

Morpho-anatomische und molekulare Charakterisierung des Hausfäulepilzes *Leucogyrophana pulverulenta*

TOBIAS HUCKFELDT^{1*}, INGRID DILL²,
KAREN STEEGHS-ALCER² & OLAF SCHMIDT³

HUCKFELDT, T., I. DILL, K. STEEGHS-ALCER & O. SCHMIDT (2011): Morpho-anatomical and molecular characterization of the indoor wood-decay fungus *Leucogyrophana pulverulenta*. Z. Mykol. 77/1: 45-60

Key words: *Leucogyrophana pulverulenta*, Coniophoraceae, brown-rot fungi, morphology, anatomy, rDNA-ITS, identification, phylogeny.

Summary: *Leucogyrophana pulverulenta* is described morpho-anatomically and depicted. Samples from German buildings were identified by their anatomical characters and their rDNA-ITS sequence. The position of *Leucogyrophana pulverulenta* within the Coniophoraceae is discussed and a proposal for classification is made. An ancestor '*Leucogyrophana* sp.', which led to the genera *Serpula* and *Coniophora*, is presumed as a phylogenetic basis of the investigated Coniophoraceae. The division of the genus *Leucogyrophana* into sect. *Pulverulenta* (no sclerotia) and sect. *Mollusca* (sclerotia present) is proposed, although, the genus is held together by several anatomical characters.

Zusammenfassung: Eine morpho-anatomische und bebilderte Beschreibung von *Leucogyrophana pulverulenta* (Kleine Fältlingshaut) wird gegeben. Die untersuchten Proben aus Gebäuden in Deutschland wurden anhand ihrer morpho-anatomischen Merkmale und rDNS-ITS-Sequenzen bestimmt. Die Stellung innerhalb der Coniophoraceae wird diskutiert und eine Einordnung vorgeschlagen. Am Grund des Stammbaumes der untersuchten Coniophoraceae in Gebäuden wird eine Ahnenform „*Leucogyrophana* sp.“ vermutet, aus der sich die Gattungen *Serpula* und *Coniophora* entwickelten. Für die Gattung *Leucogyrophana* wird die Aufteilung in zwei Sektionen vorgeschlagen: sect. *Pulverulenta* und sect. *Mollusca*, die erste ohne und die zweite mit Sklerotien. Die Gattung wird jedoch durch zahlreiche anatomische Merkmale zusammengehalten.

Anschrift der Autoren:

¹ Dr. Tobias Huckfeldt, Hohe Liedt 75, 22417 Hamburg; huckfeldt@hausschwamminfo.de

² Dr. Ingrid Dill und Dr. Karen Steeghs-Alcer, Umweltmykologie Dr. Dill & Dr. Trautmann GbR, Zosener Str. 56-58, 10961 Berlin; mail@umweltmykologie.de

³ Prof. Dr. Olaf Schmidt, Holzbiologie, Universität Hamburg, Leuschnerstraße 91d, 21031 Hamburg; o.schmidt@holz.uni-hamburg.de

Einleitung

Leucogyrophana pulverulenta [(Sowerby: Fr.) Ginns (1978), Kleine Fältlingshaut, Coniophoraceae] verursacht Braunfäule an Holz und wird regelmäßig auch in Gebäuden nachgewiesen. Wie die anderen *Leucogyrophana*-Arten wird *L. pulverulenta* in Gebäuden meist in falsch gelagertem Holz und an dauerhaft und stark durchfeuchteten Bauteilen festgestellt (HUCKFELDT & SCHMIDT 2006a). Typische Fundorte sind feuchte Keller und stark durchfeuchtete Balkenlagen, seltener befallen sind nasse innen liegende Fachwerke. Der Pilz fehlt in Dachgebälk, Fassaden und Fenstern. Gemeinsam ist den Fundstellen ein fast erdähnlicher, feuchter Untergrund mit wenig Luftbewegung (Tab. 1).

Zahlreiche der in Gebäuden vorkommenden Coniophoraceae sind morpho-anatomisch (GINNS 1982, HALLENBERG & ERIKSSON 1985, HUCKFELDT & SCHMIDT 2006a, SCHMIDT 2006) und molekularbiologisch (u. a. SCHMIDT et al. 2002, SCHMIDT 2003, SCHMIDT & MORETH 2006, KAUSERUD et al. 2007, JACOBS et al. 2010) untersucht. Die Bestimmung der Coniophoraceae mit klassischen Schlüsseln ist jedoch nicht immer eindeutig (JÜLICH 1984, BREITENBACH & KRÄNZLIN 1986, HANSEN et al. 1992, KRIEGLSTEINER 2000). Auch zu *L. pulverulenta* liegen einige morphologische Arbeiten vor (GINNS & WERESUB 1976, GINNS 1978, ERIKSSON & RYVARDEN 1976). Hinsichtlich der DNS von *L. pulverulenta* war eine Teilsequenz des 28S rDNS-Gens bekannt (JAROSCH & BESL 2001). Während der Manuskripterstellung wurde die ITS-rDNS-Sequenz eines CBS-Stammes (Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn) unter dem Synonym *Serpula tignicola* Harmsen zugänglich (BINDER et al. 2010).

Leucogyrophana pulverulenta gehört mit der verursachten Braunfäule, den dextrinoiden, nicht-amyloiden, dickwandigen, glatten und farbigen Sporen, den keulenförmigen Basidien, den Gefäßhyphen, dem farbigen Hymenium und den resupinaten, häutigen, etwas fleischigen Fruchtkörpern zur Familie der Coniophoraceae. In die Gattung *Leucogyrophana* gehört sie aufgrund der Schnallen, der farblosen Hyphen, der fehlenden Zystiden und Faserhyphen, des ausgeprägten Strangsystems sowie des faltigen Hymeniums (GINNS 1982).

Leucogyrophana pulverulenta ist mikroskopisch im Vergleich zur Gattung *Serpula* durch das Fehlen von Faserhyphen in den Strängen sowie durch kleinere Sporen gekennzeichnet. In den Fruchtkörpern von *Serpula himantioides* (Fr.: Fr.) P. Karsten, Wilder Hausschwamm, und in jungen Fruchtkörpern von *Serpula lacrymans* (Wulf in Jacq.: Fr.) Schroeter, Echter Hausschwamm, fehlen Faserhyphen ebenfalls. Durch die kleineren Sporen ist *L. pulverulenta* trotzdem gut abzugrenzen. Der Unterschied zu *L. pinastri* (Fr.) Ginns & Weresub, Kiefern-Fältlingshaut, und *L. mollusca* (Fr.) Pouzar, Sklerotien-Fältlingshaut, liegt besonders in der deutlichen Sklerotisierung der Strang- und Sklerotien-Oberfläche, die bei *L. pulverulenta* fehlt. Die Bildung von Sklerotien ist eine Besonderheit und nur bei zwei europäischen *Leucogyrophana*-Arten bekannt (GINNS 1978): Dies sind zwei der drei in Gebäuden gefundenen *Leucogyrophana*-Arten (HUCKFELDT & SCHMIDT 2006a), nämlich *L. pinastri* und *L. mollusca* (Abb. 1).

Eine Nähe von *L. pulverulenta* zu *Serpula lacrymans* (Echter Hausschwamm) ist augenscheinlich, so dass alte Namen wie „Kleinsporiger Hausschwamm“ oder „Kleiner Hausschwamm“ noch immer im Gebrauch sind. Erst im Entwurf der Neufassung der DIN 68800-1 und -4 (2009) wird deutlich zwischen *S. lacrymans* und den *Leucogyrophana*-Arten (Fältlingshäuten) unterschieden.

Ausführliche Übersichten der molekularen Techniken bei Pilzen sind bei SCHMIDT & MORETH (2006), SCHMIDT (2009) sowie SCHMIDT-STOHN & OERTEL (2010) gegeben. Für eine

molekulare Charakterisierung von nahe verwandten Pilzen (Arten, Unterarten) wird heutzutage meist der ITS-Bereich der rDNA verwendet. Von den wichtigen Hausfäulepilzen ist die ITS-Sequenz bekannt (u. a. MORETH UND SCHMIDT 2005, HÖGBERG & LAND 2004, RABERG et al. 2004, JACOBS et al. 2010) und in den internationalen Datenbanken deponiert.

Mit den in den Datenbanken hinterlegten ITS-Sequenzen können zum einen unbekannte Pilze identifiziert und zum anderen molekular-phylogenetische Untersuchungen durchgeführt werden.

Zur molekularen Identifizierung eines Pilzes wird die ermittelte Sequenz der Probe in eine Datenbank eingegeben, deren Programm BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) die Basenfolge mit allen hinterlegten Sequenzen vergleicht und die Übereinstimmungen anzeigt.

Für molekular-phylogenetische Untersuchungen werden ITS-Sequenzen verwendet, um mittels verschiedener Ähnlichkeitsanalysen DNA-Phylogramme aufzustellen. Auf Basis einer Teilsequenz des konservativen 28S-rDNS-Gens erstellten JAROSCH & BESL (2001) eine DNA-basierte DNA-Phylogramm, der die morphologisch hinsichtlich der Fruchtkörper, der haarartigen Stränge und der Sklerotienbildung ähnlichen Arten *L. mollusca* und *L. pinastri* in unterschiedlichen Clustern gruppiert (polyphyletisch). Auch bei der den ITS-Bereich enthaltenden Multigen-Analyse von BINDER et al. (2010) erwies sich die Gattung *Leucogyrophana* als polyphyletisch. In dem von SCHMIDT (2003) auf der Grundlage der ITS-Sequenzen erstellten DNA-Phylogramm verschiedener Arten der Coniophoraceae in Gebäuden ist *L. pulverulenta* nicht enthalten. Das DNA-Phylogramm stellt *L. mollusca* und *L. pinastri* in einen separaten Cluster neben die *Serpula*- und *Coniophora*-Arten sowie *Meruliporia incrassata* (Berk. & Curtis) Murr. Letztere ist das nordamerikanische Pendant zu *S. lacrymans*. *Meruliporia incrassata* tritt in vielen Staaten Nordamerikas in Gebäuden auf (VERRALL 1954, BURDSALL 1991).

Alle als *L. pulverulenta* erhaltenen Reinkulturen von Abimpfungen aus Gebäuden hatten sich als Fehlbestimmung erwiesen und mehrere Proben von älteren Fruchtkörpern keine verwertbaren Ergebnisse erbracht. Eine ITS-Sequenz von einem einzigen Stamm von *L. pulverulenta* wurde erst nach Abschluss dieser Untersuchung für einen CBS Stamm mit dem Synonym *Serpula tignicola* deponiert (BINDER et al. 2010).

In der vorliegenden Arbeit soll an Hand verschiedener Aufsammlungen aus Gebäuden die gesicherte ITS-Sequenz von *L. pulverulenta* ermittelt und diese dann in das DNA-Phylogramm der Coniophoraceae eingefügt werden. Darüber hinaus wird eine morfo-anatomische Beschreibung von *L. pulverulenta* im Vergleich zu den übrigen Coniophoraceae erstellt.

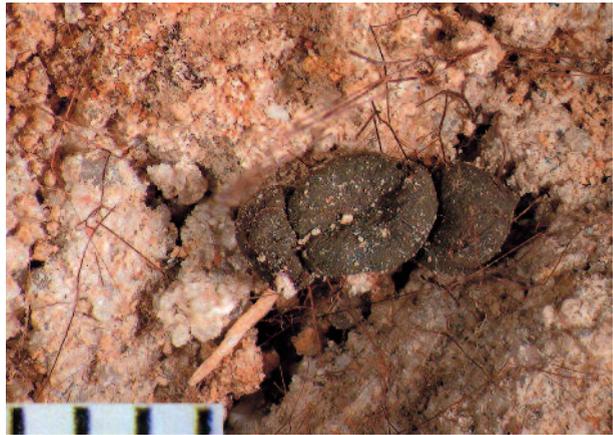


Abb. 1: Sklerotien und haarartige Stränge von *Leucogyrophana pinastri*, aus Mauerwerk wachsend; Maßstab mit Millimeter-Einteilung \triangle

Tab. 1: Untersuchte Pilze.

Art	Probe	Ort (Land)	Gebäude, Fundort	EMBL-Zugriffs-Nr.
<i>Leucogyrophana pulverulenta</i>	93	Ravensburg (BW)	Holztürrahmen, ungenutzter Gewölbekeller, Wohnhaus	
<i>L. pulverulenta</i> *	102	Einbeck (NS)	ungenutzter Gewölbekeller, genutztes Fachwerkhaus	AC FR691859
<i>L. pulverulenta</i>	102.2	Sietow (MV)	Dielenboden, Wohnhaus, ohne Keller	
<i>L. pulverulenta</i>	102.3	Niedenstein (HE)	Keller, Fachwerkhaus, Verwaltungsgebäude	
<i>L. pulverulenta</i>	177	Memmingen (BY)	Holz und Wand, Holzlager (ehemalige Hausklärgrube)	
<i>L. pulverulenta</i> *	221	Berlinchen (BB)	Holzbrett und Wand, Keller, Fachwerkhaus (außen Ziegel)	AC FR691860
<i>L. pinastri</i>	261	Hamburg	Mauerwerk, Wohnhaus	
<i>L. mollusca</i>	2003	Hiddensee (MV)	Wegbegrenzungen	
<i>Serpula lacrymans</i>	6	Hamburg	Deckenbalken, Wohnhaus	
<i>S. himantioides</i>	236	Hagen (NW)	historische Werkhalle	

* In den Datenbanken wird *L. pulverulenta* als *Serpula pulverulenta* geführt (siehe unten).

Methoden

Pilze

Die untersuchten Pilze stammen aus verschiedenen Gebäuden Deutschlands mit Feuchteschäden (Tab. 1).

Die Mycel- bzw. Fruchtkörperstrukturen der aufgeführten Proben von *L. pulverulenta* wurden nach GINNS (1978), JÜLICH (1984), ERIKSSON & RYVARDEN (1976) und KRIEGLSTEINER (2000) makro- und mikroskopisch identifiziert. GINNS (1978) und INDEX FUNGORUM (09.2010) geben folgende Synonyme an (Auswahl): *Merulius lacrymans* var. *pulverulenta* (Fr.) Fr. (1874), *Merulius minor* Falck in MOELLER (1912), *Merulius tignicola* Harmsen (1952), *Serpula minor* Bond. (1956); *Serpula pulverulenta* (Fr.) Bondartsev (1959), *Serpula tignicola* Christiansen (1960).

Der Begriff Strang wird in der vorliegenden Arbeit in der Definition von HARTIG (1885) und FALCK (1912) verwendet. Demnach sind Stränge oft wurzelähnlich verzweigte, bindfaden-, band- oder haarartige, langgezogene Mycelverbände, die sich hinter der Wachstumsfront im Oberflächenmycel entwickeln und in dieses, zumindest im jungen Zustand, eingebettet sind (z. T. liegen die Stränge nach autolytischen Prozessen oder Tierfraß auch frei). Der Begriff Strang (eng. strands) hat eine lange Tradition bei den holzerstörenden Pilzen und auch für die deutschsprachige und europäische Normung (DIN, EN, ÖNorm). Er wird in vielen Publikationen verwendet (NUSS et al. 1991, RIDOUT 2000, HUCKFELDT & SCHMIDT 2006b, SCHMIDT 2006). Insbesondere für Mykorrhiza-Pilze hat sich der Begriff Rhizomorphen etabliert (AGERER 1987-2008, 1999, AGERER & IOSIFIDOU 2004).



DNA-Isolierung, PCR, Gelelektrophorese und Sequenzierung

10–20 mg Fruchtkörper oder Mycel wurden mit einem Skalpell zerkleinert und die DNA mit dem First-DNA all-tissue DNA-Kit (GEN-IAL, Troisdorf) nach Angaben des Herstellers isoliert. Für die PCR wurde die DNA-Lösung probenabhängig 5- bis 100-fach verdünnt. Ein μl der verdünnten DNA wurde mit dem ITS1F/ITS4B-Primerpaar (GARDES & BRUNS 1993) und 1 Unit Gen Therm DNA Polymerase (Rapidozym Gesellsch. Laborhandel DNA Diagnostika, Berlin) in einem MyCycler (Biorad) amplifiziert. Auf 3,5 Min. Anfangsdenaturierung bei 94 °C folgten 40 Zyklen von 30 Sek. bei 94 °C, 60 Sek. bei 60 °C und 60 Sek. bei 72 °C. Schluss-extension war 7 Min. bei 72 °C. Die PCR-Produkte wurden mittels Agarose-Gelelektrophorese (E-Gel, Invitrogen) aufgetrennt und die DNA-Banden nach Reaktion mit Ethidiumbromid über 312 nm UV mit dem TI 1-Transilluminator (Biometra) dokumentiert.

Für die Sequenzierung durch die Firma „Services in Molecular Biology GmbH“, Rüdersdorf, wurden die DNA-Banden aus den Gelen ausgeschnitten und die DNA mit dem QiaQuick Gel Extraction Kit (Qiagen, Hildesheim) gereinigt. Die Sequenzen der rDNA-ITS-Region wurden durch Sequenzierung von beiden Seiten und Zusammenfügen der Daten mit dem Vector NTI Contig Express Module (Invitrogen, Darmstadt) ermittelt.

Wegen der unerwarteten Ergebnisse bei den erhaltenen Sequenzen wurden die Stämme 102 und 221 von *L. pulverulenta* zum Ausschluss methodischer Einflüsse zusätzlich im Hamburger Labor mit den dort verwendeten Methoden erneut molekularbiologisch bearbeitet. In Hamburg erfolgte das Probenzerkleinern (etwa 20 mg) in kleinen, sterilen Mörsern und die DNA-Extraktion mit dem DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen). Die PCR des Extraktes und von drei 1:50-Verdünnungsstufen mit dem *Taq* PCR Core Kit (Qiagen), dem Primerpaar CGCTACTACCGATTGAATG (forw.) und CCTCCGCTTATTGATATGC (rev.) (SCHMIDT et al. eingereicht) lief mit dem Programm 4 min. bei 98 °C, 35 Zyklen von 30 sec. bei 94 °C, 30 sec. bei 52 °C, 1 min. bei 72 °C sowie 7 min. bei 72 °C. Nach üblicher Agarose-Gelelektrophorese, Reinigung der PCR-Produkte mit dem QIAquick PCR Purification Kit (Qiagen) und erneuter Elektrophorese der gereinigten Produkte wurden jeweils beide DNA-Stränge von „Eurofins MWG“ (Ebersberg) sequenziert.

Die Sequenzen der verschiedenen Proben von *L. pulverulenta* (Tab. 1) wurden schließlich manuell „aligned“, um offensichtliche Sequenzierfehler leichter erkennen und entfernen zu können. Die Zugriffsnummern der zwei bei der Datenbank EMBL (European Molecular Biology Laboratory) deponierten Sequenzen sind in Tabelle 1 genannt; auf Veranlassung des dortigen Taxonomen sind sie jedoch als *Serpula pulverulenta* deponiert.

Molekularphylogenetische Analyse

Für die Molekularphylogenie wurde eine Distanz-Analyse mittels Neighbour-Joining-Methode (SAITOU & NEI 1987) verwendet und Bootstrap-Werte ermittelt (FELSENSTEIN 1985). Die Astlängen als Zahl von Basen-Substitutionen pro Einheit entsprechen den Entwicklungsdistanzen, die mit der Maximum Composite Likelihood-Methode (TAMURA et al. 2004) berechnet wurden. Mit der Pairwise Deletion-Option wurden Pausen und fehlende Daten des Alignments zu einem Datensatz von 952 Positionen eliminiert. Die molekularphylogenetischen Analysen erfolgten mit dem Programm MEGA4 (TAMURA et al. 2007).

Ergebnisse und Diskussion

Beschreibung von *Leucogyrophana pulverulenta*

Die folgende, stichwortartige Beschreibung von *L. pulverulenta* beruht weitgehend auf den in Tabelle 1 genannten Funden.

Fruchtkörper resupinat, glatt (zu Entwicklungsbeginn Sporen vorhanden, Abb. 3 u. 4), gefältelt (Falten 0,8–3 mm breit; Abb. 4, 6) bis merulioïd (Abb. 5, 6), beim Trocknen glättet sich das Hymenium, 0,5–7 mm dick, 0,4–400 mm² groß, sehr zart, zerreißt sehr leicht, kaum in großen Teilen vom Untergrund abhebbar, an Holz, Mauerwerk und Boden wachsend (Abb. 2). **Rand** geht in Mycel über, weiß bis creme (Abb. 4, 14). **Hymenium** gelb, gelb-hellbraun, hellbraun (Abb. 5); alt grau-braun bis schwarz, dünnfleischig, 0,1–0,3 mm dick (Abb. 12); Rückseite weißlich-gräulich. **Trama** unterhalb des Hymeniums und in der Mitte locker, am Untergrund dichter (Abb. 12), weiß bis creme, watteartig, 1–7 mm dick. **Sklerotien** fehlen. Primordien aus dichtem Mycel als das Zwischenmycel (Abb. 3).

Hyphensystem (des Fruchtkörpers) monomitisch. **Grundhyphen** farblos, direkt am Untergrund bis hellbraun (Abb. 9d), dann zuweilen mit Kristallbesatz (Abb. 9c) und wenigen braunen Tropfen (Ansätze einer Sklerotisierung; Abb. 9e)⁴, dünnwandig (zuweilen etwas dickwandig), 2,5–5 µm im Durchmesser (in der Trama 2–8 µm), septiert, mit großen, etwas unterschiedlichen Schnallen vom Durchmesser der Hyphen (Abb. 9b). **Faserhyphen**, **Zystiden** und **Gefäßhyphen** fehlen. **Sporen** etwas asymmetrisch, ellipsoid, dickwandig, in dunkleren Fruchtkörperteilen gelb bis braun (goldgelb), nicht amyloid (Abb. 9g), kaum dextrinoid (Reaktion meist eher negativ, Abb. 9g), z. T. cyanophil (Reaktion unterschiedlich, Abb. 9f), (5)5,5–7(9) × (3,5)4–4,5(5) µm, in KOH deutlich gelblich, etwas heller werdend (Abb. 9i). **Basidien** keulenförmig, mit Basalschnallen, (6,5)7–8(8,5) µm, mit 4 Sterigmen.

Mycel 0,3–1 mm dick, weiß, creme, hellgrau bis schmutzig hellbraun, auch grau; Stränge sind am Anfang der Entwicklung in Mycel eingebettet (Abb. 2, 7, 8).

Hyphensystem (des Mycels): Grundhyphen wie zuvor, aber 2–5 µm im Durchmesser. **Gefäßhyphen** farblos, dünnwandig, Zellenden und andere Wandteile z. T. verdickt (bis 1 µm dick), 7–9 µm im Durchmesser, septiert, auch Mehrfachsepten (seriale Septen) vorhanden, regelmäßig verzweigt, vor den Septen meist etwas breiter. **Faserhyphen** fehlen. **Kristalle** zahlreich, unregelmäßig geformt.

Stränge fein, 0,2–2 mm im Durchmesser, selten rund, eher flache Strukturen, weiß, creme bis gelblich, etwas gewunden (Abb. 19), in Mycel eingebettet (Abb. 8).

Hyphensystem (der Stränge): Grundhyphen farblos, dünnwandig, 2–5 µm im Durchmesser, septiert, z. T. mit großen, deutlichen, etwas unterschiedlichen Schnallen (Abb. 9b), gut färbbar in Kongorot, aber weniger in Baumwollblau-Milchsäure (einige Hyphen auch violett). **Gefäßhyphen** farblos, 8–21(28) µm im Durchmesser (Abb. 9a), dünnwandig, Zellenden und andere Wandteile z. T. verdickt (bis 1 µm dick, in kurzen Abschnitten bis 5 µm), septiert, auch Mehrfachsepten (seriale Septen) vorhanden, regelmäßig verzweigt (häufig zweigen deutlich kleinere Hyphen ab), an den Septen meist etwas breiter oder tailliert, mit meist undeutlichen

⁴ Gleichartige, braune Tropfen finden sich in jungen Strängen und Mycelien von *Coniophora puteana* (Schumacher: Fr.) Karsten am Anfang der Sklerotisierung, später erfolgt eine Verschmelzung zu einer Art Matrix, in der die Hyphen eingebettet sind; in aus-sklerotisierten Strängen von *C. puteana* sind die braunen Tropfen kaum noch als solche erkennbar (HUCKFELDT & SCHMIDT 2006).

Abb. 2: *Leucogyrophana pulverulenta*; Befallsbild mit Fruchtkörper, Strängen und dünnem Oberflächenmycel; die Holzbalken liegen ca. 1 m auseinander; Wachstum in zwei Schüben, erkennbar an der unterschiedlichen Färbung und dem unterscheidbaren Feinheitsgrad der Verzweigung. Der Neuzuwachs ist feiner verzweigt und heller (†).
Foto: T. HUCKFELDT

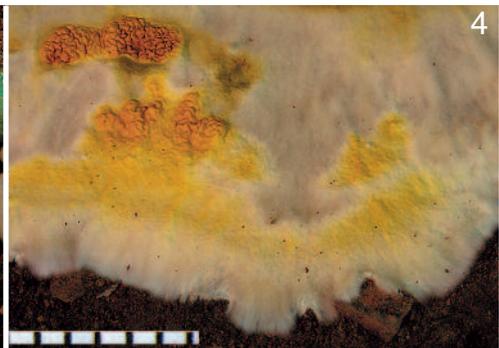
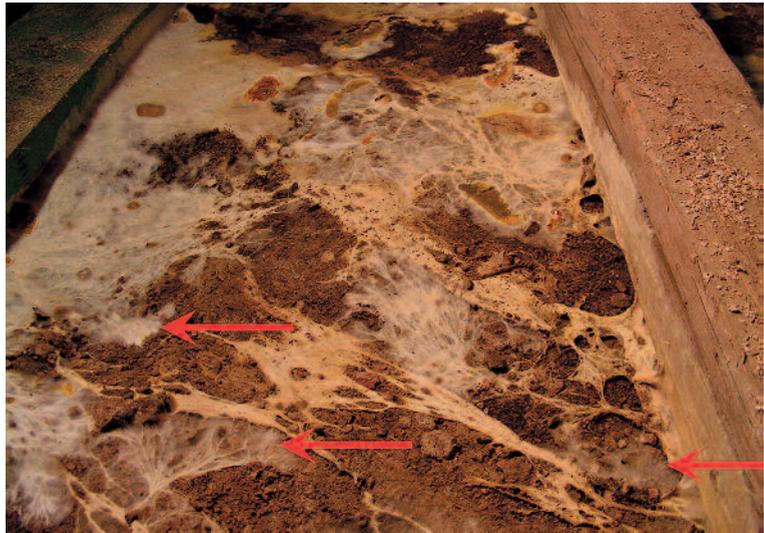


Abb. 3: *Leucogyrophana pulverulenta*; Fruchtkörper-Primordium; gelbe Stelle mit reifen Sporen; Maßstab mit Zentimeter-Einteilung. – **Abb. 4:** *Leucogyrophana pulverulenta*; Fruchtkörper in verschiedenen Entwicklungs-Stadien; gelbe Stellen mit reifen Sporen; Maßstab mit Zentimeter-Einteilung.

Fotos: T. HUCKFELDT

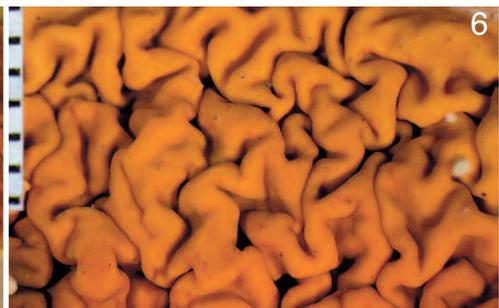
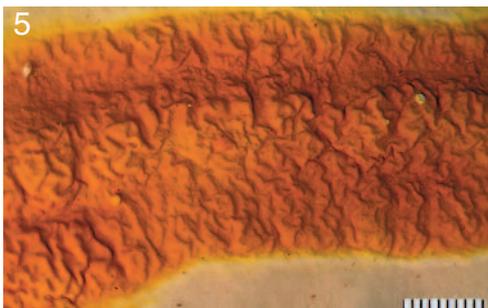


Abb. 5: *Leucogyrophana pulverulenta*; frischer Fruchtkörper, Hymenium: gefältelt; Maßstab mit Millimeter-Einteilung. – **Abb. 6:** *Leucogyrophana pulverulenta*; Fruchtkörper, Hymenium faltig gewunden (merulioid); Maßstab mit Millimeter-Einteilung.

Fotos: T. HUCKFELDT

**Abb. 7:**

Leucogyrophana pulverulenta; weißes bis hellgelbliches Oberflächenmycel mit feinen, eingebetteten (von Mycel umgebenen) Strängen, die sich hinter der Wachstumsfront entwickeln.

Foto: T. HUCKFELDT

**Abb. 8:**

Leucogyrophana pulverulenta; voll entwickelte Stränge auf braunfaulem, z. T. würfelbrüchigem Holz.

Foto: T. HUCKFELDT

bis deutlichen Balken (partiell aufgelöste und/oder teilweise verdickte Septen), diese bis 2 µm hoch (Abb. 9a), Gefäßhyphen z. T. stark von Grundhyphen umgeben (Abb. 9a). **Faserhyphen** fehlen.

Leucogyrophana pulverulenta ist dem Augenschein nach *Serpula lacrymans* und *S. himantioides* (Abb. 13-15) oft ähnlich. Die Bilder zu Struktur und Farbe des Hymeniums von *S. lacrymans* (Abb. 10), *S. himantioides* (Abb. 11) und *L. pulverulenta* (Abb. 12) scheinen austauschbar zu sein und auch die Anschnitte sind vergleichbar (Abb. 10-12). Lediglich die Dicke weicht bei *S. lacrymans* teilweise ab (Abb. 10), wobei diese jedoch ebenfalls unter 2 mm liegen kann (nicht gezeigt). Eine deutlich abweichende, nämlich hydnoide Struktur des voll entwickelten Hymeniums besitzt dagegen *L. pinastri* (Abb. 16); die Randbereiche des Hymeniums sind aber oft auch glatt bis merulioide.

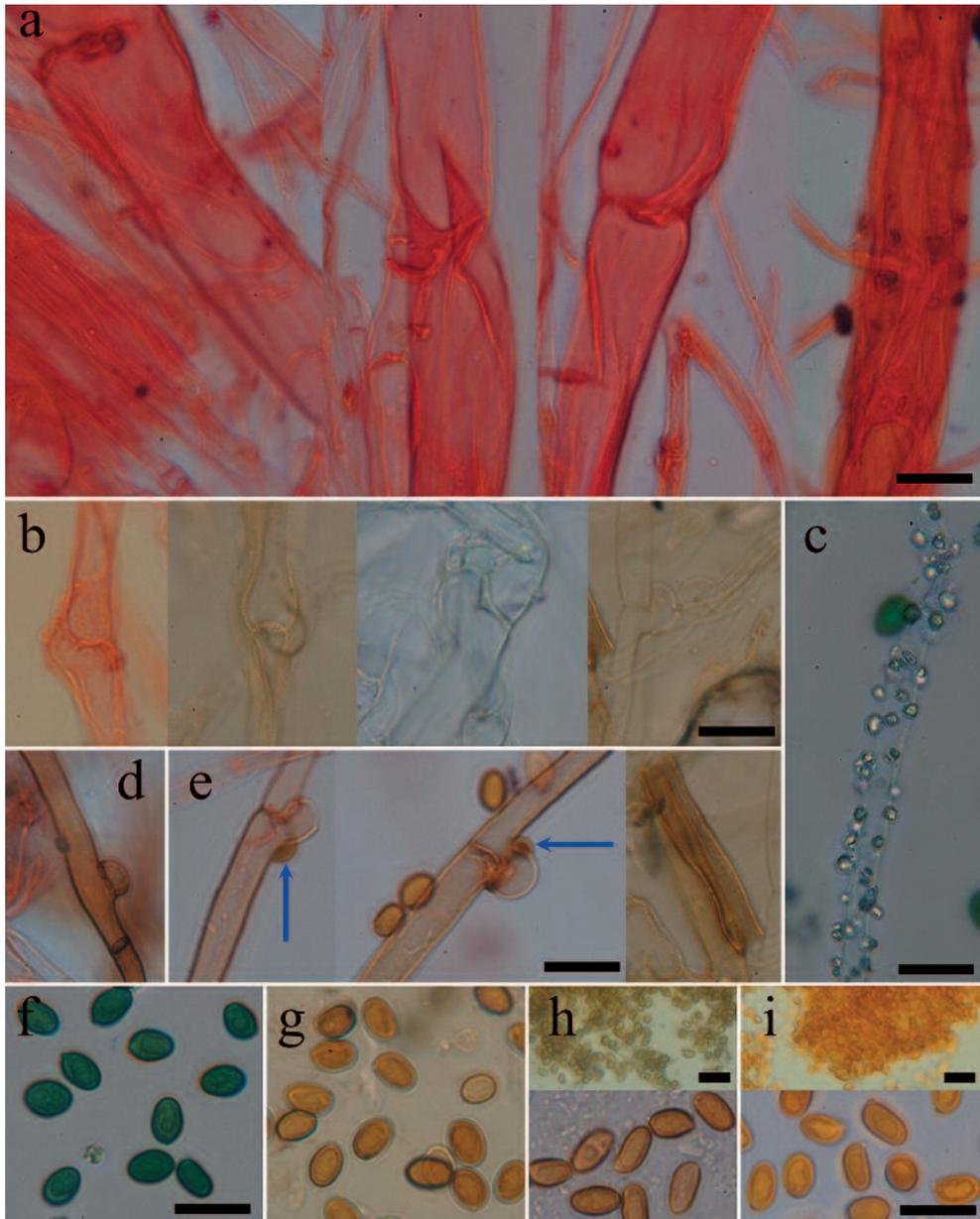


Abb. 9: Mikroskopische Merkmale von *Leucogyrophana pulverulenta*. Färbungen der Zellwände: rot mit Kongorot, blau mit Baumwollblau-Milchsäure. – **a:** Stränge; Gefäßhyphen mit Balken oder verdickten Septen, z. T. stark von Grundhyphen umgeben. – **b:** Grundhyphen unterhalb des Hymeniums mit unterschiedlichen Schnallenformen und Hyphen-Durchmessern an den Septen – **c:** Grundhyphe mit leichtem Kristallbelag direkt oberhalb des Untergrundes – **d–e:** braune, kaum sklerotisierte Grundhyphen, z. T. mit wenigen, braunen Tropfen (↑), direkt oberhalb des Untergrundes – **f:** Sporen in Baumwollblau-Milchsäure (cyanophil) – **g:** in Melzers Reagens (kaum verändert) – **h:** in Wasser – **i:** in KOH 5% (aufgehellt). Maßstäbe: 10 µm. Fotos: T. HUCKFELDT

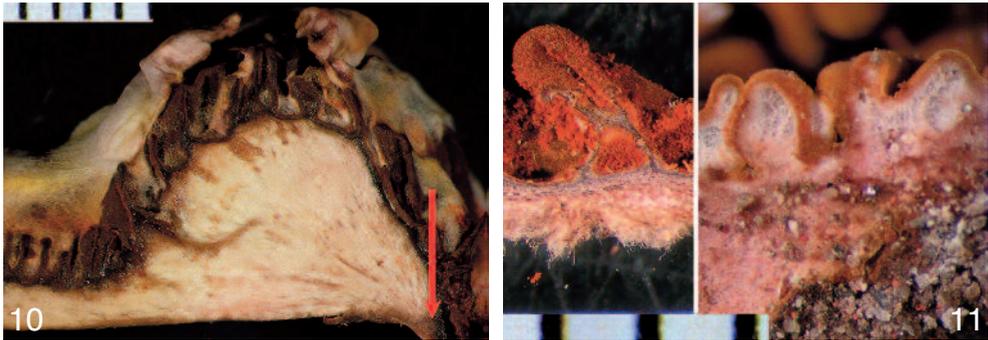


Abb. 10–12: Fruchtkörperschnitte

10: *Serpula lacrymans* an Holz; Trama eigentlich locker (hier zu einer Gelschicht verdichtet), untere dicke Trama am Untergrund dichter; Fruchtkörperwachstum von einem Strang aus (↑). – **11:** *Serpula himantoides* auf sandigem Grund; Trama locker, untere Trama am Substrat dichter; Fruchtkörperwachstum flächig aus dem Substrat bzw. Oberflächenmycel. – **12:** *Leucogyrophana pulverulenta* auf sandigem Grund; Trama locker, untere Trama am Substrat dichter; Fruchtkörperwachstum flächig aus dem Substrat bzw. Oberflächenmycel. – Skalen in mm. Fotos: T. HUCKFELDT

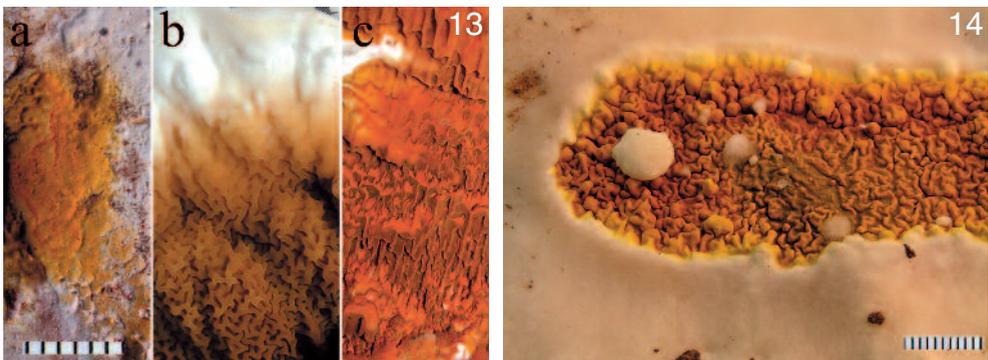


Abb. 13: Fruchtkörper von *Serpula lacrymans*. Strukturen des Hymeniums: **a:** nahezu glatt (corticioid), **b:** gewunden faltig (merulioid), **c:** fast zahnartig (irpicoid). – **Abb. 14:** Fruchtkörper von *Leucogyrophana pulverulenta*. merulioider Struktur des Hymeniums, besonders am Rand, die Mitte ist nahezu corticioid; Maßstab jeweils mit Millimeter-Einteilung. Fotos: T. HUCKFELDT

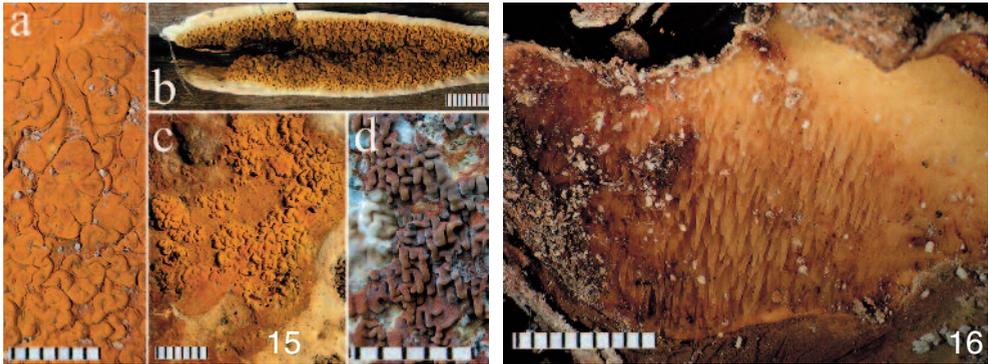


Abb. 15: Fruchtkörper von *Serpula himantioides*. Strukturen des Hymenium: **a:** fast felderähnlich, **b:** meruloid, **c:** corticioid oder warzig bis meruloid, **d:** fast zahnartig (irpicoid). – **Abb. 16:** Fruchtkörper von *Leucogyrophana pinastri*. Typisch ist die stachelige (hydroide) Struktur des Hymeniums. Ränder auch meruloid – Maßstab jeweils mit Millimeter-Einteilung. Fotos: T. HUCKFELDT

rDNS-ITS-Sequenz und Molekularphylogenie

Die ITS-Sequenzen der verschiedenen Stämme von *L. pulverulenta* (Tabelle 1) waren nahezu identisch. Lediglich zwei der insgesamt 12 DNA-Einzelstrang-Sequenzen zeigten einige Basenunterschiede jeweils an derselben Position. Ein Einfluss des Prüflabors lag nicht vor.

Die für *L. pulverulenta* Proben ermittelte ITS-Sequenz umfasst 840 Basenpaare (bp) und ist damit ungewöhnlich lang. Bei den übrigen in Gebäuden vorkommenden Coniophoraceae reicht sie von 649 bp bei *S. himantioides* bis zu 734 bp bei *L. pinastri* (MORETH & SCHMIDT 2005).

Die Abbildung 17 zeigt das mit der Neighbour-Joining-Methode erhaltenen DNA-Phylogramm. Im DNA-Phylogramm bilden *L. mollusca* und *L. pinastri* einen eigenen Cluster, der allerdings **nicht** von Bootstrap-Werten unterstützt ist. Davon heben sich *L. romellii* und *L. pulverulenta* ab, die nahe bei *M. incrassata* und den beiden *Serpula*-Arten stehen. In dem 28S-rDNA-Phylogramm von JAROSCH & BESL (2001) gruppierten sich die vier Arten in zwei Cluster, bei der die Sklerotien bildenden Arten (*L. mollusca* und *L. pinastri*) nicht zusammengehörten. Bei der Multigen-Analyse von BINDER et al. (2010) befand sich *Serpula tignicola* (= *L. pulverulenta*) ebenfalls in einem gemeinsamen Cluster mit *Serpula incrassata* (= *Meruliporia incrassata*), *S. lacrymans* und *S. himantioides*.

Abgrenzung von *Leucogyrophana pulverulenta* gegenüber anderen Coniophoraceae

Aufgrund der Ähnlichkeit von *L. pulverulenta* mit der Gattung *Serpula* wurde die Art früher in die Gattung *Serpula* gestellt: *Serpula pulverulenta* (Fr.) Bond. in BOND. & PARMASTO. Diese Ansicht hat sich wegen der fehlenden Faserhyphen im Mycel, in den Strängen und z. T. auch in den Fruchtkörpern nicht durchgesetzt. Die Faserhyphen von *Serpula* wurden zur Typbeschreibung der Faserhyphen herangezogen (CLÉMENÇON 1997) und sind ein stark trennendes Merkmal.

Die Gattungen *Serpula* und *Leucogyrophana* unterscheiden sich in den Merkmalen Faserhyphen, Stränge, Sklerotisierung und Sporengröße (Tab. 2). Einheitlich sind das Durch-

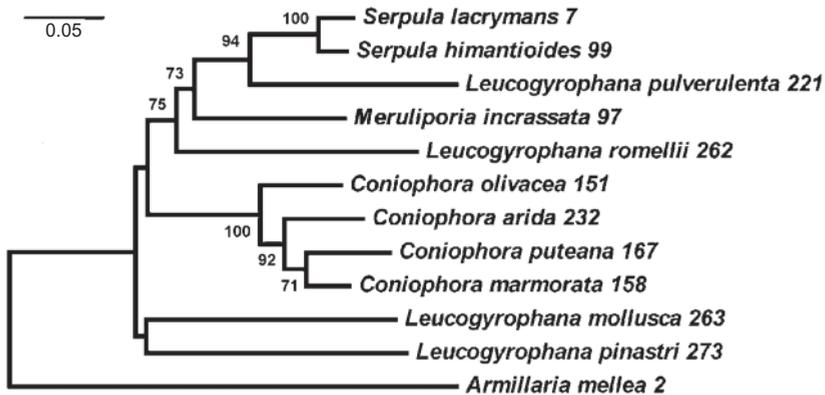


Abb. 17: Molekularphylogenetische Beziehungen innerhalb der Coniophoraceae auf Basis der ITS1-5,8S-ITS2-Region bei Verwenden der Neighbour-Joining-Methode. Bootstrap-Werte über 50 % sind an den entsprechenden Knoten genannt. Die Astlängen sind proportional zur Distanz. Der Baum ist mit *Armillaria mellea* (FR686549, Schmidt et al. eingereicht) gewurzelt. Die meisten Pilzstämmen sind bei SCHMIDT (2003) spezifiziert und ihre Sequenzen deponiert.



wachsen von Mauerwerk durch Mycelien und Stränge, die Schnallenbildung, Gefäßhyphen-Entwicklung (AGERER 1999, AGERER & IOSIFIDOU 2004) sowie Form, Pigmentierung und Dickwandigkeit der Sporen.

Hinsichtlich der Stränge lassen sich Entwicklungslinien erkennen, die zu verschiedenen Endpunkten führen: *Leucogyrophana pinastris* und *L. mollusca* bilden haarartige Stränge (Abb. 18), die ausdifferenziert sklerotisiert sind, während *L. pulverulenta* ein lappiges Mycel entwickelt, in das kaum haarartige, sondern eher lappige Stränge eingebettet sind (Abb. 19). *S. himantioides* zeigt wurzelartig verzweigte Stränge mit dünnem umliegenden Mycel (Abb. 20) und *S. lacrymans* bildet drahtige, bindfadenähnliche Stränge, die fest in dichtem, lappigem Mycel eingebettet sind (Abb. 21). Alle Stränge sind in einen inneren Teil, „Kern“, und einen äußeren Teil, „Rinde“, gegliedert. Der Kern enthält insbesondere die Gefäßhyphen, die Rinde besteht aus Faserhyphen (*S. lacrymans* und *S. himantioides*) oder ist sklerotisiert (*L. pinastris* und *L. mollusca*). Die Stränge von *L. pulverulenta* ähneln mit ihrem flächigen Wuchs, dem oft üppigen, lappigen Zwischenmycel und der hellgrauen Farbe von Mycel und Strängen augenscheinlich denen von *S. lacrymans* am stärksten. Unterschiede liegen in den mikroskopischen Merkmalen: Die Rinde der Stränge zeigt weder Faserhyphen (im Gegensatz zu *Serpula* spp.), noch ist sie auffällig sklerotisiert (wie bei *Coniophora* sp.).



Gemeinsamkeiten der Gattungen *Coniophora*, *Leucogyrophana* und *Serpula* sind Mauerwerks-Durchwuchs (HUCKFELDT 2009), Strangbildung in Form von zurück wachsenden Rankefäden (FALCK 1912, 1913, AGERER 1999), fehlende blaue Jod-Reaktion (nicht amyloid) sowie Sporen-Form (GINNS 1982, JÜLICH 1984, CANNON & KIRK 2007), Sporen-Pigmentierung (BESL et al. 1986) und Sporen-Dickwandigkeit. Eine deutliche Sklerotisierung findet sich nur bei *L. pinastris* und *L. mollusca* sowie den *Coniophora*-Arten.

Mit den anderen Coniophoraceae gemeinsam haben die *Coniophora*-Arten den Holzzerstyp Braunfäule sowie zahlreiche oben angeführte Sporenmerkmale.

Tab. 2: Vergleich von *Leucogyrophana*, *Serpula* und *Coniophora*.

	<i>Serpula</i>	<i>Leucogyrophana</i>	<i>Coniophora</i>
Stränge	brüchig	biegsam oder sklerotisiert	brüchig
Sklerotisierung der Stränge	fehlt	vorhanden, aber bei <i>L. pulverulenta</i> schwach	vorhanden
Sporengröße	≥ 9 µm	≤ 9 µm	> 7 µm
Faserhyphen in den Strängen	vorhanden	fehlen	dickwandige Grundhyphen
einfache Schnallen	vorhanden	vorhanden	fehlen, nur Wirtelschnallen

Die Gattung *Coniophora* weicht von *Leucogyrophana* durch meist septierte dickwandige Grundhyphen und die besondere Schnallenbildung in Form der Wirtelschnallen ab. Gemeinsam mit *L. pinastri* und *L. mollusca* haben die *Coniophora*-Arten, in den ausdifferenzierten Strängen, die in einer sklerotisierten Matrix liegenden Grundhyphen Δ (*Coniophora* sind diese auch dickwandig und werden oft als Faserhyphen⁵ bezeichnet). Auch im DNA-Phylogramm ist die Gattung *Coniophora* von den *Leucogyrophana*-Arten abgegrenzt (siehe Abb. 17).

Eine ebenfalls besondere dextrinoide Form der dickwandigen Grundhyphen tritt außerdem in den Fruchtkörpern von *S. lacrymans* auf, so genannte Fußhyphen (WAGENFÜHR & STEIGER 1956) oder Plattenfasern (FALCK 1912).

Eine Unterteilung in Sektionen scheint geeignet, die Unterschiede der Gruppen hervorzuheben, nämlich in die Sektion *Pulverulenta* mit *L. pulverulenta* sowie *L. romellii* und in Sektion *Mollusca* mit *L. mollusca* und *L. pinastri*. Die trennenden Merkmale sind in Tabelle 3 genannt. Für eine neue Aufteilung der Gattung *Leucogyrophana* in zwei Gattungen sind unseres Erachtens zu viele gemeinsame Merkmale vorhanden, die die Gattung zusammenhalten.

Fazit

Aus der Gesamtschau der Untersuchungen lässt sich folgende Hypothese aufstellen: Am Grund des Stammbaumes der untersuchten Coniophoraceae steht eine Ahnenform „*Leucogyrophana* sp.“. Von dort aus haben sich die beiden ähnlichen Arten *L. mollusca* und *L. pinastri* entwickelt, die aber nach der DNA-Phylogenie kein unterstütztes Cluster bilden. Trotzdem scheinen die beiden Arten sich nahe zu stehen. Denn diese beiden Arten bilden Sklerotien und haarähnliche, sklerotisierte Stränge aus; es ist eher unwahrscheinlich, dass sich Sklerotien und haarähnliche Stränge in zwei Clustern analog gebildet haben. Die übrigen Coniophoraceae gliedern sich in zwei Gruppen: Dies sind zum einen die *Coniophora*-Arten mit ihren Wirtelschnallen, zum anderen die Pilze mit einfachen Schnallen. Hier findet sich *Serpula* mit ihren Faserhyphen. Die verbleibenden Arten *L. romellii* und *L. pulverulenta* besitzen ursprüngliche Merkmale der Coniophoraceae, wie einfache Schnallen, dickwandige, glatte und farbige Sporen, vorhandene Gefäßhyphen sowie fehlende Zystiden, Sklerotien und Faserhyphen. *Leucogyrophana pulverulenta* zeigt nur Ansätze einer Sklerotisierung der substratnahen Hyphen und somit eine Ähnlichkeit zu der stark sklerotisierten Matrix um die Sklerotien- und Strang-Rindenhypen von *L. mollusca* und *L. pinastri*.

⁵ Abgesehen von *Coniophora marmorata* Desm., bei der es echte Faserhyphen zu geben scheint.

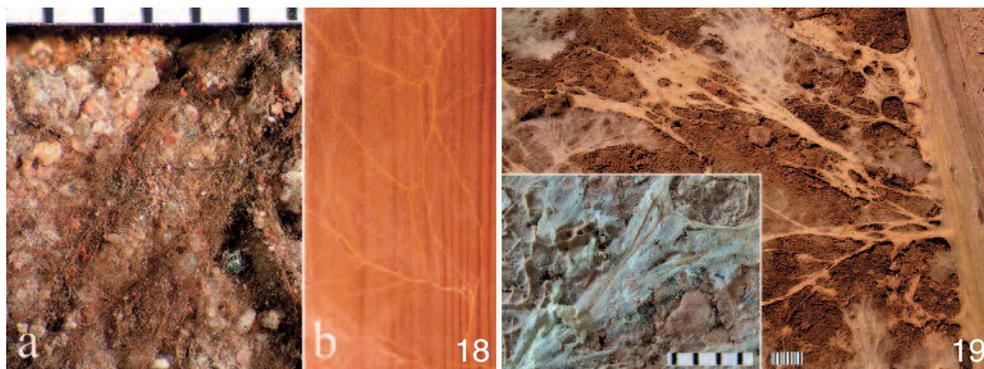


Abb. 18: **a:** alte sklerotisierte Stränge von *Leucogyrophana pinastri* im Mauerwerk (Gebäude) und **b:** junge, wenig sklerotisierte auf Holz (Kultur). – **Abb. 19:** Stränge von *Leucogyrophana pulverulenta* auf einer Kellersole (Detail aus Abb. 11); Eckbild: Vergrößerung; – Maßstab jeweils mit Millimeter-Einteilung.
Fotos: T. HUCKFELDT

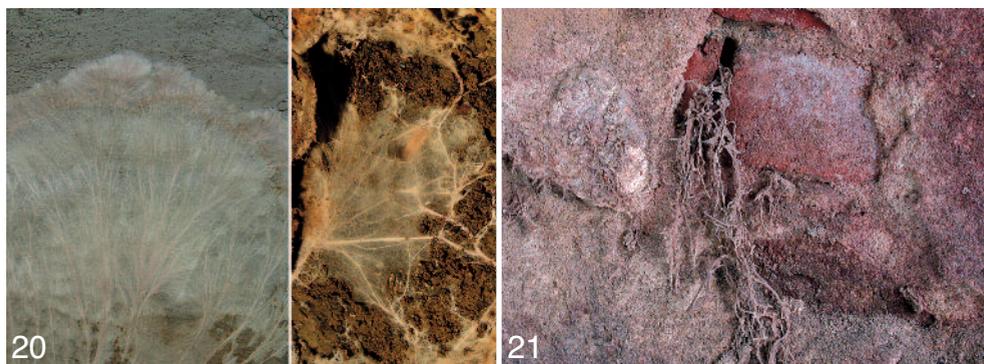


Abb. 20: Stränge von *Serpula himantioides* an einer Kellerwand (links) und am Boden einer Werkhalle (rechts), die Stränge treten deutlich hervor. – **Abb. 21:** Stränge von *Serpula lacrymans* in und an einer Wand; Stränge insbesondere im Mörtel.
Fotos: T. HUCKFELDT

Tab. 3: Morphologische Abgrenzung der Sektionen.

	<i>Sect. Pulverulenta</i>	<i>Sect. Mollusca</i>
Stränge	nicht oder sehr schwach sklerotisiert	voll entwickelt stark sklerotisiert
Stränge	Wuchsbild: nicht haarähnlich*	Wuchsbild: haarähnlich
Stränge	biegsam	brüchig
Sklerotien	immer fehlend	vorhanden, aber oft nicht gebildet
Hymenium	nie hydroid	auch hydroid

* Haarähnlich meint eine Gliederung der Stränge in eine Rinde (aus Grundhyphen) und ein Mark (aus Grund- und Gefäßhyphen).

Die von der Datenbank geforderte Eingliederung von *L. pulverulenta* in die Gattung *Serpula* als *S. pulverulenta* (ohne Autor, gemeint sein könnte BONDARTSEV 1959) lehnen wir aus folgenden Gründen ab: Die Gattung *Serpula* hat als kennzeichnendes anatomisches Merkmal Faserhyphen, die in der Gattung *Leucogyrophana* fehlen. Umgekehrt fehlen bei *Serpula* Sklerotisierungen immer, während sie bei *Leucogyrophana* vorkommen.

Literatur

- AGERER, R. (Hrsg.) (1987-2008): Colour atlas of Ectomycorrhizae, 1st-14th delivery. Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd.
- AGERER, R. (1999): Never change a functionally successful principle: the evolution of Boletales s. l. (Hymenomycetes, Basidiomycota) as seen from below-ground features. – *Sendtnera* 6: 5-91.
- AGERER, R. & P. IOSIFIDOU (2004): Rhizomorph structures of Hymenomycetes: A possibility to test DNA-based phylogenetic hypotheses? In: AGERER, R., M. PIEPENBRING & P. BLANZ (Hrsg.): *Frontiers in Basidiomycote Mycology*. IHW, Eching: 249-302.
- BESL, H., A. BRESINSKY & A. KÄMMERER (1986): Chemosystematik der Coniophoraceae. – *Z. Mycol.* 52: 277-286.
- BINDER, M., K.-H. LARSSON, P. B. MATHENY, D. S. HIBBETT (2010): Amylocorticales ord. nov. and Jaapiales ord. nov.: Early diverging clades of Agaricomycetidae dominated by corticioid forms. – *Mycologia* 102: 865-880.
- BREITENBACH, J. & F. KRÄNZLIN (1986): *Pilze der Schweiz*. Bd. 2, Nichtblätterpilze. Mykologia, Luzern, 2. Aufl.
- BURDSALL, H. H. (1991): *Meruliporia (Poria) incrassata*: Occurrence and significance in the united states as a dry rot fungus. In: JENNINGS, D. H. & A. F. BRAVERY (Hrsg.) *Serpula lacrymans*: Fundamental biology and control strategies. Wiley Editorial Offices, Chichester, 187-206.
- CLÉMENÇON, H. (1997): Anatomie der Hymenomyceten. F. Flück-Wirth, Teufen, Schweiz.
- E-DIN 68800-1 (Entwurf 2009) Holzschutz – Teil 1: Allgemeines, Beuth, Berlin.
- E-DIN 68800-4 (Entwurf 2009) Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten, Beuth, Berlin.
- ERIKSSON, J. & L. RYVARDEN (1976): The Corticiaceae of North Europe. Vol. 4. Fungiflora, Oslo.
- FALCK, R. (1912): Die Meruliusfäule des Bauholzes. Hausschwammforschung, G. Fischer, Jena, Heft 6.
- FALCK, R. (1913): Örtliche Krankheitsbilder des echten Hausschwammes. In: R. FALCK (Hrsg.): *Mykologische Untersuchungen und Berichte*. Heft 1, G. Fischer Jena, 1-20.
- FELSENSTEIN, J. (1985): Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. – *Evolution* 39: 783-791.
- GARDES, M. & T. D. BRUNS (1993): ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. – *Molecular Ecology* 2: 113-118.
- GINNS, J. & L. K. WERESUB (1976): Sclerotium-producing species of *Leucogyrophana* (Aphyllphorales). – *Memoirs of the New York Botanical Garden* 28: 86-97.
- GINNS, J. H. (1978): *Leucogyrophana* (Aphyllphorales): identification of species. – *Can. J. Bot.* 56: 1953-1973.
- GINNS, J. H. (1982): A monograph of the genus *Coniophora* (Aphyllphorales, Basidiomycetes). – *Opera Botanica* 61: 1-61.
- HALLENBERG, N. & J. ERIKSSON (1985): The Lachnocladiaceae and Coniophoraceae of North Europe. Fungiflora, Oslo.
- HANSEN, L., H. KNUDSEN, H. DISSING, T. AHTI, T. ULVINEN, G. GULDEN, L. RYVARDEN, O. PERSSON & A. STRID (1992): *Nordic macromycetes*. Vol. 2. Nordsvamp, Copenhagen.
- HARTIG, R. (1885): Die Zerstörung des Bauholzes durch Pilze; I. Der Echte Hausschwamm (*Merulius lacrymans* Fr.) Der echte Hausschwamm. J. Springer, Berlin

- HÖGBERG, N. & C. J. LAND (2004): Identification of *Serpula lacrymans* and other decay fungi in construction timber by sequencing of ribosomal DNA – a practical approach. – *Holzforschung* **58**: 199-204.
- HUCKFELDT, T. & O. SCHMIDT (2006a): Hausfäule- und Bauholzpilze. Rudolf Müller, Köln.
- HUCKFELDT, T. & O. SCHMIDT (2006b): Identification key for European strand-forming house-rot fungi. – *Mycologist* **20**: 42-56.
- HUCKFELDT, T. (2009): Seltene Pilze am und im Mauerwerk. In: Venzmer, H. (Hrsg.) Bauwesen Forum, Altbausanierung. Vortag: 17. Hanseatischen Sanierungstage, Fraunhofer IRB / Beuth, Stuttgart, 136-148.
- JACOBS, K., N. RANGNO, W. SCHEIDING, B. WEISS, D. MÜLLER, C. HILLER & W. BRABETZ (2010): Detection of wood destroying fungi using DNA microarray technology. International Research Group Wood Preservation Stockholm IRG/WP 10-20435.
- JAROSCH, M. & H. BESL (2001): *Leucogyrophana*, a polyphyletic genus of the order boletales (Basidiomycetes). – *Plant. Biol.* **3**: 443-448.
- JÜLICH, W. (1984): Basidiomyceten 1. Teil, Die Nichtblätterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze. In: Gams, H. (Hrsg.) Kleine Kryptogamenflora Bd. IIb/1, Basidiomyceten, 1. Teil, G. Fischer, Stuttgart.
- KAUSERUD, H., I. BJORVAND SVEGARDEN, G.-P. SAETRE, H. KNUDSEN, O. STENSRUD, O. SCHMIDT, S. DOI, T. SUGIYAMA & N. HÖGBERG (2007): Asian origin and rapid global spread of the destructive dry rot fungus *Serpula lacrymans*. – *Molecular Ecology* **16**: 3350-3360.
- KRIEGLSTEINER, G. J. (2000): Die Großpilze Baden-Württembergs. Bd. 1, Ulmer, Stuttgart.
- MORETH, U. & O. SCHMIDT (2005): Investigations on ribosomal DNA of indoor wood decay fungi for their characterization and identification. – *Holzforschung* **59**: 90-93.
- NUSS, J., D. H. JENNINGS & C. J. VELTKAMP (1991): Morphology of *Serpula lacrymans*. In: JENNINGS, D. H. & A. F. BRAVERY (Hrsg.) *Serpula lacrymans*: Fundamental biology and control strategies. Wiley Editorial Offices, Chichester, 9-38.
- RABERG, U., N. HÖGBERG & C. J. LAND (2004): Identification of brown-rot fungi on wood in above ground conditions by PCR, T-RFLP and sequencing. International Research Group Wood Preservation Stockholm IRG/WP/10512.
- RIDOUT, B. (2000): Timber decay in buildings. The conservation approach to treatment. E & FN Spon, London.
- SAITOU, N. & M. NEI (1987): The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. – *Molecular Biology and Evolution* **4**: 406-425.
- SCHMIDT, O. (2003): Molekulare und physiologische Charakterisierung von Hausschwamm-Arten. – *Z. Mycol.* **69**: 287-298.
- SCHMIDT, O. (2006): Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. Springer, Berlin, Heidelberg.
- SCHMIDT, O. (2009): Molekulare Diagnostik und Charakterisierung holzerstörender Basidiomyceten - Übersicht. – *Holztechnologie* **50**: 16-20.
- SCHMIDT, O. & U. MORETH (2006): Molekulare Untersuchungen an Hausfäulepilzen. – *Z. Mykol.* **72**: 137-152.
- SCHMIDT, O., K. GRIMM & U. MORETH (2002): Molecular identity of species and isolates of the *Coniophora* cellular fungi. – *Holzforschung* **57**: 563-571.
- SCHMIDT, O., O. GAISER & D. DUJESIEFKEN (2011): Molecular identification of decay fungi in rotten wood of urban trees. *E. J. For. Res.* (eingereicht)
- SCHMIDT-STOHN, G. & B. OERTEL (2010): Methodik und Anwendung von DNA-Analysen in der Pilz-Taxonomie. – *Z. Mycol.* **76**: 101-120.
- TAMURA, K., M. NEI, M. & S. KUMAR (2004): Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method. – *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* **101**: 11030-11035.
- TAMURA, K., J. DUDLEY, M. NEI & S. KUMAR (2007): MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. – *Molecular Biology and Evolution* **24**: 1596-1599.
- VERRALL, A. F. (1954): Preventing and controlling water-conducting rot in buildings. U. S. department of agriculture (USDA), Forest Service, Southern Forst Experiment Station Occasional Paper 133, Madison, 14 S.
- WAGENFÜHR, R. & A. STEIGER (1956): Pilze auf Bauholz. Die neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen, Wittenburg, 64 S.