

# ZWAMMEN IN WONINGEN

De verwijdering van zwammen in woningen vereist een multidisciplinaire aanpak in drie specifieke domeinen : het gebouw, de mycologie en de geneeskunde. Omdat het een omvangrijk probleem betreft, hebben we beslist het artikel in twee luiken te verdelen. In dit eerste deel, opgesteld door het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid (WIV), wordt een korte inleiding tot de mycologie gegeven en wordt de uitvoeringswijze van mycologische expertises in aangetaste woningen beschreven. In een volgend Tijdschrift zal het WTCB de voornaamste oorzaken van vocht en van schimmelontwikkeling in woningen onderzoeken en een balans opmaken van de momenteel bestaande saneringsprotocols.

## DEEL 1 : INLEIDING TOT DE MYCOLOGIE – GEZONDHEIDSRISICO'S – EXPERTISES

Camille Chasseur, dr. wet., hoofd van de werken, afdeling Mycologie, WIV (Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid)

Nicole Nolard, dr. wet., hoofd van de afdeling Mycologie, WIV (Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid)

Hoewel zwammen door het grote publiek soms nog tot het plantenrijk gerekend worden, verschillen ze op meerdere vlakken van groene planten. In feite worden ze gekenmerkt door een enorme diversiteit. Bepaalde zwammen worden door kenners als een lekkernij beschouwd, andere soorten zijn schadelijk voor de mens, voor bomen en stenen en nog andere gaan gisten of scheiden stoffen zoals antibiotica af. Met meer dan 200.000 bekende soorten (en elke dag worden er weer nieuwe ontdekt) neemt de zwam een belangrijke plaats in in onze leefwereld en soms – helaas – ook in onze woning.

## 1 STRUCTUUR

Zwammen (*Fungi*), of toch de zogenaamde “echte zwammen” of Eumyceten (zie § 3), zijn typisch draderige organismen. Hun structurelement wordt gevormd door de *hypha* of *zwamdraad*, die al dan niet door dwarswanden kan verdeeld zijn. Deze zwamdraden vormen een netwerk dat met het blote oog zichtbaar is : de *zwamvlok* of *mycelium*, d.i. het vegetatieve deel van de zwam (afb. 1 en 2). De zwamvlok kan zich over erg grote oppervlakken uitspreiden en al dan niet diep doordringen in het substraat. Bepaalde “macroscopische” zwammen, zoals de huiszwam, koloniseren eerst het substraat.

## 2 VOORT-PLANTING

Zwammen kunnen zich op twee manieren voortplanten : op

geslachtelijke en op ongeslachtelijke wijze.

### 2.1 GESLACHTELIJKE VOORT-PLANTING

De geslachtelijke voortplanting bestaat in de samensmelting van twee kernen, met name van een “+”-kern en een “-”-kern. In het eenvoudigste geval smelt een “+”-zwamdraad samen met een “-”-zwamdraad, wat overeenkomt met een mannelijke en een vrouwelijke gameet. Bij zwammen wordt men echter niet zelden ge-

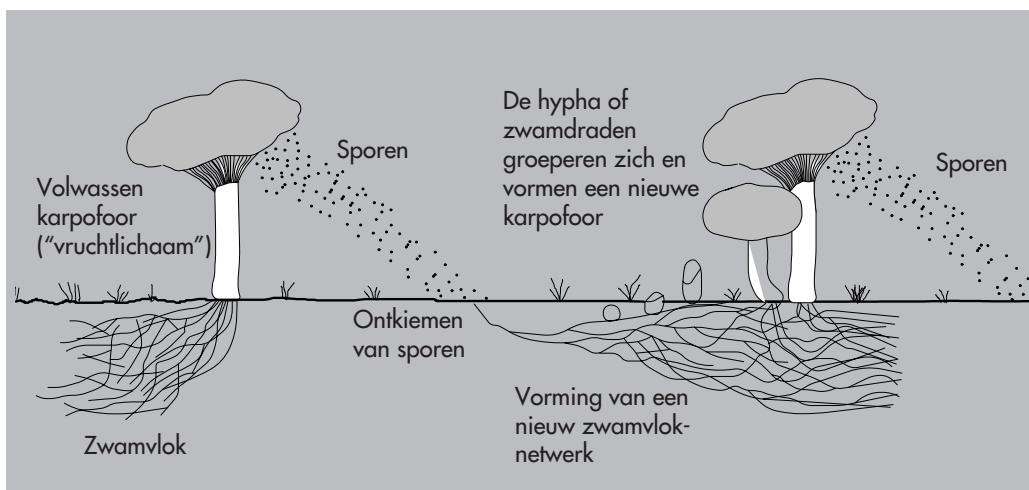
**Afb. 1**  
Ontwikkeling van de zwamvlok van een huiszwam op een kartonnen doos op een vochtige vloer.



**Afb. 2**  
Ontwikkeling van de zwamvlok van een huiszwam op een muur en op waterleidingen.



**Afb. 3**  
Geslachtelijke voortplantingscyclus van een "macrozwam".



confronteerd met 4 "geslachten" of zelfs meer. Vanaf het ogenblik dat er een fusie plaatsvindt, moet een reductiedeling (*meiose*) volgen, omdat het genetische kapitaal anders bij elke generatie zou verdubbelen.

Bij de "macrozwammen" gebeurt dit doorgaans in het "vruchtlichaam", dat ook wel karpofoor of sporofoor genoemd wordt. De reductiedeling grijpt plaats ter hoogte van minuscule organen: de sporenhouders (*asci*) of sporendragers (*basidia*). Een ascus (afb. 4) lijkt op een zakje dat acht ascosporen bevat; een basidium (afb. 5) lijkt op een sokkel die aan zijn uiteinde en naar buiten toe meestal vier basidiosporen draagt.

In volwassen toestand kan het vruchtlichaam een groot aantal minuscule sporen afgeven die door de wind verspreid worden. *Buller*, een bekende Britse mycoloog, berekende dat een weidechampignon een miljoen sporen per minuut en bijna een miljard sporen per halve dag produceert. Als men bedenkt dat dit proces meerdere dagen duurt, kan men zich een idee vormen over de astronomische hoeveelheden sporen die aan de lucht afgegeven worden. Als deze terechtkomen op een gunstige ondergrond, kunnen hieruit nieuwe zwamdraden en zwamvlokken ontstaan, zodat de cyclus verdergezet wordt.

De rol van de geslachtelijke voortplanting blijft

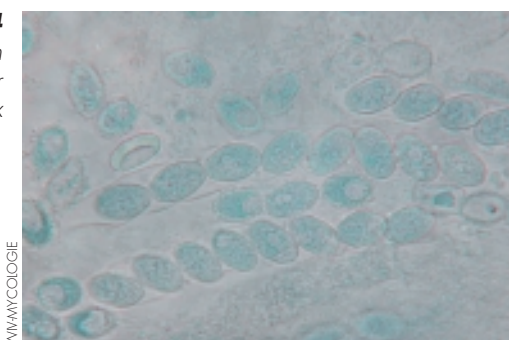
echter niet beperkt tot deze verspreiding. Ze maakt namelijk ook een vermenging en een herschikking van de genetische eigenschappen van de soort mogelijk. Deze factoren zijn van essentieel belang om de diversiteit van de soort in stand te houden en ervoor te zorgen dat de soort zich ten allen tijde kan aanpassen aan de belastingen uit de omgeving.

## 2.2 ONGESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

Er bestaat een andere voortplantingsmogelijkheid, die voornamelijk gericht is op de groot-schalige vermenigvuldiging van de soort en de kolonisatie van het substraat. Bij dit type voortplanting vindt er geen bevruchting en ook geen meiose plaats, wel echter een eenvoudige productie van minuscule sporen. In dit geval heeft men het over ongeslachtelijke voortplanting.

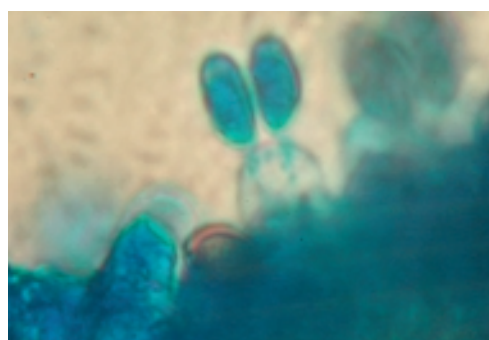
De benaming van de ongeslachtelijke sporen verschilt, afhankelijk van hun vormingswijze (zie § 3). Bij de meeste schimmels (Deuteromyceten) worden ze *conidia* genoemd, omdat ze gevormd worden aan het uiteinde van een speciale zwamdraad, de *conidiofoor* (afb. 6, 7 en 8). De *conidia* zijn meestal redelijk goed bestand tegen extreme omgevingsvoorwaarden. Bovendien beschikken ze over een bijzondere eigen-

**Afb. 4**  
Ascosporen in hun sporenhouder (*ascus*) (400 x vergroot).

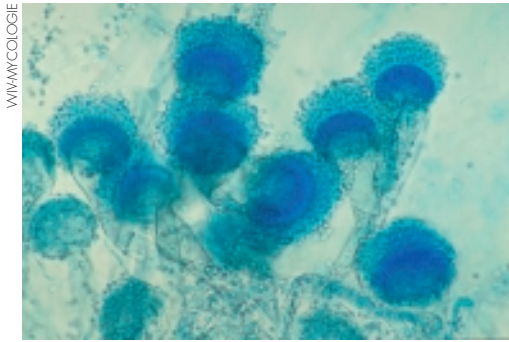


WIMMYCOLOGIE

**Afb. 5**  
Basidiosporen op hun sporendrager (*basidium*) (1000 x vergroot).



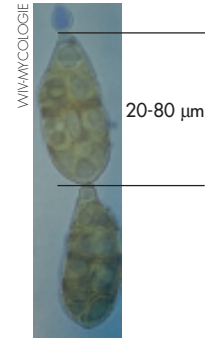
WIMMYCOLOGIE



**Afb. 6** Meerdere *Aspergillus* conidia op conidioforen.



**Afb. 7** *Penicillium* conidia op een bundelvormige conidiofoor.



**Afb. 8** *Alternaria* conidia.

schap die hen toelaat gunstige ontwikkelingsvoorwaarden af te wachten. Bij de ontkieming produceren ze een zwamdraad die zich snel ontwikkelt en vertakt (zwamvlok) om zo een nieuwe kolonie te vormen. Een bepaalde zwamsoort kan, afhankelijk van de ontwikkelingsvoorwaarden, meerdere ongeslachtelijke cycli vertonen, met een volledig verschillend uitzicht.

(niet cellulose) in de celwanden. Door deze eigenschap worden de Eucymeten chemisch afgebakend van het plantenrijk. Deze groep wordt onderverdeeld in vier subgroepen, afhankelijk van de eigenschappen van het vegetatieve systeem (de zwamvlok) en van de geslachtelijke voortplantingscyclus, indien gekend (tabel 1).

### 3 CLASSIFICATIE

De identificatie en de classificatie van zwammen zijn tegenwoordig voornamelijk gebaseerd op morfologische (zowel macroscopische als microscopische) en chemische eigenschappen. Het zwammenrijk wordt doorgaans verdeeld in drie groepen. De eerste twee groepen (de *Myxomyceten* en de *Oomyceten*) zijn redelijk primitief en vreemd van aard. Hun celwanden bestaan uit cellulose, wat een typisch vegetale verbinding is, maar bevat eveneens beweeglijke fasen, wat doorgaans een dierlijke eigenschap is.

De derde en grootste groep is deze van de “echte zwammen” of *Eumyceten*. Ze bestaat voornamelijk uit draderige organismen en wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van chitine

#### 3.1 DE CHYTRIDIOMYCETEN

Deze groep zal bij de bespreking van de problematiek van zwammen in gebouwen niet beschouwd worden, omdat ze voornamelijk aquatische zwammen omvat. Daarnaast telt ze ook enkele parasitaire landzwammen.

#### 3.2 DE ZYGOMYCETEN

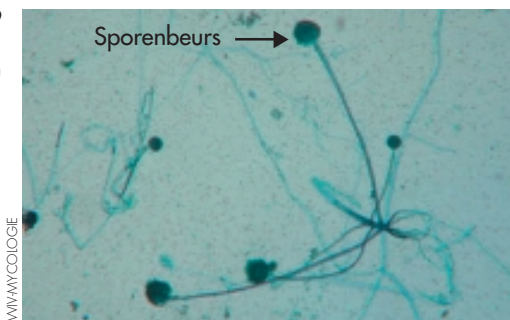
Bij microscopisch onderzoek worden deze zwammen gekenmerkt door een zwamvlok, gevormd door dikke zwamdraden met slechts weinig celwanden. Dit wekt de indruk dat het geheel één grote cel vormt met verschillende kernen. De geslachtelijke voortplanting beperkt zich tot de fusie van twee zwamdraden en de vorming van een microscopisch kleine zygoot.

**Tabel 1**  
Vereenvoudigde classificatie van het zwammenrijk.

| PRIMITIEVE ZWAMMEN<br>met eigenschappen die<br>typisch zijn voor het<br>plantenrijk ( <i>cellulose</i> ) en<br>voor het dierenrijk<br>( <i>beweeglijke fase</i> ) | “ECHTE ZWAMMEN” OF EUMYCETEN<br>( <i>chitine</i> )   |           |   |
|---|--|-----------|---|
|   | GESLACHTELIJKE VOORTPLANTING   | SCHIMMELS | ONGESLACHTELIJKE VOORTPLANTING  |
| 1. <i>Myxomyceten</i>   | 1. <i>Chytridiomyceten</i><br>(aquatisch en rudimentair)   |           | → 1. <b><i>Deuteromyceten</i></b>   |
| 2. <i>Oomyceten</i>   | 2. <b><i>Zygomyceten</i></b><br>(omwille van hun uitzicht<br>worden ze doorgaans<br>“schimmels” genoemd) |           | ← Ongeslachtelijke<br>Ascomyceten en<br>Basidiomyceten.<br>Deze maken het<br>grootste deel uit van<br>de groep die<br>doorgaans als<br>“schimmels”<br>aangeduid wordt |
|   | 3. <i>Basidiomyceten</i>   |           | ←   |
|   | 4. <i>Ascomyceten</i>  | ←         |   |

Bij de ongeslachtelijke voortplanting worden *sporangia* (sporenbeuzen) gevormd. Dit zijn met sporen gevulde zakjes, die vastgehecht zijn aan een steeltop (*Mucor*, *Rhizomucor*, *Rhizopus*, ...) (afb. 9). Deze ongeslachtelijke sporen worden sporangiosporen genoemd.

**Afb. 9**  
Sporenbeurs  
(*sporangium*)  
van *Rhizopus*.



### 3.3 DE BASIDIOMYCETEN

Deze zwammen vormen doorgaans macroscopische (\*) (d.w.z. met het blote oog zichtbare) geslachtelijke voortplantingsstructuren, waarin de sporen (*basidiosporen*) gevormd worden ter hoogte van basidia (afb. 5), die zich meestal op plaatjes of in buisjes bevinden.

Tot de bekendste zwammen van deze soort behoren de weidechampignon (of kampernoelie), de amaniet, de boleet (die voornamelijk voorkomt in afval van boombladeren of op dood hout) en de buiszwam (die goed gedijt op zieke bomen). Vooral deze laatste, die zich graag tegoed doet aan de voedende stoffen uit het hout, zijn dikwijls terug te vinden op het hout- en timmerwerk van woningen.

Basidiomyceten hebben meestal geen steel en komen doorgaans voor onder de vorm van een korst (afb. 10) op een substraat (huiszwam, buiszwam, ...).

**Afb. 10** Vruchtlichaam van een buiszwam in een houten lat boven het venster.



WIV-MYCOLOGIE

**Afb. 11** Vruchtlichaam of karpofoor van de huiszwam (*Serpula lacrymans*).



WIV-MYCOLOGIE

**Afb. 12** Massa sporen van de huiszwam (*Serpula lacrymans*) op glazen in een aangetast gebouw.



WIV-MYCOLOGIE

### 3.4 DE ASCOMYCETEN

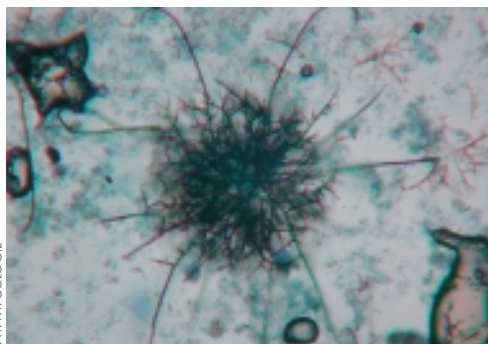
Bij de Ascomyceten worden de geslachtelijke sporen gevormd in sporenhouders (of *asci*) (afb. 4). Deze sporenhouders kunnen gevormd worden in macroscopische structuren (macro-ascomyceten). Ze komen vooral voor in bossen (morielje, truffel, ...), maar soms ook op de vloer van vochtige kelders, meestal onder de vorm van kleine bruinachtige of oranjeachtige "bekertjes" (huisbekerzwam, afb. 13).



**Afb. 13** Witte zwamdraden die samensmelten om het bruine vruchtlichaam van een bekerzwam te vormen.

WIV-MYCOLOGIE

Ascomyceten hebben echter doorgaans een microscopische structuur (micro-ascomyceten). Dit geldt voor het merendeel van de schimmels (*Chaetomium*, afb. 14) en van de gisten.



**Afb. 14** *Chaetomium*, micro-ascomycete die zich kan ontwikkelen op vochtig behangpapier.

WIV-MYCOLOGIE

(\*) Sommige Basidiomyceten produceren enkel microscopische geslachtelijke structuren. Dit geldt onder andere voor de (planten)roest en brand die als parasiet leven op bepaalde graansoorten.

De gisten nemen een bijzondere plaats in in de groep der zwammen. Ze zijn voornamelijk opgebouwd uit individuele sferische cellen, die men enkel kan zien onder de microscoop. Deze cellen vermenigvuldigen zich door “kiemontwikkeling”. Een uitgroei van de cel wordt breder en scheidt zich uiteindelijk af van de moedercel om een nieuwe onafhankelijke cel te vormen (ongeslachtelijke cyclus). Bij gunstige omgevingsomstandigheden beginnen zich automatisch sporenhouders (asci) te vormen.

### 3.5 DE DEUTEROMYCETEN OF FUNGI IMPERFECTI

De groep der Deuteromyceten omvat een groot aantal zwammen die een rol spelen bij de besmetting van voedingswaren en van de lucht die we inademen in gebouwen.

Deze groep werd opgesteld om er de zwammen te plaatsen waarvan men enkel de ongeslachtelijke voortplantingscyclus kent. Daarom wordt deze groep aangeduid met de benaming *Fungi imperfecti*, d.w.z. “onvolmaakte zwammen”. Vanaf het moment dat de geslachtelijke voortplantingsvorm van een soort geïdentificeerd wordt, plaatst men de zwam in de correcte categorie, bv. bij de Basidiomyceten (basidia) of de Ascomyceten (asci). Het merendeel van de Deuteromyceten bestaat uit ongeslachtelijke vormen van Ascomyceten.

Dit classificatiesysteem blijft (vooral in het laboratorium) erg nuttig, zelfs na de ontdekking van de geslachtelijke voortplantingscyclus van de zwam. In kunstmatige gelatineachtige milieus planten bepaalde zwammen zich immers enkel

voort op ongeslachtelijke wijze, zodat het systeem in dat geval onmisbaar is om de zwam te kunnen identificeren. Het is voornamelijk gebaseerd op de eigenschappen van de ongeslachtelijke sporen (conidia) en van de conidiofoor, d.i. een speciale zwamdraad waarop de conidia gevormd worden (zie ook afb. 6, 7 en 8).

### 3.6 WAAR HOREN DE SCHIMMELS ?

Uit tabel 1 kan men afleiden dat de vage wetenschappelijke termen “schimmel” of “microzwam” een groot aantal zwammen kunnen aanduiden uit volledig verschillende taxonomische groepen. Hun gemeenschappelijke eigenschappen zijn praktisch van aard en berusten eerder op uiterlijke schijn dan op eenduidige criteria. Deze groep omvat de microscopische zwammen die voorkomen onder de vorm van doorgaans gekleurde en poederige vlekken (massa sporen) op de meest diverse substraten, zoals bedorven eetwaren, hout, pleisterwerk, papier, stof, leder, kunststof, siliconenvoegen, glas, ... De micro-ascomyceten (zowel de geslachtelijke als de ongeslachtelijke) maken echter de grootste groep uit van de schimmels (zie afb. 15).

## 4 VOEDING

Daar zwammen geen chlorofyl bevatten, kunnen ze hun voeding niet onttrekken uit eenvoudige substanties zoals koolzuurgas en water, zoals groene planten die aan fotosynthese doen. Ze moeten deze voedingsstoffen halen uit het organische materiaal van andere organismen. Zwammen zijn dus parasieten, symbioten of saprofyten.

**Afb. 15** Ontwikkeling van schimmels op een vochtige keukenmuur.



WIV-MYCOLOGIE

**Afb. 16** Kolonies van *Stachybotrys chartarum* in een kinderkamer.



WIV-MYCOLOGIE



WIV-MYCOLOGIE

**Afb. 17** Kolonies van *Stachybotrys chartarum* op vochtig behangpapier.



WIV-MYCOLOGIE

**Afb. 18** Kolonies van *Cladosporium sphaerospermum* ter hoogte van een badkamer-venster.

*Parasieten* leven op of in het lichaam van een gastheer. Ze zijn verantwoordelijk voor schimmelaandoeningen bij de mens (infectieuze zwammen) en voor bepaalde ziekten bij planten, voornamelijk bij planten die geoogst worden (grauwe schimmel in de wijnoogst, moederkoren bij rogge, roest van tarwe, ...).

De *symbioten* leven daarentegen in goede verstandhouding samen met hun gastheer. Dit is het geval bij mycorrhiza. Hun zwamdraden zijn nauw verbonden met de wortels van verschillende planten en zorgen ervoor dat de elementen, die voor elk van beide onontbeerlijk zijn, uitgewisseld worden. Truffels en boleten behoren tot deze categorie en het is precies deze complexe samenwerking die de kunstmatige kweek ervan zo moeilijk maakt.

*Saprofieten* tenslotte onttrekken hun voeding uit dode of rottende materialen. De schimmels die zich ontwikkelen in te vochtige woningen (bv. op het behangpapier of op pleisterwerk) of die voorkomen op dood hout in bossen of op constructiehout, behoren tot deze laatste categorie. Het is vooral deze groep die een rol speelt bij de problematiek van zwammen in woningen en de gezondheid.

Doorgaans kunnen de zwamdraden van zwammen “verterende” enzymen afscheiden. Bij de saprofyten zorgen deze ervoor dat het organische materiaal door een echte “externe vertering” ontbonden wordt. De tijdens dit proces vrijgekomen eenvoudige oplosbare stoffen worden vervolgens geabsorbeerd door de wanden van de zwamdraden. Zo worden in de natuur de bladeren van de bomen (die het bosafval vormen) tijdens de herfst snel verteerd door zwammen, doorgaans door Basidiomyceten.

Door een grondigere kennis van de specifieke processen die deze externe vertering veroorzaken, kan men beter begrijpen hoe en waarom een bepaalde zwamsoort zich innestelt en ontwikkelt op een bepaalde plek. Op vochtige plaatsen zal men op behangpapier, boeken of etiketten van flessen steeds dezelfde zwammen aantreffen, omdat ze een voorliefde koesteren voor cellulose. Dit kunnen ze gemakkelijk extern verteren dankzij specifieke enzymen. Men kan de verschillende aantastingen van bouwmaterialen (zoals bv. timmerhout) eveneens beter leren begrijpen en van elkaar onderscheiden. Afhankelijk van de aangetaste cellenverbindingen en van de aantastingsnelheid, kan het hout op verschillende manieren ontbinden. Zwamsoorten zoals de huiszwam zullen het hout snel verteren en het in

kleine kubusjes doen uiteenvallen (kubische verrotting) (afb. 19). De meeste in hout levende zwammen van onze bossen veroorzaken daarentegen een ontbinding volgens de richting van de houtvezel (vezelige verrotting) (afb. 20).



**Afb. 19** Kubische verrotting van hout.



**Afb. 20** Vezelige verrotting van hout.

## 5 GEZONDHEIDSRISICO'S

Recente epidemiologische studies hebben aangetoond dat er een duidelijk verband bestaat tussen vocht en schimmels in woningen en de eventuele gezondheidsproblemen van de kinderen en de volwassenen die in deze woningen vertoeven. Verschillende andere studies tonen eveneens aan dat de aanwezigheid van vocht en het type materiaal een belangrijke invloed hebben op de aard van de waargenomen zwamgroei.

Een Belgische studie heeft aangetoond dat er in meer dan 60 % van de onderzochte woningen *Cladosporium sphaerospermum* in de lucht zit. In 76 % heeft men *Aspergillus versicolor* aangetroffen, in 38 % *Alternaria alternata* gr., in 47 % *Penicillium* spp. en in 17 % *Stachybotrys chartarum* (syn. : *S. atra*). Sporen van Basidiomyceten zijn moeilijker aanwijsbaar in de binnenlucht, maar hun aanwezigheid mag niet onderschat worden.

Er bestaan reële gezondheidsrisico's en er zijn meerdere gevallen bekend. De huiszwam (*Serpula lacrymans*) kan in een ruimte tot 360.000 sporen per m<sup>3</sup> produceren. Er zijn gevallen vastgesteld van allergie aan deze zwamsoort.

Wat het geheel van de micro-organismen in de lucht betreft, behoren de sporen van zwammen (vooral deze van schimmels) tot één van de grootste en meest gediversifieerde groepen levende deeltjes die wij inademen. Sporen van zwammen zijn belangrijke luchtgedragen allergenen die de meest verscheiden allergische reacties, zoals rinitis, dermatitis, allergische bron-

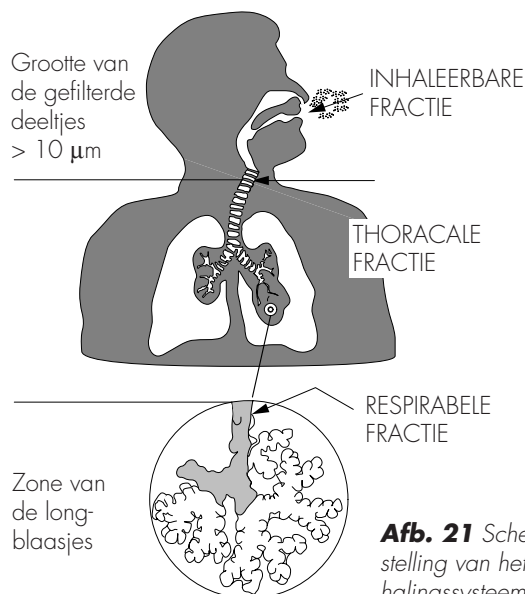
chitis, astma, extrinsieke allergische alveolitis, en verschillende andere minder bekende aandoeningen kunnen veroorzaken. Bepaalde stoffen die in de wanden van de zwamdraden aanwezig zijn – vooral in deze van sporen (mycotoxines) –, zijn bovendien giftig. De branderige werking van bepaalde vluchtige organische producten die door bepaalde schimmels aan de lucht afgegeven worden, vormt eveneens een belangrijke bron van ongemakken.

Daarnaast bestaan er ook infectieuze zwammen, d.w.z. zwammen die in een levend organisme binnendringen en zich daar ontwikkelen. Deze zwammen veroorzaken schimmelaandoeningen bij de mens. Er zijn slechts weinig gevallen bekend waarbij de besmetting en de verspreiding ervan via de omgeving gebeurt. Dit is echter wel het geval voor de aandoening die aangeduid wordt als “zwemschimmel” of “zwembad-eczeem”. De omgeving kan besmet worden door personen die deze voetschimmel (*Trichophyton rubrum*) dragen. De verspreiding ervan gebeurt via de besmette vloer. In zwembaden en sportzalen is dit een gekend fenomeen. De schimmel kan ook verspreid worden in de familiale badkamer. In dit geval ligt de oorzaak echter niet aan de omgeving en kan deze laatste niet beschouwd worden als een amplificatieplaats.

## 5.1 BINNENDRINGEN VAN SPOREN IN DE LUCHTWEGEN

Als een volwassene per dag gemiddeld 20 m<sup>3</sup> lucht inademt in een woning waarvan de lucht zo'n 360.000 sporen per m<sup>3</sup> bevat, dan zou deze persoon dagelijks 7.200.000 sporen moeten inademen. Gelukkig zijn onze ademhalingsorganen zodanig opgebouwd dat ze een groot deel van deze sporen tegenhouden, onschadelijk maken of evacueren. Volgens het Amerikaanse ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienist*) kan men in ons ademhalingsstelsel drie functionele regio's onderscheiden, wat overeenkomt met 3 “fracties” van deeltjes.

De inhaleerbare fractie vindt plaats in de neus, de mond, de keelholte en het strottenhoofd. De neus en de neusholte (haren, trilhaartjes en neusslijm) verhinderen dat de grootste deeltjes (groter dan ± 10 µm) de borstzone binnendringen. Hier bevinden zich de luchtpijp en de voornaamste longpijptakken die de lucht naar de zone moeten brengen waar de gaswisseling plaatsvindt. Deze laatste zone bevat de longblaasjes. Naarmate het netwerk zich verder vertakt, verkleint de diameter van de buisjes.



**Afb. 21** Schematische voorstelling van het menselijke ademhalingsstelsel (ACGIH, 1999).

De grootte van de sporen en van hun resten evenals de ingeademde hoeveelheid zijn twee belangrijke elementen die een rol spelen bij aandoeningen van de luchtwegen.

## 5.2 ALLERGIEËN AAN ZWAMMEN

Bij het diagnosticeren van een allergie is de specificiteit een fundamenteel gegeven. Ons organisme is voorzien van geperfectioneerde afweersystemen die alle vreemde stoffen die in ons organisme binnendringen (*antigenen* of *agressoren*) moeten neutraliseren (met *antilichamen* of *verweermiddelen*). We spreken in dit geval van een immunologische reactie.

Soms raakt dit systeem ontregeld. Bij een allergische reactie reageert ons organisme op een overdreven manier tegen stoffen die normaal gezien als onschuldig beschouwd worden. Een allergie is dus een abnormale, overdreven reactie van ons immuunsysteem ten opzichte van een (zelfs minieme) hoeveelheid stoffen die deel uitmaken van onze omgeving en die doorgaans ongevaarlijk zijn voor de bevolking. Dit is onder andere het geval voor uitwerpselen van mijtachtigen, dierenhaar, stuifmeelkorrels, eetwaren, chemische stoffen, schimmels, ...

Gelukkig is niet iedereen allergisch. Men veronderstelt dat ongeveer 20 % van de bevolking last heeft van een allergie. In geïndustrialiseerde landen brengen de mensen ongeveer 90 % van hun tijd binnen door (thuis, werkplaats, wagen, metro). De kwaliteit van de binnenomgeving speelt dus een fundamentele rol bij de ontwikkeling van allergische aandoeningen. Bij atopische personen, d.w.z. per-

sonen die een erfelijke aanleg hebben voor allergieën, kan de allergie soms slechts erg laat tot uiting komen, of pas ten gevolge van een samenloop van omstandigheden. De meeste studies zijn het er echter over eens dat de eerste levensjaren doorgaans van kapitaal belang zijn bij de ontwikkeling van allergieën.

Het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid heeft een reeks proefmonsters onderzocht die tussen 1981 en 2000 verzameld werden in meer dan 500 stedelijke en landelijke woningen van allergie- en/of astmapatiënten, en dit verdeeld over het hele land. Volgens deze resultaten kwamen er zo'n 150 soorten zwammen voor, waaronder *Cladosporium*, *Penicillium* en *Aspergillus*, en dit in meer dan 90 tot 98 % van de onderzochte woningen.

*Cladosporium sphaerospermum* werd aangehouden in 60 % van de woningen en is verantwoordelijk voor het grootste aantal besmettingen, en dan vooral in slaapkamers en badkamers (honderden sporen/m<sup>3</sup> lucht). Deze soort wordt vaak geassocieerd met *Aureobasidium pullulans*, *Phoma sp.*, *Acremonium strictum* en verschillende gistsoorten op vensterramen. *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium spinulosum*, *Penicillium brevicompactum*, *Chaetomium globosum*, *Stachybotrys chartarum*, *Acremonium strictum* en *Alternaria alternata* zijn andere zwamsoorten die soms overvloedig voorkomen op de muren van slaapkamers, woonkamers of keukens.

Het is bovendien belangrijk op te merken dat matrassen geliefkoosde (en vaak vergeten) ontwikkelingssoorten voor schimmels zijn. Concentraties van 10<sup>3</sup> tot 10<sup>7</sup> sporen per gram stof zijn niet zelden. *Cladosporium sphaerospermum*, *Alternaria alternata*, *Epicoccum purpureescens*, *Aureobasidium pullulans*, *Aspergillus restrictus*, *Aspergillus versicolor*, verschillende knopschimmels en *Trichoderma* behoren tot de meest voorkomende soorten. De zwarte sporen van *Cladosporium sphaerospermum* zijn soms zelfs zichtbaar op de plaatsen waar de matras de vaste lattenbodembodem raakt (afb. 22).

Schimmels beïnvloeden het ontstaan van allergische reacties (en dan vooral de ontwikkeling van astma) op meerdere niveaus. Bepaalde schimmels (bijvoorbeeld *Alternaria*) zijn sterke allergenen, die – net zoals stuifmeelkorrels – verantwoordelijk kunnen zijn voor zware astma-aanvallen, die zelfs kunnen leiden tot een dringende opname in het ziekenhuis.

Ook Basidiomyceten kunnen allergische reacties veroorzaken. Zo zijn er bijvoorbeeld meerdere gevallen gesignaleerd van allergieën aan sporen van de huiszwam.

## 5.2.1 OPPORTUNISTISCHE ZWAMMEN

De immuniteit, die ons elke seconde van ons leven tegen een groot aantal micro-organismen beschermt, vertoont de volgende tegenstrijdigheid. Terwijl het immuunsysteem in het geval van een allergische reactie overdreven goed functioneert, bestaan er andere gevallen waarbij de werking ervan tekortschiet. Dit gebeurt onder andere bij behandelingen die leiden tot een immunosuppressie bij de patiënt (langdurige corticoïdebehandeling) of bij patiënten waarvan de immunitaire weerstand bewust verminderd werd (transplantatie van organen).

In deze twee gevallen vinden de schimmels die aanvankelijk niet besmettelijk zijn, maar zich kunnen ontwikkelen bij 37 °C, een organisme zonder bescherming waarop ze zich installeren en kunnen ontwikkelen. Deze schimmels worden aangeduid als opportunistische zwammen. In zulke contexten moeten de woningonderzoeken aangepast worden, afhankelijk van de aandoening, en zal geval per geval een specifiek saneringsprotocol moeten ontwikkeld worden.

## 5.2.2 GIFTIGHEID VAN DE ZWAMMEN

In tegenstelling tot allergenen zijn mycotoxines secundaire metaboliëten met kleine moleculaire massa (tussen 200 en 10.000 dalton), die afgescheiden worden door verschillende schimmels. Het is gekend dat het inslikken van mycotoxines zoals aflatoxines, trichothecenen, ... ernstige gezondheidsproblemen kan veroorzaken, die zelfs kunnen leiden tot de dood.

Recente studies hebben aangetoond dat identieke doses van deze mycotoxines schadelijker kunnen zijn bij inademing dan bij mondelinge



**Afb. 22**  
Ontwikkeling van schimmels (*Cladosporium sphaerospermum*) op plaatsen waar de matras de lattenbodembodem raakt.

opname. Ook in de sporen van toxigene schimmels werden redelijk hoge concentraties mycotoxines gemeten. In de sporen van *Aspergillus flavus* en *Aspergillus parasiticus* werden 600 tot 1.100 dpm (\*) aflatoxines aangetroffen, in de sporen van *Stachybotrys chartarum* kwamen 15 dpm trichothecenen voor en in de sporen van *Fusarium graminearum* en *F. sporotrichoides* werden zelfs 80 dpm trichothecenen gemeten.

Van bepaalde mycotoxines, zoals de trichothecenen die geproduceerd worden door *Stachybotrys chartarum* (syn. : *S. atra*) en *Fusarium spp.*, of zoals de patuline en de penicillinezuren die geproduceerd worden door bepaalde *Penicillium*, werd aangetoond dat ze toxisch zijn voor het ademhalingsstelsel.

Men dient erg voorzichtig te zijn indien men te maken heeft met patiënten die in een “beschim-meld” huis wonen en in hun woning leiden aan verschijnselen zoals irritatie, hoofdpijn en misselijkheid. Zuigelingen waarvan het ademhalingsstelsel nog erg gevoelig is en jonge kinderen zijn nog kwetsbaarder.

### 5.2.3 VLUCHTIGE STOFFEN DIE UITGESCHIEDEN WORDEN DOOR ZWAMMEN

Uit verschillende studies is gebleken dat schimmels diverse vluchtige organische stoffen uitscheiden (fVOS : fungale vluchtige organische stoffen). De schimmelgeur die aangetroffen wordt in bepaalde, erg aangetaste gebouwen getuigt hiervan (octen-3-ol). Studies hebben aangetoond dat zuivere culturen met *Aspergillus versicolor* verschillende organische stoffen uitscheiden, waaronder ethylhexanol, een stof die bekend is voor zijn irriterende eigenschappen. De productie van deze verbinding verklaart gedeeltelijk het verschijnen van bepaalde sympto-

men zoals irritatie van de ogen, de huid of de bovenste ademhalingswegen. Verschillende fVOS, en dan vooral hexanol en 2-cyclohexen-1-ol, werden ook aangetroffen in filters en in glasvezel. De aanwezigheid van deze verbindingen is eveneens van fungale oorsprong.

Vocht speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van schimmels en op de productie van deze verbindingen. Het is bewezen dat de productie van bepaalde fVOS (waaronder 3-methyl-1-butanol, 1-pentanol, 1-hexanol en 1-octen-3-ol) afhankelijk is van de relatieve luchtvochtigheid. De vaak waargenomen grondlucht is te wijten aan de aanwezigheid van 2-octen-1-ol en geosmine, dat ook geproduceerd wordt door enkele Thermoactinomyceten (draderige bacteriën).

Doorgaans is de concentratie van deze verbindingen in de ingeademde lucht beperkt, maar het is niet uitgesloten dat langdurige blootstelling schadelijk kan zijn voor de gezondheid.

## 6 VISUELE EVALUATIE VAN DE AANTASTING VAN EEN GEBOUW

De eerste taak van de onderzoeker ligt in een

schatting van de omvang van de schimmelontwikkeling in een gebouw. Het Amerikaanse ACGIH stelt voor de aantasting als belangrijk te beschouwen vanaf een grenswaarde van 3 m<sup>3</sup>. Het Canadese federale ministerie *Santé Canada* bepaalt in zijn gids voor huiseigenaarsbewoners de volgende grenswaarden : een zichtbare aantasting wordt als zwak beschouwd als minder dan 1 m<sup>2</sup> bedekt wordt en als gemiddeld indien 1 tot 3 m<sup>2</sup> bedekt worden. De aantasting is ernstig vanaf 3 m<sup>2</sup>.

Het laboratorium *Microvital* (Québec) gebruikt de notie “zwak aangetast oppervlak” enkel voor

**Tabel 2** Evaluatieschaal voor beschimmelde oppervlakken (zichtbaar met het blote oog), voorgesteld door het laboratorium *Microvital* (Québec) en overgenomen door de afdeling *Mycologie* (WIV).

| AANGETASTE OPPERVLAKTE                | EVALUATIE             | RISICO'S   |
|---------------------------------------|-----------------------|--|
| < 0,3 m <sup>2</sup>                  | Zwakke aantasting     | Zwakke, maar niet uit te sluiten risico's  |
| 0,3 m <sup>2</sup> - 3 m <sup>2</sup> | Gemiddelde aantasting | Risico's afhankelijk van de aanwezige zwamsorten en van de omgevingsomstandigheden |
| > 3 m <sup>2</sup>                    | Ernstige aantasting   | Grote risico's, onafhankelijk van de aangetroffen zwamsorten                       |

(\*) Deeltjes per miljoen.

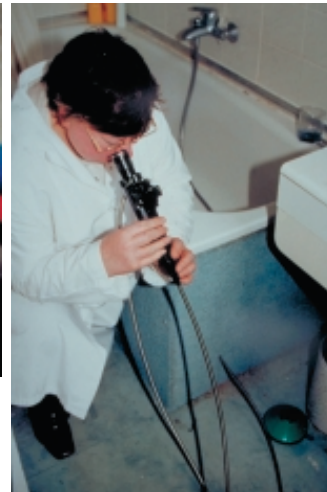


**Afb. 23** De houten plinten vertoonden verdachte barstjes, wat de onderzoeker ertoe aangezet heeft deze te openen en de aanwezigheid van de huiszwam vast te stellen.



▲ **Afb. 24** Nemen van kernen in een holle wand met een klokboor.

© **Afb. 25** Endoscopie van een badkuip.



oppervlakken tot 0,3 m<sup>2</sup>. Het lijkt ons voorzichteriger deze grenswaarde aan te nemen indien de aanwezige zwamsoorten nog niet geïdentificeerd werden. Het is belangrijk op te merken dat deze waarden geen richtwaarden zijn, noch drempelwaarden die gecorreleerd zijn met bepaalde gezondheidsproblemen. Ze dienen enkel ter evaluatie en vormen een hulpmiddel bij het maken van beslissingen.

Schimmels zijn echter niet altijd zichtbaar, en als ze dit wel zijn, kunnen ze slechts een klein deel uitmaken van de volledige aantasting. Men moet daarom proefboringen uitvoeren, nauwkeurig bestuderen, holle wanden, vloeren en alle andere verdachte elementen openmaken, met alle gevolgen vandien (zie afb. 23). Kernen (afb. 24) is een minder destructieve methode waarbij stalen genomen worden die in het laboratorium kunnen onderzocht worden. Met een duurdere, maar erg nuttige endoscopie (afb. 25) kan men holle vloeren en wanden onderzoeken zonder deze al te veel te beschadigen.

De boorkernen, houtfragmenten, ... kunnen voor onderzoek naar het laboratorium gebracht worden. In het geval van schimmels dient men rekening te houden met bepaalde aanbevelingen. Er bestaan verschillende methoden om schimmels naar het laboratorium te voeren. Wij zullen hierna twee eenvoudige en complementaire methoden voorstellen.

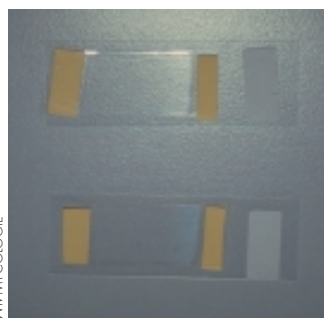
## 6.1 EENVOUDIGE EN COMPLEMENTAIRE METHODEN OM SCHIMMELS TE VERWIJDEREN

### 6.1.1 KLEEFBAND OF "TAPE"

Bij deze methode wordt een transparant stukje kleefband van ongeveer 3 cm voorzichtig op

de verdachte zones (bv. gekleurde vlekken op een muur) aangebracht (afb. 26 en 27), zodat men er een afdruk van bekomt. Vervolgens legt men dit stukje kleefband op een glazen plaatje dat gebruik wordt in de microscopie. In het laboratorium wordt de kleefband gekleurd en afgedekt met een ander fijn glazen plaatje, zodat het preparaat gemakkelijker onder de microscoop kan bekeken worden.

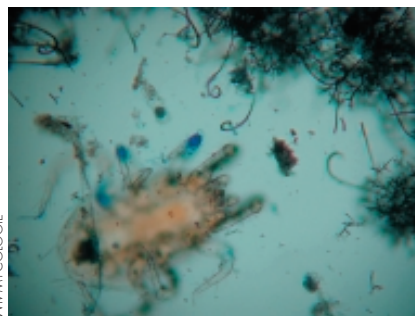
Deze methode geeft een redelijk getrouw beeld van het te onderzoeken oppervlak en is direct en snel. De verzamelde schimmels (afb. 28) beschikken echter niet altijd over voldoende microscopische eigenschappen om hun volledige identificatie mogelijk te maken. Daarom is het enkel mogelijk soorten met erg duidelijke kenmerken te identificeren. Soms ontdekt men op



**Afb. 26** Kleefband op een glazen plaatje, voor gebruik in de microscopie.



**Afb. 27** De kleefband wordt aangebracht op een verdacht oppervlak en dan op een glazen plaatje gelegd.



**Afb. 28** Kleefband na een specifieke kleuring in het laboratorium : aanwezigheid van *Chaetomium* en mijten.

deze manier ook andere, gemakkelijk herkenbare elementen. Dit geldt onder meer voor muur- mijten (afb. 28), die soms massaal aanwezig zijn en zich voeden met schimmels. Typisch voor deze methode is dat er geen tijdslimiet is om de monsters naar het laboratorium te brengen.

### 6.1.2 HET RODAC-DOOSJE

Deze techniek bestaat in het gebruik van een speciaal kweekbakje met een gelatineachtig milieu dat over de boord uitkomt onder de vorm van een convexe meniscus (afb. 29). Als men deze op een verdachte plek aanbrengt (afb. 30), wordt een groot deel van de kiemen vastgehouden door het gelatineachtige milieu. Ook het

RODAC-doosje maakt dus een afdruk van het te onderzoeken substraat. In dit geval is er echter een incubatie van verschillende dagen bij een specifieke en constante temperatuur nodig (meestal 25 °C) om de groei en ontwikkeling van de verzamelde kiemen (afb. 31) te verzekeren. Na ontwikkeling vormen de kiemen een kleine kolonie die als referentieafdruk kan beschouwd worden van het onderzochte substraat.

In tegenstelling tot de kleefbandtechniek, kan men met deze methode levende kolonies observeren, wat meer identificatiekarakteristieken biedt. De methode heeft echter ook het belangrijke nadeel dat bepaalde snel groeiende soorten beter gedijen en overvloedig sporen vormen. Het “beeld” dat men met dit doosje krijgt, biedt dus niet altijd een getrouwe weerspiegeling van de werkelijkheid. Bovendien moet het doosje naar het laboratorium gebracht worden op de dag zelf dat de monsters genomen werden.

## 6.2 TWEE EENVOUDIGE PRINCIPES TER EVALUATIE VAN DE FUNGALE BELASTING VAN DE LUCHT

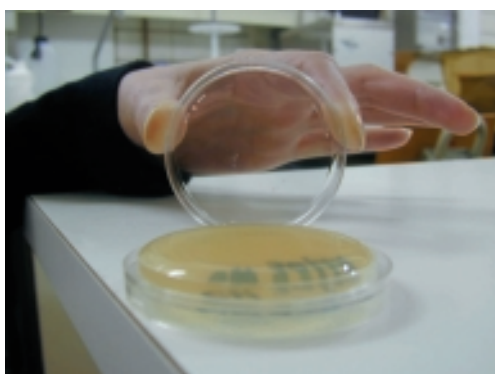
Men kan de fungale belasting van de lucht evalueren met apparaten die speciaal ontworpen werden om een bepaald luchtvolume te projecteren op een geschikte drager (impactor). Net zoals bij de “oppervlakteafdrukken” kan deze transparant en klevend zijn en de observatie, telling en soms zelfs snelle identificatie van de sporen in de lucht mogelijk maken. De drager kan ook een voedend milieu zijn waarop de sporen gaan ontkiemen nadat ze enkele dagen in een stoof doorgebracht hebben bij een temperatuur van doorgaans 25 °C (incubatieperiode). Deze technieken kunnen enkel toegepast worden in gespecialiseerde laboratoria.

Tabel 3 (p. 14) maakt een snelle vergelijking tussen beide evaluatieprincipes mogelijk.

## 7 AANGETASTE WONINGEN – SANERINGS-PROTOCOLS

Wanneer men in een woning de aanwezigheid van schimmels vaststelt, moeten aangepaste saneringsmaatregelen getroffen worden, afhankelijk van de mate van aantasting en van de ernst van het ziektebeeld. Saneringsprotocols moeten altijd verschillende elementen in rekening brengen. Deze worden hierna opgesomd.

**Afb. 29**  
RODAC-doosje voor gebruik.



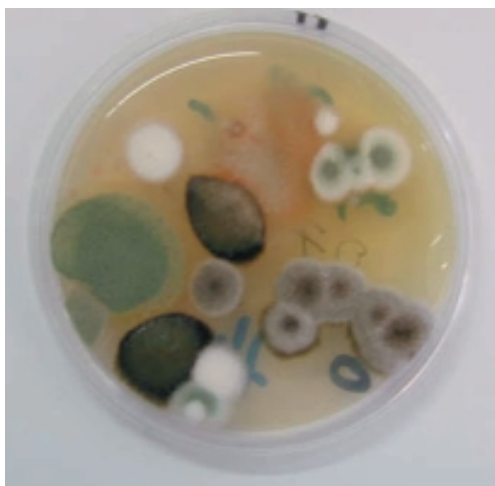
WIMMYCOLOGIE

**Afb. 30**  
Plaatsing van het RODAC-doosje op de beschimmelde of verdachte zone.



WIMMYCOLOGIE

**Afb. 31**  
RODAC-doosje na een incubatieperiode van 5 dagen : de schimmels ontwikkelen zich en kunnen geïdentificeerd worden.



WIMMYCOLOGIE

**Tabel 3**  
Vergelijking van twee principes om de fungale belasting van de lucht te evalueren.

LUCHTVOLUME GEPROJECTEERD OP EEN TRANSPARANTE, KLEVENDE DRAGER



**Afb. 32** Voorbeeld van een draagbare impactor met transparante, klevende glazen plaatjes.



**Afb. 33** Kleefband na een specifieke kleuring in het laboratorium : aanwezigheid van *Alternaria* en *Cladosporium*.

De resultaten worden uitgedrukt in aantal waargenomen sporen/m<sup>3</sup>.

De methode geeft een natuurgetrouw beeld van de besmetting, maar de identificatie is niet altijd eenvoudig.

LUCHTVOLUME GEPROJECTEERD OP EEN GELATINEACHTIG MILIEU



**Afb. 34** Drie voorbeelden van impactoren die gebruik maken van strips of Petrischalen, die gevuld worden met een gelatineachtig milieu.



**Afb. 35** Beeld van de gelatineachtige strips na een incubatie van 5 dagen bij 25 °C.

De resultaten worden uitgedrukt in EGK/m<sup>3</sup> (eenheid gevormd door een kolonie/m<sup>3</sup>).

Bij deze methode is het bekomen beeld vervalst door de keuze van de cultuurparameters (gelatineachtig milieu, temperatuur) en door het verschil in groeisnelheid van de aanwezige soorten. Bovendien worden enkel de "reactiveerbare" sporen gedetecteerd. Men beschikt echter wel over levende kolonies die nuttig kunnen zijn bij de identificatie en voor latere onderzoeken.

1° In de woning dient men alle vochtbronnen te elimineren. Deze kunnen te wijten zijn aan problemen aan het gebouw zelf, maar ook aan een onaangepaste levensstijl (zie tweede luik van dit artikel dat weldra zal verschijnen).

2° Op het fungale vlak dient men rekening te houden met twee risicocategorieën, gekoppeld aan twee categorieën zwammen.

□ *Categorie 1* : risico op infecties; Deze risico's hebben enkel betrekking op levende zwammen. Men heeft vastgesteld dat het risico op infectie door een besmette omgeving voor een immunologisch normale bevolking erg klein is (zwemschimmel of zwembadeczeem in zwembaden, sportzalen, badkamers). Voor patiënten met een immunosuppressie kunnen verschillende zwammen, die normaalgezien onschadelijk zijn, echter grote risico's inhouden, vooral indien de

omgeving erg aangetast is. In zulke situaties dient men geschikte zwamdodende middelen te gebruiken (specifieke ontsmettingsmethoden) die alle risico's tenietdoen. In combinatie met bepaalde maatregelen voor het gebouw zelf, kan de toepassing van schimmeldodende middelen er bovendien voor zorgen dat de verspreiding van de schimmels in de omgeving beperkt wordt.

□ *Categorie 2* : risico's op allergieën, vergiftiging door inademing van mycotoxines en diverse irritaties; Deze risico's kunnen zowel veroorzaakt worden door levende als dode zwammen. In levende toestand kunnen de zwammen fVOS produceren, in de lucht verspreiden en zich aldus snel ontwikkelen in een gebouw. In dit geval zullen de saneringsmaatregelen voor de risico's uit categorie 1 niet volstaan. Bij aanwezigheid van allergenen, of indien er toxines of andere schadelijke chemische

stoffen door de zwammen uitgescheiden worden, blijft het gevaar zelfs bestaan indien het gaat om dode micro-organismen of hun fragmenten. Het probleem is in dit geval dus helemaal verschillend dan in het vorige geval. Naast een ontmetting moet men hier tevens overgaan tot een nauwkeurige en specifieke reiniging van alle zaken die mogelijk allergenen of micotoxines zouden kunnen bevatten (met inbegrip van de meubelen, overgordijnen, beddengoed, kledij, ...). Bovendien moet men er ook voor opletten dat men geen tot nog toe gespaarde delen van het gebouw besmet.

3° De personen die betrokken zijn in het saneringsproces van gebouwen die aangetast zijn door schimmels lopen grote gezondheidsrisico's. Ze moeten daarom kunnen beschikken over aangepaste beschermingen, zoals ademhalingsmaskers, handschoenen, en – in gevallen van ernstige schimmelaantasting – over doeltreffende beschermende kledij. Verder zou men een meer specifieke medische controle moeten voorzien.

## BESLUIT

Het wordt tegenwoordig als een vaststaand feit beschouwd dat de aanwezigheid van zwammen in woningen op diverse manieren schadelijk kan zijn voor de gezond-

heid van de bewoners. Zwangere vrouwen, jonge kinderen, oudere personen en personen die gezondheidsproblemen hebben zoals allergieën, ademhalingsstoornissen of een verzwakt immuunsysteem, lopen een groter risico bij blootstelling aan schimmels.

Er bestaan enkele gespecialiseerde laboratoria die instaan voor het uitgebreide onderzoek van gebouwen. Deze problematiek kan echter ook een min of meer belangrijke rol spelen voor alle andere bouwprofessionelen die ermee geconfronteerd worden. Hun interventie kan zich beperken tot het informeren en waarschuwen voor de eventuele gezondheidsrisico's of tot het op de hoogte brengen van de huisdokter van de familie. Op basis van de eenvoudige regels die hiervoor vermeld werden, kan men een voorlopige diagnose opmaken en bepaalde proefmonsters opsturen naar een gespecialiseerd laboratorium, dat de gezondheidsrisico's zal evalueren en eventueel een grondiger onderzoek in situ zal aanbevelen. ■

### Belangrijk

*De informatie die door het WIV in deze tekst gegeven wordt, mag enkel gebruikt worden voor educatieve, informatieve en preventieve doeleinden. Ze vervangt in geen geval de professionele diagnose van een arts. Indien u geconfronteerd wordt met een medisch probleem, raden wij u ten stelligste aan contact op te nemen met uw arts.*

### ENKELE REFERENTIES

American Conference of Governmental Industrial Hygienist  
Bioaerosols. Assessment and control. ACGIH (Kemper Woods Center, 1330 Kemper Meadow Drive, Cincinnati, OH 45240-1634), 1999.

G.L. Hennebert, Fr. Balon  
La Mèrùle des maisons. Louvain-La-Neuve, ARTEL, Edition CIACO, 1996.

Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid – Afdeling Mycologie  
<http://www.indoorpol.com>

Laboratorium Microvital  
1264, Sherbrooke est  
Montréal, HEL 1M1

Santé Canada  
<http://www.hc-sc.gc.ca>