

der Fusionsproteine wird generell bevorzugt in Schimmelpilzen genutzt, dabei werden die zwei fusionierten Proteine durch eine sogenannte Erkennungsstelle für eine Protease voneinander getrennt. Eine post-translationale Spaltung des Fusionsproteins liefert dann das fertige heterologe Protein.

5.2 Lebensmitteltechnologie

Pilze haben aus verschiedenen Gründen eine große Bedeutung für die Lebensmittelindustrie. Zum einen kennt jeder Pilze wie Champignons oder Pfifferlinge, die auf dem Markt oder im Lebensmittelgeschäft angeboten werden. Zum anderen wird auch bei der Herstellung von Lebensmitteln wie etwa Brot, Bier und Wein direkt auf Pilze zurückgegriffen, in diesem Fall auf die Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae*. Ferner spielen in der Lebensmittelindustrie auch Enzyme (Kap. 3.2), Aromastoffe oder Lebensmittelfarbstoffe aus Schimmelpilzen eine bedeutende Rolle (Kap. 3.2). Ein Beispiel ist der mit dem Schimmelpilz *Monascus purpureus* fermentierte rote Reis (Ang-kak, Tabelle 5.4), der in Asien zum Anfärben verschiedener Lebensmittel wie beispielsweise Sake (Tabelle 5.4) genutzt wird. Roter Reis hat eine gewisse Berühmtheit erlangt, da in ihm cholesterinsenkende Substanzen entdeckt wurden und er deshalb in einigen Ländern als Nahrungsergänzungsmittel zugelassen ist (Infobox 5.3). Ein weiterer Aspekt, von dem dieses Kapitel handeln soll, sind die essbaren Schimmelpilze.

Der Haupteinsatzort von Schimmelpilzen in der Lebensmittelindustrie ist die Fermentation (Tabelle 5.4). Dabei werden biologische Materialien mit Schimmelpilzen beimpft und unter bestimmten, meist traditionell etablierten Bedingungen, inkubiert. Während dieser Inkubation sekretieren die Pilze Enzyme, die das Ausgangsmaterial ab- oder umbauen. Häufig spielen auch zusätzlich Hefen und Bakterien eine Rolle. Ein sehr bekanntes Beispiel für ein fermentiertes Lebensmittel ist die Sojasauce, die deshalb auch noch ausführlicher beschrieben werden soll (Kap. 5.2.1), aber auch Tempeh ist weit verbreitet (Kap. 5.2.2). Die bekanntesten in Europa mit Schimmelpilzen hergestellten Lebensmittel sind der Schimmelpilzkäse (Kap. 5.2.3) und bestimmte Fleischwaren wie Salami (Kap. 5.2.4). Obwohl die Fermentation grundsätzlich eine relativ lange Zeit in Anspruch nimmt und zunächst höhere Kosten verursacht, gibt es viele Vorteile. So werden durch die Sekretion von Enzymen komplexe Moleküle in niedermolekulare Verbindungen gespalten, wodurch die Bekömmlichkeit erhöht wird, dies ist besonders bei Sojaprodukten wichtig (Kap. 5.2.1). Durch die Fermentation werden außerdem Lebensmittel konserviert, häufig entsteht ein

Tabelle 5.4 Mit Hilfe von Schimmelpilzen fermentierte Lebensmittel. Die Tabelle listet die bekanntesten fermentierten Lebensmittel auf, bei deren Herstellung Schimmelpilze beteiligt sind. Für viele Prozesse werden zusätzlich hier nicht aufgeführte Bakterien und Hefen benötigt

Bezeichnung	Substrat	Beschaffenheit und Verwendung	Schimmelpilz
Ang-kak (Roter Reis)	Reis	Pulver, Lebensmittelfarbstoff, Würzmittel, Nahrungsergänzungsmittel	<i>Monascus purpureus</i> , <i>Monascus ruber</i> , <i>Monascus pilosius</i>
Blauschimmelkäse	Milch	halbfest, proteinreiche Nahrung	<i>Penicillium roqueforti</i>
Hamanatto	Sojabohnen, Weizenmehl	weiche Bohnen, Geschmacksverbesserer	<i>Aspergillus oryzae</i>
Miso / Sojapaste	Sojabohnen, Reis / Gerste	Paste, eiweißreiches Grundnahrungsmittel, Würzmittel	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Aspergillus sojae</i>
Ontjom	Erdnuss-Presskuchen	fester Kuchen, geröstet oder frittiert als Fleischersatz	<i>Neurospora intermedia</i> , <i>Neurospora sitophila</i>
Peuyeum	Maniok	halbfeste Masse, Zwischenmahlzeit	<i>Amylomyces rouxii</i>
Sake (Reiswein)	Reis	flüssig, Getränk	<i>Aspergillus oryzae</i>
Salami	Wurst	fest, proteinreiche Nahrung	<i>Penicillium spec.</i> , besonders <i>Penicillium nalgiovense</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
Sojasauce	Sojabohnen, Weizenschrot (bei japanischer Sojasauce), Salz	salzige, dunkle Flüssigkeit, Würzmittel	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Aspergillus sojae</i>
Sufu	Tofu (Sojabohnenkäse)	salzige Würfel, Hauptgericht	<i>Actinomucor elegans</i>
Tempeh	hauptsächlich Sojabohnen, auch Getreide, Erdnuss- und Kokosnuss-Presskuchen	halbfester Kuchen, geröstet oder frittiert oder als Fleischersatz in Suppen	<i>Rhizopus oligosporus</i> , <i>Rhizopus chinensis</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> , <i>Mucor indicus</i>
Weißschimmelkäse	Milch	halbfest, proteinreiche Nahrung	<i>Penicillium camemberti</i>

besserer Geruch und Geschmack oder auch eine andere Farbe oder Materialbeschaffenheit. Zusätzlich erfolgen der Abbau unerwünschter Bestandteile, z. B. von zu Flatulenz (Blähungen) führenden Oligosacchariden und die Anreicherung mit erwünschten Bestandteilen wie Vitaminen. Die meisten Fermentationsprozesse können nicht steril durchgeführt werden, daher kommt in fermentierten Lebensmitteln häufig eine Vielzahl von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen vor, die aus dem Substrat, den Starterkulturen oder aus Kontaminationen während der Verarbeitung stammen können und die alle zur Fermentation beitragen.

Schimmelpilze können aber auch direkt als Proteinquelle dienen und dann ein Fleischersatz sein. Ein Beispiel ist Quorn™ aus dem Pilz *Fusarium venenatum* (Kap. 5.2.5). Mitunter werden in der Natur vorkommende Schimmelprozesse in der Lebensmittelproduktion genutzt, z. B. bei dem Befall von Weintrauben mit *Botrytis cinerea*. Hierbei entstehen unter idealen Bedingungen edelfaule Trauben, die als Ausgangsstoff für Auslese-Weine dienen (Kap. 5.2.6).

5.2.1 Sojasauce

Die Sojabohne gehört zu den Hülsenfrüchten und ist die Grundlage einer Reihe von Nahrungsmitteln wie Sojamilch, Tofu und Sojasauce. Letztere ist das in Europa bekannteste fermentierte Sojaprodukt. Sie wird seit Jahrtausenden unter verschiedenen Bezeichnungen (Japan: *Shoyu*, China: *Chiang Yiu*, Indonesien: *Ketjap*, Philippinen: *Taosì*, Korea: *Ganjang*) in asiatischen Ländern produziert (Abb. 5.9). In Japan beispielsweise werden pro Jahr rund 10 Liter Sojasauce pro Kopf hergestellt und verbraucht. Sojabohnen dienen aber auch bei einer großen Menge weiterer fermentierter Lebensmittel als Substrat (Tabelle 5.4, Kap. 5.2.2).

Die Herstellung von Sojasauce erfolgt entweder ausschließlich aus Sojabohnen (chinesische Sojasauce) oder aus einer Sojabohnen-Weizen-Mischung (japanische Sojasauce). Durch die Fermentation wird zum einen die sonst schwer verdauliche Sojabohne aufgeschlossen, zum anderen werden auch einige unerwünschte Bestandteile abgebaut. Hierzu gehören die in der Sojabohne vorkommenden Trypsin-Inhibitoren¹⁰ und die Phy-

¹⁰ **Trypsin** ist ein im Dünndarm aktives Verdauungsenzym, das Proteine spaltet.

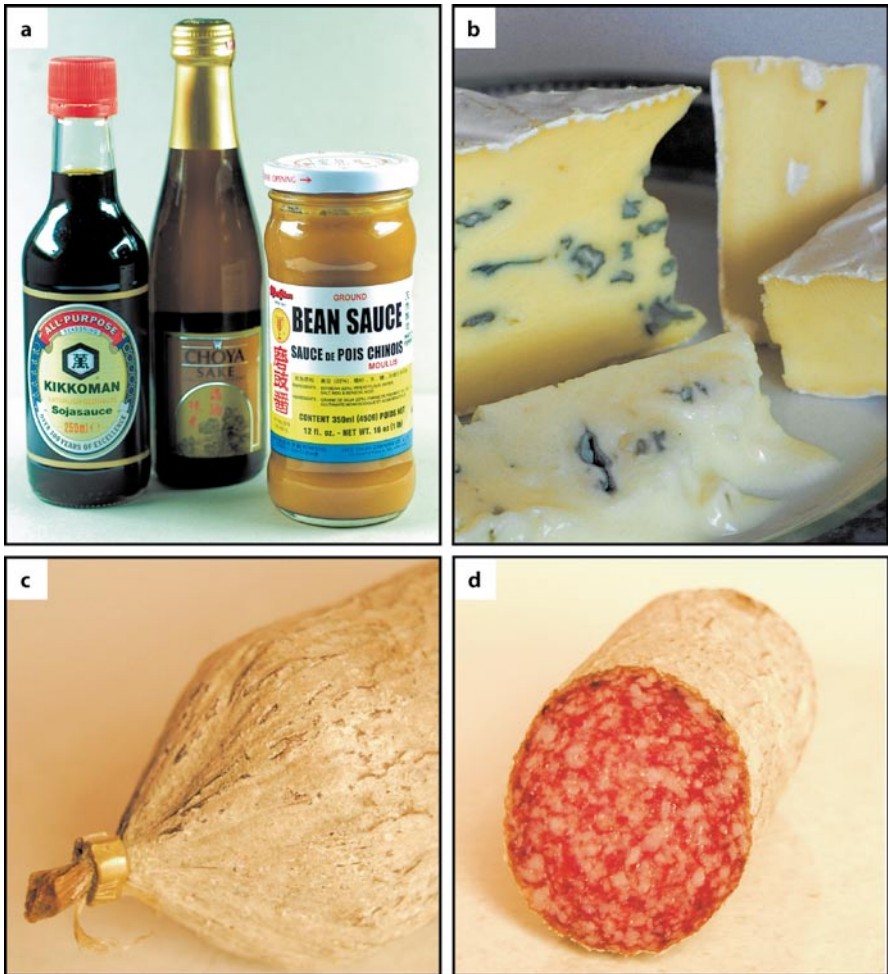


Abb. 5.9 a–d Mit Schimmelpilzen fermentierte Lebensmittel. **a** Sake, gemahlene Sojabohnensauce und Sojasauce werden hauptsächlich in Asien, vermehrt aber auch in Europa konsumiert. **b** Schimmelkäse wie Bavaria Blu (*hinten links*), Gorgonzola (*vorne*) und Camembert (*rechts*) sind Standardartikel in deutschen Supermärkten. An dem typischen Schimmelbewuchs auf der Oberfläche (**c**) erkennt man die Edelsalami (**d**)

tinsäure, die im menschlichen Darm essenzielle Metallionen binden kann, aber durch pilzliche Phytasen abgebaut wird. In der Abb. 5.10 ist ein Flussdiagramm dargestellt, welches die Produktion japanischer Sojasauce veranschaulichen soll. Der Herstellungsprozess beginnt mit einer Mischung aus gekochten Sojabohnen und geröstetem Weizenschrot, die mit Sporen

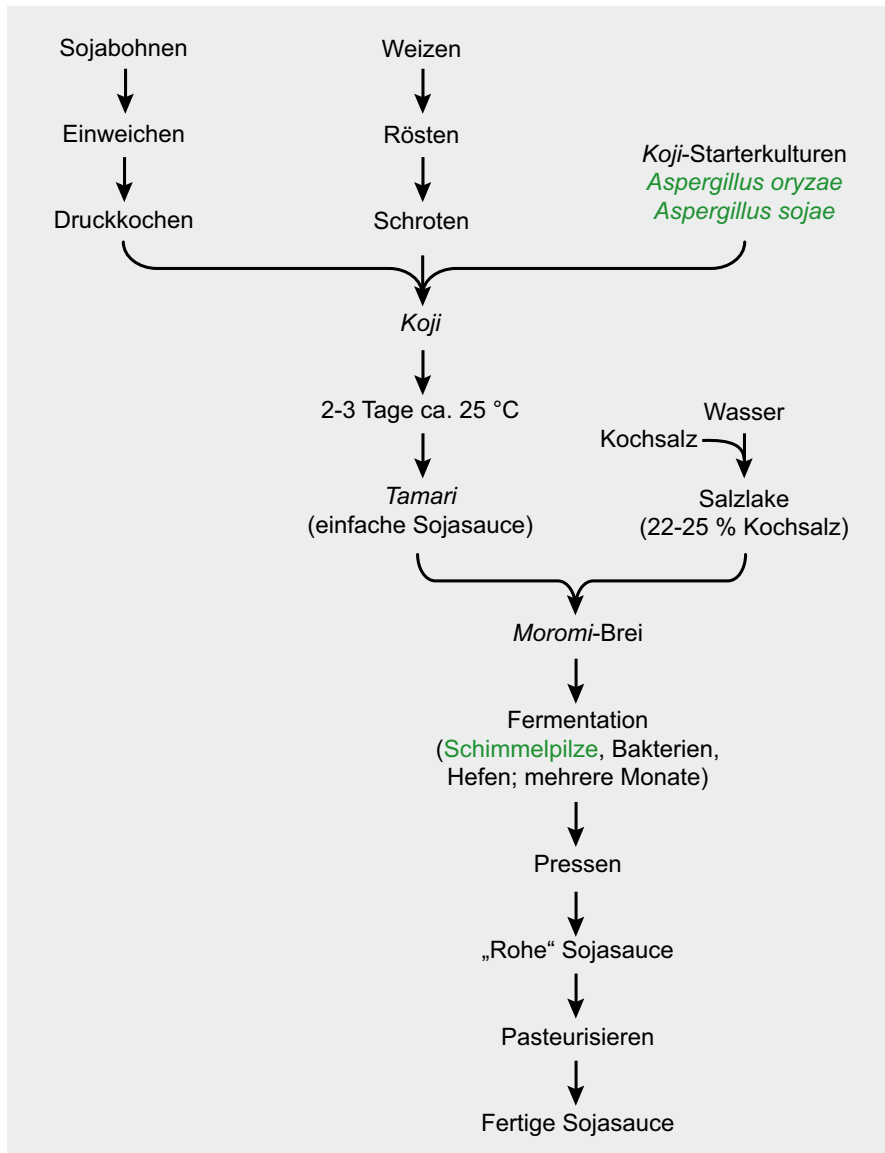


Abb. 5.10 Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Herstellung von Sojasauce. Stellen, an denen Schimmelpilze zugegeben werden, sind grün hervorgehoben

von *Aspergillus oryzae* oder *Aspergillus sojae* beimpft wird. Das so entstandene *Koji*¹¹ (Kap. 5.1.1) wird zwei bis drei Tage bei 25 °C inkubiert, wobei pilzliche Enzyme wie etwa Cellulasen, Proteasen und Amylasen die verschiedenen pflanzlichen Polymere abbauen. Die hierbei entstehende Flüssigkeit wird als einfache Sojasauce (*Tamari*) verwendet. Bei der hochwertigeren Sojasauce wird eine zweite Fermentation angeschlossen. Dem *Koji* wird dann Wasser und 16–18% Kochsalz zur Verhinderung von Fäulnisprozessen zugefügt, es entsteht das sogenannte *Moromi*. Die Reifung der Sojasauce erfolgt nun in großen Fermentationstanks über mehrere Monate. Während dieser Zeit entwickeln sich verschiedene Hefen (z.B. *Zygosaccharomyces rouxii*) und Bakterien (*Pediococcus spec.*), die ebenfalls verschiedene Enzyme produzieren, welche u. a. zur Absenkung des pH-Wertes und zur Herstellung von Glutamat führen. Am Ende der Reifezeit sind die anfangs zugesetzten Schimmelpilze abgestorben, aber die von ihnen sekretierten Enzyme sind noch aktiv.

Dieser traditionelle japanische Herstellungsprozess für Sojasauce dauert mehrere Monate bis Jahre. Mittlerweile kann Sojasauce aber auch industriell innerhalb weniger Tage hergestellt werden. Hierfür werden Sojabohnen und Weizen direkt mit den für die *Koji*-Phase erforderlichen Enzymen gemischt und die *Moromi*-Phase durch mehrere Bioreaktoren ersetzt (Kap. 5.1). Natürlich besteht ein großer geschmacklicher Unterschied zwischen industriell produzierter und traditionell hergestellter Sauce, weswegen erstere häufig noch mit weiteren Zutaten angereichert wird.

5.2.2 Tempeh

Tempeh ist ein weiteres Beispiel für ein fermentiertes asiatisches Lebensmittel, das aus Sojabohnen hergestellt werden kann, in diesem Fall mit Hilfe des Schimmelpilzes *Rhizopus oligosporus* (Tabelle 5.4). Es wurde zunächst auf Java (Indonesien) traditionell als Fleischersatz zubereitet, ist aber mittlerweile auch in den Niederlanden und anderen europäischen Ländern, in Australien und den USA vor allem bei Vegetariern sehr beliebt und wird auch in industriellem Maßstab produziert. Bei Tempeh handelt es sich um

¹¹ Als **Koji** wird jegliche Form von mit Schimmelpilzen und anderen Mikroorganismen bewachsenes Substrat bezeichnet. Daher ist *Koji* häufig ein Zwischenprodukt bei der Herstellung fermentierter Lebensmittel.

einen schnittfesten Kuchen mit einem erdigen Pilz-Aroma, der eine billige, nahrhafte und gut verdauliche Pflanzenproteinquelle darstellt. Aufgrund seiner hohen Wasseraktivität (Kap. 3.1) ist Tempeh nicht lange haltbar, es kann aber getrocknet oder eingefroren werden. Zum Verzehr wird Tempeh meist gekocht oder frittiert (*Tempeh kripik*) und in Scheiben als Zusatz zu den Mahlzeiten oder auch als Hauptgericht verwendet.

Der Herstellungsprozess für Tempeh basierend auf Sojabohnen (*Tempeh kedele*) ist in Abb. 5.11 dargestellt. Traditionell werden die Sojabohnen zunächst gekocht, dann die Hülle entfernt – auf Java geschieht das durch Stampfen mit den Füßen, ähnlich wie früher in Europa bei der Weinherstellung – und dann in Wasser eingeweicht. Bei der industriellen Tempeh-Herstellung in den Niederlanden oder den USA werden die Sojabohnen zunächst trocken geschält und dann eingeweicht. Während der 12 bis 24-stündigen Einweichzeit sinkt der pH-Wert durch bakterielle Milchsäuregärung unter 5,4. Dies verhindert zum einen den Befall mit verderbenden Mikroorganismen und schafft außerdem optimale Wachstumsbedingungen für den Schimmelpilz *Rhizopus oligosporus*. Durch das Entfernen des Einweichwassers wird außerdem ein in der Sojabohne enthaltener wasserlöslicher Inhibitor des Schimmelpilzes entfernt. Das anschließende Kochen tötet die Bakterien ab, schließt die in der Bohne enthaltenen Nährstoffe auf und zerstört den Sojabohnen-eigenen Trypsin-Inhibitor (Kap. 5.2.1). Erst jetzt werden die abgetropften und abgekühlten Bohnen mit *Rhizopus oligosporus*-Myzel aus älteren Tempeh-Kulturen oder aus auf Hibiskus-Blättern kultivierten Starterkulturen beimpft, verpackt und ein bis zwei Tage bei 25–35 °C inkubiert, sodass noch keine neuen Sporen gebildet werden. Traditionell werden hierfür zuvor durchlöcherter Blätter (auf Java häufig Bananen-Blätter) genutzt, bei der industriellen Produktion wird allerdings perforierte Polyethylen-Folie verwendet. Obwohl *Rhizopus oligosporus* der klassische Tempeh-Pilz ist, kommen auch andere *Rhizopus*- und *Mucor*-Arten vor. Die Schimmelpilze bauen Proteine und Fette ab, sorgen so für einen Anstieg in der Menge freier Amino- und Fettsäuren und führen auf diese Weise zu einer besseren Bekömmlichkeit. Zudem findet eine Anreicherung mit einigen Vitaminen der B-Gruppe statt, allerdings verbraucht *Rhizopus oligosporus* selbst Thiamin (Vitamin B₁), welches deshalb in fertigem Tempeh nur in geringen Mengen vorhanden ist. Cobalamin (Vitamin B₁₂) entsteht in besonderem Maße nur dann, wenn auch Bakterien der Gattung *Klebsiella* an der Fermentation beteiligt sind. Wie bei der Salamiherstellung (Kap. 5.2.4) wird ein Teil der Milchsäure aus den bakteriellen Gärungsprozessen vom Pilz als Nahrungsquelle verwertet und außerdem

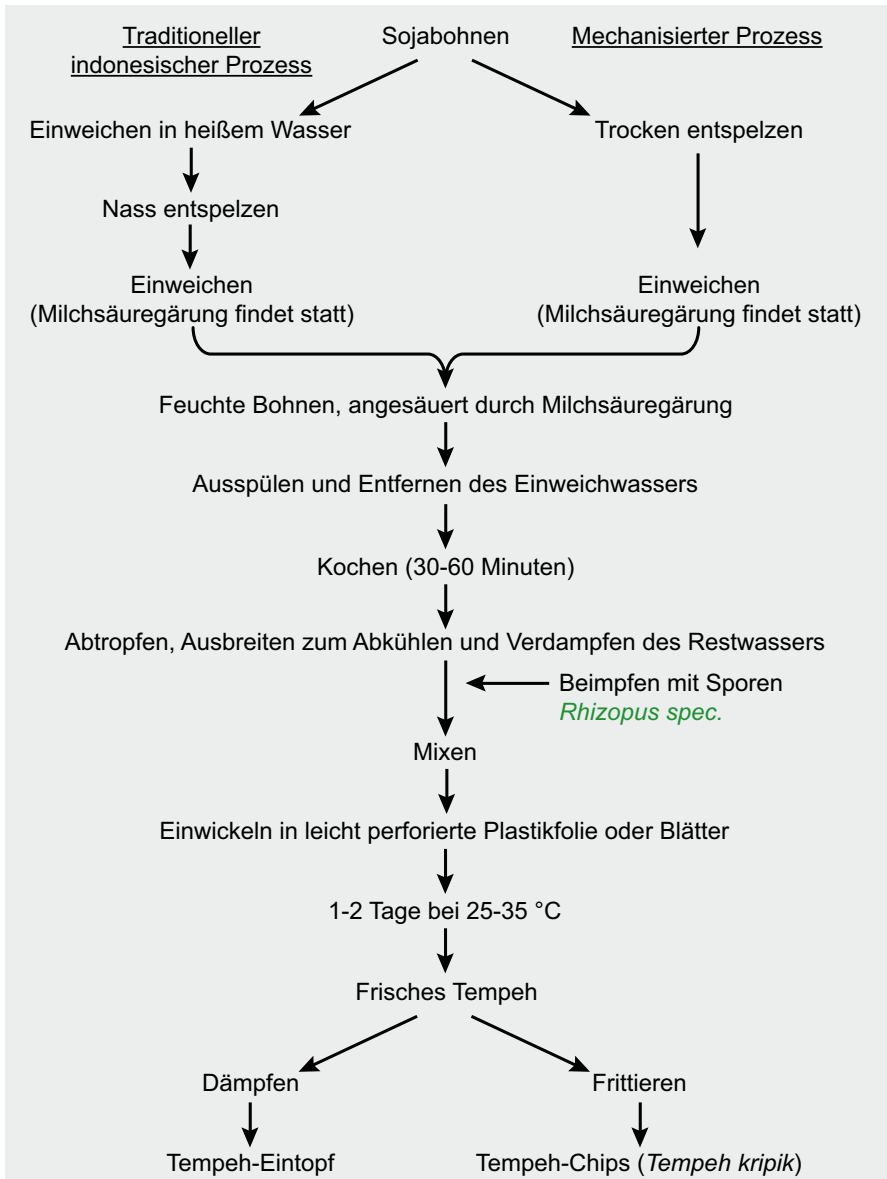


Abb. 5.11 Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Herstellung von Tempeh aus Sojabohnen. Stellen, an denen Schimmelpilze zugegeben werden, sind grün hervorgehoben

Ammoniak produziert, wodurch der pH-Wert steigt. Dies tötet schließlich den Pilz, sodass nur der zu Beginn sehr niedrige pH-Wert eine längere Fermentation überhaupt ermöglicht. Insgesamt führt die Fermentation der Sojabohnen zu einem kompakten „Kuchen“, in dem die aufgeweichten Bohnen durch weißes Pilzmyzel zusammengehalten werden. Nicht nur Geschmack, Verdaubarkeit und Ernährungswert der Sojabohne werden verbessert, sondern fertiges Tempeh hat durch die faserige Struktur des Myzels außerdem die Textur von Fleisch.

Neben Sojabohnen können für Tempeh auch weitere Substrate wie beispielsweise andere Leguminosen-Samen, Getreidekörner sowie Erdnuss- und Kokosnuss-Presskuchen verwendet werden. Aus Kokosnuss-Presskuchen entsteht *Tempeh bongkrek*, das allerdings sehr leicht durch das Bakterium *Burkholderia cocovenenans* kontaminiert wird, welches verschiedene Toxine produziert. Da der Verzehr von *Tempeh bongkrek* immer wieder zu Todesfällen geführt hat, wurde die Produktion 1988 von der indonesischen Regierung verboten.

Ein dem Tempeh in der Herstellung sehr ähnliches Lebensmittel ist Ontjom (Tabelle 5.4). Er wird aus Erdnuss-Presskuchen mit Hilfe des Schimmelpilzes *Neurospora* hergestellt und besitzt aufgrund der Eigenfarbe des Pilzes eine rosa Färbung.

5.2.3 Schimmelkäse

Schimmelkäse ist eines der wenigen durch Schimmelpilze fermentierten Lebensmittel, die in Westeuropa einen großen Stellenwert besitzen. Die Herstellung erfolgt zunächst wie bei anderen Käsesorten auch, indem der Milch als Starterkulturen Milchsäurebakterien und Lab¹² zugegeben werden. Durch das Lab, welches entweder aus Kälbermägen gewonnen oder biotechnologisch mit Hilfe von Schimmelpilzen hergestellt wird (Kap. 5.1.6), gerinnt das Milchprotein Casein und fällt aus. Die restliche Flüssigkeit (Molke) wird abgepresst und die entstandene Gallerte geschnitten. Hierdurch entsteht der Käsebruch, der dann in Formen abgefüllt wird und reift. Bei der

¹² Bei **Lab** handelt es sich um ein Enzymgemisch aus Chymosin und Pepsin, das aus Kälbermägen isoliert werden kann und schon im Altertum bekannt war. Chymosin kann heute biotechnologisch mit Hilfe von Schimmelpilzen hergestellt werden (Kap. 5.1.6). Für die Produktion von Bio-Lebensmitteln ist es in Europa allerdings nicht zugelassen.

Herstellung von Schimmelkäse wird zusätzlich mit Sporen oder Kulturen essbarer Schimmelpilze beimpft. Dabei unterscheidet man Weißschimmel- und Blauschimmelkäse (Abb. 5.9). Eine Mischform aus Weiß- und Blauschimmelkäse ist der in Deutschland hergestellte Bavaria Blu (Bergader).

Die zur Schimmelkäse-Produktion eingesetzten Schimmelpilzarten sind grundsätzlich dazu in der Lage, Mykotoxine (Kap. 6.3) zu produzieren. Allerdings müssen Schimmelpilzstämme, die als Starterkulturen für das gezielte Beimpfen von Lebensmitteln verwendet werden, verschiedene Kriterien erfüllen:

- Die Stämme dürfen keine Mykotoxine produzieren und müssen apathogen sein;
- sie müssen in der Lage sein, sich gegen andere Schimmelpilze durchzusetzen, um so ein ungewolltes „Verschimmeln“ zu verhindern;
- sie müssen proteolytische (Proteine spaltende) und lipolytische (Fette spaltende) Aktivitäten aufweisen. Ein weiterer Sicherheitsaspekt ist, dass die Bedingungen bei der Käseherstellung für die Bildung von Mykotoxinen nicht förderlich sind.

Für Weißschimmelkäse wie Camembert und Brie wird der Schimmelpilz *Penicillium camemberti* verwendet. Entweder wird der Pilz direkt mit den Starterkulturen zur Milch gegeben oder nach dem Pressen des Käsebruchs als Sporensuspension auf die Oberfläche gesprüht. Der Schimmel bildet sich nach drei bis vier Tagen auf der Oberfläche des Käses, der zunächst für ein bis zwei Wochen bei 10–15 °C reift, dann verpackt und kühl gelagert wird. Der Verzehr erfolgt sechs bis sieben Wochen nach der Produktion. Während der Reifung bewirken proteolytische bzw. lipolytische Enzyme eine Veränderung vornehmlich der Textur, aber auch des Aromas. Insgesamt bekommt der Käse eine andere Konsistenz und wird von außen nach innen weicher. Der Pilzbewuchs auf der Oberfläche schützt außerdem vor einer Infektion durch andere Pilze.

Für die Herstellung von Blauschimmelkäse wird *Penicillium roqueforti* verwendet. Typische Beispiele sind Gorgonzola aus Italien, der aus Kuhmilch entsteht, und Roquefort aus Frankreich, für den ausschließlich Schafsmilch verwendet wird. *Penicillium roqueforti* wird entweder mit den Starterkulturen zur Milch gegeben oder auf den Käsebruch geimpft. Da der Pilz zum Wachstum 4,25% Sauerstoff benötigt, wird der Käse vor der Reifung pikiert, sodass Löcher entstehen. Zwischen den Bruchstücken und entlang der Nadellöcher wächst der Pilz im Käse. Auch beim Blauschimmelkäse tragen proteolytische und lipolytische Enzyme zur Reifung bei; mehr als bei

den Weißschimmelkäsen ändert sich der Geschmack und Geruch. Dies wird hauptsächlich durch freigesetzte Methylketone aus dem Abbau von MilCHFett erreicht.

5.2.4 Edelschimmel auf Fleischwaren

Traditionell werden in verschiedenen europäischen Ländern rohe Fleischwaren durch eine Kombination aus bakterieller Milchsäuregärung und Schimmelpilzfermentation haltbar gemacht. Beispiele sind die italienische oder ungarische Salami (Abb. 5.9) und schimmelgereifter Schinken wie der Südtiroler Bauernspeck (Italien) oder das Bündner Fleisch (Schweiz). Allen gemeinsam ist eine mehrwöchige bis mehrmonatige Reifezeit, während der Schimmelpilze auf der Oberfläche der Würste oder der Fleischstücke wachsen und das Fleisch haltbarer machen.

Bei der Herstellung von Salami wird z.B. Fleisch von Schwein, Rind oder Esel mehr oder weniger grob gehackt, mit Nitritpökelsalz und Gewürzen versetzt und in eine Hülle aus Darm oder Kunstdarm gepresst. Die Rohwürste werden dann bei bestimmten Temperaturen und einer bestimmten Luftfeuchtigkeit, die je nach Sorte unterschiedlich sein kann, für eine gewisse Zeit gelagert. Einige Salamisorten werden außerdem geräuchert. Um den Naturschimmelbelag zu erzeugen, wurde das Fleisch früher einfach in den Herstellerbetrieben oder auch in Höhlen mit konstanter Temperatur aufgehängt. Die jeweils vorhandene Schimmelpilzflora siedelte sich auf der Oberfläche an und erzeugte den typischen weißlich-grauen Belag auf der Salami. Heutzutage werden die Fleischwaren meist gezielt mit einer Sporensuspension besprüht, die aus ausgewählten Schimmelpilzen besteht. Beim Südtiroler Bauernspeck aus der Gegend um Bozen, Meran und Brixen wird gepökelttes Schweinefleisch über offenem Herdfeuer geräuchert und dann in Felskellern bei ca. 20 °C gelagert. Auch dort ist eine spezifische Pilzflora vorhanden, die innerhalb von 4–5 Monaten auf dem Fleisch ein dichtes Myzel bildet. Beim Bauernspeck wie auch bei einigen Salamisorten wird dieser Pilzbelag am Ende der Reifezeit abgebürstet, sodass auf dem fertigen Produkt kein Schimmelpilz zu sehen ist.

Schimmelpilzstämmen für die Fermentation von Fleischwaren müssen wie bei der Käseherstellung verschiedene Sicherheitskriterien erfüllen (Kap. 5.2.3). Hinzu kommt noch, dass sie ein weißes, gelbliches oder elfenbeinfarbenes Myzel besitzen sollten, um das typische Aussehen der Salamihülle aufzuweisen. Eine Ausnahme bildet hier die toskanische Dauer-

wurst Finocchiona, die mit einer grünlichen Schimmelschicht überzogen ist. Am häufigsten findet man auf der Oberfläche der Fleischwaren *Penicillium*-Arten wie *P. expansum*, *P. janthinellum*, *P. chrysogenum*, *P. commune*, *P. camemberti*, *P. candidum*, *P. simplicissimum* und *P. miczynskii*. Besonders auf Pökelwaren kommen nach langer Reifung und Abnahme der Wasseraktivität (Kap. 3.1) aber auch *Aspergillus*-Arten vor, wie *A. candidus*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. caespitosus*, *A. niger*, *A. sulphureus* und *A. wentii*.

Was bewirken nun eigentlich die Schimmelpilze? Das Myzel wächst hauptsächlich auf der Oberfläche und verhindert so zunächst einmal ein Austrocknen, schützt aber auch vor Sauerstoff- und Lichteinflüssen und verhindert das Ranzigwerden. Außerdem geben die Schimmelpilze auch Enzyme und Stoffwechselprodukte in das Fleisch ab. Hierdurch ergibt sich ein Ansteigen des pH-Wertes, der durch die Anwesenheit von fermentierenden Bakterien im Fleisch gesunken ist. Die von den Bakterien produzierten Säuren (Milchsäure und Essigsäure) können in Form ihrer Salze Lactat bzw. Acetat von den Schimmelpilzen mit Hilfe des Glyoxylat-Zyklus als Kohlenstoffquelle verwertet werden (Kap 3.2.3). Durch den Abbau von Proteinen werden außerdem Stickstoffgruppen frei, die von den Schimmelpilzen in Ammonium umgewandelt werden, wodurch der pH-Wert weiter steigt. Der Abbau von Proteinen und Fetten führt weiterhin zur Bildung verschiedener Aromastoffe, die für das jeweilige Fleischprodukt aufgrund der Zusammensetzung der Schimmelpilze relativ spezifisch sind.

5.2.5 Quorn™

Zu Beginn dieses Kapitels wurde bereits erwähnt, dass Pilze auch alternativ zu Fleisch als Proteinquelle in Betracht gezogen werden können. Die Suche nach einem Pilz, der dafür geeignet ist, begann bereits in den frühen 1960er Jahren. Damals erwartete man aufgrund des großen Bevölkerungszuwachses eine Fleischknappheit, der man mit der Entwicklung eines Mykoproteins abhelfen wollte, denn: Pilze wachsen schnell und haben einen hohen Proteingehalt, dabei aber im Gegensatz zu Fleisch nur wenig Fett.

Nach der Überprüfung von über 3000 Bodenproben aus aller Welt wurde schließlich der Schimmelpilz *Fusarium venenatum* (früher *Fusarium graminearum*) in Marlow (Großbritannien) isoliert. Der Pilz war bereits als Schädling bekannt; er verursacht die Wurzelfäule beim Weizen. Es gelang



Abb. 5.12 Ausschnitt aus der Speisekarte eines britischen Restaurantbetriebes am Flughafen von Edinburgh. Quorn™ -Produkte werden in vielfältiger Form als Fleischersatz angeboten, hier als Würstchen

den Forschern, *Fusarium venenatum* in großem Maßstab zu kultivieren und zu ernten. 1985 wurde das Produkt in Großbritannien vom MAFF (*Ministry of Agriculture, Fishery and Foods*) freigegeben, die Firma Marlow Foods gegründet und das Mykoprotein aus *Fusarium venenatum* unter dem Namen Quorn™ auf den Markt gebracht.

Quorn™ wird produziert, indem *Fusarium venenatum* auf Glucosesirup mit einer Stickstoffquelle angezogen wird. Der Glucosesirup kann dabei aus allen verfügbaren Stärkeprodukten gewonnen werden, wodurch die Anzucht kosteneffizient ist. Die Abtrennung des Pilzes vom Medium ist durch die Ausbildung von Hyphenstrukturen (Kap. 2.1) recht einfach; je nach Länge der Anzucht variiert die Länge der Hyphen und nach dem Abpressen hat Quorn™ unterschiedliche Texturen, die für verschiedene Fleischimitate benutzt werden. Quorn™ enthält etwa 50% Protein im Trockengewicht, aber nur etwa 13% Fett, das zudem noch anders zusammengesetzt ist als tierische Fette – Quorn™ ist cholesterinfrei. Ein weiterer Vorteil ist sein hoher Ballaststoffgehalt von etwa 25% und der nur sehr geringe Nukleinsäuregehalt – zu viele Nukleinsäuren in Nahrungsmitteln können Gicht hervorrufen. Die Produktpalette von Marlow Foods reicht von Würstchen über Schnitzel und Aufschnitt bis zu Burgern und Fertiggerichten (Abb. 5.12). Quorn™ ist mittlerweile in verschiedenen europäischen Ländern und auch den USA erhältlich. Nach Angaben von Marlow Foods werden allein in Großbritannien täglich 500.000 Quorn™ -Mahlzeiten verzehrt.

5.2.6 Edelfäule

Als Edelfäule wird der erwünschte Befall reifer Beeren bestimmter Traubensorten mit dem Schimmelpilz *Botrytis cinerea* bezeichnet (Abb. 5.13). Diese erwünschte Besiedelung tritt im Herbst auf, wenn es morgens feucht und kühl und tagsüber recht warm ist. Bei Befall im Sommer dagegen kommt es zur Grauschimmel- oder auch zur Stiefelfäule, die die Trauben zerstört und erhebliche Ernteeinbußen hervorrufen kann. *Botrytis cinerea* findet man auch häufig als Lebensmittelkontamination auf verschiedenen Substraten, z. B. auf Erdbeeren (Kap. 6.2.1).

Der Schimmelpilz *Botrytis cinerea* löst im Falle der Edelfäule zunächst die Beerenhaut enzymatisch auf, wodurch bei warmem Herbstwetter aus den Beeren Feuchtigkeit austritt und verdunstet. Der Pilz nutzt Beeren-Inhaltsstoffe für sein eigenes Wachstum, baut aber vermehrt Säuren und weniger Zucker ab. Hierdurch steigt der Zuckergehalt der Weinbeeren und erreicht hohe Oechsle-Grade¹³. *Botrytis* gibt außerdem Stoffwechselprodukte an die Beere ab, die zum typischen Aroma edelsüßer Weine führen. Erwünscht ist *Botrytis*-Befall allerdings nur bei bestimmten Weißweinträumen, bei trockenem Weißwein und bei Rotweinträumen ist er nicht qualitätsfördernd.

Edelfaule Weinbeeren werden in Deutschland traditionell von Hand geerntet. Sie müssen für Beerenauslesen mindestens 125° Oechsle haben, für Trockenbeerenauslesen etwa 150° Oechsle. Die weitere Herstellung der Beeren- und Trockenbeeren-Ausleseweine erfolgt dann wie bei anderen Weinen auch. Charakteristisch für die fertigen Weine sind die gelbliche Farbe, die starke Süße, das *Botrytis*-Aroma und die extrem lange Haltbarkeit.

5.3 Biologische Schädlingsbekämpfung

In den vorausgegangenen Kapiteln wurde die Anwendung von Schimmelpilzen in der Bio- und Lebensmitteltechnologie dargestellt. Neben diesen Aspekten können Schimmelpilze aber auch effektiv in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden. Unter biologischer Schädlingsbekämpfung, auch biologische Kontrolle (engl. *Biocontrol*) genannt, ver-

¹³ Der **Oechsle-Grad** ist eine Maßeinheit für das Mostgewicht von Trauben. Er gibt die Menge aller gelösten Teilchen, hauptsächlich Zucker, in der Traube an. Das Mostgewicht ist ein wichtiger Indikator für den richtigen Erntezeitpunkt und wird außerdem als Grundlage für die Einteilung der Weine in verschiedene Qualitätsklassen genutzt.



Abb. 5.13 Mit *Botrytis cinerea* befallene edelfaule Trauben. Der Schimmelpilzbefall lässt die einzelnen Beeren austrocknen, wodurch sich ihr Zuckergehalt steigert. Die trockenen Beeren werden in Deutschland traditionell von Hand geerntet und zu edelsüßen Weinen verarbeitet (Foto mit freundlicher Genehmigung von Herrn Theo Abel, Weingut Abel, Oestrich-Winkel, Rheingau)

steht man die Verwendung von Organismen wie beispielsweise Pilzen, Bakterien, Viren oder Protozoen, um Schädlinge in ihrer Anzahl zu begrenzen. Als Schädlinge werden dabei generell Organismen definiert, welche in großem Maße auftreten und sowohl Flora als auch Fauna sowie den Menschen, seine Wohn-, Arbeits- und Lagerstätten befallen. Ziel aller Maßnahmen der biologischen Schädlingsbekämpfung ist nicht primär die Vernichtung der Schädlinge, sondern die Einschränkung ihrer Vermehrung durch natürlich vorkommende oder von auswärts eingeführte Gegenspieler, sogenannte

Nützlinge (Fressfeinde, Antagonisten), um den durch sie angerichteten Schaden unter eine wirtschaftlich bedenkliche Schwelle abzusenken. Zu Beginn der Entwicklung der biologischen Schädlingsbekämpfung wurden zunächst nur Bakterien als Nützlinge eingesetzt, die eine effiziente Infektion von Schädlingen verursachen können. So hat bereits seit den 1960er Jahren *Bacillus thuringensis* in Deutschland eine Zulassung als Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung der Raupen von Schadschmetterlingen. Ein sehr hohes Potenzial für einen effektiven Einsatz in der biologischen Schädlingsbekämpfung konnte aber auch für Pilze festgestellt werden, da diese zum Teil ein breites Wirtsspektrum gegen Schädlinge aufweisen. Im Folgenden sollen die generellen Vorteile der biologischen Schädlingsbekämpfung herausgestellt und einige Beispiele für den Einsatz von Schimmelpilzen beschrieben werden.

5.3.1 Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren

Allgemein der Öffentlichkeit bekannt sind die konventionellen Verfahren zur Schädlingsbekämpfung wie der Einsatz physikalisch-biotechnischer oder chemischer Methoden. Während die physikalischen Verfahren mit dem häufigen Einsatz von Lock- und Klebfallen oder auch Feuer zumeist keinen nachhaltigen und ausreichenden Erfolg erzielen, zeigt der Einsatz chemischer Gifte, der sogenannten Pestizide, zwar einen hohen Wirkungsgrad, allerdings auch erhebliche Nachteile. So werden häufig Resistenzbildungen gegen ein Pestizid und eine darauffolgende starke Vermehrung der resistenten Organismen beobachtet. Zudem wirken Pestizide zumeist nicht nur gegen Schädlinge, sondern auch gegen ihre natürlichen Fressfeinde, wodurch das natürliche Gleichgewicht und damit bestehende Ökosystem empfindlich gestört wird. In den letzten Jahren konnten, bedingt durch die maßlosen Anwendungen, die Langlebigkeit und/oder schlechte biologische Abbaubarkeit synthetische Pflanzenschutzmittel, häufig sogar mit krebserzeugender und erbgutschädigender Wirkung, in immer stärker werdendem Ausmaß im Grundwasser und in der Nahrungskette nachgewiesen werden. Daher bietet die biologische Schädlingsbekämpfung eine neue Alternative, indem sie sich zunutze macht, dass jeder Organismus eine Vielzahl von mikrobiellen Gegenspielern, wie Pilze, Bakterien, Viren oder Protozoen, hat, die ihn unterschiedlich stark schwächen oder sogar abtöten können. Da die zur biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzten Mikroorganismen wie z. B. die Schimmelpilze oder Bakterien zumeist weltweit in den Böden

Tabelle 5.5 Übersicht über wichtige Pilze, die zur Bekämpfung tierischer Schädlinge in Gartenbau und Landwirtschaft erprobt werden

Pilz	Schädling	kommerziell erhältlich
<i>Aschersonia aleyrodes</i>	Weißer Fliegen, Schildläuse	nein
<i>Beauveria bassiana</i>	Blattläuse, Fliegen, Rüsselkäfer, Schaben, Schmierläuse, Spinnmilben, Thripse, Trauermücken, Wanzen, Weiße Fliegen, Zikaden → insgesamt > 700 Wirtstiere	ja ^b
<i>Entomophthora muscae</i> ^a	Fliegen	nein
<i>Erynia neoaphidis</i>	Blattläuse	nein
<i>Hirsutella thompsonii</i>	Schmetterlingsraupen, Varroamilbe	nein
<i>Metarhizium anisopliae</i> ^a	Blattläuse, Fliegen, Rüsselkäfer, Schaben, Thripse, Varroamilbe, Weiße Fliegen → insgesamt > 200 Wirtstiere	ja ^b
<i>Paecilomyces fumosoroeus</i>	Fliegen, Käfer, Raupen, Schmierläuse, Weiße Fliegen	ja
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Wurzelnekrotis	nein
<i>Verticillium lecanii</i>	Blattläuse, Schildläuse, Thripse, Wanzen, Weiße Fliegen	ja
<i>Verticillium chlamydosporium</i>	Wurzelnekrotis	nein
<i>Penicillium frequentans</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Stachybotrys chartarum</i> , <i>Trichocladium asperum</i>	Wurzelnekrotis	nein
<i>Trichoderma ovalisporum</i>	Hyphenpilz <i>Crinipellis spec.</i>	nein

^a Die Art ist obligat insektenpathogen, d. h. es sind keine Schimmelpilze im engeren Sinn, da sie nicht saprophytisch wachsen. Hier der Vollständigkeit halber aufgeführt.

^b Diese Produkte besitzen eine Zulassung in Deutschland.

zu finden sind, gelangen keine fremden Inhaltsstoffe oder deren Abbauprodukte in das Ökosystem. Zudem besitzen sie ihrerseits natürliche Gegenspieler, die ihre Reste beseitigen. Im Gegensatz zu synthetischen Stoffen haben die Nützlinge die Fähigkeit, sich durch Vermehrung an die jeweilige Dichte der Schädlinge anzupassen sowie durch Bildung von Dauerstadien, wie z. B. Sporen der Pilze, Schädlinge über viele Jahre hinweg zu unterdrü-

cken. Da zumeist komplexe Infektionswege vorliegen, die nicht nur an einen Zelltyp gebunden sind, kommt es zudem selten zu einer Resistenzbildung bei den Schädlingen. Des Weiteren zeigen Nützlinge eine relativ hohe Spezifität. So befällt der insektenpathogene Schimmelpilz *Beauveria bassiana* zwar Insekten und Milben mehrerer Ordnungen, kann aber keine Wirbeltiere schädigen (Tabelle 5.5). *Paecilomyces lilacinus* und *Verticillium chlamydosporium* hingegen zeigen ihre Spezifität nur gegen wurzel- und pflanzenparasitische Nematoden (Tabelle 5.5) und einige Viren infizieren sogar nur wenige Schmetterlingsarten aus nur einer Gattung. Allerdings müssen neben allen beschriebenen Vorteilen auch mögliche Nachteile erwähnt werden. Ein Einsatz der biologischen Schädlingsbekämpfung ist immer zeitaufwendiger und häufig abhängig von äußeren Faktoren wie der Luftfeuchtigkeit, der Zusammensetzung der Erde und der Temperatur. Beispielsweise können Schimmelpilze generell zwar eine schnelle und effiziente Infektion der Schädlinge verursachen, benötigen dazu aber optimale Temperaturen von 20 bis 30 °C und eine hohe relative Luftfeuchtigkeit (Kap. 3.1). So brauchen die Pilze *Verticillium lecanii* und *Aschersonia aleyrodes* nach der Ausbringung Luftfeuchtigkeiten von >80%, *Paecilomyces fumosoroeus* sogar 100%, um sich effizient zu vermehren und spezifische Schädlinge zu befallen (Tabelle 5.5). Insgesamt ist beim Einsatz biologischer Maßnahmen die sogenannte Sorgfaltspflicht zu wahren, denn es muss gewährleistet sein, dass durch das Ausbringen von Nützlingen die Funktion des Ökosystems nicht verändert wird. Dazu sollte beispielsweise regelmäßig geprüft werden, dass aus Nützlingen nicht durch unkontrollierte massenhafte Vermehrung wieder Schädlinge werden. Im Folgenden soll an einigen Beispielen der erfolgreiche Einsatz von Schimmelpilzen als Nützlinge in der biologischen Schädlingsbekämpfung gezeigt werden.

5.3.2 Anwendungsbeispiele

Ein hohes Potenzial für einen effektiven Einsatz in der biologischen Schädlingsbekämpfung konnte für eine Vielzahl von Pilzen festgestellt werden. Schimmelpilze wie *Beauveria bassiana* oder *Verticillium lecanii* wirken gegen eine große Anzahl von Schadorganismen wie Weiße Fliegen, Blattläuse, Wanzen, Schildläuse, Thripse, Trauermücken, Rüsselkäfer, Schaben und Schadfliegen. Insgesamt konnten bei der Suche nach erfolgversprechenden pilzlichen Antagonisten von tierischen Schädlingen viele Arten



Abb. 5.14 Eine durch einen insektenpathogenen Schimmelpilz getötete Fliege. Es zeigen sich die für Schimmelpilze typischen weißen Sporen auf der Oberfläche des Insekts sowie in der Umgebung

identifiziert werden, die weltweit mit dem Ziel erprobt werden, sie für die Schädlingsbekämpfung zu nutzen. Eine Auswahl ist in Tabelle 5.5 aufgelistet. Bereits als kommerzielle Produkte in den USA, Europa und zum Teil auch in Deutschland erhältlich, sind die Schimmelpilze *Beauveria bassiana* und *Verticillium lecanii* sowie der ausschließlich insektenpathogene Pilz *Metarhizium anisopliae*. Diese Pilze befallen verschiedenste Insekten (Tabelle 5.5), indem sich ihre Sporen an die Kutikula, d.h. die außen liegende Haut, empfindlicher Insekten anheften, dort auskeimen und die Kutikula penetrieren. Im Innern des Insekts vermehren sich die Pilze stark, blockieren Darm und Gefäßsystem, produzieren Toxine und entziehen dem Insekt die Nährstoffe. Die befallenen Insekten können keine Nahrung mehr aufnehmen, werden lethargisch und sterben zumeist noch am Substrat hängend (Abb. 5.14). Bei optimaler Temperatur und Feuchtigkeit wachsen die Pilze wieder nach außen und vermehren sich auf der Insektenoberfläche durch die Bildung von Myzel und einer Vielzahl von Sporen. Dieses führt

beispielsweise zu dem charakteristischen weißen oder grünen Belag auf durch *Beauveria bassiana* („Weiße Muscardine“) (Abb. 5.14) oder *Metarhizium anisopliae* („Grüne Muscardine“) befallenen Insekten. Die gebildeten Sporen werden wieder über Wind und Wasser verbreitet und können neue Insekten befallen. Während Vertreter der Gattung *Verticillium* in Deutschland nicht zugelassen sind, gehören *Beauveria bassiana* und *Metarhizium anisopliae* zu den Stoffen und Zubereitungen, die nach §6a Abs.4 Satz1 Nr.3 Buchstabe b des deutschen Pflanzenschutzgesetzes zur Anwendung im eigenen Betrieb hergestellt und im Forst gegen Rüsselkäfer und Borkenkäfer eingesetzt werden dürfen. Eine Zulassung beider Pilze für andere Indikationen liegt in Deutschland zurzeit aber nicht vor.

Ein weiteres interessantes Beispiel stellt der Schimmelpilz *Trichoderma ovalisporum* dar, für den ebenfalls ein hohes Potenzial zum Einsatz in der biologischen Schädlingsbekämpfung vorausgesagt wird. Dieser Pilz zeigt die Besonderheit, dass er stark wachstumshemmend auf den pflanzenpathogenen Pilz *Crinipellis spec.* wirkt. *Crinipellis spec.* ist der Auslöser der sogenannten Hexenbesen-Krankheit bei Pflanzen wie beispielsweise dem Kakaobaum und damit verantwortlich für Ernteverluste von bis zu 90% bei der Kakaoproduktion in Südamerika. Daher ist es das Ziel laufender Forschungsprojekte, zu überprüfen, ob ein kontrollierter Einsatz von *Trichoderma ovalisporum* möglich ist, um die Vermehrung des pflanzenpathogenen Pilzes *Crinipellis spec.* einzuschränken.

Die Anwendung der biologischen Schädlingsbekämpfung unter Verwendung von Schimmelpilzen wird zurzeit aber auch unter dem Aspekt untersucht, eine Belastung von Lebensmitteln wie Getreide mit Mykotoxinen zu minimieren (Kap. 6.3). In diesem Fall werden toxische Pilzkulturen bewusst zugegeben, die die spätere Einnistung eines toxinbildenden Konkurrenten verhindern und somit die Toxin-Menge um 60 bis 70% senken sollen. Mehr leisten auch chemische Fungizide nicht. Wissenschaftler der Universität Bonn und des „International Institute of Tropical Agriculture in Ibadan“ (IITA), Nigeria, wollen beispielsweise den Aflatoxin-bildenden Schimmelpilz *Aspergillus flavus* (Kap. 6.3.1) durch „Impfen“ der Felder mit einer *Aspergillus*-Variante bekämpfen, die kein Toxin produzieren kann. Unterstützt werden sie dabei von Forschern aus dem US-Bundesstaat Arizona, die mit dieser Methode die Toxin-Belastung von Baumwolle bereits um 98% reduzieren konnten.

Zusammenfassend zeigen die beschriebenen Beispiele, dass Schimmelpilze nicht nur in der Bio- und Lebensmitteltechnologie eine große Bedeu-

tung haben, sondern auch in der biologischen Schädlingsbekämpfung als Nützlinge des Menschen eingesetzt werden können.

Genauere Informationen können auch den Internetseiten

http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1042846_11/index.html, <http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/> und <http://www.oeko-landbau.de/erzeuger/pflanzenbau/pflanzenschutz/> entnommen werden.

5.4 Gesetzliche Bestimmungen

Wie dieses Buch zeigt, sind Schimmelpilze Organismen, die sowohl von großem Nutzen als auch sehr schädlich sein können. Daher gibt es für verschiedene Bereiche Regeln und Gesetze für den Umgang mit Schimmelpilzen, Richtwerte für die Sporenbelastung in der Luft und die Mykotoxinbelastung in Lebensmitteln (Kap. 6.3) oder auch Listen von Schimmelpilzen, die zur Produktion von Enzymen verwendet werden dürfen (Tabelle 5.6).

Generell werden Schimmelpilze verschiedenen Risikogruppen (1 bis 4) zugeordnet, wobei die Stufe 1 solche Organismen enthält, die generell keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. Viele Schimmelpilze sind dieser Stufe 1 zugeordnet, gelten also als ungefährlich. Allerdings stehen einige davon im Verdacht, bei extrem immungeschwächten Menschen oder auch bei Nutztieren u. U. Mykosen auslösen zu können (Tabelle 5.7, Kap. 6.1.1). Manche Schimmelpilz-Arten sind für den Menschen aber auch gefährlicher und werden in die Risikogruppen 2 oder 3 eingestuft (Tabelle 5.7). Diese Pilze können in einem großen Temperaturbereich wachsen, dessen Maximum weit oberhalb der menschlichen Körpertemperatur liegt. Besonders zu erwähnen ist hier der Schimmelpilz *Aspergillus fumigatus*, der als thermophil bezeichnet wird und bei Temperaturen von bis zu 52 °C überleben kann (Kap. 2.3.3 und 6.1). Im Gegensatz dazu sind die sehr nah verwandten thermotoleranten Arten *Aspergillus niger* und *Aspergillus terreus* der Stufe 1 zuzuordnen. Trotzdem können beide Arten bei 37 °C wachsen (Kap. 6.1.1) und sind bei Haus- und Nutztieren sowie bei stark immungeschwächten Menschen als Krankheitserreger nachgewiesen worden (Tabelle 5.7).

In Kapitel 4 wurden die Möglichkeiten zur gentechnischen Veränderung von Schimmelpilzen besprochen. Solche Veränderungen unterliegen, wie bei allen Organismen, dem Gentechnikgesetz (GenTG, Tabelle 5.6). Dieses regelt sowohl den Umgang mit als auch die Entsorgung von gentechnisch veränderten Organismen (GVOs). Dabei sind für die Organismen aller Risi-

Tabelle 5.6 Links für verschiedene Informationen zu Arbeiten mit Schimmelpilzen. Selbstverständlich wird mit dieser Tabelle kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben

Bereich	Links
Arbeiten mit Schimmelpilzen	
Biostoffverordnung: Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Pilze	www.gifte.de/Recht/biostoffverordnung.htm
Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA 460)	www.baua.de/nn_15226/de/Themen-von-A-Z/ Biologische-Arbeitsstoffe/TRBA/pdf/TRBA-460
Eingruppierung biologischer Agenzien: Pilze (Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie)	http://www.bgchemie.de/webcom/show_article.php/ _c-416/_nr-2/i.html
Gentechnische Arbeiten mit Schimmelpilzen / Gentechnikgesetz	bundesrecht.juris.de/gentg/index.html
Arbeitsstättenverordnung allgemein	bundesrecht.juris.de/bundesrecht/ arbst_ttv_2004/gesamt.pdf
Arbeitsschutzgesetz	http://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/
Lebensmittelindustrie	
zur Produktion von Enzymen verwendbare Schimmelpilze	www.amfep.org/list.html (Europa) www.enzymetechnicalassoc.org/enzymes.html (USA)
Grenzwerte für Mykotoxingehalt in Lebensmitteln	www.lgl.bayern.de/lebensmittel/rueckstaende/ mykotoxine_hoechstmengenenregelung.htm#rechtsvorschriften bundesrecht.juris.de/mhmv/BJNR124800999.html http://209.85.135.104/ search?q=cache:xuRAzO_4t6UJ:www.art.admin.ch/ themen/00930/00946/index.html%3Flang%3Dde%26downl oad%3Dm3wBPgDB/8ull6Du36WenojQ1NTT jaXZnqWfVpzLhmfnapmmc7Zi6rZnqCkIN4fnx8bKbXr Z6lhuDZz8mMps2gpKfo+amtsblatt+Europ%C3%A4ische+ Union+Nr+1881&hl=de&ct=clnk&cd=1
Schimmelbefall bei Lebensmitteln	www.vis.bayern.de/ernaehrung/verbraucherschutz/ unerwuenschte_stoffe/schimmelbefall.htm
Richt- und Warnwerte für Mikroorganismen in Lebensmitteln	www.lm-mibi.uni-bonn.de/DGHM.html

Tabelle 5.6 (Fortsetzung) Links für verschiedene Informationen zu Arbeiten mit Schimmelpilzen. Selbstverständlich wird mit dieser Tabelle kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben

Bereich	Links
Schimmelbefall in Gebäuden	
Ratgeber des Umweltbundesamtes	www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2227.pdf
„Schimmelpilz-Leitfaden“ (des Umweltbundesamtes)	www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2199.pdf

Tabelle 5.7 Ausgewählte Beispiele von Schimmelpilzen mit der Einstufung in Risikogruppen. Modifiziert nach „Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe“ (TRBA) 460: Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (Tabelle 5.6)

Schimmelpilz	Sicherheitsstufe	Mensch ^a	Tier ^b
<i>Aspergillus fumigatus</i>	S2	++	+
<i>Aspergillus niger</i>	S1	+	+
<i>Aspergillus terreus</i>	S1	+	+
<i>Fusarium oxysporum</i>	S1	+	–
<i>Mucor circinelloides</i>	S1	+	+
<i>Penicillium marneffei</i>	S2	++	–
<i>Rhizopus oryzae</i>	S1	+	–

^a +: in Einzelfällen als Krankheitserreger bei stark immungeschwächten Menschen nachgewiesen oder vermutet, ++: häufig bei immungeschwächten Menschen nachgewiesen

^b pathogen gegen Haus- und Nutztiere

kogruppen verschiedene Sicherheitsstufen festgelegt, die besondere Sicherheitsmaßnahmen anordnen. Dabei geht es zum einen darum, den Menschen vor dem evtl. von vornherein gefährlichen Organismus zu schützen, zum anderen aber auch darum, die Freisetzung eines GVOs zu verhindern.

Das Kapitel 2 beschreibt die Lebensweise von Schimmelpilzen und macht deutlich, dass diese eine große Zahl von Sporen produzieren. Diese Sporen können beim Menschen Allergien auslösen, besonders dann, wenn sie in sehr großen Konzentrationen vorkommen, wie z. B. bei Schimmelbefall von Gebäuden (Kap. 6.4), oder auch bei sensibilisierten Menschen, beispielsweise mit chronischen Atemwegserkrankungen. Schimmel in Gebäuden muss daher so schnell wie möglich beseitigt werden. Für solche Fälle gibt es verschiedene Ansprechpartner, von denen einige ebenfalls in

Tabelle 5.6 aufgeführt sind. Häufig haben auch Landkreise eigene Arbeitsgruppen zu Schimmelpilzbefall eingerichtet. Im Gegensatz zu den durch Sporen verursachten Allergien stehen die Mykotoxikosen (Kap. 6.3), die durch den Verzehr verschimmelter Lebensmittel entstehen. Hierbei werden die vom Pilz ausgeschiedenen Gifte, die Mykotoxine, aufgenommen, und diese verursachen verschiedene Symptome wie z.B. Übelkeit, Erbrechen oder auch starke Vergiftungserscheinungen (Kap. 6.3). Da Schimmelpilze überall vorkommen können, ist für verschiedene Lebensmittel deren erlaubter Höchstgehalt an Mykotoxinen gesetzlich festgelegt (Tabelle 5.6). Neben dem direkten Befall fertiger Lebensmittel ist ein wichtiger Punkt auch der mögliche Befall von Pflanzen, besonders Getreide, oder auch von Saatgut durch phytopathogene Pilze (Kap. 6.2).

Neben den negativen Aspekten der Schimmelpilze können diese auch sehr nützlich sein, wie dieses Buch zeigt. So ist z. B. der Einsatz von Schimmelpilzen in der Lebensmittelindustrie sehr weit verbreitet (Kap. 5.2). Häufig werden mit Hilfe von Schimmelpilzen Enzyme produziert, die dann bei der Lebensmittelproduktion oder in anderen Industriezweigen eingesetzt werden (Kap. 3.2 und 5.1.6). Auch hier greifen bestimmte Regeln, denn nicht alle Schimmelpilze dürfen für die Lebensmittelproduktion eingesetzt werden (Tabelle 5.6). Insbesondere wird darauf geachtet, dass nur solche Schimmelpilzstämme verwendet werden, die keine Mykotoxine produzieren.

Literatur zu Kapitel 5

Adams MR, Moss MO (2000) Food Microbiology 2nd ed. RSC Publishing

Anke T (1997) Fungal Biotechnology. Chapman & Hall, Weinheim

Archer DB, Connerton IF, MacKenzie DA (2008) Filamentous fungi for production of food additives and processing aids. Adv Biochem Engin/Biotechnol 111: 97–147

Barber MS, Giesecke U, Reichert A, Minas W (2004) Industrial enzymatic production of Cephalosporin-based β -Lactams. Adv Biochem Engin/Biotechnol 88: 179–215

Holmes KA, Schroers HJ, Thomas, SE, Evans HC, Samuels GJ (2004) Taxonomy and bio-control potential of a new species of *Trichoderma* from the Amazon basin of South America. Mycolog Prog 3: 199–210

Kardinahl S, Rabelt D, Reschke M (2006) Biotransformation: Von der Vision zur Technologie. Chemie Ingenieur Technik 78: 209–217

Krieg A, Franz JM (1989) Lehrbuch der biologischen Schädlingsbekämpfung, Paul Parey, Berlin, Hamburg

Meyer V (2008) Genetic engineering of filamentous fungi. Progress, obstacles and future trends. Biotechnol Adv 26: 177–185

Mücke W, Lemmen C (2004) Schimmelpilze. Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen. 3. Aufl. Ecomed, Landsberg am Lech

Renneberg R (2007) Biotechnologie für Einsteiger. Elsevier, München

Samson RA, Hoekstra ES, Frisvad JC (eds) (2004) Introduction to food- and airborne fungi. 7th ed. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht

Wainwright M (1995) Biotechnologie mit Pilzen – Eine Einführung. Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Schimmelpilze

Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung

Kück, U.; Nowrousian, M.; Hoff, B.; Engh, I.

2009, XI, 207 S., Softcover

ISBN: 978-3-540-88716-4