

Anbausysteme beeinflussen Artenvielfalt von Mykorrhizapilzen im Berner Mittelland

Claudia Maurer¹, Fritz Oehl², Urs Zihlmann³, Andreas Chervet¹ und Wolfgang G. Sturny¹

¹Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern, 3052 Zollikofen, Schweiz

²Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

³Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

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



Abb. 1 | Am meisten Mykorrhiza-Pilzarten weisen Naturwiesen auf, danach folgen schonend bearbeitete, vielfältig bebaute Ackerböden mit Kunstwiesenanteil: Boden-Dauerbeobachtungsstandort Niederösch, Kanton Bern (im Vordergrund die wenig intensiv genutzte Naturwiese, daran anschliessend die Ackerfläche, 2009 mit einer Kunstwiese). (Foto: Fachstelle Bodenschutz, Kanton Bern)

Einleitung

Der Kanton Bern betreibt seit 1994 eine Kantonale Bodenbeobachtung (KABO). Auf 19 Landwirtschaftsbetrieben im Berner Mittelland werden in regelmässigen Abständen auf je einer Naturwiese und einer bodenkundlich vergleichbaren Ackerfläche (Abb. 1) chemische, physikalische und biologische Bodenparameter sowie agronomische Daten erhoben und ausgewertet. In mehreren Berichten wurde über den Zustand der Berner Böden orientiert und geeignete Massnahmen zu deren nachhaltigen Nutzung vorgeschlagen (VOL 2017).

Neben der Regenwurmpopulation und der mikrobiellen Aktivität beziehungsweise Biomasse sind auch die arbuskulären Mykorrhizapilze (AM-Pilze) eine wichtige bodenbiologische Kenngrösse (Jansa *et al.* 2014). Weltweit nutzen die meisten Pflanzen die Vorteile dieser Symbiose: Das feine, weitverzweigte Pilz-Myzel erleichtert

der Pflanze den Zugang zu Wasser und Nährstoffen (v. a. Phosphor), stabilisiert die Bodenstruktur, vermindert dadurch Erosion und Verdichtung und fördert eine gute Wasserinfiltration (Rillig *et al.* 2015). Als Gegenleistung erhält der Pilz einen Teil der von der Pflanze assimilierten Kohlenhydrate. Klima, Bodenbeschaffenheit und Anbauintensität beeinflussen die Diversität von AM-Pilzen (Oehl *et al.* 2011a, 2016). Für entsprechende landwirtschaftliche Bewirtschaftungspraktiken konnten verschiedene Charakterarten identifiziert werden (Maurer *et al.* 2014, Säle *et al.* 2015).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die AM-Pilz-Diversität von 12 ausgewählten Berner KABO-Standorten zu erheben und zu charakterisieren, Zusammenhänge mit agronomischen und pedologischen Parametern zu identifizieren und Charakterarten zu benennen.

Material und Methoden

Probenahme und Standorte

Im April 2009 wurden an zwölf ausgewählten KA-BO-Standorten Bodenproben aus 0–20 cm Tiefe entnommen (jeweils vier Wiederholungen mit je einer Mischprobe aus 20 Einstichen, ca. 1 kg Bodenmaterial). Beprobte wurden drei Naturwiesen und neun Ackerflächen auf mittelschweren Braun- und Parabraunerdeböden. Die Standorte wurden gruppiert in Naturwiese (seit mindestens 30 Jahren kein Umbruch), Acker ÖLN-DS (Direktsaat; gemäss ökologischem Leistungsnachweis [ÖLN] und seit mindestens fünf Jahren keine Bodenbearbeitung), Acker ÖLN-PF (gemäss ÖLN und mit regelmässigem Pflugeinsatz) und Acker BIO-PF (seit mindestens 15 Jahren nach den Richtlinien des biologischen Landbaus bewirtschaftet, mit regelmässigem Pflugeinsatz beziehungsweise reduzierter Bodenbearbeitung in Hindelbank, Tab. 1). Jeder Standort wurde aufgrund seiner Bodenbearbeitung, Kulturen und Düngung (Art und Menge) einer Anbauintensitätsstufe zwischen 0 (sehr tief) und 5 (hoch) zugeordnet (Oehl *et al.* 2016).

Bodenanalysen und Bestimmung der AM-Pilze

Die Bestimmung von pH-Wert (H_2O), Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und vier verschiedenen Phosphor-Extraktionen erfolgte gemäss den für die Schweiz beziehungsweise EU gültigen Referenzmethoden (Eidgenössische Forschungsanstalten ART und ACW 1996; Neyroud und Lischer 2003). Die Sporen der AM-Pilze wurden mit Hilfe einer kombinierten Nasssiebung und einer Dichte-Gradient-Technik isoliert und unter dem Lichtmikroskop bei 400-facher Vergrößerung bestimmt (Oehl und Koch 2018). Für die AM-Pilze wurde die Systematik nach Oehl *et al.* (2011b) plus die Neuerungen der letzten Jahre verwendet (z. B. Błaszkowski *et al.* 2018). Die Sporendichte wurde für jede Art als Anzahl Sporen pro 100 g lufttrockenem Boden erfasst.

Auswertung und Statistik

Zur Beschreibung der AM-Pilz-Diversität wurden für jeden Standort die Diversitätsindices nach Margalef ($d = [S-1] / \ln N$, S = Anzahl gefundene Arten, N = Gesamtsporendichte aller Arten in einer Probe) und Shannon-Weaver ($H = -\sum [n_i / N] \ln [n_i / N]$, n_i = Sporendichte der Art i , N = Gesamtsporendichte aller Arten in einer Probe) berechnet. Mit Hilfe einer Ein-Weg-ANOVA wurden signifikante Unterschiede zwischen je zwei Standorten geprüft. Mit einer Redundanzanalyse sollten die Einflüsse der Anbauintensität wie Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und Düngung (Tab. 1) auf die AM-Pilzge-

Zusammenfassung ■ An zwölf ausgewählten Standorten der langjährigen Bodenbeobachtung des Kantons Bern wurde die Vielfalt der arbuskulären Mykorrhizapilze (AM-Pilze) untersucht. Es waren dies neun Böden nach der Produktionsrichtlinie des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN), davon drei Naturwiesen und je drei direkt gesäte (DS) beziehungsweise gepflügte Ackerböden (PF), und drei gepflügte Ackerböden, bewirtschaftet nach den Richtlinien des biologischen Anbaus (BIO). Aus den Bodenproben der obersten 20 cm wurden die AM-Pilzsporen isoliert und morphologisch bestimmt. Von den insgesamt 57 nachgewiesenen Arten fanden sich in Naturwiesen 40–45, unter ÖLN-DS 33–40, im BIO-PF 31–35 und im ÖLN-PF 28–35 Arten. Generell wiesen die Naturwiesen höhere Sporendichten auf als Ackerböden. Für jedes Anbausystem wurden Charakterarten identifiziert. Schonende Bodenbearbeitung und eine weite Fruchtfolge mit Kunstwiesenanteil förderten die AM-Pilzgemeinschaften in den Landwirtschaftsböden des Berner Mittellandes. Im Vergleich zu ähnlichen Ackerregionen Mitteleuropas sind die Zahlen der AM-Pilzarten im Berner Mittelland deutlich höher.

meinschaften und die daraus resultierenden Gruppierungen beziehungsweise Separierungen abgeklärt werden. Mit Hilfe des Monte-Carlo-Tests nach Dufrêne und Legendre (1997) wurden Indikatorarten bestimmt (Indikatorwert >25 %, $p < 0,05$).

Resultate und Diskussion

Bodenparameter

Die drei Naturwiesen hatten erwartungsgemäss die höchsten organischen Kohlenstoffgehalte, während die pH-Werte die Variabilität der Berner Landwirtschaftsböden widerspiegeln (pH [H_2O] 5,3–7,1, Tab. 1). Naturwiesen, Direktsaatböden und gepflügte ÖLN-Ackerböden unterschieden sich beim Phosphorgehalt kaum. Dagegen zeigten alle drei BIO-Standorte abweichende P-Werte: der Standort Bantigen die niedrigsten, Hindelbank und Uettligen die höchsten Werte. Letztgenannte wiesen einen eher untypisch hohen Anteil an leicht verfügbarem Phosphor (P-NaAc, P-DL, Tab. 1) auf. Ob dies

Tab. 1 | Charakterisierung und Gruppierung der untersuchten KABO-Standorte. Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$, Ein-Weg-ANOVA).

Standort	Abkürzung	Produktionsrichtlinie	Kultur und Anzahl Fruchtfolgejahre / davon Kunstwiese	Bodenbearbeitung	Düngung	Anbauintensitätsstufe ¹ (0 = tief, 5 = hoch)	C _{org} ²	pH-Wert	P-NaAc ³	P-DL ⁴	P-Citrat ⁵	P _{tot} ⁶	Anteil P-NaAc an P _{tot}	Anteil P-DL an P _{tot}
							%	H ₂ O	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%
Naturwiese														
Rubigen	RUB	ÖLN	Weide extensiv	keine	keine	0	2,02 a	6 c	14,8 bc	49,9 d	48,5 c	1010	1,46	4,94
Niederörsch	NIE	ÖLN	Wiese wenig intensiv	keine	keine	1	1,84 a	5,8 c	11,6 c	23,1 f	35 def	750	1,55	3,08
Langnau	LAN	ÖLN	Weide intensiv	keine	organisch	2	1,8 b	5,5 de	7,9 c	28,4 ef	40,1 c	820	0,96	3,46
Acker Direktsaat														
Buch	BUC	ÖLN	Winterweizen, 7/2	keine – Direktsaat	mineralisch und organisch	3	1,24 de	6,4 b	23,7 b	70,8 c	38,8 cd	560	4,23	12,64
Rubigen	RUB	ÖLN	Wintergerste, 7/2	keine – Direktsaat	mineralisch und organisch	3	1,67 b	7,1 a	27,7 b	62 cd	27,8 ef	790	3,51	7,85
Zollikofen	OBA	ÖLN	Wintergerste, 6/0	keine – Direktsaat	mineralisch	3	1,59 bc	5,4 de	11,7 c	54,1 cd	37,7 cde	1870	0,62	2,89
Acker ÖLN														
Niederörsch	NIE	ÖLN	Kunstwiese, 5/4	Pflug	mineralisch und organisch	4	1,34 d	6 c	20,5 b	60,9 cd	43,1 cd	790	2,59	7,71
Grasswil	GRA	ÖLN	Wintergerste, 7/4	Pflug	mineralisch und organisch	4	1,66 b	5,6 cd	12,2 c	46,8 de	33 def	1000	1,22	4,68
Zollikofen	OBA	ÖLN	Wintergerste, 6/0	Pflug, On Land	mineralisch	5	1,09 e	5,4 de	10,4 c	47,4 de	43,1 cd	1580	0,66	3,00
Acker BIO														
Hindelbank	HIN	BIO	Kunstwiese, 7/2	Pflug, reduziert, On Land	organisch	3	1,26 de	7,1 a	47 a	134 b	72,6 b	770	6,1	17,4
Bantigen	BAN	BIO	Kunstwiese, 5/2	Pflug	organisch	4	1,72 b	5,3 e	5,1 c	36,5 ef	23,8 f	910	0,56	4,01
Uettligen	UET	BIO	Raps mit Klee-untersaat, 8/4	Pflug, On Land	organisch	4	1,4 cd	6,9 a	55,2 a	220 a	106,8 a	755	7,31	29,14

¹ siehe Oehl *et al.* (2016)

² C_{org}: organischer Kohlenstoff

³ P-NaAc: Na-Acetat-Extraktion = leicht verfügbarer Phosphor

⁴ P-DL: Doppel-Laktat-Extraktion = gut verfügbarer Phosphor

⁵ P-Citrat: Zitronensäure-löslich = schwer verfügbarer Phosphor

⁶ P_{tot}: Phosphor-Gesamtgehalt

Naturwiese = seit mindestens 30 Jahren kein Umbruch

Direktsaat = gemäss ökologischem Leistungsnachweis und seit mindestens 5 Jahren keine Bodenbearbeitung

ÖLN = gemäss ökologischem Leistungsnachweis, mit Pflugeinsatz

BIO = seit mindestens 15 Jahren nach den Richtlinien des biologischen Landbaus bewirtschaftet, mit Pflugeinsatz

Tab. 2 | Sporendichten pro Gramm Boden, durchschnittliche Artenzahlen (Mittelwert aus 4 Wiederholungen) sowie Diversitätsindices nach Margalef und Shannon-Weaver der untersuchten KABO-Standorte. Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$, Ein-Weg-ANOVA). Abkürzungen siehe Tabelle 1.

Standort	Sporendichte g ⁻¹ Boden	Mittlere Anzahl AM-Pilzarten	Diversitätsindices		
			Margalef	Shannon-Weaver	
Naturwiese					
Rubigen	RUB	18,0 bc	33,0 a	4,87 bc	2,96 ab
Niederörsch	NIE	16,2 c	34,5 a	5,39 a	3,04 a
Langnau	LAN	21,8 a	34,8 a	4,94 b	2,65 c
Acker Direktsaat					
Buch	BUC	12,6 de	25,5 d	4,07 f	2,67 c
Rubigen	RUB	17,8 c	27,0 cd	4,27 def	2,70 c
Zollikofen	OBA	11,4 e	27,3 cd	4,31 def	2,82 abc
Acker ÖLN					
Niederörsch	NIE	11,1 e	30,0 b	4,57 cd	2,66 c
Grasswil	GRA	11,8 e	28,8 bc	4,49 de	2,96 ab
Zollikofen	OBA	13,8 d	20,3 e	3,12 g	2,27 e
Acker BIO					
Hindelbank	HIN	13,0 de	30,3 b	4,46 de	2,72 cd
Bantigen	BAN	13,5 de	26,0 d	4,17 ef	2,55 d
Uettligen	UET	19,9 ab	26,5 cd	4,01 f	2,65 c

auf die organische Düngung, die Hofdüngeraufbereitung oder auch auf die Vorgeschichte der beiden Böden vor der Umstellung auf BIO zurückzuführen ist, kann nicht beurteilt werden.

Sporendichten, Artenzahlen und Diversität

Die Naturwiesen zeigten mit $16\text{--}22\text{ g}^{-1}$ (Mittelwert $18,7\text{ g}^{-1}$) signifikant höhere Sporendichten (Tab. 2) als die Ackerflächen mit $11\text{--}20\text{ g}^{-1}$ (Mittelwert $13,9\text{ g}^{-1}$) ausser Rubigen und Uettligen, wo beide Ackerflächen ähnlich hohe Sporendichten aufwiesen wie die Naturwiesen. Insgesamt wurden 57 AM-Pilzarten identifiziert,

davon 40–45 in Naturwiesen, 33–40 in Direktsaat-Böden, 31–35 in BIO-Äckern und 28–35 in den gepflügten ÖLN-Flächen (Tab. 3). Die mittlere Artenzahl pro Standort (Tab. 2) zeigte die höchsten Werte für die Naturwiesen und den geringsten für den Standort OBA (ÖLN; Abkürzung s. Tab. 1) mit der höchsten Anbauintensität; die übrigen Standorte zeigen keine eindeutige Reihenfolge. Erfahrungsgemäss sind die Artenzahlen in Naturwiesen höher als in Ackerböden, in Direktsaat-höher als in gepflügten Äckern (Kabir 2005, Wetzler *et al.* 2014, Maurer *et al.* 2014); jedoch könnte auch die Kultur zum Beprobungszeitpunkt einen Einfluss gehabt haben.

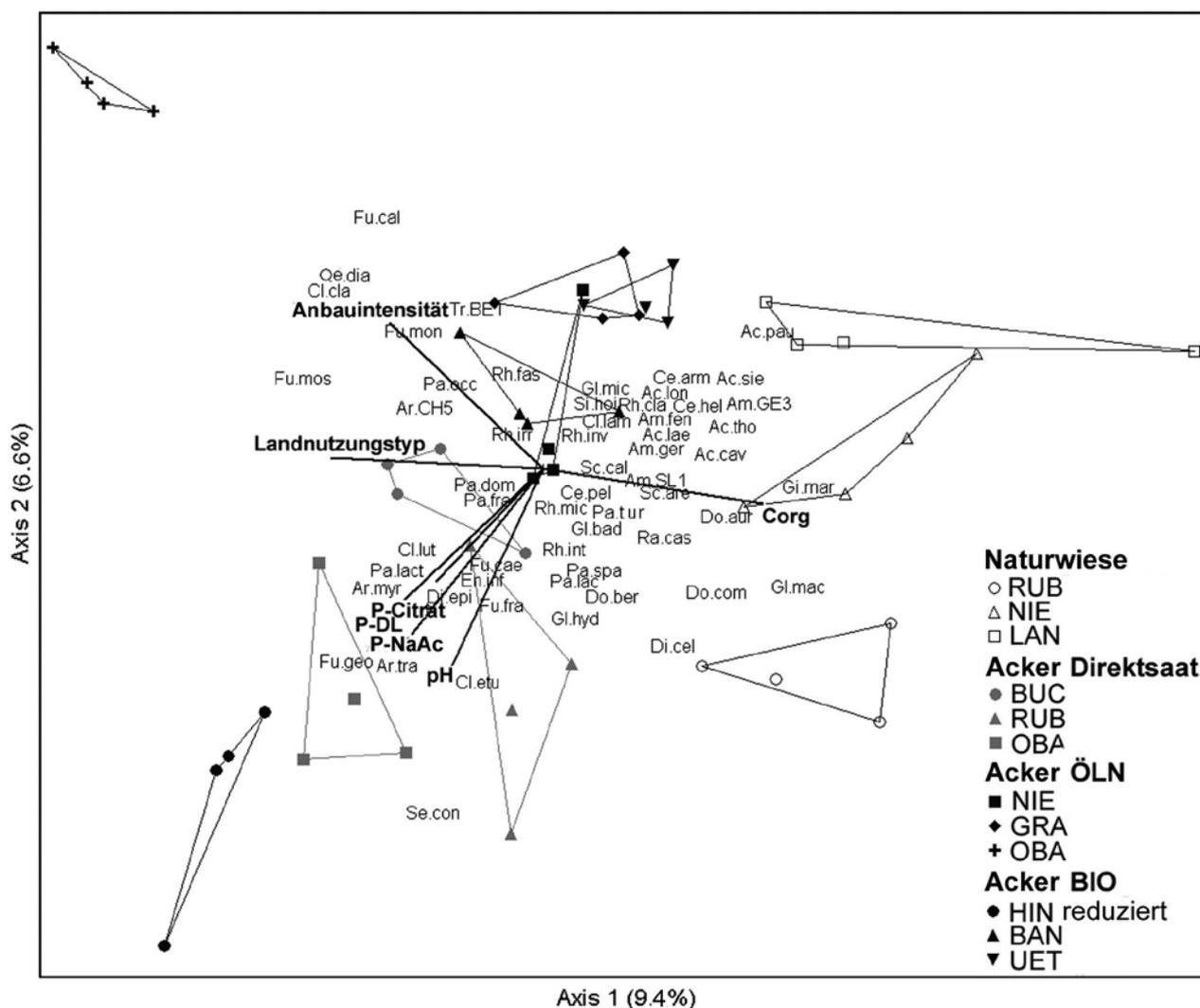


Abb. 2 | Redundanzanalyse der Sporendichten der AM-Pilzarten unter Einbezug der Begleitparameter an den untersuchten KABO-Standorten (Abkürzungen siehe Tab. 1 und 2).

Tab. 3 | Artenliste (inklusive Abkürzungen) mit relativen Abundanzen (%) und Häufigkeiten sowie Anzahl total identifizierter AM-Pilzarten an den untersuchten KABO-Standorten. Abkürzungen siehe Tabelle 1.

Anzahl identifizierter AM-Pilzarten	Naturwiese			Acker Direktsaat			Acker ÖLN			Acker BIO			Häufigkeit ¹ %
	RUB	NIE	LAN	BUC	RUB	OBA	NIE	GRA	OBA	HIN	BAN	UET	
Gruppe A: in allen landwirtschaftlichen Systemen identifizierte AM-Pilzarten	40	45	40	36	33	40	35	35	28	35	33	31	
<i>Acaulospora paulinae</i> (Ac.pau)	3,9	16,2	20,9	2,7	0,7	0,1	7,1	8,2	1,2	2,4	10,2	12,9	100
<i>Ambispora</i> sp. GE3 (Am.GE3)	3,2	3,1	2	0,5	1,8	0,1	0,3	2,1	0,5	0,7	1,6	3,4	100
<i>Archaeospora trappei</i> (Ar.tra)	2,2	1,6	1,8	2,7	1,6	4,9	1	2	1,5	11	2,7	1,2	100
<i>Claroideoglomerum luteum</i> (Cl.lut)	1,3	0,8	1,3	1,3	0,8	2,3	1,7	2,8	0,9	5,1	2,6	1,4	100
<i>Dominikia bernensis</i> (Do.ber)	7,7	7	1,7	7,1	6,7	8,8	4,5	9,8	0,3	1,3	2,8	4,1	100
<i>Funneliformis geosporus</i> (Fu.geo)	4,1	4,7	1,7	8,8	5,6	10,5	5,1	1,2	5,5	19,4	6,9	4,9	100
<i>Oehlia diaphana</i> (Oe.dia)	1,4	3,1	2,7	5,6	2,6	5,2	2,2	5	14,5	4,9	5,1	2,9	100
<i>Palaeospora spainii</i> (Pa.spa)	1,3	1,2	0,7	0,8	0,7	1,6	0,9	1	0,4	1,1	1	1,1	100
<i>Paraglomerum occultum</i> (Pa.occ)	1,4	1,4	1,1	0,8	1,1	1,1	0,9	2,4	2,3	1,9	0,7	1,1	100
<i>Pa. turpe</i> (Pa.tur)	7,1	3	6,5	2,5	5,7	5,4	1	6,3	5	4,3	0,4	5	100
<i>Rhizoglomerum fasciculatum</i> (Rh.fas)	0,5	4	0,5	5,9	0,3	0,2	4,3	4,2	0,8	0,5	0,6	2,8	100
<i>Rh. intraradices</i> (Rh.int)	0,8	0,9	0,5	0,2	1,5	1,6	1,4	0,8	0,3	1	2,1	0,4	100
<i>Rh. invernaium</i> (Rh.inv)	11,7	9,7	10,2	22	22	10,2	33,1	15	1,8	9,3	31,2	28,4	100
<i>Rh. irregularis</i> (Rh.irr)	6	9,6	1,2	4,6	5,1	5,2	6,2	6,6	6,7	4	3,2	3,9	100
<i>Scutellospora calospora</i> (Sc.cal)	1,4	0,9	0,8	1,1	1	1,2	1,1	2,3	0,2	0,5	1,1	1,4	100
<i>Septoglomerum constrictum</i> (Se.con)	7	3,6	1,3	9,4	9,8	12	3,9	0,4	0,2	8,6	0,6	1,3	100
<i>Fu. fragilistratus</i> (Fu.fra)	1,2	0,2	0,9	0,6	3,6	1,2		0,6	1,7	0,6	0,5		83,3
<i>Cl. etunicatum</i> (Cl.etu)	0,3	0,2	0,6	0,1	0,4	1,1	0,4		0,1	1,1			75
<i>Diversispora epigaea</i> (Di.epi)	0,4	0,3		0,2	0,6	0,2	0,5	0,1	0,3	0,6			75
<i>Ac. longula</i> (Ac.lon)	0,1	0,7	1,3			0,2	0,4	0,7	0,2	0,1			66,7
<i>Tricispora</i> sp. BE1 (Tri.BE1)	0,1	0,2	0,1				1,1	0,4	0,6		0,4	0,7	66,7
<i>Am. fennica</i> (Am.fen)	0,1		2,6	0,1	1			0,8	1,1			0,1	58,3
<i>Entrophospora infrequens</i> (En. inf)	0,1				0,1	0,1			0,1	0,3	0,1		50
<i>Ar. sp. CH5</i> (Ar. CH5)		0,2		0,5		0,3			0,7				33,3
Gruppe B: in allen landwirtschaftlichen Systemen identifizierte AM-Pilzarten – unter Pflug und intensiver Fruchtfolge am häufigsten													
<i>Fu. mosseae</i> (Fu. mos)	4,3	2,2	4,6	9,8	12,4	8,7	4,7	6,9	28,7	11,9	5,4	3,2	100
<i>Cl. claroideum</i> (Cl. cla)	1,3	2,8	1,9	2,1	1,8	6,7	2,1	3,6	15,3	3,6	2,7	3,9	100
Gruppe C: fast ausschliesslich in gepflügten Böden identifizierte AM-Pilzart													
<i>Fu. caledonius</i> (Fu. cal)			0,3	0,1		0,2	0,9	2	8,2		0,7	1	66,7
Gruppe D: identifizierte AM-Pilzarten, die insbesondere bei intensiver Bewirtschaftung ohne Kunstwiese in der Fruchtfolge fehlen													
<i>Cetraspora helvetica</i> (Ce. hel)	4,1	1	1,8	2,1	0,3	0,3	1,7	3,4		0,7	2	1,1	91,7
<i>Do. aurea</i> (Do. aur)	3,2	2,2	4,7	1,4	4	2	3,1	3,2		0,6	3,8	2,2	91,7
<i>Do. compressa</i> (Do. com)	14,4	2,8	0,6	0,7	4,4	1,5	3,1	1,2		0,7	0,9	0,6	91,7
<i>Glomus badium</i> (Gl. bad)	1,5	1,1	0,8	1,4	0,8	0,3	2,9	0,6		0,8	0,6		83,3
<i>Gl. macrocarpum</i> (Gl. mac)	2,3	3,1	1,3	0,4	1	0,7	0,3	0,1		0,2		0,2	83,3
<i>Ac. sieverdingii</i> (Ac. sie)	0,2	2,8	6,1		0,2		0,6	0,9		0,4	1	4,3	75
<i>Rh. microaggregatum</i> (Rh. mic)	0,4	2,6		0,7	1,1	0,9	0,4	2		0,8		2	75
<i>Ac. laevis</i> (Ac. lae)		1,3	11,2	0,4		0,2	0,1	0,1			3,1	1,2	66,7
<i>Ce. armeniaca</i> (Ce. arm)	1,9	0,7	2,4	1,4		0,2	1,2	2,7				3	66,7
<i>Di. celata</i> (Di. cel)	1,6	0,4	0,6		0,6	0,7	0,4			0,6			58,3
<i>Ac. cavernata</i> (Ac. cav)	0,1	1,8	0,2		0,1		0,3				0,1		50
<i>Gl. microcarpum</i> (Gl. mic)	0,1	0,2	0,4	0,4			0,9				0,2		50
<i>Ce. pellucida</i> (Ce. pel)		0,2		0,1		0,1				0,1	0,4		41,7
<i>Am. gerdemannii</i> (Am. ger)		0,4				0,2					0,6		25
<i>Pacispora dominikii</i> (Pa. dom)			0,1			3,2					4,6		25
<i>Pa. laccatum</i> (Pa. lac)	0,2	0,3								0,6			25
Gruppe E: vornehmlich in Naturwiese identifizierte AM-Pilzarten													
<i>Gigaspora margarita</i> (Gi. mar)	0,8	0,6	0,6									0,2	33,3
<i>Sc. arenicola</i> (Sc. are)	0,1	0,6	0,1	0,2									33,3
Gruppe F: allgemein selten identifizierte AM-Pilzarten													
<i>Ac. thomii</i> (Ac. tho)		0,5	1,7										16,7
<i>Ar. myriocarpa</i> (Ar. myr)						0,1				0,5			16,7
<i>Cl. lamellosum</i> (Cl. lam)		0,1										0,1	16,7
<i>Fu. monosporus</i> (Fu. mon)						0,1			0,7				16,7
<i>Rh. clarum</i> (Rh. cla)			0,2					0,1					16,7
<i>Simiglomerum hoi</i> (Si. hoi)		0,2						0,3					16,7
<i>Racocetra castanea</i> (Ra. cas)	0,1												8,3
<i>Am. sp. SL1</i> (Am. SL1)		0,1											8,3
<i>Pa. franciscana</i> (Pa. fra)				1,1									8,3
<i>Gl. hyderabadensis</i> (Gl. hyd)					0,4								8,3
<i>Pa. lacteum</i> (Pa. lact)						0,1							8,3
<i>Fu. caesaris</i> (Fu. cae)										0,1			8,3

¹66,7–100% = (fast) überall; 33,4–66,6% = sehr häufig; 20–33,3% = häufig; < 20% = selten.

Zur Beschreibung der Diversität werden Sporendichte und Anzahl gefundener Arten kombiniert (Tab. 2): Während sich mit dem Margalef-Diversitätsindex die Naturwiesen als eine vielfältigere AM-Pilzgemeinschaft erwiesen als die Ackerflächen, waren mit dem Shannon-Weaver-Index die Unterschiede gering; dies weist auf ausgeglichene Pilzgemeinschaften auf allen Standorten hin. Lediglich die am intensivsten bewirtschaftete Ackerfläche OBA (ÖLN) ohne Kunstwiesen-Anteil zeigte bei beiden Indizes die tiefste Diversität. Allgemein sind die Artenzahlen, Sporendichten und Indizes aller Berner Standorte sehr hoch im Vergleich zu Studien in Mitteleuropa (Oehl und Koch 2018). Dies könnte mit den gemäss ÖLN eher geringen Anbauintensitäten der Schweizer Naturwiesen und Ackerflächen zusammenhängen.

Häufigkeiten und Charakterarten

Die Artenliste in Tabelle 3 zeigt, dass von den insgesamt 57 AM-Pilzarten 33 (fast) überall vorkamen (66,7–100 %), je sechs Arten sehr häufig (33,3–66,6 %) beziehungsweise häufig (20–33,3 %) und zwölf Arten nur an einem oder zwei Standorten (<20 %, Gruppe F) gefunden wurden. 24 Arten zeigten keine Präferenz für ein landwirtschaftliches System (Gruppe A). Dies gilt auch für die beiden Arten *Funneliformis mosseae* und *Claroideoglossum claroideum*, die jedoch am häufigsten in regelmäßig gepflügten Flächen und einer intensiven Fruchtfolge auftraten (Gruppe B). Die Art *Fu. caledonius* fand sich fast ausschliesslich in gepflügten Böden (Gruppe C) und gilt als deren Charakterart (Maurer et al. 2014). Insgesamt 16 AM-Pilzarten fehlten am Standort OBA (ÖLN) mit der höchsten Anbauintensität (Gruppe D). *Gigaspora margarita* und *Scutellospora arenicola* waren vor allem in Naturwiesen zu finden (Gruppe E).

Die multivariate Analyse trennte wie erwartet die Sporengemeinschaften der beiden Landnutzungstypen «Naturwiese» und «Acker» voneinander (Abb. 2). Die Naturwiesen gruppieren sich um den Bodenparameter «organischer Kohlenstoff (C_{org})». Vor allem der intensivste Standort OBA (ÖLN) ohne Kunstwiesenanteil ordnete sich beim Vektor für die «Anbauintensität» ein, während sich die Direktsaatflächen sowie der reduziert bearbeitete BIO-Acker HIN um den «pH-Wert (pH)» und den «Phosphor (P-NaAc, P-DL, P-Citrat)» sowie zwischen den Vektoren «Anbauintensität» und « C_{org} » häuften. Die gängig gepflügten BIO-Flächen gruppieren sich in der Nähe der gepflügten ÖLN-Äcker mit Kunstwiesenanteil (NIE & GRA, Tab. 1). Als Indikatorarten konnten in Naturwiesen *Gi. margarita*, *Glomus macrocarpum* und *Acaulospora thomii* (alle drei mit sehr hoher Signifikanz: $p < 0,001$) sowie *Ac. cavernata*, *Ac. paulinae*, *Ac. longula*,

Dominikia compressa, *Diversispora celata* und *Ambispora sp. GE3* (alle sechs mit hoher Signifikanz: $p < 0,01$), bei den Direktsaatflächen *Septoglossum constrictum* ($p < 0,001$) beziehungsweise *Fu. fragilistratus* ($p < 0,01$), bei den BIO-Äckern *Cl. luteum*, *Fu. geosporus* und *Archaeospora trappei* (alle drei: $p < 0,01$) und schliesslich auf den ÖLN-Böden *Fu. caledonius* bzw. *Cl. claroideum* und *Tricispora sp. BE1* (alle drei: $p < 0,01$) bezeichnet werden (Tab. 4).

Tab. 4 | AM-Indikatorarten, berechnet als Indikatorwert nach Dufrène und Legendre (1997) mit entsprechender statistischer Signifikanz. Abkürzungen siehe Tabelle 1.

	Indikatorwert	p-Wert
Naturwiese		
<i>Gigaspora margarita</i>	92,1	0,0001****
<i>Glomus macrocarpum</i>	70,7	0,0001****
<i>Acaulospora thomii</i>	58,3	0,0001****
<i>Ac. cavernata</i>	47,2	0,0025***
<i>Ac. paulinae</i>	46,8	0,0030***
<i>Dominikia compressa</i>	57,5	0,0030***
<i>Diversispora celata</i>	41,1	0,0049***
<i>Ambispora sp. GE3</i>	43,0	0,0071***
<i>Ac. longula</i>	41,3	0,0097***
<i>Ac. sieverdingii</i>	45,7	0,0116**
<i>Scutellospora arenicola</i>	25,0	0,0374**
<i>Cetraspora armeniaca</i>	34,4	0,0502*
<i>Ce. helvetica</i>	37,0	0,0640*
Acker Direktsaat		
<i>Septoglossum constrictum</i>	53,7	0,0001****
<i>Funneliformis fragilistratus</i>	45,8	0,0040***
<i>Dominikia bernensis</i>	36,6	0,0155**
<i>Glomus hyderabadense</i>	25,0	0,0490**
Acker ÖLN		
<i>Funneliformis caledonius</i>	82,1	0,0001****
<i>Claroideoglossum claroideum</i>	43,8	0,0079***
<i>Tricispora sp. BE1</i>	45,0	0,0038***
<i>Oehlia diaphana</i>	39,3	0,0169**
<i>Fu. mosseae</i>	39,5	0,0243**
<i>Paraglossum occultum</i>	34,2	0,0231**
<i>Rhizoglossum fasciculatum</i>	38,5	0,0867*
<i>Rh. irregulare</i>	31,5	0,0817*
Acker BIO		
<i>Claroideoglossum luteum</i>	41,2	0,0043***
<i>Funneliformis geosporus</i>	39,6	0,0087***
<i>Archaeospora trappei</i>	43,6	0,0091***
<i>Rhizoglossum invemaium</i>	33,5	0,0889*

Signifikanzniveau * $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$ **** $p < 0,001$

Schlussfolgerungen

Mit 40–45 Arten in Naturwiesen und 28–40 in den Ackerflächen wiesen die Böden der zwölf untersuchten Berner KABO-Standorte im Vergleich zu anderen Ackerregionen Mitteleuropas (Oehl und Koch 2018) sehr hohe Zahlen an AM-Pilzarten auf. Die eher geringe Anbauintensität der Naturwiesen und Ackerböden, der hohe Anteil langjährig direkt gesäter Flächen und der allgemein eher extensive Pflugeinsatz könnten Gründe dafür sein. Denn je weniger intensiv bewirtschaftet wird, desto höher sind Artenreichtum und Diversität der AM-Pilze. Auch in der vorliegenden Untersuchung konnten gewisse Arten als Ubiquisten (*Ar. trappei*, *Cl. claroideum*,

Rhizoglossum irregulare oder *Oehlia diaphana*) bestätigt werden, ebenso wie Indikatorarten von gepflügten Feldern (*Fu. caledonius*), reduziert bearbeiteten Äckern inkl. Direktsaat (*Se. constrictum*) oder von Naturwiesen (*Gi. margarita*, *Gl. macrocarpum* oder *Ac. thomii*). Landnutzungstyp (Naturwiese oder Acker) und Anbauintensität widerspiegeln sich in den AM-Pilzgemeinschaften. Durch eine ressourcenschonende, nachhaltige Landwirtschaft können AM-Pilze gefördert werden, die den Pflanzen zu einer verbesserten Wasser- und Nährstoffversorgung sowie einem grösseren Schutz vor Krankheitserregern und Schädlingen verhelfen. ■

Literatur

- Błaszowski J., Kozłowska A., Niezgoda P., Goto B.T. & Dalpé Y., 2018. A new genus, *Oehlia* with *Oehlia diaphana* comb. nov. and an emended description of *Rhizoglossum vesiculiferum*. *Nova Hedwigia* **107**, 501–518.
- Dufrene M. & Legendre P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* **67**, 345–366.
- Eidgenössische Forschungsanstalten ART und ACW, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope. Band 2: Bodenuntersuchungen zur Standort-Charakterisierung.
- Jansa J., Erb A., Oberholzer H.R., Smilauer P. & Egli S., 2014. Soil and geography are more important determinants of indigenous arbuscular mycorrhizal communities than management practices in Swiss agricultural soils. *Molecular Ecology* **23**, 2118–2135.
- Kabir Z., 2005. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Revue Canadienne de Phytotechnie* **85**, 23–29.
- Maurer C., Rüdy M., Chervet A., Sturny W.G., Flisch R. & Oehl F., 2014. Diversität arbuskulärer Mykorrhizapilze in Ackerkulturen bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung Schweiz* **5**, 398–405.
- Neyroud J.A. & Lischer P., 2003. Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **166**, 422–431.
- 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.
- Oehl F., Sieverding E., Palenzuela J., Ineichen K. & Silva G. A., 2011b. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* **2**, 191–199.
- Oehl F., Oberholzer H.R., van der Heijden M., Laczko E., Jansa J. & Egli S., 2016. Arbuskuläre Mykorrhizapilze als Bioindikatoren in Landwirtschaftsböden. *Agrarforschung Schweiz* **7**, 48–55.
- Oehl F. & Koch B., 2018. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in no-till and conventionally tilled vineyards. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **91**, 56–60.
- Rillig M.C., Aguilar-Trigueros C.A., Bergmann J., Verbruggen E., Veresoglou S.D. & Lehmann A., 2015. Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation. *New Phytologist* **205**, 1385–1388.
- Säle V., Aguilera P., Laczko E., Mäder P., Berner A., Zihlmann U., van der Heijden M.G.A. & Oehl F., 2015. Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry* **84**, 38–52.
- VOL, 2017. Bodenbericht 2017. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 130 S.
- Wetzel K., Silva G.A., Matczinski U., Oehl F. & Fester T., 2014. Superior differentiation of arbuscular mycorrhizal fungi communities from till and no-till plots by morphological spore identification when compared to T-RFLP. *Soil Biology & Biochemistry* **72**, 88–96.

Riassunto**I sistemi di coltivazione incidono sulla biodiversità delle micorrize**

La biodiversità dei funghi micorrizici arbuscolari (funghi MA) è stata studiata nel Cantone di Berna in 12 siti selezionati per l'osservazione dei suoli sul lungo periodo. Si tratta di tre campi arati gestiti secondo i metodi dell'agricoltura biologica e nove superfici in cui la produzione adempie i principi della prova che le esigenze ecologiche sono rispettate (PER): tre prati naturali, tre campi seminati su sodo e tre campi arati prima della semina. Le spore dei funghi MA sono state isolate e determinate morfologicamente in campioni di terreno prelevati dai primi 20 cm di suolo. Nei prati naturali sono state riscontrate 40–45 specie delle 57 identificate in totale, i campi seminati su sodo secondo la PER ne contenevano 33–40, i campi arati gestiti secondo i metodi dell'agricoltura biologica 31–35 e i campi arati prima della semina 28–35. In generale, i prati naturali erano caratterizzati da una densità di spore superiore a quella rilevata nelle superfici coltivate. Per ogni sistema di coltivazione sono state identificate specie caratteristiche. Una lavorazione rispettosa del suolo e un avvicendamento delle colture con una quota di prati temporanei e intervalli non troppo ravvicinati hanno favorito le comunità di micorrize nei terreni agricoli dell'Altopiano bernese. Qui le specie di funghi MA sono risultate nettamente più numerose che in altre regioni coltivate dell'Europa centrale con caratteristiche simili.

Summary**Cropping systems affect species diversity of mycorrhizal fungi**

Arbuscular mycorrhizal fungi (AM fungi) diversity was investigated in 12 selected long-term soil observation sites in the canton of Bern. These consisted of nine soils farmed according to Proof of Ecological Performance (PEP) production guidelines, of which three were natural meadows, three were no-till (NT) or ploughed (PL) arable soils, and three were ploughed arable soils farmed according to organic farming guidelines (ORG). The AM fungal spores from soil samples taken from the top 20 cm were isolated and morphologically determined. Of the total 57 detected species, 40–45 were found in natural meadows, 33–40 in PEP-NT soils, 31–35 in ORG-PL and 28–35 species in PEP-PL soils. Generally speaking, the meadows exhibited higher spore densities than the croplands. Indicator species were identified for each cropping system. Conservation tillage and wide crop rotations with a temporary-grassland component encouraged the AM fungal communities in the agricultural soils of the Bernese Midlands. The numbers of AM fungal species in these soils of the Bernese Midlands are higher than those previously reported from similar arable regions in central Europe.

Key words: arbuscular mycorrhizal diversity, grassland, no-tillage, plough, organic farming, Swiss Proof of Ecological Performance.