

Schädigung der Archivalien durch Aktinomyzeten

Von Ingrid Hödl

In den letzten Jahren ist sowohl im Steiermärkischen Landesarchiv als auch im Oberösterreichischen Landesarchiv ein erschreckendes Ansteigen des Wachstums von Aktinomyzeten auf Archivalien festzustellen.

Das Schadensausmaß ist außerordentlich groß, die befallenen Archivalien sind splittrig und versprödet, gleich einem miserablen Holzschliffpapier. Das Hadernpapier ist stark gebräunt und bricht bei der leisesten Berührung, die Schrift ist in den meisten Fällen unkenntlich.

Es hat sich gezeigt, daß das Auftreten der Strahlenpilze und die daraus resultierende Schädigung an Archivalien in unwahrscheinlich kurzer Zeit vor sich geht. Nach zwei bis vier Jahren ist eine extrem starke Versprödung der Archivalien feststellbar.

Archivgut ist eigentlich schon von der Substanz her (Zellulose, Lignin, Eiweiß, Leime, Pergament und Leder) potentielles Nahrungsmittel und Lebensgrundlage für Mikroorganismen. Dies ist zwar etwas kraß ausgedrückt, aber es entspricht den Tatsachen. Die Aufgabe, Bücher und Dokumente zu bewahren, verlangt, daß man diese auch vor Mikroorganismen schützt.

Dies ist ausschließlich durch optimale Depotbedingungen und passive Konservierung möglich. Diese Maßnahmen sollen in der Zusammenfassung näher erörtert werden.

Charakteristische Kennzeichen und Eigenschaften der Aktinomyzeten:

- Die Aktinomyzeten nehmen unter den Bakterien eine besondere Stellung ein. Bis vor zehn Jahren wurden sie zu den Pilzen gerechnet, da ihre Zellen myzelartig wachsen, deshalb findet man sie heute noch unter der nicht fachmännischen Bezeichnung „Strahlenpilze“. Die Bezeichnung geht auf die anaerob lebende Art „Aktinomyces bovis“, den Erreger der Aktinomykose, der „Strahlenpilzkrankheit“ der Rinder, zurück. Die sich im Gewebe und am Kieferknochen bildenden Drusen haben eine strahlige Struktur.

- Sie wachsen – wie die wirklichen Pilze – mit fädigen Vegetationsorganen, mit Hyphen, deren Gesamtheit, das „Pilzgeflecht“, als Myzel bezeichnet wird. Dieses neigt dazu, in bakterienartige Stücke zu zerfallen.
- Der Strahlenpilz besitzt demnach keinen echten Zellkern mit Chromosomen und Kernkörperchen und vermehrt sich durch einfache Zellteilung. Die fadenförmige Zelle verzweigt sich und ist unbeweglich.
- Die Aktinomyzeten lassen sich auf einfachen Nährböden – bei Anwesenheit von Sauerstoff, da sie aerob sind – relativ leicht kultivieren und an Hand des Wachstums in der Kultur an der Bildung von Luftmyzel und Substratmyzel, der Bildung von Sporen und Sporangien, einigermaßen leicht identifizieren.
- Die Struktur der Sporophoren (Lufthyphen) – ob gewellt, spiralg, gebündelt, wirtelig –, die Kolonieförmigkeit, -farbe und -größe sowie der Geruch bieten Merkmale der Unterscheidung der vielen Arten der Stämme.
- Einige Aktinomyzeten (Aktinoplanes, Streptosporangien, Ampullariella) bilden die Sporen nicht frei an den Lufthyphen, sondern in Sporangien.
Streptosporangium zum Beispiel ist ein die Zellulose zersetzender aerober Streptomyzete. Diese Bakterien, aber auch viele Pilze, nutzen Papier, also Zellulose, als Nährsubstrat, sondern Enzyme und Stoffwechselprodukte ab, die die enzymatische Spaltung der Zellulose durch Zellulase bewirkt.
- Viele Aktinomyzeten, wie etwa die Streptomyzeten, sind wegen ihrer Produktion von Antibiotika von großer industrieller Bedeutung. Streptomycin zum Beispiel ist eines der therapeutisch erfolgreichsten von Hunderten von Antibiotika.
- Die Bakterienzellen der Aktinomyzeten liegen der Zellulosefaser mit ihrer Längsachse parallel zur Faserrichtung eng an, hydrolisieren Zellulose anscheinend nur in engstem Kontakt mit der Faser und nehmen die Hydrolyseprodukte sofort auf.
- Im Gegensatz zu den Pilzen, die ausschließlich Feuchtigkeit und Wärme benötigen, bevorzugt der „Strahlenpilz“ nur Wärme und Licht, er benötigt also keine Feuchtigkeit, gedeiht in trockenem, warmem Klima ausgezeichnet, ein pH-Wert von 6,5 bis 8,5 fördert sein Wachstum.
- Zahlreiche Aktinomyzeten fallen durch ihre ausgeprägte Färbung auf, sei es auf Grund der Ausscheidung eines Farbstoffes ins Medium oder einer Pigmentierung der Zelle. Die Fähigkeit, Farbstoffe zu bilden, ist

genetisch fixiert und hat somit Merkmalscharakter. Bei den Farbstoffen kann es sich um Derivate verschiedener Stoffklassen handeln: Carotinoide, Phenazinfarbstoffe, Phyllorffarbstoffe, Prodigiosin und viele andere.

Auf geeigneten Nährböden kommt häufig ein Bakterium zur Entwicklung, das früher als „Hostienpilz“ oder „Bacterium prodigiosum“ bezeichnet worden ist und heute „*Serratia marcescens*“ heißt. Die tiefrote Färbung der Kolonien und Suspensionen beruht auf dem Vorhandensein von Prodigiosin, einem Farbstoff, dessen Grundgerüst drei Pyrrolringe enthält. Dieses Pigment kommt auch in Aktinomyzeten und deshalb auch beim „Strahlenpilz“ vor.

- Die Ursache für das häufige Auftreten der pigmentierten Formen besteht darin, daß die Pigmente eine Schutzwirkung gegenüber den Strahlen des sichtbaren und des nahen unsichtbaren ultravioletten Lichtes ausüben. An den dem Licht ausgesetzten Standorten werden farblose Bakterien rascher abgetötet als pigmentierte. Die Pigmente und Farbstoffe schützen also die empfindlichen Regionen der Zelle vor der Photooxydation.

Manche Pigmente von Bakterien üben nicht nur eine Schutzwirkung aus, sondern sie absorbieren auch Licht für photosynthetische Zwecke.

- Bei sehr vielen pigmenthaltigen Mikroorganismen ist die Bildung von Farbstoffen – wie die der photosynthetisch wirksamen Pigmente der höheren Pflanzen – vom Licht abhängig. Bakterien bilden Farbstoffe nur dann, wenn die Zellen dem Licht ausgesetzt sind. Die Pigmentierung ist in vielen Fällen auch von der Zusammensetzung des Nährmediums und von der Temperatur abhängig.

Die Pigmente der Mikroorganismen sind sekundäre Metaboliten, das heißt, sie gehören nicht zu denjenigen Verbindungen, die in allen Organismen verbreitet sind. Schon in ihrer Struktur ist erkennbar, daß sie sich von normalen Metaboliten oder Bausteinen der Zelle ableiten. Manche Pigmente haben antibiotische Eigenschaften, und viele pigmentierte Mikroorganismen sind Antibiotikabildner. Die Korrelation zwischen Pigmentierung und der Bildung sekundärer Metaboliten ist so eng, daß man bei vielen Pigmentbildnern mit hoher Wahrscheinlichkeit annehmen kann, daß sie auch Antibiotika und andere Wirkstoffe bilden.

- Allgemein kann gesagt werden, daß das Wachstum der Mikroorganismen in den meisten Fällen durch die Art und Intensität der Beleuchtung nicht beeinflußt wird. Bei einigen Vertretern ist jedoch zu beobachten, daß die Bildung von Konidien durch Licht angeregt wird; andererseits kann die Dunkelheit die Produktion der geschlechtlichen Ascosporen fördern.

- Mikroorganismen treffen während ihres Wachstums auf Papier oder Pergament und/oder auf anorganischen Materialien oft schwankende Temperaturen an. Sie können sich nur durchsetzen, wenn sie in einem weiten Temperaturbereich wachsen können. Man bezeichnet diese Eigenschaft als Mesophilie. Für das Myzelwachstum liegt die Minimaltemperatur hier meist um 0° C, die Optimaltemperatur bei 25 bis 35° C und die Maximaltemperatur bei zwischen 30 bis 40° C.

Neben den mesophilen Arten gibt es auch solche mit Thermotoleranz, diese sind durch einen etwas größeren Temperaturbereich für das Wachstum (Minimum 0° C, Optimum 30 bis 40° C, Maximum etwa 50° C) gekennzeichnet. In diese Gruppe sind auch die Aktinomyzeten einzuordnen.

Aus den Gesetzen der Thermodynamik läßt sich ableiten, daß mit steigender Temperatur die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen, also Stoffwechselfvorgänge, ansteigt, und zwar bei einer Temperaturerhöhung um 10° C etwa auf das Doppelte.

- Für die Praxis ist die Tatsache bedeutsam, daß die Aktinomyzeten so wie alle Mikroorganismen zwar ihr Wachstum bei Unterschreiten der Minimaltemperatur und bei Überschreiten der Maximaltemperatur einstellen, daß ihre Dauerorgane (geschlechtliche und ungeschlechtliche Sporen und Sklerotien) jedoch in inaktivem Zustand diese Extremtemperaturen überdauern. Meist ist die Hitzetoleranz jedoch wesentlich schwächer als die Kältetoleranz.
- Für das Wachstum der Mikroorganismen von entscheidender Bedeutung ist der pH-Wert des Nährmediums – also der Archivalien. Die meisten Mikroorganismen bevorzugen einen neutralen pH-Wert, einige, wie zum Beispiel die Aktinomyzeten, wachsen aber im Alkalischen besser. Nur wenige Bakterienspezies sind säuretolerant. Im allgemeinen kann gesagt werden, daß im Säuren vorwiegend Pilze und im Neutralen bzw. schwach Alkalischen Bakterien zum Wachstum kommen.
- Die Ursachen für die Schädigung der Archivalien durch Aktinomyzeten liegt darin, daß sie so wie viele andere Pilze 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 Bakterien die dabei entstehenden und 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 zurück-

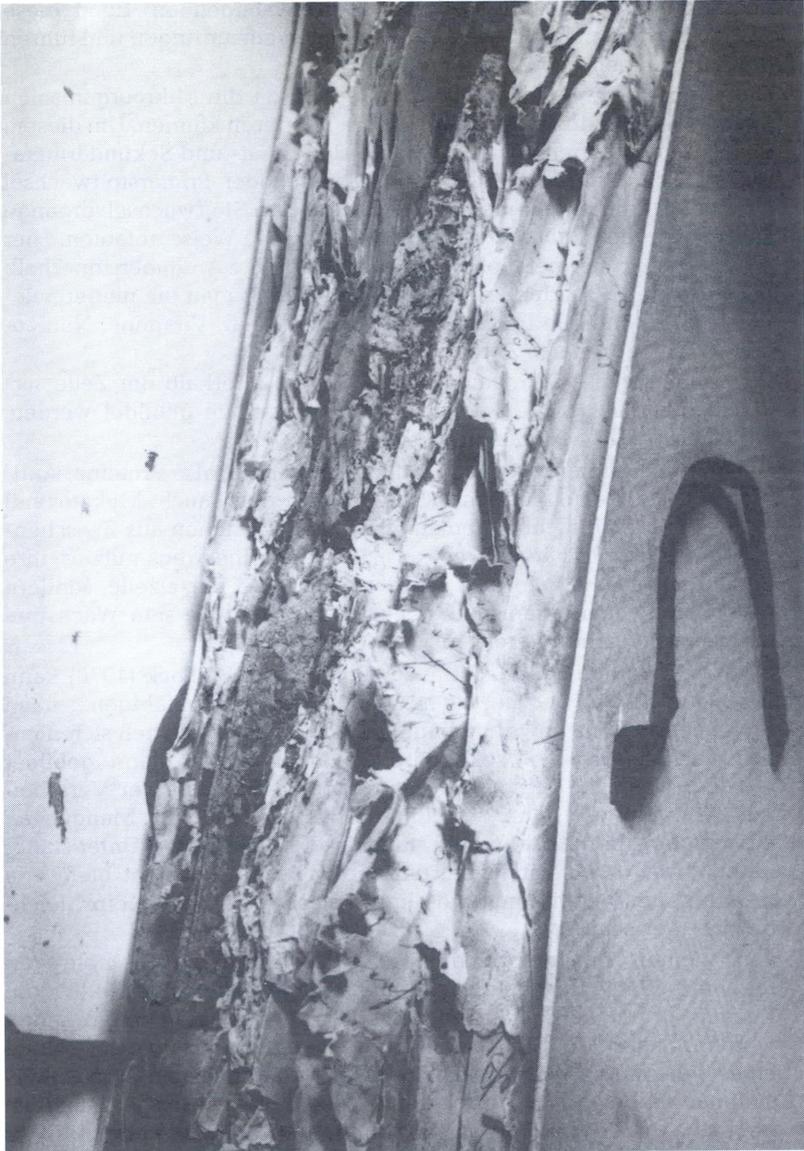


Abb. 1:
In die Restaurierwerkstätte gelieferte strahlenpilzbefallene Archivalien in einem
Schuber.

gedrängt, 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 Selbstabtötung bedeuten, da die Mikroorganismen 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 Stoffwechselfvorgänge 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 Proteine, Antibiotika, wie Penicilline und Griseofulvin, aber auch Mykotoxine) andererseits sind nicht allgemein verbreitet, entstehen aus 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'Lock (1970) kann der Sekundärstoffwechsel einen Organismus dazu befähigen, seinen Stoffwechsel den Umweltbedingungen anzupassen. Es ließ sich nämlich nachweisen, daß sekundäre Metaboliten erst dann gebildet werden, wenn die rasche Wachstumsphase mit intensiver Verarbeitung von Glukose unter dem Einfluß des entstandenen Mangels an Nährstoffen abschließt und die stationäre Phase beginnt. Unter stationärer Phase ist zu verstehen, daß die Keimzahl konstant bleibt, da zwischen der Neubildung und dem Absterben der Zellen ein Gleichgewicht herrscht.

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 bei Mikroorganismen durch Nährstoffmangel bewirkte „Umschaltung“ des Stoffwechsels ist äußerlich begleitet von der Bildung der Dauerorgane (Konidien, Sporen).

Nach dieser theoretischen Einführung in das äußerst komplexe Gebiet des Stoffwechsels möchte ich nun zum praktischen Teil übergehen:

Der wichtigste Leitsatz lautet, daß der sich immer wiederholende und wiederkehrende Kreislauf des Stoffwechsels der Pilze und Bakterien unterbrochen bzw. unterbunden werden muß. Die Maßnahmen zur Bekämpfung in der Restaurierwerkstätte des Steiermärkischen Landesarchivs sollen nach unseren Untersuchungen zusammengefaßt werden.

Versuche und Untersuchungen der strahlenpilzbefallenen Archivalien in der Restaurierwerkstätte:

- Der Strahlenpilz wächst flächig und läßt sich mit dem Skalpell relativ leicht abheben.
- Der pH-Wert des Strahlenpilzes beträgt 5,35 bis 6,25.
- Der pH-Wert des braunen Stoffwechselproduktes im Papier beträgt 3,58 bis 4,04.
- Als relativ geeignete Nährlösung erwies sich ein flüssiger Sabouraud Agar. Auch in diesem scheidet dieser Spaltpilz einen roten Farbstoff, vermutlich Prodigiosin, aus.
- Unsere Petrischalenversuche ergaben, daß durch Solbrolzusatz (PHB Ester) diese Verfärbung in den Petrischalen nicht auftrat.
- Ebenso verhindert Bactol die Bildung dieses Stoffes.
- Doppelfalzzahl ist gleich Null, Archivalien sind stark versprödet.
- Es wurde der Versuch unternommen, die Doppelfalzzahl der Archivalien auf elektrolytischem Weg zu erhöhen, das heißt, die durch den Strahlenpilz entstandene rotbräunliche Verfärbung des Hadernpapiers sollte elektrolytisch reduziert werden:
- Bei einem Elektrodenabstand von 7 cm (platinierte Titanelektroden) und Natriumtetraphosphat als Elektrolyt wurde vier Stunden lang ein Strom von 6,5 Ampere und 8 Volt durch ein schadhaftes Fragment geleitet.

Ergebnis: Das Probenmaterial war eindeutig aufgehellt, die Phosphatlösung zeigte danach eine rotbraune Verfärbung sowie wasserunlösliche, aber alkohollösliche rotbraune Niederschläge. Zwar konnte die Doppelfalzzahl minimal erhöht werden (drei Falzungen), jedoch war auf der behandelten Papierprobe ein weißer kristalliner Phosphatniederschlag erkennbar.

Da die elektrolytischen Versuche keine zufriedenstellende Blattfestigkeitszunahme ergaben, andere Restaurierungsmethoden, wie etwa das Spalten der Objekte, aus Kosten- und Zeitgründen auch nicht realisierbar waren – man beachte die zu restaurierende Menge von

56 Schubern, das sind nicht weniger als 21.290 strahlenpilzbefallene Archivalien –, entschlossen wir uns zu folgender Restaurierung und Konservierung:

Restaurierungsablauf:

- Die zu restaurierenden Archivalien des Landesarchivs wurden zur Gänze ethylenoxidvergast.
- Abheben des Strahlenpilzes mittels Skalpell.
- Trockenreinigung.
- Nochmalige Desinfektion in 80 % Ethylalkohol mit Zugabe von in der Restaurierwerkstätte getesteten Desinfektionsmittelkombinationen, da die Vergasung nicht ausreichend war, um alle Pilzsporen abzutöten.
- Waschen mit Papierwaschmittel.
- Schwemmen.
- Neutralisieren.
- Ein- bzw. beidseitiges Kaschieren mit dünnem Japanpapier.
- Ergänzen der Fehlstellen.
- In die Schuber bzw. an die Faszikeldeckeln werden zwecks Vorbeugung gegen erneuten Mikroorganismenbefall zwei in Thymol getränkte Löschblätter beigelegt.

Nach dieser Methode konnten in drei Monaten von zwei Restauratoren und einer Hilfskraft bereits 4940 strahlenpilzbefallene Archivalien neben zahlreichen anderen Arbeiten restauriert werden.

Zusammenfassung:

Was sind nun die Ursachen für Mikroorganismenbefall auf Archivbeständen?

Pilze und Bakterien können sich nur vermehren, wenn sie günstige Lebensbedingungen vorfinden.

Wärme, Sonneneinstrahlung, Feuchtigkeit, wechselnde Lichtverhältnisse, verstaubte Archivalien und Depoträume, Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen während der Jahreszeiten und stehende Luftverhältnisse führen zum explosionsartigen Auskeimen von Mikroorganismen.

Was kann dagegen unternommen werden?

Für diese Antwort wurden zwei englische Begriffe geprägt, für die es bedauerlicherweise keine deutschen Fachausdrücke gibt. Im Deutschen muß man sie umschreiben.

Preservation – Conservation.

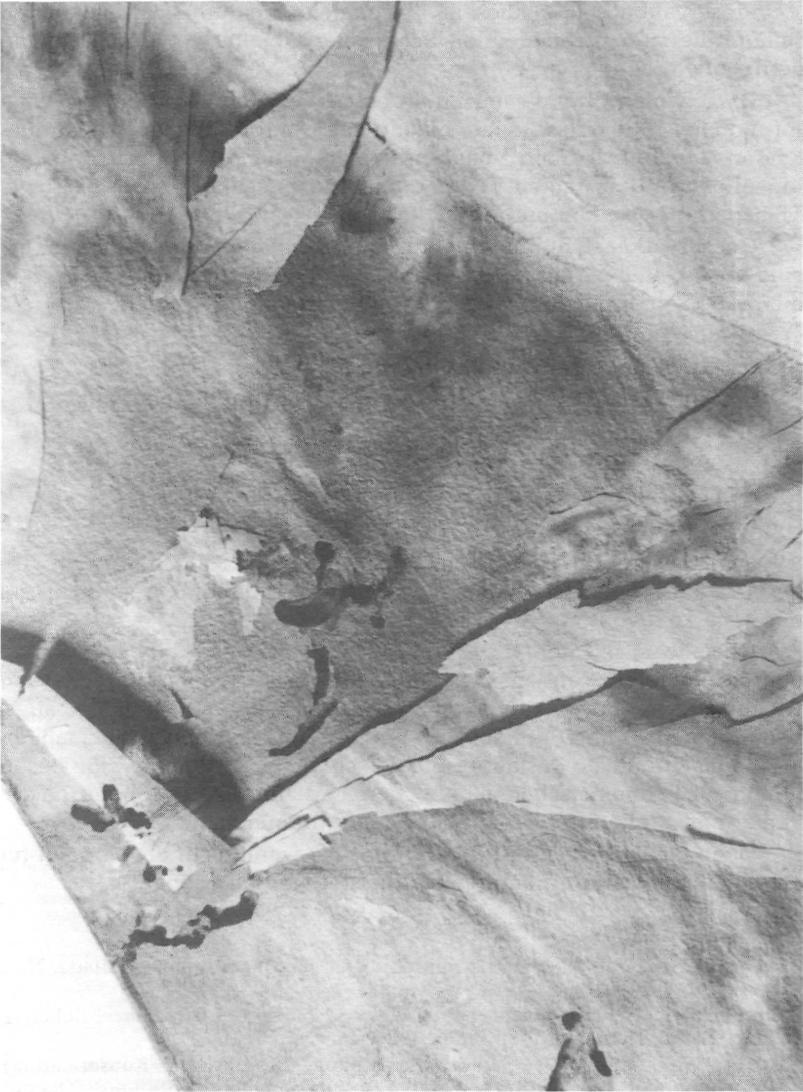


Abb. 2:
Strahlenpilz auf Hadernpapier.
Dieser blattähnliche, spröde, weißlichgraue Strahlenpilz läßt sich vom Original relativ leicht abheben. Die ins Papier eingedrungenen braunen Stoffwechselprodukte sind nicht mehr entfernbar und verursachen einen irreversiblen Zelluloseabbau.

Preservation soll in diesem Zusammenhang für alle Maßnahmen stehen, die zum vorbeugenden Schutz der Objekte vor Beschädigung getroffen werden.

Dazu zählen: Brand- und Einbruchsschutz, Verhinderung von Wasser- und Feuchtigkeitsschäden, Einbau und Überprüfung von Klimaregelungen, die Entwicklung von Einsatzplänen nach Katastrophenfällen, Einhalten von konstanten Temperatur- und Feuchtigkeitswerten sowie Transporte, Ausleihen und Ausstellungen.

Conservation steht hingegen für alle Maßnahmen und Arbeiten, die ein Fortschreiten bereits bestehender Schäden reduzieren sollen. Dies ist durch die Schaffung von idealen Depotbedingungen möglich.

Dazu zählen die Notwendigkeiten:

- konstante Temperatur von 16 bis 18° C,
- konstante Feuchtigkeit von 45 bis 55 % relativer Luftfeuchtigkeit,
- Scheuerdesinfektion der Depoträume,
- Entstauben der Bestände,
- Desinfektion der bereits befallenen Bestände,
- Luftzirkulation.

Die Reduzierung von Wärme, Feuchtigkeit, Licht, Staub und Gasen ist die wirksamste Maßnahme gegen Pilz- und Bakterienbefall auf unserem Archivgut.

Ich möchte mit der Bemerkung von J. Reiß aus seiner Publikation über Schimmelpilze enden. Er betont, daß es bei der Papierkonservierung wichtig ist, eine Entwicklung von Schimmelpilzen durch optimale Lagerbedingungen zu unterbinden. Dies ist stets einfacher und zweckmäßiger als die nachträgliche Restaurierung verschimmelter Objekte. Eine Beseitigung von Schimmelschäden in Büchern wird nur selten gelingen, da das Papier meist schon irreversible Schäden erlitten hat.

Denn: Jede Restaurierung erübrigt sich, wenn nicht die Normen für eine optimale Unterbringung gewährleistet werden können!

Literaturverzeichnis:

- Hans G. Schlegel: Allgemeine Mikrobiologie. 6., überarbeitete Auflage. New York, Stuttgart: Thieme, 1985.
- Jürgen Reiß: Schimmelpilze. Lebensweise – Nutzen – Schaden – Bekämpfung. Berlin, Heidelberg: Springer, 1986.
- K. H. Wallhäußer, H. Schmidt: Sterilisation, Desinfektion, Konservierung, Chemotherapie, Verfahren, Wirkstoffe, Prüfungsmethoden. Stuttgart: Thieme, 1967.
- H. Weide, H. Aurich: Allgemeine Mikrobiologie. Jena: Fischer, 1979.
- E. Müller, W. Löffler: Mykologie. Grundriß der Pilzkunde. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: DTV Thieme, 1971.
- Manfred Mayer: Ausstellung. Das beschädigte Buch. Preservation, Conservation, Restoration. Oktober 1991.