BACHELORARBEIT

Allergien durch Schimmelpilze

Autorin: Ulrike Schönauer

Geb. Dat.: 12041989

Medizinische Universität Graz
Lehrveranstaltung: Hygiene

BegutachterIn:
Mag.a Dr.in Doris Haas
Institut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin
Universitätsplatz 4
8010 Graz
Tel.: 0316/380 – 7716
e-mail: doris.haas@medunigraz.at

Datum der Einreichung: 04.03.2013
Jahr der Vorlage: 2013

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Weiters erkläre ich, dass ich diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe.

Graz, am 04.03.2013 Unterschrift:

ZUSAMMENFASSUNG

Zu Beginn meiner Arbeit definiere ich worum es sich bei einem Pilz im Allgemeinen handelt. Danach folgen eine genaue Einteilung der Pilzarten und eine Beschreibung wichtiger Schimmelpilzgattungen. Des Weiteren liefere ich eine Erklärung zum Vorkommen der genannten Schimmelpilze, wie deren Vermehrung stattfindet und welche Methoden zum Nachweis eines Schimmelpilzes zur Verfügung stehen.

Im darauffolgenden Teil erläutere ich den grundsätzlichen Prozess allergischer Reaktionen und die bekannten Allergietypen. Außerdem beschreibe ich Diagnose und Testung und gehe auf die gängigen allergischen und nicht- allergischen Erkrankungen ein.

Der nächste Themenbereich deckt die Problematik des Schimmelpilzbefalls in Innenräumen ab. Hierbei gehe ich speziell auf die Ursachenabklärung ein und vermittle Wege um einen derartigen Befall erfolgreich vorbeugen zu können oder, im Falle eines Schadens, die Sanierungsmaßnahmen.

Im abschließenden Teil meiner Arbei werden die rechtlichen Grundlagen infolge einer Schädigung eines Mietobjektes durch Schimmelpilze abgehandelt und die rechtlichen Konsequenzen, welche entweder für Mieter oder Vermieter entstehen können.

ZUSAMMENFASSUNG **2**

1. ALLGEMEIN **6**

1.1 Definition 6

1.2 Einteilung 8

1.3 Gattungen 9

1.3.1 Aspergillus 9

1.3.2 Penicillium 10

1.3.3 Fusarium 11

1.3.4 Rhizopus, Rhizomucor, Mucor, Absidia 12

1.3.5 Schwärzepilze 12

1.4 Vorkommen 13

1.5 Vermehrung und Wachstum 14

1.6 Schimmelpilznachweis durch molekularbiologische Verfahren 16

2. MYKOGENE ALLERGIEN **17**

2.1 Grundlagen 17

2.2 Allergietypen 18

2.2.1 Typ I Allergie (Sofort Typ Allergie) 18

2.2.2 Typ II Allergie (Cytotoxische Allergie) 19

2.2.3 Typ III Allergie (Immunokomplex Typ) 19

2.2.4 Typ IV Allergie (Spättypallergie) 19

2.3 Diagnose und Testung 20

2.3.1 Testung der Haut 21

2.3.2 Provokationstestung 22

2.3.3 In- Vitro- Untersuchung 23

2.4 Erkrankungen durch Schimmelpilze 23

2.5 Allergische Reaktionen 24

2.5.1 Asthma Bronchiale 24

2.5.2 Exogen- allergische Alveolitis (EAA) 25

2.5.2.1 Farmer-, Vogelhalter- und Befeuchterlunge 26

2.5.3 Allergische bronchopulmonale Aspergillose (ABPA) 27

2.5.4 Toxische Alveolitis (ODTS) 28

2.5.5 Allergische Rhinokonjunktivitis 28

2.5.6 Allergische Rhinitis 29

2.6 Irritationen 29

2.6.1 Allergische Dermatitis 29

2.6.2 Konjunktivitis und Keratitis 30

2.6.3 Rhinosinusitits 30

2.7 Nicht- allergische Reaktionen 31

2.7.1 Mykotoxikose 31

2.7.2 Microbial volatile organic compounds (MVOC) 33

3. INNENRAUMPROBLEMATIK 33

3.1 Ursachen 33

3.2 Vorbeugung und Schutzmaßnahmen 35

3.3 Sanierung 37

3.4 Rechtliche Grundlagen 39

4. RESUMEE 42

5. LITERATURVERZEICHNIS 43

6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS 45

1. ALLGEMEIN

1.1 Definition

Pilze zählen zu den Eukaryonten und besitzen eine heterotrophe Lebensform. Diese befähigt sie dazu ein Überleben ohne Chlorophyll, welches zur Photosynthese benötigt wird, sicherzustellen. Die Energiegewinnung erfolgt somit entweder saprophytisch durch den Abbau von totem organischen Material, symbiotisch oder parasitär mit einem anderem Organismus.

Für eine genaue Systematik der Pilze, werden die Pilze nach dem Aussehen, der Vermehrungsart und der Fruchtform unterschieden. Pilze können sich auf verschiedene Weise vermehren. Es gibt die ungeschlechtliche (asexuelle, Anamorphe, Hauptfruchtform) und die geschlechtliche (sexuelle, Telemorphe, Hauptfruchtform) Vermehrung, wobei aber in beiden Fällen Sporen gebildet werden (vgl. Müller/ Loeffler 1992, S. 2).

Die Schimmelpilze gehören in der Mehrheit den Deuteromycota, Ascomycota, Basidiomycota und Zygomycota an und besitzen keine eigene Systematik, da ihre Gattungen in zu unterschiedlichen Ordnungen vorkommen. Die Gemeinsamkeit liegt in ihrer Morphologie, Ökologie und der typischen Ausbildung von Pilzfäden und Sporen, welche makroskopisch und mikroskopisch sichtbar sind. Charakteristisch für den sichtbaren Belag der Schimmelpilze sind die große Bandbreite an Farben und dessen Konsistenz, welche sowohl flockig, staubig als auch faserig ausfallen kann (vgl. Frössel 2006, S. 44 ff).

Der Gruppe der Deuteromyceten gehören die meisten Schimmelpilzarten an. Sie besitzen ein Myzel, welches von Septen durchzogene Querwände aufweist, vermehren sich ausschließlich anamorph und bilden Konidien. Die Ascomyceten besitzen ebenfalls septierte Querwände des Myzels und können anamorph Konidien, aber auch telemorph Ascosporen bilden. Um Asci zu bilden finden eine Reduktionsteilung sowie eine Verschmelzung der geschlechtlich differenzierten Kerne statt. Die Basidiomycota umfassen ca. 30% aller bekannten Pilze und verdanken ihren Namen der sexuellen Vermehrungsstruktur der Basidie, auf welcher 4 meiotische Sporen gebildet werden (vgl. Frössel 2006, S. 50 f). Die Gruppe der

Zygomyceten hingegen besitzen keine septierten Querwände. Diese Pilze vermehren sich anamorph über Sporangiosporen oder telemorph durch Bildung von Zygosporen (vgl. Reiß 1998, S. 15 ff).

Obwohl es aufgrund der großen Vielfalt an Pilzen schwierig ist dessen Aufbau zu erklären, lassen sich doch ähnliche Strukturen zusammenfassen. Pilzzellen besitzen in ihrem Zellkern entweder diploide oder haploide Chromosomen. Jene Pilzarten die zu einer geschlechtlichen Fortpflanzung fähig sind, wechseln von der Haplo- in die Diplophase. Je nach Art unterscheidet sich hierbei die Anzahl der Chromosomen im Kern einer solchen Zelle. Die DNA eines derartigen Chromosoms besitzt außer Zentromer und Telomer auch noch Abschnitte um eine DNA Replikation zu ermöglichen, sowie proteinkodierende Strukturgruppen. Genauso wie beim Menschen besteht die Membran aus einer Lipiddoppelschicht, wobei Ergosterin statt Cholesterin als Hauptlipidkörper fungiert. Die Zellwand einer Pilzzelle besteht aus Polysacchariden, Mannoproteinen und Chitinpolymeren. Zytoplasma, Organellen und Zellkern sind in ihrem Aufbau der tierischen Zellen sehr ähnlich. Eine der Grundformen einer Pilzzelle bildet die Sprosszelle, welche rund oder oval auftritt und als Blastospore bezeichnet wird. Die zweite Grundform nennt sich Hyphe und stellt eine tubuläre Pilzform dar, die zumeist eine durch Septen gegliederte Zellwand besitzt. Ein Gefüge mehrerer Hyphen schließt sich zu einem Pilzmyzel zusammen (vgl. Hof 2003, S. 450 f).

Ein Pilz kann nur dann als Schimmelpilz bezeichnet werden, wenn zumindest folgende Kriterien erfüllt sind:

1. das Vorkommen beschränkt sich auf den Erdboden oder auf konzentrierte Nährlösungen
2. die Nährstoffgewinnung erfolgt durch Zersetzung von organischen Substanzen
3. alle Schimmelpilzarten bilden ein Myzel
4. die Vermehrung wird durch Sporangiosporen oder Konidien vorangetrieben
5. die gebildeten Fortpflanzungsorgane fallen sehr klein aus (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.15)

1.2 Einteilung

Die Einteilung der Pilze (Abbildung 1) wird nach botanischen Kriterien vorgenommen und erfolgt nach ihrer geschlechtlichen Beschaffenheit hinsichtlich der Merkmale ihrer Gestalt.

Das Reich der Pilze umfasst die 3 Hauptgruppen der Myxomyzeten, Oomyzeten und Eumyzeten, wobei die Eumyzeten wiederum in niedere Pilze (Zygomycota) und höhere Pilze (Chytridiomycota, Ascomycota, Basidiomycota und Deuteromycota) unterteilt werden.

Eine der beiden grundlegenden Formen der geschlechtlichen Vermehrung stellt das Basidium dar, auch als Ständer bezeichnet, welches die Sporen abschnürt. Die zweite Grundform wird als Ascus bezeichnet, welchem die Bedeutung des Schlauches beikommt, in dem die Sporenbildung stattfindet. Ascomyzeten erfahren eine nochmalige Unterteilung in die Gruppen der Archiascomyzeten, der Hemiascomyzeten und der Euascomyzeten.

Eine Vielzahl an Pilzen kann durch ihre fehlende Geschlechtsform keine eindeutige Zuordnung bekommen, weshalb diese zur Gruppe der Deuteromyzeten, auch Fungi imperfecti genannt, gezählt werden und ihre Benennung über die ungeschlechtliche, vegetative Vermehrungsart erfolgt.

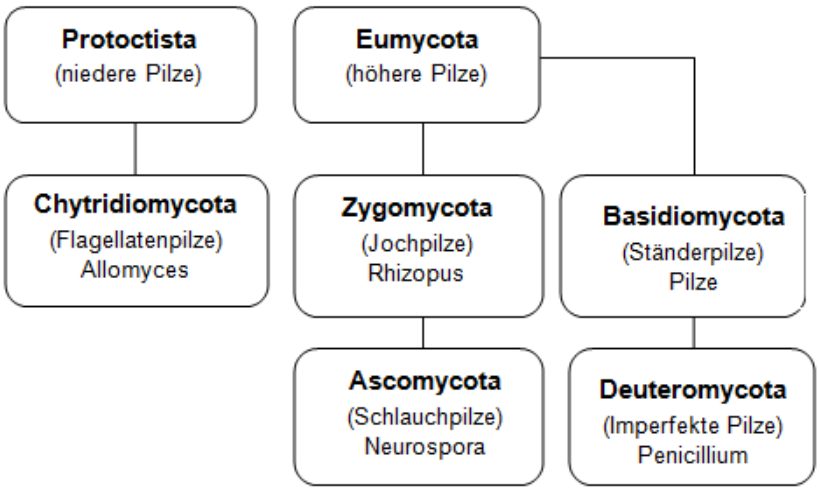


Abbildung 1: *Systematische Einteilung der Pilze*

Im Gegensatz zur botanischen Einteilung der Pilze besteht in der Medizin eine gänzlich andere Klassifizierung durch das DHS System, welche die Pilze in Dermatophyten, Hefen und Schimmelpilze gliedert (vgl. Hof 2003, S. 5-8).

1.3 Gattungen

Im folgenden Abschnitt werden einige Schimmelpilzgattungen beschrieben, welche häufig Auslöser für Allergien, Mykosen und Mykotoxikosen sind.

1.3.1 Aspergillus

Die Gattung *Aspergillus* gehört den Deuteromycota an, welche aufgrund ihrer Gießkannenform auch als Gießkannenschimmel bezeichnet wird. Diese Schimmelpilzart erreicht eine Artenvielfalt von über 200 Exemplaren und lebt saprophytisch. Das typische Erscheinungsbild der Aspergillen sind die Konidienträger, welche in einem Vesikel enden, deren Phialiden die jeweiligen Phialokonidien ausbilden.

Nur ein kleiner Teil dieser 200 Arten besitzt medizinische Relevanz. Vor allem die Pilzart *Aspergillus fumigatus* (Abbildung 2) ist bedeutend, welche Infektionen auslösen kann. Verdorbene Lebensmittel werden häufig durch die Arten *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus flavus* und *Aspergillus ochraceus* verursacht, welche Toxinbildner sind. Außerdem können die Sporen der Aspergillen in der Luft Allergien auslösen, wobei das Ausmaß der allergenen Wirkung auf den Menschen von Art zu Art unterschiedlich ausfällt.

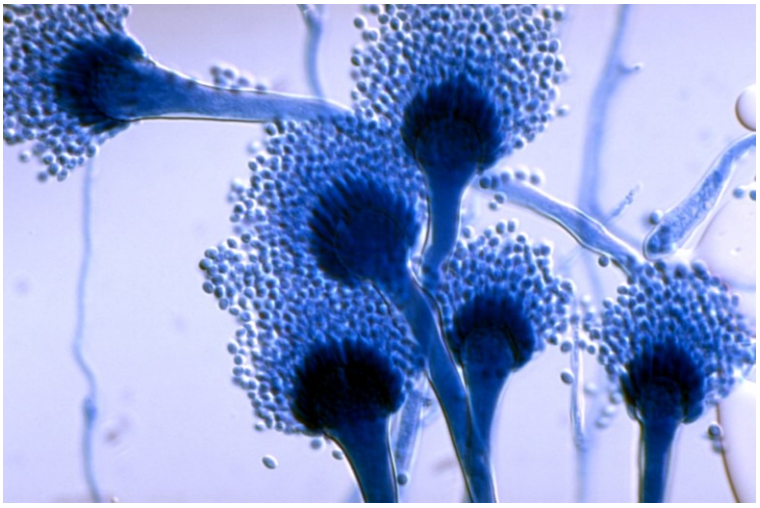


Abbildung 2: *Aspergillus fumigatus*

1.3.2 Penicillium

Die Gattung *Penicillium* (Abbildung 3), auch Pinselschimmel genannt, gehört zur Gruppe der Deuteromycota und ist weltweit auf Pflanzen und im Erdreich anzutreffen. *"Mikromorphologisch zeichnen sich Penicillium- Schimmel durch einen pinselförmigen Aufbau der Fruktifikationsorgane aus, wobei aus den Phialiden meist lange Ketten entstehen" (Hof/ Müller/ Dörries 2000, S.473 f).* Durch ihre Fähigkeit Zellulose abzubauen, spielen sie eine große Rolle bei der Zersetzung von organischem Material. Einige Arten sind bekannt für das Stoffwechselprodukt Penicillin, welches als Antibiotikum in der Medizin genutzt wird. Außerdem findet dieser Pilz in der Lebensmittelindustrie zur Veredelung von Lebensmitteln seine Anwendung.

Die Bedeutung in der Medizin erhalten sie sowohl als Mykotoxinbildner, als Auslöser von Allergien und in seltenen Fällen auch als Infektionserreger (ebd. S470-473).

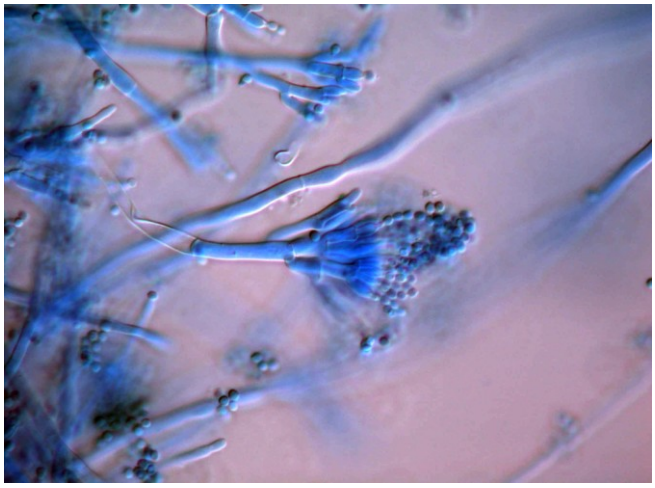
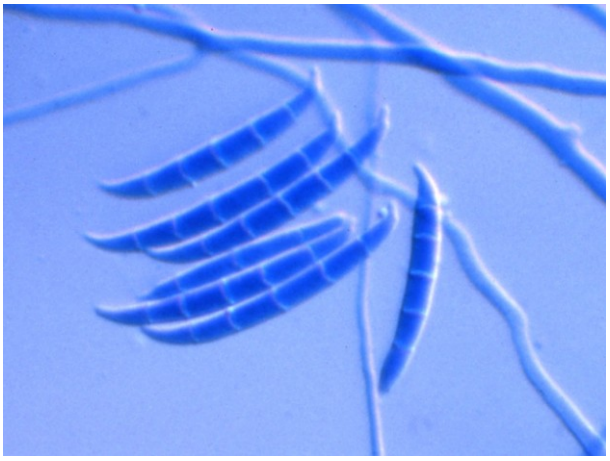


Abbildung 3: *Penicillium brevicompactum*

1.3.3 Fusarium

Fusarien (Abbildung 4) zählen zur Gruppe der Deuteromycota und kommen ubiquitär in Erdböden vor. Ihre Form ist gekennzeichnet durch kurze und unregelmäßige Konidiosporen oder einzellige Mikrokonidien, welche auf Makrokonidien mit Sichelform sitzen.

Die Funktion der Fusarien liegt im Zelluloseabbau von abgestorbenen Pflanzenresten, wobei sie bei höheren Pflanzen durchaus "Welkekrankheiten" hervorrufen können. Außerdem bilden sie Mykotoxine und Allergene, welche mitunter beim Menschen Krankheiten auslösen (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.31).



Abbilung 4: *Fusarium macroconidia*

1.3.4 Rhizopus, Rhizomucor, Mucor, Absidia

Die Ordnung Mucorales, auch als Köpfchenschimmel bezeichnet, gehört der Gruppe der Zygomycota an und umfasst die Gattungen Rhizopus, Rhizomucor, Mucor (Abbildung 5) und Absidia. Diese Schimmelpilze leben saprophil und besitzen ein Myzel ohne Septen. In den Sporangien werden ihre Sporen gebildet, welche erst durch das Platzen des Köpfchens freigesetzt werden.

Beim Menschen können einige der genannten Typen, vor allem bei Prädisposition, Mykosen auslösen, aber ebenso allergische Reaktionen sind möglich (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.28 f).

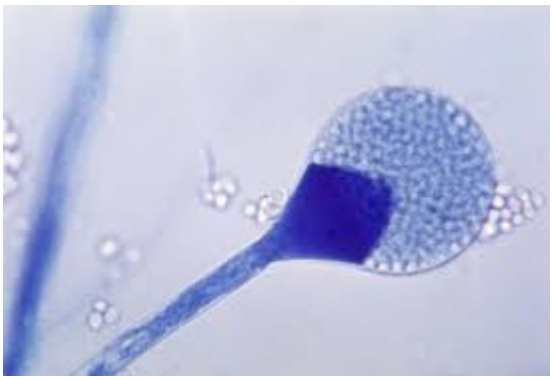


Abbildung 5: *Mucor sp.*

1.3.5 Schwärzepilze

Die imperfekten Schwärzepilze, die zur Familie der Dematiaceae gehören, verdanken ihren Namen den Melanineinlagerungen ihrer Zellwände, welche dunkelfärbig ausfallen. Das Melanin im Schimmelpilz verhilft diesem zu einer längeren Lebensdauer, da es dadurch vor Phagozytose und Abtötung geschützt ist. In der Natur sind Schwärzepilze unerlässlich, wenn es um Stoffwechsel- sowie Abbauprozesse geht. Durch Verletzung mit pflanzlichen Materialien entstehen beim Menschen oder bei Tieren oft Mykosen, oder Allergien durch die Abgabe von großen Sporenmengen (vgl. Hof/ Müller/ Dörries 2000, S.476). Einige Schwärzepilze sind *Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Helminthosporium* und *Stemphylium* (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.32).

1.4 Vorkommen

In der Regel finden sich Schimmelpilze weltweit, wenngleich die meisten ihrer Art im Boden vorkommen. Das Vorkommen unterschiedlicher Arten wird eingeschränkt durch Konkurrenz, Wachstumshemmung durch bestimmte Substanzen, ungünstige physikalische Begebenheiten sowie Nährstoffmangel. In den meisten Böden findet der Schimmelpilz jedoch ausreichend nährstoffreiches Material von sich zersetzenden Tieren und Pflanzen, kann aber durchaus über seine zahlreich ausgebildeten Sporen andere Lebensräume besiedeln. Der Gehalt an Schimmelpilzen in den Böden nimmt mit der Tiefe immer weiter ab, wobei in Wiesenböden weniger und in Waldböden mehr Schimmelpilze anzutreffen sind. Durch ihre pandemische Verbreitungsweise verfügen auch weiter voneinander entfernte Areale eine vergleichbare Zusammensetzung an Schimmelpilzarten.

In der Luft herrscht eine unterschiedliche Ansammlung von Schimmelpilzsporen, wenngleich das Vorkommen in atmosphärischer Luft sowohl im Innen- als auch im Außenbereich besteht. *"Die Konzentration der Sporen kann allerdings nach Ort, Höhe, Tages- und Jahreszeit, Umgebungsbedingungen […] und nach den herrschenden Klimabedingungen […] schwanken"* (Reiß 1998, S.36). Jene Schimmelpilze die aerob in Böden leben verbreiten ihre ungeschlechtlichen Fortpflanzungsorgane hauptsächlich über Bewegungen der Luft. Ob und wie lange Pilzsporen an der freien Luft überleben ist ganz davon abhängig wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung ausfallen. Wenn beispielsweise Sporen ohne Färbung in UV-Strahlung geraten, werden diese sofort abgetötet. Aus diesem Grund finden sich vorwiegend pigmentierte Schimmelpilzsporen, wie die der Schwärzepilze, in Luftproben. Nachdem Pilzsporen eindeutig schwerer als die umgebende Luft sind, fallen sie bei wegfallenden Luftbewegungen zu Boden und können auf diese Weise neue Lebensräume besiedeln. Sofern eine geringe Luftfeuchtigkeit und hohe Temperaturen anzutreffen sind, erhöht sich auch die Ansammlung an Sporen in der Luft. Das hat zur Folge, dass in den Sommermonaten vergleichsweise mehr Sporen in der Luft sind, als es in den Wintermonaten der Fall sein könnte. Auch den Tagesrhythmus betreffend bestehen unterschiedliche Sporenkonzentrationen, welche als diurnale Rhythmen bezeichnet werden.

Die Luft in Innenräumen hingegen ist besonderen Begebenheiten wie etwa Heizung, Luftströmungen und Lüftungen unterworfen und ermöglicht den xerotoleranten

Schimmelpilzarten ein Überleben. Wie sich die Menge an Schimmelpilzsporen in Innenräumen verhält ist ganz davon abhängig welche Konzentration an Sporen in der Außenluft vorherrscht. Als Folge des höheren Staubvorkommnisses in Innenräumen im Vergleich zur Außenluft, der fehlenden Luftbewegung und dem Schutz vor UV- Strahlung können größere Mengen an Pilzbestandteilen in der Luft bestehen. Schimmelpilzgattungen wie *Aspergillus*, *Penicillium*, *Absidia*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Rhizopus* und *Aureobasidium* sind hierbei als dominierende Arten in Innenräumen zu nennen.

Im Allgemeinen können beim Menschen Gattungen wie *Aspergillus*, *Penicillium*, *Absidia*, *Mucor* und *Rhizopus* sowohl auf der Haut und der Schleimhaut, als auch in Organsystemen als Kommersalen vorkommen. Solange keine akuten Infektionen oder chronische Erkrankungen auftreten, besitzen diese Schimmelpilzgattungen keine Pathogenität. Ansonsten greifen diese bevorzugt das Bronchopulmonal System an und verursachen systemische Mykosen.

Obwohl die meisten Schimmelpilzarten in Böden vorkommen, können gewisse Arten auch im Wasser nachgewiesen werden. Da Schimmelpilze eine ideale Resistenz gegenüber Trockenheit ausgebildet haben und eher für das terrestrische Leben bestimmt sind, können diese weniger oft im Wasser vorgefunden werden (vgl. ebd. S.35-46).

1.5 Vermehrung und Wachstum

Die sexuelle oder telemorphe Vermehrung von Schimmelpilzen erfolgt über den Heterothallismus, unter welchem die Verschmelzung zweier haploider Zellen verstanden wird. Ungewöhnlich ist hierbei die oftmals lange Dauer der Verschmelzung beider Zellkerne, wobei auch die Möglichkeit zum Homothallismus besteht, also die Fusion der Kerne des Thallus. Nachdem die beiden haploiden Zellen miteinander verschmolzen sind, erfolgt eine meiotische Teilung, welche aus den nun diploiden Zellen wiederum haploiden Zellen werden lässt. Sexuelle Sporen werden bei manchen Arten der Ascomyzeten in einem eigenen Apthecium, Perithecium oder Cleistothecium gebildet. Die Sporen liegen hierbei nicht nackt, sondern geschützt in einem Ascus vor.

Im Gegensatz zur sexuellen besteht auch die Möglichkeit zur asexuellen oder anamorphen Vermehrung, bei der allein die Mitose der Chromosomen stattfindet. Genauso kann die Vermehrung auf parasexuellem Weg ohne ein Auftreten einer Meiose stattfinden, wobei es durchaus zum Austausch von Gensegmenten kommen kann. Schimmelpilze pflanzen sich demnach ungeschlechtlich sowohl in diploider als auch haploider Weise fort. Beim Wachstum der Hyphe können bei Asco- und Basidiomyzeten sowohl Konidien als auch Konidiophoren entstehen (vgl. Hof 2003, S.16).

An natürlichen Standorten können Schimmelpilze ungehindert ihre Biomasse vermehren und sich entwickeln. Sofern sie sich in der Trophophase befinden (vegetative Phase) haben die Hyphen Kontakt mit dem ernährenden Substrat. Halten sich Aufnahme und Verwertung der Nährstoffe des Substrates annähernd im Gleichgewicht, so kann der Pilz wachsen. Jene metabolischen Prozesse, die sich in der Trophophase abspielen werden auch als Primärstoffwechsel bezeichnet. Nachdem die Nährstoffe ausgeschöpft sind und sich die Lebensbedingungen für den Schimmelpilz verändert haben, findet ein Wechsel von der Trophophase zur Idiophase statt, in der nun der Sekundärstoffwechsel vonstatten geht. In der nachfolgenden fruktifikativen Phase werden Luftmyzel und Vermehrungsorgane ausgebildet, um die Verbreitung und das Überleben des Schimmelpilzstammes abzusichern. Die Verbreitungsorgane sind überwiegend asexuell und kommen in Form von Sporen oder Trag- und Hüllorgane vor. An den Enden der Hyphen werden sogenannte Konidien abgeschnürt, Sporangiosporen im Inneren von Sporangien gebildet, wohingegen Arthrosporen durch Zerbrechen der Hyphen in Einzelzellen in Erscheinung treten. Strukturen mit besonders langer Überlebensdauer durch dickwandige Pilzeinheiten sind unter anderem Chlamydosporen und Sklerotien (vgl. Mücke 2002, S.17 f).

Findet der Schimmelpilz ein Substrat vor, welches ein schnelles Wachstum begünstigt, laufen 6 aufeinanderfolgende Phasen ab. In der Anlaufphase bleibt zwar die Anzahl, nicht aber die Größe der Zellen gleich und der Stoffwechsel wird aktiviert. Die Beschleunigungsphase hat eine verstärkte Vermehrungs- sowie Wachstumsrate zur Folge. Es schließt die exponentielle Wachstumsphase mit einer konstanten Vermehrungsgeschwindigkeit an, welche in dieser Phase sogleich ihr Maximum erreicht. Danach erfolgt die Verzögerungsphase, in der bedingt durch nachteilige

Umweltbedingungen, die Vermehrungsrate zurückgeht. Im vorletzten Stadium, bezeichnet als stationäre Phase, herrscht ein Ausgleich zwischen Neubilden und Absterben der Zellen. Zuletzt ereignet sich die Absterbephase, in der sich nach und nach immer weniger Zellen durch Mangel an Nährstoffen oder Anhäufung von toxischen Stoffwechselprodukten, ausbilden (vgl. Reiß 1998, S.47).

1.6 Schimmelpilznachweis durch molekularbiologische Verfahren

Es besteht die Möglichkeit Proteine mit allergischem Potenzial durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen herzustellen. *"Diese rekombinanten Proteine besitzen gegenüber der herkömmlichen Allergenextrakten hohe Reinheit, unlimitierte Verfügbarkeit und Kombinierbarkeit"* (Mücke/ Lemmen 1998, S.87). Um immunologische Verfahren durchführbar zu machen und Antiseren zu entwickeln stellen sich solche rekombinanten Proteine als Mittel der Wahl dar.

Als wichtige molekularbiologische Verfahren sind hierbei die Gensonden und Polymeraseketten- Reaktion zu nennen. Eine Gensonde die sich speziell dazu eignet bestimmte Pilzarten zu identifizieren ist die "fluorescens in situ hybridisation" kurz FISH- Technik, mit welcher Pilzisolate charakterisiert werden. Eine neuartigere Modifikation der FISH- Technik entspricht der Peptid- Nucleotid- Acid- Sonde (PNA), durch welche beispielsweise in Blutkulturen ein besserer Pilznachweis gegeben ist als bei DNS- Sonden. Ein noch empfindlicheres Testverfahren ist mit der PCR gegeben, wobei Genabschnitte mit einer Länge von ungefähr 500 auf einer 18S-RNS der Ribosomen gefunden werden können. Danach erfolgt eine Identifikation mit speziellen Gensonden, um die jeweilige Pilzart zu benennen. Wiederum andere PCR lassen diverse Genabschnitte von speziellen Pilzarten erkennbar werden. Ebenfalls in Erwägung zu ziehen sind ein molekulares "fingerprinting" zur Abklärung von epidemiologischen Fragestellungen und die Restriciton- Fragment- Length- Polimorphismus- Technik kurz RFLP zur Unterscheidung von Isolaten einzelner Gattungen (vgl. Hof 2003, S.31).

2. MYKOGENE ALLERGIEN

2.1 Grundlagen

Die Funktion des Immunsystems den Menschen vor Infektionen zu schützen wird als Normergie bezeichnet. Eine Reaktion auf Umwelteinflüsse, welche in übermäßiger Form ausfällt, wird Allergie genannt. Durch sogenannte Allergene, jene Antigene die im eigentlichen Sinne unschädlich für den Menschen sind, kann eine Überempfindlichkeitsreaktion oder Hypersensibilität ausgelöst werden. Unbedenkliche Allergene werden erst durch eine fehlgeleitete Immunreaktion zum tatsächlichen Schadstoff indem sie eine allergische Reaktion sowie Entzündungsprozesse im Organismus bedingen (vgl. Botzenhart; Müller; Strubelt 2006, S.87).

Eine Sensibilisierung in Bezug auf Allergene kann bereits bei geringer Sporenkonzentration in der Luft bei ungefähr 20% der Menschen auftreten. In Innenräumen dient unter anderem der Hausstaub als Allergenquelle, wobei unterschiedliche Pilzsporen aus Erd- und Pflanzenreich in das Innere von Gebäuden gelangen und sich dort mit diesem vermengen. Genauso können Pilzansammlungen, welche sich in Wohnräumen befinden Allergien durch an die Raumluft abgegebene Sporen u.a verursachen. Auch der berufliche Hintergrund bildet eine Möglichkeit mit allergieauslösenden Pilzsporen in Berührung zu kommen, wie etwa die Abfall- oder Landwirtschaft.

"Allergieauslösend wirken praktisch ausschließlich Deuteromyceten mit verbreiteten Vertretern der intramuralen Pilzflora, wie Arten von Alternaria, Aspergillus, Cladosporium, Curvularia, Fusarium, Helminthosporium, Mucor, Pullularia [in der heutigen Wissenschaft als Aureobasidium bekannt; Anm. d. Verf.] und Rhizopus […]" (Reiß 1998, S.197). Viele Pilzsporen können aufgrund ihrer geringen Größe nicht im Nasen- oder Rachenraum zurückgehalten werden und dringen somit in die unteren Atemwege vor. Dort schädigen sie primär Lunge und Immunsystem. Das allergiefördernde Potenzial der Pilzsporen ist an den Eiweißverbindungen der Konidien/ Sporen zu finden, zu welchen die Enzym-, Glyko- und Lipoproteine zählen. Dagegen besitzt das Myzel weitaus weniger allergieauslösende Potenz. Allerdings werden Allergien eher durch Pollenkörner als durch Pilzsporen hervorgerufen. Um

überhaupt eine allergische Reaktion beim Menschen zu verursachen, werden mehrere Zwischenstufen durchlaufen, welche abschließend zur Sensibilisierung führen, gekoppelt mit der spezifischen Antikörperbildung (vgl. ebd. S.197 f).

2.2 Allergietypen

Im Allgemeinen werden allergische Reaktionen in 4 Hauptgruppen (Abbildung 6) unterteilt. Schimmelpilze können entweder eine Allergie vom Typ I oder eine Kombination von Typ III und Typ IV hervorrufen (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.57).

2.2.1 Typ I Allergie (Sofort Typ Allergie)

Dieser Allergietyp wird als Atopie oder Idiosynkrasie bezeichnet und beschreibt eine angeborene Überempfindlichkeit gegenüber einem bestimmten Stoff. Ausgelöst wird die beschriebene Reaktion durch Reagine oder IgE- Antikörper. Beide binden an eosinophile und/oder basophile Granulocyten sowie an Mastzellen, um mehrzellige Parasiten wie Würmer zu bekämpfen. Jene IgE- Antikörper finden sich in erhöhter Konzentration bei Menschen mit angeborener Überempfindlichkeit. IgE- Antikörper sitzen an einer Mastzelle und schütten vermehrt Histamin, Serotonin und Chemotaxin aus, sobald diese auf ein spezifisches Allergen treffen. Die in das Gewebe abgegebenen Wirkstoffe veranlassen durchlässige Gefäße und leiten Entzündungsprozesse ein. Außerdem treten typische Symptome wie Fieber, erhöhter Puls, Juckreiz, Rötung, Bildung von Quaddeln oder Pusteln und Schwellung auf. Auf ähnliche Art und Weise läuft die Reaktion bei den eosinophilen Granulozyten ab. Diese schütten Substanzen und Enzyme aus, welche eine zellschädigende Wirkung haben und bei Betroffenen mit einer Atopie mehr Schaden als Nutzen bringen.

Krankheitsbilder dieser Typ I Allergie sind unter anderem allergische Rhinitis, Asthma bronchiale, atopische Dermatitis/ Neurodermitis, Nahrungsmittelallergie und systemische Anaphylaxie. Pollinosis, auch als Heuschnupfen bekannt, beschreibt eine akute Reaktion auf Blütenpollen, welche in der Jugendzeit beginnt und sich nach einigen Jahren wieder bessert. Bei Asthma Bronchiale werden, wie bei der Pollinosis, Allergene eingeatmet die zu einer entsprechenden Reaktion führen. Diese beginnt ebenso in der Pubertät, wobei der Verlauf der Krankheit im Vergleich zum

Heuschnupfen durchaus schlechter ausfällt. Zu einer atopischen Dermatitis kommt es häufig bei Insektenstichen, wodurch Ödeme gebildet werden und seltener ein Kollaps herbeigeführt wird. Nahrungsmittelallergien treten weniger oft auf und verursachen Symptome wie Durchfall, Erbrechen, Nesselsucht, Juckreiz der Haut, Schock und Kreislaufkollaps. Eine systemische Anaphylaxie kann nur durch Kontakt des Antigens mit dem Kreislauf verursacht werden. Wenn Medikamente verabreicht werden kann dies der Fall sein, wodurch Reaktionen wie Schock, Asthma, Ödeme, Exantheme und schlimmstenfalls der Tod folgen.

2.2.2 Typ II Allergie (Cytotoxische Allergie)

Folgende Allergieform wird durch IgM oder IgG- Antikörper hervorgerufen, welche gegen körpereigene Haptene gerichtet sind. Jene cytotoxische Antikörper zerstören die Zielzellen durch Aktivierung von Makrophagen oder ein Komplementsystem. Rhesus- und AB0- Blutgruppenunverträglichkeit sowie das Abstoßen von Transplantaten gehört zu bekannten Formen einer Typ II Allergie.

2.2.3 Typ III Allergie (Immunokomplex Typ)

Ähnlich wie bei der Typ II Allergie spielen genauso IgG und IgM- Antikörper eine große Rolle bei diesem Allergietypus. Wenn kontinuierlich Antigene freigesetzt werden, beispielsweise bei chronischen Infektionen, entstehen entweder Antigen-Antikörper- oder Immun- Komplexe. Die genannten Komplexe begünstigen eine Aktivierung des Komplementsystems und somit einen Entzündungsprozess mit folgender Gewebeschädigung. Typische pathologische Vorgänge wie etwa Vaskulitis, Nephritis und Arthritis entstehen durch die erwähnten Abwehrreaktionen. Chronische Streptokokken Infektionen, Serumkrankheit, zu häufiges Impfen aber auch die Aufnahme von partikulären Allergenen über die Atemluft bezogen auf einen längeren Zeitraum können Allergien vom Typ III erzeugen.

2.2.4 Typ IV Allergie (Spättypallergie)

Nachdem sich dieser Allergietyp auf der Haut manifestiert, spricht man auch von Kontaktallergie oder aber Kontaktdermatitis. Hierbei handelt es sich eigentlich um eine Überempfindlichkeitsreaktion, welche verzögert zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet. Chemisch reaktive Gruppen die mit den Eiweißen der Haut eine Reaktion erzeugen gehören zu den Auslösern einer Typ IV Allergie. Eine Tuberkulin-

Hautreaktion ist ein typisches, wenn nicht klassisches Beispiel einer solchen Allergie. Allerdings kann diese leicht mit einer atopischen Dermatitis oder Neurodermitis verwechselt werden (vgl. Botzenhart; Müller; Strubelt 2006, S. 90 - 94).

DIE VIER ALLERGIETYPEN		
Typ	**Mechanismus**	**Klinik**
TYP I	Antigen vernetzt IgE auf Mastzelle und setzt somit Histamin frei	Asthma bronchiale
TYP II	Antigen bindet an die Zelle und Antikörper führt zur Zellzerstörung	Allergische bronchopulmonale Aspergillose
TYP III	Antigen- Antikörper-Komplex adhäriert an Zellen und zerstört Gewebe	Exogen- allergische Alveolitis
TYP IV	Allergen setzt Mediatoren frei und es kommt zur Lymphocyteneinwanderung	Kontaktdermatitis

Abbildung 6: *Die vier Allergietypen*

2.3 Diagnose und Testung

Um eine potentielle Schimmelpilzallergie diagnostizieren zu können bedarf es mehrerer Schritte, welche erst gemeinsam eine Aussage über die Möglichkeit einer Sensibilisierung zulassen. Am Beginn einer Testung steht die ausführliche Anamnese, nach der gezielt Hauttests durchgeführt werden, anschließend erfolgen Provokationstestung und Allergenkarenz mit abschließender Allergenexposition.

Als wichtigste Methode zur Früherkennung einer Allergie ist die Anamnese zu nennen, welche am Beginn der Untersuchung steht und eine zentrale Rolle spielt. Zuerst wird nach Beschwerden gesucht, welche auf eine problematische Beeinträchtigung der Organe schließen lassen. Dabei wird auf Symptome wie etwa

Blähungen, Durchfall, Migräne, Müdigkeit, Gelenksbeschwerden oder auffällige Hauterscheinungen und andere krankhafte Veränderungen geachtet.

Bei der Frau korrelieren die Bereitschaft einer Sensibilisierung und die Lokalisation an den Organen mit dem sich ändernden Hormonhaushalt. So führen das Einsetzen der Menarche, eine Schwangerschaft oder andere Ereignisse, die den Hormonstatus verändern, zu einer Veränderung der Allergiebereitschaft. Beim Mann hingegen treten ähnliche Gegebenheiten ab einem Alter von ungefähr 40 Jahren auf. Weiters wird eine aktuelle Allergenermittlung angestrebt durch Erfragen von Beginn, Dauer und Ausprägung der allergischen Reaktionen.

Hinzu kommt das Beachten von Einflussgrößen, wie der Zustand von Wohnung oder klimatisierten Räumen, Witterung und Jahreszeit. Genauso wie bei saisonal abhängiger allergischer Rhinitis besteht bei einer Schimmelpilzallergie die Tendenz zur Korrelation mit auftretenden Sporenflugzeiten. Wenn sich warme Witterung und feuchte Wetter abwechseln, wie dies im Spätsommer oder Frühherbst der Fall ist, zeichnet sich eine vermehrte Konzentration von Schimmelpilzsporen in der Luft ab. Auch in den Monaten zwischen Juli und September vorzugsweise nach Niederschlägen und bestehendem Wind, geben bestehende Symptome Aufschluss über eine Schimmelpilzallergie.

Ebenso ermöglichen falsche Lüftung, schlecht gewartete Klimaanlagen, unzureichende Belüftung der Schlafstätte, feuchte Stellen und Fell tragende Tiere eine Ansammlung von Schimmelsporen in der Luft.

2.3.1 Testung der Haut

Anhand einer positiven Reaktion der Haut auf ein eingebrachtes Allergen, kann der Grad der Sensibilisierung, nicht aber die Aktualität der Allergie festgestellt werden. Prick-Test (Abbildung 7), Reibetest sowie Scratchtest sind zwar geeignet, aber weniger aussagekräftig um eine bestehende Allergie zu diagnostizieren.

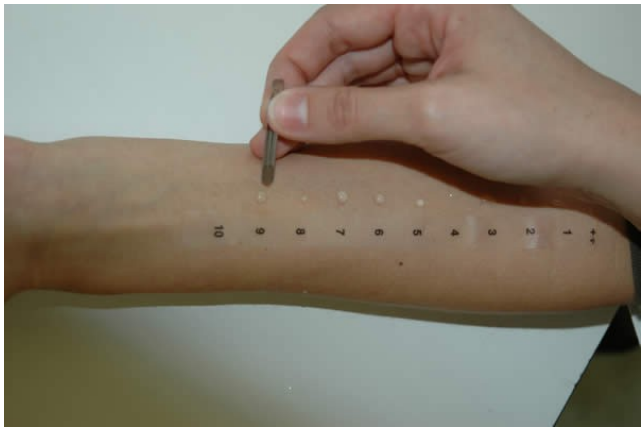


Abbildung 7: *Prick- Test*

"Aufgrund der besseren Reproduzierbarkeit, vor allem wegen der innerhalb systemspezifischen Grenzen injizierter, konstanter Allergenmengen, ist bei der Schimmelpilztestung der Intrakutantest zu bevorzugen" (Eikmann 2011, S.84). Allergenextrakte die sich auf Werte zwischen 0,02ml und 0,04ml belaufen werden mit einer Kanüle so in die Haut (=intrakutan) eingebracht, dass nicht blutende, linsengroße Quaddeln entstehen. Das Testverfahren erfolgt am lateralen Bereich des Rückens mit vorangegangenem Ausschluss einer unspezifischen Reaktion durch eine physiologische Kochsalzlösung und einer positiven Reaktion auf Histamin. Fällt das Ergebnis positiv aus, kann lediglich von einer kutanen Sensibilisierung gesprochen werden.

2.3.2 Provokationstestung

Inwieweit eine allergische Hautreaktion auf entsprechende Allergene aktuell und bedeutend ist, wird durch einen Provokationstest ersichtlich. Am Beginn dieser Testung kommt ein Leertest zum Ausschluss für unspezifische Reaktionen zur Anwendung, erst dann wird das betroffene Organsystem mit dem spezifischen Allergen provoziert. Zum Zeitpunkt der Durchführung darf das Organsystem keine allergiebedingten Symptome aufweisen. Eine nasale Provokation stellt sich als geeignetes Verfahren zur Auslösung einer Allergie dar. Eine klinische Reaktion sowie die Rhinomanometrie verhelfen hierbei zur Erkennung eines positiven Ergebnisses. Neben der nasalen Provokation besteht auch die Möglichkeit zur inhalativen Provokation durch den Ganzkörperplethysmographen, welcher zur Darstellung einer bronchopulmonalen Reaktion benutzt wird. Jene Intrakutan- und

Provokationslösungen, welche verabreicht werden, beinhalten oftmals den gesamten Pilz mit dazugehörigem Myzel sowie die anhaftenden Sporen.

2.3.3 In- Vitro- Untersuchung

Bei Radio- Allergo- Sorbent- Test (RAST) und Enzym- Allergo- Sorbent- Test (EAST) handelt es sich um In- vitro- Untersuchungen, bei denen ein Nachweis über das Vorhandensein von IgE Antikörper gegenüber einzelner Allergene hervorgebracht wird. Durch die Ermittlung von existierenden Antikörpern kann eine Sensibilisierung exakt nachgewiesen werden, gibt jedoch keine Auskunft über Relevanz oder Stärke der Allergie. Aufgrund der hohen Spezifitätsneigung fallen die Testergebnisse in vielen Fällen falsch negativ aus, wodurch Nebenallergene nicht erfasst werden können (vgl. ebd. S.82-86).

2.4 Erkrankungen durch Schimmelpilze

Ein Großteil der Erkrankungen durch Schimmelpilze beläuft sich auf die Beeinträchtigung der Atemwege, sowie das Auftreten diverser Allergien und Infektionen. Zum besonders gefährdeten Personenkreis, welcher für die genannten Erkrankungen anfällig ist, zählen immunsupprimierte Personen, Kinder und vor allem auch ältere Menschen. Personen mit einem schlecht funktionierenden Immunsystem sind besonders anfällig für Infektionen, Atemwegserkrankungen oder Nebenerscheinungen wie Müdig- und Mattigkeit. Schon eine geringe Menge an allergenen Sporen reicht aus um Allergien beim Menschen hervorzurufen. So kann der unentdeckte Schimmelpilzbefall die Gesundheit von betroffenen Personen erheblich beeinträchtigen. Außerdem gibt es eine Reihe an Schimmelpilzarten, welche Mykotoxine produzieren, die leicht in die Luft gelangen und auf diese Weise die Innenluft kontaminieren (vgl. Frössel 2006, S. 270 f).

Grundsätzlich erfolgt eine Einteilung gesundheitsrelevanter Beeinträchtigungen in 3 Kategorien:

1. Mykoallergosen
2. Mykotoxikosen
3. Mykosen

Mykoallergosen sind die am häufigsten auftretenden pathogenen Erscheinungen einer Schimmelpilzexposition, wobei 4 unterschiedliche Allergietypen unterschieden werden. Prinzipiell können Schimmelpilze allergische Reaktionen auslösen, je nachdem wie der Zustand von Immunsystem und Konstitution des jeweiligen Menschen ausfallen. Auslöser von Allergien sind die auf der Haut befindlichen Sporen oder jene, welche durch Inhalation in den Körper gelangen.

Mykotoxine, oftmals natürliche Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen, können reizende sowie im schlimmsten Fall toxische Wirkungen entfalten. Die Aufnahme von belastenden Nahrungsmitteln macht eine akute oder chronische Mykotoxikose möglich. Ebenso kann die Inhalation von mykotoxinbelastenden Pilzsporen zu gesundheitlichen Belastungen führen. Einige Arten von Mykotoxinen besitzen kanzerogene sowie mutagene Eigenschaften, ebenso sind Leber- und Nierenschädigungen nicht selten.

Neben Allergien und Mykotoxikosen ist aber eine schimmelbedingte Infektion die größte Belastung für den menschlichen Körper. Voraussetzungen dafür sind ein geschwächtes Immunsystem bei gleichzeitiger Aufnahme von Schimmelpilzen. Unterschieden wird zwischen systemischen und lokalen Infektionen. Systemische Mykosen betreffen die krankhafte Ausbreitung im Organismus, wohingegen oberflächige Mykosen als lokale Infektionen bezeichnet werden (vgl. ebd. S.271 f).

2.5 Allergische Reaktionen

2.5.1 Asthma Bronchiale

Asthma zählt zu den reversiblen, sich verändernden Bronchopathien, welche entweder durch eine Entzündung oder eine übersteigerte Reaktionsbereitschaft der Atemwege zustande kommen und gehört somit der Typ-I Allergie an. Das allergische Asthma Bronchiale tritt akut nach dem Kontakt mit dem entsprechenden Allergen auf und äußert sich durch Atemnot und Husten. *"Objektiv läßt [sic] sich eine reversible, akut- intermittierende obstruktive Ventilationsstörung nachweisen. In einem späteren Stadium ist meist sekundär die Entwicklung einer unspezifischen bronchialen Überempfindlichkeit zu beobachten"* (Mücke/ Lemmen 1999, S.59). Jedoch ist

Hustenreiz und Atemnot nicht zwingend beim spezifischen Allergen, sondern kann auch durch andere inhalative Reize und körperliche Anstrengungen hervorgerufen werden. Dies führt dazu, dass sich die Krankheit entsprechend verselbstständigt, ohne das betreffende Allergen als Auslöser einer Reaktion zu benötigen.

Asthma bronchiale ist vor allem im Kindesalter als chronische Erkrankung präsent, kommt aber durchaus in jedem Lebensalter vor. Die Krankheit zeichnet sich vorwiegend durch ihre IgE Vermittlung aus und 1/3 der Erkrankungen entwickelt sich anhand einer vorangegangenen Allergie. Da die Sporen von Schimmelpilzen direkt in die Bronchiolen gelangen können, ist Asthma die hauptsächliche Erscheinungsform von IgE vermittelten Allergien durch Pilze (vgl. ebd.).

Als asthmogene Schimmelpilze sind hierbei vor allem Zygomyzeten und Fungi imperfecti zu nennen. Zu finden sind diese Schimmelpilze vorwiegend auf unsachgemäß gelagerten Waren wie etwa Früchten, Pflanzen, Wurzelknollen oder Blättern. Die Fruktifikationsstrukturen können bereits durch geringfügige Luftbewegungen Konidien oder Sporangiosporen freisetzen und sich länger in der Luft aufhalten und auf diesem Weg über größere Distanzen hinweg ihre Verbreitung finden. Potente Erreger sind insbesondere Sporen von *Penicillium* und *Alternaria* die hochwirksam sind, wenn es um das Auslösen eines Asthma Bronchiale geht (vgl. Reiß 1998, S.199).

2.5.2 Exogen- allergische Alveolitis (EAA)

EAA oder Hypersensibilitätspneumonie (Abbildung 8) ist eine Form der Lungenentzündung, welche entweder einen akuten oder subakuten chronischen Verlauf hat, verursacht durch das ständige Einatmen organischen Staubes (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.60). Die Teilchen des Staubes müssen eine Größe unter 10µm aufweisen und stammen etwa von den Arten *Acremonium*, *Aspergillus* und *Penicillium*. Hauptsächlich betroffen sind mittlere sowie obere Atemwege und das Lungenparenchym. Gekennzeichnet ist die exogen- allergische Alveolitis durch systemische Reaktionen wie Fieber, Schüttelfrost und Myalgien auf der einen Seite und pulmonalen Reaktionen wie Husten, Kurzatmigkeit und Verschlechterung der Lungenfunktionsparameter auf der anderen Seite (vgl. Reiß 1998, S.200). Die beschriebenen Symptome treten etwa in einem Zeitraum zwischen 4-6h auf und

zählen zu einer Typ-III Reaktion, wobei auch Züge einer Typ- IV Reaktion erkennbar sind.

Abbildung 8: *Exogen- allergische Alveolitis*

Hierbei sind 3 Faktoren ausschlaggebend, welche zur Bildung einer EAA maßgeblich beitragen

1. Sensibilisierung
2. alveolengängiges Inhalat
3. massive Antigenexposition über längere Zeit

Inwiefern sich die allergische Reaktion beim Menschen äußert ist individuell abhängig von Art, Intensität und Häufigkeit des Kontaktes mit dem spezifischen Allergen. Zu Beginn ist der Verlauf der Erkrankung schubweise und kann zu einem späteren Zeitpunkt in ein chronisches Stadium übergehen, welches durch eine ausgedehnte Lungenfibrose gekennzeichnet ist. Im Allgemeinen gehört diese Form der allergischen Reaktion den interstitiellen und üblicherweise seltenen Lungenerkrankungen an.

2.5.2.1 Farmer-, Vogelhalter- und Befeuchterlunge

Die Farmerlunge, Vogelhalter- und Befeuchterlunge sind die drei Berufskrankheiten, welche am häufigsten vorkommen und daher zu den wichtigsten Vertretern der exogen- allergischen Alveolitis zählen.

Die Farmerlunge, auch Drescherlunge genannt, wird vorwiegend durch thermophile Actinomyceten ausgelöst, in einigen Fällen auch durch Aspergillen. Ein möglicher Nachweis der EAA kann durch das Vorkommen von Präzipitinen (Antikörper gegen Antigene der EAA) erbracht werden (vgl. Mücke/ Lemmen 1998, S.66). Die Farmerlunge tritt vor allem in der Landwirtschaft auf, speziell bei der Milchwirtschaft welche einen geringen Mechanisierungsgrad aufweist. Auch feucht- kalte Klimata und kurze Sommer begünstigen die Entwicklung dieser Krankheit. Die Problematik entsteht bei der Einlagerung von Heu, Stroh und Getreide in einem feuchten Zustand. *"Durch einen Autofermentationsprozess kommt es zur Temperaturerhöhung im Lagerfutter und dadurch zur Vermehrung verschiedener thermophiler Mikroorganismen"* (Minder/ Nicod 2005, S.570). Eine Exponierung thermophiler Keime passiert hauptsächlich während der zweiten Hälfte der Heufütterungsperiode und betrifft Gebiete wie etwa Kanada, Finnland und die Voralpen.

Die Vogelhalter- oder auch Vogelzüchterlunge wird weltweit als häufigste Form der EAA angesehen. Besonders bei Vogelarten wie Tauben, Wellensittichen, Kanarienvögeln und Finken zeigen sich vermehrt krankhafte Auswirkungen. Vor allem IgA und Mucine, welche von respiratorischen Sekreten und gastrointestinalen Exkrementen stammen, zählen zu den Krankheitsauslösern. Speziell die Proteine von Tauben, Finken und Wellensittichen tragen das höchste Potential einer Sensibilisierung in sich. Als mögliche Variante der Vogelhalterlunge existiert die Duvetlunge, welche auf kontaminierte Daunen zurückzuführen ist (vgl. Minder/ Nicod 2005, S.569 f).

Die sogenannte Befeuchterlunge kann überall dort auftreten, wo kontaminierte Wassersysteme bestehen, wie es in Druckereien oft der Fall ist. Weitere mögliche Erkrankungsformen der EAA sind die Malzarbeiterlunge oder die Käsewäscherkrankheit, welche aber nur selten vorkommen (vgl. Mücke/ Lemmen 1998, S.67).

2.5.3 Allergische bronchopulmonale Aspergillose (ABPA)

Hierbei handelt es sich um eine Schimmelpilzallergie, welche sowohl einer Typ-I als auch einer Typ-II Reaktion zugerechnet werden kann (vgl. Reiß 1998, S.201). Die allergische bronchopulmonale Aspergillose findet sich häufig bei jüngeren Menschen

und betrifft im speziellen Asthmatiker, welche auch fast immer Atopiker sind. Genauso können Betroffene einer Mucoviszidose eine ABPA aufweisen und haben ausgebildete Antikörper gegen *Aspergillus fumigatus* und andere Gattungen.

Wenn bei einem bestehenden Asthma bronchiale Sporen des *Aspergillus fumigatus* nicht aus den Atemwegen eliminiert werden, können diese in den Lungenwegen keimen und Myzelien entwickeln. Diese leben dann als heterotrophe Organismen in den Atemwegslumina und regen dort durch ständiges Ausschütten von Antigenen die Bildung von IgG- oder IgE- Antikörper an. Durch die Antikörperreaktion von IgG und IgE werden Entzündungen und Gewebszerstörungen vorangetrieben, welche wiederum ein erneutes Pilzwachstum begünstigen (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.65).

2.5.4 Toxische Alveolitis (ODTS)

Die toxische Alveolitis, erstmals 1946 als Drescherfieber benannt oder auch als Mykotoxikose der Lunge bezeichnet, ist gebräuchlich für die Beschreibung von toxischen Alveolitiden hervorgerufen von Schimmelpilzen. Seit 1985 wird das Krankheitsbild als Organic Dust Toxic Syndrom bezeichnet, kurz ODTS, und bezieht neben Schimmelpilzen auch toxische bakterielle Partikel mit ein. Die wichtigsten Auslöser sind hierbei vor allem Mykotoxine, aber auch Endotoxine.

Kurz nachdem die allergieauslösenden Produkte eingeatmet werden tritt eine akute grippeähnliche Erkrankung auf, welche durch Husten, Schüttelfrost, Fieber und Kurzatmigkeit gekennzeichnet ist. In ihrer Klinik ähnelt sie stark der toxischen Alveolitis in der akuten Phase, wobei die Symptome unmittelbar nach der Schimmelexposition oder erst Stunden danach auftreten können. Die Krankheit an sich ist rezidivierend, wobei die Lungenfunktion nicht irreversibel geschädigt wird, auch nach mehrmaligen Rezidiven (vgl. ebd. S. 68 f).

2.5.5 Allergische Rhinokonjunktivitis

Von einer allergischen Rhinokonjunktivitis wird dann gesprochen, wenn die Nasenschleimhaut aufgrund einer IgE- vermittelten Allergiereaktion entzündet ist, was sich durch eine symptomatische Überempfindlichkeitsreaktion der Nase bemerkbar macht. Die Kardinalsymptome zur Bestimmung einer allergischen Rhinokonjunktivitis sind nasale Obstruktion, Niesen, klare Sekretion und Juckreiz. *"Die Allergische Rhinokonjunktivitis ist durch eine zelluläre Entzündungsreaktion*

charakterisiert, die sich experimentell in eine Sofort- (<2h) und eine Spätphase (2-48h) unterteilen lässt" (Bachert et al. 2003, S.182). Außerdem erfolgt eine Einteilung ihrer Auslöser in eine berufsbedingte, saisonale und perenniale Form, wobei die saisonale sowie perenniale Form durchaus diversen Schwankungen unterliegt.

2.5.6 Allergische Rhinitis

Infolge eines Kontaktes mit einem entsprechenden Allergen kommt es zu einer Entzündung der Nasenschleimhaut, welche IgE vermittelt ist. Auch hier bestehen wie bei der Rhinokonjunktivitis die 4 Kardinalsymptome Niesen, Juckreiz, klares Sekret und nasale Obstruktion. Neben diesen typischen Symptomen treten häufig als Begleiterscheinung eine Konjunktivitis (Bindehautentzündung des Auges) und in selteneren Fällen eine Sinusitis (entzündete Nasennebenhöhlen) auf. Die saisonale Rhinitis bezieht sich auf die Pollinosis und die perenniale Form der Rhinitis auf Innenraumallergene wie die des Hausstaubes. Außerdem besteht eine Einteilung in die intermittierende und persistierende Form der Rhinitis. Erstere zeigt ihre Symptomatik unter 4 Wochen oder weniger als 4 Tage pro Woche, zweitere beläuft sich auf mehr als 4 Tage über mehr als 4 Wochen. Die intermittierende Rhinitis tritt bei 2/3 der Patienten auf und die persistierende bei 1/3. Darüber hinaus besitzt dieses Krankheitsbild eine hohe Komorbidität, wie etwa Sinusitis, Asthma oder Nahrungsmittelallergie (vgl. ebd. S. 182 f).

2.6 Irritationen

2.6.1 Allergische Dermatitis

Durch Kontakt mit Allergenen können folgende Symptome auftreten: Exantheme, Juckreiz und Austrocknen der Haut. Genauso besteht die Möglichkeit der Entstehung einer immunologisch bedingten Dermatitis (Abbildung 9) infolge von Speise- oder Schimmelpilzen, ausgelöst durch berufliche Kontaktdermatitis oder -urtikaria.

Abbildung 9: *Allergische Dermatitis*

2.6.2 Konjunktivitis und Keratitis

Durch eine Infektion oder Exposition mit Schimmelpilzen entwickeln sich Irritationen oder Entzündungen der Augen wie in Abbildung 10 zu sehen. Häufig betroffen von solchen Krankheiten sind Kontaktlinsenträger, da unterschiedliche Pilzarten die Aufbewahrungs- sowie Reinigungsflüssigkeiten besiedeln (vgl. Buzina 2007, S. 463).

Abbildung 10: *Konjunktivitis*

2.6.3 Rhinosinusitits

Die allergische Rhinosinusitis (Abbildung 11) gehört zu den chronischen Erkrankungen und kommt in westlichen europäischen Ländern mit einer Wahrscheinlichkeit von 23% vor und zeigt eine steigende Prävalenz. Unterschieden

werden 3 Arten der Rhinosinusitis: die akute, die akut rezidivierende und die chronische Rhinosinusitis. Bei der akuten Form handelt es sich um einen entzündlichen Prozess, wohingegen bei der chronischen Form eine sukzessive Obstruktion und eine mukosale Entzündung vorliegen. Symptome einer akut auftretenden Rhinosinusitis sind [...] *"nasale Obstruktion, eitrige Rhinorrhö, postnasale Sekretion, heftige Kopfschmerzen mit typischen Projektionspunkten, Husten, Fieber und eine allgemeine Leistungsminderung sowie Abgeschlagenheit"* (Stuck et. al. 2007, S.762). Das klinische Bild einer chronischen Rhinosinusitis ist weniger markant und beschränkt sich auf Schmerzen im Gesicht- und Kopfbereich, Behinderung der Nasenatmung, Niesen, Riechstörungen und nasale Sekretion (vgl. ebd. S.762 ff).

Abbildung 11: *Allergische Rhinosinusitis*

2.7 Nicht- allergische Reaktionen

2.7.1 Mykotoxikose

Eine Mykotoxikose ist eine Vergiftung durch Schimmelpilz kontaminierte Lebensmittel und wird von Mykotoxinen ausgelöst, welche giftige Stoffwechselprodukte von imperfekten Pilzen und Ascomyzeten darstellen. Die Mykotoxikose ist nicht zu verwechseln mit einer Vergiftung durch höhere Pilze, auch als Myzetismus bezeichnet. Die Abgrenzung von anderen Sekundärmetaboliten wie etwa Antibiotika stellt sich als sehr schwierig heraus, da diese toxische Nebenwirkungen haben können und Mykotoxine ebenso antibiotisch wirksam sind.

"Mykotoxine sind sekundäre Stoffwechselprodukte und werden daher bevorzugt auf nährstoffreichen Substraten und in einer späten Phase des Wachstums gebildet" (Mücke/ Lemmen 1999, S.88). Die Synthese von sekundären Stoffwechselprodukten findet nur unter bestimmten Bedingungen statt und betrifft nur bestimmte Schimmelpilze. Beim Übergang in die Idiophase sammeln sich die Produkte des primären Glukosestoffwechsels an und wandeln sich in Pigmente, Alkaloide, Toxine, Antibiotika u.a durch den sekundären Metabolismus. Die entstandenen Mykotoxine werden entweder in das Substrat abgegeben oder verbleiben im Myzel oder den Sporen. Unzählige Faktoren wie etwa Feuchte, Zeit, Temperatur etc. beeinflussen die Bildung von Toxinen und unterscheiden sich auch innerhalb der unterschiedlichen Stämme. Je höher die Feuchte und je länger der Prozess des Schimmelwachstums, desto höher ist das Risiko für eine Toxinbildung. Doch auch ohne eindeutige Schimmelbildung können bereits Mykotoxine entstehen, da sie keine essentielle Bedeutung für den Stoffwechsel der Pilze besitzen.

Es bestehen in etwa 200 Schimmelpilzarten die Toxine produzieren können, wobei die Arten Aspergillus, Penicillium und Fusarium die bedeutendsten Produzenten von Mykotoxinen sind. Die meisten dieser toxinproduzierenden Schimmelpilze besiedeln Pflanzen, vor allem Feldpilze sind für den Großteil von Mykotoxinbildung verantwortlich (vgl. ebd. S.86- 90).

Mykotoxikosen lassen sich in eine akute oder chronische Form einteilen. Erstere ist eine Erkrankung die schleichend eintritt, ausgelöst durch die Aufnahme geringer Mengen von Toxinen über einen längeren Zeitraum hinweg. Letztere tritt nur dann ein, wenn innerhalb kürzester Zeit eine größere Menge an Toxinen aufgenommen wird. Im schlimmsten Fall ist eine Mykotoxikose lebensgefährlich.

Doch Mykotoxine besitzen neben ihren toxischen Eigenschaften auch mutagene, karzinogene, teragene, neuro- und dermatotoxische Wirkungen. Direkt oder indirekt können die Toxine das Immunsystem schwächen oder gewisse Teile der Immunabwehr ausschalten und so entsprechende Krankheiten hervorrufen. Hierbei sind besonders die Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus* und *Stachybotrys* als gesundheitsbeeinträchtigend zu nennen. Die Arten *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* und *Aspergillus fumigatus* sind speziell zu erwähnen, da sie nicht nur toxisch, mutagen, karzinogen und teratogen sondern auch Nieren schädigend wirken. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass sie in andere Organe vordringen, Blutungen

entstehen lassen und sogar Blutgefäße einreißen. Die gefährlichste Art unter den Mykotoxinen ist das Aflatoxin, welches eine starke kanzerogene Wirkung besitzt (vgl. Frössel 2006, S. 283 f).

2.7.2 Microbial volatile organic compounds (MVOC)

Mikrobielle Stoffwechselprodukte stehen ebenso im Verdacht auf den Menschen reizend oder toxisch zu wirken. Allerdings können nicht alle MVOC eindeutig einer mikrobiellen Quelle zugeordnet werden. Wenn eine mikrobielle Besiedelung und Zersetzung von organischem Material gegeben ist, können auch nach einer Sanierung durch den sogenannten Sink Effekt Erkrankungen durch MVOC entstehen. Der Sink Effekt zeichnet sich dadurch aus, das gewisse Möbel, Materialien oder Textilien eine besonders gute Haftmöglichkeit für mikrobielle Substanzen bietet und diese daher über längere Zeit auf den genannten Objekten verweilen. Symptome einer MVOC Belastung sind vor allem Kopfschmerzen, Müdigkeit, Juckreiz mit Hautausschlägen und Entzündungen der Schleimhäute, aber auch Konzentrationsschwäche, Ein- bzw. Durchschlafstörungen, die unspezifisch sind und durch MVOC ausgelöst werden können. Da es in Wohnungen keine hochtoxischen MVOC gibt, beschränken sich die gesundheitlichen Auswirkungen eher auf Allergien. Da über Messungen nur ein geringer Anteil an MVOC gemessen werden kann und diese größtenteils in Konglomeraten vorliegen, sind Analytik und Diagnostik gesundheitlicher Gefahren, Beschwerden und Belastungen nur bedingt möglich (vgl. ebd. S.287).

3. INNENRAUMPROBLEMATIK

3.1 Ursachen

Die beiden wichtigsten Faktoren, die es einem Schimmelpilz ermöglichen ungehindert zu wachsen sind die Feuchtigkeit und das Vorhandensein von Nährstoffen. Der bedeutendere Faktor dieser beiden ist die Feuchtigkeit, da der Schimmelpilz einen geringeren Bedarf an Nährstoffen hat und schon eine kleine Menge genügt, um die Weiterentwicklung voranzutreiben. Zwei weitere nicht unbedeutende wachstumsfördernde Umstände stellen sowohl die Temperatur als

auch der pH- Wert dar. Eine Beeinflussung durch Sauerstoff oder Licht findet nur in einem unerheblichen Maß statt. Das Licht spielt eine geringe Rolle beim Wachstum und nachdem der Schimmelpilz bei wenig Sauerstoff von einer aeroben zur anaeroben Lebensweise übergehen kann, wird auch ein Überleben unter extremen Bedingungen möglich.

Schimmelpilze besitzen eine große Temperaturresistenz und können sogar eine Inaktivierung ihrer Sporen zum Schutz vor extremer Kälte oder Hitze veranlassen. *"Je nach Temperaturbereich werden sie als psychrophil (kälteliebend), psychotroph (Übergangsform), mesophil (mittleren Temperaturbereich liebend) und thermophil (wärmeliebend) bezeichnet"* (Frössel 2006, S.103). Die maximale Temperatur bei der ein Schimmelpilz leben kann liegt bei rund 40°C, die minimale Temperatur beläuft sich auf 0°C, wobei die optimale Temperatur für das Pilzwachstum zwischen 25 und 35°C liegt.

Genauso wie die Temperatur, ist auch der pH- Wert wesentlich für die Entwicklung eines Schimmelpilzes. Das Spektrum des pH- Wertes eines Substrates reicht von 3 bis 9, kann aber durchaus den Bereich von 2 bis 11 erreichen, obwohl bei diesen Bedingungen kaum Schimmelpilzwachstum nachgewiesen werden kann. Der bevorzugte pH- Wert liegt im leicht sauren Bereich bei 4 bis 7. Durch das Ausscheiden von gewissen Stoffwechselprodukten wird eine Beeinflussung des pH-Wertes von Seiten des Schimmelpilzes bewirkt, wodurch der pH- Wert, je nachdem um welche Art und welchen Untergrund es sich handelt, nach oben oder unten verändert werden kann. Dadurch entsteht die Einteilung der Pilze in alkalophile (pH-Wert 10 bis 14), neutrophile (pH- Wert 7 bis 9) und acidophile (pH- Wert bis 6).

Die Nahrungsquellen eines Schimmelpilzes beziehen sich immer auf die Nährstoffe an sich und den Nährboden. Aerosole, jene Stoffe und Teilchen die sich in der Luft von Innenräumen befinden, zählen zu den Nährstoffen von Schimmelpilzen. Dazu gehören biologische, organische sowie anorganische Teilchen, die von der Luft getragen werden. Neben natürlichen und synthetischen Feststoffteilchen existieren auch Bioaerosole wie etwa Schimmelpilzsporen, Pollen oder Haare. Diese biologischen Partikel lagern sich an die Staubteilchen an oder werden an diese gebunden. Einerseits transportieren die genannten Aerosole Schimmelpilze und deren Sporen, andererseits dienen sie zugleich als Nahrungsquelle. Aus diesem Grund gedeihen Schimmelpilze auch an, für sie, ungeeigneten Orten, da eine

ausreichende Nährstoffversorgung über die Aerosole der Innenraumluft gegeben ist. Als Nährboden wiederum dient der Untergrund oder auch Substrat genannt, wobei ein mikrobieller Befall auch bei ungünstigen Untergrundbedingungen auftreten kann. Um die Möglichkeit eines Schimmelpilzwachstums zu gewährleisten reichen lediglich einmalig günstige Bedingungen aus.

Der ausschlaggebende Faktor zur Entwicklung von Schimmelpilzen ist die Feuchtigkeit des Substrates, ohne die eine Sporenbildung, Sporenkeimung und ein Wachstum des Myzels nicht möglich wären. Nicht aber die Gesamtmenge der Feuchtigkeit eines Untergrunds, sondern das ungebundene und somit frei zur Verfügung stehende Wasser ist entscheidend für das Wachstum eines Schimmelpilzes. *"Für diesen frei verfügbaren Anteil des Wassers wurde die Kenngröße der Wasseraktivität, der so genannte aw- Wert, eingeführt. Dieser definiert sich als der Quotient des Wasserdampfdruckes im bzw. auf dem Nährmedium (pD) und des Sättigungsdruckes des reinen Wassers (pS) bei der gleichen Temperatur"* (Frössel 2006, S.108). In Bezug zur benötigten Feuchtigkeit für das Schimmelpilzwachstum erfolgt eine Unterteilung in xerophile, hydrophile und mesophile Schimmelpilze. Obwohl die meisten Pilze bei einem aw- Wert zwischen 0,80 und 0,85 wachsen, existiert z.B die Art *Wallemia sebi* bei einem kritischen Wert von unter 0,70 und wird somit als xerophiler Pilz bezeichnet. Schimmelpilze wie *Aspergillus fumigatus* gedeihen ausschließlich bei einem aw- Wert von 0,90 bis 0,95 und zählen zu den hydrophilen Arten. Besteht eine Wasseraktivität von 0,85 bis 0,90 spricht man von mesophilen Pilzen, zu denen beispielsweise *Aspergillus versicolor* zählt.

Die Intensität und das Wachstum von Schimmelpilzen sind demnach von Spezies zu Spezies unterschiedlich, da jede ein eigenes Feuchtespektrum bevorzugt (vgl. ebd. S.102-109).

3.2 Vorbeugung und Schutzmaßnahmen

Die Möglichkeit einer vollständigen Expositionsprophylaxe bei Schimmelpilzen ist nicht gegeben, dennoch kann versucht werden über gewisse Maßnahmen die Gefährdung der Schimmelpilze auf den Menschen zu reduzieren. Im Normalfall stellen Innenräume kein natürliches Milieu für Schimmelpilzwachstum dar und durch

die richtigen Maßnahmen kann ein derartiger Befall auch weitgehend vermieden werden.

Vier Faktoren zählen zu den häufigsten Ursachen von Schimmelbildung: mangelnde Lüftung, unzureichende Dämmmaßnahmen der Baukonstruktion, ungünstige Wohnungsausstattung und Bildung von Kondensat durch Kältebrücken. Diese sind aber entscheidend, da der Hauptgrund für einen Befall mit Schimmelpilzen die Feuchtigkeit darstellt. Die relative Luftfeuchtigkeit sollte 60% nicht übersteigen, was sich mittels Hygrometer überprüfen lässt.

Eine weitere relevante Maßnahme macht das richtige Lüften aus, da Innenräume durch Feuchtigkeitsquellen wie kochen, waschen, Atemluft oder Zimmerpflanzen ebenfalls anfälliger für Schimmelpilze werden. Je nachdem welche Jahreszeit gegenwärtig vorherrscht, sollte auch das Lüftungsverhalten adaptiert werden. Im Winter herrscht außen eine trockenere Luft im Gegensatz zu den beheizten Innenräumen. Aufgrund dessen ist ein Luftwechsel, der in etwa alle 2 Stunden erfolgt, ausreichend. In den Sommermonaten ist ein häufigerer Luftwechsel erforderlich, weil es der warmen Luft nicht möglich ist, dieselbe Wasserdampfmenge aufzunehmen, wie es bei der kalten Luft der Fall ist. Empfohlen wird eine großflächige und vor allem stoßweise Lüftung für zumindest 15min, im Winter aufgrund der Kälte 5min, wobei sich die Häufigkeit der Lüftung auf 3-5 Mal beschränkt. Als äußerst wirksam ist die Querlüftung anzusehen, da ein rascher Luftwechsel ohne Wärmeeinbußen passieren kann. Auch eine Dauerlüftung kann in Erwägung gezogen werden, aber nur von Mai bis September. Aufgrund der bestehenden Thermik in den Wintermonaten dürfen Fenster maximal für 20min geöffnet werden. Wohnräume die nicht beheizt sind, sollten von den beheizten Räumen abgeschirmt werden um zu vermeiden, dass Kondensat an den kalten Wänden durch die warme, feuchte Luft entsteht. Deshalb erfolgt der Luftaustausch im Keller und in unbeheizten Räumen am besten nachts, da die Luftfeuchtigkeit am geringsten ist. Genauso gilt ein regelmäßiger Luftaustausch für jene Räume oder Gebäude, welche über längere Zeiträume unbewohnt sind.

Infolge schlechter Wärmedämmung kann es ebenso zur Ansammlung von Feuchtigkeit an kalten Wänden kommen. Aus diesem Grund sollten Übergangsbereiche wie Decken und Wände an unbeheizten Räumen genauso isoliert werden wie Altbauten, wobei in diesem Fall eine Außendämmung das Mittel

der Wahl ist. Um eine mangelhafte Zirkulation der Luft zu vermeiden, empfiehlt es sich bei ungenügend abgedichteten Außenwänden diese frei zu lassen. Frei stehende Möbel benötigen einen Mindestabstand von 5 bis 10cm zur nächsten Wand.

Gerade in Nassräumen ist auf das richtige Material zur Verkleidung der Wände zu achten, sowie ausreichende Belüftung und Sauberkeit. In Wohnräumen besteht ebenso, durch die Blumenerde der Pflanzen, die Gefahr einer Schimmelpilzentwicklung. Auch durch Tierkot, wie beispielsweise jener der Vögel, kann erhöhter Sporengehalt gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen. Sogenannte Streuquellen wie etwa Lebensmittel oder Abfallbehältnisse sollten ebenfalls vermieden werden. In aller Regel ist darauf zu achten die Innenräume möglichst sauber zu halten, um die Nährmedien für einen Schimmelpilz gering zu halten (vgl. Mücke/ Lemmen 1999, S.146-149).

3.3 Sanierung

Unterschieden werden in der Regel 2 Arten der Schimmelpilzsanierung: einerseits die vollständige Entfernung von kontaminierten Stellen und andererseits das Kaschieren schimmelpilzbelasteter Stellen. Ebenso macht es einen Unterschied, ob sichtbarer oder nicht sichtbarer Schimmelpilzbefall beseitigt wird. Auf jeden Fall ist zu bedenken, dass durch Sanierungsmaßnahmen oft eine größere gesundheitliche Gefährdung auftreten kann, als es der Schimmelpilz an sich auszulösen vermag. Aus diesem Grund müssen vor allem während und nach der Sanierung spezielle Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Neben den betroffenen Stellen sind nicht sichtbare Schimmelpilzsporen und Stäube zu entfernen, welche ebenso gesundheitliche Beeinträchtigungen mit sich bringen können. Erst die richtige Diagnostik und anschließende Entfernung garantieren eine erfolgreiche Beseitigung der Schimmelpilzproblematik und mindern gleichzeitig das Wiederauftreten mikrobiellen Befalls.

Temporäre Maßnahmen sind weniger vielversprechend, da sie nur eine Symptombekämpfung darstellen und ein erneutes Schimmelpilzwachstum ermöglichen. Genauso wenig empfiehlt sich das Entziehen günstiger Lebensbedingungen als Mittel zur Schimmelpilzsanierung, da vorrangig eine Ursachenabklärung den gewünschten Erfolg bringt. Die Ursachen werden unterteilt in

Primär- (bauliche oder konstruktive Mängel) und Sekundärursachen (Heiz- oder Lüftungsverhalten). Die häufigste Ursache für Schimmelpilzwachstum in Innenräumen ist jedoch eine mangelhafte Bauweise. Falsches bzw. unzureichendes Lüften und/ oder Heizen können zwar bestehenden Schimmelbefall verschlimmern, sind aber nur selten der Grund für eine bestehende Schimmelpilzproblematik (vgl. Frössel 2006, S.291-94).

Ist eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch Vorhandensein von Schimmelpilzwachstum gegeben, sollte dazu übergegangen werden eine fachmännische Sanierung einzuleiten. Damit ein erneutes Wachstum unterbunden werden kann empfehlen sich eine Ursachenabklärung, die richtige Behandlung betroffener Stellen und eine anschließende Begutachtung.

Laut "Leitfaden für Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzen in Innenräumen" der UBA, bestehen 6 Schritte für eine erfolgversprechende Sanierung:

1. Schritt: Erfassung des Schadensausmaßes über den Feuchtezustand einerseits und Messung der Luftkeime und deren Anzucht aus Materialproben andererseits.

2. Schritt: Abschotten des belasteten Bereiches.

3. Schritt: Die Materialentfernung inklusive Staubschutz.

4. Schritt: Desinfektion der befallenen Stellen, um verbliebene Pilzreste abzutöten.

5. Schritt: Schaffung eines lebensfeindlichen pH- Wertes durch den Anstrich mit Kalk- und Wasserfarben oder mineralischem Putz.

6. Schritt: Durchführen einer Luftkeimmessung, um den Erfolg der Sanierung zu überprüfen.

Wenn es sich bei der befallenen Stelle nur um eine kleine Fläche handelt und der Bewohner weder allergiegefährdet noch immunsupprimiert ist, besteht die Möglichkeit einer eigenständigen Schimmelpilzbeseitigung. Hierbei wird staubarm gearbeitet, damit eine Anreicherung der Luft mit Schimmelpilzsporen vermieden werden kann, um in weiterer Folge die Entstehung von Sekundärquellen einzudämmen. Die mit Schimmel befallenen Stellen werden aus diesem Grund mit Wasser benetzt. Das entfernte Material wird staubdicht verpackt und die behandelte

Stelle mit 70-80% igem Alkohol gereinigt und desinfiziert. Sofern es sich bei den mit Schimmel befallenen Stellen um Polstermöbel, Teppiche oder andere Textilien handelt, besteht kaum eine Möglichkeit der Sanierung.

Von einem größeren Schimmelpilzbefall spricht man ab einer Fläche von 0,5m². Da es aufgrund von rechtlichen oder technischen Gründen oftmals nicht möglich ist eine Sanierung einzuleiten, können bis dahin Sofortmaßnahmen ergriffen werden, um den Bewohner vor dem Schimmelpilz und dessen Sporen oder einer weiteren Ausbreitung zu schützen. Die folgenden 7 Maßnahmen können vom Bewohner ergriffen werden, sofern keine schwerwiegende Schimmelpilzallergie, Immunsupprimierung oder chronische Erkrankung vorliegt.

1. Räumliche Abtrennung der betroffenen Stellen durch Plastikfolie.
2. Abdecken mit Klebefolie oder Vernetzen mit Bindemittel, um eine Sporenfreisetzung in die Luft zu vermeiden
3. Räumlichkeiten, welche einen starken Befall aufweisen sollten nicht betreten bzw. benutzt werden
4. Lebensmittel oder Gebrauchsgegenstände sollten aus der Nähe der schimmelbefallenen Stellen entfernt werden.
5. Gegenstände welche schwer zu reinigen und noch nicht vom Pilz befallen sind, werden im besten Falle entfernt oder abgedeckt.
6. Richtiges Anwenden von heizen und lüften um feuchte Stellen, welche Pilzwachstum begünstigen, zu minimieren.
7. Möbel von Außenwänden entfernen, damit der Taupunkt nicht unterschritten werden kann (vgl. Reinthaler; Pichler- Semmelrock; Buzina S.102-105).

3.4 Rechtliche Grundlagen

Sobald das Auftreten von Baumängeln bei der Übergabe oder während der Bestandzeit stattfindet und es dem Mieter nicht ermöglicht wird das Mietobjekt laut Vertrag zu nutzen, besteht das Recht einer Mietzinsminderung. Jene Mietzinsminderung ist für die Dauer und das Ausmaß der eingeschränkten Nutzbarkeit vorgesehen und kann nur dann zur Gänze erfolgen, wenn eine komplette

Unbrauchbarkeit vorliegt. Schäden an Wänden und Verputz, ausgelöst durch feuchte Stellen oder Schimmelpilze, wird beispielsweise als eine Beeinträchtigung der Brauchbarkeit angesehen.

Sofern die Kenntnis des Minderungstatbestandes vorliegt und es zu keinem Rechtsirrtum gekommen ist, leistet der Mieter gemäß § 1431 ABGB eine nicht bestehende Schuld und verzichtet somit auf eine Mietzinsminderung. *"Die Mietzinsminderung als gesetzliche Gewährleistungsfolge des § 1096 ABGB tritt ohne Rücksicht auf ein Verschulden des Bestandgebers ex lege vom Beginn der Gebrauchsbeeinträchtigung bis zu deren Behebung ein. Ausgeschlossen ist diese Minderung jedoch dann, wenn der Mieter die Umstände, die seinen Gebrauch hindern akzeptiert"* (vgl. ebd. S.111 f).

Wenn der Mieter trotz Wissen über vorliegende Mängel den Vertrag zum gegebenen Mietzins unterzeichnet, liegt der Verzicht auf eine Mietzinsminderung vor. Genauso verhindert die Verweigerung sanierender Maßnahmen von Seiten des Mieters das Recht einer Mietzinsminderung. Sofern der Wohnwert durch einen Schimmelpilzbefall gemindert wird, besteht schon zu Beginn des Mietverhältnisses das Recht auf den Erlass oder die Minderung des Mietzinses. Inwieweit eine Mietzinsminderung erfolgt, hängt vom Ausmaß der Beeinträchtigung durch den Schimmelpilzbefall ab. Neben der Mietzinsminderung kann vom Mieter Schadensersatz einbelangt werden, wenn der Vermieter die Schuld an der Schimmelbildung trägt.

Gemäß § 3 Abs. 2 Z 1 MRG besteht die Erhaltungspflicht an den allgemeinen Teilen des Hauses. Bereiche welche nicht direkt das Wohnobjekt umfassen wie Zwischendecken und Zwischenwände, durchgehende-, Zu- und Ableitungen und Außenbegrenzungen des Hauses zählen zu den allgemeinen Teilen. Der Mieter ist verpflichtet diese Teile in ihrem Zustand zu erhalten und notfalls Erneuerungsarbeiten durchzuführen. Wenn eine Schimmelbildung durch die allgemeinen Teile zustande kommt, fällt es ebenso in die Pflicht des Mieters diese zu sanieren.

"Gemäß § 8 Abs. 1 MRG hat der Hauptmieter den Mietgegenstand und die dafür bestimmten Einrichtungen, wie im besonderen die Lichtleitungs-, Gasleitungs-, Wasserleitungs-, Beheizungs- und Sanitäranlagen zu warten und soweit es sich nicht

um ernste Schäden des Hauses handelt, so instand zu halten, dass dem Vermieter und den anderen Mietern des Hauses kein Nachteil erwächst" (vgl. ebd. S.113).

Die Pflicht der Instandhaltung und Erhaltung ist für den Mieter zweifach begrenzt. Im Rahmen der Erhaltungspflicht muss der Mieter darauf Acht geben keinen gröberen Schaden im bewohnten Objekt entstehen zu lassen, was aber geregelt durch die Wartungs- und Instandhaltungspflicht nur dann verpflichtend ist, wenn für den Vermieter oder einen anderen Mieter dadurch ein Nachteil entstehen könnte. Heizen und Belüften des Mietobjekts hat so zu erfolgen, dass es zu keiner Schimmelpilzbildung und folgender Beeinträchtigung für Mieter und Vermieter kommen kann. Es besteht die Möglichkeit ein solches Verhalten im Mietvertrag festzulegen, sofern es nicht über ein normales Maß hinausgeht und von dem Mieter demnach nicht eingehalten werden kann. Sofern ein Schimmelbefall auftritt, welcher durch einfache Pflege- sowie Putzmaßnahmen entfernt werden kann, gilt die Erhaltungspflicht für den Mieter.

Es besteht für den Vermieter ein Recht auf Kündigung oder Räumungsklage, sobald über einen längeren Zeitraum eine unzulässige Benützung des Mietobjektes erfolgt oder wiederholt Unterlassungen notwendiger Maßnahmen zur Instandhaltung des Gebäudes entstehen, welche die Bausubstanz gefährden oder dies bereits tun. Gründe zur Auflösung des Mietvertrages sind einerseits die Beschädigung des Mietobjektes und andererseits der Verlust des Vertrauens in den Mieter. Letzteres setzt allerdings voraus, dass ein dem Vertrag abweichendes Verhalten dem Mieter bewusst ist. Sofern ein nachteiliges Verhalten von Seiten des Mieters das Mietobjekt schädigt, gilt das Recht auf Kündigung laut § 30 Abs. 2 Z 3 1. Fall oder das Recht auf Räumungsklage gemäß § 1118 1. Fall ABGB.

4. RESUMEE

Schimmelpilze finden sich nicht nur in der Natur und in Innenräumen, sondern auch auf der Haut und in Organsystemen des Menschen selbst. Gattungen wie etwa *Aspergillus*, *Penicillium* und *Absidia* besiedeln den Körper des Menschen, ohne diesen dabei zu schädigen. Findet eine Hypersensibilisierung durch einen Schimmelpilzerreger statt oder ist das Immunsystem entsprechend geschwächt, entfalten Schimmelpilze jedoch ihre pathogene Wirksamkeit. Als potenziell krankheitserregend hingegen gelten Mykotoxine, welche von einigen Schimmelpilzen produziert werden. Neben allergischen Erscheinungen und Toxinen entstehen im schlimmsten Fall sogar Infektionen, welche die Gesundheit beträchtlich schädigen. Da Schimmelpilze eine erhebliche Beeinträchtigung der Gesundheit darstellen können, wäre es wünschenswert die Aufmerksamkeit dahingegend zu schulen, um eine frühzeitige Erkennung einer Beteiligung von Schimmelpilzerregern zu erkennen und die richtigen Maßnahmen zu ergreifen.

5. LITERATURVERZEICHNIS

Bachert, Claus et al. (2003): Allergische Rhinokonjunktivitis. Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Allergologie und klinische Immunologie (DGAI). http://dgaki.org/wp-content/uploads/2010/05/Leitlinie_AllergischeRhinitis2003.pdf (22.2.2012).

Botzenhart, Konrad; Müller Hans E.; Strubelt Otfried: Innenraum-Luftverunreinigungen. Chemie, Physiologie, Hygiene, Medizin und Toxikologie. Renningen- Malmsheim: Expert Verlag 2006.

Buzina, Walter (2007): Gesundheitliche Relevanz von Schimmelpilzen in Innenräumen. http://www.springerlink.com/content/w2156p0775577753/ (17.9.2012).

Eikmann, Thomas: Schwerpunktthema: Schimmelpilze und allergische Erkrankungen. In: Umweltmedizin in Forschung und Praxis 2011.

Frössel, Frank: Schimmelpilze in Wohnungen. Wenn der Pilz zur Untermiete wohnt. Waldshut- Tiengen: Baulino Verlag 2006.

Hof, Herbert: Mykologie für Mediziner. Grundlagen- Pathogenese- Manifestation-Diagnostik- Therapie. Stuttgart: Thieme Verlag 2003.

Hof, Herbert; Dörries, Rüdiger; Müller, Robert Lee: Mikrobiologie.Stuttgart: Georg Thieme Verlag GmbH 2000.

Minder, Stefan; Nicod, Laurent P. (2005): Exogen allergische Alveolitis (Hypersensitivitätspneumonitis). Pathogenese, Diagnose und Therapie. http://www.medicalforum.ch/pdf/pdf_d/2005/2005-22/2005-22-257.PDF (15.12.2012).

Mücke, Wolfgang: Schimmelpilze im Wohnbereich. Altendorf bei Bamberg: D. & M. Gräbner 2002.

Mücke, Wolfgang; Lemmen, Christa: Schimmelpilze in der Umwelt. Vorkommen, Erkrankungen, Schutzmaßnahmen. Altendorf bei Bamberg: M. & D. Gräbner 1998.

Mücke, Wolfgang; Lemmen, Christa: Schimmelpilze. Vorkommen-Gesundheitsgefahren- Schutzmaßnahmen. Landsberg: Ecomed 1999.

Müller, Emil; Löffler, Wolfgang: Mykologie. Grundriß für Naturwissenschaftler und Mediziner. Stuttgart: Thieme Verlag 1992.

Reinthaler, Franz F. et. al. (2006): Pilze im Innenraum. Medizinische Aspekte Diagnostik und Bewertung Prävention und Sanierung. http://www.medunigraz.at/hygiene/images/content/file/pdf/Tagungsband-Web-KW.pdf#page=107(7.3.2012).

Reiß, Jürgen: Schimmelpilze. Leben Nutzen Schaden Bekämpfung. 2., Berlin: Springer 1998.

Stuck, Boris A. et al. (2007): Leitlinie "Rhinosinusitis" der deutschen Gesellschaft für Hals- Nasen- Ohren- Heilkunde, Kopf- und Hals- Chirurgie. http://dgaki.de/wp-content/uploads/2010/05/Leitlinie_RhinosinusitisDGHNOKHC2007.pdf (23.2.2012).

6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: *Systematische Einteilung der Pilze* 8

Abbildung 2: *Aspergillus fumigatus* 10

Abbildung 3: *Penicillium brevicompactum* 11

Abbilung 4: *Fusarium macroconidia* 11

Abbildung 5: *Mucor sp.* 12

Abbildung 6: *Die vier Allergietypen* 20

Abbildung 7: *Prick- Test* 22

Abbildung 8: *Exogen- allergische Alveolitis* 26

Abbildung 9: *Allergische Dermatitis* 30

Abbildung 10: *Konjunktivitis* 30

Abbildung 11: *Allergische Rhinosinusitis* 31