

gesetzt waren, eine andere Farbtonung als dort, wo Berührung mit der Formwandung vorgelegen hat. Außerdem entstehen leicht Farbunterschiede an solchen Stellen, die mechanisch nachbearbeitet werden.

Aus diesen Gründen kann eine Einfärbung von Phenolgießharzen nur dann empfohlen werden, wenn Gießlinge in solchen Farben hergestellt werden, die deutlich dunkler sind als die unter Einfluß von Licht und Luft entstehende gelblich bis braune Eigenfärbung der Phenolharze.

Ist eine hellere Farbgebung erwünscht, so empfiehlt es sich, die Gießlinge nach vollkommener Aushärtung mit säurefesten Lacken in den gewünschten Farben oder Tönungen zu streichen oder zu spritzen. Außerdem kann man die Gießlinge, ähnlich wie Holz, beizen, indem man mit einem weichen Pinsel Beize aufträgt, deren Beständigkeit auf den Gießharzoberflächen geprüft ist.

Oberflächenbearbeitung

Die ausgehärteten Gießlinge, besonders die geschäumten, lassen sich gut mechanisch bearbeiten. Sie haben eine feste Oberflächenhaut mit geschlossenen Poren. Fehlstellen können mit Holzspachtelmassen leicht ausgebessert werden. Gießlinge lassen sich bohren, fräsen und sägen wie Holz. Hierfür sind die üblichen Holzbearbeitungswerkzeuge geeignet.

Schutzmaßnahmen bei der Verarbeitung von Phenolgießharzen

Bei der Verarbeitung von Gießharzen ist der Arbeits-hygiene besonderes Augenmerk zuzuwenden.

Phenolharze werden in der ganzen Welt seit vielen Jahren in großen Mengen verarbeitet. Sachgemäß verarbeitet sind sie unschädlich, können jedoch bei einzelnen,

überempfindlichen Personen Hautreizungen hervorrufen. Außerdem beachten im Umgang mit Chemikalien Uingeübte oft nicht die selbstverständlichen Vorsichtsmaßnahmen. Daher sollen sie von Anbeginn an zur Vorsicht, Sorgfalt und Sauberkeit angehalten werden. Im einzelnen empfehlen sich folgende Schutzmaßnahmen: Gute Belüftung der Arbeitsräume sowie Sauberkeit und Sorgfalt bei der Arbeit; außerdem eventuell Tragen von Gummihandschuhen und regelmäßiges Waschen von Händen, Armen und Gesicht mit einer fetten Seife und Wasser, nachdem vorher Harzspritzer mit Spiritus oder Aceton entfernt worden sind. Besonders empfindlichen Personen wird die Anwendung von Schutzsalben gegen Formaldehyd-Schäden empfohlen. Treten trotz Beachtung dieser Vorsichtsmaßnahmen infolge allergischer Dispositionen wiederholt Hautreizungen bei einzelnen Personen auf, so sollten diese anderweitig beschäftigt werden.

Eigenschaftswerte ausgehärteter Phenolgießharze

Ausgehärtete Phenolgießharze sind von schwach gelblicher bis hellbrauner gedeckter Eigenfarbe. Sie sind hart, kratz- und stoßfest, formbeständig in der Wärme, witterungs- und alterungsbeständig (Bild 12), beständig gegen Säuren und verdünnte Alkalien sowie gegen fast alle organischen Lösungsmittel, wie sie in Klebern und Lacken enthalten sind.

In Tabelle 1 sind physikalische Eigenschaftswerte ausgehärteter, kompakter Phenol-Gießharze aufgeführt. Die Eigenschaftswerte geschäumter Phenol-Gießharze sind naturgemäß abhängig von der Dichte. Auch ist bei solchen Prüfkörpern die bei formgeschäumten Körpern typische Außenhaut unter Umständen von erheblichem Einfluß auf die mechanischen Festigkeitswerte.

Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen — Erste Mitteilung: Raster-elektronenmikroskopische Beobachtungen an Vergrauungspilzen Investigations on Weathered Wood Surfaces — Part I: Scanning Electron-Microscope Observations on Mold-Fungi Causing Grey Stain

Von Hellmut Kühne, Udo Leukens, Jürgen Sell und Oskar Wälchli

Abteilungen Holz und Kunststoffe sowie Werkstoff-Biologie der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt,
Dübendorf und St. Gallen, Schweiz

Zusammenfassung

Mit Hilfe des Raster-Elektronenmikroskops wurden anschauliche Bilder der Erscheinungsform holzvergrauender Schimmelpilze und Erkenntnisse über ihre Morphologie gewonnen. Außer auf Holzoberflächen wachsen solche Pilze unter geeigneten Bedingungen auch auf Anstrichoberflächen und verschiedenen organischen und sogar anorganischen Stoffen. Pilzbestimmungen aus Abstrichen von Holz- und Anstrichoberflächen ergaben, daß die Art *Pullularia pullulans* offenbar in unseren Klimaverhältnissen stets überwiegt.

Dieser Pilz stellt nur geringe Anforderungen an die Umweltbedingungen; wichtigste Wachstumsvoraussetzung ist die gelegentliche Versorgung mit tropfbarem Wasser. Im übrigen ist der Pilz verhältnismäßig resistent und anpassungsfähig. So wurde ein intensives Pilzwachstum sogar auf Oberflächen von Tannenholz festgestellt, das in 2550 m Höhe ü. M. exponiert war. Im einzelnen sind noch folgende Beobachtungen zu erwähnen.

Auf den verhältnismäßig homogenen Anstrichoberflächen verbreitet sich das Mycel überwiegend radialstrahlig von zentralen Sklerotien aus.

Diese haben nach außen verhältnismäßig dicke Zellwände. Im Bereich der von den Sklerotien überdeckten Oberflächen wachsen meist Hyphen durch den Anstrich in den Holzuntergrund. Im Holz bzw. im Grenzbereich zwischen Anstrich und Holz bleibt das Pilzwachstum auf die unmittelbare Umgebung der Anstrichverletzung beschränkt. Auf der Anstrichoberfläche ist häufig ein positiver Orthotropismus der Hyphen in Richtung auf weitere Anstrichverletzungen zu erkennen.

Die Erscheinungsform der Hyphen auf Anstrichen und auf unbehandelten Holzarten ist weitgehend ähnlich. Junge, noch nicht ausdifferenzierte *Pullularia*-Hyphen sind weniger steif, während ältere Hyphen verhältnismäßig steife Zellwände haben, deren Außenstruktur zuweilen als warzig, meist aber als borkenartig zu bezeichnen ist. Die borkige Struktur entsteht offensichtlich beim Austrocknen der Schleimhülle der Pilze. Solche schleimartigen Absonderungen, die neben anderen Funktionen vor allem die Haftfestigkeiten der Hyphen auf dem Untergrund erhöhen, sowie weitere, vorwiegend kristalline Ausscheidungen konnten beobachtet werden.

Summary

Scanning electron microscopic observations revealed interesting photographs of the appearance of grey-stain mold fungi and gave an insight into their morphology. Under favorable conditions this type of fungus not only grows on wood surfaces, but also on the surface of coatings and various organic and inorganic matter. Determination from smears of fungus growing on wool and coating surfaces showed that the species *Pullularia pullulans* is evidently predominant in our climate.

The ecological requirements of this fungus are modest, the most important condition for its growth being the sporadic supply of bulk water. The fungus is otherwise relatively resistant and adaptable. Thus intensive fungus growth was observed on the surface of fir wood exposed to an altitude of 2550 m above sea level. The following observations should also be mentioned. On relatively homogenous coating surfaces mycelia preferably spread radially from central sclerotia. Their exterior cell walls are relatively thick. Within patches covered by sclerotia hyphae usually penetrate the coating and grow into the wood. Within the wood, or rather within the boundary area between coating and wood the growth of fungus remains limited to the immediate surroundings of the coating defect. On the coating surface a positive orthotropism of the hyphae in the direction of other coating defects can be discerned. The appearance of hyphae on coatings and on untreated wood is rather similar. Young, not yet fully developed *Pullularia pullulans* hyphae are softer, whereas older hyphae have rather stiff cell walls, the exterior structure of which may sometimes have a warty, more often a bark-like appearance. This bark-like structure is evidently formed during the drying of the slimy covering of the fungi. This type of slimy exudation, which apart from other functions predominantly raises the tenacity of hyphae, and other mostly crystalline exudations were observed.

Einleitung

Wegen seiner ästhetischen Qualitäten wird Holz als Gestaltungsmittel auch in der Außen-Architektur eingesetzt, so z. B. für Fassadenteile und Fassadenschalungen. Hierbei wird häufig übersehen, daß sich die ursprüngliche Farbe und Struktur des Holzes unter der Wetterbeanspruchung zwangsläufig mehr oder minder rasch ändern und die gestalterischen Vorstellungen dadurch in Frage gestellt werden können. Zwar ist es möglich, die Verwitterung der Holzoberfläche mit Hilfe geeigneter Oberflächenbehandlungen zu verzögern, doch gibt es heutzutage offenbar noch keine Schutzbehandlung, die im mitteleuropäischen Klima und bei direkter Bewitterung den Farbton des frischen Holzes befriedigend dauerhaft zu konservieren vermag.

Der Grund hierfür liegt in erster Linie in den sehr verschiedenartigen und komplexen Wechselbeziehungen zwischen den klimatischen Beanspruchungen und witterungsbedingten Veränderungen der Holzoberfläche bzw. eines Holzanstriches. Diese Zusammenhänge wurden bereits früher von Sell und Leukens [1969], Wälchli [1969] sowie von Sell und Wälchli [1969] erörtert.

Weitere Untersuchungen von Einzelfragen und praktische Konsequenzen sind Gegenstand der vorliegenden und der folgenden Mitteilungen zu diesem Thema.

In den zitierten Veröffentlichungen wird differenziert zwischen außenklimatischen Beanspruchungen mit chemischen, farblichen und mechanischen Alterungserscheinungen an der Holzoberfläche als Folge, sowie biologischen Beanspruchungen, die oberflächliche Farbänderungen des Holzes nach sich ziehen.

Unter biologischer Beanspruchung wird hier in erster Linie die Besiedelung der bewitterten Holzoberfläche durch bestimmte Ascomyzeten und Fungi imperfecti verstanden, die in der Regel als Ursache der sogenannten Holzvergrauung anzusehen ist [Wälchli 1969; Sell 1968]. Die vorliegende Mitteilung behandelt eingehendere Beobachtungen des Erscheinungsbildes der Vergrauungspilze auf bewittertem Holz mit und ohne Oberflächen-Schutzbehandlung. Sie wurden mit Hilfe des Raster-Elektronenmikroskopes gewonnen. Dieses neuartige elektronen-optische Verfahren bietet bei einfacher Präparation Abbildungen von großer Tiefenschärfe und ungewöhnlich plastischem Eindruck. Vorteilhaft ist weiterhin, daß von der Präparation her nur wenig Artefakte entstehen können. Verglichen mit bisherigen Elektronenmikroskopen ist bei diesem Typ das Auflösungsvermögen allerdings geringer.

Material und Methode

Die untersuchten Holzproben entstammen der Schalung einer Gebirgshütte sowie dem Material aus langfristigen

Freiland-Bewitterungsversuchen der EMPA mit Oberflächenbehandlungen für Holz [Kühne, Hochweber, Sell 1968]. Im einzelnen handelt es sich um folgende Untersuchungsobjekte:

1. Weißtannenholz (*Abies alba* Mill.) aus Stirnbrettern der Flachdachverkleidung einer über 25 Jahre alten Baracke des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Weißfluhjoch-Davos¹. Diese sogenannte Standard-Feldbaracke steht in einer gegen Südosten exponierten Mulde auf 2550 m ü. M. Die untersuchten Stirnbretter sind gegen Westen exponiert.

2. Unbehandeltes Kiefernspiltholz (*Pinus sylvestris* L.), 1 Jahr lang unter 45°-Neigung in Südrichtung auf dem EMPA-Dach (Dübendorf) bewittert. Das Versuchs-brett wurde kurz vor der mikroskopischen Untersuchung dem Bewitterungsgestell entnommen.

3. Unbehandeltes Mansonia-Kernholz (*Mansonia altissima* A. Chev.), das wie Probe 2 bewittert wurde.

4. Anstrichoberfläche auf Kiefernholz (*Pinus sylvestris* L.), die 4 Jahre lang von 1962 bis 1966 einem verhältnismäßig feuchten Voralpenklima im Appenzellerland in 900 m ü. M. unter 45°-Neigung in Südrichtung ausgesetzt war. Der Anstrich besteht aus einer sogenannten Imprägniergrundierung und einer zweifach gestrichenen Kunstharzlackierung als Deckanstrich. Bei dem Lack handelt es sich um ein mit Titandioxid pigmentiertes Sojaalkydharz. Die genannte Probe wurde im Anschluß an die Bewitterung in einem normalen Raumklima bis 1969 aufbewahrt.

5. Gleicher Anstrich wie bei Probe 4 auf Kiefernholz, in Dübendorf wie die Proben 2 und 3 ein Jahr lang bewittert.

Aus den Untersuchungsobjekten wurden Präparate von einigen mm² Flächenabmessung geschnitten, auf Aluminiumträger geklebt, anschließend mit Gold bedampft und mit dem Raster-Elektronenmikroskop, Bauart Stereoscan/Cambridge, der ETH Zürich untersucht².

Zum Zweck der Pilzbestimmung wurden Abstriche vom Mansoniaholz sowie kleine Stücke des in Davos bewitterten Tannenholzes untersucht. Im Rahmen früher abgeschlossener Bewitterungsversuche an Außenanstrichen waren 1966 auch die auf den Kunstharzlackierungen wachsenden Schimmelpilze identifiziert worden. Die Bestimmungen wurden mikroskopisch anhand von Reinkulturen durchgeführt, welche auf Hafermalzagar angelegt worden waren.

¹ Für die Überlassung dieses Materials danken wir Herrn Dipl. Forsting. in der Gand, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung.

² Herrn R. Wessicken vom ETH-Labor für Elektronenmikroskopie, Leitung Dr. Nissen, danken wir für die wesentliche Hilfe bei den elektronenmikroskopischen Arbeiten.

Ergebnisse und Diskussion

Pilzbesiedlung eines Kunstharzanstrichs

Schimmelpilzwachstum auf unbehandelten Holzoberflächen wie auch auf und in Holzaußenanstrichen ist bereits in früheren Untersuchungen vielfach festgestellt worden. Makroskopisch wird man meist erst dann darauf aufmerksam, wenn das ästhetische Aussehen einer Holz- oder Anstrichoberfläche störend verschlechtert wird. Dies tritt beispielsweise bei ölhaltigen, nicht pigmentierten Anstrichsystemen (Ölfirnissen, Klarlackierungen) u. U. ausgeprägt ein, die von verschiedenen Pilzarten unter geeigneten Lebensbedingungen (insbesondere bei ausreichender Feuchtigkeit) angegriffen werden. Auch andere, deckend pigmentierte Anstriche enthalten organische, durch Pilze abbaubare Substanzen: nicht auspolymerisierte Komponenten von Alkydharzen, Emulgatoren, Weichmacher etc. [Wälchli 1969]. Einige Pilze dürften überdies die enzymatische Fähigkeit haben, auch chemisch intakte Anstrichstoffe anzugreifen, wenn diese keine fungiziden Pigmente oder Zusätze aufweisen und die Umweltbedingungen wachstumsförderlich sind [Sell 1968]. Solche pilzgünstigen Bedingungen herrschen in der Regel besonders auf horizontalen bzw. geneigten und daher intensiver berechneten Anstrichoberflächen.

Die Bestimmung der aus Sporenabstrichen reingezüchteten Pilze ergab ein Überwiegen der Art *Pullularia* (= *Aureobasidium*) *pullulans* (de Bary) Berkhout. Außerdem wurden auf den Anstrichen auch noch weitere dunkelgefärbte Pilze gefunden, wie *Alternaria tenuis* Nees, *Acrostaphylyus lignicola* Arnaud, *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link, *Hormodendrum spec.*, *Stemphylium verruculosum* Zimmermann, *Torula spec.* u. a.

Am Erscheinungsbild der Mycelien dieser Pilze auf Anstrichoberflächen fällt zunächst das überwiegend strahlig-radiale Wachstum auf (Bild 1). Die Hyphen wachsen meistens von witterungsbedingten Filmverletzungen aus, und zwar teilweise ins Holz hinein, wo sie sich in der Regel nur in unmittelbarer Nähe der Anstrichverletzung weiter ausbreiten. Diese Tatsache erklärt sich aus der auf die nahe Umgebung des Anstrichrisses beschränkten Feuchtigkeitsanreicherung im Holz und möglicherweise auch aus der bei dunkel gefärbten Pilzarten u. U. vorhandenen Lichtbedürftigkeit [Wälchli 1968].

Darüber hinaus verbreitet sich das Mycel auch auf der Anstrichoberfläche, und zwar oft intensiver als unter dem Film. Häufig ist ein positiver Orthotropismus der Hyphen auf weitere Anstrichverletzungen hin deutlich erkennbar. Daraus kann ein chemotropes Verhalten der Pilzhyphen gegenüber Substanzen abgeleitet werden, die durch Diffusion oder Ausschwemmung aus dem Holz über Anstrichverletzungen an die Anstrichoberfläche gelangt sind.

Das überwiegend radiale Hyphenwachstum auf Anstrichen ist mit Wahrscheinlichkeit auf die in allen Richtungen praktisch gleichen Lebensbedingungen zurückzuführen, wie sie auf solch weitgehend homogenen Oberflächen herrschen. Anstrichseitige Einflüsse auf Mycelien, etwa von radialen Rißbildungen aus, konnten nicht beobachtet werden und sind in dieser Form auch nicht wahrscheinlich. Die bewitterten Anstrichoberflächen sind lediglich verhältnismäßig rau, was durch eine Freilegung von Pigmentkörpern infolge Bindemittelabbaus verursacht worden ist.

Die Zentren der strahlenförmigen Mycelien, in denen meist einige Hyphen den Anstrich zum Holz hin durchwachsen, werden fast stets von Sklerotien überdeckt (Bilder 1 und 2). Die Sklerotien besitzen nach außen ver-

hältnismäßig dicke Zellwände (Bild 2), deren äußere Oberfläche unterschiedliche Texturen zeigt (Bild 3), jedoch häufig verhältnismäßig glatt erscheint. Die von den Sklerotien fortwachsenden Hyphen zeigen demgegenüber rauhe und borkenartige Oberflächen (Bilder 4, 7 und 8). Zau Teil läßt sich die Außentextur auch als warzig bezeichnen (Bild 5). Das raster-elektronenoptische Verfahren erlaubt, diese Struktur eindeutig als Eigenschaft der äußeren Hyphenoberfläche zu identifizieren.

Schmid und Liese beobachteten elektronenoptisch [1965a] ebenfalls Oberflächenunebenheiten an dünnwandigen Hyphen von Bläuepilzen in Nadelholz. Sie deuteten sie als Abdrücke von Protoplasmabestandteilen oder vom Holzuntergrund. Diese Beobachtungen lassen sich jedoch nicht mit den eigenen vergleichen, weil die auf bewitterten Oberflächen wachsenden, älteren Mycelien verhältnismäßig sehr dicke und steife Hyphenwände haben und Abzeichnungen solcherart nicht möglich sind. Dies läßt sich besonders daran erkennen, daß die Hyphen sogar im wasserfreien Zustand und im Hochvakuum ihre runde Querschnittsform beibehalten.

Offenbar handelt es sich bei der Ausbildung von dickwandigen, starren Hyphenzellwänden um eine physiologische Schutzmaßnahme des Organismus gegen die extremen und oft rasch aufeinanderfolgenden Feuchtigkeitswechsel an besonders exponierten Stellen. Lediglich die jungen, vorderen und noch nicht ausdifferenzierten Zellen des Mycels mit weniger steifen Zellwänden fallen in sich zusammen, wenn der Innendruck durch Wasserverlust verloren geht (vgl. Bilder 4 bis 7).

Die Warzen- bzw. Borkenstruktur läßt sich als Folge eines Austrocknens und Schrumpfens der Schleimhülle der Hyphen erklären. Diese Schleimhülle ist bereits von verschiedenen Autoren, so insbesondere elektronenoptisch von Schmid und Liese [1965a u. b] nachgewiesen worden. Untersuchungen von Schmid [1967] an Hyphen von Holzpilzen erbrachten, daß es sich bei diesen schleimartigen Substanzen um saure Mucopolysaccharide handelt. Noch feinere, beispielsweise fibrilläre oder granuläre Außentexturen der Hyphenwände, wie sie Schmid und Liese [1965a] beobachteten, ließen sich wegen des hierfür nicht ausreichenden Auflösungsvermögens des Stereoscan-Mikroskopes nicht erkennen.

Dagegen konnten deutlich schleimartige Ausscheidungen der Hyphen festgestellt werden (Bild 6). Unter den möglichen Erklärungen der funktionellen Bedeutung der Schleimabsonderungen, wie sie von Schmid und Liese [1965a] gegeben wurden, ist hinsichtlich des Pilzwachstums auf Anstrichoberflächen insbesondere diejenige einleuchtend, die eine Erhöhung der Haftfestigkeit des Mycels auf dem Holzuntergrund annimmt. Es sei darauf hingewiesen, daß das *Pullularia*-Mycel wegen der sehr freien Exposition fest auf den Lackfilmen haften muß. Im weiteren dürfte aber auch die Übertragung extrazellulärer Enzyme von der Pilzhyphe auf das Substrat und die Aufnahme von Nährstoffen in umgekehrter Richtung vom Vorhandensein einer wasserhaltigen Schleimschicht als Vermittler abhängig sein.

Eine weitere auffallende Erscheinung sind zahlreiche, z. T. recht grobe, körnige Ablagerungen längs der Hyphen, die am *Pullularia*-Mycel auf den verhältnismäßig ebenen Anstrichoberflächen besonders deutlich zu beobachten sind (Bilder 7 und 8).

Diese häufig kristallin scheinenden Substanzen können überwiegend als Pilzausscheidungen bestimmt werden, die meist an den Hyphen haften. Solche kristallinen Ablagerungen sind auch aus anderen Untersuchungen bekannt

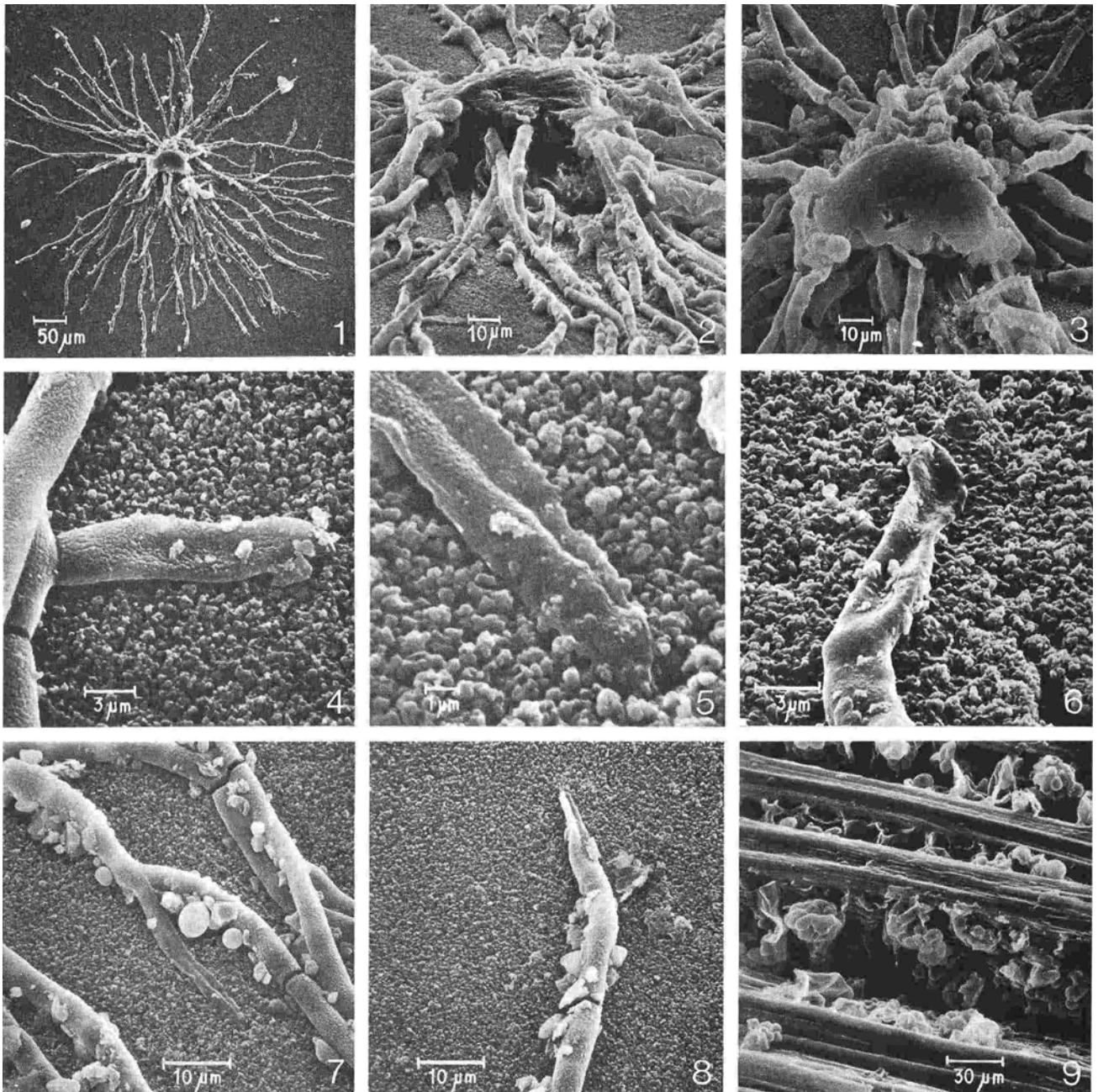


Bild 1. Radialstrahliges Mycel von *Pullularia pullulans* auf 1 Jahr lang bewittertem Holzanstrich (pigmentierter Alkydharzlack). Aus diesem Objekt stammen die Bilder 1 bis 5 sowie 7 und 8. Vergrößerung: 100:1

Bild 2. Zentrum des Mycels mit Sklerotie von Bild 1 unter anderem Blickwinkel. Vergrößerung: 500:1

Bild 3. Zentrum des Mycels mit Sklerotie, gleicher Blickwinkel wie in Bild 1. Vergrößerung: 500:1

Bild 4. Seitlich aus älterer Hyphe herauswachsender Sproß, im Gegensatz zu dieser nach Austrocknung zusammengefallen. Beim körnigen Untergrund handelt es sich um TiO_2 -Pigmente, zwischen denen das Bindemittel (Alkydharz) ausgewittert ist. Vergrößerung: 2600:1

Bild 5. Junge, zusammengesunkene Hyphe mit Warzenstruktur und anhaftenden Partikeln, bei denen es sich überwiegend um Pigmente zu handeln scheint. Die Hyphe wächst offensichtlich in den Anstrich hinein. Ausschnitt aus Bild 7. Vergrößerung: 5100:1

Bild 6. Junge Hyphe auf 4 Jahre lang bewittertem, deutlich stärker angegriffenem Anstrich. Im Bereich der Hyphenspitze befinden sich Schleimabsonderungen auf den Pigmenten. Vergrößerung: 3300:1

Bild 7. Hyphen mit körnigen Ausscheidungen und runden Auswüchsen. Vergrößerung: 1000:1

Bild 8. Hyphe mit spitzer vorderer Zelle, zahlreiche Ausscheidungen. Vergrößerung: 1000:1

Bild 9. Schimmelpilzbesiedlung der Oberfläche, insbesondere der Markstrahlen von *Mansonia* nach einjähriger Bewitterung. Vergrößerung: 300:1

Bild 10. Pilzwachstum in einer oberflächlich angeschnittenen Trachee von *Mansonia*. Vergrößerung: 1200:1

Bild 11. Pilzwachstum in einer Tracheide auf der Oberfläche von Kiefernholz nach einjähriger Bewitterung. Vergrößerung: 3200:1

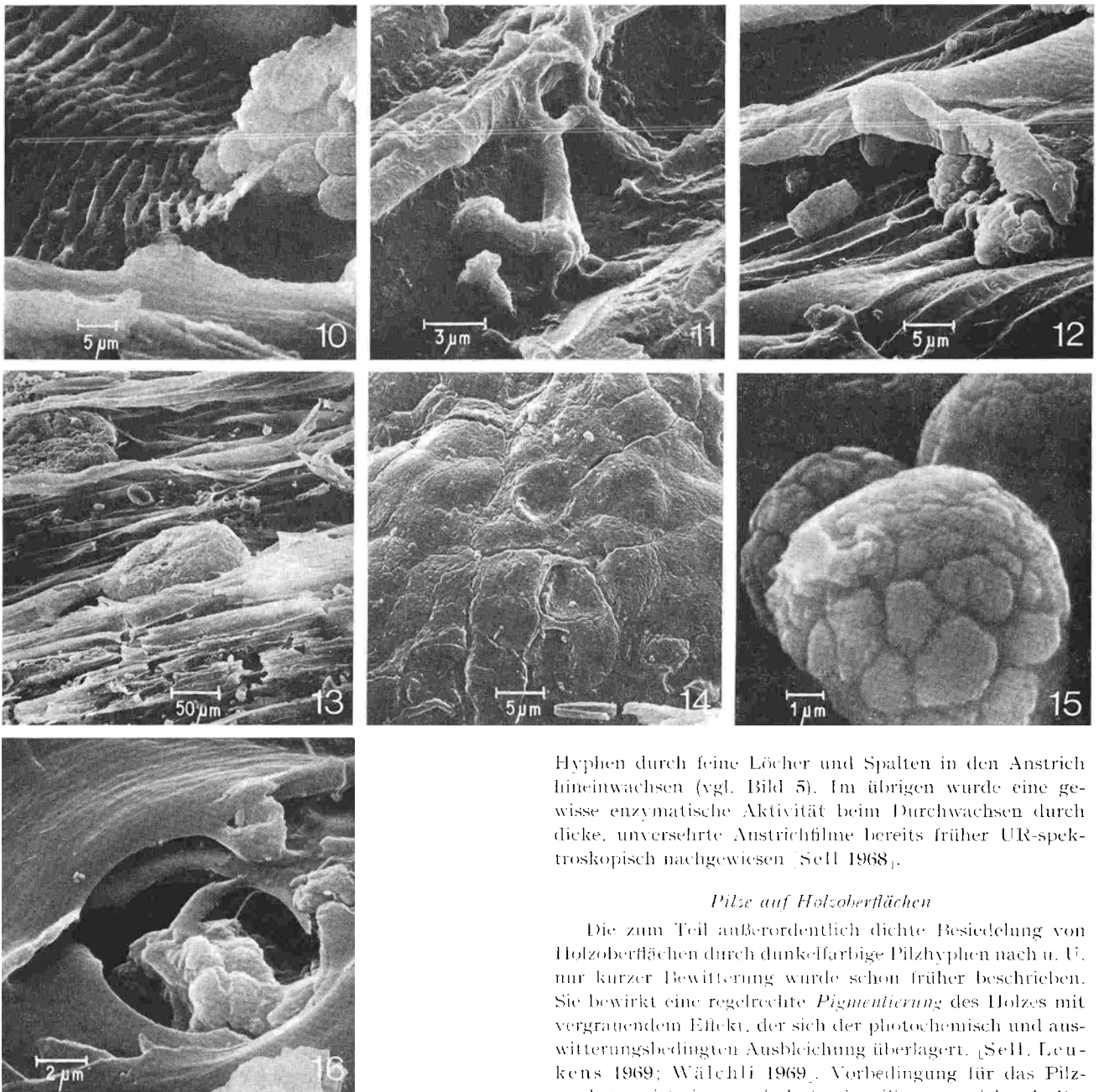
Bild 12. Pilzwachstum im Schutz von Zellwandüberresten auf der Oberfläche von Tannenholz, das in 2550 m Höhe ü. M. frei exponiert war. Vergrößerung: 1500:1

Bild 13. Sklerotien auf der Oberfläche von Kiefernholz nach einjähriger Bewitterung. Vergrößerung: 150:1

Bild 14. Ausschnitt aus Bild 13, der die Oberflächenstruktur der Sklerotie deutlich macht. Vergrößerung: 1500:1

Bild 15. Hyphenzellen auf *Mansonia*. Vergrößerung: 5700:1

Bild 16. Pilzwachstum in einem Tüpfel von Tannenholz. Vergrößerung: 3900:1



[Schmid und Liese 1965a und b]. Vereinzelt dürfte es sich hierbei allerdings auch um abgesetzte Luftverunreinigungen oder um abkroende Anstrichpigmente handeln, die an der Schleimhülle der Hyphen haftengeblieben sind. Neben diesen Ausscheidungen lassen sich häufig runde Auswüchse erkennen, die wahrscheinlich als junge, in Bildung begriffene Spore-Spross anzu sehen sind.

Die vordersten Hyphenzellen weisen vielfach spitze Formen auf (Bild 8), wie sie von Sell (1968) insbesondere in Lackfilmen beobachtet wurden. So geformte Hyphenteile, von Liese und Schmid (1964) als Transpressorien bezeichnet, erleichtern sehr wahrscheinlich das Durchwachsen durch Anstrichfilme oder andere Stoffe. Ein enzymatischer Angriff auf das Anstrichbindemittel konnte durch die raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen nicht deutlich gemacht werden. Dies liegt u. a. auch daran, daß das Lackbindemittel (Alkydharz), an dem sich ein solcher Angriff zeigen könnte, an der Anstrichoberfläche weitgehend ausgewittert ist und die verbliebenen TiO_2 -Pigmente den Einblick auf das Kunstharz nicht erlauben. Immerhin ließ sich an mehreren Stellen erkennen, daß

Hyphen durch feine Löcher und Spalten in den Anstrich hineinwachsen (vgl. Bild 5). Im übrigen wurde eine gewisse enzymatische Aktivität beim Durchwachsen durch dicke, unversehrte Anstrichfilme bereits früher UR-spektroskopisch nachgewiesen (Sell 1968).

Pilze auf Holzoberflächen

Die zum Teil außerordentlich dichte Besiedelung von Holzoberflächen durch dunkelfarbige Pilzhyphen nach u. U. nur kurzer Bewitterung wurde schon früher beschrieben. Sie bewirkt eine regelrechte *Pigmentierung* des Holzes mit vergrauendem Effekt, der sich der photochemisch und auswitterungsbedingten Ausbleichung überlagert. [Sell, Leukens 1969; Wälchli 1969]. Vorbedingung für das Pilzwachstum ist eine zumindest zeitweilige, ausreichende Befeuchtung der Holzoberflächen, die durch den Niederschlag gewährleistet ist. Laufende Bewitterungsversuche an verschiedenen Holzarten, deren Ergebnisse im Rahmen dieser Untersuchungsreihe später mitgeteilt werden, erbrachten, daß sich im schweizerischen Voralpenklima im Hinblick auf das Resistenzverhalten der Hölzer gegenüber Vergrauungspilzen bereits im Laufe einer einjährigen Bewitterung unter 45°-Neigung in Südrichtung keine wesentlichen Unterschiede mehr ergeben. Zu ähnlichen Ergebnissen hinsichtlich der Resistenzveränderung von 4 Holzarten, jedoch gegenüber holzerstörenden Pilzen, gelangten Arndt und Willeitner (1969).

Die *Bestimmung* der Pilzarten auf den untersuchten Hölzern ergab folgendes:

Mansonia, bewittert in Dübendorf: Es wurden ausschließlich Kolonien von *Pullularia pullulans* (de Bary) Berkhout isoliert.

Tanne, bewittert in Davos: Es dominiert *Pullularia pullulans*. Außerdem wurden folgende Arten festgestellt: *Monotropa daleae* Mason, *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link, *Tetracoccopodium pavianum* Szabo.

Früher entnommene Abstriche von Kiefernholz vom Dübendorfer Standort ergaben ebenfalls ein Überwiegen der Art *Pullularia pullulans*, wobei aber auch andere Arten wie *Macrosporium spec.*, *Sclerophoma spec.*, *Stemphylium verruculosum* Zimmermann u. a. m. festgestellt wurden.

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen bei *Mansonia*-Kernholz eine dichte Besiedelung der zahlreichen, stockwerkartig angeordneten Markstrahlen durch *Pullularia pullulans* (Bild 9), da in ihnen der Nährstoffgehalt besonders hoch ist. Daneben werden Hyphenansammlungen aber auch in den Tracheen und anderen Zellarten beobachtet (Bild 10). Es sei darauf hingewiesen, daß *Mansonia* als recht widerstandsfähig gegen biologische Angriffe gilt, die toxische Wirksamkeit verschiedener seiner Inhaltsstoffe jedoch unter Witterungseinfluß nicht beständig ist [Bavendamm, Arndt 1964].

Im Kiefernspiltholz siedeln sich die Vergrauungspilze sowohl in den Früh- und Spätholztracheiden als auch in den Markstrahlzellen und Harzkanälen an, wobei das Wachstum senkrecht zur Faserrichtung selten tiefer als Millimeterbruchteile reicht, wie schon früher beobachtet wurde [Sell, Wälchli 1969; Wälchli 1969].

Lediglich in die Markstrahlen wachsen die Hyphen bei tangentialen Holzanschnitten gelegentlich tiefer hinein. Oft siedelt das Mycel verhältnismäßig frei exponiert auf der Holzoberfläche (Bild 11). Auch hier ist eine innige Haftung der Hyphen an der Zellwand infolge Schleimausscheidungen feststellbar. Grundsätzlich ähnliche Beobachtungen werden am Tannenholz aus Davos gemacht, wobei hier gelegentlich der Eindruck entsteht, daß das Mycel weniger frei exponiert, sondern eher im Schutz von Zellwänden bzw. von Zellwandüberresten wächst (Bild 12). Dies steht offenbar mit den hier bezüglich Windanfall, oberflächlicher Austrocknung und Strahlungsintensität herrschenden extremen Expositionsbedingungen in Zusammenhang.

An lokal begrenzten Partien aller untersuchten Hölzer treten vermehrt Sklerotien von *Pullularia* auf (Bild 13), deren Oberflächenstruktur deutlich die Zusammensetzung aus zahlreichen Hyphen erkennen läßt (Bild 14). Alle beobachteten Hyphenoberflächen von den Holzproben aus Dübendorf und Davos besitzen eine meist ausgeprägte Borkenstruktur, wie sie schon im Zusammenhang mit den Beobachtungen am Mycel auf Anstrichoberflächen beschrieben wurde (Bilder 10 und 15). Insbesondere das Aussehen der Hyphenoberflächen in Bild 15 legt wiederum den Schluß nahe, daß die Borkenstruktur durch Trocknen und Schrumpfen der Schleimhülle entstanden ist.

Übereinstimmend mit den Beobachtungen von Liese und Schmid [1964] wurde kein Wachstum der *Pullularia*-Hyphen durch intakte Zellwände beobachtet. Vielmehr breiten sich die Hyphen überwiegend durch Tüpfel (Bild 16) und witterungsbedingte Verletzungen der Zellwände aus. Auch eine aktive Mitwirkung der Pilze an der Erosion der oberflächennahen Zellwände des Holzes war nicht eindeutig festzustellen. Hierzu bedarf es weiterer Untersuchungen.

Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen bestätigen die weite Verbreitung von dunkel färbenden Schimmelpilzarten, von denen *Pullularia pullulans* in unserer geographischen Lage offensichtlich die weitaus häufigste Art ist. Dieser genügsame Pilz ist gegen fungizide Wirkstoffe verhältnismäßig widerstandsfähig und physiologisch sehr anpassungsfähig.

Dies ist schon aus der Tatsache zu ersehen, daß sich *Pullularia* mit annähernd gleicher Wachstumintensität

auf verschiedenartigen Hölzern, Farb- und Lackanstrichen sowie anderen Werkstoffoberflächen ausbreiten kann. Dazu sei ergänzend erwähnt, daß im Rahmen der vorliegenden Untersuchung dicht wachsende *Pullularia*-Mycelien auch auf den Oberflächen von Astbestzementverkleidungen der EMPA-Dachaufbauten, auf PVC-Bauelementen u. a. beobachtet wurden.

Holz stellt mithin keineswegs den einzigen, infolge seiner Zellstruktur allerdings für vergrauende Schimmelpilze einen besonders günstigen mikroskopischen Besiedlungsraum dar. Die Zellumina weisen wesentlich größere Durchmesser als die Pilzhypen auf. Zudem bilden die Tüpfel geeignete Pforten, durch welche die Pilze von Zelle zu Zelle wachsen können. Das Hohlraumsystem des Holzes bietet deshalb, solange es nicht wassergesättigt ist oder die Zellwände zu trocken sind, alle günstigen Voraussetzungen für eine Fortentwicklung. Außerdem ist bei feuchtem Holz nicht nur eine optimale Wasser-, sondern auch eine ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet.

Die Erscheinungsform des Mycels sowie der Außenstruktur der Hyphen und Sklerotien ist vielgestaltig und offensichtlich in erster Linie von ökologischen Bedingungen beeinflusst, wie auch von Schmid und Liese [1965a u. b] beobachtet wurde. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen zeigte es sich, daß vor allem die klimatischen Bedingungen (Niederschlag, Strahlung) die Mycelausbildung beeinflussen. Daneben wirkt sich auch die Nahrungsgrundlage maßgeblich aus.

Die Ernährung der Holzvergrauenden Schimmelpilze ist auf vielseitige Weise gewährleistet und keineswegs nur an das Holzsubstrat gebunden, wie Beobachtungen am Mycel auf Anstrichoberflächen eindrucklich verdeutlichen. Oft liefern auch organische Staubablagerungen aus der Luft zusätzliche oder für ein begrenztes Wachstum sogar ausreichend Nährstoffe. Im Holz dienen u. a. Protoplasmärückstände, Proteine, Hemicellulosen als Nahrung.

Kürzlich fanden Rösch, Liese und Berndt [1969] an Kulturen dreier Bläuepilze (*Aureobasidium pullulans*, *Alternaria humicola*, *Ceratocystis minor*) in Nährlösungen mit Glucose bzw. Carboxymethylcellulose als Kohlenstoffquellen eindeutige qualitative Hinweise auf die Produktion folgender Enzyme: β -1,4-Glucan-Glucanohydrolase (Verkürzung der Kettenlänge der Cellulosemoleküle); Polygalakturonase, Pektinesterase und bei *Aureobasidium* vermutlich auch Polygalakturonid-Lyase (Pektinabbau); p-Diphenyloxidase (Ligninabbau). Die genannten Autoren folgern aus diesen Befunden, daß verschiedene „Bläuepilze“ in der Lage sind, die Kohlenhydrate der verholzten Zellwand anzugreifen.

Wälchli [1969] vermutet, daß *Pullularia pullulans* auch photochemisch abgebautes Lignin verwertet. Zudem ist anzunehmen, daß die im Verlaufe der Bewitterung teilweise abgebaute Cellulose anschließend besser verwertbar wird. Die witterungsbedingten und photochemischen Abbauvorgänge in verholzten Zellwänden können als vorbereitende Reaktionen betrachtet werden, die eine weitere Auswertung der Zellwandabbauprodukte als Nahrung für bestimmte Pilze erst ermöglichen. Diese dem Pilzangriff vorausgehenden Vorgänge sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den weiteren Abbau durch Pilze mit den von Bailey, Liese und Rösch [1968] als vorcellulolytische Phase bezeichneten Abbauvorgängen bei verholzten Zellwänden durch Braun- und Moderfäulepilze, allerdings auf anderer Stufe, vergleichbar. Auch andere organische Stoffe, wie beispielsweise Lackharze, werden u. U. vom Sonnenlicht soweit aufgeschlossen, daß die Abbauprodukte für Schimmelpilze als Nahrungsgrundlage dienen können.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß das Rasterelektronenmikroskop außerordentlich eindruckliche und plastische Bilder von großer Tiefenschärfe liefert. Infolge der relativ einfachen Präparation lassen sich auch störende Artefakte an den zu untersuchenden Objekten vermeiden. Wenn auch das Auflösungsvermögen geringer als beim normalen Elektronenmikroskop ist, so erlaubt es gerade im Dimensionsbereich, der zwischen demjenigen des Lichtmikroskopes und des normalen Elektronenmikroskopes liegt, wertvolle Einblicke in die feinere Morphologie der holzbesiedelnden Mikropilze.

Schrifttum

- Arndt, U., Willeitner, H. 1969. Zum Resistenzverhalten von Holz bei natürlicher Bewitterung. *Holz Roh-Werkstoff* 27: 179—188.
- Bailey, P. J., Liese, W., Rösch, R. 1968. Some Aspects of Cellulose Degradation in Lignified Cell Walls. *Biodeterioration of Materials. Proceedings of the 1. Int. Biodet. Symp.*, Southampton.
- Bavendamm, W., Arndt, U. 1964. Untersuchungen zur Veränderlichkeit der natürlichen Resistenz von 6 Überseehölzern. *Holzforsch.* 18: 38—47.
- Kühne, H., Hochweber, M., Sell, J. 1968. Freilandbewitterungsversuche an Außenanstrichen für Holz/ Versuchszeitraum 1962 bis 1967. Bericht EMPA-Nr. 182: Dübendorf, 78 S.
- Liese, W., Schmid, R. 1964. Über das Wachstum von Bläupilzen durch verholzte Zellwände. *Phytopathol. Z.* 51: 385—393.
- Rösch, R., Liese, W., Berndt, H. 1969. Untersuchungen über die Enzyme von Bläupilzen: I. Cellulase-, Polygalakturonase-, Pektinesterase- und Laccase-Aktivität. *Arch. Mikrobiol.* 67: 28—50.
- Schmid, R. 1967. Elektronenoptischer Nachweis von sauren Mucopolysacchariden bei Pilzhypen. *Naturwissensch.* 54: 521.
- Liese, W. 1965a. Zur Außenstruktur der Hyphen von Bläupilzen. *Phytopathol. Z.* 52: 275—284.
- 1965b. Elektronenmikroskopische Beobachtungen an Hyphen von Holzpilzen. *Beihefte z. Mat. u. Organismen, Holz u. Organ.* No. 1: 251—261.
- Sell, J. 1968. Untersuchungen über die Besiedelung von unbehandeltem und angestrichenem Holz durch Bläupilze. *Holz Roh-Werkstoff* 26: 215—222.
- Leukens, U. 1969. Über die außenklimatische und biologische Beanspruchung von unbehandelten und angestrichenen Holzoberflächen — I. Teil: Chemische, mechanische und farbliche Alterungserscheinungen. *Oberfläche-Surface* 10: 536—539.
- Wälchli, O. 1969. Changes in the Surface Texture of Weather-Exposed Wood. *Mat. u. Organismen* 4: 81—87.
- Wälchli, O. 1969. Über die außenklimatische und biologische Beanspruchung von unbehandelten und angestrichenen Holzoberflächen — 2. Teil: Biologische Aspekte. *Oberfläche-Surface* 10: 619—623.
- 1968. Der Einfluß des sichtbaren Lichtes auf den Abbau von Cellulose durch Pilze. *Mat. u. Organismen*, 3: 245—256.

Aus Wirtschaft und Betrieb

Neubau des Instituts für Holzforschung und Holztechnik der Universität München

Am 4. Juni 1970 wurde der neuerstellte Erweiterungsbau des Instituts für Holzforschung und Holztechnik der Universität München offiziell seiner Bestimmung übergeben. Zu der Feierstunde waren der Rektor der Ludwig-Maximilians Universität, München, der Dekan der Staatswirtschaftlichen Fakultät, sowie zahlreiche Persönlichkeiten aus Forschung und Wirtschaft erschienen.

Das Bauwerk (Bild 1) war mit einem Kostenaufwand von 5,4 Mio DM erstellt worden. Hinzu kamen 1,0 Mio DM für die Einrichtung bzw. Neubeschaffung von Geräten. Das fünfgeschossige Gebäude beherbergt ausschließlich Laboratorien und Werkstätten, und hat eine Gesamtnutzfläche von 2018 m². Im Kellergeschoß sind die Energieversorgung, Heizungsanlage, Wasseraufbereitungsanlagen (Vollentsalzung), Gerätelager und andere Nebenräume untergebracht. Das Erdgeschoß umfaßt die Werkstätten, d. h. die Holzbearbeitungswerkstätte mit Schleifraum und Holzlagerraum, sowie einen eigenen Lagerraum für Leime und Lacke, ferner die Metallbearbeitungswerkstätte mit Schweißraum und Metall-Lager. Im gleichen Geschoß liegen die Elektrozentrale und ein Wasch- und Umkleieraum für das Personal der Werkstätten. Das ganze Geschoß hat eine Nutzfläche von 566 m².

Im ersten Obergeschoß befinden sich die Räume der Abteilung Mechanik des Holzes, mit einer Gesamtnutzfläche von 552 m². Die Laboratorien umfassen ein Rheologisches Prüffeld, in dem als Besonderheit eine Instron-Universal-Prüfmaschine mit elektronischer

Messung und Aufzeichnung untergebracht ist. In weiteren Räumen befinden sich das Prüffeld für Abnutzung und Stehvermögen, ein Prüffeld für Dauerfestigkeit, ein weiteres Prüffeld für Dauerstandversuche, ein Spannungsoptisches Labor mit Vorbereitungsraum und Dunkelkammer, das große Prüffeld mit einer vom übrigen Bau getrennt angebrachten Aufspannplatte. Auf dieser Aufspannplatte sind versetzbare Säulen angeordnet (Bild 2), die je nach den Erfordernissen zu besonderen Prüfeinrichtungen zusammengesetzt werden können. Ein



Bild 1. Außenansicht des Instituts-Erweiterungsbaus