

Die Mucorales-Flora in Streu- und Bodenhorizonten eines Berliner Kiefernwaldes

I. Einfluß einer Kalkdüngung auf die *Mucorales*-Population

C. TRAUTMANN, M. PETERS und G. KRAEPELIN

Technische Universität Berlin, Fachbereich 10,
Fachgebiet Botanik / Mikrobiologie, OE 5/1
Franklinstraße 29, 1000 Berlin 10

Eingegangen am 20.7.1991

Trautmann C., Peters M. und G. Kraepelin (1992): The *Mucorales* flora in litter and soil layers of a pine forest in Berlin. I. Influence of lime fertilization on the *Mucorales* population. Z. Mykol. 58(1): 3–14.

Key words: pine forest, *Mucorales*, liming

Summary: The *Mucorales* species in the pine litter (6–0 cm) and a soil layer (10–15 cm) of a partly lime fertilized pine stand in Berlin were examined with the dilution plate method. Among 1810 isolates obtained from four samplings 29 species were identified. The community structure of *Mucorales* showed significant differences between the horizons. In the litter *Mortierella ramanniana* var. *ramanniana* and *M. isabellina* were the most prominent species with together about 30 %. The genus *Mucor* was regularly present with about 10 %. In the soil the *Mucorales* community was dominated by *Mortierella vinacea* and *M. macrocystis* (>50 %). After liming the proportion of *M. ramanniana* and *M. isabellina* was decreased in the litter, while *M. alpina* appeared in high concentrations due to the raise of pH. Possible explanations of the remarkable changes in the community structure of *Mucorales* are discussed.

Zusammenfassung: In einem teilweise mit Kalk gedüngten Berliner Kiefernbestand wurde das Artenspektrum der *Mucorales*-Flora in der Streuauflage (6–0 cm) und einem Bodenhorizont (10–15 cm) mit der Suspensionsmethode untersucht. In vier Probenahmen konnten aus 1810 Isolaten 29 Arten bestimmt werden. Die Artenzusammensetzung der *Mucorales* unterscheidet sich deutlich zwischen den Horizonten. In der Streuauflage waren *Mortierella ramanniana* var. *ramanniana* und *M. isabellina* mit einem Anteil von zusammen 30 % die wichtigsten Arten. Daneben traten Vertreter der Gattung *Mucor* regelmäßig mit 10 % auf. Im Boden dominierten *M. vinacea* und *M. macrocystis* (>50 %). Im Streuhorizont der mit Kalk gedüngten Parzellen ging der Anteil von *M. ramanniana* und *M. isabellina* an den *Mucorales* zurück. *M. alpina* trat nach der Düngung in hohen Konzentrationen auf und war aufgrund der pH-Anhebung regelmäßig nachweisbar. Mögliche Interpretationen der festgestellten Veränderungen werden diskutiert.

1. Einleitung

Vertreter der Ordnung *Mucorales* gehören zu den am weitesten verbreiteten Mikropilzen im Boden (DOMSCH et al. 1980). Speziell einzelne Arten der Familie Mortierellaceae gelten als typisch für Auflage- und Bodenhorizonte von Laub- und Nadelwäldern, aus denen sie in hoher Frequenz isoliert werden (z. B. BADURA & BADUROWA 1964, CHRISTENSEN 1969, SÖDERSTRÖM 1975, BISSETT & PARKINSON 1980). Allgemein zeichnet sich diese Ordnung durch die bevorzugte Besiedlung leicht verwertbarer Substrate (Zuckerpilze), eine hohe Wachstumsgeschwindigkeit und eine frühzeitige Sporenbildung aus. Diese Eigenschaften werden oft unter dem Begriff „Ruderalstrategie“ zusammengefaßt, wobei jedoch erhebliche artspezifische Unterschiede zu beachten sind: Die

Veränderungen der Bodenchemie infolge einer Kalkdüngungsmaßnahme (mit Magnesium- und Kaliumzusatz), deren großflächige Anwendung zur Kompensation von Säureeinträgen durch Luftschadstoffe diskutiert wird, sollten sich im Wachstums- bzw. Sporulationsverhalten dieser Pilzgruppe relativ frühzeitig manifestieren.

Das Vorkommen von Arten der Ordnung *Mucorales* wurde in der Streuauflage und in 10-15 cm Bodentiefe untersucht. Damit wurden zwei Horizonte gewählt, die sich in ihren charakteristischen Eigenschaften (Gehalt und Zusammensetzung der organischen Substanz, Wasserspeicherung, pH-Wert), deutlich unterscheiden.

2. Material und Methoden

2.1. Versuchsflächen

Die Untersuchungen wurden auf der Dauermeßfläche des Forschungsprogramms „Ballungsraumnahe Waldökosysteme“ im Berliner Grunewald (Jagen 63) durchgeführt. Der Baumbestand setzt sich überwiegend aus ca. 40jährigen Kiefern (*Pinus sylvestris*) und vereinzelt Eichen (*Quercus robur*) zusammen. Die Fläche, vom Bodenprofil eine Rostbraunerde, wurde vor der Wiederaufforstung um 1950 gepflügt. Dabei sind Pflugfurchen und Balken entstanden, und die organische Auflage wurde zum Teil verschüttet. Diese Inhomogenitäten in der Horizontfolge haben sich bis heute erhalten und mußten bei den Probenahmen berücksichtigt werden. Als Unterwuchs dominiert die Amerikanische Traubenkirsche (*Prunus serotina*), welche die Entwicklung einer bodendeckenden Krautschicht verhindert. Die Traubenkirsche wurde jeweils vor der Kalkdüngung stark zurückgeschnitten.

Die Untersuchung der *Mucorales*-Flora konzentrierte sich auf die Streuauflage (O_L , O_F und O_H , 6-0 cm) und das obere Drittel des B_s -Horizontes (10-15 cm).

Tabelle 1:
Chemisch-physikalische Eigenschaften der untersuchten Horizonte.

Horizont	Tiefe (cm)	pH-Wert (CaCl ₂)	org. Anteil ¹ (% TG)	N-Gehalt ² (% TG)
Streuschicht	6-0	3,3 ± 0,2	74,9 ± 6,9	1,34 ± 0,18
B_s -Horizont	10-15	3,4 ± 0,1	3,3 ± 0,6	0,07 ± 0,01

1 = der organische Anteil wurde als Glühverlust bei 600 °C bestimmt, je Horizont 24 Analysen

2 = Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl, je Horizont 24 Analysen

Der Boden ist als Rostbraunerde gut durchlüftet, besitzt eine relativ geringe Wasserspeicherkapazität und ist wie fast alle Berliner Waldböden recht sauer und nährstoffarm (detaillierte Beschreibung der Standortbedingungen siehe: Ballungsraumnahe Waldökosysteme, 2. Forschungsbericht 1988).

Im Frühjahr 1986 und 1988 wurden auf jeweils einer Parzelle 6,1 t/ha granulierter Kalkdünger (2450 kg/ha Ca, Korngröße ca. 5 mm), mit Magnesium- (144 kg/ha) und Kaliumzusatz (34 kg/ha) ausgestreut. Das Kalkgranulat löst sich im Freiland nur langsam auf und

soll eine anhaltende Pufferung der Säureinträge über mehrere Jahre gewährleisten. Die aufgebrachte Menge und Zusammensetzung wurde aus einer Bodenanalyse und der Bestimmung der Nadelspiegelwerte abgeleitet. Die verschiedenen Versuchspartzellen wurden folgendermaßen benannt:

D1 = erste mit Kalkgranulat gedüngte Parzelle (Frühjahr 1986). Gleichzeitig wurde der Traubenkirschen-Unterwuchs ausgedünnt.

K1 = Kontrollparzelle zu D1; der Unterwuchs dieser Parzelle wurde ebenfalls im Frühjahr 1986 zurückgeschnitten.

D2 = zweite mit Kalkgranulat gedüngte Parzelle (Frühjahr 1988).

K2 = Kontrollfläche zu D2; Unterwuchs-Rückschnitt auf beiden Teilflächen im Frühjahr 1988.

Durch das Aufbringen des Kalkdüngers erhöhte sich der pH-Wert in den Streuproben von $3,3 \pm 0,2$ auf durchschnittlich $5,8 \pm 0,6$.

2.2. Probenahme

Die vier Versuchspartzellen wurden zwischen April 1988 und Februar 1989 zu vier Terminen (April, August, Oktober und Februar) parallel beprobt. Dazu wurden Mischproben aus je fünf volumenequivalenten Einzelproben hergestellt, die für die Versuchspartzelle repräsentativ in Pflugfurchen und Balken entnommen wurden.

2.3. Keimzahlbestimmung (Bodensuspensionsmethode)

10 Gramm einer Bodenmischprobe wurden mit 100 ml destilliertem Wasser aufgeschwämmt und 2 Minuten in einem Labormixer (Waring-Blendor, low speed) suspendiert. Anschließend wurde die Suspension in einer Verdünnungsreihe verdünnt. Jeweils 0,1 ml der einzelnen Verdünnungsstufen (10^{-3} – 10^{-5}) wurden mit vier Parallelen in Petrischalen mit Malzextraktagar (30 g/l Merck-Malzextrakt; pH 4,9) ausgespatelt und bei Raumtemperatur inkubiert. Der Agar enthielt einen Zusatz von Penicillin/Streptomycin (Serva) zur Unterdrückung der Bakterienentwicklung.

Die Konzentration koloniebildender Einheiten (KBE) wird als Mittelwert, bezogen auf 1 g Trockengewicht (TG) angegeben. Aufgrund des unseptierten Mycels und des Sporulationsverhaltens der *Mucorales* werden von dieser Gruppe mit der Suspensionsmethode so gut wie ausschließlich Sporen erfaßt (WARCUP 1960).

2.4. Systematische Bestimmung der Isolate

Bereits 1 bis 2 Tage nach der Plattierung können die Mycelien der *Mucorales* aufgrund ihres schnelleren Wachstums und der Koloniemorphologie von den meisten übrigen Pilzkolonien visuell unterschieden werden. Um zu verhindern, daß die einzelnen Kolonien ineinander wachsen oder sich in ihrer Entwicklung beeinträchtigen, wurden sie frühzeitig abgeimpft und als Einzelkolonie weiter kultiviert.

Isolate der Gattungen *Absidia*, *Mortierella* Subgen. *Micromucor*, *Mucor* und *Zygorhynchus* wurden auf Malzextraktagar (MEA) überimpft. Isolate der Gattung *Mortierella* Subgen. *Mortierella* wurden auf Bodenextraktagar (SEA) überimpft (Zusammensetzung der Medien nach CBS Course of Mycology 1987). Die Isolate wurden bei Zimmertemperatur kultiviert und konnten nach 1–2 Wochen bestimmt werden.

Für die Bestimmung der Arten wurde folgende Literatur verwendet: DOMSCH et al. (1980); GAMS (1977); ZYCHA et al. (1969). Einzelne Isolate, deren Einordnung zunächst zweifelhaft blieb, wurden an das Centraalbureau voor Schimmelcultures in Baarn zur Be-

Tabelle 2:

Anteil der einzelnen *Mucorales*-Spezies (Mittelwerte aus vier Probenahmen) in den vier untersuchten Kiefernparzellen, angegeben in Prozent der *Mucorales*, getrennt nach Streu- und Bodenproben (K = Kontrollen, D = Kalkdüngung).

Bodenhorizont	Streu				B _S -Horizont			
	K1	K2	D1	D2	K1	K2	D1	D2
<i>Absidia glauca</i>	0,5	0,6	1,6	0,5	2,0	-	1,6	0,9
<i>A. cylindrospora</i>	11,9	14,9	10,3	6,4	7,0	4,9	3,5	5,3
<i>Gongronella butleri</i>	-	0,6	-	0,5	-	0,4	-	-
<i>Mortierella alpina</i>	-	-	11,9	2,2	5,6	-	0,6	0,5
<i>M. gamsii</i>	1,5	1,9	4,5	3,0	-	0,8	-	-
<i>M. globulifera</i>	2,1	1,9	0,5	1,2	2,8	-	-	-
<i>M. horticola</i> *	-	-	-	-	1,5	2,1	0,3	2,1
<i>M. humilis</i>	4,5	2,0	5,1	0,9	1,9	2,5	6,5	0,8
<i>M. hyalina</i>	-	1,6	-	4,8	-	-	-	-
<i>M. isabellina</i>	15,1	10,5	7,2	18,5	0,2	0,8	7,9	0,7
<i>M. jenkinsii</i>	1,7	1,0	3,0	-	-	-	-	-
<i>M. macrocystis</i>	-	1,0	2,6	-	26,0	37,1	24,4	20,6
<i>M. minutissima</i>	-	-	1,1	2,2	11,6	1,3	7,3	8,5
<i>M. nana</i>	-	-	-	-	1,7	5,1	4,9	5,8
<i>M. parvispora</i>	9,0	13,6	13,0	5,6	3,3	3,5	5,8	5,3
<i>M. pulchella</i> 1	-	-	7,0	-	6,6	0,2	1,7	4,6
<i>M. pulchella</i> 2*	-	1,0	-	-	-	-	-	-
<i>M. ramanniana</i> var. <i>ramanniana</i>	34,1	26,4	6,8	32,7	1,6	2,0	1,3	0,6
<i>M. verticillata</i>	13,0	15,9	11,3	1,8	-	0,5	-	9,5
<i>M. vinacea</i>	-	2,8	-	1,9	26,7	31,2	34,2	31,6
<i>M. sp. 1</i>	0,9	0,3	1,5	4,9	-	5,8	-	2,7
<i>M. sp. 2</i>	-	-	-	-	0,7	0,8	-	-
<i>Mucor hiemalis</i> f. <i>corticola</i>	1,7	1,4	2,3	1,4	-	-	-	0,2
<i>M. hiemalis</i> f. <i>hiemalis</i>	2,4	1,7	3,8	9,6	-	-	-	-
<i>M. hiemalis</i> f. <i>luteus</i>	0,8	0,4	-	-	-	-	-	-
<i>M. plumbeus</i>	-	-	0,9	-	-	-	-	-
<i>M. saturninus</i>	0,9	0,6	4,7	1,8	-	-	-	-
<i>M. ucrainicus</i> *	-	-	1,1	-	-	-	-	-
<i>Zygorhynchus moelleri</i>	-	-	-	-	0,6	1,0	-	0,4
Anzahl der Isolate	193	244	133	161	291	294	230	260

* Artbestimmung erfolgte im Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS) in Baarn; Stamm wurde in die Stammsammlung des CBS aufgenommen.

stimmung übersandt. Einige Probleme mit der Systematik, speziell der Gattung *Mortierella* Subgen. *Mortierella*, konnten bei einem Aufenthalt in Baarn geklärt werden.

3. Ergebnisse

Zu den jeweiligen Probeterminen wurden pro Versuchsfläche und Bodenhorizont zwischen 35 und 60 *Mucorales*-Kolonien bis zur Art bestimmt. Insgesamt wurden 735 Isolate der Streu und 1075 Isolate aus Bodenproben ausgewertet.

Die Suspensionsmethode ermöglicht damit, eine hohe Zahl einzeln identifizierbarer *Mucorales*-Isolate mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu gewinnen. Aufgrund dieses Vorteils wurde dieser Technik der Vorzug vor anderen Methoden, speziell der Partikelwaschtechnik (PARKINSON & WILLIAMS 1961) gegeben, welche die in einem Boden aktive Mikropilzflora besser widerspiegelt. Ein Vergleich beider Methoden im Vorversuch hatte ergeben, daß sich das mit der Partikelwaschtechnik gewonnene *Mucorales*-Spektrum nur unwesentlich von dem unterscheidet, das die Suspensionsmethode liefert.

Der Anteil der *Mucorales* an der Gesamtpopulation der mit dieser Methode erfaßten Mikropilze lag in den Streuproben im Durchschnitt bei 4,5 % (Gesamtkoloniezahl ca. $7,8 \times 10^6$ KBE/g TG) und in den Bodenproben im Durchschnitt um 10 % (Gesamtkoloniezahl ca. $2,2 \times 10^5$ KBE/g TG). Neben den *Mucorales* traten vor allem Vertreter folgender Gattungen bzw. Gruppen auf: Hefen 10–80 %, *Penicillium* 20–50 %, *Trichoderma* ca. 5 % und Dematiaceen (Schwärzepilze) 5–10 %.

3.1. Artenzusammensetzung der *Mucorales*

In der Gesamtheit der untersuchten Proben wurden 29 verschiedene Arten identifiziert. Der durchschnittliche Anteil einzelner Arten an der *Mucorales*-Flora ist in Tabelle 2 angegeben. Insgesamt wurden aus den Streuproben 25 und aus den Bodenproben 21 verschiedene Arten isoliert. Den weitaus größten Anteil stellte die Gattung *Mortierella* mit den Untergattungen *Micromucor* und *Mortierella*. Die Gattungen *Mucor* und *Absidia* waren dagegen nur mit wenigen Arten, und die Gattungen *Gongronella* und *Zygorhynchus* mit je einer Art vertreten.

3.2 *Mucorales*-Flora des Kiefernstreu-Horizontes

Die Konzentration der erfaßten *Mucorales* lag im Untersuchungszeitraum in der Streuauflage zwischen $0,7$ und $4,4 \times 10^5$ KBE/g TG. Konzentrationsänderungen verliefen auf den untersuchten Flächen über den Beprobungszeitraum weitgehend parallel (Abb. 1). Daraus läßt sich vor allem auf witterungsbedingte Einflüsse wie Temperatur und Wassergehalt schließen, die auf alle untersuchten Teilflächen gleichsinnig wirkten. In den Zahlen deutet sich ein Jahrgang mit einem Minimum der Sporendichte im Sommerhalbjahr (April und August) an. Aufgrund der Austrocknungsempfindlichkeit der *Mucorales* läßt sich vor allem ein Zusammenhang mit dem Wassergehalt der Streu vermuten, auch wenn eine Regressionsanalyse nur einen geringen Zusammenhang zwischen *Mucorales*-Konzentration und Wassergehalt ($r^2 = 0,48$) zeigte (TRAUTMANN 1990).

Die Untersuchung von zwei Kontrollparzellen bot die Möglichkeit, die natürlichen Unterschiede abzuschätzen, die sich aus Inhomogenitäten der Teilflächen und der Summe der Fehler bei der Probenahme, Aufbereitung und Bestimmung des Artenspektrums ergaben.

Mortierella ramanniana var. *ramanniana* (im weiteren vereinfacht als *M. ramanniana* bezeichnet), *Mortierella isabellina* und *Mortierella parvispora* konnten aus allen Proben der Kontrollstreu isoliert werden. Zusätzlich wurde auch der Anteil von *Mortierella verti-*

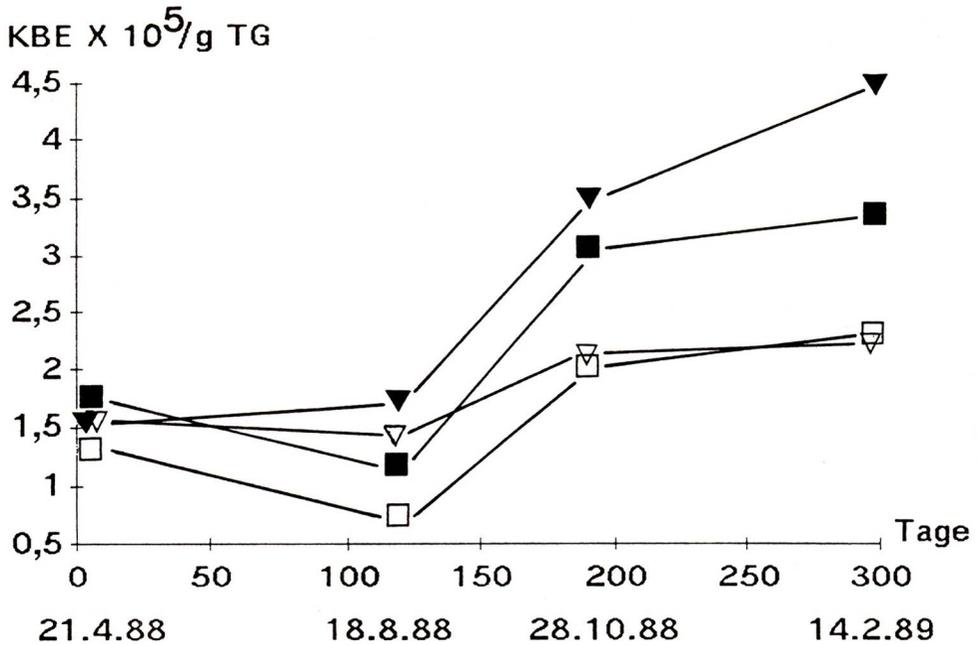


Abbildung 1:

Konzentrationsänderungen (KBE/g TG) der Mucorales über den Versuchszeitraum in den Streuproben von K1 = ■, K2 = ▼, D1 = □ und D2 = ▽.

cillata, die zumindest in drei der vier Probennahmen auf beiden Kontrollflächen nachweisbar war, als einzelne Art ausgewertet. Alle übrigen Arten traten dagegen unregelmäßig oder nur in Einzelproben auf. Sie wurden zur Auswertung in Gattungen zusammengefaßt.

Die Gegenüberstellung der prozentualen Artenzusammensetzung der *Mucorales*-Flora beider Kontrollparzellen in Abbildung 2 oben zeigt eine recht gute Übereinstimmung der durchschnittlichen Anteile der sieben dargestellten Einzelspezies und Gruppen. Die größten Unterschiede traten zwischen den jeweiligen Anteilen von *Mortierella ramanniana* (34 % bzw. 26 %) und *M. parvispora* (9 % bzw. 14 %) auf, die damit gleichzeitig ein Maß für die zu berücksichtigende Schwankungsbreite des gemittelten Artenspektrums liefern. Trotz der erheblichen Schwankungen zwischen einzelnen Probeterminen sind die gemittelten Ergebnisse auf beiden Flächen gut vergleichbar. Deshalb erscheint es gerechtfertigt, beide Kontrollparzellen zusammenzufassen und als repräsentativ für die unbehandelte Kiefernstreu zu betrachten. Daraus läßt sich für die Streu der unbehandelten Kiefernparzelle eine Liste der häufigsten *Mucorales*-Spezies aufstellen. Die Häufigkeiten der acht wichtigsten Arten sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

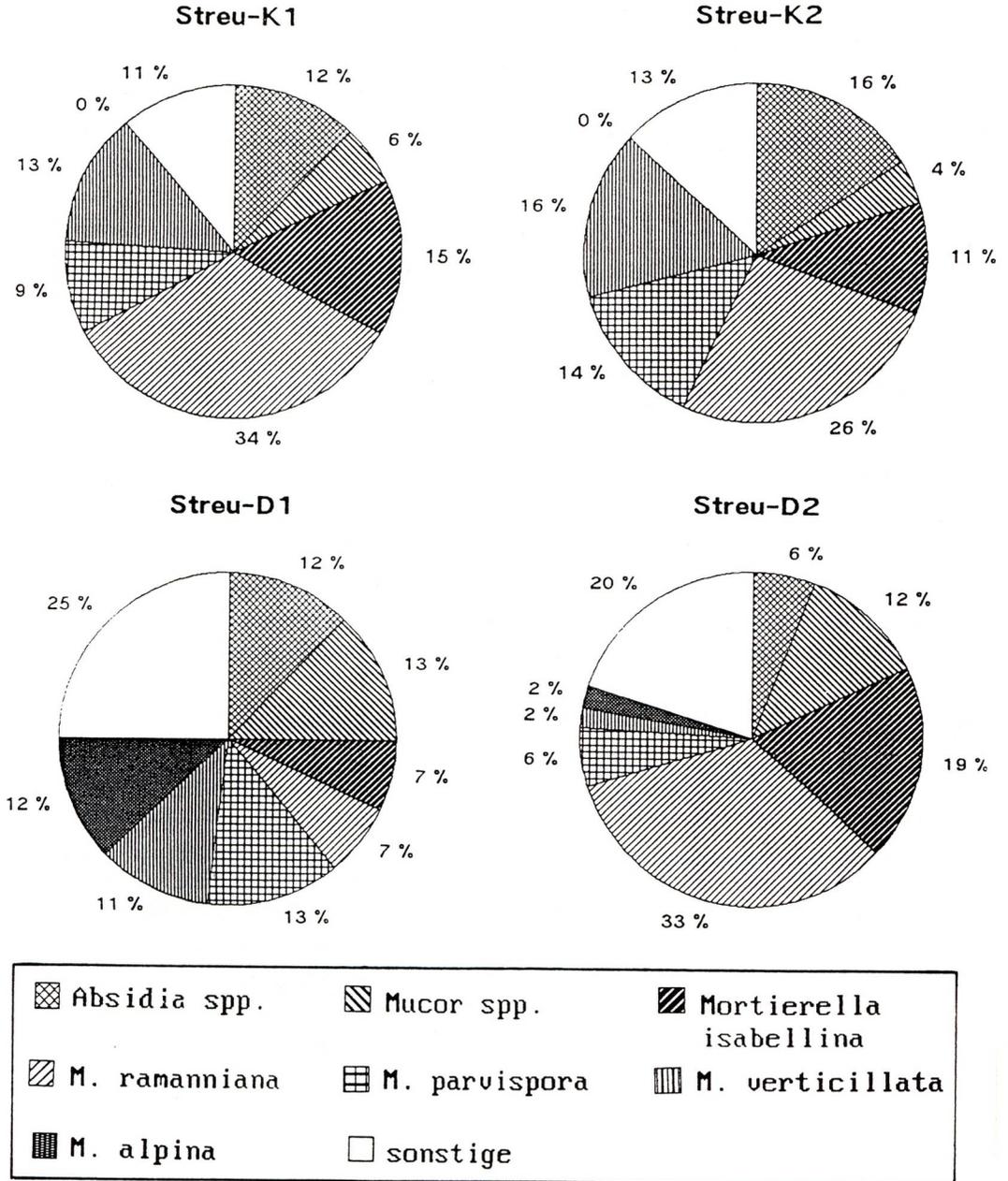


Abbildung 2: Vergleich der prozentualen Zusammensetzung der *Mucorales* in der Streu der Kontrollen (K1 und K2) mit den gekalkten Parzellen (D1 und D2), gemittelt aus vier Probenahmen.

Tabelle 3:

Dominante *Mucorales*-Arten in der Nadelstreu eines Berliner Kieferstandortes (K1 und K2). Angaben in Prozent (mit Extremwerten) von der Gesamtzahl ausgewerteter *Mucorales*-Kolonien.

1. <i>Mortierealla ramanniana</i>	30,2 % (23,1–38,5 %)
2. <i>Mortierella verticillata</i>	14,5 % (0,0–48,7 %)
3. <i>Absidia cylindrospora</i>	13,2 % (0,0–41,0 %)
4. <i>Mortierella isabellina</i>	12,8 % (7,7–21,0 %)
5. <i>Mortierella parvispora</i>	11,3 % (1,2–23,1 %)
6. <i>Mucor hiemalis</i> Gruppe	4,2 % (0,0–10,5 %)
7. <i>Mortierella humilis</i>	3,2 % (0,0–12,3 %)
8. <i>Mortierella globulifera</i>	2,0 % (0,0– 7,7 %)

Mortierella ramanniana war mit einem mittleren Anteil von 30,2 % ($\pm 6,9$ %) am stärksten vertreten; sie war in allen acht Einzelproben nachweisbar. Die Arten *M. verticillata* und *A. cylindrospora* wurden jeweils nur in 6 von 8 Proben gefunden, traten dort aber in sehr hohen Anteilen auf. *M. isabellina* gehört wie *M. ramanniana* zur *Micromucor*-Gruppe und ist wie diese Art durch stetiges Vorkommen in allen Proben gekennzeichnet.

Der Vergleich zwischen Häufigkeit und Stetigkeit des Vorkommens liefert wichtige zusätzliche Aussagen über das ökologische Verhalten einzelner Arten. Trotzdem ist die Stetigkeit sicher das wichtigere Kriterium für die Bedeutung einer Art im jeweiligen Bodenhorizont. Aus diesem Grunde sind *M. ramanniana* und *M. isabellina* als diejenigen Arten festzuhalten, die das *Mucorales*-Spektrum der untersuchten Kiefernstreu bestimmen.

3.3 Auswirkungen der Kalkdüngung auf die *Mucorales*-Flora der Streu

Nach der Kalkdüngung war die Gesamtkonzentration der *Mucorales*-Sporen in der Streuschicht etwas reduziert (vgl. Abb. 1). Die Konzentration der bereits 1986 gedüngten Parzelle (D1) lag zu allen Probeterminen unter derjenigen der beiden Kontrollparzellen.

Während die *Mucorales*-Konzentration der 1988 gedüngten Streu (D2) vor und drei Monate nach der Kalkanwendung (Augustprobe) mit derjenigen der Kontrollen auf vergleichbarem Niveau lag, sank sie fünf Monate nach der Kalkdüngung auf das Niveau von D1 ab.

Deutlichere Veränderungen infolge der Kalkanwendung zeichneten sich in der Zusammensetzung der *Mucorales*-Flora ab. Vor allem in der Streu der bereits 1988 gekalkten Parzelle (D1) waren erhebliche Unterschiede gegenüber den beiden Kontrollen erkennbar (Abb. 2).

Am markantesten war der Rückgang der Anteile von *M. ramanniana* und *M. isabellina*. Beide Arten waren zwar weiterhin in allen Proben nachweisbar, ihr durchschnittlicher Anteil an der *Mucorales*-Flora sank aber auf jeweils 7 % ab. Andererseits wurde neben *M. ramanniana* und *M. isabellina* in allen Proben der D1-Streu *Mortierella alpina* festgestellt (im Durchschnitt 12 %). Diese Art war in beiden Kontrollen überhaupt nicht nachweisbar. Weitere auffällige Arten in der 1986 kalkgedüngten Streu waren *Mucor saturninus* und *Mucor hiemalis*, die in drei der vier Einzelproben festgestellt wurden. Ihr Auftreten ist im wesentlichen für den mit 12 % relativ hohen Anteil der Gattung *Mucor* in der D1-Streu verantwortlich. Neben diesen *Mucor*-Arten, die vereinzelt auch in den Kontrollen auftraten, kamen in der D1-Streu Einzelisolate von *Mucor plumbeus* und *Mucor ucrainicus* vor.

Auch die *Mucorales*-Population der 1988 gekalkten Streu (D2), die eine Kalkdüngung erst nach der Aprilprobe erhalten hatte, zeigte gegenüber den Kontrollen deutliche Abwei-

chungen in den Anteilen der einzelnen Spezies bzw. Gattungen. Während die für die Streuschicht typischen Arten *M. ramanniana* und *M. isabellina* in D2 in ihrer Häufigkeit noch nicht verringert waren, war der *Mucor*-Anteil bereits erhöht. Auch der Rückgang von *Absidia* spp. von 14 % (Kontrollflächen) auf rund 6 % stimmt mit der Entwicklung in der Streu von D1 überein. Damit lassen sich die Ergebnisse der *Mucorales*-Analyse in der 1988 gekalkten D2-Streu als Übergangsstadium zwischen den Kontrollen und der zwei Jahre früher kalkgedüngten D1-Parzelle interpretieren.

3.4 *Mucorales*-Flora des B_s-Horizontes

In den untersuchten B_s-Horizonten lag die durchschnittliche Konzentration erfaßter *Mucorales* bei etwa 2×10^4 KBE/g TG. Konzentrationsänderungen traten über den Versuchszeitraum im Bereich von 1 bis 4×10^4 KBE/g TG auf.

Die Sporenkonzentration einzelner Arten im Boden zeigte sehr große Schwankungen. Deshalb erscheint ein detaillierter Vergleich zwischen Kontrolle und Kalkung in diesem Horizont nicht sinnvoll. Die Populationszusammensetzung in den verschiedenen Parzellen war insgesamt ähnlich, und sie unterschied sich von der *Mucorales*-Flora der Streuproben deutlich (vgl. Tabelle 2).

Typisch für den B_s-Horizont ist die Dominanz der Arten *Mortierella vinacea* und *Mortierella macrocystis*. *M. vinacea* wurde aus allen Proben isoliert. Der Anteil dieser Art variierte zwischen 7 % und 80 %, wobei die höchsten Werte im August und Oktober auftraten. *M. macrocystis* zeigte dagegen im April und Februar die höchsten Anteile. Im trockenen August lag die Sporenkonzentration dieser Art in allen Bodenproben unter der Nachweisgrenze von 10^3 KBE/g TG.

Kiefernboden (B_s-Horizont)

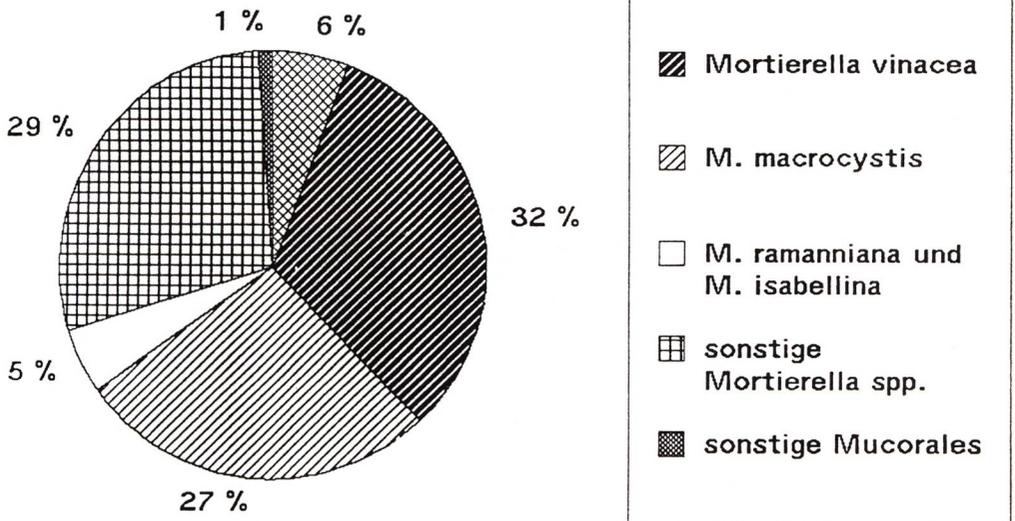


Abbildung 3: Prozentuale Anteile einzelner Arten und Arten-Gruppen aus Proben des B_s-Horizontes (gemittelt aus K1, K2, D1 und D2)

Mortierella ramanniana var. *ramanniana* und *Mortierella isabellina* waren im B₅-Horizont seltener und zu wesentlich geringeren Anteilen als in der Streu vertreten (Abb. 3). An ihrer Stelle dominierten *M. vinacea* und *M. macrocystis*, die in den Streuproben nur ausnahmsweise auftraten. Neben Arten, deren Verteilung zwischen Streu und B₅-Horizont keine Präferenz erkennen ließ, konnten acht Arten bevorzugt dem Bodenhorizont zugeordnet werden: *Zygorhynchus moelleri*, *Mortierella horticola*, *M. macrocystis*, *M. minutissima*, *M. nana*, *M. pulchella* 1, *M. vinacea* und *M. sp.2*.

Demgegenüber wurden *Mucor hiemalis* f. *hiemalis*, *M. hiemalis* f. *corticola*, *M. saturninus*, *Mortierella gamsii*, *M. globulifera*, *M. hyalina*, *M. isabellina*, *M. jenkinsii*, *M. ramanniana* var. *ramanniana* und *M. verticillata* wesentlich häufiger aus der Streu isoliert.

4. Diskussion

Mucorales und speziell einige Arten der Gattung *Mortierella* treten ubiquitär in den Wäldern der gemäßigten Klimazonen auf (DOMSCH et al. 1980). In einer Charakterisierung von Vegetationsformen anhand der dominanten Mikropilzflora im Boden wurden von CHRISTENSEN (1981) besonders Arten der Untergattung *Micromucor* als typisch für Waldstandorte identifiziert.

Die auffälligsten Unterschiede in der *Mucorales*-Flora der hier untersuchten Proben traten zwischen Streu- und Bodenhorizont auf. Neben quantitativen Veränderungen in der Konzentration der Sporen und deren Anteil an der Gesamtzahl der Pilze erwies sich vor allem die Artenzusammensetzung als geeignet zur Differenzierung der Proben verschiedener Herkunft.

Die Gattung *Mortierella* dominiert innerhalb der *Mucorales* sowohl in der Streu (80 %) als auch im Boden (93 %). Während *Mortierella ramanniana* und *M. isabellina* als dominante Arten aus allen untersuchten Streuproben isoliert wurden, kommen *Mortierella vinacea* und *M. macrocystis* vor allem im B₅-Horizont vor.

Untersuchungen zur Mikropilzflora von Nadelwaldböden wurden unter anderem von ELLIS (1940), HAYES (1965), PARKINSON & BALASOORIYA (1967), CHRISTENSEN (1969) SHEKHOVTSOV (1974), SÖDERSTRÖM & BÅÅTH (1978), BÅÅTH (1981) und ARNEBRANDT et al. (1990) durchgeführt. Übereinstimmend mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit erwiesen sich auch in diesen Untersuchungen Vertreter der Gattung *Mortierella* als häufigste *Mucorales*-Arten. Meist wurden auch *Mortierella isabellina*, *M. ramanniana*, *M. verticillata*, *M. parvispora*, *M. macrocystis*, *M. nana* und *M. vinacea* sowie *Mucor hiemalis* festgestellt. Soweit überhaupt eine Differenzierung nach Horizonten erfolgte, ergaben sich ähnliche Verteilungsmuster.

Eine sehr weitgehende Übereinstimmung besteht zu den Ergebnissen von SÖDERSTRÖM & BÅÅTH (1978). Diese Autoren untersuchten die Mikropilzflora von drei schwedischen Nadelwäldern (*Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Picea/Pinus*-Mischbestand) mit der Partikelwaschtechnik nach PARKINSON & WILLIAMS (1961), modifiziert nach GAMS & DOMSCH (1967). Trotz der Verwendung einer anderen Isolierungsmethode wurden von den 15 *Mucorales*-Arten, die an allen drei schwedischen Waldstandorten nachgewiesen wurden, 12 auch in der vorliegenden Arbeit isoliert. Übereinstimmend mit dem eigenen Ergebnis dominierten *M. ramanniana* und *M. isabellina* jeweils in der Streuschicht, im Boden dagegen *M. macrocystis*, *M. vinacea* und *M. nana*. Ferner nahm der Anteil der Gattung *Mucor* mit zunehmender Bodentiefe ab. Daraus läßt sich für die *Mucorales* auf eine relativ enge Verknüpfung zwischen dem Vorliegen vegetativer Stadien (incl. Chlamydosporen) im besiedelten Substrat und dem Auftreten von Sporangiosporen schließen.

Deutliche Veränderungen in der Zusammensetzung der Population sind nach der Kalkdüngung in der Streuschicht festzustellen. Bei der später gekalkten Parzelle (D2) wurde eine Übergangssituation erfaßt, in der bereits der *Mucor*-Anteil erhöht war. Dagegen waren die Veränderungen in der zwei Jahre vor der Untersuchung gekalkten Parzelle (D1) vermutlich abgeschlossen.

Als Ursache für die durch Kalk verursachten Verschiebungen ist in erster Linie die Erhöhung des pH-Wertes anzusehen, der in der Streu um 2,5 Einheiten auf 5,8 ansteigt. SEWELL (1959) gibt für das Wachstum und die Sporulation von *M. ramanniana* var. *ramanniana* ein pH-Optimum zwischen 3 und 4 an. Auch *M. isabellina* wird vor allem aus sauren Böden isoliert. Eine Empfindlichkeit gegenüber erhöhten pH-Werten oder ein geringeres Konkurrenzvermögen unter diesen Bedingungen könnte daher speziell bei diesen beiden Arten zur Verringerung ihres Auftretens beigetragen haben.

Auch das Erscheinen von *M. alpina* ist als Folge der pH-Erhöhung interpretierbar, da diese Art sehr häufig in neutralen bis alkalischen Böden auftritt. NICHOLLS (1956) stellte *M. alpina* speziell in kalkhaltigen Graslandschaften (pH 7,0–8,3) zusammen mit *M. minutissima* als häufigste *Mucorales*-Art fest. Auch LINNEMANN (in ZYCHA et al. 1969) gibt Funde von *M. alpina* vor allem in Böden mit neutralem pH-Wert (5,2–8,4) an.

Die *Mucorales* gelten unter den Mikropilzen als typische Vertreter der Zuckerpilze (Sugar fungi, BURGESS 1958) mit Ruderalstrategie (z.B. PUGH 1980, COOKE & RAYNER 1984). Vertreter dieser Ordnung sind befähigt zur schnellen Besiedlung leicht verwertbarer Substrate; bei Erschöpfung dieser Ressourcen oder verstärktem Auftreten von Konkurrenten gehen sie relativ schnell zur Bildung einer großen Zahl von Sporen über. Daraus wird oft geschlossen, daß abgestorbenes Pflanzenmaterial, wie zum Beispiel Kiefernnadeln, zunächst von Primärsaprophyten wie den *Mucorales* besiedelt würden. Diese bauten die leicht verwertbaren Bestandteile wie einfache Kohlenhydrate ab, ehe in der Sukzession zellulose- und später ligninzersetzende Pilze den weiteren Abbau und die Humusbildung übernahmen.

Diesem einfachen Konzept widerspricht die hier festgestellte Zunahme des Anteils der *Mucorales*-Sporen an den Mikropilzen mit der Bodentiefe. Bei einer nachträglich durchgeführten getrennten Analyse der Streu in mehreren Horizonten wurden im obersten O_L-Horizont weniger als 10⁴ *Mucorales*-Sporen/g TG (unter 0,5 % aller Pilz-KBE) festgestellt. Diese Befunde, die sich auf das Sporenvorkommen beziehen, bestätigen entsprechende sequenzielle Untersuchungen an oberflächensterilisierten Nadeln (KENDRICK & BURGESS 1962) oder mit der Partikelwaschtechnik (SÖDERSTRÖM 1975).

HUDSON (1968) beschreibt das Phänomen der sekundären Zuckerpilze und sieht vor allem in der Untergattung *Micromucor* der Gattung *Mortierella* typische Vertreter dieser ökologischen Gruppe. Sie finden ihre ökologische Nische nicht in der Primärbesiedlung organischer Substanz, sondern wachsen in Assoziation mit zellulolytischen und ligninolytischen Pilzen wie zum Beispiel Basidiomyceten. Letztere setzen beim Abbau komplexer Verbindungen mehr Hexosen und Pentosen frei, als sie zur Erhaltung des eigenen Stoffwechsels benötigen. Davon profitieren die sekundären Zuckerpilze, denen mit der Verwertung dieser Zucker eine wichtige regulatorische Funktion durch Verminderung der Katabolitrepression beim Abbau schwer abbaubarer Streubestandteile zukommt (vergl. z.B. ENARI & MARKKANEN 1977).

Eine solche ökologische Einordnung der *Mucorales* und vor allem der *Micromucor*-Arten bietet sowohl für den zunehmenden Anteil der *Mucorales*-Sporen als auch für die veränderte Artenzusammensetzung im Bodenhorizont sinnvolle Erklärungsmöglichkeiten. Diesem Erklärungsmuster folgend, könnte der Rückgang von *M. ramanniana*, die speziell als

sekundärer Zuckerpilz gilt, auch auf einen verminderten Abbau komplexer Streubestandteile als Folge der Kalkung hinweisen.

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. W. GAMS und Frau Dr. M.A.A. SCHIPPER vom Centraalbureau voor Schimmelcultures Baarn für ihre Hilfestellung bei der Bestimmung einiger Isolate.

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Arbeit ist Bestandteil des interdisziplinären Projektes Ballungsraumnahe Waldökosysteme, das als gemeinsames FE-Vorhaben vom Umweltbundesamt und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin finanziert und durchgeführt wird (FE-Nr. 10803046/30).

Literatur

- ARNEBRANT, K., E. BÅÅTH & B. SÖDERSTRÖM (1990) – Changes in microfungal community structure after fertilisation of Scots pine forest soil with ammonium-nitrate and urea. *Soil Biol. Biochem.* 22: 309–312.
- BÅÅTH, E. (1981) – Microfungi in a clear-cut pine forest soil in Central Sweden. *Can. J. Bot.* 59: 1331–1337.
- BADURA, L. and M. BADUROWA (1964) – Występowanie grzybow glebowych w zbiorowisku bukowym rezerwatu Lubsza. *Acta. Soc. Bot. Pol.* 33: 507–525.
- Ballungsraumnahe Waldökosysteme (2. Forschungsbericht, 1988). Umweltbundesamt Fachgebiet I 3.3, Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Abt. III Berlin (1988).
- BISSETT, J. & D. PARKINSON (1980) – The distribution of fungi in some alpine soils. *Can. J. Bot.* 57: 1609–1629.
- BURGES, A. (1958) – Micro-organisms in the soil. Hutchinson, London.
- CBS Course of Mycology (1987). Gams, W. et al. (eds). Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn.
- CHRISTENSEN, M. (1969) – Soil microfungi of dry to mesic conifer-hardwood forests in Northern Wisconsin. *Ecology* 50: 9–27.
- (1981) – Species diversity and dominance in fungal communities. 201–232. In: *The Fungal community*. Wicklow, D.T. & Carroll, G.C. (eds.). Marcel Dekker Inc., New York and Basel.
- COOKE, R.C. & A. D. M. RAYNER (1984) – Ecology of saprotrophic fungi. Longman, New York.
- DOMSCH, K. H., W. GAMS & T.-H. ANDERSON (1980) – Compendium of soil fungi. Academic Press, London.
- ELLIS, M. (1940) – Some fungi isolated from pinewood soil. *Trans. Br. mycol. Soc.* 24: 87–97.
- ENARI, T.-M. & P. MARKKANEN (1977) – Production of cellulolytic enzymes by fungi. *Adv. Biochem. Eng.* 5: 1–24.
- GAMS, W. und K. H. DOMSCH (1967) – Beiträge zur Anwendung der Bodenwaschtechnik für die Isolierung von Bodenpilzen. *Arch. Mikrobiol.* 58: 134–144.
- (1977) – A key to the species of *Mortierella*. *Persoonia* 9: 381–391.
- HAYES, A. (1965) – Some microfungi from Scots pine litter. *Trans. Br. mycol. Soc.* 48: 179–185.
- HUDSON, H. J. (1968) – The ecology of fungi on plant remains above the soil. *New Phytol.* 67: 837–874.
- KENDRICK, W. B. & A. BURGESS (1962) – Biological aspects of the decay of *Pinus sylvestris* leaf litter. *Nova Hedwigia* 4: 313–344.
- NICHOLLS, V. O. (1956) – Fungi of chalk soils. *Trans. Br. mycol. Soc.* 39: 233–236.
- PARKINSON, D. & I. BALASOORIYA (1967) – Studies on fungi in a pinewood soil. 1. Nature and distribution of fungi in the different soil horizons. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 4: 463–478.
- & S. T. WILLIAMS (1961) – A method for isolating fungi from soil microhabitats. *Plant Soil* 13: 347–355.
- PUGH, G.J.F. (1980) – Strategies in fungal ecology. *Trans. Br. mycol. Soc.* 75: 1–14.
- SEWELL, G. W. F. (1959) – Ecology of *Mucor ramannianus* Moeller. *Nature, Lond.* 183: 1344–1345.
- SHEKHOVTSOV, O. H. (1974) – *Mucorales* fungi of pine stands in the Chernigov Oblast. *Mykrobiol. Zh.* (Kiev). 36 (2): 160–162.
- SÖDERSTRÖM, B. E. (1975) – Vertical distribution of microfungi in a spruce forest soil in the South of Sweden. *Trans. Br. mycol. Soc.* 65: 419–425.
- & E. BÅÅTH (1978) – Soil microfungi in three Swedish coniferous forests. *Holarctic Ecol.* 1: 62–72.
- TRAUTMANN, C. (1990) – Jahreszeitliche und räumliche Verteilung der *Mucorales* (Jochpilze) in Berliner Waldböden im Zusammenhang mit einer Kalkdüngung. Diplomarbeit am Fachbereich Biologie der Freien Universität Berlin.
- WARCUP, J. H. (1960) – Methods for isolation and estimation of activity of fungi in soil. 3–21. In: PARKINSON, D. and WARD, J. S. (eds.) *The ecology of soil fungi*. Liverpool University Press.
- ZYCHA, H., R. SIEPMANN & G. LINNEMANN (1969) – *Mucorales*. Eine Beschreibung aller Gattungen und Arten dieser Pilzgruppe. J. Cramer, Lehre.



Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der DGfM.

www.dgfm-ev.de

Über [Zobodat](#) werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
(Name der Hefreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#) (CC BY-ND 4.0).



- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die [vollständigen Lizenzbedingungen](#), wovon eine [offizielle deutsche Übersetzung](#) existiert. Freigibiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [58_1992](#)

Autor(en)/Author(s): Trautmann C., Peters M., Kraepelin Gunda

Artikel/Article: [Die Mucorales-Flora in Streu- und Bodenhorizonten eines Berliner Kiefernwaldes I. Einfluß einer Kalkdüngung auf die Mucora/es-Population 3-14](#)