

Schimmelpilze und Gesundheit. Schäden an Archivalien

Von Ingrid HÖDL

I. SCHIMMELPILZE UND GESUNDHEIT

Pilze gehören zu den erstaunlichsten und faszinierendsten Wesen der belebten Natur. Sie sind, nach den Bakterien und Fadenwürmern, die am weitesten verbreiteten Organismen der Erde. Es gibt so gut wie keinen Lebensraum, der nicht von ihnen besiedelt wird, denn spezielle Überlebensstrategien ermöglichen vielen Pilzarten, selbst unter extremsten Bedingungen zu existieren.

Schimmelpilzsporen bilden den zahlenmäßig bedeutendsten Anteil biologischer Partikel in der Luft. In unseren Breiten stellen sie 96 Prozent der Jahressumme biologischer Partikel des Aeroplaktons, während Pollen nur zwei Prozent ausmachen.¹

Schimmelpilze sind eine besondere Gruppe der Pilze. Dieser Begriff läßt sich nicht genau definieren und abgrenzen, da er aus der mykologischen Praxis stammt und keine systematisch abgegrenzte Pilzgruppe umfaßt.

Nach DELITSCH² werden solche Pilze zu den Schimmelpilzen gezählt, die folgende gemeinsamen Merkmale besitzen:

- ihr Lebensraum ist der Boden oder allenfalls konzentrierte Nährlösungen (es sind also keine ausgesprochenen Wasserpilze)
- sie leben saprophytisch, gewinnen also ihre Nährstoffe aus abgestorbenen organischen Substanzen, die sie dadurch zersetzen
- sie bilden ein typisches Mycel. Darin unterscheiden sie sich von den Hefen, die durch Sprossung lockere Zellverbände, jedoch kein echtes Mycel bilden
- sie vermehren sich vorwiegend ungeschlechtlich durch Sporen (Sporangiosporen oder Konidien)

¹ E. STIX: Vorkommen von Pollen und Sporen in der Luft. In: W. JORDE (Hrsg.), Schriftenreihe der Allergopharma, Bd. 1, Reinbeck 1971.

² H. DELITSCH: Systematik der Schimmelpilze. In: LEMKE (Hrsg.), Ergebnisse der theoretischen und angewandten Mikrobiologie, Bd.1, Neudamm 1943.

- wenn sie überhaupt sexuelle Fortpflanzungsorgane bilden, dann sind diese sehr klein.

Es ist wohl zweckmäßig, unter dem Begriff „Schimmelpilze“ solche Pilze zusammenzufassen, die in erster Linie auf Lebensmittel bzw. Futtermittel, in unserem Fall auf Papier, also Zellulose, wachsen, diese Substrate zersetzen und zerstören. Sie stellen nur geringe Ansprüche an die Zusammensetzung des Nährsubstrates und gedeihen in einem weiten Bereich physikalischer Ökofaktoren, was einerseits den Befall der unterschiedlichsten Produkte, andererseits ihr weltweites Vorkommen erklärt.

Dieses ihr Vorkommen ist lediglich begrenzt durch einen Mangel an Nährstoffen, die Anwesenheit von Hemmsubstanzen oder konkurrierenden Arten sowie durch ungeeignete physikalische Bedingungen. Die Schimmelpilze finden vor allem in den meisten Böden auf verwesenden tierischen und pflanzlichen Substraten, in Archiven und Bibliotheken auf Papier und Pergament geeignete Nährböden und gute Lebensbedingungen.

Vermehrungsphasen

Gelangen Schimmelpilze nun auf ein Medium, dessen Zusammensetzung das Wachstum begünstigt, dann vermehren sie sich nach einer bestimmten Gesetzmäßigkeit, wobei sechs Phasen aufeinander folgen:

- *Anlaufphase (lag-Phase)*: die Zellen vergrößern sich, ihr Stoffwechsel wird aktiviert, die Anzahl der Zellen bleibt im wesentlichen noch konstant. Die Dauer der lag-Phase ist von der Zusammensetzung des Nährmediums abhängig.
- *Beschleunigungsphase*: die Vermehrungs- und Wachstumsraten nehmen ständig zu.
- *Exponentielle Wachstumsphase (log-Phase)*: die Vermehrungsgeschwindigkeit nimmt konstant zu und erreicht hier das Maximum.
- *Verzögerungsphase*: die Vermehrungsrate sinkt wegen ungünstiger Umweltbedingungen (Mangel an Nährstoffen, Ansammlung giftiger Stoffwechselprodukte u. a.)
- *Stationäre Phase*: die Keimzahl bleibt konstant, da zwischen der Neubildung und dem Absterben der Zellen ein Gleichgewicht herrscht.
- *Absterbephase*: durch Nährstoffmangel oder Anhäufung toxischer Stoffwechselprodukte sterben je Zeiteinheit mehr Zellen ab, als neue gebildet werden.

Papierzerstörung durch Schimmelpilze

Die Ursachen für die Schädigung der Archivalien durch Mikroorganismen liegt darin, daß sie während des Wachstums Stoffwechselprodukte, unter anderem auch konzentrierte Säuren, bilden. Hier muß des besseren Verständnisses wegen auf den Stoffwechselkreislauf näher eingegangen werden:

Während des Wachstums wird der pH-Wert ständig geändert, da die Zellen eine Reihe von Metaboliten (Erklärung unten) bilden und ausscheiden. Teilweise tolerieren die Schimmelpilze die selbst produzierten sauren pH-Werte nicht und stellen entweder Stoffwechsel oder Wachstum ein. Vor allem wird durch den sauren pH-Wert die Dissoziation der organischen Säuren zurückgedrängt, und die undissoziierten Säuren steigen an. Eben diese Säuren vermögen leicht wieder in die Zellen einzudringen und führen dort zu metabolischen Schädigungen.

Dies würde eine Selbsterstörung bedeuten, da die Schimmelpilze zwar Säuren produzieren, sie aber nicht tolerieren können. Um diesem Phänomen entgegenzuwirken, bilden sie Primär- und Sekundärmetaboliten. Die ersteren werden beim Grund- oder Primärstoffwechsel gebildet. Darunter faßt man die fundamentalen Stoffwechselvorgänge zusammen, die in allen Organismen auf gleiche Weise ablaufen. Hier erfüllen die Primärmetaboliten lebensnotwendige Aufgaben innerhalb der Einzelzelle. Zu den Primärmetaboliten zählt man die niedermolekularen Bestandteile der Zelle, wie Aminosäuren, Vitamine, Nukleotide sowie Säuren des Zitronensäurezyklus.

Fein abgestimmte Regulationsmechanismen innerhalb der Zelle sorgen dafür, daß gerade so viele Primärmetaboliten gebildet werden, wie auch wieder verbraucht werden.

Die Sekundärmetaboliten (Sekundäre Naturstoffe, also Pigmente, Proteine, Antibiotika, aber auch Mykotoxine) andererseits sind nicht allgemein verbreitet, sie entstehen aus den Zwischenprodukten des Primärstoffwechsels. Sie sind keineswegs nutzlos, ihre Bedeutung macht sich nicht auf der Ebene der Einzelzelle, sondern erst beim Gesamtorganismus bemerkbar, indem sie sein Wachstum und seine Verbreitung fördern.

Nach den grundlegenden Untersuchungen von Bu'LOCK³ kann der Sekundärstoffwechsel einen Organismus dazu befähigen, seinen Stoffwechsel den Umweltbedingungen anzupassen. Es ließ sich nämlich

³ L. Bu'Lock, Biosynthese von Naturstoffen, München 1970.

nachweisen, daß sekundäre Metaboliten erst dann gebildet werden, wenn die rasche Wachstumsphase mit intensiver Verarbeitung von Glucose unter dem Einfluß des entstandenen Mangels an Nährstoffen abschließt und die stationäre Phase beginnt.

Jetzt können einzelne primäre Stoffwechselprodukte nicht mehr weiter verarbeitet werden, sie reichern sich in der Zelle an und aktivieren Enzyme, durch die sie dann zu sekundären Metaboliten umgewandelt werden. Sekundäre Stoffwechselprodukte sind demzufolge Resultate eines gehemmten Wachstums. Die durch Nährstoffmangel bedingte „Umschaltung“ des Stoffwechsels bewirkt die Bildung von Konidien und Sporen.

Ebenso wie z. B. auf Lebensmitteln müssen Schimmelpilze auch auf Papier mit anderen Mikroorganismen konkurrieren. Diese sind Hefen und Bakterien. Zwei Faktoren sind maßgeblich dafür verantwortlich, daß sich Schimmelpilze durchsetzen können: zum einen die Fähigkeit, noch bei geringer Luftfeuchtigkeit zu wachsen (sinkt diese unter das Wachstumsminimum, dann können meist noch Sporen oder Konidien gebildet werden), zum anderen die Möglichkeit, mit den feinen Hyphenzellen in die Papiersubstanz einzudringen. Fehlen dort wichtige Nährstoffe, dann können diese durch das Röhrensystem des Pilzmycels von anderen Orten her (aus der Umgebung oder aus älteren Mycelteilen) bis in die eingedrungenen Hyphenspitzen transportiert werden.

Die Schädigung von Papier durch Schimmelpilze beruht im wesentlichen auf zwei Vorgängen:

Chemische Veränderungen: Der Pilz nutzt Papier, also Zellulose, als Nährsubstrat, dies führt zum Abbau von Zellulose (über Zellobiose zu Glucose) und von Hemizellulosen (zu Pentosen, Hexosen und Säuren). Der biologische Zelluloseabbau erfolgt unter Mitwirkung einer Reihe von Enzymen: eine Endoglucanase greift die Zellulose an nicht-kristallinen Bereichen an und schafft neue Kettenenden, an denen die Exoglucanase Zellobiose-Einheiten abspaltet. Diese werden dann durch Glucosidiasen zu Glucose (Traubenzucker) hydrolysiert (abgebaut).

Physikalische Veränderungen: Hier beruht der Schaden auf der Anwesenheit des Pilzmycels selbst. So können Schimmelpilze in Büchern ein derart dichtes Mycelgeflecht bilden, daß die einzelnen Seiten wie ein Backstein zusammenhaften und ein Blättern unmöglich ist.

Gesundheitsgefährdung durch Schimmelpilze

Dieser Teil des Berichtes soll keineswegs Angst erzeugen oder gar Hysterie beim Umgang mit pilzbefallenen Objekten auslösen. Dieser Kurzbericht ist lediglich die Vermittlung des angeeigneten Wissens der Verfasserin über Schimmelpilze und deren mögliche Schädigung des Menschen.

Da in der Werkstätte für Restaurierung am Steiermärkischen Landesarchiv seit Jahren ausschließlich pilzbefallene Archivalien restauriert werden und mir nach intensivem Studium der Fachliteratur bewußt wurde, daß die auf Archivalien vorkommenden Pilzarten keineswegs völlig unbedenklich im Hinblick auf die Gesundheit der Archivmitarbeiter sind, sah ich es als meine Pflicht und auch als eine große Herausforderung an, mich mit dem komplexen und faszinierenden Gebiet der Mikrobiologie eingehend auseinanderzusetzen.

Das Trojanische Pferd

Wann können Pilze unsere Gesundheit gefährden?

Das Problem des Pilzbefalls läßt sich treffend mit dem Bild des trojanischen Pferdes aus der Antike vergleichen. Es war die einfache und wirkungsvolle List der Trojaner, ihre Krieger in einem harmlos aussehenden und dazu noch als Geschenk getarnten Versteck hinter die feindlichen Tore zu bringen. Dieses Prinzip scheint von den Schimmel- und Hefepilzen übernommen worden zu sein.⁴

„Sie warten, bis ihre Stunde gekommen ist und sorgen dafür, daß dem Kranken die Stunde schlägt. Manche Schimmelpilze ergreifen nie selbst die Initiative. Sie warten, vergleichbar mit der Taktik eines Intriganten, geduldig auf eine passende Gelegenheit. Sie lauern förmlich auf eine Schwächesituation des Wirtes, die es ihm dann leicht macht, in ihn einzudringen, um ihn zu besiegen. Hier geht es nach dem Leitsatz: Gelegenheit macht Diebe.“⁵

Die Warnsignale des Körpers

Chronische Erkrankungen haben in der Regel eine lange, oft eine jahre- und jahrzehntelange, von unterschiedlichen Faktoren verursachte Entwicklungsgeschichte (Pathogenese). Eine Krankheit bricht erst dann

⁴ Dirk KUHLMANN, *Die Pilzinvasion*. Bio-Medoc-Verlag, 1993.

⁵ Hans RIETH, *Mycelhefen im Darm – ein Risiko für Kranke!* In: *Pilzdialog* 2 (1986), 33–34.

wirklich spürbar aus, wenn sich einiges angesammelt hat, oder wie man sagt, wenn das Maß voll ist. Zu diesem Zeitpunkt ist man oft geneigt, den letzten Tropfen, der das Faß zum Überlaufen brachte, als Hauptschuldigen oder Hauptverursacher des Gesamtübels verantwortlich zu machen.

Die Krankheitsentwicklung basiert am häufigsten auf der zeitlichen Summierung mehrerer Faktoren, wobei jeder einzelne Faktor allein häufig nicht pathogen (krankmachend) ist. Hierzu gehört zuerst die Veranlagung (Disposition), die jeder mit in die Wiege gelegt bekommt. Weitere Faktoren wären z. B. die Fehlernährung, Vitamin- und Mineralstoffmangel, seelische Belastungen, lange Medikamenteneinnahme, Gifte wie Nikotin und Alkohol und Umweltbelastungen.

Durch die natürliche Abwehrkraft des Körpers kann der Mensch lange vieles wegstecken, sozusagen als Handgepäck mittragen, ohne daß wesentliche Störungen auftreten. Wie in allen anderen Dingen gleicht kein Mensch dem anderen. Mutet man seinem Körper aber immer mehr solcher Lasten zu, so zeigen sich irgendwann zaghafte Signale. Sie können sich z. B. in zeitweisen Kopf- oder Gliederschmerzen, in allgemeiner Unlust, Müdigkeit, Gereiztheit, Verdauungsbeschwerden, Konzentrationschwächen und in vielen anderen Symptomen mehr oder weniger merklich äußern.

Das Immunsystem

Wie funktioniert unsere körpereigene Abwehr?

„Jede Krankheit greift tief in das Immunsystem ein. Darum ist keine Therapie erfolgreich ohne Beistand des Immunsystems“ (Prof. Dr. Dr. h.c. H. Freiherr VON KRESS).

Zu jeder Zeit wird der Körper mit Krankheitserregern konfrontiert. Sie dringen vor allem durch den Mundraum in die Luftwege und in den Magen-Darm-Trakt ein. In den Darm gelangen sie über den Speichel und die Nahrung.

Alle Eindringlinge wie Bakterien, Pilze, Viren und chemische Stoffe sind grundsätzlich als Angreifer zu verstehen, gegen die sich der Körper mit einer Vielzahl von Abwehrmechanismen wehren muß.

So produzieren die Schleimhäute aus unzähligen Drüsen unentwegt einen Schleimfilm, der den Eindringlingen bereits den Weg versperrt. In und auf diesem Film haben die Antikörper und verschiedene Arten weißer Blutkörperchen, u. a. Fresszellen (Makrophagen), die Aufgabe, alles Fremde aufzuspüren und zu vernichten. Ein gesunder Mensch merkt von diesen „Kriegsgefechten“ überhaupt nichts. Erst, wenn die erste Ab-

wehrbarriere geschwächt ist und von Angreifern durchbrochen werden kann, kann unter Umständen eine Gesundheitsgefährdung auftreten. Es stehen jedoch weitere starke Abwehrmöglichkeiten zur Verfügung, die in den meisten Fällen in der Lage sind, die Eindringlinge zu vernichten. Diese Schlachten spielen sich im Blut, in der Lymphe und in anderen Geweben ab. Auch die Krebsabwehr gehört zu diesem alltäglichen Geschehen.

Immunsystem und Allergie

Das Immunsystem des menschlichen Körpers hat die Aufgabe, die Integrität und Identität des Organismus zu gewährleisten. Die Integrität kann beispielsweise durch Bakterien, Pilze, Viren und Parasiten verletzt werden, die Identität durch Transplantationen eines Organes.⁶

Diese Aufgaben bewältigt das Immunsystem durch seine Fähigkeit, körpereigenes von körperfremden Material unterscheiden zu können und letzteres zu eliminieren. Das Immunsystem kann gegen körperfremdes Material (Eiweißstoffe, Zellen und Gewebe) auf zweierlei Weise reagieren:

- durch die Bildung sogenannter Antikörper, die in die Blutbahn abgegeben werden und auf diese Weise sofort überall im Körper verfügbar sind. Solche Antikörper werden durch bestimmte weiße Blutkörperchen, die B-Zellen, die beim Menschen aus dem Knochenmark stammen, produziert.
- durch eine sogenannte zelluläre Immunreaktion. In diesem Fall wandern weiße Blutkörperchen, die T-Zellen, selbst an den Ort des Geschehens (z. B. transplantierte Niere) und greifen dort die körperfremden Zellen direkt an.

Neben der Fähigkeit des Immunsystems, zwischen „körpereigen und körperfremd“ unterscheiden zu können, hat eine Immunreaktion noch die Charakteristika der *Spezifität* und des *Erinnerungsvermögens*.

Eine Immunreaktion ist spezifisch, d. h. eine Impfung gegen Diphtherie wird einen Menschen gegen Infektionen mit diesem Mikroorganismus schützen, nicht aber gegen z. B. Influenzaviren.

Wenn eine Person während ihres Lebens bereits einmal in Form einer Impfung oder Infektion mit bestimmten Mikroorganismen in Berührung gekommen ist, so wird sich ihr Immunsystem an diesen frühe-

⁶ Nikolaus NEU, Georg WICK: Theoretische Grundlagen sporeninduzierter Allergien. In: Schimmelbefall in Wohnbauten. Berichtsband Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität, hrsg. v. Waubke, Kusterle, Innsbruck 1990.

ren Kontakt erinnern, und bei einer zweiten Infektion werden bereits bestimmte weiße Blutkörperchen, die sogenannten Erinnerungszellen, vorhanden sein, die nun solche Eindringlinge viel schneller und effizienter bekämpfen können als bei einer Erstinfektion.

Das Immunsystem dient also dem Schutz gegen von außen kommende Eindringlinge und läßt normalerweise (aber leider nicht immer) körpereigene Komponenten unbehelligt.

Der menschliche Organismus reagiert immunologisch aber auch gegen völlig harmlose Substanzen, wenn diese in geeigneter Form verabreicht werden. So würden z. B. alle Menschen Antikörper gegen Kuhmilch produzieren, wenn man diese statt der Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt mittels Injektion unter die Haut applizieren würde.

Grundlagen sporeninduzierter Allergien

Als *Allergie* bezeichnet man ganz allgemein eine verstärkte Reaktion des Immunsystems in Form einer sogenannten Überempfindlichkeit, die bei wiederholtem Kontakt mit Antigenen zu lokalen oder den gesamten Körper betreffenden (systemischen) Reaktionen führt.

Antigene sind alle Stoffe, z. B. Eiweiß- und Zuckerbestandteile an der Oberfläche von Bakterien und Parasiten, Zellen von Organtransplantationen etc., die das Immunsystem zu einer Gegenreaktion anregen. Das Immunsystem ist jedoch nicht in der Lage, zwischen lebenden und toten sowie schädlichen und unschädlichen Antigenen zu unterscheiden. Man kann daher in vielen Fällen gegen Infektionskrankheiten mit abgetöteten Mikroorganismen oder sogar nur mit bestimmten von Bakterien produzierten Giften (Toxinen) impfen, und das Immunsystem der Person wird gegen diese Totimpfstoffe reagieren. Die so entstandene Immunität ist dann im Fall einer Infektion auch gegen lebende Mikroorganismen wirksam.

Antigene, die bei bestimmten Personen zu Überempfindlichkeitsreaktionen führen, bezeichnet man als *Allergene*. Durch den erstmaligen Kontakt mit solchen Allergenen kommt es zuerst zu einer sogenannten Sensibilisierung der betreffenden Person, das bedeutet, ihr Immunsystem erwirbt die Bereitschaft, bei nochmaligem Kontakt mit diesem Allergen in Form einer krankmachenden Überempfindlichkeitsreaktion zu antworten.

Prinzipiell werden fünf verschiedene (I–V) Arten der Überempfindlichkeitsreaktion unterschieden. Bei Allergien gegen Schimmelpilzsporen kommt vor allem der Typ III in Betracht, die Typen I und IV sind jedoch meist mitbeteiligt.

Hier muß betont werden, daß die Fähigkeit, gegen ein Antigen besser oder schlechter zu reagieren, genetisch festgelegt ist. Dies ist auch der Grund, warum bei manchen Personen Infektionen bei bestimmten Erregern viel schwerer verlaufen als bei anderen, deren Immunsystem mit den entsprechenden Erregern besser fertig wird. Diese genetische Prädisposition gilt aber nicht nur für Infektionskrankheiten, sondern auch für Allergien. In Europa sind 15 Prozent der Bevölkerung genetisch für die Entwicklung einer Allergie prädisponiert. Wenn ein Elternteil Allergiker ist, steigt dieser Prozentsatz auf ca. 50 Prozent, wenn beide Elternteile Allergiker sind, auf 75 Prozent und darüber.

Typ-I-Allergie:

Sie sind die häufigsten Allergien schlechthin. Dazu zählen die Pollenallergie (Heuschnupfen), viele Allergien gegen Nahrungsmittel sowie bestimmte ubiquitäre Mikroorganismen (Hausstaubmilbe, Schimmelpilze). Typ-I-Reaktionen werden bereits wenige Minuten nach Kontakt mit dem Allergen ausgelöst. Es handelt sich hier um eine Allergie, die durch spezielle Antikörper bedingt wird, die man als IgE-Antikörper bezeichnet. Sie werden bei entsprechender genetischer Veranlagung der Person nach Kontakt mit dem in Frage stehenden Allergen, z. B. Blütenpollen, produziert und lagern sich dann an bestimmte Zellen des Körpers an, die vor allem im Bereich der Haut und Schleimhäute (Nase, Bronchien, Darm) in großer Zahl zu finden sind. Man bezeichnet diese Zellen, die IgE-Moleküle binden können, als Mastzellen. Sie haben nämlich in ihrem Zelleib in Form kleiner Bläschen jene Substanzen gespeichert, die bei Freisetzung in die Umgebung zu den klinischen Erscheinungen führen, die für eine Typ-I-Allergie charakteristisch sind. An diese Mastzellen angeheftet „warten“ die IgE-Antikörper nun auf den nächsten Kontakt mit dem entsprechenden Allergen. Wenn nun z. B. während der Blütezeit wieder Kontakt mit einem Allergen durch Einatmen erfolgt, reagieren die an den Mastzellen angehefteten IgE-Antikörper mit diesen Allergenen und setzen einen komplizierten biochemischen Mechanismus in Gang, der zur Freisetzung gespeicherter Substanzen führt. Zu diesen Substanzen zählt beispielsweise das Histamin, welches zu einer vermehrten Durchlässigkeit von Gefäßen (geschwollene Schleimhäute und Flüssigkeitsabsonderung) und zur Kontraktion von Muskelzellen (Bronchienkrampf, Asthma) führt.

Typ-III-Allergie:

Auch Typ-III-Allergien sind durch Antikörper bedingt, die zur IgG- und IgM-Klasse gehören. Hier kommt es nach dem Erstkontakt zu

keiner Anlagerung solcher Antikörper an irgendwelche Zellen, sondern sie kreisen in hoher Konzentration im Blut. Auch diese Person ist sensibilisiert, weil beim nächsten Kontakt mit dem entsprechenden Allergen eine Reaktion zwischen diesem und den im Blut kreisenden Antikörper stattfindet, und zwar zunächst dort, wo das Allergen eintritt (Haut, Lunge). Die häufigsten Verursacher solcher Typ-III-Reaktionen sind Schimmelpilze, aber auch Milben und Vogelkot. Risikogruppen für die Entwicklung einer Typ-III-Allergie sind neben Bauern, Vogelzüchtern, Bäckern, Archivmitarbeitern und Restauratoren auch Personen, die in feuchten schimmlichen Wohnungen leben. Es kommt bei Vorhandensein von IgG/IgM-Antikörpern im Blut beim Einatmen von entsprechenden Allergenen in den Lungenbläschen (den Alveolen) zu einer Präzipitationsreaktion zwischen Antikörper und Allergen. Diese sogenannten Immunkomplexe können nun weitere Faktoren aus dem Serum binden, dies führt sodann zu teilweise sehr schweren Entzündungsreaktionen. Als Folge davon kommt es häufig zur Bindegewebsvermehrung zwischen den feinen Lungenbläschen (Lungenfibrose) und damit auch zu einer verminderten Fähigkeit zum Gasaustausch (Sauerstoffaufnahme – Kohlendioxydabgabe).

Da bei Typ-I- und Typ-III-Reaktionen die entsprechenden Antikörper bereits im Blut bzw. an Mastzellen gebunden vorhanden und damit bei Eindringen des Allergens sofort verfügbar sind, kommt es bei Kontakt mit dem entsprechenden Allergen innerhalb von Stunden oder Minuten sofort zu den allergischen Erscheinungen. Deshalb werden diese Reaktionen auch als Sofortreaktionen bezeichnet.

Typ-III-Reaktionen werden also durch sogenannte Immunkomplexe herbeigeführt. Es sind dies Verbindungen zwischen Antikörpern und dem entsprechenden Antigen, die im Blut zirkulieren und in verschiedenen Organen (Niere, Lunge, Haut etc.) abgelagert werden. Über verschiedene Mechanismen kommt es in der Folge zur Aktivierung entzündlicher Prozesse, die eine Gewebsschädigung herbeiführen. Sporeninduzierte Allergien beruhen sehr häufig auf einem solchen Typ-III-Mechanismus.

Typ-IV-Reaktionen:

Diese sind solche, die durch eine zelluläre Immunreaktion hervorgerufen werden. Bei solchen Personen werden zunächst T-Zellen im Blut auftreten, die gegen ein bestimmtes Allergen reagieren können. Wenn dieses Allergen zum wiederholten Mal in den Körper eindringt oder mit dem Körper in Kontakt kommt (über die Haut, durch Einatmen), so werden diese T-Zellen an die entsprechenden Eintrittspforten hin-

wandern und sich dort ansammeln. Auch die Ansammlung von T-Zellen führt zu charakteristischen Krankheitssymptomen wie Hautausschläge, Atembeschwerden etc. T-Zellen brauchen jedoch eine gewisse Zeit, bis sie am Ort des Geschehens angekommen sind, daher nennt man solche Reaktionen verzögerte oder Spätreaktionen.

Typ-IV-Reaktionen werden also im Gegensatz zu den vorher genannten nicht durch Antikörper, sondern durch toxisch wirkende weiße Blutkörperchen, sogenannte T-Zellen, induziert. Beispiele hierfür sind Tuberkulinreaktionen, das Kontaktekzem und die Transplantationsabstoßungsreaktionen. Die einzelnen Typen der Allergien treten selten isoliert auf.

Atemwegs- und Lungenkrankheiten:

Die Atemwege stehen in ständigem Kontakt mit Schimmelpilzsporen. An warmen Julitagen treten nicht selten mehr als 20.000 Pilzsporen pro Kubikmeter Luft auf, verglichen mit maximal 1000 bis 2000 Pollen. Mit jedem Atemzug werden daher im Sommer mehr als zehn Sporen eingeatmet.⁷ Naturgemäß ist auch in feuchten schimmlichen Wohnungen bzw. in Archiven und Bibliotheken beim Hantieren mit befallenen Archivalien die Sporenbelastung oft sehr hoch. Erkrankungen der Atemwege und der Lunge gehören daher zu den häufigsten Erkrankungen durch Schimmelpilze, entweder durch Infektion oder durch allergische Reaktion gegen Schimmelpilzantigene.

Allergische Erkrankungen:

Die Häufigkeit von Allergien gegen Schimmelpilze wird sehr unterschiedlich eingeschätzt, sie liegt zwischen fünf und 67 Prozent.⁸ In der Innsbrucker Allergieambulanz lag im Jahr 1990 die Häufigkeit positiver Hautreaktionen auf zehn Pilzarten bei 20 Prozent.

Allergische Erkrankungen gegen Schimmelpilze können grundsätzlich bei jedem Menschen auftreten, nicht nur bei Allergikern mit anderen allergischen Vorerkrankungen wie Heuschnupfen. Ubiquitär vorkommende Schimmelpilze sind für die Krankheitsentstehung von größerer Bedeutung als häusliche Schimmelpilze.

⁷ SCHULTZE-WERNINGHAUS, Atemwegs- und Lungenkrankheiten durch Schimmelpilze. In: Berichtsband (wie Anm. 6).

⁸ S. GRAVERSEN, Fungi as a cause of allergic disease. In: *Allergy* 34 (1979), 135–154.

Man unterscheidet drei Krankheitsbilder:

- Asthma bronchiale, eine Erkrankung, bei der es zu Atemnot durch Verkrampfung der Bronchialmuskulatur und Verlegung der Atemwege durch einen zähen Schleim kommt.
- Allergische bronchopulmonale Mykose (oft verbunden mit Asthma), bei der es durch massivere Entzündungsvorgänge als beim Asthma nicht nur zur reversiblen Atemwegsverengung, sondern auch zur Schleimverstopfung der Atemwege mit nachhaltiger Schädigung und der Bildung von Bronchialaussackungen (Bronchiektasen) kommt.
- Allergische Alveolitis ist eine allergische Lungenentzündung, die in einer Lungenfibrose (Lungenverhärtung) enden kann, sofern sie nicht rechtzeitig behandelt wird.

Mykologen sind sich einig: Die enorme Zunahme von Mykosen – sekundäre Infektionen als Folge von Erkrankungen –, die mit Defekten des Immunsystems einhergehen, lassen ihnen eine immer größer werdende Bedeutung zukommen.

Einteilung und Nomenklatur der Mykosen

In der 150jährigen Geschichte der medizinischen Mykologie ist von verschiedenen Autoren eine Unzahl von Benennungen und Einteilungsversuchen über Pilze und die durch diese hervorgerufenen Krankheiten in die Literatur eingegangen. Vieles davon hat nur mehr historischen Wert. Nach Erfahrung vieler Mykologen stellt der menschliche Organismus die beste Einteilungsgrundlage dar. Es wird zwischen *Ecto-* und *Endomykosen* unterschieden.

Als *Ektomykosen* bezeichnet man demnach Dermatomykosen, also Mykosen der Haut und des Auges.

Mit dem Begriff *Endomykosen* werden alle Schleimhaut-, Organ- und System-Mykosen zusammengefaßt. Dabei handelt es sich um exogen oder endogen ausgelöste Mykosen, bei denen der Pilz bei 37° C aktiv und vermehrungsfähig sein muß.

Bei exogenen Pilzerkrankungen befindet sich die Infektionsquelle außerhalb des Körpers, hingegen handelt es sich bei endogen ausgelösten Mykosen um Infektionen, bei denen der Pilz zum Zeitpunkt der Erkrankung bereits im Organismus vorhanden war.

Einteilung der Endomykosen nach ihrer Hauptlokalisation:⁹

1. *Schleimhautmykosen*

- a) Mundschleimhautmykosen
- b) Darmmykosen
- c) Bronchialmykosen

2. *Organmykosen*

- a) Lungenmykosen
- b) Mykosen des Zentralnervensystems
- c) Mykosen der Nieren

3. *Systemmykosen*

mehrere Organe oder der gesamte Organismus werden befallen

4. *Mycetome* und sonstige Pilzinfektionen „tiefer“ Gewebereiche

Schimmelpilze, die auf Archiv- und Bibliotheksgut am häufigsten vorkommen, sind als Erreger von Endomykosen bekannt. Mykosen, die durch Schimmelpilze verursacht werden, so z. B. die pulmonale Aspergillose, haben in den letzten Jahren bedeutend zugenommen. Das klinische Bild einer System- oder Organmykose wird entscheidend von der Immunkompetenz des Menschen und der Art des Erregers beeinflusst. So wird ein beim gesunden Menschen saprophytärer Pilz durch Reduzierung der Abwehrkräfte (z. B. Eiweiß- oder Vitaminmangel, Stoffwechselstörungen) oder durch Milieuänderung (z. B. pH-Verschiebung, Verbrennung) zum virulenten Erreger. Damit läßt sich auch erklären, warum sich eine Infektion eines primär Gesunden in so großem Ausmaß von dem schweren Infektionsverlauf eines bereits vorgeschädigten Menschen unterscheidet.

Die meisten pathogenen Kleinpilze sind jedoch Opportunisten¹⁰, d. h. sie sind ihrem Wesen nach Saprophyten¹¹ und können nur unter bestimmten Bedingungen krankheitserregend sein. In diese Kategorie fallen verbreitete Schimmelpilze der Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium*, *Absidia*, *Mucor* und *Rhizopus*. Diese Organismen sind ständig auf der ge-

⁹ Jürgen REISS: Schimmelpilze. Lebensweise – Nutzen – Schaden – Bekämpfung. Berlin, Heidelberg 1986.

¹⁰ Opportunisten: auf eine günstige Gelegenheit wartende Mikroorganismen.

¹¹ Saprophyten: fäulnisbewohnende Pilze, Pflanzen oder Parasiten, die tote organische Substanz verzehren.

sunden Haut und auf den Schleimhäuten des Körpers anzutreffen. Dort leben sie saprophytisch und schädigen den gesunden Menschen nicht, da dieser über Abwehrmechanismen verfügt; sie können aber dann pathogen werden, wenn die Resistenz des Wirtes durch andere Krankheiten geschwächt wird.

Unter den Pilzen kommen in Europa folgende Gattungen und Arten als Erreger von Mykosen des Menschen in Betracht. Alle, mit Ausnahme des *Candida albicans*, werden laufend von Archivalien isoliert und identifiziert:¹²

Tab. 1: Überblick über die bedeutendsten Erreger tieflokalisierter Mykosen:¹³

<i>Mucor</i>	<i>Rhizopus</i>
<i>Absidia</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Aspergillus nidulans</i>	<i>Aspergillus niger</i>
<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Penicillium (gelegentlich)</i>
<i>Geotrichum (gelegentlich)</i>	<i>Candida albicans</i>
<i>Rhodotorula rubra</i>	<i>Cladosporium herbarum</i>

Übersicht über die wichtigsten Erkrankungen beim Menschen, die durch Schimmelpilze hervorgerufen werden können¹⁴:

1. *Mykosen*: Wachstum von Schimmelpilzen am oder im Wirt

A. Epidermale Mykosen: Haut ist befallen

a) Aspergillosen: z. B. *Aspergillus fumigatus*

b) Penicilloosen: *Penicillium spinulosum* u. a.

B. Endo- und Systemmykosen: Innere Organe sind befallen

a) Aspergillosen: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger* u. a.

b) Phykomykosen: *Absidia sp.*, *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.*

2. *Mykoallergosen*: Kontakt von Pilzelementen mit feuchten Schleimhäuten (Atemwege)

¹² Birgit WILLINGER, Endomykosen (Teil 1). In: Hygiene Aktuell, Informationen über Hygiene und Infektionskrankheiten, Nr. 2 (1991).

¹³ REISS (wie Anm. 9).

¹⁴ Emil MÜLLER/Wolfgang LOEFFLER, Mykologie. Grundriß für Naturwissenschaftler und Mediziner. Stuttgart–New York 1992.

- a) Asthma bronchiale: verschiedene Schimmelpilze
- b) Käsewäscher-Krankheit: *Penicillium sp.*
- c) Paprikaspalter-Lunge: *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium glaucum sp.*
- d) Bäcker-Asthma: *Alternaria sp.*, *Aspergillus sp.* u.a.

3. Mykotoxikosen: Vergiftung durch Mykotoxine

- a) Aflatoxikosen: durch Aflatoxine von *Aspergillus flavus* und *Aspergillus parasiticus*
- b) *Penicillium*-Mykotoxikosen
- c) *Fusarium*-Mykotoxikosen
- d) *Alternaria*-Mykotoxikosen

zu 1. *Mykosen*:

In geschlossenen Räumen werden fakultativ-pathogene Schimmelpilze vorwiegend durch die Luft verbreitet, da die leichten Konidien und Sporen von Luftbewegungen über große Entfernungen hinweg transportiert werden. Diese Pilzsporen können über drei Wege in den menschlichen Körper gelangen:

- Berufliche Exposition: Ein Einatmen von Konidien und Sporen ist in solchen Räumen zu erwarten, in denen in vermehrtem Rahmen mit pilzhaltigem Material gearbeitet wird. Dazu gehören die Bereiche Landwirtschaft (Pilze im Staub von Getreide, Heu und Stroh), Gartenbau, Verarbeitung von Nüssen und Leder, Ölmühlen, Haltung und Zucht von Vögeln und nicht zuletzt Restaurierung bzw. Hantieren mit pilzbefallenen Archivalien.
- Akzidentielle Exposition: Hierzu wird die Aufnahme von pilzlichem Material infolge bautechnischer Mängel (Belüftung mit sporenhaltiger Luft, Feuchtigkeit in Wohnräumen) sowie über Lebensmittel, Müll und Schmutz gezählt, nicht zuletzt aber auch durch längeren Aufenthalt in sporenkontaminierten Räumen (Depots oder Restaurierwerkstätten).
- Unauffällige konstante Exposition: Diese geht von bestimmten Elementen der häuslichen Umwelt, wie etwa von Zimmerpflanzenerde oder Futter für Haustiere aus. Hier sei angemerkt, daß es vor allem in der Nähe von Heizkörpern in der komposthaltigen Topferde von Zimmerpflanzen zu einer starken Vermehrung von pathogenen Schimmelpilzen kommt. Es konnte z. B. in 66,7 Prozent der untersuchten Topferdeproben von insgesamt 51 Zimmerpflanzenarten *Aspergillus fumigatus* nachgewiesen werden. Er ist mit Abstand der Schimmelpilz mit der stärksten pathogenen Potenz. Aus diesem

Grund ist es auch in Klinikbereichen untersagt, Topfpflanzen zu halten.

zu 2. *Mykoallergosen:*

Wiederholte längere Aufenthalte in mit Sporen von Schimmelpilzen belasteter Umgebung können zu allergischen Reaktionen führen. Diese äußern sich in Niesanfällen, Schnupfen, Husten, Durchfall und Erbrechen und manifestieren sich sogar in asthmatischer Bronchitis und Asthma bronchiale. Typische Infektionsquellen sind Pilzkolonien auf Archiv- und Bibliotheksgut, an feuchten Mauern, Tapeten und Textilien, aber auch in Polstermöbeln und Klimaanlage. Die meisten Pilzsporen gelangen wegen ihrer geringen Größe (2–10 µm) in den Bronchialbereich; nur Teilchen mit einem Durchmesser von über 10 µm werden in der Schleimhaut von Nase und Rachen zurückgehalten.

Die Sporen gewisser Schimmelpilze können als Allergenträger wirken, jedoch ist über die Natur der Pilzallergene nur wenig bekannt. Sicher ist, daß die allergieauslösende Potenz auf die Anwesenheit gewisser Eiweißverbindungen zurückzuführen ist. Das Mycel hat im Vergleich zu den Konidien eine sehr viel geringere Potenz. Die Mindestmenge an Sporen, die eine allergische Reaktion auslöst, schwankt zwischen 100 (*Alternaria alternata*) und etwa 3000 (*Cladosporium herbarum*). Im Vergleich zu diesen Werten liegen die Schwellwerte von Pollen im allgemeinen niedriger: so lösen bereits etwa zehn Pollenkörper von Roggen bei allergischen Personen Atemwegsbehinderungen aus.

Tab. 2 faßt die Häufigkeit jener Schimmelpilze, die bevorzugt auf Archivalien vorkommen, und ihre Antigenbildung zusammen (Klinische Wertigkeit von Schimmelpilzsensibilisierungen):¹⁵

Schimmelpilzhäufigkeit	in %
<i>Fusarium</i>	14,3
<i>Penicillium</i>	10,0
<i>Aspergillus</i>	8,2
<i>Alternaria</i>	6,4
<i>Mucor</i>	4,6
<i>Rhizopus</i>	4,6
<i>Cladosporium</i>	2,9

¹⁵ K. AURAND, Luftqualität in Innenräumen. Stuttgart–New York 1982.

zu 3. *Mykotoxikosen:*

Die intensive Beschäftigung mit der Gefährlichkeit von Mykotoxinen – sekundäre Stoffwechselprodukte mit gesundheitsschädigender Wirkung – setzte weltweit erst 1960 ein, nachdem in England über 100.000 Truthühner an verfüttertem toxinkontaminierten Erdnußmehl verendeten. Toxine gelangen in den meisten Fällen über die Nahrung in den menschlichen Körper, jedoch weiß man erst seit kurzem, daß auch vom Einatmen toxinhaltiger Staubpartikel eine beachtliche Gefahr ausgehen kann. Die Verfasserin möchte darauf hinweisen – obwohl es zur Zeit noch nicht eindeutig bewiesen werden kann, eine Untersuchung ist in naher Zukunft geplant - daß sich auch auf pilzbefallenen Archivalien Toxine bilden können.

Es gibt zwar keine gesicherten Erkenntnisse darüber, ob die Bildung und Ausscheidung von Mykotoxinen für den Schimmelpilz selbst von Bedeutung ist, jedoch schützt möglicherweise die Synthese toxischer Substanzen den Produzenten vor Konkurrenten. Das Abschätzen des Risikos, das von Schimmelpilzen und ihrer Toxinbildung ausgehen kann, wird dadurch erschwert, daß nur ein geringer Prozentsatz der Stämme das betreffende Mykotoxin bilden kann. Nach einer Zusammenstellung von FRANK¹⁶ schwankt der Anteil an toxinbildenden Isolatn von *Aspergillus flavus*, der häufig von Archivalien isoliert werden kann, sehr stark. Als Mittelwert ergab sich, daß etwa 76 Prozent der Stämme des *A. flavus* Aflatoxine bilden können.

Folgerung

Schon seit der Einführung des Ackerbaues und der Entwicklung einer Vorratswirtschaft in der Steinzeit ist der Mensch dem Einfluß von Schimmelpilzen und auch der Einwirkung von Mykotoxinen ausgesetzt. Sicherlich sind die vielfältigen Einflüsse unserer Umwelt unerlässlich zur Stärkung der körpereigenen Abwehrkräfte. Ob zu diesen Faktoren auch Schimmelpilze und ihre Toxine zählen, ist umstritten. So ist es einerseits nachgewiesen, daß bei ständigem Kontakt mit Pilzsporen die Immunkräfte des Menschen durch Sensibilisierung geschwächt werden. Auf der anderen Seite könnten etwa Spuren natürlicher Giftstoffe – einschließlich der Mykotoxine – eine notwendige Rolle bei der Aufrechterhaltung der Abwehrkräfte des Körpers spielen.

Eine große Zahl von pathologischen Studien weist darauf hin, daß einige Erkrankungen des Menschen durch Toxine hervorgerufen wer-

¹⁶ H. K. FRANK, Aflatoxine. Bildungsbedingungen, Eigenschaften und Bedeutung für die Lebensmittelwirtschaft. Hamburg 1974.

den. Eine klare Aussage mit Beweiskraft ist in keinem Einzelfall möglich, da exakte experimentelle Befunde aus ethischen Gründen nicht zu erhalten sind und auch Ergebnisse von Tierversuchen nicht oder nur mit Vorbehalt auf den Menschen übertragen werden können.

Die wichtigste erfolversprechende Vorbeugungsmaßnahme gegen die Entstehung von pilz- und mykotoxinbedingten Krankheiten sind, durch entsprechende Lagerbedingungen die Bildung von Schimmelpilzen zu verhindern, sowie gezielte Hygienemaßnahmen wie unser Zehn-Punkte-Hygienepaket¹⁷, das mittlerweile von vielen in- und ausländischen Institutionen bereits übernommen wurde, für alle Archivmitarbeiter, Benützer und Restauratoren zu erarbeiten bzw. einzuführen.

Cladosporium und *Rhizopus*

Im folgenden soll auf zwei spezielle Schimmelpilze ausführlicher eingegangen werden. Die Auswahl von *Cladosporium spec.* und *Rhizopus spec.* erfolgte nicht wegen der besonderen Schönheit der Pilzspezies unter dem Mikroskop, nicht wegen ihrer Pathogenität, auch nicht wegen ihres häufigen Vorkommens auf Kulturgut, sondern sie waren der Anlaß für den Beginn der mikrobiologischen Untersuchungen in der Werkstätte für Restaurierung am Steiermärkischen Landesarchiv. Im Sommer 1989 klagte der jetzige Archividirektor über gesundheitliche Beeinträchtigungen beim Hantieren mit bestimmten Archivbeständen, auf denen makroskopisch ein leichter Mikroorganismenbefall zu sehen war. Es wurde ein starkes Jucken auf der Haut und ein Stechen in der Lunge konstatiert. Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen waren so stark, daß die wissenschaftliche Bearbeitung des betreffenden Bestandes eingestellt werden mußte. Isoliert wurden damals von einem holländischen Institut die oben genannten Mikroorganismen in sehr großer Zahl. Nach eingehendem Selbststudium der Fachliteratur werden seit diesem Zeitpunkt alle mikrobiologischen Untersuchungen, alle Pilzanalysen und Mikroskopaufnahmen ausschließlich in der Werkstätte in einem provisorischen Pilzlabor durchgeführt.

¹⁷ Ingrid HÖDL, Mikroorganismen auf Papier: Prophylaktische Konservierung, Identifizierung, Desinfektion und Restaurierung. In: IADA Preprints, 8. Internationaler Kongreß der IADA, Tübingen 1995.

*Cladosporium spec.*Kardinaltemperatur *Cladosporium herbarum*:

Minimum: -7 bis -5°C

Optimum: 24 bis 25°C

Maximum: 30 bis 32°C

Wasseraktivität:

Minimum: 0,85 bis 0,86

Optimum: 0,95 bis 0,96

pH-Wert:

Minimum: 3,1

Maximum: 7,7

Morphologische Eigenschaften:

- a) Wichtige Kennzeichen: Kolonie dick, samtig, oliv- bis graugrün, Unterseite auffallend blauschwarz bis grünlich-schwarz schillernd; Konidiophoren dunkel, in der Mitte und am Ende verzweigt; Konidien dunkel, ein- oder zweizellig, eiförmig bis zylindrisch
- b) Vorkommen und wichtige Vertreter: *Cladosporium herbarum* als verbreiteter Lebensmittelverderber (besonders in gemäßigten Breiten) und auf vielen organischen Materialien.
- c) Literatur: BARNETT 1967, DE VRIES 1967, ELLIS 1971.

Kulturverhalten:

Mäßig schnell entwickeln sich dichte, samtartige Kolonien, die oft zu einem Rasen konfluieren, anfangs gelbgrün, später olivgrün bis schwarzgrün. Ein sehr gutes Erkennungsmerkmal ist die schwarze Kulturunterseite.

Dieser Pilz ist primär ein Parasit des Getreides, der während der Sommermonate ausgestreut wird. Auch in Waldhumus ist er häufig anzutreffen, also auf abgestorbenem organischen Material. Wegen seiner Anspruchslosigkeit ist er weit verbreitet. Seine Konidien sind zahlreich und wurden in Höhen bis 9000 m nachgewiesen. Auch in bodennahen Schichten ist er häufiger als andere Saprophyten wie *Fusarium spec.* oder *Botrytis spec.*.

Mikroskopisches Bild:

Innerhalb der Gattung *Cladosporium spec.* entwickeln sich zwei verschiedene Formen von Konidiophoren. Die sogenannte Clodosporiumform zeichnet sich durch Vorhandensein, die sog. Hormodendrumform

durch Fehlen einer Verlängerung des Konidiophors nach Entwicklung der ersten Serie von Konidienketten aus.

Rhizopus spec.

Kardinaltemperatur *Rhizopus stolonifer*:

Minimum: 7 bis 10°C

Optimum: 25–28°C

Maximum: 33–37°C

Wasseraktivität:

Minimum: 0,92–0,94

Optimum: 0,98

pH-Wert:

Maximum: 6,8

Morphologische Eigenschaften:

- a) Wichtige Kennzeichen: Mycel weit verzweigt und daher locker, bildet Ausläufer, die auf einer festen Unterlage wurzelartige Rhizoiden bilden; Sporangioophoren entstehen an Ausläufern gegenüber den Rhizoiden; Sporangien schwarz mit Columella und Apophyse; Sporangienwand zerfließend; Sporangiosporen kugelig bis oval, im trockenen Zustand mit Längsfalten.
- b) Vorkommen und wichtige Vertreter: Als Fäulniserreger auf Früchten, Beeren, Gemüse, Brot, auf Archiv- und Bibliotheksgut. Kommt weltweit vor.
- c) Literatur. ZYCHA und SIEPMANN 1969, SCHIPPER 1984

Kulturverhalten:

Diese als Brotschimmel bekannte Art entwickelt ihren Vegetationskörper sehr rasch, in zwei bis drei Tagen kann eine Petrischale überwachsen sein. Das hohe lockere, zunächst weiße Luftmycel wird grau bis dunkelgrau. Die schwarzen Sporangien wachsen meist bis zum Deckel der Petrischale, entwickeln sich auf den in Büscheln von fünf und mehr stehenden Sporangioophoren, sie sind stets unverzweigt. Die typischen Köpfchen sind oft schon mit bloßem Auge sichtbar.

Mikroskopisches Bild:

Das vielkernige, querwandlose Mycel bildet an Kontaktstellen mit der Kulturschale Rhizoide, aus denen Sporangioophore einzeln oder in Gruppen mit kugelfunden, schwarzen Sporangien hervorgehen. Die in

das Köpfchen reichende Columella wird deutlich sichtbar, wenn das Sporangium aufgeplatzt ist. Die Sporangiosporen (Endosporen) sind regelmäßig rund oder oval, gefurcht oder gestreift; Chlamydosporen fehlen stets.

Anmerkungen:

Rhizopus oryzae ist dem *Rhizopus stolonifer* sehr ähnlich, jedoch zeigt der erstgenannte durchwegs kleinere Abmessungen. Als fakultativ pathogene Arten wurden beschrieben: *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus arrhizus*, *Rhizopus rhizopodiformis*, *Rhizopus mikrospor*.

Von allen Arten sind *Rhizopus oryzae* und *Rhizopus stolonifer* die häufigsten Erreger menschlicher Mucormykosen.

Wissenswertes über Cladosporium spec. und Rhizopus spec.

Zusammensetzung der Atmosphäre:

Die Konidien von *Cladosporium herbarum* und *Alternaria alternata* benötigen zur Bildung von Keimhyphen einen Sauerstoffgehalt der Atmosphäre von mindestens 0,25 Prozent. Die meisten anderen Schimmelpilze stellen nur geringe Ansprüche an den Sauerstoffgehalt. So können die Sporen einiger *Mucor*-Arten und von *Rhizopus stolonifer* in reinem Stickstoff bei völliger Abwesenheit von Sauerstoff auskeimen.

Kosmopolitismus:

Als Kosmopolitismus fallen besonders die ubiquitären Pilze auf. Man begegnet ihnen nur an bzw. auf den jeweils geeigneten Substraten und unter den für die betreffenden Arten günstigen Lokalbedingungen. Eine solche Verbreitung, bei der ein bestimmter Pilz an annähernd jedem Ort vorkommt, wo er erwartet wird, gilt als kontinuierlich oder homogen.

Vorkommen in der Luft:

Außenluft:

In die Luft gelangen Sporen und Mycelfragmente von Schimmelpilzen, die im Erdboden leben. Dort entstehen vor allem in trockenen Sommermonaten die ungeschlechtlichen Fortpflanzungsstrukturen in sehr großer Zahl und werden in erster Linie durch Luftbewegungen, aber auch durch Nebeltröpfchen abgelöst. In der freien Luft ist die Lebensdauer der Pilzsporen von der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Sonneneinstrahlung abhängig. Farblose Sporen werden rasch durch die

UV-Strahlen im Sonnenlicht abgetötet. Dies führt dazu, daß die pigmentierten Sporen von *Cladosporium*, *Alternaria* u. v. a in allen untersuchten Luftproben der verschiedensten Regionen der Erde überwiegen.

Pilzsporen sind schwerer als Luft und sinken daher bei ruhiger Luft ab. Dabei treffen sie auf neue Substrate, die sie besiedeln können. Bei den in der Außenluft anzutreffenden Sporenkonzentrationen sind charakteristische Rhythmen zu beobachten. So ist meist der Sporengehalt erhöht, wenn die Temperatur hoch und die relative Luftfeuchtigkeit demzufolge niedrig ist. Die Gesamtsporenkonzentration ist daher im Winter verhältnismäßig gering und steigt in Mitteleuropa in den Monaten Mai bis September stark an (40 bis 100 Prozent Steigerung).

Naturgemäß gibt es auch im Tagesverlauf bestimmte Maximal- und Minimalwerte im Sporengehalt der Luft (diurnaler Rhythmus). Die Freisetzung der Sporen von *Cladosporium*, *Rhizopus* und *Alternaria* ist an Luftturbulenzen gebunden. Solche Schönwettersporen sind daher in besonders hoher Anzahl um die Mittagszeit in der Luft zu finden.

Interessant ist die Tatsache, daß bei besonders günstigen Konvektionsströmungen und wetterbedingt aufsteigenden Luftmassen Sporen von Schimmelpilzen über viele Hunderte von Kilometern verfrachtet werden können und dabei sogar kleinere Meere überqueren.

Innenluft:

Bedauerlicherweise beschäftigen sich verhältnismäßig wenige Studien mit der Schimmelpilzflora in Innenräumen. Erst nach dem signifikant hohen Anstieg verschiedenster Erkrankungshäufigkeiten an Arbeitsplätzen und in häuslichen Bereichen wurden solche Luftkeimmessungen in den letzten Jahren zur Routine. Da Räume häufig mehr Staub enthalten als die Außenluft und die Staubteilchen mit Sporen beladen sind, können hohe Keimgehalte auftreten, zumal eine Verdünnung durch Luftbewegungen vermindert und die abtötende Wirkung der UV-Strahlen hier fehlt. Dabei dominieren die xerotoleranten Arten von *Aspergillus* und *Penicillium* sowie Vertreter der Gattungen *Cladosporium*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Mucor* und *Absidia*.

Ein sehr hoher Anteil an Schimmelpilzsporen in der Innenluft ist immer dann zu erwarten, wenn in Innenräumen mit staubenden organischen Materialien, in Archiven und Bibliotheken mit verstaubtem, verpilztem Kulturgut hantiert wird. Risiken solcher Art herrschen natürlich auch in Scheunen und Tierställen, Mühlen, Malzfabriken, in Lederfabriken, in der Holzverarbeitenden Industrie und in Müllsortieranlagen.

Wasser:

Über das Vorkommen von Schimmelpilzen im Wasser ist nur sehr wenig bekannt. Obwohl *Cladosporium*, *Penicillium* und *Cephalosporium* und andere Schimmelpilze aus Wasser isoliert werden können, ist anzunehmen, daß Schimmelpilze nur selten im Wasser anzutreffen sind, da sie doch insgesamt optimal an das Landleben angepaßt und mit einer beachtlichen Trockenresistenz ausgestattet sind. In Restaurierwerkstätten ist natürlich wegen der Verwendung von wäßrigen Leimen und Kleistern das Risiko einer Kontamination sehr groß, daher muß auf peinlichste Sauberkeit und Lagerung der Leime in Kühlschränken sowie eine Reduzierung der in den Arbeitsräumen vorhandenen Keime durch regelmäßige Scheuer- und Flächendesinfektion geachtet werden.

Milch und Milchprodukte:

Auch Milch ist ein guter Nährboden für viele Mikroorganismen. Durch Kühlen wird der Prozeß verlangsamt, aber nicht vollständig unterdrückt, und auf jeden Fall überleben die Kontaminanten (Startpopulation). Je nach Bedingungen vermehren sich in Milch neben Bakterien viele Pilze wie *Cladosporium*, *Geotrichum*, echte Hefen, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* sowie weitere Fungi imperfekti und oft auch *Mucoraceae* (Köpfenschimmel, Zygomyceten). Das Wachstum äußert sich, wie bei gewissen Bakterien, bisweilen in der Entstehung von Kahmhäuten (sauerstoffbedürftige Hefen), oder als Schimmelbildung (Luftmycel von Fadenpilzen, das oft Konidien trägt).

Gewürze und Drogen:

Es konnte nachgewiesen werden, daß einige Gewürze ausgesprochen gute fungistatische und fungizide Eigenschaften haben. Dies ist besonders bemerkenswert, weil auch Toxinbildner in ihrem Wachstum gehemmt werden. Zu diesen Gewürzen gehören insbesondere Zimt (wirksame antimykotische Substanzen: Zimtaldehyd, Eugenol, o-Methoxyzimtaldehyd) und Gewürznelken (Eugenol).

Die Gewürze Grünes Knoblauchblatt, Senfpulver, Pfefferpulver, Thymian und Origanum zählen zu den antimykotischen Wirkstoffen.

Es gibt jedoch auch Gewürze, die das Pilzwachstum fördern. Dies ist etwa bei Sesamsamen, Rosmarinblättern, Ingwer und Ginseng der Fall.

Zucker und Süßwaren:

Nur wenige Schimmelpilze können verhindern, daß ihrem Mycel auf Substraten mit hohem Zuckergehalt und damit hohem osmotischem

Druck Wasser entzogen und damit die Zellstruktur geschädigt wird. Die Wasseraktivität von Rohrzucker liegt bei 0,60 bis 0,70. Nur wenige Pilze mit der Fähigkeit zur Bildung des Enzyms Invertase können daher auf Rohrzucker, Melassen und Maissirup wachsen. Hierzu gehören u. a. auch die Arten von *Cladosporium* (*C. herbarum*), neben *Aspergillen* und *Penicillien*.

Zusätze von vorgequollenen Rosinen in Weißbrotten können das spontane Schimmelwachstum unterdrücken. Besonders pilzhemmend ist die Zugabe von 12 Prozent zerbrochenen und 38 Prozent unzerstörten Rosinen. Die aus den Rosinen austretende Weinsäure wird dafür verantwortlich gemacht.

Fette:

Fettabbauende Enzyme sind bei Schimmelpilzen nicht so weit verbreitet wie Enzyme der Eiweiß- und Kohlenhydratverwertung; daneben hemmt auch der geringe Wasseranteil reiner Fette die Entwicklung vieler Mikroorganismen. Die vergleichsweise wenigen Schimmelpilze mit lipolytischer Aktivität können Fettbestandteile abbauen und diese Produkte verderben (werden ranzig). Zu diesen Pilzen zählen neben *Aspergillus niger*, *Penicillium roqueforti* auch die *Cladosporien* (*C. butyri*, *C. suaveolens*).

Leinen, Wolle:

Cladosporium spec. befällt auch Leinen und Wolle. Die Gemische von Pilzenzymen enthalten in der Regel Zellulasen und Proteasen. Collagen wird durch Pilze nicht zersetzt. Zum Wachstum und zur Entfaltung benötigen die Pilze ein Maximum an Feuchtigkeit. Ist diese Bedingung erfüllt, dann besiedeln sie auch Schnüre und ähnliche nährstoffarme Materialien. Nicht selten entwickeln sich an solchen Standorten als Pionierpopulation mehrere Pilze gleichzeitig und sind oft auch mit Bakterien vergesellschaftet. *Cladosporium spec.* und *Rhizopus stolonifer* kommen auf Archiv- und Bibliotheksgut sehr häufig vor, dies führt zum Abbau der Zellulose.

Kosmetika, Farben:

Cladosporium und *Rhizopus spec.* kommen auch in Kosmetika, in elektrischen Anlagen, auf Mauern, Farben und Anstrichen vor sowie in allen Lebensmitteln und in vielen Getränken.

Kautschuk:

Naturgummi wird von Mikroorganismen angegriffen – vor allem von Streptomyceten –, auch dann, wenn er mit Giftstoffen versetzt wird. In Frankreich wurde u. a. *Cladosporium cladosporioides* von Altreifen iso-

liert, der die Reifen abbaut. Diese Fähigkeit wird heute für Mülldeponien immer bedeutender.

Treibstoffe:

Sogar Treibstoffe aus Kohlenwasserstoffen, wie Kerosin, können von Schimmelpilzen befallen werden, unter denen *Cladosporium resinae* als „Kerosin-Pilz“ verbreitet ist; er baut als einziger bekannter Pilz Kerosin direkt ab. Wasser tritt bei Tanks in Form von Kondenswasser auf. Die Pilze wachsen dann an der Grenzfläche Wasser-Treibstoff und können mit ihrem Mycel Leitungen und Filter verstopfen.

Cladosporium resinae ist ein Bodenzpilz, der Substrate verwerten kann, die die Konkurrenzorganismen nicht nutzen können: Kohlenwasserstoffe, pflanzliche Öle, Wachse, Steroide, Terpene u. a. Die dominierende Rolle dieses Pilzes in Treibstoffen beruht auf folgenden Faktoren:

- Fähigkeit zur Verwertung aliphatischer Kohlenwasserstoffe im Bereich C8–C20
- Fähigkeit zur Sporulation in Kerosin
- Lange Lebensfähigkeit der Sporen in Kerosin
- Überleben bei sich wiederholendem Abkühlen (bis -40°C) und Erhitzen bis 80°C , wie es in Flugzeugtanks üblich ist.

Sogar auf Bitumenpappe konnte *Cladosporium resinae* isoliert werden.

Metalle:

Durch Ausscheidung von organischen Säuren vor allem alpha-Oxoglutar- und Zitronensäure, aber auch Isocitronen- und cis-Aconitssäure und anderen Stoffwechselprodukten können Schimmelpilze Korrosionsspuren auf der Oberfläche von Aluminium, Kupfer, Eisen und Blei hervorrufen. So kann *Cladosporium resinae* über ausgeschiedene Stoffwechselprodukte Aluminium angreifen und wird für Korrosionserscheinungen in Flugzeugtanks verantwortlich gemacht.

Mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Cladosporium spec. und Rhizopus spec.

Asthma bronchiale:

Auch *Cladosporium*- und *Rhizopus*arten zählen neben *Mucor*, *Aureobasidium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Monilia*, *Penicillium* und

Stemphylium zu den asthmogenen Schimmelpilzen. Diese Organismen sind üblicherweise im Erdreich zu finden, aber auch auf Früchten, Blättern, Rinden und Wurzelknollen von Pflanzen, die unzulänglich gelagert werden. Sie kommen alle auch auf Archiv- und Bibliotheksgut sehr häufig vor. Bereits geringe Luftbewegungen führen zu einem Zerfall der zarten Fruktifikationsstrukturen und damit zu einer Freisetzung der Sporangiosporen bzw. der Konidien. Auf Grund ihres geringen Gewichtes bleiben sie lange in der Luft suspendiert. Maximale Sporengehalte der Luft bis zu 20.000 Keime/m³ werden im Frühjahr und im Sommer angetroffen, daher ist auch in diesen Monaten die Häufigkeit pilzbedingter Asthmaanfälle besonders hoch.

Farmerlunge:

Hierbei überwiegen Konidien von Vertretern der *Aspergillus glaucus*-Gruppe und von *Cladosporien*. Nach Einatmen dieser Pilzelemente entwickelt sich bei sensiblen Menschen die Farmerlunge, deren Kennzeichen von Atemnot und Fieber bis zu Lungenstauung und Emphysem reichen. Heu, das wegen hoher Niederschläge im Sommer feucht eingefahren werden muß, ist in hohem Maße von Schimmelpilzen befallen, wobei bis zu 250 Millionen Konidien je Gramm Heu gefunden wurden. Klinische Untersuchungen ergaben, daß das schimmelpilzhaltige Heu antigenartige Substanzen enthält, die bei empfindlichen Personen allergische Reaktionen auslösen.

Nach heutiger Sicht sind vorwiegend *Aktinomyceten* (Strahlenpilze, die auch sehr häufig auf Archivgut vorkommen) für die Entstehung der Farmerlunge verantwortlich.

Mykogene Allergien:

Häufig als allergen identifiziert wurden *Cladosporium herbarum*, *Alternaria tenuis*, *Aspergillus fumigatus* (*Deuteromycetes*), *Rhizopus*-Arten.

Haut und Schleimhäute von Menschen mit besonderer Veranlagung reagieren auf Kontakt mit gewissen Partikeln überaus heftig. Heuschnupfenartige Symptome, die teilweise mit asthmatischen Beschwerden einhergehen, werden zu etwa 20 Prozent unter anderem durch Pilzsporen und in drei bis sechs Prozent der Fälle ausschließlich durch Pilzsporen ausgelöst. Die Allergenträger sind die Sporen, das Allergen selbst wurde bisher bei keinem Pilz direkt nachgewiesen. Es dürfte sich bei Pollenallergenen um Eiweiße handeln, zumal man mit Pilzsporen ebenfalls Hautreaktionen hervorrufen kann. Die Hauptreaktionen beruhen auf der Wirkung des Histamins, das als Folge der Allergeneinwirkung

frei wird. Daneben kommen bei Allergien nicht selten Hautentzündungen und Schädigungen im Verdauungstrakt vor.

Die typische Infektion erfolgt durch Einatmen von Keimen mit nachfolgender Besiedlung von Bronchien oder Lungengewebe (evtl. Ansiedlung im Bronchialsekret ohne Gewebeanvasion), als Befall von Schleimhäuten (Candidose), oder durch Hautinfektion. Die weitaus meisten Erreger finden, selbst wenn sie auf die richtige Stelle eines an sich empfänglichen Wirtes gelangen, keine für sie geeigneten Bedingungen vor. Entweder reicht die Keimzahl für eine Infektion nicht aus, oder die Keime fallen der allgemeinen Infektabwehr zum Opfer. Immunreaktionen sorgen später dafür, daß auch haftende Infektionen sich nicht ausbreiten können, trotzdem erkranken Menschen an Mykosen. Der Grund liegt darin, daß Einrichtungen der Resistenz oder Immunität des Wirtes versagt haben oder vom Erreger überspielt worden sind. Infektionschancen für die meisten Mykosen dürften fast täglich bestehen, so daß sich jeder Mensch mehrmals täglich mit *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus* oder anderen pathogenen Vertretern infizieren könnte. Beim Gesunden verläuft die Erkrankung eher unauffällig und trägt zur Entwicklung seiner Immunreaktivität bei.

Zygomyceten – Zygomykosen:

Zu den Zygomyceten gehören die Gattungen *Mucor*, *Rhizomucor*, *Rhizopus* und *Absidia*. Sie sind eine umfangreiche Gruppe von weltweit verbreiteten, sehr häufig vorkommenden Schimmelpilzen. Ihr gemeinsames Merkmal ist, daß sie sich mittels heterogeschlechtlicher Gametangien vermehren, die zu Zygosporien verschmelzen. Die letzteren haben zusammen mit ihren Trägerhyphen Jochform, daher der Name Zygo.

Nach dem Zweiten Weltkrieg änderte sich sowohl das Spektrum der Erreger wie auch jenes der Krankheitserscheinungen. Heute sind die Erreger der Zygomykose zu 90 Prozent *Rhizopus*-Arten.

Von großer Besonderheit ist, daß neuerdings neben den Vertretern der Mucoraceen nicht nur, wie bis vor einigen Jahren, *Aspergillen*, sondern eine Vielzahl sehr verschiedener anderer - bisher bei dieser Krankheitsform nicht beobachteter - Schimmelpilze vorkommt. Die wichtigsten dieser opportunistischen Erreger sind *Alternaria*- *Cladosporium*- und *Fusarium*- Arten. Im Gegensatz zu fast allen anderen Mykosen kommen diese Myceten jedoch nicht isoliert vor, sondern in Kombination mit einem ganzen „Sammelsurium“ von anderen Pilzen (meist *Candida*- und *Torulopsis*- Arten), sowie *Bakterien*. Ob diese Begleitkeime, die prak-

tisch regelmäßig vorkommen und besonders massenhaft vorzuliegen pflegen, wegbereitende Vorläufer der Schimmelpilze oder Symbionten von diesen, oder nur Parasiten sind, bedarf noch der Klärung.

II. SCHÄDIGUNG DES ARCHIVGUTES DURCH EXOGENE UND ENDOGENE FAKTOREN

Exogene Schäden

Die Hauptursachen für die Zerstörung von Archiv- und Bibliotheksgut sind exogene Schäden, also diejenigen, die nicht im Papier selbst begründet sind, sondern von außen auf das Papier einwirken.

Drei Ursachen sind dafür verantwortlich, wobei bedauerlicherweise der Mensch, also der Benutzer, der Hauptverursacher ist, und erst an zweiter Stelle die oft unbefriedigenden Depotbedingungen Schäden verursachen.

- Mechanische Beschädigungen: Einrisse, Faltbrüche, Fehlstellen, abgetrennte Teile, Beschnitt. Mechanische Schäden wie Risse und Faltbrüche sollten niemals mit selbstklebenden Folien wie Tixo, Tesa oder Neschenbändern geklebt werden. Diese verursachen Verfärbungen und nicht mehr reversible Schäden an den Beständen. Risse sollten ausschließlich mit Japanpapier und Weizenstärkekleister geschlossen werden.
- Verschmutzungen wie Oberflächenschmutz, Flecken aller Art, Wasser-, Schmutzränder und Fingerabdrücke. Oberflächenschmutz wie Ruß und Staub kann ganz ideal mit einem Tapetenreinigungsschwamm entfernt werden. Bei hartnäckigen Verschmutzungen empfiehlt es sich, eine Radiermaschine oder diverse Radierbleistifte zu verwenden. Bucheinbände, Schuber, Faszikel und Schachteln sollen mittels Staubsauger mit Keimfilter vom größten Schmutz befreit werden.
- Wärme, Sonneneinstrahlung, Feuchtigkeit, wechselnde Lichtverhältnisse, verstaubte Archivalien und Depoträume, Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen während der Jahreszeiten sowie stehende Luftverhältnisse. Diese Faktoren führen zum explosionsartigen Auskeimen von Mikroorganismen. Bereits nach einigen Ta-

gen können bei ungünstigen Depotbedingungen die ersten Schimmelpilzanhäufungen auftreten. Pilze und deren Sporen sowie Bakterien sind allgegenwärtig und werden durch direkten Kontakt, durch die Kleidung von Kontaktpersonen oder durch Luftbewegung übertragen. Sie bevorzugen Umweltbedingungen mit Temperaturen über 20° C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 55 Prozent.

Auf die Vielzahl anderer exogener Schäden wie chemische Schäden, zu denen die Kontaktschäden, Behandlungsschäden, Säureschäden wie Tintenfraß und Grünfraß sowie Lösungsmittelinklusionen und Umweltschäden zählen, näher einzugehen, würde den Rahmen dieses Beitrages bei weitem sprengen. Das gleiche gilt auch für alle physikalischen Schäden wie Vergilbung und Verbräunung, die thermischen Schäden und die Alterungsschäden schlechthin.

Endogene Schäden

Die Ursachen für endogene Schäden sind die schlechte Faserstoffqualität bei der Papierherstellung, die Masseleimung und diverse Beschreibstoffe.

Die Gründe für die geringe Haltbarkeit der industriell hergestellten Papiere liegen sowohl bei dem im vorwiegend sauren Bereich ablaufenden Produktionsverfahren, als auch im kurzzeitigen Holzschliffanteil und dem zur Papierleimung und Blattbildung verwendeten Aluminiumsulfat. Die hydrolytische Zersetzung des Aluminiumsulfates mit Wasser ist ein Prozeß, der durch Freisetzung von Sulfat-Ionen zur Bildung von Schwefelsäure führt. Das Aluminiumsulfat setzt sich mit Wasser zu verdünnter Schwefelsäure um, da jedes Papier mit seiner Umwelt in einem Feuchtigkeitsgleichgewicht steht und demzufolge Wasser enthält. Es wirkt solange die verdünnte Schwefelsäure auf die Fasern ein, bis alle Sulfat-Ionen entweder umgesetzt oder anderwärtig gebunden sind. Das Ergebnis ist ein saures, brüchiges Papier.

Beschleunigt wird die Säurebildung und gleichzeitig auch die Alterung des Papiers durch ungünstige Aufbewahrungsbedingungen wie zu hohe Luftfeuchtigkeit und Temperatur, Schwankungen des Raumklimas sowie Verunreinigungen der Luft mit Schwefeldioxyd und Stickoxyden. Diese Oxyde bilden mit Wasser Säuren, die sich im Papier anreichern. Daher ist die aus Holz gewonnene Zellulose auch viel weniger gegen Säureinflüsse beständig als die früher gewonnene Zellulose aus Baumwolle, Leinen oder Hanf.

Das komplexe Gebiet der endogenen Schäden, sowie einige Anforderungen an alterungsbeständige moderne Papiere und die verschiedenen Möglichkeiten der Konservierung wie die industrielle Anwendung von Massensäuerungsverfahren sollen hier näher erörtert werden.

Ursachen für den massiven Papierzerfall

- Die im Papier, also bei der Herstellung schon begründeten *endogenen Ursachen*. Nur bei diesen hat der Papiermacher bzw. die Industrie Möglichkeiten, grundsätzliche Verbesserungen zu realisieren.
- Die von der vorgesehenen Benutzung verursachten Alterungen, wie Tintenfraß, Einfluß von Druck- und anderen Farben und Firnissen.
- Die Einflüsse aus der Umwelt, die wie die Luftfeuchtigkeit, Luftverunreinigungen, Schwefeldioxyd, Oxydation und dem Luftsauerstoff, Licht und Wärme dem Zellstoff und dem Holzschliff schaden können.

Die beiden letztgenannten Ursachen sind die sogenannten *exogenen Ursachen* des Alterns, also diejenigen, die nicht im Papier selbst begründet sind, sondern von außen auf das Papier einwirken.

Maschinelle Papierherstellung

Die Alterungsbeständigkeit nahm mit zunehmender Papierherstellung seit Einführung der maschinellen Herstellung ständig erschreckend ab, immer mehr Bestände erreichten die Grenze ihrer Haltbarkeit bereits nach einem Alter von 50 bis 80 Jahren.

Mit der Entdeckung der bleichenden Wirkung von Chlor und Hypochloriten am Ende des 18. Jahrhunderts und der Entwicklung von Verfahren zur Aufhellung farbiger Hadern war ein Meilenstein in der erhöhten Verfügbarkeit von Fasermaterial gesetzt.

Die für uns heute große Probleme bereitende, damals revolutionäre Erfindung von Moritz Friedrich Illig im Jahr 1806 ermöglichte die Masseleimung, das ist eine Harz-Alaun-Leimung, die aber erst rund zwanzig Jahre später mit der Einführung und der Verbreitung von Papiermaschinen ihre große Bedeutung erlangte. Sie war ein großer technischer Fortschritt, denn bis dahin mußten alle Papiere, um beschreibbar gemacht zu werden, nach der Herstellung und dem ersten Trocknungsvorgang in eine Tierleimlösung getaucht und ein zweites Mal getrocknet werden. Die Illig'sche Harzleimung ist bis zum Ende der achtziger Jahre

dieses Jahrhunderts dem Prinzip nach beibehalten worden. Illigs Papiermühle in Eberstadt bei Darmstadt besteht auch heute noch.

Als Rohstoff für die Harzleimung wird Kolophonium verwendet; da die Harzsäuren des Kolophoniums aber nicht wasserlöslich sind, müssen sie in eine wasserlösliche Form umgewandelt werden. Dies geschieht über Verseifen mit Alkalien oder durch die Dispergierung der Harzteilchen. Die Harzkolloidteilchen werden dann durch einen Zusatz von Aluminiumsulfat ausgeflockt und auf den Fasern fixiert.

Das Aluminiumsulfat ist auch heute noch als ein hervorragendes Flockungsmittel für die Faserstoffsuspension in Verwendung. Es fördert die Retention, das heißt die Zurückhaltung der Fasern auf dem Sieb und auch die Zurückhaltung von Feinfasern und Füllstoffen.

Der technische, kulturelle und wissenschaftliche Fortschritt im 19. Jahrhundert verstärkte die Nachfrage nach Papier, intensiv wurde nach alternativen Faserrohstoffen gesucht. Den Durchbruch brachte die Erfindung der Holzschliffherzeugung durch Friedrich Keller im Jahr 1844 dank einer aufmerksamen Beobachtung in seiner Jugendzeit. Seine Holzschliffmaschine war ein kleiner, handbetriebener Schleifstein, der unter Wasserzufluß ein angepreßtes Stück Fichtenholz zerfaserte, und aus dem so gewonnenen Faserstoff wurde in der Papiermühle Alt-Chemnitz mit einem Zusatz von 1/3 Haderstoff das erste Holzschliffpapier hergestellt. Bereits im Oktober 1845 wurde das Krankenberger Kreisblatt auf reinem Holzschliffpapier gedruckt. Es dauerte gar nicht lange, und das Holzschliffpapier kam in Verruf, da es rasch vergilbte, brüchig wurde und nur wenig Festigkeit aufwies. Unzählige Versuche, die Ursachen der Vergilbung aus dem Holzschliff zu entfernen, führten in der Folge zu verschiedenen Aufschlußverfahren und zur Erfindung des aus Holz gewonnenen Zellstoffs. Dies war 1854 der Sulfatzellstoff, 1863 der Sulfitzellstoff und 1921 der Chlorzellstoff, auf die ich hier aber nicht näher eingehen möchte.

Schadensausmaß

Die im Papier ablaufenden Alterungs- und Zerfallsprozesse werden durch zahlreiche komplexe chemische und physikalische Vorgänge bestimmt, in denen sich hydrolytische und oxydative Prozesse überlagern. Wichtig ist dabei der Abbau der aus Zellulose bestehenden Faserstruktur durch die Verringerung des Polymerisationsgrades, das heißt der langkettigen Zellulosemoleküle, zu kurzen Bruchstücken. Natürliche Zellstoffmoleküle weisen Kettenlängen um 10.000 Einheiten auf, im Holz-

zellstoff liegen nur mehr Ketten von 1000 bis 2000 Einheiten vor. Bei 500 Einheiten macht sich erst ein Festigkeitsverlust bemerkbar, bei Faserlängen unter 200 ist das Papier bereits völlig brüchig.

Erhaltung gefährdeter Druckwerke

Prinzipiell werden in den Bibliotheken und Archiven vier Wege beschrieben, um das gedruckte kulturelle Erbe zu bewahren:

- Übertragung des Textes auf andere Datenträger, wie Mikrofilme. Auch magnetische und optische Speicher sind als Medien hierzu in der Entwicklung.
- Eine besondere, aber teure Form der Sicherung und Übertragung eines Textes ist auch das Nachdrucken eines Werkes.
- Restauratorische Verfahren zur Erhaltung von Büchern und Archivalien im Original. Meist werden naß-chemische Verfahren zur Neutralisation von Archivalien eingesetzt.
- Erhaltung von Büchern im Originalzustand durch die Anwendung chemischer Stabilisierungsmaßnahmen wie Massenentsäuerungsverfahren.

Massenentsäuerungsverfahren

Das Grundprinzip zur Behebung der Schäden ist bei allen Verfahren gleich: die im Papier enthaltene Säure wird nachträglich auf chemischem Wege neutralisiert. Die Aufgabe eines Massenentsäuerungsverfahrens ist die Verbesserung der Alterungsbeständigkeit von Papier und die Verlängerung der Lebensdauer von Büchern.

Die Entsäuerung von Archivalien sollte zu einem möglichst frühen Zeitpunkt erfolgen, denn sie bewirkt derzeit nur eine Verlängerung der Restlebensdauer, die die Archivalien entsprechend ihres Zustandes zum Zeitpunkt der Behandlung besitzen. Eine Festigung des Papiers oder sogar die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes kann damit nicht erreicht werden.

Anforderungen an Massenentsäuerungsverfahren

- Vollständige und dauerhafte Neutralisation aller Säuren
- Einbringen einer ausreichenden Menge eines alkalischen Puffers und die gleichmäßige Verteilung der Substanz

- Verträglichkeit mit verschiedenen Materialien der Objekte wie Papiersorten, Einbände, Farben und Schreibstoffe
- Kein Ausselektieren des Behandlungsgutes
- Realisierbarkeit des Verfahrens zu vertretbaren Kosten
- und schließlich muß für die Umweltverträglichkeit und Sicherheit des Bedienungs-personals und der Benutzer gesorgt werden

1. Verfahren: *DEZ (Diethyl-Zink-Verfahren)*

Die Library of Congress (LOC) als größte Bibliothek Amerikas legte bei ihren Entwicklungen vor allem Wert auf die Forderung nach einer hohen Jahreskapazität und die Verträglichkeit mit allen Buchmaterialien ohne Vorauswahl. Das Ziel war, die 14 Millionen Bücher und 350.000 Neuzugänge im Jahr innerhalb von 20 Jahren zu neutralisieren. Dies ergibt eine erforderliche Jahreskapazität von 1 Million Bänden.

Es werden derzeit ca. 25 Prozent der Bestände als so stark geschädigt eingestuft, daß eine weitere Benutzung unterbleiben muß. Weitere 77.000 Bände erreichen zusätzlich jedes Jahr diesen Zustand.

Die Wirkungsweise der DEZ-Anlagen ist nun folgende:

Das bei Unterdruck in der Gasphase ablaufende Verfahren arbeitet mit der metallorganischen Verbindung Diethylzink, welches die Säuren im Papier unter Bildung von Zinksulfat neutralisiert.

Säure und DEZ \mapsto Zinksulfat und Ethan

Weiters reagiert DEZ mit Spuren von Wasser im Papier :

Wasser und DEZ \mapsto Zinkoxyd und Ethangas

Der DEZ-Prozeß besteht aus drei großen Arbeitsgängen:

1. Vortrocknung ca. 25–30 Stunden
2. DEZ-Behandlung ca. 6–9 Stunden
3. Wiederbefeuchten ca. 7–8 Stunden

Mit verschiedenen anderen Zwischenschritten wird die Dauer eines Behandlungszyklus mit 45 bis 55 Stunden angegeben. Der Verfahrensablauf kann wegen der Kürze dieses Berichtes nicht erörtert werden.

Sicherheit des Verfahrens:

DEZ ist prinzipiell als gefährliche Substanz einzustufen. Die eigentliche Gefahr liegt in der Selbstentzündung des Gases und der Explosionsfähigkeit im Brandfall. DEZ ist ferner selbstentzündlich bei Kontakt mit Luft, da das entstehende Ethangas einen gefährlichen Überdruck in geschlossenen Behältern aufbauen kann.

Bedauerlicherweise haftet den behandelten Objekten ein unangenehmer Geruch an, Bücher weisen puderartige Rückstände auf und fallweise wurden Klebebindungen und Farbdrucke zerstört. Weiters ergab sich bei Festigkeitstests eine stark verringerte Falzungsfestigkeit. Der Kongreß hat daraufhin für 1991/92 den DEZ-Gasprozeß eingestellt und alle Geldmittel eingefroren.

2. Verfahren: *MMC (Methylmagnesiumcarbonatverfahren)*

Dieses Verfahren wurde Ende der sechziger Jahre an der Universität von Chicago entwickelt und bereits 1972 patentiert. Die erste Großanlage ist in Ottawa seit 1981 im halbtechnischen Maßstab in Betrieb, hier können im Jahr ca. 20.000 Bände behandelt werden.

Verwendet wird die basische Verbindung Magnesium-Methylcarbonat MMC in methanolischer Lösung. Sie wird mit einem Flüssigsgemisch, das als Transportmittel dient, etwa im Verhältnis 1:10 vermischt.

Die Neutralisation der Säuren erfolgt unter Bildung von Magnesiumsulfat, das überschüssige Reagenz verbleibt in Form von Mg-Hydroxyd als alkalischer Puffer im Papier. Das im Überschuß vorhandene Methanol als polares Lösungsmittel ist mit verschiedenen Materialien, Farben und Stoffen des Archiv- und Bibliotheksgutes unverträglich, deshalb wird es verdünnt angewendet. Als sicheres Transport- und Verdünnungsmittel dienen Fluorchlorkohlenwasserstoffe, wie Frigen R-12 und R-13. Diese gelten wie bekannt als eine der Ursachen für die Schädigung der Ozonschicht, daher müßte das Lösungsmittel unbedingt in einen geschlossenen Kreislauf gelangen bzw. vollständig aus dem Archivgut entfernt werden. Zur Behandlung gelangen nur neue Objekte aus der Katalogisierungsabteilung. Vom Bedienungspersonal wird eine visuelle Auswahl nach Eignung bzw. Verträglichkeit mit der Lösung durchgeführt. Es wird auf Format, Einbände, Drucktinten, Farben und Stempel geprüft.

Nachteile dieses Verfahrens:

Verschiedene schädliche Nebeneffekte, insbesondere das Auslaufen bestimmter Druck- und Stempelfarben, das Schrumpfen von Taschenbucheinbänden, ein teilweises Ab- und Einreißen der Bestände sowie eine ungleichmäßige Magnesiumaufnahme im Buchblock wurde beobachtet. Außerdem zeigen die Objekte nach der Behandlung eine leichte gelbliche Verfärbung, und es haftet ihnen ein relativ starker Methanolgeruch, der gesundheitsschädlich ist, an.

Die Investitionskosten sind im Vergleich zum DEZ Prozeß geringer, die Entwicklungs- und Baukosten betragen etwa 500.000 US-Dollar.

3. Verfahren: *Das Gefriertrocknungsverfahren*

Das an der Österreichischen Nationalbibliothek entwickelte Verfahren zur Konservierung von Zeitungsbänden basiert auf einer Tränkung des Papiers im wäßrigen Medium. Die Behandlung beinhaltet die Neutralisation des Papiers und seine gleichzeitige Verstärkung. Diese Methode erlaubt – im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Verfahren – die Wiederherstellung bereits versprödeter oder unbenutzbar gewordener Objekte, aber auch die vorbeugende Behandlung noch ungeschädigter Holzschliffpapiere. Die gleichzeitige Neutralisierung und Festigung bietet den Vorteil, daß neben der wesentlichen Entsäuerung und dem Aufbau einer alkalischen Reserve im Papierfließ das zusätzliche Einbringen eines Festigungsmittels die durch Oxydation verursachten Abbauerscheinungen des Papiers verlangsamt.

Als Entsäuerungsmittel wird das flüssige Calciumhydroxyd und zur Verstärkung des Papiers eine niedrigviskose Methylzellulose verwendet. Nach der Tränkung werden Objekte bei einer Temperatur von -40°C schockgefroren und anschließend gefriergetrocknet. Die Gefriertrocknung verhindert ein Verkleben der einzelnen Seiten.

Das Verfahren gestattet grundsätzlich die Behandlung ganzer Buchblöcke nach Entfernung der Einbände. Ca. 80 Zeitungsbände pro Woche können nach diesem Verfahren behandelt werden.

Die Bände werden gewaschen, durch Quellung regeneriert und flexibel gemacht, entsäuert, gepuffert und gefestigt.

Das System ist vollkommen umweltfreundlich, ungefährlich in der Bedienung und frei von Entsorgungsproblemen.

4. Verfahren: *Die Methode des Papierspaltens*

Für die Mengenrestaurierung von mechanisch stark geschädigtem Archiv- und Bibliotheksgut ist die in den sechziger Jahren in Leipzig und Jena entwickelte Methode des Papierspaltens entstanden. Bei diesem Verfahren wird das Objekt in ein spezielles, naßfestes Papierfließ geleimt und mit Hilfe des Trägerpapiers in der Blattmitte auseinandergespaltet.

Unter Spalten versteht man das Trennen der beiden Oberflächen eines Objektes. Ist dies erfolgt, klebt man eine innere Stütze, z. B. ein dünnes Japanpapier mit einem eingebrachten Neutralisierungsmittel als Papierkern ein. Nach dem Zusammenfügen der beiden Oberflächen

wird das Trägerpapier abgelöst, und das Original hat seine ursprüngliche Festigkeit wiedererlangt.

Technisch gesehen stellt dieses Verfahren eine hervorragende Lösung für die Langzeitstabilisierung von Holzschliffpapier dar und erlaubt bei entsprechendem Automatisierungsgrad die rasche Behandlung einer großen Anzahl von Objekten.

Anforderungen an alterungsbeständige moderne Papiere

1. Säurefreiheit, also ein pH Wert von 7,0–10
2. Alkalische Reserve von mindestens zwei Prozent Calciumcarbonat
3. Das Papier muß ligninfrei, der Ligningehalt sollte kleiner als ein Prozent sein
4. Mindestreißwiderstand von 350–500 mN (Millinewton) muß erfüllt werden
5. Papier darf nicht chlorgebleicht, sondern nur mit Sauerstoff gebleicht sein
6. Forderung nach hochwertig gebleichtem Langfaserkraftzellstoff, dieser entspricht dem Hadernpapier des 16. Jahrhunderts.
7. Papier sollte frei von optischen Aufhellern sein, denn diese vergilben mit oder ohne Lichteinfluß im Laufe der Zeit.

In einem Bericht von Prof. Dr. Dessauer, dem wohl bekanntesten deutschen Papiermacher und Technologen, ist zu entnehmen, daß ein wunderbar alterungsbeständiges Papier noch vor einigen Jahren einfach unverkäuflich war, da es ohne optische Aufheller gefertigt wurde.

Daher ist die Feststellung, daß die Erzeugung von alterungsbeständigem, neutralem Papier kein Forschungsthema und kein Problem für die Papierindustrie mehr darstellt, sondern eine reine Marktfrage ist, umso erstaunlicher. Diese Marktfrage wird wesentlich dadurch bestimmt, wie die Verantwortlichen, die die Dokumente hinterher verwahren müssen, ihre Behörden beim Papiereinkauf beraten.

Mengenrestaurierung und Konservierung im Steiermärkischen Landesarchiv

Seit mehr als zehn Jahren ist die Verfasserin dieses Berichtes nun bereits mit der Leitung der Werkstätte für Restaurierung am Steiermärkischen Landesarchiv betraut. Sowohl in personeller Hinsicht als auch in

der räumlichen Ausstattung der Werkstätte, aber auch in der Effizienz der Restaurierungs- und Konservierungsarbeiten gab es in dieser Zeit grundsätzliche Veränderungen und Schwerpunkte.

Generell sagt die Stückzahl der restaurierten Archivalien pro Jahr eigentlich recht wenig über die Produktivität und Rentabilität aus, denn diese hängen nicht ausschließlich von der Personalstärke, der maschinellen Ausrüstung und der Organisation ab, sondern vom Zustand und Schadensbild der zu restaurierenden Archivalien und vor allem vom Maßstab, den man qualitativ an die Restaurierungsarbeit anlegt.

Unsere Maßstäbe sowie die grundsätzlichen Anforderungen, die wir an die Archivalienrestaurierung stellen, sollen hier kurz erläutert werden:

1. Wir restaurieren zu 98 Prozent handgeschöpftes Hadernpapier, ganz selten historisch wertvolle Bestände von maschinell hergestellten Papieren.
2. Wir führten bis jetzt noch keine Massenkonservierung von Zeitungsbänden oder Neuakten durch.
3. Wir verwenden grundsätzlich keine synthetischen Hilfsmittel, wie etwa Selbstklebestreifen oder Neschenfolien, zum Schließen von Rissen. Ihr Ablösen bereitet, wie unsere traurigen Erfahrungen an einem großen, bedeutenden Bestand gezeigt haben, nach fünf bis zehn Jahren größte Schwierigkeiten, bzw. ist es uns teilweise gänzlich unmöglich, die selbstklebenden Streifen ohne Substanzverlust der Objekte mit für das Papier vertretbaren Methoden oder Lösungsmitteln zu entfernen.
4. Ähnliche Bedenken bezüglich der Bewahrung der Identität von Archivalien haben wir beim Laminieren von handgeschöpften Papieren, also beim Einschweißen der Archivalien in Kunststofffolien. Obwohl sich auf diese Weise die Stückzahlen beträchtlich erhöhen ließen, halten wir uns lieber an altbewährte Methoden, bis die Fragen der Unbedenklichkeit und Alterungsbeständigkeit, die uns noch nicht genügend gesichert erscheinen, eindeutig geklärt sind. Auch schützt eine Lamination nicht gegen Pilzbefall, sowohl auf als auch unter der Laminationsschicht ist massiver Mikroorganismenbefall aufgetreten.
5. Wir lehnen auch jede Hitzebehandlung, ja sogar trocknungsbeschleunigende Geräte in der Restaurierung ab, da doch die Hitzebehandlung nachweisbar zu einer Zellulosedegradation, also zu einem rascheren Abbau führt und den Polymerisationsgrad der Archivalien beträchtlich herabsetzt.

6. Prinzipiell werden stark verschmutzte, extrem pilz- und bakterienbefallene sowie stark tintenfraßgeschädigte Archivalien einer wäßrigen Behandlung unterzogen, um die Blattfestigkeit positiv zu beeinflussen und die Bildung von neuen Wasserstoffbrücken zu fördern. Unserer Meinung nach ist die Entfernung aller wasserlöslichen Verschmutzungen ein besonders wichtiger Schritt in der Restaurierung, und wir sind überzeugt, daß ihre Unterlassung auch durch die Einsparung an Arbeitszeit und Personal nicht gerechtfertigt ist.

Auflistung der Restaurierungs- und Konservierungszahlen von 1989 bis 1998

1989: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 1 Person davon ab 1. Mai, 1 geschützte Arbeitskraft 100% Beschäftigung ab 1. Dezember

- 22.158 Andachtsbilder von Karton abgelöst
- 5.320 Folien Totalrestaurierung
- 6.000 Folien Sprühdesinfektion, Trockenreinigung, Risse schließen
- 96 Blatt Einzelblattrestaurierung

1990: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 1 geschützte Arbeitskraft 100% Beschäftigung, 2 Ferialpraktikanten:

- 12.413 Folien Totalrestaurierung
- 6.000 Folien Trockenreinigung, Sprühdesinfektion und Schließen von Rissen
- 87 Folien Einzelblattrestaurierung

1991: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 1 geschützte Arbeitskraft 100% Beschäftigung, 3 Ferialpraktikanten

- 11.506 Folien Totalrestaurierung
- 15.663 Folien Konservierung d. h. Trockenreinigung und Schließen von Rissen
- 840 Folien Buchblockwäsche
- 363 Folien Einzelblattrestaurierung
- 33 Laufmeter NS-Literatur vom Archivgebäude Karmeliterplatz wurden desinfiziert
- aus 123 Schubern (Archivgebäude Hamerlinggasse) verpilzte Archivalien aussortiert und zur Vergasung nach Wien transportiert

1992: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 1 geschützte Arbeitskraft
100% Beschäftigung, 6 Ferialpraktikanten

- 10.449 Folien Totalrestaurierung
- 25.212 Folien Konservierung
- 2.655 Folien Sprühdesinfektion und Risse geschlossen
- 493 Stück Einzelblattrestaurierung
- 580 Laufmeter pilzbefallene Protokollbücher entstaubt und desinfiziert

1993: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 2 geschützte Arbeitskräfte
100% Beschäftigung, 1 Person davon ab 1. Dezember, 7 Ferialpraktikanten

- 13.632 Folien Totalrestaurierung
- 12.749 Folien Konservierung
- 3.345 Folien Sprühdesinfektion und Risse geschlossen
- 2.016 Folien Sprühneutralisation
- 699 Folien Buchblockwäsche
- 1.333 Stück Einzelblattrestaurierung

1994: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 3 geschützte Arbeitskräfte
100% Beschäftigung, 1 Person davon ab 1. Juni, 8 Ferialpraktikanten:

- 16.962 Folien Totalrestaurierung
- 10.752 Folien Konservierung (Trockenreinigung und Risse schließen)
- 3.811 Folien Sprühdesinfektion und Risse geschlossen
- 2.162 Folien Neutralisation
- 1.035 Folien Buchblockwäsche
- 845 Stück Einzelblattrestaurierung
- 20.000 Folien gereinigt und sprühdesinfiziert, mit Fön und Ventilator getrocknet

1995: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 3 geschützte Arbeitskräfte
100% Beschäftigung, 13 Ferialpraktikanten:

- 17.625 Folien Totalrestaurierung
- 13.968 Folien Konservierung (Trockenreinigung und Risse schließen)
- 1.704 Folien Sprühdesinfektion und Risse geschlossen, abgebauete Teile im Buchblock mit Japanpapier verstärkt
- 2.101 Folien Sprühdesinfektion und Ventilatorrocknung
- 5.129 Folien Neutralisation

- 229 Stück Einzelblattrestaurierung
- 34 Laufmeter verpilzter Buchbestand (Archivgebäude Karmeliterplatz) gereinigt und desinfiziert
- 28 Bücher auf erhabene Bünde geheftet und Zweckeinband angefertigt, bzw. in alten Einband zurückgebunden

1996: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 3 geschützte Arbeitskräfte 100% Beschäftigung, 6 Ferialpraktikanten

- 16.996 Folien Totalrestaurierung
- 2.107 Folien Konservierung
- 599 Folien Sprüh- bzw. Tauchdesinfektion und Risse geschlossen, abgebaute Teile im Buchblock mit Japanpapier verstärkt
- 3.146 Folien Neutralisation
- 629 Stück Einzelblattrestaurierung
- ca. 100.000 Folien aufgefächert und getrocknet, davon 5.500 Folien verpilzter Akten foliiert, desinfiziert und mit Ventilator getrocknet
- 152 Bücher desinfiziert
- 15 Faszikel ca. 10.000 Folien (Wassereintritt im Archivgebäude Karmeliterplatz) mit Fön und Ventilator getrocknet und sortiert
- 27 Bücher auf erhabene Bünde geheftet und Zweckeinband angefertigt

1997: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 6 geschützte Arbeitskräfte, davon 1 Person ab Mai 50% Beschäftigung und 2 Personen ab Mai 100% für 1 Jahr, 5 Ferialpraktikanten

- 28.873 Folien Totalrestaurierung
- 9.291 Folien Konservierung
- 1.103 Folien Tauchdesinfektion
- 1.104 Folien Buchblockwäsche
- 220 Bücher desinfiziert
- 251 Folien Einzelblattrestaurierung
- 67 Bücher auf erhabene Bünde geheftet und Zweckeinband angefertigt

1998: Personalstand: 2 Restauratorinnen, 8 geschützte Arbeitskräfte, davon 5 Personen 50% Beschäftigung, 3 Ferialpraktikanten

- 26.617 Folien Totalrestaurierung
- 8.018 Folien Konservierung
- 4.149 Folien Desinfektion, Neutralisierung und Verleimung
- 1.358 Folien Tauchdesinfektion

- 220 Folien Anfasierung
- 108 Bücher Desinfektion und Restaurierung
- 206 Folien Einzelblattrestaurierung
- 62 Bücher auf erhabene Bünde geheftet und Zweckeinband angefertigt

Erklärungen zum Restaurierungs- bzw. Konservierungsaufwand

Totalrestaurierung (großer Zeit- bzw. Arbeitsaufwand): Archivalien werden mit Raderschwämmen bzw. Radiermaschinen trockengereinigt, Pilzsporen abgekehrt, Bestände foliiert, bei Büchern erfolgt das Zerlegen in Einzellagen und Lösen der alten Verleimung im Buchrücken, danach werden die Folien zwischen Siebe gelegt, mit speziell hergestelltem Desinfektionsmittel im Bad desinfiziert, bei Bedarf mit Papierwaschmittel gewaschen, danach für einige Stunden geschwemmt, neutralisiert und mit einem alkalischen Puffer versehen, ein- bzw. beidseitig je nach Schaden kaschiert (Aufbringen eines dünnen Japanpapiers als Stütze), dabei mit Methylzellulose verleimt, danach zwischen Pappen und Holytex über Nacht eingepreßt, dann zum Austrocknen auf Stapeltrockner gelegt, danach beschnitten.

Bei rund der Hälfte aller Archivalien ist eine Ergänzung der Fehlstellen mit dickem Japanpapier notwendig, danach müssen die angesetzten Teile nochmals verleimt und eingepreßt werden. Abschließend erfolgt die Beschneidung der ergänzten Teile und das Sortieren des Bestandes.

Konservierung (relativ geringer Zeitaufwand): Konservierung bedeutet Trockenreinigung und Risse schließen. Aktenbestände oder Bücher, die starken Oberflächenschmutz aufweisen, werden gründlich mit Tapetenreinigungsschwamm und Radiermaschine gereinigt, da sie weder starken Tintenfraß noch Pilzbefall aufweisen werden die zahlreichen Risse mit Japanpapier und Kleister geschlossen, um ein Weiterreißeln bei der Benützung zu verhindern.

Sprühdesinfektion (relativ großer Zeitaufwand, muß im Freien und mit Schutzmasken ausgeführt werden): Wird meist bei Büchern, nur selten bei Akten durchgeführt. Mit dieser Methode kann das Auseinandernehmen der Buchblöcke und somit das Neubinden bzw. -heften vermieden werden. Bücher werden trockengereinigt, mittels Kompressor bzw. Sprühflasche mit speziellen Desinfektions- und Konservierungsstoffen

desinfiziert. Anschließend erfolgt das Trocknen mittels Fön und Ventilator. Es werden alle Risse geschlossen, Ecken mit Japanpapier verstärkt und die durch Mikroorganismen abgebauten Bereiche im Buchblock Seite für Seite mit dünnem Japanpapier verstärkt.

Neutralisation: Archivalien, die leichten Tintenfraß, aber noch keine ausgebrochenen Schriftzüge aufweisen, bzw. herstellungsbedingte säurehaltige Papiere werden trocken gereinigt, gewaschen, geschwemmt, neutralisiert, verleimt, eingepreßt und sortiert.

Einzelblattrestaurierung: Teilweise sehr großer Zeit- und Arbeitsaufwand, da spezielle Restaurier- bzw. Konservierungstechniken angewendet werden müssen.

Buchblockwäsche (relativ geringer Zeitaufwand): Ist nur möglich, wenn Buchblock verschmutzt oder Wasserränder vorhanden sind, nicht möglich bei Pilzbefall, abgebauter Zellulose oder starkem Tintenfraß. Es werden nur der Einband und die Heftschnüre entfernt, Buchblock wird wäßrig behandelt und mit alkoholischer Zellulose im Bad verleimt. Danach wird lagenweise getrocknet und wieder zusammensortiert.

Tauchdesinfektion: Wird bei Archivalien mit Siegeln oder schwacher Tinte angewendet, die nicht im Bad desinfiziert werden können, da sie einer Desinfektion über 30 Minuten im Bad und/oder einer wäßrigen Behandlung nicht standhalten würden.

Andachtsbilder: Im Zuge der Amtshilfe wurden für das Volkskundemuseum Andachtsbilder, die auf säure- und holzschliffhaltigen Karton aufgeklebt waren, unter teilweise großem Zeitaufwand abgelöst, teilweise wäßrig behandelt, einige hunderte auch gebleicht und verleimt.

Anfaserung: Anstelle der händischen Ergänzung von Fehlstellen wird mittels eines Anfaserungsgerätes eine wäßrige Fasersuspension durch das Objekt durchgesaugt, der Faserbrei lagert sich an allen Fehlstellen und Löchern an, hiermit können in einem Arbeitsvorgang alle Fehlstellen geschlossen werden. Dieses Gerät wurde erst im Oktober 1998 angekauft.