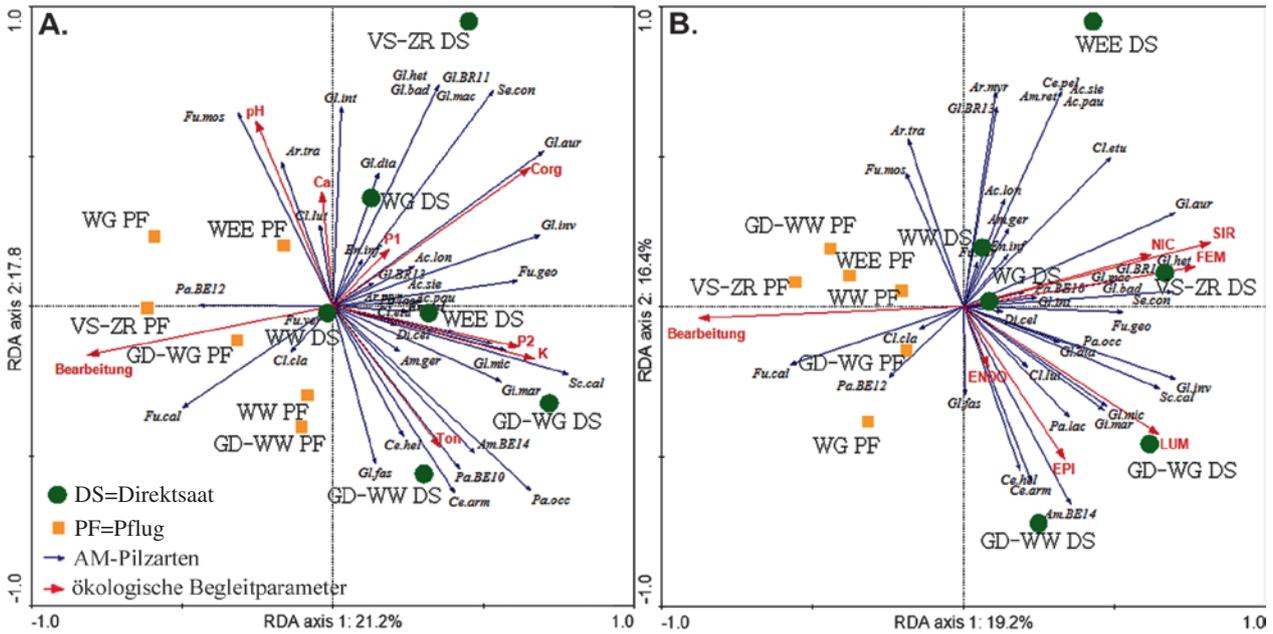


Abb. 2 | Redundanzanalyse der Sporendichte der 39 identifizierten AM-Pilzarten unter Einbezug der chemischen und physikalischen Bodenparameter (A) bzw. der biologischen Bodenparameter (B) in der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker», Rütli-Zollikofen (Bodenparameter siehe Tab. 1).

Abkürzungen der AM-Pilzarten: Ac.lon = *Acaulospora longula*, Ac.pau = *Ac. paulinae*, Ac.sie = *Ac. sieverdingii*, Am.ger = *Ambispora gerdemanni*, Am.ret = *Am. reticulata*, Am.BE14 = *Am. sp. BE14*, Ar.myr = *Archaeospora myriocarpa*, Ar.tra = *Ar. trapei*, Ce.arm = *Cetraspora armeniaca*, Ce.hel = *Ce. helvetica*, Ce.pel = *Ce. pellucida*, Cl.cla = *Claroideoglossum claroideum*, Cl.etu = *Cl. etunicatum*, Cl.lut = *Cl. luteum*, Di.cel = *Diversispora celata*, En.inf = *Entrophospora infrequens*, Fu.cal = *Funnelliformis caledonius*, Fu.geo = *Fu. geosporus*, Fu.mos = *Fu. mosseae*, Fu.ver = *Fu. verruculosus*, Gi.mar = *Gigaspora margarita*, Gl.aur = *Glomus aureum*, Gl.bad = *Gl. badii*, Gl.dia = *Gl. diaphanum*, Gl.fas = *Gl. fasciculatum*, Gl.het = *Gl. heterosporum*, Gl.int = *Gl. intraradices & Gl. irregulare*, Gl.inv = *Gl. invermaium*, Gl.mac = *Gl. macrocarpum*, Gl.mic = *Gl. microcarpum*, Gl.BR11 = *Glomus sp. BR11*, Gl.BE13 = *Glomus sp. BE13*, Pa.lac = *Paraglomus lacteum*, Pa.occ = *Pa. occultum*, Pa.BE12 = *Paraglomus sp. BE12*, Pa.BE10 = *Paraglomus sp. BE10*, Sc.cal = *Scutellospora calospora*, Se.con = *Septoglossum constrictum*.

Abkürzungen der Begleitparameter: A Bearbeitung = Pflug, Corg = organischer Kohlenstoff, K = Kalium, pH = pH H₂O, Ca = Calcium, P1 = Phosphor Ammonium-Azetat-Extraktion, P2 = Phosphor CO₂-Extraktion, Ton = Tongehalt. Das Diagramm erklärt 82,2% der Varianz der Daten (x-Achse: 21,2%; y-Achse: 17,8%). B Epi = Biomasse epigäische Regenwurmart, Endo = Biomasse endogäische Regenwurmart, LUM = Biomasse *Lumbricus terrestris*, NIC = Biomasse Anözische *Nicotrilus* spp, SIR = Mikrobielle Biomasse mit substratinduzierter Respiration, FEM = Mikrobielle Biomasse mit Fumigations-Extraktionsmethode. Das Diagramm erklärt 70,9% der Varianz der Daten (x-Achse: 19,2%; y-Achse: 16,4%).

diversität bei Direktsaat kann sich positiv auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, insbesondere von Phosphor, auswirken (Köhl *et al.* 2014).

Einige der aus Tabelle 3 formulierten Beobachtungen wurden mit der Redundanzanalyse bestätigt: *Funnelliformis caledonius* und *Paraglomus sp. BE12* gruppieren sich nahe den Pflug-Parzellen, während die Mehrheit der AM-Pilze den Direktsaat-Parzellen deutlich näher stand. Andere Arten, die gemäss Tabelle 3 überall auftraten, zeigten eine mehr oder weniger deutliche Zuordnung zur Direktsaat (z.B. *Fu. geosporus* oder *Glomus aureum*) beziehungsweise zum Pflug (z.B. *Fu. mosseae* und *Claroideoglossum claroideum*). Diese Beobachtungen decken sich weitgehend mit anderen Studien aus Mitteleuropa (Jansa *et al.* 2003; Oehl *et al.* 2005; Wetzels *et al.* 2014).

Als Charakterarten in der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» können für die langjährig direkt besäten Parzellen *Septoglossum constrictum*, für die gepflügten Felder *Funnelliformis caledonius* ausgewiesen werden (Abb. 3).

Schlussfolgerungen

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität haben einen grossen Einfluss auf die AM-Pilzgemeinschaften in Landwirtschaftsböden: Wiesen haben generell eine höhere Vielfalt an AM-Pilzen als Äcker, extensive Bewirtschaftung erhöht die Artenzahl, intensive reduziert sie, und in nicht oder wenig bearbeiteten Ackerböden finden sich mehr AM-Pilzarten als in häufig bearbeiteten (Oehl *et al.* 2011a). Letzteres bestätigen die vorliegenden Untersuchungen auf der Dauerbeobachtungsfläche

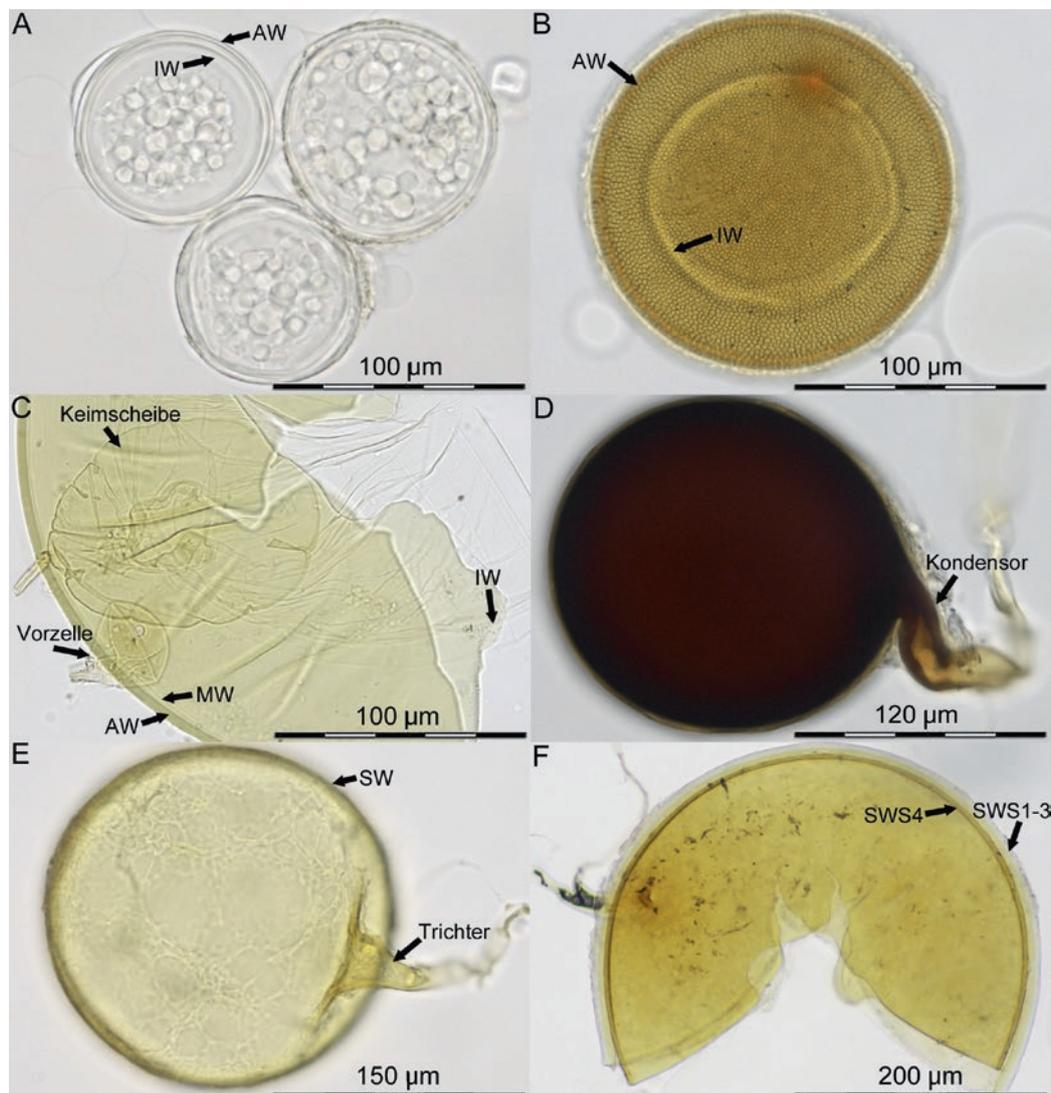


Abb. 3 | AM-Pilzsporen ausgewählter Arten. (Fotos: Fritz Oehl, Agroscope)

A: *Archaeospora trapei* findet sich in allen Landwirtschaftsböden der Schweiz. Seine Sporen sind klein, weiss und doppelwandig (Aussenwand AW, Innenwand IW). **B:** *Entrophospora infrequens* kommt in fast allen eher extensiv bearbeiteten Böden vor. Die Sporen sind doppelwandig mit unzähligen kleinen Ringen auf der braunen Oberfläche. **C:** *Scutellospora calospora* reagiert wie *Entrophospora infrequens* empfindlich auf intensive Bodenbearbeitung. Sie bildet dreiwandige Sporen (mit Mittelwand MW) an Vorzellen und besitzt helle, ovale Keimscheiben. **D:** *Septoglomus constrictum* ist im «Oberacker» die Charakterart in den Direktsaatparzellen. Die dunklen Sporen sind erkennbar am verengten Hyphenansatz (Kondensator). **E:** *Funneliformis mosseae* (mit Trichter-Hyphenansatz) ist häufiger in den bearbeiteten Parzellen (SW=Sporenwand). **F:** *Funneliformis caledonius* besitzt grosse Sporen mit mehreren markanten Wandschichten (SWS1-4) und ist die Charakterart der gepflügten Parzellen.

«Oberacker»: Hier hat sich seit dem Pflugverzicht 1994 in den Direktsaatparzellen ein höherer Artenreichtum und eine höhere Diversität von AM-Pilzen gebildet. Mehrere Arten sind charakteristisch für den pfluglosen Anbau und manche sind sogar auch typisch für Wiesenstandorte. *Septoglomus constrictum* kann auf dem «Oberacker» als Indikatorart für die langjährige Direktsaat bezeichnet werden. Die Charakterart für die gepflügten Parzellen ist *Funneliformis caledonius*. Bei den Kulturen

zeigten sich tendenziell niedrigere Artenzahlen von AM-Pilzen in den Wintergetreidefeldern (Wintergerste, Winterweizen) als in den zwischenbegrünten Parzellen (Gründungsgemenge, Vorerntesaat). Ein funktionierendes Direktsaatsystem ist auf einen fruchtbaren, belebten Boden angewiesen. Die Förderung von AM-Pilzen respektive spezifischer AM-Pilzarten(-gruppen) könnte einen wesentlichen Beitrag dazu leisten. ■

Riassunto

Diversità delle micorrize arbuscolari nelle colture campicole: semina diretta e aratro a confronto

Dal 1994 sulla superficie di osservazione sul lungo periodo «Oberacker», presso il centro Inforama Rütli a Zollikofen (BE), vengono confrontate una tecnica di semina diretta e una tecnica di lavorazione convenzionale con aratro. Nel presente lavoro è stata studiata l'influenza di entrambi i sistemi di coltivazione e di diverse colture campicole, incluse le miscele da sovescio, sulla diversità delle micorrize arbuscolari (funghi AM). A questo scopo sono state isolate e determinate morfologicamente le spore dei funghi. Approssimativamente due terzi delle 39 specie identificate in totale erano presenti in entrambi i sistemi di coltivazione. In tutte le colture, nel caso della semina diretta sono state rilevate una maggiore ricchezza di specie (15–21 specie) e una maggiore diversità secondo Shannon-Weaver ($H = 2,12\text{--}2,86$) rispetto al sistema convenzionale (10–17 specie e $H = 1,77\text{--}2,56$). Per i cereali invernali sono state individuate tendenzialmente quantità inferiori di specie rispetto alla coltivazione di una miscela da sovescio. La specie caratteristica del sistema di semina diretta pluriennale è il *Septoglo-mus constrictum*, mentre quella dei lotti lavorati con aratro è il *Funneliformis caledonius*. La promozione di specifiche comunità di micorrize potrebbe apportare un contributo fondamentale a un sistema di semina diretta efficiente.

Literatur

- Błaszowski J., 2012. Glomeromycota. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków. 303 S.
- Chervet A. & Sturny W.G., 2013. Neue Strategien erprobt. *LOP Landwirtschaft ohne Pflug* 1/2, 23–25.
- Jansa J., Mozafar A., Anken T., Ruh R., Sanders I.R. & Frossard E., 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza* 12, 225–234.
- Jansa J., Mozafar A., Kuhn G., Anken T., Ruh R., Sanders I.R. & Frossard E., 2003. Soil tillage affects the community structures of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecological Applications* 13, 1164–1176.
- Köhl L., Oehl F. & van der Heijden M.G.A., 2014. Using tillage practices to regulate plant growth responses by altering the soil microbial community. *Ecological Applications*, <http://dx.doi.org/10.1890/13-1821.1>.
- Maurer-Troxler C., Chervet A., Ramseier L., Sturny W.G. & Oberholzer H.-R., 2005. Bodenbiologie nach zehn Jahren Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung Schweiz* 12, 460–465.
- Müller M., Schafflützel R., Chervet A., Sturny W.G., Zihlmann U. & Weisskopf P., 2007. Humusgehalt nach 11 Jahren Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung Schweiz* 14, 394–399.
- Oehl F., Jansa J., de Souza F.A. & Silva G.A., 2010a. *Cetraspora helvetica*, a new ornamented species in the Glomeromycetes from Swiss agricultural fields. *Mycotaxon* 114, 71–84.
- Oehl F., Jansa J., Ineichen K., Mäder P. & van der Heijden M., 2011a. Arbuskuläre Mykorrhizapilze als Bioindikatoren in Schweizer Landwirtschaftsböden. *Agrarforschung Schweiz* 2, 304–311.

Summary

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in field crops using no-till and conventional tillage practices

Since 1994, a comparison of no-till and conventional tillage systems has been underway on the Oberacker long-term field trial site at the Inforama Rütli education and extension centre in Zollikofen, Berne canton. The present paper investigates the influence of the two cropping systems and various field crops, including catch crop mixtures, on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AM fungi). For this, fungal spores were isolated and morphologically classified. Around two-thirds of the 39 species identified were present in both cropping systems. All crops were found to have greater biodiversity and greater diversity according to the Shannon-Weaver index in the no-till system (15–21 species and $H = 2.12\text{--}2.86$, respectively) than in the conventional tillage system (10–17 species and $H = 1.77\text{--}2.56$, respectively). Winter cereals tended to harbour a lower number of species than did a catch crop mixture which was grown. The characteristic species for the long-term no-till system is *Septoglo-mus constrictum*, whilst *Funneliformis caledonius* is the characteristic species for the plots under conventional tillage. Encouraging specific mycorrhizal fungal communities could make a substantial contribution towards an efficient and effective no-till system.

Key words: arbuscular mycorrhiza diversity, no-tillage, plough, cropping system, long-term field trial.

- Oehl F., Laczo E., Bogenrieder A., Stahr K., Bösch R., van der Heijden M. & Sieverding E., 2010b. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 724–738.
- Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Ris E.A., Boller T. & Wiemken A., 2005. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytologist* 165, 273–283.
- Oehl F., Sieverding E., Mäder P., Dubois D., Ineichen K., Boller T. & Wiemken A., 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138, 574–583.
- Oehl F., Sieverding E., Palenzuela J., Ineichen K. & Silva G.A., 2011b. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2, 191–199.
- Smith S. & Read D., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition. San Diego, CA, USA. Academic Press. 800 S.
- Sturny W.G., Chervet A., Maurer-Troxler C., Ramseier L., Müller M., Schafflützel R., Richner W., Streit B., Weisskopf P. & Zihlmann U., 2007. Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese. *Agrarforschung Schweiz* 14, 350–357.
- Wetzel K., Silva G.A., Matczinski U., Oehl F. & Fester T., 2014. Superior differentiation of arbuscular mycorrhizal fungal communities from till and no-till plots by morphological spore identification when compared to T-RFLP. *Soil Biology & Biochemistry*, 72, 88–96.