

Fäulnispilze an Weintrauben – Erregerkomplex, Mykotoxine und Bekämpfungsstrategien

Mould fungi on grapes – pathogen complex, mycotoxins and strategies of control

378

Zusammenfassung

Botrytis cinerea (Grauschimmel), *Penicillium spec.* (Grünfäule) und Erreger der Essigfäule sind die häufigsten Traubenfäulniserreger in deutschen Weinanbaugebieten. Insbesondere Pilze der Gattung *Penicillium spec.* bilden gesundheitlich und sensorisch relevante Sekundärmetabolite, die die Qualität des Leseguts massiv beeinträchtigen können. Beispielsweise kann *P. expansum*, der Haupterreger der Grünfäule an Trauben, die flüchtige Substanz Geosmin bilden. Bereits geringe Mengen von Geosmin im Wein können zu irreversiblen modrig-muffigen Fehltonen in Weinen führen. Die Bildungsbedingungen und mögliche biologische Funktionen von Geosmin und weiteren wichtigen sekundären Metaboliten von *Penicillium spec.* werden derzeit in einem vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projekt am DLR-Rheinpfalz in Neustadt an der Weinstraße (Förderkennzeichen 2810HS016) untersucht.

Während *B. cinerea* die Beeren sowohl über Wunden als auch über die intakte Beerenhaut infizieren kann, sind *Penicillium spec.* und Erreger der Essigfäule für Infektionen auf Wunden in der Beerenhaut angewiesen. Da gegen *Penicillium spec.* und Essigfäule an Trauben bisher keine Pflanzenschutzmittel zur Verfügung stehen, konzentrieren sich die Bekämpfungsstrategien gegen diese Fäulniserreger insbesondere auf kulturtechnische Maßnahmen, die helfen, Wunden an den Beeren zu vermeiden. Bei Rebsorten mit kompakter Traubenstruktur sind Maßnahmen, die die Traubenstruktur lockern, am effektivsten. Insbesondere durch das horizontale Trau-

benteilen und das Handabstreifen von Beerenansätzen werden die Traubenstrukturen gelockert, dadurch Wunden vermieden und Infektionen deutlich reduziert. Ebenso können durch den Einsatz von Wachstumsregulatoren je nach Auflockerungsgrad gute Bekämpfungserfolge erzielt werden.

Stichwörter: *Penicillium*, *Botrytis*, Essigfäule, Sekundärmetabolite, Geosmin, Mykotoxine, Fäulnisbekämpfung

Abstract

Botrytis cinerea (grey mould), *Penicillium spec.* (blue mould) and yeasts causing sour rot are the most important bunch rot pathogens in German vine growing regions. *Penicillium* species involved in rot of grapes produce secondary metabolites with significant impact on quality of must or wine and also on food safety. *P. expansum*, for instance, is the causal agent of blue mould on grapes and produces the volatile compound geosmin. Unfortunately, even a low level of geosmin may lead to a persistent earthy and musty smell of the wine. The role and biological function of geosmin and other secondary metabolites as well as environmental factors that may trigger their production are currently investigated. The project is supported by the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) through the Federal Office for Agriculture and Food (BLE 2810HS016).

In contrast to the pathogen *B. cinerea* that may infect grape berries via wounds or by a direct penetration of the berry skin, *P. expansum* and sour rot pathogens are

Institut

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – Rheinpfalz (DLR-Rheinpfalz), Kompetenzzentrum Weinforschung, Abteilung Phytomedizin, Neustadt an der Weinstraße

Kontaktanschrift

Dr. Ruth Walter, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – Rheinpfalz, Kompetenzzentrum Weinforschung, Abteilung Phytomedizin, Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße, E-Mail: ruth.walter@dlr.rlp.de

Zur Veröffentlichung angenommen

20. August 2012

addicted solely to wounds for infection. Until now, there are no fungicides available that are effective against *Penicillium* spec. or sour rot pathogens on grapes. Therefore, control strategies mainly consider cultivation methods that help to avoid wounds on the berries. Different methods are used to change bunch structure in case for those grape varieties exhibiting an unfavourable compact bunch architecture. Among them, especially horizontal bunch dividing, hand stripping of berry rudiments, and the application of growth regulators are the most effective strategies to avoid wounds on berries and also infections leading to bunch rot.

Key words: *Penicillium*, *Botrytis*, sour rot, secondary metabolites, geosmin, mycotoxins, wine quality, mould control

Erreger und Krankheitssymptome der häufigsten Traubenfäulen

In deutschen Weinanbaugebieten tritt im Herbst an Trauben meist ein Fäulnis-Komplex aus *Botrytis cinerea* (Grauschimmel, Abb. 1), *Penicillium* spec. (Grünfäule, Abb. 2) und Erregern der Essigfäule (Abb. 3) auf. Der Grauschimmel, verursacht durch *Botrytis cinerea* Pers., ist die häufigste Fäulnis-Krankheit an Trauben.

Die Essigfäule an Trauben wird insbesondere durch pathogene Hefen hervorgerufen, die verwundete Beeren besiedeln. Meist werden die Arten *Kloeckera apiculata*, *Candida stellata*, *Metshnikowia pulcherrima*, *Candida krusei*, (BISIACH et al., 1986; GUERZONI und MARCHETTI, 1987) und *Zygoascus hellenicus* (BARATA et al., 2008) gefunden. Sie zersetzen Beereninhaltsstoffe in Ethylacetat und Essigsäure. Durch den Geruch werden Essigfliegen anlockt, die ihre Eier in die verwundeten Beeren legen. Dabei bleiben Sporen und Keime an den Extremitäten der Fliegen hängen, wodurch die Erreger von Beere zu Beere verschleppt werden (LOUIS et al., 1996). Die Fliegen tragen damit zur Verbreitung der Essigfäule, aber auch des Grauschimmels und der Grünfäule bei.

Seit Ende der 1990er Jahre tritt die Krankheit Grünfäule vermehrt an Trauben in Deutschland auf. Die Art *Penicillium expansum* Link (LINK, 1809) ist der Hauptverursacher der Grünfäule an Trauben in deutschen Weinanbaugebieten (WALTER, 2008; WALTER et al., 2006; HILLEBRAND et al., 1998). *P. expansum* befällt als weltweit häufigste *Penicillium*-Art wirtschaftlich bedeutende Kulturpflanzen. Vor allem Äpfel und Birnen, aber auch Zitrusfrüchte, Trauben und zahlreiche weitere Obst- und Gemüsearten werden von dem Pathogen besiedelt (PITT, 2000; REISS, 1997). Pilze der Gattung *Penicillium* spec. bilden zahlreiche sekundäre Metabolite, die sich negativ auf die Qualität des Leseguts auswirken können (FRISVAD et al., 2004).



Abb. 1. Krankheitssymptome des Grauschimmels (*Botrytis cinerea*) mit starker Sporulation im fortgeschrittenen Krankheitsstadium an einer reifen Riesling-Traube.

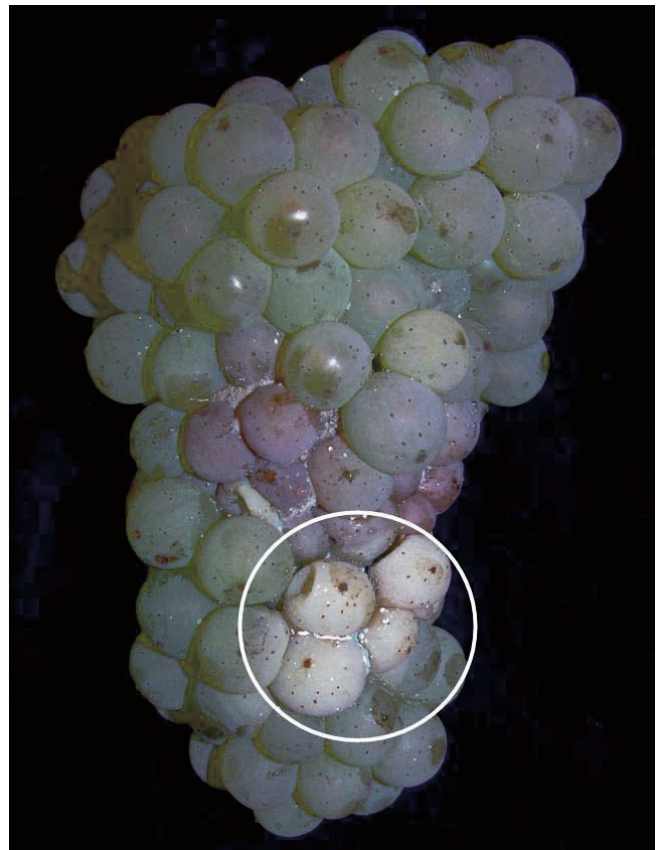


Abb. 2. Frühes Krankheitsstadium der Grünfäule mit beginnender Sporulation des Pilzes (*Penicillium* spec.) an einer reifen Riesling-Traube.



Abb. 3. Stark mit Essigfäule befallene Portugieser Traube mit typischer glänzender Beerenhaut.

Grünfäule und Essigfäule treten als Sekundärfäulen vor allem als Folge des *Botrytis*-Befalls auf. *Botrytis* kann die reifen Beeren sowohl über Wunden als auch über die intakte Beerenhaut infizieren. In Laboruntersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass *Penicillium* von einer vorangegangenen *Botrytis*-Infektion an ursprünglich intakten Beeren profitieren kann und die Beeren folgend besiedelt. Sind bereits Wunden an den Beeren vorhanden, stellt *Botrytis* wiederum einen wichtigen Konkurrenten von *Penicillium* an den Beeren dar. Die Konkurrenzbedingungen können sich dabei in Abhängigkeit von äußeren Faktoren, wie beispielsweise der Rebsorte, der Temperatur, dem Zuckergehalt oder dem Einfluss verschiedener Pflanzenschutzmittel zu Gunsten von *Botrytis* oder *Penicillium* verschieben (WALTER, 2008; WALTER et al., 2007).

Sensorisch und gesundheitlich relevante Metabolite von *Penicillium spec.*

Bei den von *Penicillium spec.* gebildeten Sekundärmetaboliten handelt es sich um sensorisch relevante Substanzen, die Fehltonen im Wein hervorrufen können, und um Mykotoxine, die bei Verzehr langfristig schädigend auf den menschlichen Organismus wirken können. Die typischen Fehltonen im Wein, die als „modrig“ und „muffig“ beschrieben werden, werden vor allem der Substanz Geosmin zugeschrieben. Auch 2-Methylisoborneol (MIB) und 2-Isopropyl-3-methoxypyrazin (IPMP) werden als fehltonverursachende Komponenten genannt (LA GUERCHE, 2004; LA GUERCHE et al., 2003; DARRIET et al., 2000). Sie werden insbesondere von *P. expansum*, dem Haupterreger der Grünfäule gebildet. Über einen Abbau der Substanzen während des Gärvorgangs wurde bisher nicht berichtet. In Abhängigkeit von der Rebsorte können bereits 30 bis 50 ng/l Geosmin in Weinen zu sensorisch relevanten Fehltonen führen (VINCENT, 2005). Ebenso bedeutend wie die Bildung der aufgeführten sensorisch relevanten Sekundärmetabolite ist die Bildung von Mykotoxinen

durch *Penicillium spec.* *P. expansum* bildet die Mykotoxine Patulin und Citrinin. Patulin stellt speziell für die Herstellung von Trauben- und Apfelsäften ein großes Problem dar, da der Grenzwert für Patulin von 50 µg/kg (Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminationen in Lebensmitteln (ABl. L 364 S. 5), zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 835/2011 der Kommission vom 19. August 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln (ABl. L 215 S. 4) bereits bei geringem Befall an Obst erreicht werden kann. Das Toxin bleibt beim Pasteurisieren und kurzen Erhitzen weitgehend stabil (KASA et al., 2010). Für die Produktion von Wein ist die Substanz allerdings unproblematisch, da sie während des Gärvorgangs oder der Zugabe von Schwefeldioxid zerfällt (TRUCKSESS und TANG, 2001; ALTMAYER et al., 1985). Die Problematik bleibt jedoch für die Vermarktung von Tafeltrauben und die Herstellung von Traubensäften bestehen. Citrinin ist eine krebserregende und mutationsauslösende Substanz. Eine nennenswerte Belastung von Weinen, Obst- und Gemüsesäften durch Citrinin ist derzeit nicht nachgewiesen, was wahrscheinlich auf einen temperaturabhängigen Abbau der Substanz in wässriger Lösung zurückzuführen ist (SCHNEIDER, 2007; MEYER et al., 2001). BRAGULAT et al. (2008) aus Spanien weisen in Studien darauf hin, dass Isolate von *P. expansum*, die an Trauben gefunden wurden, *in vitro* nur wenig Patulin- und Citrinin produzieren. Die Messungen basieren jedoch auf *in vitro*-Untersuchungen und berücksichtigen nicht die Bildung der Toxine unter natürlichen Wachstumsbedingungen.

Da verschiedene *Penicillium*-Arten unterschiedliche toxische Metabolite bilden (FRISVAD et al., 2004), ist die Zusammensetzung der *Penicillium*-Arten an den Trauben entscheidend für die potenzielle Mykotoxinbelastung. In südlicheren Ländern wurden bereits zahlreiche weitere *Penicillium*-Arten an den Trauben gefunden, beispielsweise *P. crustosum*, *P. aurantiogriseum*, *P. minioluteum*, *P. spinulosum* und *P. thomii* (DOARE-LEBRUN, 2005; SERRA et al., 2003). Vor allem klimatische Faktoren werden für das vermehrte Auftreten der wärmeliebenden Gattung *Penicillium spec.* und die Artenzusammensetzung an den Trauben verantwortlich gemacht (BORGIO et al., 2005; DARRIET et al., 2005; VINCENT, 2005; BATTILANI et al., 2003). Auch in eigenen Untersuchungen in deutschen Weinanbaugebieten konnten an symptomatischen Trauben neben dem Hauptverursacher *P. expansum* die Arten *P. minioluteum* und *P. crustosum* und vereinzelt weitere fünf *Penicillium*-Arten gefunden werden (WALTER et al., 2006).

Insbesondere von verschiedenen *Aspergillus*-Arten (u.a. *A. carbonarius*, *A. niger*) aber auch von einigen *Penicillium*-Arten (*P. nordicum*, *P. verrucosum*; FRISVAD et al., 2004) ist die Bildung der hoch krebserregenden und niereenschädigenden Substanz Ochratoxin A (OTA) bekannt (Grenzwert 2 µg/kg), Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminationen in

Lebensmitteln (ABl. L 364 S. 5), zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 835/2011 der Kommission vom 19. August 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln (ABl. L 215 S. 4). VEGA und POSADA (2006) konnten in Untersuchungen an Kaffeepflanzen auch bei der Art *P. crustosum* eine OTA-Produktion nachweisen. In laufenden eigenen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass auch einige der Eigenisolate der Art *P. crustosum* in Traubensaft OTA bilden können (ALTMAYER et al., 2010). Bisher untersuchte deutsche Weine, insbesondere Spätlesen, wiesen in seltenen Fällen Ochratoxin A auf, wobei die Menge in jedem Fall deutlich unter dem zulässigen Grenzwert lag. Mögliche Risikofaktoren für künftige OTA-Kontaminationen in deutschen Weinen, die von *Penicillium spec.* ausgehen könnten, werden derzeit geprüft. Als Maßnahme kommt der Ausschluss befallener Trauben durch eine negative Vorlese insbesondere vor einer maschinellen Lese in Betracht.

Einflussfaktoren auf die Bildung sekundärer Stoffwechselprodukte

Die Bildungsbedingungen sekundärer Stoffwechselprodukte sind komplex und hängen von zahlreichen Faktoren ab. Beispielsweise können Interaktionen mit anderen Mikroorganismen und Umweltbedingungen die Bildung der Sekundärmetabolite beeinflussen oder sogar regulieren.

Studien von LA GUERCHE et al. (2007) belegen, dass bestimmte *Botrytis*-Stämme die Bildung von Geosmin durch *P. expansum* beeinflussen können. In den Untersuchungen stimulieren die sogenannten Bot (+)-Stämme die Bildung von Geosmin durch *P. expansum* in Traubensaft. Dies wird unter anderem auf Aminosäuren und Ammonium zurückgeführt, die von *B. cinerea* im Medium umgesetzt werden. Die Arbeitsgruppe LA GUERCHE vermutet zudem, dass Bot (-)-Stämme ein Polysaccharid an das Medium abgeben, welches die Bildung von Geosmin durch *P. expansum* wiederum hemmt. Die Bot (+)-Stämme sind vor allem im Inneren der Traube gefunden worden. Dieser Befund könnte einer Botrytizidapplikation kurz vor Traubenschluss eine neue wichtige Bedeutung geben. Bisherige eigene Untersuchungen belegen, dass verschiedene Stämme von *P. expansum* in Traubensaft kein Geosmin bilden. Zudem wurde in einem laufenden Screening nachgewiesen, dass auch in deutschen Weinanbaugebieten Bot (+)-Stämme vorkommen. Anhand der Daten sollen eventuelle Korrelationen zwischen dem Vorkommen der verschiedenen *Botrytis*-Stämme und der Kontamination von Mosten mit Geosmin geprüft werden.

Auch SCHMIDT-HEYDT et al. (2008) und GEISEN und SCHMIDT-HEYDT (2009) berichten von Umweltfaktoren, die die Abgabe von Mykotoxinen maßgeblich beeinflussen können. Die Arbeitsgruppe fand heraus, dass durch physiologischen Stress die Bildung von Mykotoxinen stimuliert werden kann und beispielsweise blaues Licht mit einer Wellenlänge von 450 nm die Bildung von OTA

hemmt. DIONGI (1995) konnte aufzeigen, dass Kupfersulfat die Biosynthese von Geosmin bei *P. expansum* stimulieren kann. Auch Untersuchungen von RUSSELL und PATERSON (2006) belegen, dass einige Fungizide und Wachstumsregulatoren die Patulinbildung bei *P. expansum* erhöhen können. Die genannten Faktoren haben einen engen Bezug zur Weinbaulichen Praxis, da solche entscheidenden Wachstumsfaktoren durch verschiedene Maßnahmen an den Reben direkt beeinflusst werden können. Beispielsweise können Entblätterungsmaßnahmen in der Traubenzone die Lichtverhältnisse an den Trauben deutlich verändern und damit theoretisch auch die Bildung von Ochratoxin A. Auch Pestizide können die Pilze stressen und damit den sekundären Stoffwechsel beeinflussen.

Die zahlreichen äußeren Faktoren, die auf den sekundären Metabolismus der Pilze einwirken, haben zur Folge, dass das offensichtliche Auftreten der Krankheit nicht zwangsläufig mit dem Gehalt qualitätsmindernder Substanzen im Most korrelieren muss. Daher konnte bisher keine Schadensschwelle für den Befall mit *Penicillium* an Keltertrauben festgelegt werden. In einem vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projekt werden derzeit am DLR-Rheinpfalz die Bildungsbedingungen verschiedener Sekundärmetabolite von *Penicillium spec.* und deren biologische Funktionen untersucht. Zudem soll ein im Traubenmost analytischer Marker entwickelt werden, der zuverlässig auf den Befall der verwendeten Trauben mit *Penicillium* hinweist.

Bekämpfung von Fäulniskrankheiten an Trauben

Penicillium expansum und Erreger der Essigfäule infizieren die Beeren ausschließlich über Wunden in der Beerenhaut (WALTER, 2008; LATORRE und RIOJA, 2002; SEYB, 2004). Daher stellt die Vermeidung von Wunden in der Beerenhaut die wichtigste Strategie zur Vermeidung von Traubenfäulen dar. Bedeutende Wundverursacher an Beeren sind vor allem *Botrytis cinerea*, *Erysiphe necator*, der Erreger des Echten Rebenmehltaus, und die zweite Larvengeneration des Traubenwicklers (*Eupoecilia ambiguella* und *Lobesia botrana*). Insbesondere *Erysiphe necator* kann das Gewebe der Beerenhaut großflächig beschädigen und den Sekundärfäuleerregern Infektionswege öffnen (GADOURY et al., 2011, GADOURY et al., 2007). Effektive Pflanzenschutzmaßnahmen sind daher wichtige Voraussetzungen, um Trauben gesund zu erhalten. Bei Reben mit kompakter Traubenstruktur stellen Abquetschungen an den Beeren die häufigste Wundquelle im Herbst dar. Daher sind Maßnahmen, die die Traubenstruktur lockern, am effektivsten. Besonders gute und zuverlässige Ergebnisse erbrachten in den vergangenen Jahren das horizontale Teilen der Trauben kurz vor Traubenschluss, das Handabstreifen von Beerenansätzen und je nach Auflockerungsgrad auch der Einsatz von Wachstumsregulatoren (WALTER und IPACH, 2011; BLEYER und LÖSCH, 2010; HAAS und ROSCHATT, 2007). Durch die

Maßnahmen werden die Trauben gelockert, Wunden vermieden und Infektionen äußerst effektiv reduziert. Auch das Ausbreitungspotential der Krankheiten von Beere zu Beere wird verringert.

Pflanzenschutzmittel zur chemischen Bekämpfung von *Penicillium* und Essigfäule stehen bisher nicht zur Verfügung. Gegen *Botrytis* hingegen können neben den genannten Kulturmaßnahmen auch Botrytizide eingesetzt werden. Empfohlen werden insbesondere Applikationen kurz vor Traubenschluss und zum Reifebeginn (WALTER und IPACH, 2011). Im Focus der *Botrytis*-Bekämpfungsstrategien stehen derzeit zudem verschiedene Behandlungen zur Blüte. Seit langem ist bekannt, dass *Botrytis* Blütenreste latent infizieren kann (ELAD et al., 2004; VIRET et al., 2004; PEZET et al., 2003; NAIR et al., 1995). Ausgehend von den im Inneren der Trauben verbleibenden Blütenreste kann *Botrytis* die reifenden Beeren infizieren und die Traube von innen befallen. Nach Traubenschluss können solche Infektionen durch Pflanzenschutzmittel nicht mehr verhindert werden, da die Mittel das Traubeninnere nicht erreichen. Untersuchungen im Jahr 2010 belegen, dass der Befall durch *Botrytis* im Herbst um durchschnittlich 49% reduziert werden kann, wenn die Blütenreste kurz nach der Blüte aus den Gescheinen entfernt wurden (WALTER, 2011). Eine mögliche praktische Umsetzung durch beispielsweise das maschinelle Ausblasen der Blütenreste wird in folgenden Versuchsansätzen geprüft.

Literatur

- ALTMAYER, B., R. WALTER, M. TWERTEK, S. JAUSEL, 2010: Bildung von Ochratoxin A und Geosmin durch *Aspergillus* spec. und *Penicillium* spec. in deutschen Weinanbaugebieten. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung in Berlin, September 2010. Julius-Kühn-Archiv **428**, S. 376.
- ALTMAYER, B., K.W. EICHHORN, S. SCHWENK, 1985: Importance of mycotoxin producing fungi in viticulture. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **37**, 117-122.
- BARATA, A., S. GONZALEZ, M. MALFEITO-FERREIRA, A. QUEROL, V. LOUREIRO, 2008: Sour rot-damaged grapes are sources of wine spoilage yeasts. Federation of European Microbiological Societies FEMS, Yeast Research **8**, 1008-1017.
- BATTILANI, P., P. GIORINI, A. PIETRI, 2003: Epidemiology of toxin-producing fungi and ochratoxin A occurrence in grape. European Journal of Plant Pathology **109**, 715-722.
- BISIACH, G., G. MINERVINI, F. ZERBETTO, 1986: Possible integrated control of grapevine sour rot. Vitis **25**, 118-128.
- BLEYER, G., F. LÖSCH, 2010: Gegen Traubenfäule kann man was tun. Der Badische Winzer **7**, 25-29.
- BORGO, M., S. BURRUANO, F. FARETRA, S. SERRA, A. VERCESI, 2005: Dynamics of *Aspergillus* and *Penicillium* species in different Italian vineyards. In: Ochratoxin A in grapes and wine: prevention and control. Marsala, 59.
- BRAGULAT, M.R., M.L. ABARACA, F.J. CABANES, 2008: Low occurrence of patulin- and citrinin-producing species isolated from grapes. Letters in Applied Microbiology **47** (4), 286-289.
- DARRIET, P., M. PONS, S. LAMY, D. DUBOURDIEU, 2000: Identification and quantification of geosmin, a powerful earthy odorant contaminating wines. Journal of Agriculture and Food Chemistry **48**, 4835-4838.
- DARRIET, P., S. LA GUERCHE, L. DE SENNEVILLE, B. DAUPHIN, S. CHAMONT, P. SAURIS, D. BLANCARD, 2005: Déviations fongiques et terreuses des raisins et des vins: les microorganismes impliqués. Euroviti 2005, Cashier Technique, 131-136.
- DIONGLI, C.P., 1995: The effects of copper sulphate on geosmin biosynthesis by *Streptomyces tendae*, *Streptomyces albidoflavus*, and *Penicillium expansum*. Water Science Technology **31** (11), 135-138.
- DOARE-LEBRUN, E., 2005: Caractérisation de la microflore des raisins par methods FISH et PCR-TTGE – Application à la résolution des goûts terreux dans les vins. Thèse, Université de Technologie de Compiègne.
- ELAD, Y., B. WILLIAMSON, P. TUDZYNSKI, N. DELEN, 2004: *Botrytis*: Biology, pathology and control. Boston, London, Kluwer Academic Publishers.
- FRISVAD, C., J. SMEDSGAARD, T.O. LARSEN, R.A. SAMSON, 2004: Mycotoxins, drugs and other extrolites produced by species in *Penicillium* subgenus *Penicillium*. Studies in Mycology **49**, 201-241.
- GADOURY, D.M., L. CADLE-DAVIDSON, W.F. WILCOX, I.B. DRY, R.C. SEEM, M.G. MILGROOM, 2011: Grapevine powdery mildew (*Erysiphe necator*): a fascinating system for the study of the biology, ecology and epidemiology of an obligate biotroph. Molecular Plant Pathology **12**, 1364-3703.
- GADOURY, D.M., R.C. SEEM, W.F. WILCOX, T. HENICK-KLING, L. CONTERNO, A. DAY, A. FICKE, 2007: Effects of diffuse colonization of grape berries by *Ucinula necator* on bunch rots, berry microflora, and juice and wine quality. The American Phytopathological Society **97** (10), 1356-1365.
- GEISEN, R., M. SCHMIDT-HEYDT, 2009: MycoRed – Mykotoxine reduzieren! Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), ForschungsReport 2/2009, 22-25.
- GUERZONI, E., R. MARCHETTI, 1987: Analysis of yeast flora associated with grape sour rot and of the chemical disease markers. Applied and Environmental Microbiology **53** (3), 571-576.
- HAAS, E., C. ROSCHATT, 2007: Strategien zur Vermeidung von *Botrytis*- und Essigfäulen. Obstbau-Weinbau, Fachblatt des Südtiroler Beratungsringes **44** (6), 196-198.
- HILLEBRAND, W., D. LORENZ, F. LOUIS, 1998: Rebschutz-Taschenbuch. Mainz, Fachverlag Fraund.
- KASA, R., N. REDDY, H.K. ABBAS, C.A. ABEL, W.T. SHIER, B. SALLEH, 2010: Mycotoxin Contamination of Beverages: Occurrence of Patulin in Apple Juice and Ochratoxin A in Coffee, Beer and Wine and Their Control Methods. Toxins **2**, 229-261.
- LOUIS, C., M. GIRARD, G. KÜHL, M. LOPEZ-FERBER, 1996: Persistence of *Botrytis cinerea* in its vector *Drosophila melanogaster*. The American Phytopathological Society **86** (9), 934-939.
- LA GUERCHE, S., 2004: Recherches sur les déviations organoleptiques des moûts et des vins associées au développement de pourritures sur les raisins. Etude particulière de la géosmine, Thèse pour le doctorat de l'Université Bordeaux 2.
- LA GUERCHE, S., L. DE SENNEVILLE, D. BLANCARD, P. DARRIET, 2007: Impact of the *Botrytis cinerea* strain and metabolism on (-)-geosmin production by *Penicillium expansum* in grape juice. Antonie van Leeuwenhoek **92** (3), 331-341.
- LA GUERCHE, S., D. BLANCARD, S. CHAMONT, D. DUBOURDIEU, P. DARRIET, 2003: Origine de la géosmine, compose responsable d'un arôme terreux dans les vins – étude des microorganismes impliqués et leur métabolisme. Enologie, 7. Symposium International d'oenologie, Ed. TEC&DOC, 22-25.
- LATORRE, B.A., M.E. RIOJA, 2002: The effect of temperature and relative humidity on conidial germination of *Botrytis cinerea*. Ciencia e Investigacion Agraria **29**, 67-71.
- LINK, H.F., 1809: Observations in ordines platarum naturalis. Gesellschaft Naturforschender, Freunde zu Berlin, Magazin **3**.
- MEYER, K., T. MÜLLER, R. DIETRICH, E. MÄRTLBAUER, J. BAUER, 2001: Vorkommen von Mykophenolsäure und Citrinin in Rotwein. Mycotoxin Research **17** (2), 160-164.
- NAIR, N.G., S. GUILBAUD-OULTON, I. BARCHIA, R. EMMETT, 1995: Significance of carry over inoculum, flower infection and latency on the incidence of *Botrytis cinerea* in berries of grapevines at harvest in New South Wales. Australian Journal of Experimental Agriculture **35** (8), 1177-1180.
- PEZET, R., O. VIRET, C. PERRET, R. TABACCHI, 2003: Latency of *Botrytis cinerea* Pers.: Fr. And Biochemical studies during growth and ripening of two grape berry cultivars, respectively susceptible and resistant to grey mould. Journal of Phytopathology **151** (4), 208-214.
- PITT, J.I., 2000: A laboratory guide to common *Penicillium* species. Third Edition, Food science Australia.
- REISS, J., 1997: Schimmelpilze. Berlin (u.a.), Springer Verlag.
- RUSSELL, R., M. PATERSON, 2006: Some fungicides and growth inhibitor/biocontrol-enhancer 2-deoxy-d-glucose increase patulin from *Penicillium expansum* strains in vitro. Crop Protection **26** (4), 543-548.
- SCHMIDT-HEYDT, M., N. MAGAN, R. GEISEN, 2008: Stress induction of mycotoxin biosynthesis genes by abiotic factors. FEMS Microbiology Letters **284** (2), 142-149.
- SCHNEIDER, C., 2007: Vorkommen und Nachweis von Citrinin in Nahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft. Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät.

- SERRA, R., L. ABRUNHOSA, Z. KOZAKIEWICZ, A. VENANCIO, 2003: Black *Aspergillus* species as ochratoxin A producers in Portuguese wine grapes. *International Journal of Food Microbiology* **88**, 63-68.
- SEYB, A.M., 2004: *Botrytis cinerea* inoculum sources in the vineyard system. Lincoln, Lincoln University, PhD Thesis.
- TRUCKSESS, M.W., Y. TANG, 2001: Solid phase extraction method for patulin in grape juice and unfiltered apple juice. In: TRUCKNESS, M.W., A.F. POHLAND (eds.): *Mycotoxin protocols*. Totowa (New York), Humana Press, 205-213.
- VEGA, E.F., F. POSADA, 2006: *Penicillium* species endophytic in coffee plants and ochratoxin A production. *Mycologia* **98** (1), 2006, 31-42.
- VINCENT, B., 2005: Maladies émergentes et molécules indésirables. Euroviti 2005, Cashier Technique, 139-144.
- VIRET, O., M. KELLER, V.G. JAUDZEMS, F.M. COLE, 2004: *Botrytis cinerea* infection of grape flowers: Light and electron microscopical studies of infection sites. *Phytopathology* **94** (8), 850-857.
- WALTER, R., 2011: Fäulniserreger an Trauben – Epidemiologie und Bekämpfungsstrategien. *Das Deutsche Weinmagazin* **7**, 21-23.
- WALTER, R., 2008: Untersuchungen zur Grünfäule (*Penicillium* spec.) an Weintrauben. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- WALTER, R., M. HARMS, H. BUCHENAUER, 2007: Investigations on the competitive colonisation of *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* on grapes. 14th International Botrytis Symposium, Kapstadt, Südafrika, Tagungsband, 52.
- WALTER, R., R. IPACH, 2011: *Botrytis, Penicillium* & Co. – Kritische Beurteilung verschiedener Bekämpfungsstrategien. 64. Pfälzische Weinbautage, Neustadt an der Weinstraße, Tagungsband, 12-14.
- WALTER, R., M. HARMS, H. BUCHENAUER, 2006: Grünfäule – welche *Penicillium*-Arten verursachen die Krankheit an Trauben? 55. Deutsche Pflanzenschutztagung in Göttingen, September 2006. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **400**, 169-170.