

Sensorische Beschreibung und Ermittlung der Wahrnehmungsschwellenwerte von flüchtigen Phenolen und Isovaleriansäure

Wilfried Knapp¹, Alfred Schmudermayer¹, Wolfgang Seiberl¹, Kathrin Sigl² und Reinhard Eder²

¹Universität für Bodenkultur
Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie
A-1180Wien, Gregor Mendel-Straße 33

²LFZ für Wein- und Obstbau
A-3400 Klosterneuburg, Wiener Straße 74

E-mail: Alfred.Schmudermayer@gmx.at

In der sensorischen Beurteilung von Weinen wird ein Begriff, der gegenwärtig unter dem Synonym „Pferdeschweiß“ bzw. „Brett-Ton“ subsumiert wird, seit mehreren Jahren, teilweise kontroversiell, diskutiert. Dies ist verständlich, weil die entsprechenden Geruchseindrücke von Gewürznelke über medizinisch bis Kuhstall und Jauche reichen können. Verursacht werden diese olfaktorischen Eindrücke hauptsächlich durch sechs chemische Substanzen, nämlich 4-Ethylphenol (4-EP), 4-Ethylguaiacol (4-EG), 4-Ethylcatechol (4-EC), 4-Vinylphenol (4-VP), 4-Vinylguaiacol (4-VG) und Isovaleriansäure (IVS). In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von Verkostungsreihen vorgestellt, in denen der sensorische Eindruck der sechs oben genannten Substanzen, in Reinform und bei steigenden Konzentrationen, sowohl in Wasser als auch in Rotweinen bewertet wurde. Durch die gewählten Konzentrationsstufen konnten die Wahrnehmungsschwellenwerte bestimmt werden. Mit steigenden Konzentrationen wurden für die genannten Substanzen folgende Geruchseindrücke festgestellt: 4-EP: Leder, Schweiß, animalisch, Stall, Jauche; 4-EG: Gewürznelke bis Zimt; 4-EC: stechend-chemisch, medizinisch, würzig-rauchig; 4-VP: medizinisch, Hustenbonbon, Gewürz, Rauch; 4-VG: chemisch-medizinisch, Speck, Gummi, Heu, Stall; IVS: gemüsig, fruchtig, käsig, Schweiß. Versuchsweise wurde auch eine Mischung der Substanzen 4-EP, 4-EG und IVS (1 : 3,4 : 20,8) einem neutralen Rotwein in steigenden Konzentrationen zugesetzt und sensorisch beurteilt. Dabei ergaben sich wiederum olfaktorische Deskriptoren, wie schweißig-rauchig, ledrig-rauchig sowie mistig-rauchig. Besonders auffällig war die hohe Flüchtigkeit der genannten Substanzen, sodass das Dekantieren bzw. auch längeres Belüften eines Weines den Charakter eines vorhandenen Brett-Tones wesentlich verändern kann.

Schlagwörter: Wein, Brettanomyces-Hefeaktivität, Weinaromatik, Geruchseindrücke

Sensory description and determination of the perception threshold of volatile phenols and isovalerian acid. *In the sensory evaluation of wines a term comprising the synonyms „horse sweat taint“ or „Brett-taint“ has been debated controversially for a number of years. This is understandable, because the olfactory sensations cover a broad range from cloves via medicinal and barn to manure. These olfactory sensations are mainly caused by six chemical substances, that is to say 4-ethylphenol (4-EP), 4-ethylguaiacol (4-EG), 4-ethylcatechol (4-EC), 4-vinylphenol (4-VP), 4-vinylguaiacol (4-VG) and isovalerian acid (IVS). In this study the results of tasting series will be presented, in which the sensory impression of these six substances was evaluated in pure form and in increasing concentrations both in water and in red wines. By means of the selected concentration levels the perception thresholds could be determined. With increasing concentrations of the substances the following olfactory impressions were found: 4-EP: leather, sweat, animal, barn, manure; 4-EG: cloves to cinnamon; 4-EC: pungent-chemical, medicinal, spicy, smoky; 4-VP: medicinal, cough drops, spice, smoke; 4-VG: chemical-medical, bacon, rubber, hay, barn; IVS: vegetative,*

fruity, cheesy, sweat. As an experiment a mixture of the substances 4-EP, 4-EG and IVS (ratio: 1 : 3,4 : 20,8) was added to a neutral red wine at increasing concentrations and then assessed sensorily. The resulting olfactory descriptors again were sweaty-smoky, leathery-smoky and smoky-manure-like. Particularly striking was the high volatility of these substances so that decanting or even longer aeration of the wine could change the character of a present Brett-taint significantly.

Keywords Brettanomyces, yeast activity, wine aromatics, olfactory sensation

Description sensorielle et détermination des valeurs du seuil de perception de phénols volatils et de l'acide isovalérique. Une notion qui, à l'heure actuelle, est résumée sous le synonyme «sueur de cheval» et/ou «note de brett» est discutée depuis plusieurs années, partiellement de façon controversée. Cela se comprend, puisque les impressions olfactives correspondantes peuvent s'étendre du clou de girofle jusqu'à l'étable et au purin, en passant par les odeurs médicales. La plupart de ces impressions olfactives sont dues à six substances chimiques, à savoir le 4-éthyl-phénol (4-EP), le 4-éthyl-guaiacol (4-EG), le 4-éthyl-catéchol (4-EC), le 4-vinyl-phénol (4-VP), 4-vinyl-guaiacol (4-VG) et l'acide isovalérique (IVS). Le présent travail présente les résultats de séries de dégustation, au cours desquelles l'impression sensorielle des six substances susmentionnées a été appréciée dans la forme pure et dans des concentrations croissantes, tant dans l'eau que dans des vins rouges. Les échelles de concentration choisies ont permis de déterminer les valeurs des seuils de perception. En présence de concentrations croissantes, les impressions olfactives suivantes ont été constatées pour les substances susmentionnées: 4-EP: cuir, sueur, animal, étable, purin; 4-EG: du clou de girofle à la cannelle; 4-EC: âcre-chimique, médical, corsé-fumé; 4-VP: médical, bonbon contre la toux, épice, fumée; 4-VG: chimique-médical, lard, caoutchouc, foin, étable; IVS: légumes, fruits, fromage, sueur. À titre d'essai, un mélange des substances 4-EP, 4-EG et IVS (1 : 3,4 : 20,8) a été ajouté à un vin rouge neutre dans des concentrations croissantes et soumis à une appréciation sensorielle. Il en résultait de nouveau des descripteurs olfactifs tels que sueur-fumée, cuir-fumée et fumier-fumée. Vu que la grande volatilité des substances susmentionnées était un fait particulièrement notable, on en déduit que la décantation et/ou une longue aération du vin peuvent modifier essentiellement le caractère d'une note de brett existante.

Mots clés: vin, activité des levures Brettanomyces, arômes du vin, impressions olfactives

Die Hefegattung Brettanomyces wird seit Beginn des 20. Jahrhunderts gezielt bei der Produktion von Bieren spezieller Geschmacksrichtungen (rauchige Noten) eingesetzt. Die Bedeutung dieser Hefegattung für die Weinproduktion wird erst seit kurzem verstärkt diskutiert, und zwar im Hinblick auf positive sowie negative sensorische Eindrücke bei der Weinbeurteilung. Von den bekannteren verschiedenen Brettanomyces-Arten scheint für die Weinproduktion konkret nur die Art *B. bruxellensis* (fallweise auch *B. intermedius* genannt) relevant zu sein (PATTERSON, 2004), da anscheinend nur diese in Wein gedeihen kann (HENICK-KLING et al., 2000). Die sexuelle Vermehrungsform von Brettanomyces wird mit dem Namen Dekkera bezeichnet, obwohl es sich um dieselbe Hefegattung handelt. Dekkera wurde zwar aus Wein isoliert, die Sporenbildung scheint in diesem Medium allerdings nicht zu erwarten zu sein. Man kann daher davon ausgehen, dass Dekkera keine ernsthafte Rolle in diesem Zusammenhang spielt (BOULTON et al., 1996; EGLI et al., 1999).

Brettanomyces sind Teil der natürlichen Hefeflora im Weingarten, obwohl ihr Vorkommen und ihre Wachstumsrate dort so gering ist, dass sie bei Untersuchungen

in frischem Most vielfach nicht einmal festgestellt werden konnten (HENICK-KLING et al., 2000). Dies vor allem auch deshalb, weil sie in ihrer Entwicklung so langsam sind, dass Präparate oft schon unbrauchbar sind, bevor sich Brettanomyces nennenswert vermehrt haben. Laut GAFNER (1994) stellen Brettanomyces zwischen 0 und 0,4 % der Hefepopulation in Traubensaft dar. Brettanomyces spielen für die reguläre alkoholische Gärung von Traubenmost oder -maische in der Regel keine Rolle, da sie eher träge in ihren Aktivitäten sind und sich unter „normalen“ Bedingungen gegen *Saccharomyces cerevisiae* nicht durchsetzen können (ABBOTT et al., 2005). Falls allerdings die Bedingungen für einen raschen Gärungsverlauf nicht vorliegen, können Brettanomyces auch in dieser Phase mit den entsprechenden Auswirkungen dominieren (ROSSINI, 2003). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass mit einer gezielten Beimpfung (und daher ohne Konkurrenz) Dekkera-Hefen für die alkoholische Gärung, beispielsweise für die Erzeugung von Zuckerrohrbränden, Verwendung finden können (DATO et al., 2005). Auch wenn Brettanomyces während der alkoholischen Gärung von *Saccharomyces cerevisiae* unterdrückt werden, so können

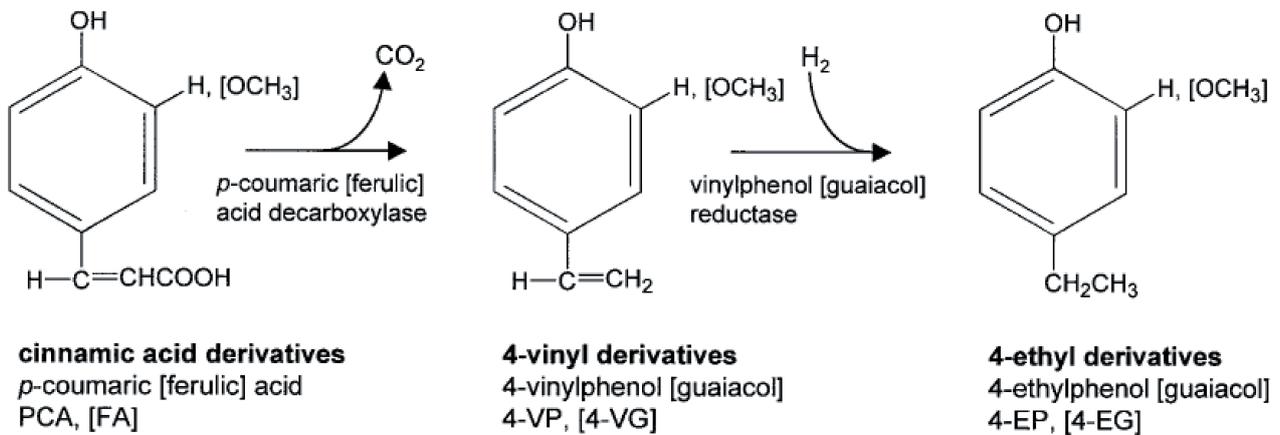


Abb. 1: Chemische Reaktionen zur Entstehung der 4-Ethylderivate (4-EP, 4-EG) aus den Vorläufersubstanzen 4-VP und 4-VG (Beek und Priest, 2000)

sie später im Wein während der Reifung in Fässern oder Flaschen über Jahre hinweg wieder aktiv sein.

Eher häufig kommen *Brettanomyces* im Weinkeller in alten Fässern vor. Sobald sie sich in der porösen Struktur von Fassdauben angesiedelt haben, sind sie hier auch mit hohen Dosierungen von Schwefeldioxid nur mehr schwer zu eliminieren (ROSSINI, 2003). Es kann daher der Wein hier trotz aller vorbeugenden Maßnahmen wieder mit *Brettanomyces* in Kontakt kommen. Als kritisch wird die Aktivität von *Brettanomyces* in der Flasche unter reduktiven Bedingungen gesehen. Gefahr für eine derartige Aktivität besteht schon ab einer Population von vier bis fünf Zellen pro Flasche bei der Abfüllung und ausreichenden Nährstoffen für die Hefeaktivität (z. B. Restzucker etc.). Dieses Risiko besteht vor allem bei dem vor dem Abfüllen zur Vereinheitlichung des Weines notwendigen Mischen von Fäserinhalten in Kombination mit nur leichter oder keiner Filterung, niedrigem Schwefeldioxid-Gehalt und hohem pH-Wert.

Hier ist auf das bemerkenswerte Phänomen hinzuweisen, dass auch durch das Eliminieren der *Brettanomyces*-Hefezellen keineswegs ein Ende der Entwicklung von Brett-Aromen zu erwarten ist. Durch die immer noch vorhandene Vinylphenol-Reduktase, dem spezifischen Enzym von *Brettanomyces*, setzt sich diese Entwicklung weiter fort (ROSSINI, 2003; FUGELANG und ZÖCKLEIN, 2003). Die vermeintliche Rettung eines Brett-anfälligen Weines durch sterile Filterung oder insbesondere durch Anwendung von Dimethyldicarbonat (DMDC) (GOODE, 2005) ist daher eher mit Vorbehalt zu betrachten. Als zusätzliche Maßnahme ist die Entfernung der Enzyme aus dem Wein erforderlich, das

kann beispielsweise durch eine Bentonit-Schönung erfolgen (MAIN und MORRIS, 1994). Ein weiteres Problem in diesem Zusammenhang sind bestimmte Sporenformen, so genannte „Viable but not Culturable“ (VBNC) Zellen, da sie durch die üblichen Filtrationsverfahren nicht entfernt werden können.

Der Stoffwechsel von *Brettanomyces* ist, je nach Ausgangsbedingungen, mit der Produktion von zumindest vier sensorisch relevanten Substanzgruppen verbunden: Flüchtige Phenole, flüchtige Fettsäuren, Essigsäure und Tetrahydropyridine.

Im Folgenden wird nur auf die flüchtigen Phenole und flüchtigen Fettsäuren als Hauptkomponenten der Brett-Aromatik eingegangen werden.

Flüchtige Phenole sind in kräftigen Rotweinen auch ohne jede *Brettanomyces*-Aktivität in sensorisch relevanten Konzentrationen enthalten, insbesondere wenn diese in Barriques ausgebaut werden (SNAKKERS et al., 2000). Vor allem 4-Vinylphenol (4-VP) mit den sensorischen Deskriptoren „medizinisch“ und „phenolisch“ (BEK und PRIEST, 2000) und 4-Vinylguaiacol (4-VG) mit den sensorischen Deskriptoren „Gewürze“ und „Gewürznelken“ (MADIGAN und McMURROUGH, 1994), entstehen durch kombinierte Aktivität von Gärungshefen und Milchsäurebakterien aus Phenolcarbonsäuren, wie z. B. Cumarsäure und Ferulasäure. Insbesondere erzeugt auch die Hefeart *Saccharomyces bayanus*, zumindest in Bier, große Mengen von 4-VP und 4-VG (McMURROUGH et al., 1996). Laut CHATONNET et al. (1995) produziert aber auch *Saccharomyces cerevisiae* 4-VP und 4-VG. WEIAND (2004) konnte erhöhte Werte an 4-VP und 4-VG auch in Verbindung mit strapaziertem Lesegut, jedoch keine erhöhten Werte der Vorläu-

ferphenole Cumar- und Ferulasäure feststellen.

Der Ausbau von Weinen in Barriques hat ebenfalls wesentlichen Einfluss auf die Bildung von Vorläufersubstanzen der flüchtigen Phenole, da diese in Verbindung mit dem Toasting entstehen (STEIDL, 2001). Das bedeutet nicht zwingend, dass Brett-Aromen allein durch den Ausbau im Barrique entstehen können, aber es ist evident, dass Brettanomyces unter diesen Bedingungen deutlich bessere Lebensbedingungen vorfinden. Weiters wurde gezeigt, dass der Nachweis von Brett-Substanzen bei sonst identischen Bedingungen bei Ausbau in Barriques möglich war, während dies bei Ausbau in Stahl tanks nicht der Fall war (IBERN-GÓMEZ et al., 2001). Das Vorkommen von 4-VP und 4-VG in spanischen Weinen wird von BONNLÄNDER (2002) beschrieben. ESTÉVEZ et al. (2004) konnte bei der Untersuchung von Palomino-Weinen, welche mit verschiedenen Reinzuchtheften vergoren wurden, unterschiedliche Gehalte an flüchtigen Phenolen feststellen. FERREIRA et al. (2000) fanden in allen der untersuchten 52 Weine nachweisbare Gehalte an 4-VG, wobei die Konzentrationen aber weit unter dem publizierten Wahrnehmungsschwellenwert lagen.

4-VP und 4-VG sind die Vorläufersubstanzen für 4-Ethylphenol (4-EP) und 4-Ethylguaiaicol (4-EG), die als Leitsubstanzen für die Aktivität von Brettanomyces gelten. Der Arbeit von BEEK und PRIEST (2000) wurde der Formalismus der entsprechenden chemischen Reaktionen entnommen (Abb. 1).

Eine Studie (DIAS et al., 2003) zeigt aber auch, dass p-Cumarsäure keineswegs als Voraussetzung für die Produktion von 4-EP zu sehen ist. Falls 4-VP aus anderen Quellen, z.B. als Ergebnis der normalen Gärung, bereits verfügbar ist, wird auch dieses sofort als Vorläufer für 4-EP verwertet. Dies legt den Schluss nahe, dass Weine mit hohen Ausgangswerten an 4-VP in Verbindung mit möglicher Brettanomyces-Aktivität besonders problematisch sein dürften.

Teilweise wird in der Literatur (HESFORD und SCHNEI-

DER, 2004) auch 4-EC mit der Vorläufersubstanz Kaffeesäure und dem Zwischenprodukt 4-VC als von Brettanomyces erzeugtes, sensorisch relevantes flüchtiges Phenol erwähnt. 4-EC wird regelmäßig in Kombination mit 4-EP und 4-EG gefunden und scheint speziell bei der Sorte 'Pinot noir' in höheren Konzentrationen aufzutreten. Die chemische Analyse ist jedoch schwierig bzw. mit herkömmlichen Verfahren nicht möglich (HESFORD und SCHNEIDER, 2004).

Die üblichen sensorischen Deskriptoren für 4-EP sind „Heftplaster“ und „Desinfektionsmittel“, für 4-EG „Rauch“ und „Gewürze“ und für 4-EC „Schweiß“ und „Pferdearomen“ (LICKER et al., 1998). Die Interaktion der vielen angeführten Substanzen ergibt zusammenfassend vielfältige und komplexe sensorische Eindrücke, insbesondere olfaktorische, die von „Bauernhof“, „Pferdeschweiß“, „Gewürze“, „geräucherter Speck und Schinken“, „Jauche“, „Senkgrube“, „frisch gedüngte Felder“, „Fäkalien“ bis „Plastik“ reichen, wobei in Verbindung mit der Esteraseaktivität ein verstärkter Abbau der fruchtigen Aromakomponenten (Ester) stattfindet. Fallweise wird weiters auch „metallisch“ angeführt (GAFNER, 1994), allerdings ohne damit eine bestimmte Substanz in Verbindung zu bringen.

Sensorisch relevante Fettsäuren sind vor allem die Isovaleriansäure (IVS), die Isobuttersäure und die 2-Methylbuttersäure. Speziell die IVS ist in vielen Nahrungs-

Tab. 1: Brett-Substanzen für die Zusätze in Wasser bzw. Rotwein

Substanz (Abkürzung)	Produzent	Bemerkungen
4-Ethylphenol (4-EP)	Sigma-Aldrich	98 %
4-Ethylguajakol (4-EG)	Sigma-Aldrich	98 %
4-Ethylcatechol (4-EC)	Alpha-Aesar	98 %
4-Vinylphenol (4-VP)	Sigma-Aldrich	10 % (w/v) in Propylenglykol
4-Vinylguajakol (4-VG)	Alpha-Aesar	97 %, 2-Methoxy-4-Vinylphenol
Isovaleriansäure (IVS)	Sigma-Aldrich	

Tab. 2: Konzentrationen der Brett-Substanzen ($\mu\text{g/l}$) in den Wasser- bzw. Rotweinproben

Substanz	Konzentrationsstufen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4-EP	0,9	2,7	8,1	24,3	72,9	219,0	656,0	1968,0
4-EG	0,1	0,3	0,9	2,7	8,1	24,3	72,9	
4-EC	0,9	2,7	8,1	24,3	72,9	219,0	656,0	
4-VP	1,0	3,0	9,0	27,0	81,0	243,0	729,0	2187,0
4-VG	0,3	0,9	2,7	8,1	24,3	72,9	219,0	656,0
IVS	0,5	1,5	4,5	13,5	40,5	121,5	364,5	

und Genussmitteln omnipräsent. Sie ist beispielsweise Hauptwirkstoff des Baldrians, Aromabestandteil von geröstetem Kaffee, Hopfen und vielen ätherischen Ölen, Tabak, einer Vielzahl von Früchten wie Papaya oder Birnen, Milch und Milchprodukten und kommt natürlicherweise auch im menschlichen Körper vor. IVS wird in der Brettanomyces-relevanten Literatur häufig in Verbindung mit den sensorischen Eindrücken „Erbrochenes“, „Schweiß“, „Käse“ und „ranzige bis hin zu fäkalen Noten“ speziell erwähnt und scheint laut HENICK-KLING et al. (2000) die sensorisch dominante Substanz für den Brett-Ton zu sein. Gleichzeitig ist aber anzumerken, dass die höheren Fettsäure-Ethylester sehr angenehm riechen und sogar in der Parfümindustrie verwendet werden. Allerdings ist festzuhalten, dass flüchtige Säuren auch von anderen Mikroorganismen, insbesondere Milchsäurebakterien und herkömmlichen Hefen (FERREIRA et al., 2000), erzeugt werden können. Eine mengenmäßige Korrelation mit den oben erwähnten flüchtigen Phenolen wurde bei Tests nicht festgestellt (FUGELANG und ZÖCKLEIN, 2003). Etwas überraschend scheint in diesem Zusammenhang der Umstand, dass in eben dieser Untersuchung bereits im Kontrollwein (ohne jede Aktivität von Brettanomyces) ein Gehalt an IVS gegeben war, der teilweise sogar höher lag als in den Weinen, die mit Brettanomyces beimpft wurden. Möglicherweise produzieren nur bestimmte Stämme von Brettanomyces-Hefen tatsächlich auch IVS. Eine Studie von FERREIRA et al. (2000) belegt, dass IVS in praktisch allen Weinen in Konzentrationen über dem Wahrnehmungsschwellenwert enthalten ist. Dies wird durch ein weiteres Experiment von HERRAIZ et al. (1990) mit kontrollierter Gärung durch ausgewählte Hefen bestätigt, bei dem in allen Varianten IVS in beachtlichen Konzentrationen von 260 bis 3220 µg/l nachgewiesen wurde, wobei eine Gärung mit *Saccharomyces cerevisiae* immerhin 2080 µg/l erbracht hatte. Auch die Untersuchung von MAJDAK et al. (2002) belegt, dass unterschiedliche Stämme von Reinzuchthefen,

Tab. 3: Wahrnehmungsschwellenwert im Wasser (µg/l)

Substanz	Geometrisches Mittel aus den Einzelwahrnehmungen
4-EP	2,7
4-EG	0,9
4-EC	73
4-VP	27
4-VG	2,7
IVS	4,5

aber auch Hefen aus spontanen Gärungen, regelmäßig nennenswerte Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren im Zuge der Gärung erzeugen.

Falls IVS wirklich für das Auftreten animalischer Noten in Weinen hauptverantwortlich ist (LICKER et al., 1999), könnte dies bedeuten, dass die in Weinkritiken häufig mit „animalischem Bauernhofaroma“ gleichgesetzte Identifikation des Brett-Fehlers unter Umständen auf einem Irrtum basiert. Hingegen kommen in einer weiteren Studie LICKER et al. (1998) zur Schlussfolgerung, dass IVS gemeinsam mit einer weiteren, von den Autoren nicht identifizierten Substanz für die Brett-Aromatik verantwortlich zu machen ist, und andere Substanzen wie 4-EP und 4-EG sogar eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Es gibt eine Vielzahl von Angaben über sensorische Schwellenwerte von Brettanomyces-relevanten Substanzen. Eine nähere Definition, um welche Art von Schwellenwert es sich handelt und mit welchem Verfahren er bestimmt wurde, wird allerdings in den seltensten Fällen angeführt. In den meisten Fällen der für Brett-Substanzen genannten Schwellenwerte kann man davon ausgehen, dass der Wahrnehmungsschwellenwert (detection threshold) gemeint ist, ab dem die Probe als „andersartig“ erkannt wird, ohne dass der „andersartigen“ Probe konkrete sensorische Attribute zugeordnet werden können.

Ganz wesentlich ist das Trägermedium, in dem die Substanz enthalten ist. Bei reinem Wasser sind die Schwellenwerte naturgemäß niedriger, in einem kräftigen Rotwein hingegen können die Schwellenwerte relativ hoch sein. Es gibt also eine Vielzahl von Einflussfaktoren, und es sollten daher Schwellenwertangaben immer kritisch beurteilt werden. Die meisten publizierten Schwellenwertangaben sind aber unvollständig. Oft fehlt ein Hinweis, ob es sich um einen Wahrnehmungs-, Erkennungs- oder Ablehnungsschwellenwert handelt.

Im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit sollte überprüft werden, inwieweit die in der internationalen Literatur angegebenen Schwellenwerte für die Leitsubstanzen des Brettanomyces-Fehlers für österreichische Verhältnisse relevant sind und welche konzentrationsabhängigen Veränderungen der organoleptischen Eigenschaften stattfinden.

Material und Methoden

Mit Hilfe des BET-Verfahrens in Form von sieben bis acht Forced Choice-Dreieckstests wurden die Wahr-

nehmungsschwellenwerte sowie konzentrationsabhängigen sensorischen Deskriptoren von sechs Brettanomyces-relevanten chemischen Substanzen (4-EP, 4-EG, 4-EC, 4-VP, 4-VG und IVS) in zwei verschiedenen Medien (Wasser, fruchtiger Rotwein) ermittelt. Als Wasser wurde handelsübliches stilles Mineralwasser (Vöslauer Mineralwasser AG) in 0,5 l-Glasflaschen verwendet. Der verwendete Rotwein war ein fruchtiger, junger Sortenverschnitt-Rotwein (Gemischter Satz, Jahrgang 2007, LFZ Klosterneuburg). Das Kosterpanel bestand aus acht erfahrenen, zum Teil amtlich geprüften Weinkostern, welche in separaten Kostkabinen saßen. Jede Konzentrationsstufe wurde zweimal vorgelegt, wobei mit der niedrigsten begonnen wurde.

In Tabelle 1 sind jene Brett-Substanzen zusammengefasst, die in der Folge dem in Halbliterflaschen abgefüllten Wasser bzw. dem Rotwein in steigender Konzentration zugegeben wurden.

In Tabelle 2 sind die Konzentrationen der getesteten Substanzen sowie deren Konzentrationen in den Wasser- und Rotweinproben zusammengestellt.

Um auch die Auswirkung einer Kombination von Brett-Substanzen zu bestimmen, wurde ergänzend ein Versuch gemacht, bei dem dem Rotwein ein „Brett-Standard“ zugesetzt wurde (Fugelsang und Zöcklein, 2003). Der „Brett-Standard“ enthielt 270 µg/l 4-Ethylphenol, 80 µg/l 4-Ethylguaiaicol und 1660 µg/l Isovaleriansäure bzw. eine Mischung in der Relation 4-EG : 4-EP : IVS.

Tab. 4: Wahrnehmungsschwellenwert im Rotwein (µg/l)

Substanz	Geometrisches Mittel aus den Einzelwahrnehmungen
4-EP	25
4-EG	31
4-EC	92
4-VP	22
4-VG	47

Ergebnisse

Zusätze zu Wasser

Für die Bestimmung des Wahrnehmungsschwellenwertes wurden richtige Wahrnehmungen beim BET-Test herangezogen und aus dem geometrischen Mittel der Einzelschwellenwerte der Gruppenschwellenwert berechnet. Die in den Wasserproben mittels BET Verfah-

ren ermittelten Wahrnehmungsschwellenwerte sind in Tabelle 3 festgehalten.

Die Substanz, die bei der niedrigsten Konzentration wahrgenommen wurde, war das 4-Ethylguaiaicol, während das 4-Ethylcatechol erst bei 73 µg/l erkannt wurde. Gleichzeitig mit der Erfassung der Schwellenwerte wurden die sensorischen Deskriptoren detailliert und konzentrationsabhängig erfasst.

Das 4-Ethylphenol (4-EP) zeigte eine dynamische Beeinflussung der Geruchs- und Geschmackseigenschaften von Wasser, hatte einen stechenden Geruch nach „Urin und Fäkalien von Tieren“ und wurde vorwiegend mit den Attributen „Leder“, „Mist“, „animalisch, Stall“, „Speck“, „schweißig“, „Gummi“, „Käse“, „Ethylphenol“, „Schweiß“ beschrieben. Ab der Konzentrationsstufe 656 µg/l waren zusätzlich auch die typischen Brett-Aromatiken, wie „Jauche“, „chemisch“, „stechend“, „Stall“, „Pferd“, „Plastilin“, erkennbar.

Das 4-Ethylguaiaicol (4-EG) war demgegenüber eine sensorisch stabile Substanz mit gleichen oder ähnlichen Deskriptoren auf allen Konzentrationsstufen. Der dominierende Deskriptor war „Gewürznelke“, wobei die Intensität der Wahrnehmung mit steigender Konzentration zunahm. Weitere beschreibende Attribute, die häufig verwendet wurden, waren „medizinisch“, „Kunststoff“, „Zimt“, „Nelke“, „bitter“, „chemisch“, „Jod“, „Kräuter“, „Weihnachtsbäckerei“ und „Lebkuchen“.

Die Beschreibung der Substanz 4-Ethylcatechol (4-EC) in Wasser zeigte eine dynamische Veränderung, in niedrigen Konzentrationen (bis 10 µg/l) dominierte die eher unspezifische Wahrnehmung „medizinisch, rauchig, würzig“, im mittleren Konzentrationsbereich (10 bis 200 µg/l) erinnerte es an „Keller“, „Leder“ und „Gummi“, und bei höheren Konzentration (> 200 µg/l) wurden laktische und animalische Noten, wie „ranzig“, „schweißig“, „käsig“, deutlich wahrgenommen.

Bei der Substanz 4-Vinylphenol (4-VP) war auffällig, dass die Verkoster nur wenige Deskriptoren verwendeten. Die niedrigen Konzentrationen (bis 10 µg/l) wurden mit eher unspezifischen Wahrnehmungen, wie „suppig“, „ledrig“, „süßlich“, beschrieben, der mittlere Konzentrationsbereich (10 bis 200 µg/l) mit „Gummi“ und „Hustenbonbon“, und bei hohen Konzentrationen (> 200 µg/l) fühlten sich die Verkoster an würzige und rauchige Noten, wie „Fenchel“, „Gewürz“, „Rauch“, erinnert.

Beim 4-Vinylguaiaicol (4-VG) war die extrem breite Streuung bei den Deskriptoren mit stark abweichenden Aussagen bemerkenswert. Mit steigenden Konzentrationen konnte eine sensorische Dynamik festgestellt

werden, die sich so darstellte, dass bei niedrigen Konzentrationen (bis 2,7 µg/l) eher unspezifische Wahrnehmungen, wie „gerbig, ledrig, chemisch medizinisch, schimmelig, modrig“, dominierten. Im mittleren Konzentrationsbereich (8 bis 71 µg/l) wurde „Rauch, Zahnarzt, Speck, würzig, Heu“ und bei höheren Konzentrationen (> 200 µg/l) deutliche animalische Noten, wie „Stall, Jauche“, bemerkt.

Bei der Isovaleriansäure (IVS) wurde eine verblüffend vielfältige Beschreibung ermittelt, die von „Kunststoff“ bis zu „Heidelbeeren“ reichte. Die von den einzelnen Verkostern verwendeten Deskriptoren unterschieden sich zum Teil sehr deutlich, folgende dynamische Interpretation war aber möglich. Bei niedrigen Konzentrationen (bis 4,5 µg/l) ergab IVS unspezifische Wahrnehmungen, wie „Kunststoff, gemüsig“, bei mittleren Konzentrationen (13 bis 120 µg/l) waren florale und fruchtige Aromen, wie „Steinfrucht, Karambol, Heidelbeeren, Zitrus“, erkennbar, und bei hohen Konzentrationen (>120 µg/l) dominierten schweißige und käsig Noten, wie „Käse, Buttermilch, ranzig, schweißig“.

Zusätze zu Rotwein

Bei der zweiten Verkostungsreihe wurde ein fruchtiger, junger Rotwein als Trägermedium für die oben angeführten Brett-Substanzen verwendet. (Tab. 4).

Gleichzeitig wurden von den Rotweinen mit den unterschiedlichen Konzentrationen der Zusätze die sensorischen Deskriptoren erhoben.

4-Ethylphenol (4-EP) erhöhte in niedrigen Konzentrationsstufen (2,7 bis 8,1 µg/l) die Fruchtigkeit des Grundweines. Ab den mittleren Konzentrationsstufen (24,3 bis 72,9 µg/l) veränderte sich aber die sensorische Empfindung, und negative, muffige Noten beziehungs-

weise überreife Fruchtaromaten wurden geruchlich und geschmacklich wahrgenommen. Ab den hohen Konzentrationsstufen (73 µg/l) verschwand die fruchtige Note, und medizinische Töne, wie „Heftpflaster, Jod, hart und chemisch“, wurden erkannt.

Schon die niedrigen Konzentrationsstufen von 4-Ethylguaiacol (0,1 bis 0,3 µg/l) ergaben im Rotwein dumpfe, an Misthaufen erinnernde Noten. Interessanterweise wechselte die Wahrnehmung ab dem mittleren Konzentrationsbereich (0,9 bis 2,7 µg/l) zu positiv bewerteten, leicht süßlichen Noten, wie „Weihnachtsbäckerei, Gewürznelken, Apfelkompott“.

Das 4-Ethylcatechol (4-EC) verlieh dem jungen Rotwein in allen Konzentrationsstufen (2,7 bis 656 µg/l) eine mehr oder weniger prägnante stechende chemische Stilistik, die ab den mittleren Konzentrationsstufen (ab 24,3 µg/l) um Fruchtaromen ergänzt, aber insgesamt als negativ beurteilt wurde.

Die niedrigen Konzentrationsstufen von 4-Vinylphenole (1 bis 3 µg/l) verursachten im Rotwein negative sensorische Eindrücke, wie „stechend, Kren, reduzierte Frucht“. Bei den mittleren Konzentrationsstufen (9 bis 27 µg/l) waren die Eindrücke neutral und wechselten bei den höheren Konzentrationsstufen (ab 81 µg/l) in eine komplexe und interessante Weinstilistik mit „rauchigen Anklängen“.

Der Zusatz von 4-Vinylguaiacol zum Rotwein bewirkte in den niedrigen Konzentrationsstufen (0,9 bis 2,7 µg/l) eine unauffällige bis leicht positive Veränderung. In den mittleren und hohen Konzentrationsstufen (ab 8,1 µg/l) war wieder eine Verstärkung der Fruchtaromatik (z. B. Holunderbeeren) festzustellen, wobei diese aber als negativ bewertet wurde.

Der Zusatz von Isovaleriansäure hatte in den niedrigen

Tab. 5: Vergleich zwischen publizierten Schwellenwerten (SW) und den bei eigenen Verkostungen bestimmten Wahrnehmungsschwellenwerten (ESW); alle Werte in µg/l

Brett-Substanzen	Zitat	SW (Literatur)	ESW (experimentell)	Trägermedium
4-EP	AVRIK und HENICK-KLING (2002)	50,0	2,7	Wasser
		-	25,0	Rotwein
4-EG	SILVA (2003); FERREIRA et al. (2000)	25,0	0,9	Wasser
		33,0	31,0	Rotwein
4-EC	HESFORD und SCHNEIDER (2004); GAFNER (1994)	30,0 - 60,0	73,0	Wasser
		50,0	92,0	Rotwein
4-VP	SILVA (2003); LEFFINGWELL (2002)	85,0	27,0	Wasser
		10,0	22,0	Rotwein
4-VG	SILVA (2003); LEFFINGWELL (2002)	32,0	2,7	Wasser
		3,0	47,0	Rotwein
IVS	FERREIRA et al. (2000)	33,4	4,5	Wasser
		-	-	Rotwein

Konzentrationsstufen (0,5 bis 1,5 µg/l) kaum Auswirkungen auf Geruch und Geschmack des Rotweines. Zusätze im mittleren Konzentrationsbereich (4,5 bis 13,5 µg/l) wurden jedoch als „stechend und kratzig“ und im hohen Bereich (ab 40,5 µg/l) mit „animalisch“ und „käsigt“ negativ bewertet.

Bei der Verkostung des Rotweins mit dem Zusatz des Brett-Standards (FUGELANG und ZÖCKLEIN, 2003) wurden die Deskriptoren „schweißig-rauchig“, „ledrig-rauchig“, „mistig-rauchig“, „sauerkraut-mistig“, „Selchkammer“ festgestellt. Besonders interessant war in diesem Zusammenhang die Feststellung der verblüffend rasch zu sensorischen Veränderungen führenden Flüchtigkeit der einzelnen Substanzen. Diese bewirkte, dass der Wein im Glas innerhalb weniger Minuten ein deutlich unterschiedliches sensorisches Profil vermittelte. Das bedeutet auch, dass ein Dekantieren oder längeres Lüften eines Weines einen etwaigen Brett-Charakter wesentlich ändern kann.

Diskussion

Die durchgeführten Verkostungen der Wasser- bzw. Rotweinproben mit den Zusätzen der Brettanomyces-assoziierten Substanzen ergaben plausible Ergebnisse. Erwartungsgemäß unterschieden sich die in Wasser beziehungsweise Rotwein ermittelten Wahrnehmungsschwellenwerte. Tendenziell waren die Schwellenwerte im Wasser um eine Zehnerpotenz niedriger als im Rotwein. Während die Wahrnehmungsschwellenwerte in den Wasserproben für die meisten Substanzen im Bereich von 1 bis 5 µg/l lagen (Ausnahmen: 4-VP und 4-EC), wurden im Rotwein Werte von 20 bis 50 µg/l ermittelt. Bemerkenswert ist die Substanz 4-Ethylcatechol, deren Schwellenwert im Rotwein (92 µg/l) nur geringfügig höher ist als deren hoher Wert im Wasser (73 µg/l). Es scheint so, dass diese Substanz im Wasser maskiert und daher nicht leicht wahrgenommen wird.

Interessant ist ein Vergleich der experimentell ermittelten Wahrnehmungsschwellenwerte mit den in der Literatur publizierten Werten (Tab. 5). Grundsätzlich konnte eine gute Übereinstimmung der in Rotwein ermittelten Schwellenwerte mit den veröffentlichten Zahlen festgestellt werden. Beispielsweise ist der von FERREIRA et al. (2000) für 4-EG publizierte Schwellenwert (33 µg/l) mit dem in dieser Arbeit in Rotwein ermittelten Wert von 31 µg/l praktisch identisch. Auch die Schwellenwerte für 4-VP (10 bzw. 22 µg/l) und 4-EC (50 bzw. 90 µg/l) weisen keine allzu großen Unterschiede auf. Bemerkenswert ist weiters die gute Ver-

gleichbarkeit des von LEFFINGWELL (2002) publizierten Schwellenwertes für die Substanz 4-VG im Trägermedium Wasser (3 µg/l) mit dem eigenen Ergebnis (2,7 µg/l). Andererseits wurde von FERREIRA et al. (2000) für 4-VG ein Wahrnehmungsschwellenwert von 1100 µg/l angegeben, der beinahe um den Faktor 100 höher ist als der von uns ermittelte Wert.

Für die Schwellenwertbestimmung wird im angloamerikanischen Sprachraum entsprechend dem US-Standard ASTM E679-91 häufig das so genannte BET-Verfahren (Best Estimate Threshold) angewandt (BREWER und CADWALLADER, 2004). Beim Forced Choice-Dreieckstest kommen Substanzkonzentrationen mit steigenden Potenzen n ($n = 2, 3, \dots$) zur Anwendung. Bei diesem Verfahren ist allerdings kritisch anzumerken, dass dabei der ermittelte Schwellenwert eine Interpolation in Form der Wurzel aus dem Produkt der beiden benachbarten Konzentrationsstufen ist, ab der die Substanz konsistent wahrgenommen wird, und jener davor. Das Ergebnis für eine Einzelperson ist daher nicht unwesentlich bereits von der gewählten Ausgangskonzentration abhängig. Für ein Gruppenergebnis wird das geometrische Mittel aller Einzelwerte gebildet. Bezüglich Schwellenwertangaben ist somit generell kritisch anzumerken, dass damit (z. B. mit einer Angabe von 426 µg/l für 4-EP) eine vermeintliche Exaktheit vermittelt wird, die völlig realitätsfremd sein kann, weil sie im Wesentlichen von der Mittelwertbestimmung abhängig ist. Es handelt sich dabei also um eine Wahrscheinlichkeitsaussage, um einen Mittelwert ohne nähere Angaben über den Streubereich der einzelnen Kosturteile. In Extremfällen können die individuellen Schwellenwerte um das bis Fünfhundertfache abweichen (EISELE und SEMON, 2005).

Bei allen Schwächen des BET-Verfahrens ist aber anzumerken, dass Vergleiche mit dazu alternativen Verfahren der Schwellenwertbestimmung gezeigt haben, dass das BET-Verfahren in Relation zum Aufwand durchaus hinreichende Ergebnisse liefert (KLUBA et al., 1993).

Die dynamischen Veränderungen des Geruchs- und Geschmackseindrucks mit steigenden Konzentrationen waren bei den einzelnen Substanzen unterschiedlich ausgeprägt. Bei 4-EC konnte mit den identen Deskriptoren über alle Konzentrationsstufen hinweg mehr oder weniger das Auslangen gefunden werden. Besonders interessant ist das Phänomen der bei einigen Substanzen geradezu gegenläufigen qualitativen Bewertung der sensorischen Eindrücke bei sich verändernden Konzentrationen. Teilweise wurden niedrige Konzentrationen im Sinne einer zusätzlichen sensorischen Dimen-

sion (Erhöhung der Komplexität, Abrundung des Gesamtbildes) positiv empfunden. Bei höheren Konzentrationen drehte sich dann häufig das Bild, das heißt, die zuvor als positiv empfundene Bereicherung des sensorischen Gesamtbildes wurde dann als einseitig aufdringlich und störend empfunden (4-VG, IVS). Andererseits gab es auch Substanzen, die in niedrigen Konzentrationen als störend beurteilt wurden und bei höheren Konzentrationen überraschenderweise mit positiven Attributen versehen wurden (4-EG, 4-VP). Damit kommt „das sprachliche Problem der Sensorik“ (SCHNEIDER, 2006) ins Spiel. Weinbeschreibungen sind vielfach wenig präzise und die Verwendung von Deskriptoren alles andere als einheitlich. Die Erkenntnis betreffend dynamischer Veränderung der sensorischen Eigenschaften von Substanzen zeigt, dass die sensorische Beschreibung von fehlerverursachenden Substanzen nicht einheitlich und eindimensional, sondern praktisch immer fallbezogen (Matrixeinfluss, Konzentrationsstufe) erfolgen sollte. Weitere derartige Studien, betreffend andere Leitsubstanzen von Weinfehlern, wären daher sicherlich sinnvoll.

Literatur

- ABBOTT, D.A., HYNES, S.H. and INGLEDEW, W.M. 2005: Growth rates of Dekkera/Brettanomyces yeasts hinder their ability to compete with *Saccharomyces cerevisiae* in batch corn mash fermentations. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 66: 641-647
- BEEK, S. and PRIEST, F. 2000: Decarboxylation of substituted cinnamic acids by lactic acid bacteria isolated during malt whisky fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 5322-5328
- BONNLÄNDER, B. (2002): Isolierung, Charakterisierung und Synthese von Aromavorläufern aus Wein, Dillkraut und Lindenblüten. - Diss. TU Braunschweig, 2002
- BOULTON, B.R., SINGLETON, V.L., BISSON, L.F. and KUNKEE, R.E. (1996): Principles and practices of winemaking. - New York: Chapman and Hall, 1996
- BREWER, M.S. and CADWALLADER, K.R. (2004): Overview of odor measurement techniques. University of Illinois, Department of Food Science and Human Nutrition, 2004
- CHATONNET, P., DUBOURDIEU, D. and BOIDRON, J.N. 1995: The influence of Dekkera/Brettanomyces sp. yeasts and lactic acid bacteria on the ethylphenol content of red wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 46: 463-468
- DATO, M.C.F., PIZAURRO, J.M. jun. and MUTTON, M.J.R. 2005: Analysis of the secondary compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* and wild yeast strains during the production of „Cachaça“. *Braz. J. Microbiol.* 36: 70-74
- DIAS, L., PEREIRA-DA-SILVA, S., TAVARES, M., MALFEITO-FERREIRA, M. and LOUREIRO, V. 2003: Factors affecting the production of 4-ethylphenol by the yeast *Dekkera bruxellensis* in enological conditions. *Food Microbiol.* 20: 377-384
- EGLI, C.M., MITRAKUL, C. and HENICK-KLING, T. (1999): Molecular identification of *Brettanomyces* yeasts. *Proc. 12th Int. Enol. Symp.*, 201-217. - Montréal (Canada), 31 May - 2 June 1999
- EISELE, T.A. and SEMON, M.J. (2005): Best Estimated Aroma and Taste Detection Threshold for Guaiacol in Water and Apple Juice. *J. Food Sci.* 70(4): 267-269
- ESTÉVEZ, P., GIL, M.L. and FALQUÉ, E. 2004: Effects of seven yeast strains on the volatile composition of Palomino wines. *Int. J. Food Sci. Technol.* 39: 61-69
- FERREIRA, V., LÓPEZ, R. and CACHO, J.F. 2000: Quantitative determination of the odorants of young red wines from different grape varieties. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1659-1667
- FUGELSANG, K.C. and ZOECKLEIN, B.W. 2003: Population dynamics and effects of *Brettanomyces bruxellensis* strains on Pinot noir (*Vitis vinifera* L.) wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 54: 294-300
- GAFNER, J. (1994): Frühzeitiges Erkennen von unerwünschten Mikroorganismen bevor unerwünschte Substanzen gebildet werden. *Agroscope, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil*, 1994
- GOODE, J. (2005): *Wine Science*, p. 136-143. - London: Octopus Publ. Group, 2005
- HENICK-KLING, T., EGLI, C., LICKER, J., MITRAKUL, C. and ACREE, T.E. (2000): *Brettanomyces* in wine, p. 16-20. *Proc. Fifth Int. Symp. on Cool Climate Viticulture and Oenology*. - Melbourne, 2000
- HERRAIZ, T., REGLERO, G., HERRAIZ, M., MARTIN-ALVAREZ, P.J. and CABEZUDOS, M.D. 1990: The influence of the yeast and type of culture on the volatile composition of wines fermented without sulfur dioxide. *Am. J. Enol. Vitic.* 41(4): 313-318
- HESFORD, F. und SCHNEIDER, K. (2004): Mitverursacher des Brettanomyces-Fehltons. *Agroscope, Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil (Schweiz)*, 2004
- IBERN-GÓMEZ, M., ANDRÉS-LACUEVA, C., LAMUELA-RAVENTÓS, R.M., LAO-LUQUE, C., BUXADERAS, C. and DE LA TORREBORONAT, M.C. 2001: Differences in phenolic profile between oak wood and stainless steel fermentation in white wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 52: 159-164
- KLUBA, R., DE BANCHS, N., FRAGA, A., JANSEN, G., LANGSTAF, S., MELGAAR, M., NONAKA, R., THOMPSON, S., VERHAGEN, L., WORD, K. and CRUMPLEN, R. 1993: Sensory threshold determination of added substances in beer. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 51(4): 180-183
- LEFFINGWELL and ASSOCIATES 2002: Odor and Flavor Detection Thresholds in Water. Leffingwell and Associates, WWW-Link: <http://www.leffingwell.com/odorthre.htm>
- LICKER, J.L., ACREE, T.E. and HENICK-KLING, T. 1998: What is „Brett“ (*Brettanomyces*) flavor? A preliminary investigation. *ACS Symp. Series* (714): 96-115
- MADIGAN, D. and MCMURROUGH, I. 1994: Rapid determination of 4-vinyl guaiacol and ferulic acid in beers. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 52(4): 152-155
- MAIN, G.L. and MORRIS, J.R. 1994: Color of Seyval blanc juice and wine as affected by juice fining and bentonite fining during fermentation. *Am. J. Enol. Vitic.* 45(4): 417-422
- MAJDAK, A., HERJAVEC, S., ORLI, S., REDEPOVI, S. and MIRO, N. 2002: Wine aroma compounds produced by *S. paradoxus* and *S. cerevisiae*. *Food Technol. Biotechnol.* 40(2): 103-109
- MCMURROUGH, I., MADIGAN, D., DONNELLY, D., HURLEY, J., DOYLE, A.M., HENNIGAN, G., MCNULTY, N. and SMYTH, M.R. 1996: Control of ferulic acid and 4-vinyl guaiacol in brewing. *J. Inst. Brew.* 102: 327-332

- PATTERSON, T. 2004: Brett: when sanitation meets wine style. *Wines & Vines* (Sept.): (http://findarticles.com/p/articles/mi_m3488/is_/ai_n6245126?tag=artBody;coll)
- ROSSINI, R. (2003): Contaminazione da Brettanomyces: lo stato dell'arte. - Verona: Enologica Vason, 2003
- SCHNEIDER, V. 2006: Methoden der sensorischen Bewertung, Sensorikteil IV. *Der Winzer* 62(8): 14-17
- SNAKKERS, G., NÉPVEU, G., GUILLEY, E. et CANTAGREL, R. 2000: Variabilités géographique, sylvicole et individuelle de la teneur en extractibles de chênes sessiles français (*Quercus petraea* Liebl.) : polyphénols, octalactones et phénols volatils. *Ann. Forest Sci.* 57(3): 251-260
- STEIDL, R. (2001): Kellerwirtschaft, 6. Aufl. - Wien: Agrarverlag, 2001
- WEIAND, J. 2004: Flotation: Einfluss auf die Wein-Inhaltsstoffe. *Dt. Weinbau* (20): 18-21

Manuskript eingelangt am 12. November 2008