

Freisetzung und Bildung von Aromastoffen aus natürlichen Vorstufen durch Hefen

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Biologie und Informatik
der Johann Wolfgang Goethe - Universität
in Frankfurt am Main

von
Tilo August Johann Hühn
aus Rüdesheim am Rhein

Frankfurt 2003

(D F 1)¹

Vom Fachbereich Biologie und Informatik der Johann Wolfgang Goethe – Universität als
Dissertation angenommen.

Dekan: Prof. Dr. Heinz Dieter Osiewacz

Gutachter: Prof. Dr. Martin Brendel Prof. Dr. Wolf-Rüdiger Sponholz

Datum der Disputation: 05. Januar 2004

„In der lebendigen Natur geschieht nichts, was nicht in einer Verbindung mit dem Ganzen stehe, und wenn uns die Erfahrungen nur isoliert erscheinen, wenn wir die Versuche nur als isolierte Fakta anzusehen haben, so wird dadurch nicht gesagt, daß sie isoliert seien, es ist nur die Frage: wie finden wir die Verbindung dieser Phänomene, dieser Begebenheiten?“

Johann Wolfgang von Goethe

Die Dissertation wurde unter der Leitung von Prof. Dr. M. Brendel, Johann Wolfgang Goethe - Universität, Frankfurt am Main, Institut für Mikrobiologie und Prof. Dr. W. R. Sponholz am Fachgebiet Mikrobiologie und Biochemie der Forschungsanstalt Geisenheim durchgeführt.

Prof. Dr. M. Brendel und Prof. Dr. W. R. Sponholz danke ich für die wissenschaftliche Betreuung und die vielfältige Unterstützung der Arbeit.

Den Mitgliedern des Fachgebietes Mikrobiologie und Biochemie und des Fachgebietes Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim, insbesondere Prof. Dr. M. K. Grossmann und Hildegard Diehl, ferner denen des Fachgebietes Getränketechnologie und des Fachgebietes Weinbau der Hochschule Wädenswil, Zürcher Fachhochschule, insbesondere Dr. Konrad Bernath und Dr. Wolfgang Patzwahl sowie den Diplomanden Silvie Cuperus und Marco Pfliehinger danke ich für die angenehme und fördernde Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Einleitung	1
2	Einflussfaktoren wertbestimmender Inhaltsstoffe	4
2.1	Umwelteinflüsse und Pflanzenreaktion	4
2.1.1	Nährstoffaufnahme	4
2.1.2	Freisetzung/Bildung von Vorstufen und Aromastoffen	13
2.2	Substrateinflüsse und Hefenreaktion	25
2.2.1	Nährstoffverfügbarkeit	25
2.2.2	Freisetzung/Bildung von Vorstufen und Aromastoffen	28
3	Material und Methoden	35
3.1	Untersuchungsdesign	35
3.1.1	Einflussfaktoren der typischen Weinentwicklung	35
3.1.1.1	Rebsorten und Hefen	35
3.1.1.2	Rebsortenklone und Hefen	36
3.1.1.3	Gärungsbedingungen und Hefen	36
3.1.2	Einflussfaktoren der atypischen Weinentwicklung	38
3.1.2.1	Umweltbedingungen der Reben	38
3.1.2.2	Substratbedingungen der Hefen	42
3.2	Enzymatische und physikalisch/chemische Analytik	46
3.2.1	Standardparameter	46
3.2.2	Aminosäuren und Gramin	47
3.2.3	Indol-3-essigsäure	47
3.2.4	Aromastoffe	47
3.3	Organoleptische Analytik	50
3.4	Statistische Verfahren	51

	Seite	
4	Ergebnisse und Diskussion	52
4.1	Einflussfaktoren der typischen Weinentwicklung	52
4.1.1	Rebsorten und Hefen	52
4.1.2	Rebsortenklone und Hefen	57
4.1.3	Gärungsbedingungen und Hefen	65
4.2	Einflussfaktoren der atypischen Weinentwicklung	74
4.2.1	Umweltbedingungen der Reben	74
4.2.1.1	UV-B-Strahlung und wertbestimmende Inhaltsstoffe	74
4.2.1.2	Nährstoffverfügbarkeit und wertbestimmende Inhaltsstoffe	77
4.2.1.3	Absorptionsprofile verschiedener Stoffe des Tryptophanstoffwechsels	94
4.2.1.4	Bildung von unerwünschten Aromastoffen durch UV-Bestrahlung	98
4.2.1.5	Oxidativer Pflanzenstress und Antioxidantien	99
4.2.2	Substratbedingungen der Hefen	107
4.2.2.1	Indol-3-essigsäure und Indol-3-essigsäureethylester als Vorstufen	107
4.2.2.2	Ascorbinsäure und die Umsetzung von Indol-3-essigsäure	111
4.2.2.3	Indol-3-essigsäureaspartat und Gramin als Vorstufen	113
4.2.2.4	Weitere sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe als Vorstufen	120
4.2.2.5	Jasmonsäureeinfluss auf die Synthese von Indol-3-essigsäure und 2-Aminoacetophenon	129
4.3	Reiz-Organismus-Reaktions Modell	134
4.3.1	Pflanzenstress	134
4.3.2	Mikroorganismenstress	140
5	Zusammenfassung	144
	Literaturverzeichnis	146
	Abkürzungen	160
	Abbildungsverzeichnis	162
	Tabellenverzeichnis	167

1 Einleitung

Den substratspezifischen Reaktionen der Hefen als Gärungserreger bei der Weinbereitung kommt in bezug auf die Freisetzung respektive Bildung wertbestimmender Substanzen eine wachsende Bedeutung zu.

Die auf den Trauben und während der Verarbeitung des Rohproduktes vorkommenden Mikroorganismen übernehmen bei der Weinbereitung eine zentrale Rolle. In den letzten Jahren findet in der Betrachtung dieser Organismen ein Umdenken statt. Wenn früher technologisch fassbare Größen wie die Gärtemperatur, der Klärgrad und allenfalls der Einsatz von Reinstammkulturen zur Disposition standen, so wird heute die Weinherstellung ganzheitlich als biologischer Prozess verstanden, bei dem als zentrales wertmitbestimmendes Bindeglied die gärenden Mikroorganismen zu sehen sind. Gekühlte oder gezügelte Gärungen führen oftmals, wie sich selbst überlassene Gärgebinde, zu Problemen wie Gärstockungen, -unterbrechungen, mangelnden Endvergärungsgraden oder zu unerwünschten Geruchs- oder Geschmacks-komponenten (Hühn et al., 1999a). Die bei der Weinbereitung vorkommenden Mikroorganismen können sich den veränderten Substratbedingungen, in diesem Fall den Mostbedingungen, nur soweit anpassen, wie es ihre genetische Konstitution erlaubt.

Die im Anbau erzielte Rohstoffqualität ist von der Zusammensetzung der Trauben und deren physiologischer Reife bestimmt. Eine deutliche Reduzierung der Nährstoffmengen, die Häufung von Jahren mit geringen Niederschlagsmengen in Verbindung mit einer Veränderung und häufigen Extensivierung der Bodenpflege haben zu einer Neubewertung der Bildung von Inhaltsstoffen beigetragen. Die weinbaulichen und klimatischen Faktoren sowie der mikrobiologische Zustand bedingen die innere Qualität des Lesegutes.

Mit der Zerstörung der natürlichen Zellstruktur der Traubenbeeren bei der Ernte setzen autokatalytische Prozesse, Sekundärreaktionen enzymatisch-hydrolytischer und/oder oxidativer Natur ein, die zu einer Veränderung des Milieus und somit der biochemischen Reaktionsbedingungen im Substrat führen. Enzyme können die Aromabildung indirekt beeinflussen, indem sie Vorstufen wie Aminosäuren aus Proteinen, Zucker aus Polysacchariden und o-Chinone aus phenolischen Verbindungen bereitstellen, die danach auf nichtenzymatischen Wegen zu Aromastoffen umstrukturiert werden. Im Allgemeinen überwiegen die mikrobiell gesteuerten Enzymreaktionen (Belitz und Grosch, 1987).

Beeinflusst durch die beginnenden unkontrollierten Enzymreaktionen zum Erntezeitpunkt, die angewandte Erntetechnik verbunden mit der vergehenden Zeit bis zum Pressen und dem Grad der Vorklärung, entsteht das Substrat für die weinbereitenden Mikroorganismen.

Seit dem Auftreten des „Atypischen Alterungstons“ Ende der 80er Jahre bei Weissweinen von *Vitis vinifera* werden weinbauliche, kellerwirtschaftliche und mikrobiologische Einflüsse verstärkt im Zusammenhang diskutiert. Die Veränderungen vom Ausgangssubstrat der Trauben bis hin zum gelagerten Wein sind sehr komplex.

Diese negative Aromaveränderung tritt oftmals erst einige Monate nach der Abfüllung der Weine auf. Für die Ausprägung des von Rapp et al. (1993) so bezeichneten „Untypischen Alterungstones - UTA“ wurde als verantwortliche Komponente 2-Aminoacetophenon (AAP) identifiziert, die den Fehlton je nach Weinmatrix in einer Konzentration ab 0,7-1,0 µg/l (Rapp et al., 1993) verursachen kann. AAP wurde als fehltonverursachende Komponente in Milchpulver (Parks et al., 1964), Milch (Arnold et al., 1966) und Bier (Palmand und Grigsby, 1974) nachgewiesen. Zusammen mit Anthranilsäuremethylester (Nelson et al., 1977) und Furaneol (Rapp und Engel, 1995) wird diese Komponente für den Hybridton bei interspezifischen Kreuzungen verantwortlich gemacht (Rapp et al., 1980; Acree et al., 1990; Hühn, 1992; Shure und Acree 1994).

Geruchlich werden Weine mit dem schwer gegenüber anderen abgrenzbaren Fehlton mit Begriffen wie Naphthalinnote, Hybridton, Seifenton, Foxtton, Stallton, Jahrgangston, Akazienblüte, schmutzige Wäsche (Rapp et al., 1993; Christoph et al., 1995; Rapp und Versini, 2002) sowie geschmacklich als gerbend, stumpf und bitter beschrieben (Schwab und Peternel, 2001).

3-Methylindol (Skatol) (Gessner et al., 1996), Aminopropiophenon und 3 Amino-phenyl-prop-1-en-on (Ciolfi et al., 1996) werden ebenfalls als mitauslösende Substanzen in Betracht gezogen. Für die Entstehung des UTA werden Stressbedingungen für die Rebe verantwortlich gemacht (Rapp und Versini, 1995; Schwab et al., 1996; Löhnertz, 1996; Sponholz et al., 1997).

Vor diesem Hintergrund kann die Hypothese formuliert werden, dass der Fehltonkomplex biotisch durch Organismen und/oder abiotisch durch physikalische oder chemische Einflüsse hervorgerufen werden kann. Gleichfalls könnte es möglich sein, dass durch exogene oder endogene Faktoren über die physiologische Konstitution der Pflanze unerwünschte Aromanoten induziert werden.

Ziel ist die Untersuchung der von verschiedenen Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata*, *Metschnikowia pulcherrima*) beeinflussten Bildung respektive Freisetzung von Aromastoffen aus natürlich vorhandenen Vorstufen. Um die durch die Hefen entstehenden Einflüsse von anderen Parametern trennen zu können, ist eine Untersuchung und Abgrenzung von Einflüssen der Sorte, der Herkunft und des Klonenmaterials unter dem Aspekt der typischen Weinentwicklung sinnvoll.

Weiterhin soll untersucht werden, inwieweit sich Umweltbedingungen der Reben auf die Freisetzung/Bildung von Vorstufen und Aromastoffen auswirken und wie die Substratbedingungen für die Hefen beeinflusst werden.

Auf die Darstellung der durchgeführten Untersuchungen, der angewandten Methodik und der statistischen und organoleptischen Verfahren, folgt die Dokumentation und Diskussion der sensorischen und analytischen Ergebnisse.

2 Einflussfaktoren wertbestimmender Inhaltsstoffe

2.1 Umwelteinflüsse und Pflanzenreaktion

2.1.1 Nährstoffaufnahme

Die Rebe ist nicht in der Lage, elementaren N aus der Luft zu verwerten. Stickstoff in Form von NO_3^- bzw. NH_4^+ wird über die Wurzeln aufgenommen und im Transpirationsstrom transportiert. Da Ammonium im Boden in die Nitratform übergeht, stellt Nitrat die primäre N-Quelle dar. Nitrat muss über Nitrit zu Ammoniak reduziert werden, da Stickstoff ausschliesslich in Form von NH_3 assimiliert, d.h. an organische Moleküle gebunden werden kann. Nitrat- und Nitritreduktase katalysieren die Reaktionsfolge (Mengel, 1991).

Nitrat wird entweder direkt in der Wurzel, dem Hauptreaktionsort reduziert und assimiliert oder im Xylem zu den Blättern überwiegend als Nitrat und in reduzierter organischer Form transportiert und dort umgesetzt (Löhnertz, 1988). Nitrat kann in Wurzeln gespeichert werden (Lea und Ireland, 1999). Vor Reifebeginn werden in den Beeren hohe Nitratkonzentrationen gemessen, mit fortschreitender Reife wird Nitrat vermindert (Löhnertz, 1988). Bei erhöhten Ammoniak-Konzentrationen entsteht in grünen Pflanzen durch reduktive Aminierung mit Glutamatdehydrogenase aus Ammoniak und α -Ketoglutarat Glutaminsäure. Als Hauptweg wird der GS-GOGAT-Weg gesehen, bei dem in mehreren Reaktionsschritten unter Beteiligung der Glutaminsynthetase (GS) und Glutamin-Oxo-Glutarat-Aminotransferase (GOGAT) aus Glutaminsäure, α -Ketoglutarat und Reduktionsäquivalenten Glutaminsäure synthetisiert wird (Mengel, 1991).

Vor dem Auftreten des UTA-Phänomens wurden im Hinblick auf die Nitratproblematik die N-Düngungsgaben von 80-350 kg N/ha (Gärtel, 1966 zitiert in Löhnertz, 1998) auf ca. 40 kg N/ha in Verbindung mit einer Umstellung des Bodenpflegesystems stark reduziert. Die N-Einlagerung in die Trauben ist vom Nitratgehalt in der Bodenlösung abhängig (Rapp in Würdig und Woller, 1989a), was für die jährliche mineralische Stickstoffdüngung sowie für die langfristige Versorgung des Bodens mit Stickstoff gilt (Prior, 1997).

Jahreswitterung, Kleinklima, Bodenart, Kulturmassnahmen, Rebsorte und Unterlage haben einen Einfluss auf die Aminosäuregehalte der Traubenbeere. Der Gehalt an verfügbaren Stickstoffverbindungen wird bei Überreife infolge der Fixierung der Aminosäuren in Proteinen, bei Fäulnisbefall der Trauben mit z.B. *Botrytis cinerea* und bei ungenügender Wasserversorgung

deutlich reduziert (Dittrich, 1987; Rapp und Reuther, 1971; Rapp in Würdig und Woller, 1989a). Bei *Vitis vinifera* sind es Arginin und Prolin, während bei *Vitis labrusca* Arginin und Alanin dominieren (Kliwer, 1968 und 1969). Aminosäuren können nach ihrer Synthese in den Wurzeln, im Xylem, wie in den Blättern aufgebaut und im Phloem transportiert werden. Die im Leitgewebe am häufigsten gefundenen sind Asparagin und Glutamin, gefolgt von Arginin, Glutamat und Aspartat (Lea und Ireland, 1999).

Ein Mangel an Mineralstoffen, Molybdän wahrscheinlich ausgenommen, führt zu einer Erhöhung der löslichen Stickstofffraktion in Pflanzengewebe. Die Gehalte an den Amidn Glutamin und Asparagin werden bei Pflanzen erhöht. Als Reaktion auf einen Mangel an verschiedenen Makro- und Mikronährstoffen wird oft Arginin akkumuliert. Nicht-proteinogene Aminosäuren und aus Arginin gebildetes Putrescin können angereichert werden (Steward und Lahrer, 1980).

Durch die Mobilisierung von Stickstoff in Form der Aminosäure Arginin aus N-Reserven wird eine suboptimale N-Versorgung abgemildert. Löhnertz (1988) dokumentiert verschiedene Aufnahmephasen von Stickstoff bei *Riesling*, von denen zwei von besonderer Bedeutung für die Pflanze sind. Eine Untersuchung (Engelmann und Siben, 1995) an Weinen der Rebsorte *Riesling* der Erntejahre 1980-1993 zeigt, dass UTA bevorzugt dann auftritt, wenn während N-Sink 2 (10 Tage vor bis 10 Tage nach dem Weichwerden (Veraison), keine ausreichende Stickstoffaufnahme stattfand (Sponholz et al., 1997). Exemplarisch können hier die Jahrgänge 1988 und 1991 analysiert werden. Im Jahre 1988 (Abb. 1) war die Bodenfeuchtigkeit ausreichend und es gab ausreichend Niederschlag. Die Pflanze kann unter diesen Bedingungen genügend Nährstoffe, Stickstoff, Phosphor und Spurenelemente aufnehmen. Im Gegensatz dazu steht 1991 (Abb. 2), es gab nur eine geringe Bodenfeuchte, kaum Niederschläge und die Temperaturen während der Vegetationszeit waren erheblich höher.

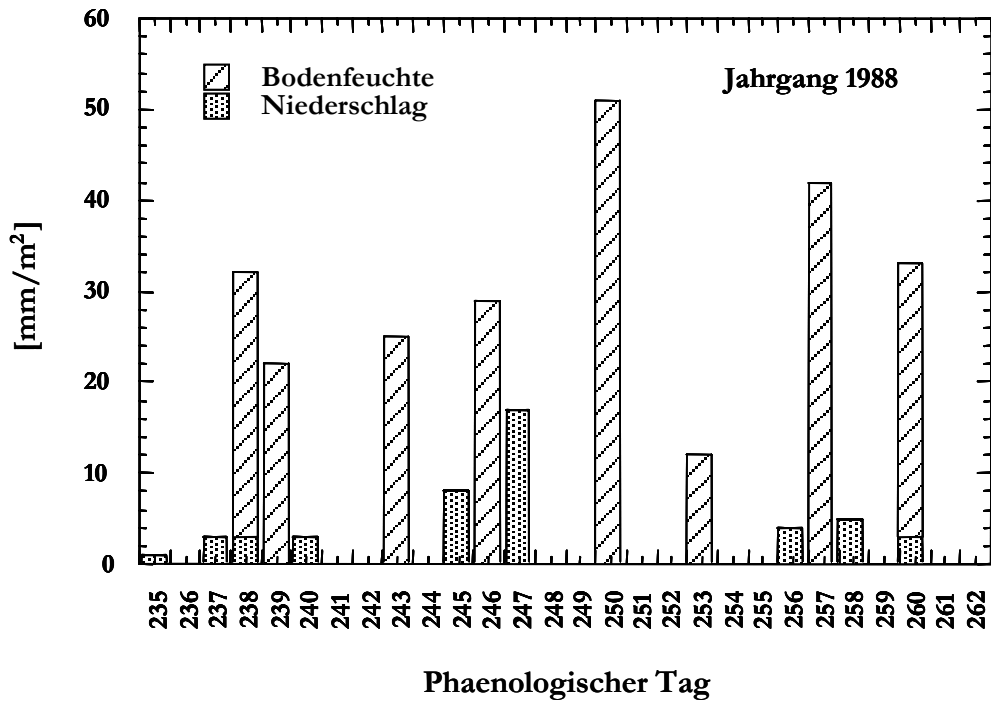


Abb. 1: Niederschläge und Bodenfeuchtigkeit während N-Sink 2, Wachenheim-Pfalz, 1988 (Sponholz et al., 1997)

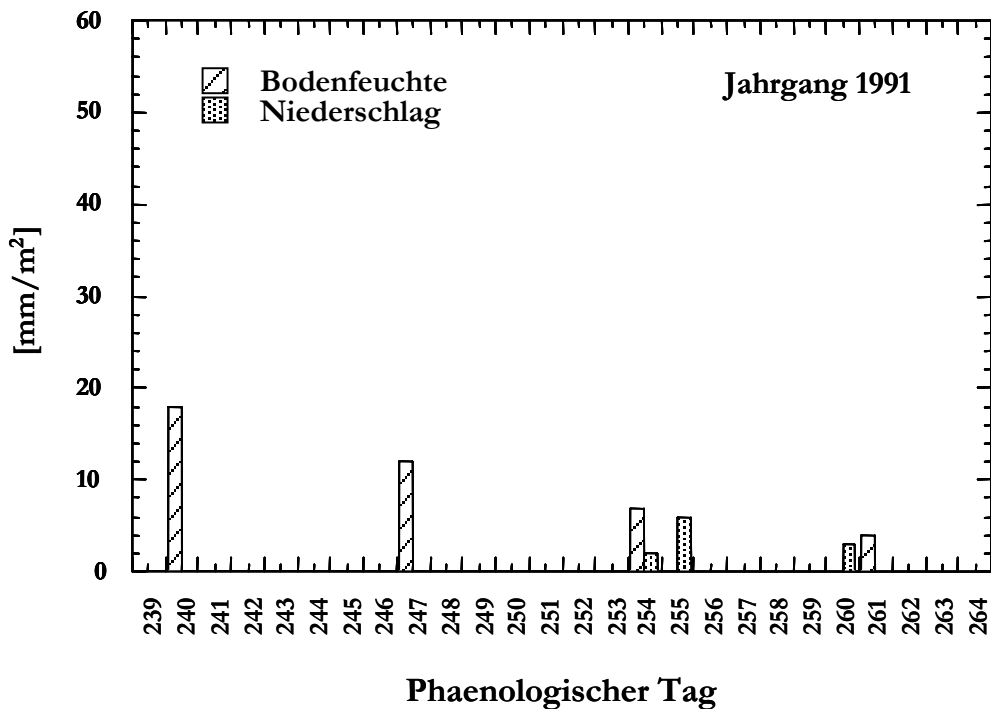


Abb. 2: Niederschläge und Bodenfeuchtigkeit während N-Sink 2, Wachenheim-Pfalz, 1991 (Sponholz et al., 1997)

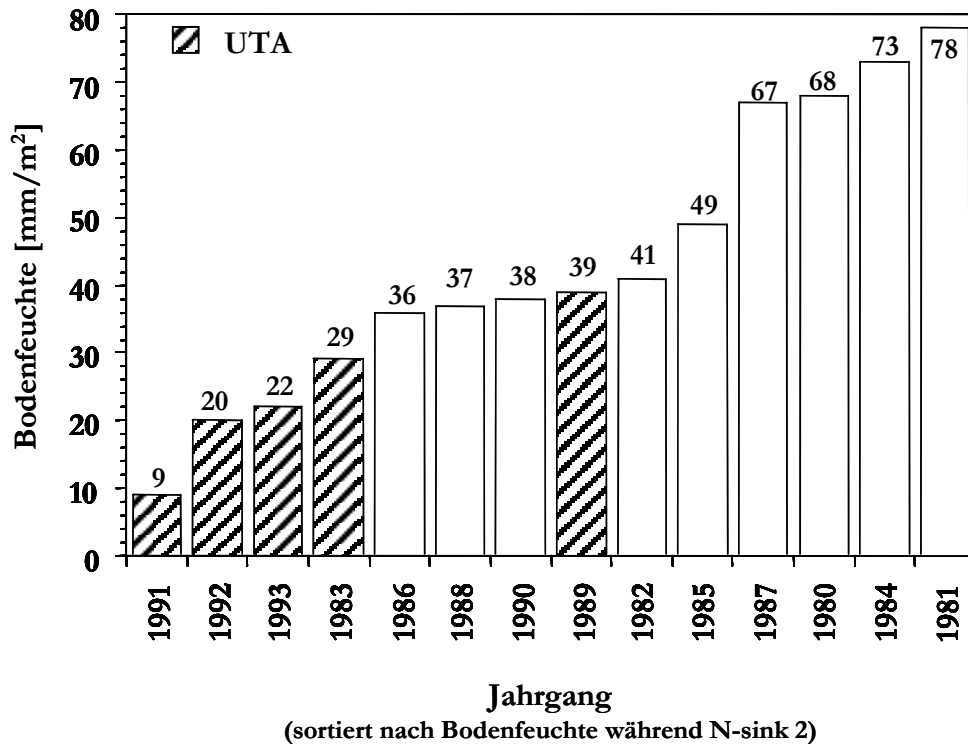


Abb. 3: Bodenfeuchte während N-Sink 2 und sensorische UTA-Neigung der Weine, Geisenheim-Rheingau, 1981-1991 (Sponholz et al., 1997)

Die Jahre mit sensorischer UTA-Neigung waren von geringen Mengen pflanzenverfügbarem Wasser während des Weichwerdens der Beeren (N-Sink 2) geprägt (Abb. 3). Für den Standort Geisenheim war 1989 eine Ausnahme. Die Resultate für Wachenheim (Pfalz), wo es noch etwas trockener war, zeigen diesen Jahrgang als auffällig. Von älteren Jahrgängen wurde 1983 ebenfalls als ein UTA-Jahr erkannt. Der typische Geschmack wurde in diesem Jahrgang als „Jahrgangston“ bezeichnet. Spätere Analysen zeigten höhere Gehalte an AAP in diesen Weinen (Sponholz et al., 1997). In den Jahrgängen 1977, 1983, 1989, 1991 und 1992 lagen im Bereich der Südlichen Weinstrasse (Pfalz) die Niederschläge in den für die Reifeentwicklung der Weinbeeren wichtigen Monaten (Juli, August, September) deutlich unter dem 50-jährigen Mittelwert (1951-2000) (Rapp und Versini, 2002). Schwab et al. (1996) sehen ebenfalls einen Zusammenhang zwischen dem Wasserhaushalt und dem Auftreten von UTA.

Fehlende oder ungenügende Mineralisation von Stickstoffverbindungen, eine geringe Stickstoffdüngung und gleichzeitiges Fehlen von Wasser scheinen mitverantwortlich zu sein (Löhnertz, 1996). Zusätzlich sind alle Massnahmen, die zu einer Verminderung der Wasserverfügbarkeit führen, besonders kritisch zu betrachten. Hierzu gehören intensive Begrünungen mit Gräsern, ebenso wie andere nicht wassersparende Bodenpflegesysteme.

Diese Parameter wirken sich stark auf die Wüchsigkeit der Anlagen und somit auf die Blattfläche aus. Eine suboptimale N-Versorgung wird zunächst durch die Mobilisierung von Stickstoff aus N-Reserven in Form des Arginins abgemildert. Der im Vergleich zur benötigten Gesamtmenge geringe Bedarf der Trauben an Stickstoff, hat einen ebenfalls wichtigen Einfluss auf eine verzögerte Reaktion bei akutem N-Mangel. Mit einer zunehmenden Konzentration an mineralisiertem Stickstoff in der Bodenlösung nimmt der Gehalt an Aminosäuren in den Trauben zu (Löhnertz, 1996, 1998).

Als kritische Phase für eine Ausprägung des UTA infolge einer Unterversorgung mit Wasser und/oder Nährstoffen, kann der Zeitraum von Reifebeginn bis Vollreife beschrieben werden. Ab 30°Oe bis 50°Oe werden 50% des Trockengewichts gebildet. Dann sind ca. 80% des Gesamttraubengewichtes erreicht. In der Anfangsphase der Reife weisen die Trauben eine starke Einlagerung von Inhaltsstoffen auf. Von den benötigten Inhaltsstoffen werden in dieser Phase bis zu 50% eingelagert. Dies gilt besonders für verschiedene Stickstoffverbindungen (Löhnertz, 1988). Nach dem Weichwerden der Beeren werden die höchsten Mengen an Arginin und Prolin synthetisiert und in die Beeren eingelagert. Der Jahrgang zeigt einen deutlichen Einfluss auf den Gehalt an Aminosäuren in den Trauben. Die Konzentrationen an hefeverwertbaren Stickstoffverbindungen liegen in trockenen und warmen Jahren niedriger als bei kühleren und feuchteren Witterungsabläufen. In einem langjährigen N-Versuch im Rheingau bei der Sorte *Riesling* konnte im Jahr 1995 mit ausreichender Bodenfeuchtigkeit in einer Variante mit zehn Jahren ohne Stickstoffdüngung ein Aminosäuregehalt ermittelt werden, wie er im Trockenjahr 1994 bei einer Zufuhr von 150 kg N/ha und Jahr erzielt wurde. Zwischen der geringen Niederschlagsmenge und der dadurch geringen Einlagerung von Aminosäuren in die Traube besteht ein Zusammenhang (Prior, 1997).

Um die Einlagerung von hefeverwertbarem Stickstoff in die Trauben unter verschiedenen weinbaulichen Einflussfaktoren zu verfolgen und den Versorgungsgrad der Moste zu bestimmen, wurde der Ferm-N-Test entwickelt (Sponholz, 1999). Untersuchungen an Mosten aus dem Trentino ergaben, dass die Korrelation zwischen Ferm-N-Wert und hefeverwertbarem Gesamtstickstoff sortenabhängig ist und zwischen $R^2 = 0,9$ und 1 liegt (Eccli, 1999).

Mit dem Ferm-N-Wert als Messgröße für die Nährstoffaufnahme kann Unterversorgung erkannt und das Bewirtschaftungssystem gegebenenfalls angepasst werden. Moste aus begrüntem Parzellen weisen deutlich weniger Ammonium und Stickstoff auf (Abb. 4). Die für eine einwandfreie Gärung unbedingt notwendigen Konzentrationen von Ferm-N = 35, werden bei den begrüntem Parzellen oft weit unterschritten. Im Zusammenhang mit der unbedingt benötigten Wassermenge während N-Sink 2 sind solche Anlagen dann in Bezug auf den UTA als gefährdet einzustufen (Sponholz et al., 2001a).

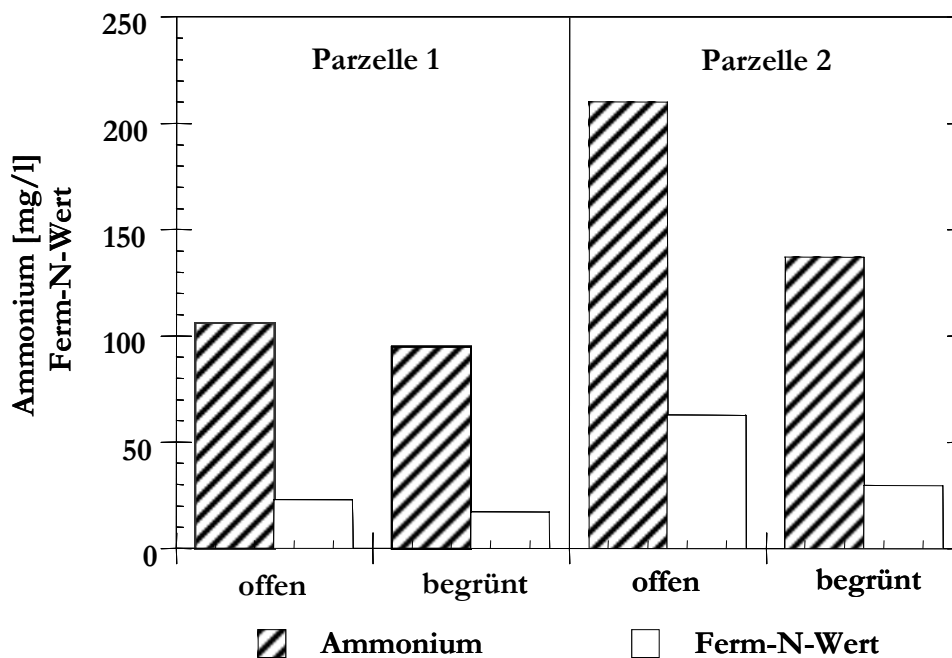


Abb. 4: Ferm-N-Wert und Ammoniumgehalt bei offenen und begrüntem Parzellen, Geisenheim-Rheingau (Sponholz et al., 2001a)

Ein ausgeprägtes Sättigungsdefizit macht sich besonders auf Standorten mit einem niedrigen Wasserspeichervermögen bemerkbar (Löhnertz, 1996). Zu Beginn der Vegetation ab Anfang Mai steigt der Wasserverbrauch. Unter einer Dauerbegrünung wird ein entstehendes Defizit im Verlaufe des Sommers selten ausgeglichen. Bei durchschnittlichen Sommerniederschlägen erfolgt in dauerbegrüntem Anlagen eine geringe Wasserverlagerung in tiefere Bodenschichten. Die Grundlage für den Wasserstress wird in vielen Jahren bereits zu Beginn der Vegetation gelegt, obwohl die entscheidende Phase der Stressbelastung erst im Spätsommer zur verminderten Stickstoffeinlagerung führt. Unter einer Dauerbegrünung sind die Nitratgehalte äusserst gering. Die Rebe muss unter diesen Bedingungen sehr viel Energie aufwenden, um den Stickstoffbedarf zu decken, was zu einer Stresssituation führen kann. Wasserdefizite in einer Bodentiefe bis zu einem Meter über mehrere Tage und Wochen beeinflussen die Qualität des Weines negativ (Löhnertz, 1996). Durch Wassermangel kann die Wirksamkeit der Nitratreduktase zur Assimilation von ionisch verfügbarem Stickstoff vermindert werden. Bei Entwässerung kommt die NO_2^- -Reduktion in den Chloroplasten durch eine Reaktion zwischen Ferredoxin und Nitritreduktase weitgehend zum Erliegen. Die NO_2^- -Reduktase ist weniger empfindlich gegen Wassermangel als die NO_3^- -Reduktase. Glutaminsynthese und Glutamatsynthese weisen eine geringe Wassermangelempfindlichkeit auf (Lösche, 2001).

Starker Wassermangel führt zur Bildung von Osmoregulatoren in pflanzlichen Geweben. Die Akkumulation von freiem Prolin stellt eine häufige Reaktion auf ausgeprägten Wassermangel und Salzstress dar. Prolin schützt in hohen Konzentrationen Zellmembran und Proteine vor der schädigenden Wirkung anorganischer Ionen und extremen Temperaturen. Die Biosynthese kann ausgehend von Arginin sowie von Glutamat erfolgen (Verma et al., 1992). Quaternäre Ammoniumverbindungen wie Cholin, Glycinbetain, β -Alaninbetain, Prolinbetain und Hydroxyprolinbetain sind ebenfalls osmoprotektive N-haltige Verbindungen (Rhodes et al., 1999). Bei plötzlicher Temperaturabnahme, -zunahme, mechanischer Beschädigung, Verletzung, Wassermangel und Überflutung (Sauerstoffdefizit) können stark erhöhte Gehalte der nicht-proteinogenen Aminosäure γ -Aminobuttersäure festgestellt werden (Snedden und Fromm, 1999).

In Jahren mit ausreichendem Niederschlag kann trotz ausreichender Menge pflanzennutzbaren Wassers teilweise eine geringe Einlagerung von Stickstoff in die Traube beobachtet werden (Prior, 1997). Dies könnte möglicherweise auf andere Umweltfaktoren wie die UV-Strahlung zurückgeführt werden. Bei Cyanobakterien wurde die Verminderung der Aufnahme anorganischer Stickstoffverbindungen durch UV-B-Strahlung beobachtet. Auf eine Hemmung des Reaktionszentrums des Photosystems II durch UV-B-Strahlung kann eine Verminderung der ATP-Versorgung folgen. Die Bereitstellung von Kohlenstoffverbindungen für die Aminosäuresynthese wird durch eine geringere Rate der photosynthetischen CO_2 -Fixierung und/oder Atmung verringert. Ein direkter Einfluss der UV-B-Strahlung auf den Regulationsmechanismus der Aufnahme organischer Stickstoffverbindungen und die Schlüsselenzyme des Stickstoff-Metabolismus ist ebenfalls denkbar (Döhler et al., 1995). Das D1-Protein, Reaktionszentrum des Photosystems II, wird sehr rasch umgesetzt, wobei dieser lichtabhängige Vorgang für das Funktionieren des gegenüber UV-B-Strahlung empfindlicheren Photosystems II von zentraler Bedeutung ist (Rüegsegger, 1996). Die Zerstörung des Photosystems II kann den Elektronentransport und die Bereitstellung von ATP hemmen (Döhler, 1997). Das zentrale Enzym der Kohlenstoff-Assimilation und das häufigste Protein in Blättern, Ribulosebisphosphat-carboxylase (Rubisco) wird von der UV-B-Strahlung durch eine erhöhte Abbaurate bzw. eine Inaktivierung beeinflusst (Döhler et al., 1995; Döhler, 1997; Rüegsegger, 1996). Dies führt zu einer Hemmung der Photorespiration, was zu einem Verlust an Kohlenstoffatomen und CO_2 -Fixierung führt, wodurch weniger Kohlenstoffverbindungen zur Verfügung stehen. Die Glutamat-, Glutaminsynthese und weitere Enzyme können geschädigt werden (Döhler et al., 1995).

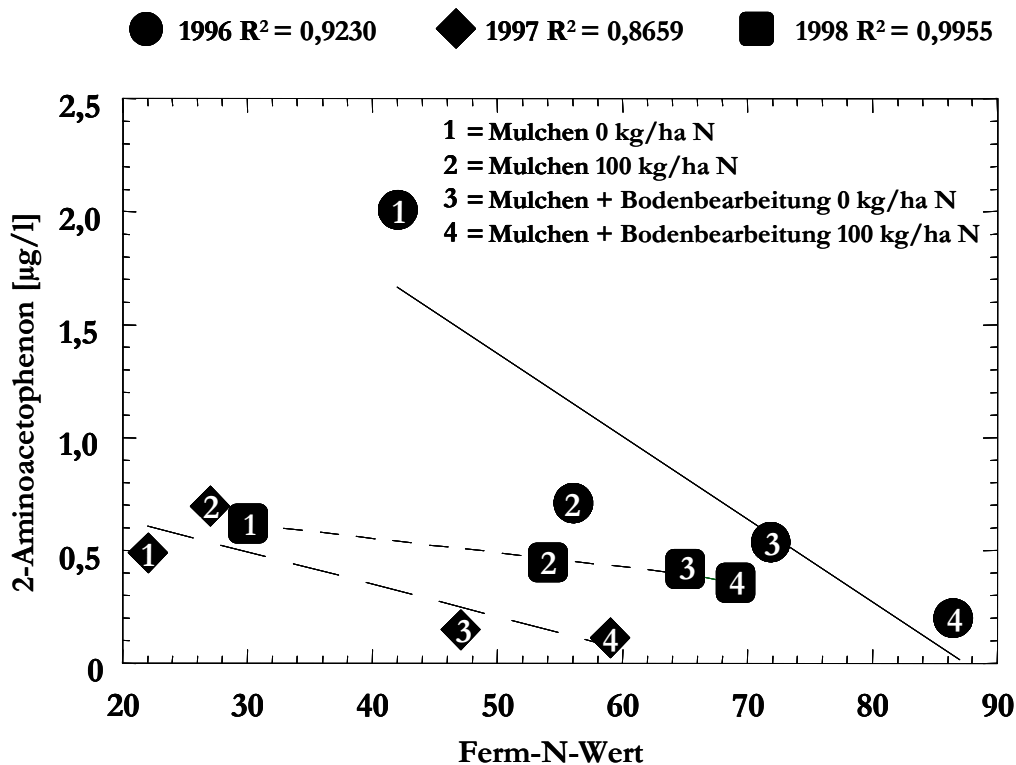


Abb. 5: Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungs- und N-Düngungsmassnahmen auf den Ferm-N-Wert und die 2-Aminoacetophenonkonzentration, Freiburg-Baden, 1996-1998 (Sponholz et al., 2001 nach Riedel und Seiters, 1999)

Der Stickstoffgehalt in den resultierenden Mosten ist nicht ausschliesslich von der Düngergabe, sondern wesentlich von der erfolgten Bodenbearbeitung abhängig (Abb. 5). Je intensiver die Bodenbearbeitung durchgeführt wird (ohne ein Optimum zu überschreiten), desto mehr wird die Bodenmikrobiologie angeregt und desto höher ist die Mineralisation und die Aufnahme von Stickstoff in die Pflanze. Eine Bodenbearbeitung mit Mulchen ist dem Mulchen allein und einer einfachen Bodenlockerung vorzuziehen. Der Ferm-N-Wert als Indikator der Nährstoffaufnahme steigt in der 0-Parzelle durch die Bodenbearbeitung mit Mulchen mehr an, als durch die Zugabe von 100 kg N/ha zur ausschliesslich gemulchten Parzelle. Daraus resultiert eine sichere Vergärung infolge des höheren Ferm-N-Wertes (Riedel und Seiters, 1999).

Vorausgesetzt, dass eine Abhängigkeit des UTA vom Gehalt an hefeverwertbarem Stickstoff als Indikator für eine allgemeine Nährstoffeinlagerung in die Traube und dem resultierenden Most besteht, kann vermutet werden, dass mit fallendem Stickstoffgehalt der Moste die Konzentration von AAP in den Weinen steigt und damit die Ausprägung des UTA grösser wird. 1996 haben die beiden Weine aus den Mosten mit dem niedrigsten Ferm-N-Wert den höchsten Gehalt an AAP und liegen mit 2 µg/l bzw. 0,7 µg/l über oder am Geruchsschwellenwert für UTA.

Die beiden Proben aus der Variante bei der eine Bodenbearbeitung stattfand, liegen deutlich unter diesem Wert, wobei eine Zusatzdüngung noch bessere Werte zeigt. Diese Ergebnisse finden sich in den 1997er Weinen in der Tendenz wieder, waren jedoch nicht so ausgeprägt. Der Wein aus der Variante Mulchen 100 kg/ha N lag mit 0,7 µg/l AAP an der Grenze der Wahrnehmbarkeit für UTA. Besonders die Varianten aus der Bodenbearbeitung (Umbruch der Grasnarbe) zeigen geringe Konzentrationen an AAP. Den ausgeprägtesten Zusammenhang mit $R^2 = 0,99548$ zeigt der Jahrgang 1998. Lediglich der Wein aus der Variante Mulchen 0 kg/ha N mit 0,65 µg/l AAP weist einen Wert am Geruchsschwellenwert für UTA auf. Alle weiteren Weine sind von UTA, verursacht durch erhöhte Gehalte an AAP, nicht beeinflusst.

Eine zusammenfassende Betrachtung zeigt die jahrgangsbedingten Unterschiede in der Ausprägung des UTA am deutlichsten. Die Tendenz für UTA ist in allen Jahren gleich. Die Proben aus den nicht bearbeiteten Weinbergen zeigen die höchsten Gehalte an AAP, während die aus den Parzellen mit Bodenbearbeitung die geringsten, sensorisch nicht beeinflussenden Werte aufweisen. Dieses Ergebnis wird sehr stark durch die Konditionen der einzelnen Jahre überlagert. Dabei ist besonders auffällig, dass der Stickstoffgehalt allein nicht die Ursache für UTA sein kann, sondern lediglich als Indikator dient. Hohe, für eine Gärung ausreichende Gehalte, verhindern die Bildung von 2-Aminoacetophenon nicht in jedem Fall. Selbst Weine aus Mosten, die nur wenig Ferm-N besitzen, wie die aus dem Jahrgang 1998, weisen geringere Konzentrationen an AAP auf, als die aus Mosten des Jahrgangs 1996, die bei hohen Ferm-N-Werten sehr viel höhere Gehalte an AAP beinhalten. Eine generelle Erhöhung der Stickstoffgaben über 40 bis 50 kg Stickstoff/ha kann aus dieser Sicht nicht als alleinige Problemlösung angesehen werden (Löhnertz, 1996). Bei einem Humusgehalt von 2-2,5 Prozent in der Krume (0-30 cm) liegen im Boden ausreichende Mengen an Stickstoff in organisch gebundener Form zur Versorgung der Pflanze vor. Weiterhin erhöht Humus die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens, was zur Verminderung von Stresssituationen beiträgt (Löhnertz, 1996; Rapp und Versini, 2002). Neben den dargestellten Faktoren sind Erntezeitpunkt (Wohlfahrt, 1995; Köhler et al., 1995) und Erntemenge (Schwab et al., 1996) wichtige Parameter. Eine Entblätterung der Traubenzone führt ebenfalls zu einer Verminderung des Aminosäuregehaltes (Schultz, 1998) und zu einer Steigerung der UTA-Note (Schwab und Peternel, 2001). Beobachtungen in Oregon haben gezeigt, dass eine Zusatz-Bewässerung zum richtigen Zeitpunkt eine Ausbildung von UTA verhindern kann. Eine Blattdüngung zeigte dort Erfolge (Müllers, 1996). Den Effekt einer Blattdüngung zeigte ebenso Hünnecke et al. (2001).

Aus diesen Versuchen ist somit zu schliessen, dass Untersuchungen an perennierenden Kulturen nicht in kurzer Zeit erfolgen können, sondern dass die Untersuchungen über einen längeren Zeitraum angelegt werden müssen.

2.1.2 Freisetzung/Bildung von Vorstufen und Aromastoffen

Die Relevanz von Aromastoffen und -vorläufern für chemische Resistenzmechanismen der Pflanze soll im folgenden beleuchtet werden. Das Gleichgewicht der Komponenten in einem Ökosystem beruht auf äusseren Faktoren (Parasiten, Räubern, Standortfaktoren etc.) sowie einer Vielzahl fundamentaler Wechselwirkungen zwischen Allelochemikalien (sekundären Pflanzeninhaltsstoffen) der Pflanzen und biochemischen, physiologischen Reaktionen der Phytophagen (Fritzsche et al., 1987). Die Endprodukte des sekundären Stoffwechsels unterliegen nur sehr geringen Abbauraten und reichern sich in der Pflanze an. Ihre Bildung wird durch den Selektionsdruck der Phytophagen im Sinne eines Koevolutionsprozesses begünstigt. Drei Hauptgruppen sind zu unterscheiden (Fritzsche et al., 1987):

1. Pheromone: intraspezifische Botenstoffe, die artspezifische Reaktionen auslösen.
2. Allomone: interspezifische Botenstoffe, die dem Produzenten (Pflanze) Vorteile verschaffen.
3. Kairomone: interspezifische Botenstoffe, die dem Konsumenten (Phytophage) Vorteile verschaffen.

Allelochemikalien können im Sekundärstoffwechsel oder mutationsbedingt auch im Primärstoffwechsel synthetisiert werden. Ihre Wirkung kann in Form der Antibiose (Beeinflussung der Stoffwechselphysiologie des Schädling) als chronischer Mechanismus mit verzögerter Wirkung oder in Form der Nichtpräferenz (Schädling lehnt Wirtspflanze ab) rasch wirkend ausgeprägt sein. Die Konzentration der Substanzen kann durch verringerte Befallsdichte und Selektionsmechanismen in den Nachkommen der Pflanzenart erhöht werden.

Substanzen, die nach dem Wirkungsmechanismus der Nichtpräferenz konstruiert sind, können sich als Aromafehler bemerkbar machen. Auf biosynthetischer Grundlage lassen sich die sekundären Pflanzeninhaltsstoffe mit wenigen Ausnahmen in Phenylpropane, Acetogenine, Terpenoide, Steroide und Alkaloide einteilen (Fritzsche et al., 1987).

Phenylpropane werden in der Pflanze über den Shikimatweg synthetisiert. Über diesen Weg entstehen auch die aromatischen Aminosäuren L-Tryptophan, L-Phenylalanin und L-Tyrosin. Die Desaminierung von L-Phenylalanin und L-Tyrosin führt zu den Phenylpropanen Zimtsäure und p-Cumarsäure. Über den Shikimatweg werden ausserdem Phenole wie Protocatechusäure und Gallussäure gebildet. Durch die Veresterung von Phenolsäuren mit Zuckern entstehen hydrolysierbare Tannine. Phenole besitzen als Allelochemikalien, mit antibiotischer Wirkung

gegen bestimmte Mikroorganismen, eine grosse Bedeutung. Aus der cis-o-Cumarsäure entsteht das Lacton Cumarin mit starker repellenter Wirkung. Flüchtige Phenylpropane wie Eugenol (Gewürznelke) sind sehr aromawirksam (Fritzsche et al., 1987).

Verbindungen, die zu den Acetogeninen gehören, sind aus Acetyl- bzw. Malonyl-SCoA-Einheiten zusammengesetzt. Bei ihrer Synthese entsteht zunächst eine Polyketosäure als alternierende Kette aus Keto- und Methylen-Einheiten. Diese Kette stabilisiert sich durch Cyclisierung. Kettenschluss an C₁-C₆ ergibt Phloroacetophenon, an C₂-C₇ Orsellinsäure. Dieser Mechanismus (Acetat-, Polyketon-Weg) und der Shikimatweg sind die in der Natur bekannten Möglichkeiten, um aromatische Verbindungen zu synthetisieren. Über den Polyketon-Weg können aus Zimtsäure Flavonoide und Stilbenderivate (Pterostilbene, Viniferine, Resveratrol) entstehen (Fritzsche et al., 1987). Stilbenderivate sind als Phytoalexine von besonderer Bedeutung. Ihre Synthese kann nahezu in allen Pflanzenteilen aufgrund von Erkennungs- oder Stressreaktionen durch Elicitoren, freigesetzt vom Schaderreger postinfektionell oder von der Pflanze präinfektionell, ausgelöst werden (Schruft, 1984.; Blaich und Bachmann, 1980).

Unter der Verbindungsgruppe der Alkaloide werden die Pseudoalkaloide (Diterpen, Steroid-Alkaloide), die Protoalkaloide und die echten Alkaloide, die eine heterozyklische Ringstruktur aufweisen, zusammengefasst.

Die Protoalkaloide entstehen über den Metabolismus biogener Amine, besitzen aber keine heterozyklische Ringstruktur. Alkaloide Verbindungen reagieren basisch, enthalten meist heterozyklisch eingebaute Stickstoffatome und sind häufig an Pflanzensäuren gebunden. Der Ursprung der Proto- und der echten Alkaloide kann in 3 Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe leitet sich von den aliphatischen Aminosäuren Ornithin und Lysin, die den heterozyklisch gebundenen Stickstoff liefern, ab. Die Kombination von 2 Ornithin-Einheiten führt zu den Pyrrolizidin-Alkaloiden. Gleichfalls entstehen aus 2 Lysin-Einheiten Chinolizidin-Alkaloide. Durch Kondensation der aromatischen Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin entstehen Isochinolin-Alkaloide, sie bilden die zweite Gruppe. Die Indol-Alkaloide gehören zur dritten Gruppe, sie gehen auf Tryptophan zurück. Zu den Pseudoalkaloiden sind vor allem die Terpene und Steroidalkaloide zu zählen (Fritzsche et al., 1987).

Einige sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe lassen sich nicht in das Schema der Hauptgruppen einordnen. Hierzu gehören insbesondere schwefelhaltige Verbindungen, die als Thiole und Thioether in glycosidischer Form in Pflanzen vorliegen. Sinigrin, ein Senfölglycosid, wird bei

Frassinwirkung durch Myrosinase glycosidisch gespalten, so dass Allylthiocyanat freigesetzt wird. Glykoside bestehen aus zwei Komponenten, einem Monosaccharid (Glucose) und einem Aglycon. Das Aglycon kann in verschiedenster Weise in der Pflanze anfallen, wobei es sehr oft den Phenolen zuzurechnen ist. Die glycosidische Bindung erlaubt es der Pflanze, toxische Stoffe in löslicher Form in den Zellvakuolen zu speichern. Wird die Pflanze von pilzlichen- oder tierischen Schädlingen angegriffen, so können durch die Zerstörung des Zellverbandes beträchtliche Mengen glycosidisch gebundener Substanzen freigesetzt werden. Infolge der Lysis der Zellen führen durch Polyphenoloxidasen hervorgerufene Oxydationsreaktionen zum Nekrotisieren des Gewebeverbandes. Bei den Verbindungen, die allelochemisch wirksam werden, handelt es sich weniger um die Phenole selbst, sondern um die bei ihrer Hydrolyse entstehenden Derivate. Proteine mit geringem Molekulargewicht, Phenole und andere Aglycone können die Aktivität von Proteasen hemmen (Fritzsche et al., 1987).

Terpene wirken auf Phytophagen zum Teil attraktiv (anziehend). Repellente (abschreckende) Wirkungen sind gleichfalls nachgewiesen. Sie reagieren in Abhängigkeit von ihrem Oxidations- und Glycosidierungsstatus mehr oder minder lipophil und besitzen eine hohe Potenz zu toxischen Eingriffen in grundlegende physiologische Prozesse verschiedener Phytophagen (Fritzsche et al., 1987).

Der Sortentyp eines Weines wird durch Sauerstoffderivate von Monoterpenen, wie z. B. Linalool, Nerol, Geraniol, und α -Terpineol wesentlich mitbestimmt (Marais, 1983; Marais, 1986; Marais und van Wyk, 1986). Diese Substanzen sind vom Standort, der alkoholischen Gärung und von den Vinifikationsmethoden in geringerem Masse abhängig als andere Aromakomponenten (Rapp in Würdig und Woller, 1989b). Die Zusammensetzung und die Konzentration der flüchtigen Terpene hängt vom Reifegrad, der Temperatur während der Beerenreife und der Sonneneinstrahlung auf die Beeren ab (Macaulay und Morris, 1993).

Die Biogenese der Terpene geht vom Acetyl-CoA aus. Die Polykondensation von drei Molekülen führt unter Hydrolyse und Reduktion zu Mevalonsäure. Durch Phosphorylierung, Abspaltung von CO_2 und H_2O entsteht Isopentenylidiphosphat, welches teilweise in Dimethylallylpyrophosphat umgelagert wird. Diese beiden Substanzen reagieren miteinander, es entsteht Geranylidiphosphat, die Schlüsselsubstanz der Monoterpensynthese. Das sich aus der Additionsreaktion von Isopentenylidiphosphat und Geranylidiphosphat ergebende Farnesylidiphosphat stellt die Grundlage der Sesquiterpene dar. Acyclische Terpene können direkt aus Geranylidiphosphat hervorgehen, cyclische terpenoide Verbindungen hingegen können

erst nach trans → cis-Isomerisierung zu Nerylpyrophosphat unter anschließender Einwirkung einer Cyclase entstehen (Belitz und Grosch, 1987; Strauss et al., 1987; Corteau in Parliment und Corteau, 1986).

Monoterpendiole, die als Percusoren einer Reihe von flüchtigen Komponenten des Weinaromas dienen, können zur analytischen Sortencharakterisierung von Weissweinen herangezogen werden (Rapp und Hastrich, 1976; Rapp und Knipser, 1979; Rapp et al., 1983; Rapp et al., 1984; Bayonove und Cordonnier, 1971). In Wein nachgewiesene Monoterpenäther werden vermutlich durch Photooxidation von Monoterpenalkoholen gebildet (Rapp et al., 1984). Bei Stoffwechselfvorgängen von *Botrytis cinerea* werden aus den in Traubenmost und in Wein vorkommenden Monoterpenalkoholen Linalool, Citronellol, Geraniol und Nerol die entsprechenden β-Hydroxyverbindungen synthetisiert (Shimizu et al., 1982; Rapp und Mandery, 1986; Rapp et al., 1986; Brunerie et al., 1987; Bock et al., 1988). Hefen sind in der Lage, in geringen Mengen Terpene zu synthetisieren. Diese geringen Mengen beeinflussen das originäre Terpenmuster von Gärungsgetränken nicht (Hock et al., 1984).

Ein Teil der Terpene liegt in glykosidischer Form gebunden, sensorisch inaktiv vor. Bei der Reifung der Trauben nehmen die hydroxylierten Terpene und die Terpenglykoside zunächst stärker zu als die freien Terpene. Gegen Ende der Reifung der Trauben steigen die freien Terpene, durch Spaltung der gebundenen, an (Belitz und Grosch, 1987; Ribéreau-Gayon et al., 2000b). Im Most vorkommende gebundene Terpene können durch verstärkte β-Glucosidaseaktivitäten in sehr unterschiedlichen Mengen freigesetzt werden (Strauss et al. in Parliment und Corteau, 1986; Wilson et al., 1986; Strauss et al., 1987; Matheis, 1992). Monoterpene, Norisoprenoide, Phenole und Ester werden vom N-Haushalt der Rebe direkt beeinflusst (Löhnertz, 1998).

Die Rebe kann sich durch ihre genetische Konstitution in einem gewissen Umfang an veränderte Standortbedingungen anpassen. Die Bildung verschiedener Substanzen, die in die Beeren eingelagert werden, ist sehr eng mit diesen Umweltinteraktionen verbunden. Nährstoffdefizite, wie anhaltende Trockenperioden und vielleicht eine Veränderung der Strahlungsbilanz hin zu einer höheren Energieintensität (UV-B Anteil), stellen Stressfaktoren für die Rebe dar (Löhnertz, 1996; Schultz und Löhnertz, 1998; Schultz et al., 2001). Infolge dieser Stresssituation kann es zur Bildung/Freisetzung von Substanzen kommen, die den Wert des Weines entscheidend beeinflussen können. Modellversuche zeigten, dass IAA zu AAP enzymatisch, unter Lichteinfluss und durch höhere Temperaturen umgesetzt werden kann (Christoph et al., 1996; Gessner et al., 1996). Christoph et al. (1998) entwickelten die Beobachtungen von Yang

und Saleh (1973) sowie Horng und Yang (1975) fort und zeigten die mögliche Bedeutung von schwefliger Säure in Anwesenheit von Manganionen und oxidierenden Komponenten, wie Peroxid- und Hydroxylradikalen, für die Umsetzung von IAA durch radikalische Kooxidation. Bei der Oxidation von Sulfit zu Sulfat werden Peroxid- und Hydroxylradikale gebildet, wobei der Pyrrolring der IAA oxidiert wird. Durch Pyrrolringsspaltung entsteht Formylaminoacetophenon (FAP), welches zu AAP hydrolysiert wird. Christoph et al. (1998) sehen hierin einen guten Erklärungsansatz für die phänomenkongruente Freisetzung von AAP in Wein und für die geringere Ausprägung des Fehlers bei Rotweinen durch Abfangaktivitäten phenolischer Inhaltsstoffe. 3-Methylindol (Skatol) und Formylaminoacetophenon wurden als Zwischenstufen des Bildungsweges von AAP von ihnen identifiziert. Ferner stellten sie fest, dass Indolmilchsäure, Indolbrenztraubensäure und Indol-3-essigsäureethylester in Gegenwart von SO₂ zu FAP und AAP umgesetzt werden. Christoph et al. (1998) kommen aufgrund der in Mosten und Weinen möglichen Konzentrationen an IAA von 50 µg/l, einem möglichen Pool an gebundener sowie durch fermentative Prozesse neu gebildeter IAA, durch die vorgeschlagene radikalische Kooxidation zum Schluss, dass im Jungwein vorliegende Mengen an freier IAA (zwischen 29-80 µg/l) zu AAP-Konzentrationen von mehr als 1 µg/l führen und den UTA auslösen können. Ein ähnlicher Stoffwechselweg existiert wahrscheinlich bei Lebensmitteln (Belitz et al., 2001), wo Skatol nicht-enzymatisch aus Tryptophan durch Strecker-Abbau, Oxidation zu IAA und Decarboxylierung entsteht (Abb. 6). Die oxidative Spaltung von Skatol führt über Formylaminoacetophenon zu AAP. IAA kann ebenfalls über zweifache Oxidation zu 3-(2-Formylamino-phenyl)-oxopropionsäure abgebaut werden, was direkt oder über Formylacetophenon zu AAP führt (Rapp und Versini, 2002).

IAA, ein Phytohormon, scheint eine besondere Bedeutung als Vorstufe für unerwünschte Substanzen im Zusammenhang mit dem UTA zu besitzen. Dementsprechend soll die Bedeutung von Phytohormonen und ihr Wirkmechanismus im Folgenden dargestellt werden. Darwin (1880) erkannte, dass Lichtreize von der Koleoptilspitze perzipiert werden, die Reaktion jedoch in der basalen Streckungszone stattfindet. Er folgerte, dass ein Signal durch das Gewebe transportiert werden muss. Bei der Wachstumskontrolle durch innere wie äussere Reize handelt es sich um eine stoffliche Beeinflussung. Die Substanzen, die die Zellstreckung verursachen, gehören zu den Phytohormonen. Hierunter sind Stoffe zu verstehen, die von der Pflanze synthetisiert und zu ihrem Wirkort transportiert werden, an dem sie in geringen Konzentrationen spezifische Reaktionen auslösen.

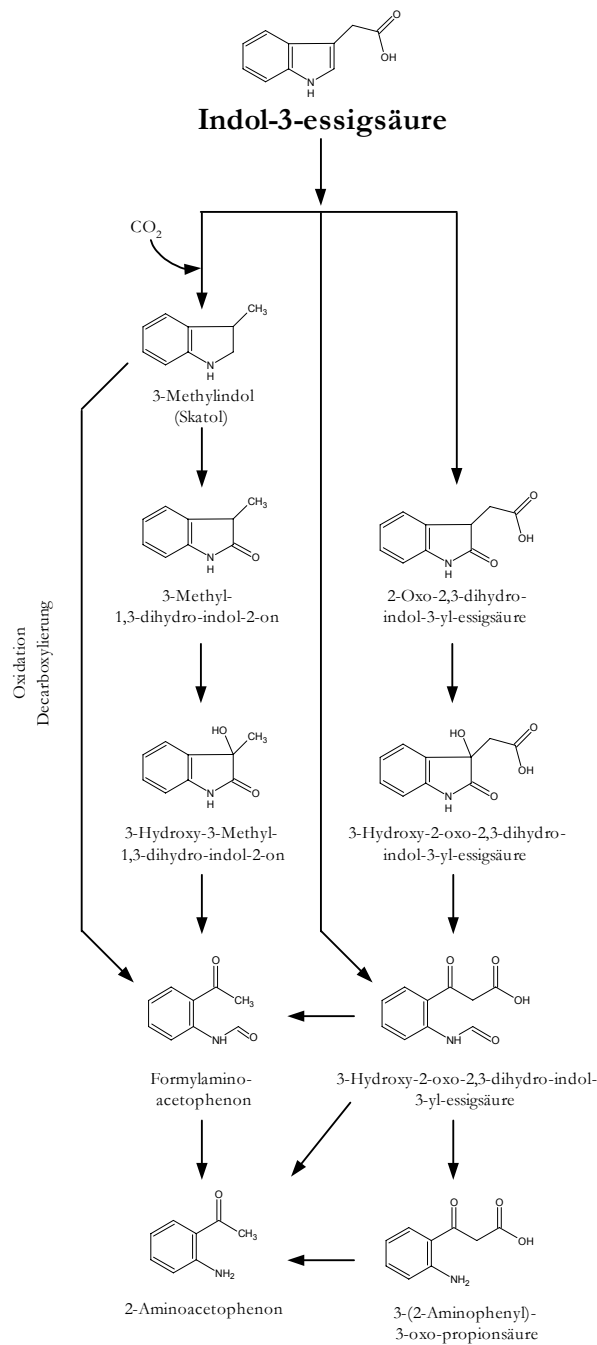


Abb. 6: Bildungswege fehltonrelevanter Substanzen aus Indol-3-essigsäure (Rapp und Versini, 2002; Christoph et al., 1998; Belitz et al., 2001)

Went (1928) wies die stoffliche Natur des Wachstumssignals nach und trennte den Perzeptions- vom Reaktionsort. Ferner lieferte er durch seine Untersuchungen die erste Möglichkeit zur Quantifizierung und die Definition für Auxine (griechisch = wachsen; Wuchsstoffe). Weiterhin wurde der polare basipetale Transport von der Sprossspitze bis zur Wurzel festgestellt. Mit einer Transportgeschwindigkeit von 1 cm/h wurde die auf der Grundlage einer Diffusion zu erwartende Grösse weit überschritten. Auxine kontrollieren entscheidende Wachstums- und

Entwicklungsprozesse bei Pflanzen. Kögl et al. (1934) isolierten aus Harn eine aktive Substanz, die als Heteroauxin bezeichnet wurde. Dabei handelte es sich um Indol-3-essigsäure (IAA), eine schwache organische Säure mit einem pK von 4,75 und einem Molekulargewicht von 175 D, dem in Pflanzen dominierenden Auxin, welches in meristematischem Gewebe gebildet wird. Auf welchem Weg IAA in Pflanzen synthetisiert wird, ist nicht bekannt.

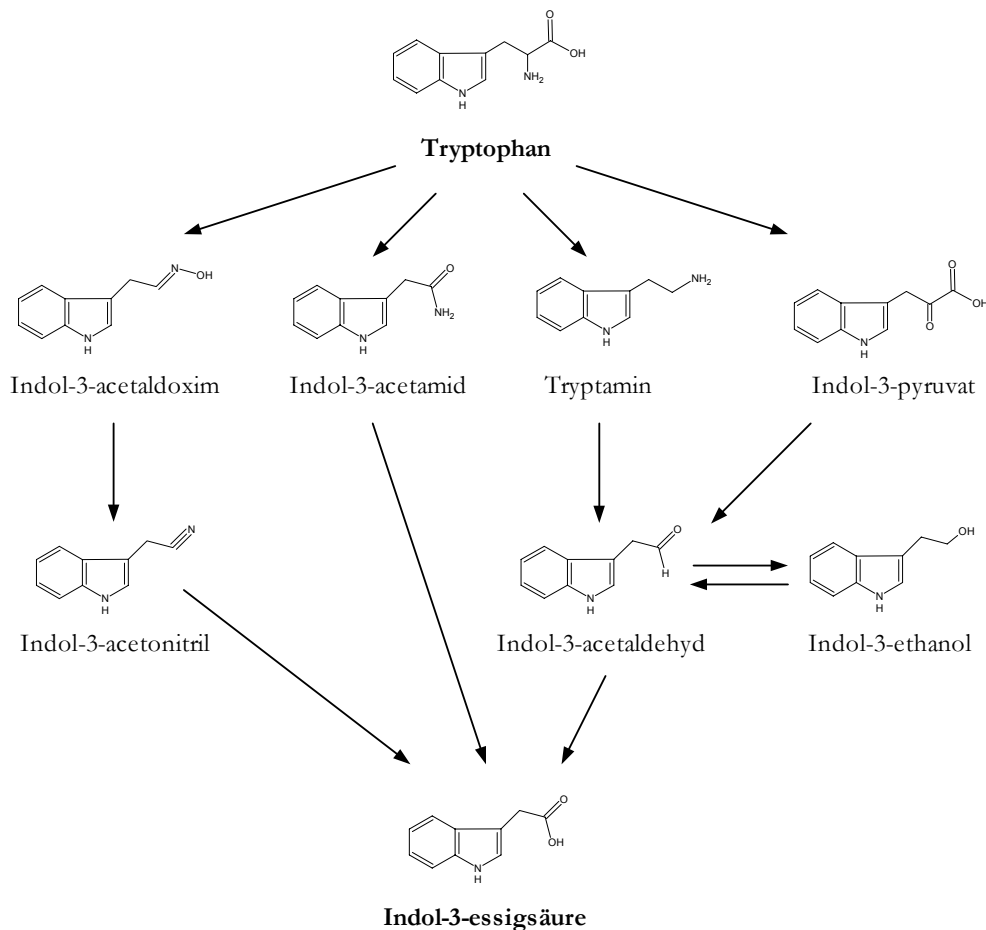


Abb. 7: Bildungswege von Indol-3-essigsäure aus Tryptophan (Bandurski und Schulze, 1977; Ludwig-Müller und Hilgenberg, 1988; Wöhler, 1990; Nonhebel et al., 1993)

Neben dem Ausgangsstoff Tryptophan zur Synthese von Indol-3-essigsäure (Abb. 7) über Indol-3-pyruvat (Nonhebel et al., 1993) und alternativ über Indol-3-acetaldoxim (Ludwig-Müller und Hilgenberg, 1988) gibt es eine tryptophanunabhängige Möglichkeit (Wright et al., 1991). Wright et al. (1991) gehen davon aus, dass der Hauptstoffwechselweg nicht Tryptophan gebunden ist. Bei den Synthesewegen von IAA aus Tryptophan werden Indol-3-acetaldoxim, Indolacetamid (Oxygenaseweg), Tryptamin (Decarboxylaseweg), oder Indol-3-Pyruvat (Transaminaseweg) als Intermediäre angesehen.

Dem Transaminaseweg wird die grösste Bedeutung zugeschrieben, da Tryptamin und Indol-3-acetaldoxime nicht in allen Pflanzen gefunden wurden (Nonhebel et al., 1993). Über eine Indol-3-pyruvat-decarboxylase, die Indol-3-pyruvat zu Indol-3-acetaldehyd umsetzt, ist in Pflanzen wenig bekannt. Wahrscheinlich reguliert die Indol-3-acetaldehyd-oxidase die IAA Synthese; sie kann durch IAA inhibiert werden.

Die Decarboxylierung von Tryptophan zu Tryptamin könnte einen weiteren Syntheseweg darstellen. Die Oxydation von Tryptamin zu Indol-3-acetaldehyd findet vermutlich durch eine unspezifische Amino-Oxidase statt.

Tryptophan kann über Indol-3-acetaldehyd oder Indolacetonitril zu IAA umgesetzt werden. Nitrilase, die Indol-3-acetonitril zu IAA umsetzt, kommt vermutlich nur in geringen Mengen vor. Normanly et al. (1995) kommen durch die Isolation eines Enzyms, das Indol-3-acetaldoxim zu Indol-3-acetaldehyd umsetzt, zum Schluss, dass Indol-3-acetaldoxim als IAA-Zwischenstufe in grösserem Masse vorhanden sein kann als angenommen. Die direkte Umsetzung über Indol-3-acetamid halten sie ebenso für möglich.

Eine reversible Beziehung zwischen Indol-3-acetaldehyd und Indol-3-ethanol scheint einen regulierenden Einfluss auf die IAA Synthese zu haben. Zwei verschiedene Enzyme katalysieren die Reduktion von Indol-3-acetaldehyd und Oxidation von Indol-3-ethanol. Ein Tryptophan unabhängiger Bildungsweg über Indol oder Indol-glycerin wird diskutiert. Ebenfalls wird der Bildungsweg von IAA über Anthranilat als möglich erachtet (Slovin et al., 1999).

IAA wird von Pflanzen in der konjugierten und wahrscheinlich nicht aktiven Form gespeichert. Diese Verbindungen regulieren den Auxinhaushalt der Pflanze und können bei Bedarf zu freiem IAA umgesetzt werden. Es gibt eine grosse Zahl an Verbindungen von IAA mit Zuckern (Ester) und Aminosäuren (Amide). IAA wird in der Pflanze oxidiert, wobei nicht geklärt ist, ob die Oxidation einen anderen Grund als die IAA-Inaktivierung hat (Slovin et al., 1999).

Der Wirkmechanismus kann bislang nur modellhaft beschrieben werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass bei der Zellstreckung die Zellwand durch den Turgor plastisch verformt und damit irreversibel gedehnt wird. Die Volumenzunahme erfolgt durch Wasseraufnahme, wobei sich das Plasma kaum vermehrt, während die Vakuole an Grösse stark zunimmt. Unterdessen wird neues Wandmaterial eingelagert. Auxin erhöht die plastische Dehnbarkeit der Zellwand und stimuliert so das Wachstum (Cleland, 1971). Die entgegengesetzte Reaktion der Wurzel auf Auxin ist ein interessantes Phänomen. Ein dem Rezeptor nachgeschaltetes regulatorisches Element, das den Effekt umkehrt, sodass eine Aktivierung des Rezeptors zur Hemmung des Wachstums führt, wäre eine mögliche Erklärung. Ebenfalls kann eine Änderung auf Rezeptorebene in Form einer Modifikation, die zu einer inversen Reaktion oder einer Hypersensibilisierung führt, als Erklärungsansatz gesehen werden.

Die Wirkungsausprägung ist von einem pflanzeigenen Rezeptor, einem Protein abhängig, das ein bestimmtes Hormon spezifisch bindet. Die Funktion der Bindestelle kann nach dem Konzept der „Zwei-Punkt-Bindung“ beschrieben werden. Sie kann von einem oder zwei Liganden belegt sein. Die Wirkung erfolgt ausschliesslich, wenn ein Auxin-Molekül beide Stellen in der richtigen Weise besetzt. Ein Anti-Auxin hemmt die Wirkung, indem nur eine Bindungsstelle besetzt wird. Dies ist bei hohen Auxinkonzentrationen wahrscheinlicher und erklärt die schwächere Wirkung überoptimaler Auxin-Konzentrationen. (Hertel, 1994; Fischer, 1995)

Die physiologische Wirkung des Auxins hängt von der Konzentration am Wirkungsort und von der Sensitivität und der Menge des Rezeptors ab. Die Konzentration am Wirkungsort ist von der Syntheserate bzw. der Freisetzung, dem Transport, der Konjugation, die eine Immobilisierung bewirkt und der Abbaurate abhängig. Die Einstellung der Auxin-Konzentration am Wirkungsort hängt wesentlich von der Regulation des Transportmechanismus ab. IAA wird vom Bildungsort durch das Gewebe transportiert, indem es von Zelle zu Zelle weitergegeben wird. Für den Transmembranflux von IAA ist ein Zusammenwirken von drei Transportmechanismen verantwortlich; Diffusion sowie Influx und Efflux, welche vermutlich von Auxin-Carriern vermittelt werden. (Hertel, 1983; Goldsmith, 1977). Phytohormone zeigen eine breite Palette von Reaktionsmustern, die gewebe- und/oder entwicklungsspezifisch realisiert werden. Die meisten Wirkungen werden nicht von IAA alleine sondern durch synergetische Effekte mehrerer Phytohormone ausgelöst. Weitere Beispiele für die Auxin-Wirkung sind die Förderung der Zellteilung, Differenzierung von Zellen, Hemmung der Knospeninduktion bei Apikaldominanz, Hemmung des Wurzelwachstums, Bildung von Adventivwurzeln, Erhöhung der Wasserpermeabilität, Änderung der Cytoplasmaströmung, Stomataapertur, Aktivierung von K^+ -Kanälen in Schliess- und Epidermiszellen, differenzielle Genaktivierung, Hyperpolarisation nach Depolarisation der Plasmamembran (Mohr und Schopfer, 1992; Loros und Taiz, 1982; Thimann und Sweeney, 1937; Marten et al., 1991; Blatt und Thiel, 1994; Ding und Pickard, 1993; Ballas et al., 1993; Felle et al., 1991). Die auxin-induzierte Transkription vieler Gene ist nicht auxin-spezifisch, sondern durch Salicylsäure induzierbar (Boot et al., 1993).

Nach Bates und Cleland (1979) lässt sich Auxin induziertes Wachstum durch Inhibitoren der Proteinsynthese effektiv hemmen. Edelmann und Schopfer (1989) leiteten hieraus ab, dass das Wachstum über die auxininduzierte Synthese, ein „growth limiting protein“ kontrolliert wird. IAA-induziertes Wachstum ist abhängig von der stetigen Sekretion eines „wall-loosening-factor“ über den Golgi-Apparat (Schindler et al., 1994). Die Stärke einer zellulären Antwort steigt nicht zwangsläufig linear mit der Hormonkonzentration. Dies kann nur eintreten, wenn jeder Rezeptor nur ein Hormonmolekül bindet und jeder Hormon-Rezeptor-Komplex auf ein Effektormolekül wirkt.

In diesem Zusammenhang ist oft eine nicht lineare Antwort, beispielsweise eine starke Reaktion auf eine minimale Änderung des Hormonspiegels über den Schwellenwert hinaus bis hin zu einer Alles-oder-Nichts-Reaktion zu beobachten. Reaktionen dieses Typs treten auf, wenn mehr als ein Hormonmolekül vom Rezeptor gebunden werden muss, um kooperativ den Effekt auszulösen und/oder wenn in der Signaltransduktion eine positive Rückkopplung auftritt (Fischer, 1995).

Ein erhöhter IAA-Umsatz ist bei Pflanzen mit erhöhter Anthranilat-Biosynthese und durch Umwelteinflüsse wie die Tageslänge zu beobachten. Einen Überblick über die Verteilung von IAA in Pflanzen in freier und in gebundener Form zeigen Bandurski und Schulze (1977).

Während der ersten Phase des Beerenwachstums nimmt IAA in Trauben zu, um kurz vor der Reife wieder abzunehmen. Die Gehalte liegen nach Düring (1977) in Trauben der Sorte Bacchus Ende Juli bei 167,5 µg/kg, Ende August bei 90 µg/kg und Ende September bei 35 µg/kg. Dollmann et al. (1997) fanden in Mosten IAA-Gehalte von 20 bis 380 µg/l. Hoenicke et al. (2001) wiesen in Mosten in Abhängigkeit vom Jahrgang zwischen 12 µg/l und 135 µg/l in Form von gebundener IAA nach, freie IAA war nicht nachweisbar (< 3 µg/l). Jahre mit ausreichendem Niederschlag wiesen höhere Werte auf als trockene Jahre. Frühe Lese, hohe Erträge und Entblätterungsmassnahmen führten zu einer Abnahme des IAA-Gehaltes. Zwischen dem IAA-Gehalt im Most und Wein und dem AAP-Gehalt im Wein konnte kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden. Weine mit einer stärkeren sensorischen UTA-Ausprägung weisen geringere IAA-Konzentrationen im Most auf, als Weine ohne UTA-Neigung (Hoenicke et al., 2001). Zwischen UTA-Neigung und IAA-Konzentration in der Traube konnten Linsenmeier et al. (2001 zitiert in Löhnertz, 2002) keinen Zusammenhang feststellen.

Dollmann et al. (1996) sehen Kynurenin, das sie in Traubenmost in einer Konzentration von 0-94 µg/l neben IAA (20-380 µg/l) nachweisen konnten (Dollmann et al., 1997) und nicht L-Tryptophan als Vorläufer von AAP an. Als Bildungsweg für AAP kommt der nicht-enzymatische Abbau von IAA in Frage (Dollmann et al., 1997).

Die Bildung von AAP über Formylkynurenin, das durch Pyrrolringspaltung aus Tryptophan entsteht wird gleichfalls angenommen. Luckner (1969) beschreibt einen Bildungsweg von AAP über Formylkynurenin. Die AAP Bildung aus Formylkynurenin auf chemischem Wege konnte von Christoph et al. (1998) nicht bestätigt werden. Kynurenin konnte ebenfalls nicht umgesetzt werden.

Die Pflanze reagiert auf Wassermangel mit geringerem Zellwachstum und einer Erhöhung des Abscisinsäuregehaltes (Lösch, 2001; Itai, 1999). Die Hemmung des Photosystems II durch erhöhte UV-B-Strahlung kann zu einer reduzierten Photosynthese führen, wodurch die Assimilationsleistung und die Einlagerung von Kohlenstoffen sinkt (Jansen et al., 1998). Der Abbau von Chlorophyll und Carotinoiden geht mit der Schädigung des Photosystems II einher. Bei *Riesling* Trauben wurde ein Carotinoidabbau durch UV-Licht beobachtet (Schultz et al., 2001). Aus dem Oxidationsprodukt von Zeaxanthin und Violaxanthin, Neoxanthin können Aromastoffe gebildet werden. Neoxanthin ist eine Zwischenstufe bei der Abscisinsäuresynthese (Zeevart, 1999) und stellt einen Precursor von β -Damascenon und 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalin dar (Belitz et al., 2001). Eine Anreicherung von Pigmenten bei UV-B-Strahlung kann durch Anregung der Phenylalaninlyase erfolgen (Rüegsegger, 1996; Tevini, 1996). Weitere Stoffe des Sekundärmetabolismus, wie Alkaloide und Polyamine, können synthetisiert werden (Jansen et al., 1998). Bei Wassermangel können Polyamine die Chloroplastenalterung bremsen und den Chlorophyllgehalt stabilisieren (Galston et al., 1997). Durch UV-Licht und Wassermangel können infolge von oxidativem Stress Antioxidantien angehäuft werden (Levin, 1999; Lösch, 2001). Eine erhöhte UV-B-Strahlung kann ähnliche Effekte auslösen.

Photosynthese, Licht (besonders im UV-Bereich), schneller Wechsel der Zelltemperatur und spezielle Enzyme können zu oxidativem Stress in der Pflanze führen (Levin, 1999).

Die meisten der bei der Photosynthese durch solare Energie aktivierten Elektronen werden zu speziellen Elektronenakzeptoren gebracht oder entweichen als Wärme oder Fluoreszenz. Bei starkem Lichteinfluss kann die Energie auf Sauerstoff ($^3\text{O}_2$) übertragen werden, was zu Singuletsauerstoff ($^1\text{O}_2$) führt (Levin, 1999). Der Elektronentransport des Photosystems kann Elektronen auf O_2 anstelle auf NADP^+ übertragen, was zur Bildung von Superoxid-Radikalen ($\text{O}_2^{\cdot-}$) führt (Mehler Reaktion; Mehler, 1951 zitiert in Polle, 1997). Durch die lichtabhängige Produktion von reaktivem Sauerstoff entsteht photooxidativer Stress. Superoxid-Radikale ($\text{O}_2^{\cdot-}$) können zur Bildung von H_2O_2 führen. In Anwesenheit von Metallen können durch Fenton Reaktion aus diesen zwei Radikalen Hydroxyradikale ($\cdot\text{OH}$) gebildet werden (Polle, 1997).

Durch Sauerstoffüberschuss oder bei Schliessen der Stomata wird im Calvin-Zyklus durch Rubisco weniger CO_2 aus der Atmosphäre aufgenommen, um Ribulose-1,5-bisphosphate zu carboxilieren und die Photosynthese wird gehemmt (Mengel, 1991). Rubisco reagiert in dieser Situation mit Sauerstoff, um die Photorespiration einzuleiten, wobei der Kohlenstoffgewinn beträchtlich verringert wird (Lea und Blackwell, 1992). Dabei wird etwa doppelt so viel Energie zur CO_2 -Freisetzung verbraucht als bei der CO_2 -Assimilation.

In den Peroxisomen wird durch das Flavoenzym Glycolat-Oxidase eine grosse Menge an H_2O_2 produziert. Photorespiration schützt vor einer starken Beeinträchtigung der Elektronentransportkette, die sonst zu Singlet-Sauerstoff führen würde, der das Photosystem II oder andere wichtige Komponenten beschädigen könnte und stellt somit einen „Sink“ für photosynthetische Energie dar (Polle, 1997; Levin, 1999; Lösch, 2001).

Durch Wasserstress wird die mitochondriale Atmung weniger als die Photosynthese beeinträchtigt, wobei starker Wasserentzug die Umsatzraten ebenfalls reduziert. Unter zellulärem Wassermangel wird wahrscheinlich die Permeabilität der inneren Mitochondrienmembran erhöht und Cytochrom c verstärkt gelöst, sodass der hierüber laufende Elektronenfluss negativ beeinflusst wird. Infolgedessen kann eine erhöhte Produktion von Sauerstoffradikalen induziert werden, welche aus den Mitochondrien in das Cytoplasma diffundieren und dort zu Enzym- und Membranveränderungen führen (Lösch, 2001).

Oxidativer Stress kann ebenfalls durch UV-B-Strahlung (280-320 nm) entstehen (Polle, 1997). Die Energie der UV-B-Strahlung kann hoch genug sein, um H_2O_2 in zwei Hydroxylradikale zu spalten (Levin, 1999). Neben der Glycolat Oxidase ist die Bildung von H_2O_2 durch weitere Oxidasen möglich (Levin, 1999).

Sauerstoffradikale können durch Oxidation der Membranlipide der Thylakoide, die Elektronentransportkette der Photosynthese stören und hemmen. Ebenfalls kann Chlorophyll abgebaut werden (Lösch, 2001). Sauerstoffradikale können zu Schäden und Mutationen bis hin zum Zelltod führen (Levin, 1999). Um auf freie Sauerstoffradikale reagieren zu können, werden von der Pflanze unter oxidativem Stress als Radikalfänger die reduzierenden Substanzen Ascorbinsäure, Tocopherol und Gluthation in allen Zellorganen und in den Chloroplasten Carotinoide vermehrt gebildet. Der Zelle stehen zur Sauerstoffentgiftung Enzymsysteme wie Gluthationreduktase, Peroxidasen, Superoxiddismutase und Ascorbatperoxidase zur Verfügung (Polle, 1997).

Sauerstoffradikale übernehmen eine Signalfunktion bei der Abwehr äusserer Stressfaktoren, was als „Oxidativ Burst“ bezeichnet wird (Doke, 1997). In Abhängigkeit von NAD(P)H führt eine biotische und abiotische Elicitierung der Pflanze zur Bildung von Sauerstoffradikalen (Doke 1997). UV-Bestrahlung wirkt in ähnlicher Weise wie andere Faktoren, die durch Zerstörung des Pflanzengewebes die Bildung von Radikalen fördern (Arnott und Murphy, 1991; Auh und Murphy, 1995). Durch Ca^{2+} -Ionen wird dabei die Bildung von Sauerstoffradikalen reguliert. Lipasen werden durch Ca^{2+} -Influx aktiviert, die Linol- und Linolensäure aus der Plasmamembran freisetzen. Nach enzymatischer Umsetzung entstehen Prostaglandine wie Jasmonsäure, die zur Genexpression und somit die Enzymsynthese anregt.

Die Bildung von Phytoalexinen, Polysacchariden, Glucanase, Chitinase, Proteinase Inhibitor I und II, Lipoxygenase, Phenylalanin-Lyase und die Chalkon-Synthase wird durch Jasmonsäure angeregt (Farmer und Ryan, 1990; Bell und Mullet, 1991; Gundlach et al., 1992; Creelman et al., 1992).

Die Induktion des hypersensitiven Zelltods ist eng mit der Phytoalexinbildung verbunden. Starker Ca^{2+} -Influx leitet den Zelltod ein. Die Membranpermeabilität wird durch freie Sauerstoffradikale verschlechtert, was dann zum Zelltod führen kann (Doke, 1997). Die Pflanze reagiert mit einer raschen Nekrotisierung des befallenen Gewebes und der Nachbarzellen auf Angreifer. Substanzen mit antibiotischer Wirkung können dort produziert, oder von umliegenden Zellen gebildet und in den toten Zellen akkumuliert werden (Brodschelm, 1995; Doke, 1997).

2.2 Substrateinflüsse und Hefenreaktion

2.2.1 Nährstoffverfügbarkeit

Der kritische Grenzbereich des Gehaltes an freien Aminosäuren in Traubenmosten, der als N-Mangelzustand für Hefen angesehen werden kann, wird von Rapp und Versini (1996a) unter 1300 mg/l gesehen. Moste aus den 70er Jahren zeigten Aminosäuregehalte bei der Rebsorte *Riesling* und gesundem Lesegut zwischen 2000-3000 mg/l und vereinzelt höhere Werte (Dittrich, 1987; Rapp und Reuther, 1971). In den Jahren 1993 und 1994 ermittelte Prior (1997) Gesamtgehalte an Aminosäuren mit vergleichsweise guter bis hoher Stickstoffversorgung zwischen 579 und 1521 mg/l.

Für die vollständige Vergärung eines Mostes benötigt die Weinhefe je nach Zuckergehalt ein Minimum von 100-200 mg N/l (Cantarelli, 1957; Agenbach, 1977; Bely et al., 1990; Henschke und Jiranek, 1993; Jiranek et al., 1995). Stickstoffverbindungen stellen für das Hefewachstum und den Metabolismus essentielle Nährstoffe dar. Lösliche Stickstoffverbindungen im Traubenmost kommen in einer Konzentration von 100 bis 1000 mg N/l vor. Die Stickstofffraktionen sind: freie Aminosäuren (25-30%), Polypeptide (25-40%), Proteine (5-10%) und das Ammonium-Kation (3-10% des gesamten Stickstoffs). Ebenfalls kommen in geringen Mengen Vitamine, Nucleotide, Nitrate und Amine vor. Prolin, Arginin, Alanin und Glutamat gefolgt von Glutamin, Serin, Threonin und GABA stellen mengenmässig den grössten Teil der Mostaminosäuren (Henschke und Jiranek, 1993). Den durchschnittlichen Aminosäurebedarf von *Saccharomyces cerevisiae* zeigt Abbildung 8 (Rauhut und Löhnertz, 1995). Arginin kann zwischen 30-50% des gesamten von der Hefe während der Gärung benötigten Stickstoffs ausmachen und kommt neben Prolin und Glutamin in höheren Mengen im Most vor (Rauhut et al., 1996). Als Reserve-Stickstoff für Mangelsituationen kann Arginin in der Vakuole der Hefezelle akkumuliert werden.

Während ihrer Vermehrung benötigt die Hefe etwa 1000 mg/l der vorhandenen Aminosäuren (Dittrich, 1987). Der Bedarf an Aminosäuren von verschiedenen Hefestämmen ist unterschiedlich (Rauhut et al., 1996). Ausser den Aminosäuren Prolin, Lysin, Cystein, Histidin und Glycin können die meisten N-Verbindungen von der Weinhefe als Stickstoffquellen genutzt werden. Kurzkettige Peptide mit bis zu 5 Aminosäurebausteinen können ebenfalls verstoffwechselt werden. Der Bedarf der Hefe für den Aufbau von Aminosäuren wird durch das leicht assimilierbare Ammonium-Kation gedeckt. In diesem Fall stellen Aminosäuren keine essentiellen Nährstoffe dar (Henschke und Jiranek, 1993).

Hefen können Aminosäuren durch Aufnahme und direktes Einfügen in Proteine (ohne Modifikation), Abbau und Verwendung des Stickstoffs für die Biosynthese von anderen Verbindungen unter Ausscheidung des Kohlenstoffgerüsts (Bildung von höheren Alkoholen) und als Kohlenstoffquelle für die Biosynthese anderer Verbindungen nutzen (Henschke und Jiranek, 1993).

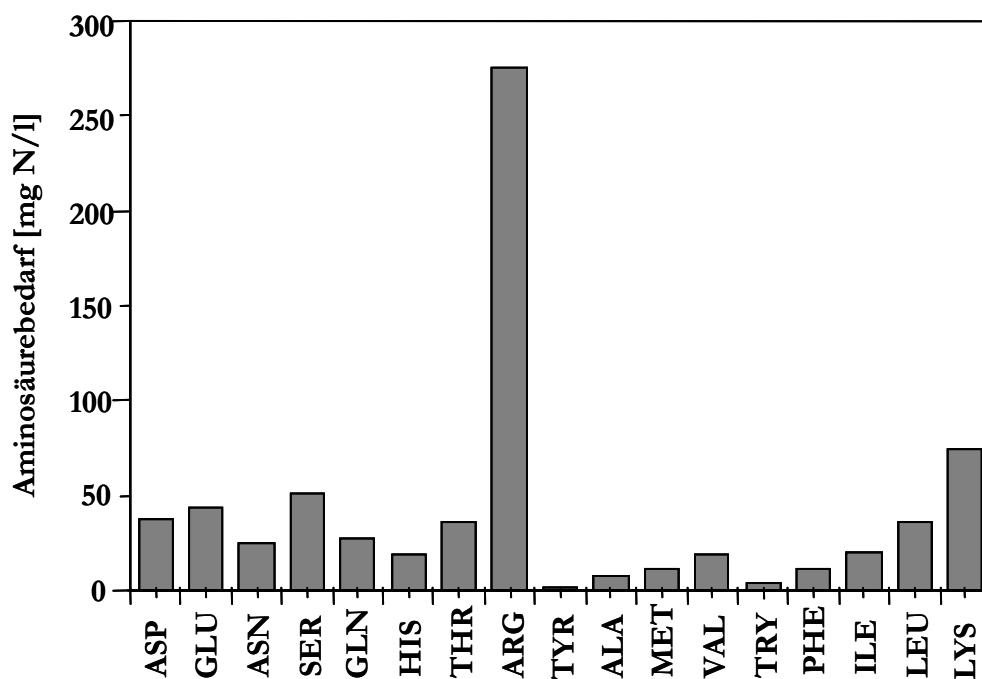


Abb. 8: Durchschnittlicher Aminosäurebedarf von *Saccharomyces cerevisiae* (Rauhut und Löhnertz, 1995)

Stickstoffmangel führt neben einer verminderten Hefevermehrung zu deformierten Zellen, die vorzeitig absterben. Verschiedene Stoffwechselreaktionen werden nachhaltig gestört. Hefen bauen unter Stickstoffmangel einen Teil der Transportproteine ab, welche am Transport der Zuckermoleküle aus dem Most in die gärende Zelle beteiligt sind.

Ein Mangel an hefeverwertbarem Stickstoff im Most führt zu Gärverzögerungen, Gärstockungen und/oder zu Fehlgärungen (Rauhut et al., 1996). Der hefeverwertbare Stickstoffgehalt in den Mosten hängt neben Bodenpflegesystem, Standraum, Laubarbeiten, *Botrytis*-Befall, Lesetermin, Ertrag (Löhnertz, 1998) wesentlich von der Sorte (Abb. 9) ab. Zwischen den einzelnen Sorten zeigen sich teilweise grosse Unterschiede, wobei die anderen aufgelisteten Faktoren bei der Interpretation dieser Daten berücksichtigt werden müssen.

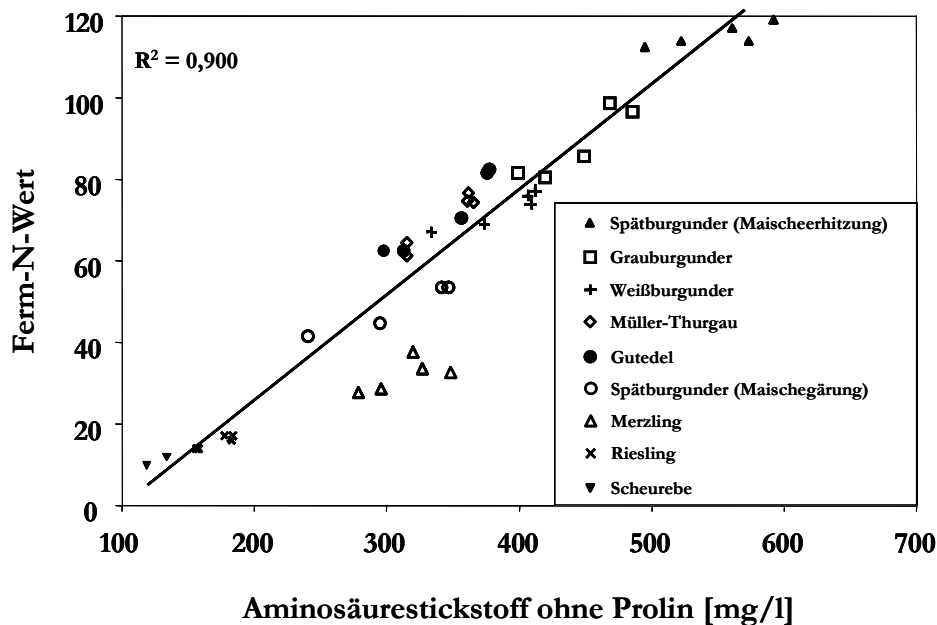


Abb. 9: Ferm-N-Wert und hefeverwertbarer Aminosäurestickstoffgehalt verschiedener Rebsorten, Freiburg-Baden (Sponholz et al., 2001a nach Amman, 1999)

Ein weiterer wichtiger Faktor zur Extraktion hefeverwertbarer Substanzen aus dem Traubenmaterial ist die Traubenverarbeitung (Abb. 10). Am meisten hefeverwertbarer Stickstoff wird freigesetzt, wenn die weisse Maische erhitzt wird, was sich aus organoleptischer Sicht infolge der hohen Extraktion von Polyphenolen verbietet. Der vergleichsweise hohe hefeverwertbare Stickstoffgehalt und die hohe antioxidative Kapazität durch Maischeerhitzung gewonnener Weine schützt vor UTA, während Rosé-Weine wieder mit dem UTA behaftet sein können. Bei einer konventionellen Pressung wird wesentlich weniger hefeverwertbarer Stickstoff freigesetzt. Der niedrigste Gehalt ist dann zu finden, wenn eine Ganztraubenpressung stattfindet, was häufig geschieht, wenn Weine für die Sektbereitung gewonnen werden sollen. Die zu diesem Zweck oft früh geernteten Trauben enthalten meist weniger hefeverfügbaren Stickstoff als die reiferen. Zusätzlich ist der Ertrag fallweise wesentlich erhöht, wodurch der N-Gehalt meist stark gemindert ist. Durch diese Konstellation kann es zu gravierenden Gärproblemen, besonders bei der Versektung kommen.

Ebenfalls muss in Betracht gezogen werden, dass es bei fortschreitender Reife besonders in Jahren mit hoher Temperatursumme zu einer Festlegung hefeverwertbarer Aminosäuren in Form von Proteinen kommt, die von der Hefe nicht ohne weiteres verwertet und teilweise bei den Vorklärungsmassnahmen mit dem Trub entfernt werden, sodass sie nicht mehr zur Verfügung stehen (Sponholz et al., 2001a).

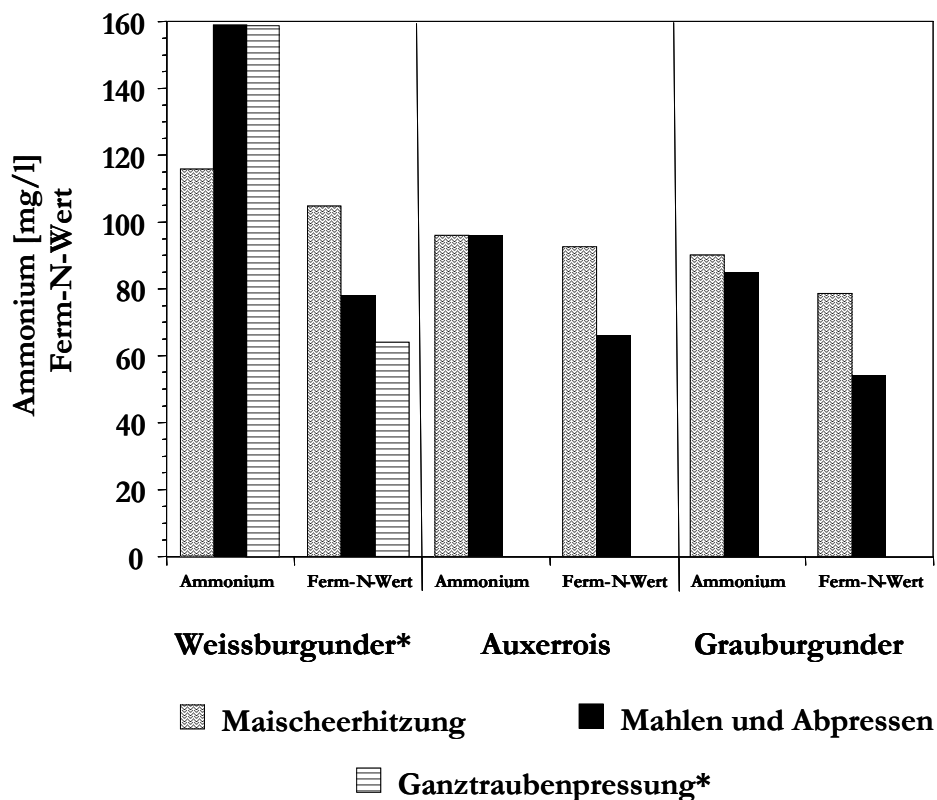


Abb. 10: Ferm-N-Wert und Ammoniumgehalt in Abhängigkeit des Extraktions- und Pressverfahrens, Trier-Mosel (Sponholz et al., 2001a)

2.2.2 Freisetzung/Bildung von Vorstufen und Aromastoffen

Die Gärgeschwindigkeit der geernteten Moste war im Jahre 1997 vom Ferm-N-Wert der Moste abhängig ($R^2 = 0,9748$) (Abb. 11). Der in den Mosten enthaltene verfügbare Stickstoff ist demnach für die Hefen von immenser Wichtigkeit. Dabei muss berücksichtigt werden, dass neben Stickstoff weitere wichtige Nährstoffe mit dem Transpirationsstrom in die Pflanze aufgenommen werden, die für die Hefe von grosser Bedeutung sind. Der Stickstoffgehalt der Moste wird wesentlich von der weinbaulichen Praxis bestimmt. Eine Düngung ist nur dann sinnvoll, wenn die Rebe den Dünger aufnehmen kann. Eine Zugabe von bis zu 100 kg N/ha hat keinen Einfluss, wenn der Weinberg nur gemulcht wird oder eine Bodenlockerung (sektorale

Oberflächenbearbeitung bis 20 cm) durchgeführt wird. Erst eine Bodenbearbeitung (Umbruch der Grasnarbe) bringt für die Aufnahme von Nährstoffen Erfolg, wobei dann die Stickstoffdüngung, zwischen 0-100 kg N/ha, nur noch graduelle Unterschiede erbringt. Ausschaltung der Konkurrenz, eine bessere Durchlüftung und damit eine Aktivierung des Bodenlebens könnten ausschlaggebend sein. Im Jahrgang 1998 war der Zusammenhang ($R^2 = 0,9152$) nicht so ausgeprägt aber noch deutlich. Bodenlockerung und Düngung zeigten Erfolge. Jahrgangsunterschiede spielen in unserem Klima mit seinen unterschiedlichen Niederschlägen eine wesentliche Rolle. Die Gärbedingungen nach starker Mostvorklärung bei Temperaturen unter 15°C können die Stresssituation für die Hefe noch verschärfen. Weine, die wesentlich auf die Gäraromatik abstützen, sollten nicht nur wegen des Verlustes an Frische, sondern auch wegen ihres mangelnden Nachlieferungsvermögens an sortenspezifischen Aromen und des vergleichsweise geringen Matrixeffektes sehr schnell konsumiert werden (Sponholz et al., 2001a).

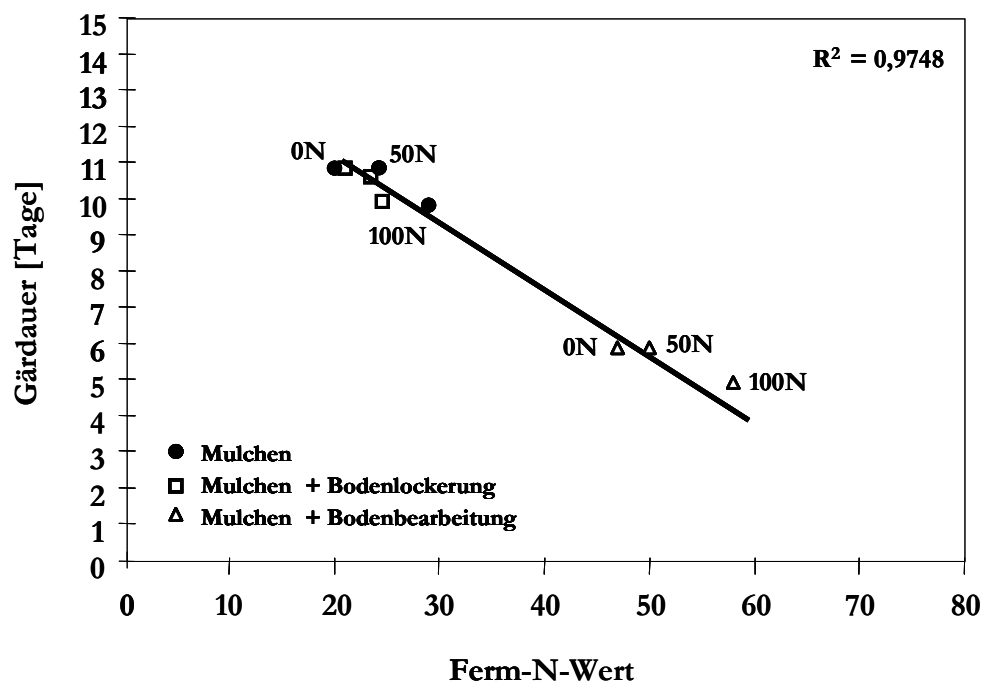


Abb. 11: Hefeverwertbarer Stickstoff (Ferm-N-Wert) und Gärdauer, Ihringen-Baden (Sponholz et al., 2001a nach Riedel und Seiters, 1999)

Ein Mangel an hefeverwertbarem Stickstoff während der Gärung führt zu unerwünschten Gärungsprodukten. Dieser Einfluss auf die Bildung von Böcksern wurde von Rauhut (1996) gezeigt. Da den Hefen während ihrer Vermehrung und des weiteren Stoffwechsels bei dem UTA-Phänomen oftmals keine ausreichenden Mengen Stickstoff und weitere benötigte Substanzen zur Verfügung stehen, ist eine Verknüpfung mit Böcksern oft gegeben (Sponholz und Hühn, 2001).

UTA und Böckser können sich überlagern und dann sensorisch nicht mehr gezielt angesprochen werden. Weine ohne Kupferschönung werden meist als wesentlich verschlossener beurteilt als solche mit einer Schönung. Erst wenn die maskierenden böcksernden Schwefelkomponenten aus dem Wein fallweise durch die Kupferschönung entfernt werden, wird erkennbar, dass „Antikwachs, Nasser Lappen, Fuselalkohol und Mottenkugeln“ zu den beschreibenden Attributen gehören.

Wie sehr schwefelhaltige Komponenten einen Einfluss auf die Beschreibung von UTA haben oder wie sehr sie den UTA-Charakter eines Weines mitprägen, wird durch direkte Vergleiche deutlich. Ethylmercaptan, Schwefelwasserstoff und Dimethylsulfid haben neben AAP einen hohen gemeinsamen Erklärungsanteil und lösen Geruchsassoziationen wie „Frucht, Zitrone und Apfel“ aus. Dabei zeigt sich, dass AAP in der geeigneten Konzentration ein Geruchsstoff wie bei Akazienblüten ist, und dass manche Schwefelverbindungen einen positiven Einfluss auf das Weinaroma ausüben vermögen. Dieses Phänomen wurde früher oft als Aromaböckser benannt. Methylmercaptan, Diethyldisulfid und Schwefelkohlenstoff sind eher mit „Nasser Lappen, Mottenkugeln und Fuselalkohol“ verbunden (Sponholz und Hühn, 2001). Rauhut und Kürbel (2002) konnten in Zusammenhang mit UTA Methional identifizieren, der am Aroma oxidierter Weine beteiligt ist (Escudero et al., 2000). Die Bildung kann aus Methionin oder Methionol erfolgen.

Der Gehalt an und die Komposition von Aminosäuren hat einen Einfluss auf die Bildung der aromawirksamen höheren Alkohole Propanol(1), Isobutanol, 2-Methyl-1-butanol und 2-Phenylethanol (Rapp und Versini, 1996a; Rapp und Frank, 1971). Konzentrationen unter 300 mg/l werden als erwünscht betrachtet (Henschke und Jiranek, 1993). In Abhängigkeit der Matrix können sie ein unangenehmes, raues Aroma aufweisen. Die Konzentration an Propanol(1) nimmt mit wachsender Stickstoffkonzentration zu, während die Gehalte an 2-Methyl- und 3-Methyl-1-butanol, Methionol und 2-Phenylethanol abnehmen. Dieser als Ehrlich-Reaktion bezeichnete Bildungsweg von höheren Alkoholen wird von der Hefe verwendet, um Ketosäuren, die aus der Desaminierung oder Transaminierung von Aminosäuren entstehen, auszuscheiden. Die Ketosäure wird zum Aldehyd decarboxyliert und danach zum Alkohol reduziert (Henschke und Jiranek, 1993). Neben der Synthese aus Aminosäuren können höhere Alkohole aus dem Zuckerstoffwechsel über die Zwischenprodukte der alkoholischen Gärung Pyruvat und Acetaldehyd und der entsprechenden Ketosäure, die zum Aldehyd decarboxyliert und dann zum Alkohol hydriert wird, entstehen (Rapp in Würdig und Woller, 1989b). Hexanol entsteht aus den ungesättigten langkettigen Fettsäuren Linol- und Linolensäure (Drawert et al., 1965).

Mit wachsender Stickstoffkonzentration kann die Zunahme einiger Gärungsester wie Essigsäureethylester und Essigsäure-2/3-methylbutylester festgestellt werden (Rapp und Versini, 1996a). Im Wein besteht eine positive Beziehung zwischen dem Gehalt an Aminosäuren und den Gehalten zahlreicher Fettsäureester und Carbonylverbindungen (Aldehyde) (Bleser, 1999).

Da bei Trockenstress der Pflanze der Phytohormonhaushalt deutlich beeinflusst werden kann, vermuten Rapp et al. (1995), dass Komponenten des Tryptophan-Auxin-Metabolismus die Schlüsselsubstanz für die Bildung von AAP darstellen. In Gärversuchen mit synthetischen Nährlösungen konnte eine von der Stickstoffquelle und der Zusammensetzung des Gärsubstrates abhängige Bildung von AAP festgestellt werden (Rapp et al., 1995). Die grössten Mengen an AAP wurden mit Tryptophan als einziger Stickstoffquelle gebildet. Die Zugabe von Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) zum Gärmedium, mit Tryptophan als einziger Stickstoffquelle, verminderte die Produktion von AAP. Die aus dem Hefestoffwechsel stammenden Gehalte von AAP lagen, mit Ausnahme bei Tryptophan als einziger Stickstoffquelle, deutlich unter den Konzentrationen, die im Wein den Fehlton hervorrufen können. Deshalb kommen Rapp und Versini (1995) zum Schluss, dass die Hefegärung keine bzw. eine untergeordnete Rolle für die Bildung von AAP spielt.

Anthranilsäure, Kynurenin (Gessner et al., 1996), Indol-3-essigsäure (Gessner et al., 1996; Dollmann et al., 1996) und Tryptophan (Rapp et al., 1995) werden in Gärversuchen zu 2-Aminoacetophenon umgesetzt. Durch radikalische Co-Oxidation kann 2-Aminoacetophenon aus Indol-3-essigsäure (Dollmann et al., 1996), Tryptophan, Indolpyruvat, Indolmilchsäure, Indol-3-essigsäureethylester und Formylacetophenon (Christoph et al., 1998) entstehen.

Gäransätze mit Tryptophan, Kynurenin und Indol-3-essigsäure als einzige Stickstoffquellen, führten zu zahlreichen weiteren Stickstoffverbindungen mit unangenehmer sensorischer Wirkung wie 3-Methylindol (Skatol), Indol und 3-Ethylindol (Rapp und Versini, 1998). Skatol, dessen Geruchsschwellen in Sonnenblumenöl 15,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$, auf Stärke 0,23 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und in Wasser 0,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Wasser) betragen, kommt in Jasmin vor und trägt in geringen Konzentrationen zum Geruch bei. Skatol spielt eine Rolle beim Aroma von Emmentaler-Käse und kann einen Aromafehler bei weissem Pfeffer verursachen. Es kann wahrscheinlich nicht-enzymatisch aus Tryptophan durch Strecker-Abbau entstehen. Die oxidative Spaltung führt zum animalisch riechenden AAP, dem Schlüsselaromastoff von Tortillas und Taco shells aus mit Kalk behandeltem Mais (Belitz et al., 2001).

Nach der Gärung konnte AAP bei Gärversuchen eines synthetischen Mediums unter Zusatz von Tryptophan (0,6 µg/l), IAA (bis 40 µg/l), Anthranilsäure (2 µg/l) und Kynurenin (0,4 µg/l) gefunden werden. Der Zusatz von L-Tryptophan und Niacin zum synthetischen Gärmedium erhöhte den Gehalt des gebildeten AAP nicht signifikant. Neben AAP konnten Formylaminoacetophenon, 3-Methylindol, Indolethanol und Essigsäure-indol-ethylester nachgewiesen werden (Gessner et al., 1996). Neben AAP wurde Aminopropiophenon und 3-Amino-phenyl-prop-1-enon identifiziert. Als mögliche Vorstufe wird Chorismat gesehen, das durch eine Isomerase und Dehydrase mit dem Cofactor Vitamin B12 zu Aminopropiophenon umgeformt wird und danach über Amino-phenyl-prop-1-en-3-on AAP entsteht (Ciolfi et al., 1996).

Durch Mostschwefelung, Mostoxidation, Klär- und Filtrationsverfahren, Mostenzymierung und Zentrifugation konnte kein nennenswerter Effekt auf die Ausprägung des UTA festgestellt werden (Köhler et al., 1996). Unterschiedliche Maischestandzeiten führen ebenfalls nicht zu veränderten Gehalten an AAP (Rapp und Versini, 1995). Durch den Einsatz von Behandlungstoffen wie Kasein, PVPP, Kieselsol und Gelatine konnte selbst bei Einsatz vergleichsweise hoher Dosagen keine Verminderung von AAP festgestellt werden. Eine Reduktion wurde durch Einsatz relativ grosser Mengen an Kohle und Bentonit erreicht (Rapp und Versini, 2002). Die Gärzalzzugabe zum Most konnte die Ausprägung des Fehltones nicht unterbinden (Rapp und Versini, 2002; Köhler et al. 1996).

Ein frühzeitiger Zusatz von Ascorbinsäure (150 mg/l) zu gefährdeten Weinen, bei gleichzeitigem Gehalt von 40 mg/l freier SO₂, kann nach Gessner et al. (1999) die Bildung des UTA vermeiden helfen. Ascorbinsäure kann die Superoxid- und Hydroxylradikale abfangen, wodurch die Spaltung des Pyrrolringes der IAA und somit die Bildung von AAP verhindert wird. Dies gilt ausschliesslich für am Ende der Gärung noch nicht vorhandenes AAP. Eine Behandlung mit Ascorbinsäure wird ausschliesslich für Weine empfohlen, die zum UTA neigen (Gessner et al., 1999). Phenolische Verbindungen bewirken in ausreichenden Konzentrationen eine entsprechende antioxidative Kapazität (Rechner et al., 1997). Hierin sehen Gessner et al. (1999) den Grund, dass in Rotweinen der Fehlton nicht auftritt. Dies trifft ebenfalls für Weissweine aus Pressmost und Maischegärungen zu, wo die Bildung von AAP durch Polyphenole weitgehend unterdrückt zu werden scheint (Rapp und Versini, 2002). Durch Zusatz von Kaffeesäure, Traubenkernen und Trester zu Traubenmost vor der Gärung konnte die Bildung von AAP teilweise gesenkt werden (Gessner et al., 1999).

Der Zusatz von Tocopherol und Gluthation kann teilweise zu geringeren Gehalten an AAP führen, jedoch können Bocksererscheinungen durch Zugabe von Gluthation unterstützt werden (Rauhut et al., 2001).

Nach der alkoholischen Gärung unterliegt der Wein ständigen Veränderungen. Positive sensorische Veränderungen werden als Reifung, negative Veränderungen als Alterung bezeichnet (Jakob in Würdig und Woller, 1989). Die Alterungserscheinungen sind von dem Phänomen des UTA abzugrenzen. Das Alterungsbukett (Ribéreau-Gayon et al., 1982) wird in ein oxidatives, das durch Acetaldehyd und Acetale geprägt wird, und in ein reduktives unterteilt. Während der Flaschenlagerung lassen sich zahlreiche Veränderungen in der Konzentration einzelner Aromastoffe feststellen (Singleton, 1995). Diese Veränderungen können im Wesentlichen in vier Gruppen eingeteilt werden (Rapp et al., 1985).

- Veränderung der Ester und Acetate

Einerseits nehmen die durch die Hefen gebildeten Acetate ab, andererseits nehmen Ethylester der Fettsäuren und andere Mono- und Dicarbonsäuren in einem Zeitraum von 4 bis 6 Jahren zu bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Dieser Prozess ist auf die Einstellung des chemischen Gleichgewichtes (Massenwirkungsgesetz) in saurer, ethanolhaltiger Flüssigkeit zurückzuführen.

- Bildung von Substanzen aus dem Kohlenhydratabbau

Durch Dehydratisierung entstehen in saurer Lösung aus Zucker Komponenten (2-Acetylfuran, 2-Hydroxymethylfuran, 2-Ethoxymethyl-5-furan), die einen karamellartigen Aromaeindruck hinterlassen.

- Veränderungen der Monoterpenkomponenten

Durch säurekatalysierte Reaktionen nehmen verschiedene Vertreter des sortentypischen Aromas (u.a. Linalool, Geraniol, Hotrienol und isomere Linalooloxide) ab. Vorher nicht im Wein vorhandene Komponenten wie cis- und trans-1,8-Terpin werden durch Cyclisierung, Hydratisierung und Umlagerung gebildet. Diesen Veränderungen wird eine grosse Bedeutung betreffend der Weinentwicklung zugeschrieben.

- Bildung / Freisetzung von Substanzen aus dem Carotinoidabbau

Die über diesen Bildungsweg entstehende Komponente 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) ist für die Ausbildung der Petrol- oder Kerosinnote verantwortlich und kann die Weinqualität entscheidend beeinflussen.

Die Bildung der isomeren Vitispirane, des TDN, des Damascenons und des Dihydroactinidiolids gehen auf den Carotinoidabbau während der Alterung des Weines zurück (Ohloff, 1978; Simpson, 1979). Als eine der Vorstufen des TDN wurde Lutein (3,3-Hydroxy-alpha-carotin) identifiziert (Marais, 1992). Für die Freisetzung und die damit verbundene Aktivierung einer Vielzahl von Aromakomponenten aus Carotinoiden sind verschiedene Bildungswege im Zusammenhang mit hydrolytischen Reaktionen bekannt (Williams et al., 1992; Winterhalter, 1992). Eine Möglichkeit besteht in der direkten Spaltung des Glycosids, bei der das aromawirksame Aglycon frei wird. Eine andere existiert über polyhydroxylytischverknüpfte Aglycone (Polyone) und säurekatalysierten Reaktionen bei der vorwiegend Norisoprenoide und Terpene entstehen. Marais et al. (1992a) sieht den Hauptweg der TDN-Bildung über die Zwischenstufe 3-Oxo- α -ionon in Gegenwart einer organischen Säurelösung unter Ringschluss zum 3,4-Dihydro-2(1H)-naphthalinon und weiterer Reduktion und Dehydratation.

In wärmeren Regionen können höhere β -Carotingehalte erreicht werden als in kühleren Klimaten. Der Luteingehalt steigt zu Ungunsten anderer Carotinoide mit zunehmender Reife an. Schattentrauben enthalten gegenüber der Sonne exponierten höhere Carotinoid- und niedrigere Zuckerkonzentrationen (Marais et al., 1991). Parallel zum Carotinoidabbau durch Sonnenstrahlen in unbeschatteten Trauben nehmen die TDN- und Norisoprenoidgehalte zu. Die Gehalte an TDN und den C₁₃-Norisoprenoiden nehmen mit zunehmender Reife zu (Marais et al., 1992a). *Riesling* Weine kälterer Klimate zeigen vergleichsweise ein deutlich höheres Potenzial an TDN, was sich aber in Bezug auf den freigesetzten Anteil zu Ungunsten wärmerer Regionen umkehrt (Marais et al., 1992b). Lagerzeit und Lagertemperatur wirken sich positiv auf die Freisetzung von TDN aus (Marais et al., 1992c).

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsdesign

Da die Wahrnehmung der fehltonverursachenden Substanzen von dem Vorhandensein und der Konzentration anderer wertbestimmender Inhaltsstoffe abhängig ist, werden Untersuchungsansätze gewählt, die das Phänomen der Bildung relevanter Substanzen zu beobachten ermöglichen. Diese Untersuchungsansätze führen vom Ausgangspunkt der Bildung wertbestimmender Inhaltsstoffe, dem Stoffwechsel der Rebe über die alkoholische Gärung bis hin zum Ausbau und zur Reifung der Weine.

3.1.1 Einflussfaktoren der typischen Weinentwicklung

3.1.1.1 Rebsorten und Hefen

Zur Überprüfung der Einflüsse verschiedener Rebsorten (*Riesling* Kl. 239-34, *Niagara*, Gm 7815-1) auf das Bildungs-/Freisetzungsvermögen von als sortenspezifisch eingestuften Aromastoffen (2-Aminoacetophenon, 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon (Furaneol), 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon (Mesifuran), Anthranilsäuremethylester, Anthranilsäureethylester) durch Hefen wurde folgender Untersuchungsansatz gewählt:

Die Moste der Rebsorten *Riesling* Kl. 239-34 (82°Oe, 13,5g/l Gesamtsäure, pH 2,97), *Niagara* (95°Oe, 7,5 g/l Gesamtsäure, pH 3,31) und Gm 7815-1 (77°Oe, 15,5 g/l Gesamtsäure, pH 3,0), der Herkunft Rz, wurden mit einer Entkeimungsfilterschicht (Seitz) sterilfiltriert. Je 300 ml Most wurden mit 40 mg der Hefen: 1. Lalvin AMH (*S.c.*), 2. Uvaferm CEG-Epernay 2 (*S.c.*), 3. Zymaflore VL1(*S.c.*), 4. Lalvin E (*S.c. bayanus*), 5. Lalvin ICV (*S.c.*), 6. Oenoferm Klosterneuburg- LW415-58 (*S.c.*), 7. Siha 4-WET136 (*S.c.*), 8. Siha 7-D576 (*S.c.*), 9. Siha 8-WF748 (*S.c.*) nach Rehydrierung bei 35°C, 20 min und 10. *Kloeckera apiculata*-SMB, 11. *Metschnikowia pulcherrima*-SMB und 12. Hefemischung (2. Uvaferm CEG-Epernay 2 (*S.c.*) + *Kloeckera apiculata* + *Metschnikowia pulcherrima*) nach Rekultivierung inokuliert und in einer sterilen Schottflasche bei 18°C im Kühlbrutschrank mit einer Wiederholung vergoren. Um den Einfluss von Thiamin auf den Stoffwechsel der Hefen zu untersuchen, wurde unter Zusatz von 300 mg/l Thiamin ein Parallelversuch durchgeführt. Die Gärdynamik wurde durch Kontrolle der Gewichtsabnahme überwacht.

3.1.1.2 Rebsortenklone und Hefen

Die vier Geisenheimer *Riesling* Klone 64, 110, 198 und 239 der Jahrgänge 1980-92, wie die Kreuzungen *Arnsburger* (*Riesling* Kl. 88 Gm x *Riesling* Kl. 64 Gm) und Gm 7012-1 (*Arnsburger* x *Riesling* Kl. 239 Gm) der Jahrgänge 1985-92 wurden sowohl sensorisch (Rangordnungsprüfung, DLG 5-Punkte Schema) als auch auf den Gehalt an 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin untersucht. Alle Versuchsweine (Herkunft Rz) wurden in Glasbehältern unter kontrollierten Bedingungen einer Mikrovinifikation mit dem Hefestamm Uvaferm CEG-Epernay 2 (*S.c.*) (Inokulationsmenge 20 g/hl) unterzogen.

Um den Einfluss von folgenden Hefen: 1. Zymaflore VL1(*S.c.*), 2. Siha 8-WF748 (*S.c.*), 3. Oenoferm Klosterneuburg-LW415-58 (*S.c.*), 4. Siha 7-D576 (*S.c.*), 5. Uvaferm CEG-Epernay 2 (*S.c.*), 6. Lalvin V (*S.c.*), 7. Lalvin AMH (*S.c.*), 8. Lalvin E (*S.c. bayanus*) und einer 9. Spontangärung auf die Freisetzung/Bildung von 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin im Wein zu prüfen, wurden Mikrovinifikationsversuche (Hefeinokulationsmenge 20 g/hl) in Glasbehältern an verschiedenen Standorten (Ke, Rz) mit Mosten der Rebsorte *Riesling* durchgeführt. Zusätzlich wurde der Einfluss einer Mostpasteurisation (82°C, 2 min) auf die Konzentration der untersuchten Substanz in einem Parallelversuch (Standort Ke) geprüft.

3.1.1.3 Gärungsbedingungen und Hefen

Die Gärversuche wurden mit einem *Riesling* Traubenmost (62°Oe, 55,8 g/l Glucose, 63,8 g/l Fructose, angereichert auf 90 g/l Glucose und 90 g/l Fructose, 8,5 g/l Gesamtsäure, pH 3,3), Herkunft Rz bei 15°C und 20°C und einem synthetischen Medium, der Aminosäurekombination II (ASII nach Rauhut, 1996) bei 20°C durchgeführt (Tab. 1). Folgende Hefestämme (*Saccharomyces cerevisiae*), Herkunft SMB wurden geprüft: 1. Steinberg (STG), 2. Assmannshausen (AMH), 3. Hautvillers (HVS), 4. Epernay 2 (CEG), 5. Geisenheim 49 (G49), 6. Schartzhofberg (SHG), 7. Geisenheim 33 (G33), 8. Geisenheim 74 (G74), 9. Ay (CAY) und eine Trockenreinzuchtheife 10. Siha 3 (SH3). Die Gärversuche (650 ml) wurden in sterilen Glasflaschen (0,75 l) nach Inokulation (6,5 ml Hefesuspension) in Kühlbrutschränken unter temperaturkontrollierten Bedingungen durchgeführt. Eine Überwachung der Gärndynamik erfolgte durch Kontrolle der Gewichtsabnahme. Mittels Zählkammerverfahren (Bürker) und Methylenblaufärbung wurden nach Inokulation folgende Zellkonzentrationen in Klammern in 10⁶ Zellen/ml festgestellt: 1. Steinberg (0,65), 2. Assmannshausen (0,77), 3. Hautvillers (0,43), 4. Epernay 2 (0,84), 5. Geisenheim 49 (0,66), 6. Schartzhofberg (0,56), 7. Geisenheim 33 (0,86), 8. Geisenheim 74 (1,85), 9. Ay (0,64), 10. Siha 3 (0,68).

Zur Herstellung des synthetischen Mediums werden 90 g/l Glucose, 90 g/l Fructose, 5 g/l Weinsäure, 3 g/l Äpfelsäure, die Aminosäurekombination in bidest. Wasser gelöst. Anschliessend werden der Lösung 2,3 g/l Kaliumhydroxid-Plätzchen zugegeben und somit pH 3,2 eingestellt. Je 1 Liter der Aminosäurekombination wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurden 6,7 g/l Hefe-Stickstoff-Basis ohne Aminosäuren und ohne Ammoniumsulfat (Difco 0335-15) und 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Tab. 1: Zusätze von Aminosäuren zur Aminosäurelösung II (ASII nach Rauhut, 1996)

Aminosäuren	Konzentration		Aminosäure-N [mg/l]	Herkunft	Bestellnr.
	[mg/l]	[mmol/l]			
L-Glutamin	205	1,40	39,3	Fluka	49419
L-Serin	40	0,38	5,3	Fluka	84960
L-Asparaginsäure	40	0,30	4,2	Fluka	11190
L-Glutaminsäure	50	0,34	4,8	Fluka	49449
L-Threonin	60	0,50	7,1	Fluka	89179
L-Alanin	55	0,62	8,6	Fluka	05129
L-Arginin	350	2,01	112,5	Fluka	11009
L-Prolin	100	0,87	12,2	Fluka	81709
L-Valin	15	0,13	1,8	Fluka	94619
L-Tryptophan	10	0,05	1,4	Fluka	93659
L-Isoleucin	15	0,11	1,6	Fluka	58879
L-Leucin	6	0,05	0,6	Fluka	61819
L-Phenylalanin	6	0,04	0,5	Fluka	78020
L-Ornithin	2	0,02	0,4	Fluka	75440
L-Lysin	4	0,03	0,8	Fluka	62840
L-Histidin	30	0,19	8,1	Fluka	53319
L-Tyrosin	8	0,04	0,6	Fluka	93829
L-Methionin	5	0,03	0,5	Fluka	64319
Σ	1001	7,11	210,0		

3.1.2 Einflussfaktoren der atypischen Weinentwicklung

3.1.2.1 Umweltbedingungen der Reben

Feldversuch 1

Der Einfluss kurzwelliger, energieintensiver Strahlung wurde 1997 mit einem Screeningversuch durch das Überspannen von 10 Stöcken der Rebsorte *Müller-Thurgau* (Standort: Halbinsel Au, Wädenswil, Übergang von Braunerde zu Parabraunerde pH (CH): 6,1-6,8, pH (D): 5,5-6,1, 440 m.ü.M., Südexposition, Jahresniederschläge: 1400 mm, Pflanzjahr: 1988, Unterlagen: 5C, 5BB) mit einer Folie (LDPE Polymer, Dicke: 100 µm, Stabilisatorkomponente: sterisch gehindertes Amin, UV-Absorber: Benzophenon, Wirksamkeit: UV-B (280-320 nm) voll, UV-A partiell, Weisspigment: Titanoxid) direkt nach dem Austrieb geprüft. Die Folie wurde wie ein Sonnenschirm über die gesamte Rebzeile gespannt. So wurde vor allem der Bereich der Triebspitze geschützt. Dieser Ansatz wurde so gewählt, weil die Triebspitze einen Synthesort von Indol-3-essigsäure als mögliche Vorstufe von unerwünschten Aromakomponenten wie 2-Aminoacetophenon und 3-Methylindol (Skatol) darstellt und die juvenilen Blätter besonders wenig vor Strahlung geschützt sind. Parallel dazu wurden 2 Kontrollen mit je 10 Stöcken und eine Stressvariante mit ebenfalls 10 Stöcken untersucht.

Die 1997er Versuchsvarianten wurden in 10 l Glasballons temperaturkontrolliert (18°C) spontan ohne jeglichen Zusatz vergoren; anschliessend geklärt und SO₂-stabilisiert (30 mg/l freie SO₂).

Feldversuch 2

Da der Folienschirm mehrmals von Hagel zerstört wurde, wieder aufgezogen werden musste und durch den Schirm ein gewisser Treibhauseffekt entstehen kann, wurde der Screeningversuch 1998 mit einem UV-Absorber der Novartis Crop Protection AG fortgeführt. Der Absorber wurde während der Endreifephase zweimal in die Traubenzone appliziert. Die Ausbringung des Absorbers erfolgte mit einem Rückentragesprühergerät.

Folgende vier Varianten wurden nach morphologischer Beurteilung der Reben und aufgrund von Beobachtungen mit je 15 Rebstöcken und einer Wiederholung angelegt: „behandelt/gestresst“, „unbehandelt/gestresst“, „behandelt/Kontrolle“, „unbehandelt/Kontrolle“.

Bodenbeschreibung Varianten „gestresst“: A Horizont: Lehmboden, 10-15% Skelettanteil, 3,6-4% Humus Mischgefüge mit geringem Krümelanteil, grobpolyedrig. Der B Horizont fehlt an diesem Standort. Im Zuge eines Wegebbaus, Planung 1962 wurde die Parzelle abhumusiert und der B Horizont in den Steilhang als Aufschüttung verschoben. Dadurch wurde der Boden bis auf den C Horizont abgetragen.

Der C Horizont besteht aus sehr dichtgelagertem, sandigem Lehm ohne Bodenskelett. Es handelt sich um einen durch den Gletscher stark verdichteten Rohgesteinsboden ohne Bodenskelett. Vereinzelt finden sich grosse Steine darin. Der Schluffanteil ist relativ hoch.

Bodenbeschreibung Kontrollvarianten: A Horizont: Lehmboden, 10-15% Skelettanteil, 3,6-4% Humus, Mischgefüge mit mittlerem Krümelanteil, feinpolyedrig. B Horizont: Lehmboden, nach unten nimmt der Skelettanteil bis auf 50% zu, oxidativer Verwitterungshorizont, hohe Wurmaktivität, nach unten immer mehr Sand bis sandiger Lehm. C Horizont: kalkhaltige locker verbundene Nagelfluh, wasserundurchlässig.

Der Standort zeigt eine physiologische Gründigkeit von 23 cm im „gestressten“, eine von 70 cm im Bereich der Kontrollvariante. Aus diesem Grund leiden die Reben in der „gestressten“ Teilparzelle relativ schnell unter Wasserstress. Der Wassermangel führt zu einem Absinken der Bodenaktivität und damit zu Stickstoffmangel. Hier kann darum jedes Jahr je nach Jahresniederschlagsverteilung N-Mangel beobachtet werden. Die Parzelle wird seit 1992 ohne mineralischen Stickstoff bewirtschaftet. Die Stickstoffernährung läuft darum zu 100% über die Mineralisierung, also über die Bodenaktivität. Die Parzelle zeigt schnell Wassermangel, was im Boden und an den Pflanzen nachvollzogen werden kann.

Die 1998er Versuchsvarianten wurden in 25 l Glasballons temperaturkontrolliert (18°C) spontan ohne jeglichen Zusatz vergoren; anschliessend geklärt und SO₂-stabilisiert (30 mg/l freie SO₂).

Feldversuch 3

Versuchsanlage wie Feldversuch 2. Der Feldversuch wurde wegen starker Niederschläge und infolgedessen der Zerstörung der Grundlage für die Versuchsauswertung abgebrochen.

Feldversuch 4

Versuchsanlage wie Feldversuch 2 mit Konzentrationen des UV-Absorbers von 1 und 1,5%. Der Feldversuch wurde wegen phytotoxischer Effekte und infolgedessen der Zerstörung der Grundlage für die Versuchsauswertung abgebrochen.

Feldversuch 5

Der unterschiedliche Effekt des Einsatzes eines UV-B-Absorbers in der Laubwand oder in der Traubenzone sowie einer Blattdüngungsmassnahme wurde 2001 in einer Rebparzelle (Zürichsee, Halbinsel Au, 440 m.ü.M., durchschnittlicher Jahresniederschlag 1400 mm, Südexposition, Pflanzjahr 1988, Unterlage 5C u. 5BB, seit 1992 keine mineralische N-Düngung, Braunerde-Parabraunerde, pH 6,1-6,8) mit vierfacher Wiederholung untersucht. Pro Wiederholung wurde eine Kontrollvariante, die nur mit Wasser behandelt wurde, eine blattgedüngte Variante und je

zwei UV-B geschützte Varianten angelegt. Der UV-B-Absorber (Syngenta Crop Protection AG) war entweder in der Traubenzone oder in der Laubwand (Blätter über der Traubenzone) eingesetzt worden. Die Ausbringung erfolgte in einer Konzentration von 0,5% (v/v) ab dem 2. August 2001 alle 14 Tage. Der Blattdünger (Wuxal[®], Maag Agro AG, N 100 g/l, P 100 g/l, K 75 g/l, Fe 185 mg/l, Mn 160 mg/l, B 100 mg/l, Cu 80 mg/l, Zn 60 mg/l, Mo 10 mg/l) wurde auf die Blätter über der Traubenzone appliziert. Der Blattdünger war in einer Konzentration von 0,5% (v/v) eingesetzt und ab 2. August alle 14 Tage auf die Blätter über die Traubenzone appliziert worden. Die Ausbringung der Behandlungsmittel erfolgte mit einem Rückentragesprühergerät.

Weiterhin wurde bei der Weinbereitung pro Wiederholung eine Kontrollvariante mit einem Zusatz von 300 mg/l L-Arginin (Fluka 11009) vergoren, um den Einfluss der verbesserten Versorgung der Hefe auf die Bildung/Freisetzung von Aromastoffen im Wein zu prüfen. Der Versuchsplan geht aus Tabelle 2 hervor.

Tab. 2: Versuchsplan Feldversuch 5

Wiederholung	Bezeichnung/Variante	Behandlung
1.1-4.1	Kontrolle	Wasser
1.2-4.2	Blattdüngung	Wasser + Blattdünger
1.3-4.3	UV-B-Schutz Traubenzone	Wasser + UV-B-Schutz Traubenzone
1.4-4.4	UV-B-Schutz Laubwand	Wasser + UV-B-Schutz Laubwand
1.5-4.5	Kontrolle + Arginin	Kontrollvariante mit Argininzusatz

Die Ernte erfolgte am 16. Oktober 2001. Alle Versuchsvarianten wurden getrennt verarbeitet. Nach der Pressung wurden Mostproben entnommen und bis zum Zeitpunkt der Analysen bei -18°C gelagert. Die Moste wurden mit 50 mg/l SO₂ behandelt, entschleimt, auf den gleichen Trubgehalt (200 NTU) eingestellt und bei 19°C mit Reinzuchtheefe (Zymaflore VL 3 S.c., Lallemand, Montréal, CAN, 20 g/hl) vergoren (2 Liter, Lichtabschluss). Eine Überwachung der Gärdynamik erfolgte durch Kontrolle der Gewichtsabnahme. Nach beendeter Gärung wurden die Proben geklärt, von der Hefe abgezogen und mit 50 mg/l SO₂ behandelt. Die Weinproben wurden je nach Analysentyp entweder im Kühlschrank bei 4°C oder tiefgekühlt bei -18°C bis zum Zeitpunkt der Analysen gelagert.

UV-Bestrahlungsversuch

Zur Durchführung des UV-Bestrahlungsversuches wurden die Substanzen Tryptophan (Fluka 93659), Indol-3-essigsäure (Fluka 57330), Indolpyruvat (Aldrich I5567) und Gramin (Aldrich

G10806), zu einer synthetischen Weinlösung gegeben. Für die synthetische Weinlösung werden 5 g/l Weinsäure und 50 ml Ethanol in einem 1 Liter Wasser gelöst. Anschliessend wird der pH-Wert mit Natriumhydroxid auf 3,2 eingestellt.

Für die Ansätze mit UV-Bestrahlung wurden die entsprechenden Mengen in 1 l synthetisches Medium (5% vol Alkohol) gegeben und diese Menge geteilt. Ein Teil wurde in 0,5 l Weissglasflaschen und ein anderer in 0,5 l Braunglasflaschen gefüllt und mit einem Schraubverschluss verschlossen. Die Ansätze in den Weissglasflaschen wurden mit UV-Licht bestrahlt. Der Abstand der Lampe (Phillips HB 405/A, HPA-Lampe 400 Watt) zu den Flaschen betrug 1,5 m. Die Bestrahlung wurde bei einer Raumtemperatur von 12°C durchgeführt. Durch die Bestrahlung erwärmte sich der Flascheninhalt auf max. 20°C. Diese Temperatur blieb während der Bestrahlungsdauer von 35 Stunden konstant. Die Ansätze in den Braunglasflaschen wurden nicht bestrahlt und bei 12°C dunkel gelagert.

Antioxidatives Potenzial von Indolderivaten

Zur Bestimmung des antioxidativen Potenzials wurden je 10 mg der Substanzen Ascorbinsäure (Fluka 95210), Tryptophan (Fluka 93659), Indolylacetonitril (Aldrich 12,945-3), Indolpyruvat (Aldrich I5567), Indol-3-essigsäure (Fluka 57330), Hydroxytryptophan (Hydroxytryptophanhydrat, Aldrich 107751), 5-Hydroxyindolessigsäure (Fluka 55360), Serotonin (Serotoninhydrochlorid Fluka 85036), Melatonin (Fluka 63610) und Gramin (Aldrich G 10806) in einen 100 ml Messkolben gebracht, in 12 ml Alkohol gelöst und anschliessend mit bidest. Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Anschliessend wurde mit der TEAC-Methode (Trolox-Equivalent-Antioxidative-Capacity) nach Miller et al. (1993) die antioxidative Kapazität bestimmt.

Oxidation von Indolpyruvat

Der Traubensaft wurde mit Natriumhydroxid-Plätzchen auf pH 6,5 eingestellt und durch Einblasen mit einer Fritte mit 20 mg/l reinem Sauerstoff versetzt. Anschliessend wurden je 100 ml mit Indolpyruvat (0,1; 1; 10; 100 mg/l) angesetzt und 6 ml der Tyrosinase (EC 1.14.18.1, Sigma T7755) oder Wasser zugegeben. 4,2 mg Enzym wurden in 100 ml bidest. Wasser gelöst. 6 ml dieser Enzymmenge entsprechen 1500 U. Nach 30 Minuten wurde das Spektrum von 250-650 nm bestimmt.

Bei den Versuchen mit Wasser wurden Indolpyruvat (Aldrich I5567) (0,1; 1; 10; 100 mg/l) und Kaffeesäure (Fluka 60020) (200 mg/l) / Catechin (Fluka 22130) (300 mg/l) zugegeben.

Nach Zugabe von 5 ml Tyrosinase oder Wasser wurde mittels Magnetrührer 30 min bei 500 U/min gerührt. Dabei wurden 8,3 mg Tyrosinase in 50 ml bidest. Wasser gelöst. Dies entspricht einer Enzymmenge von 5000 U. Anschliessend wurde das Spektrum von 250-650 nm bestimmt.

Wirkung von Ascorbinsäure

Bei den Versuchen mit IAA (Fluka 57330) (0,1 mg/l) wurden Ansätze in synthetischer Weinlösung mit Mangan (Fluka 63554) (1 mg/l), mit Mangan (1 mg/l) und SO₂ (50 mg/l), mit Mangan (1 mg/l) und SO₂ (50 mg/l) und Ascorbinsäure (Fluka 95210) (150 mg/l) vorgenommen. Für die synthetische Weinlösung wurden 5 g/l Weinsäure (Fluka 95310) und 50 ml Ethanol (Fluka 2883) in einem 1 Liter Wasser gelöst. Anschliessend wurde der pH-Wert mit Natriumhydroxid (0,1 mol/l, Riedel de Haën 35263) auf 3,2 eingestellt.

Als Kontrolle diente ein Ansatz ohne IAA mit Mangan (1 mg/l). Je Ansatz wurden 750 ml hergestellt und auf 3 Flaschen (250 ml) verteilt. Je eine Flasche pro Ansatz wurde direkt nach der Herstellung analysiert. Die anderen 8 Ansätze wurden bei 12°C unter Lichtabschluss gelagert. Nach 1 Monat und 2 Monaten wurde jeweils 1 Flasche pro Ansatz analysiert.

3.1.2.2 Substratbedingungen der Hefen

Gärversuchsprogramm 1

Die Gärversuche wurden mit der Aminosäurekombination II (ASII) nach Rauhut, (1996) (Tab. 2) und einem Mostmedium durchgeführt. Zur Herstellung des synthetischen Mediums werden 90 g/l Glucose (Fluka 49140), 90 g/l Fructose (Fluka 47740), 5 g/l Weinsäure (Fluka 95310), 3 g/l Äpfelsäure (Fluka 2308) und die Aminosäurekombination in bidest. Wasser gelöst. Anschliessend werden der Lösung 2,3 g/l Kaliumhydroxid-Plätzchen (Fluka 60370) zugegeben und somit pH 3,2 eingestellt. Je 1 Liter der Aminosäurekombination wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurden 6,7 g/l Hefe-Stickstoff-Basis ohne Aminosäuren und ohne Ammoniumsulfat (Difco 0335-15) und 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Traubensaft (*Riesling*) wurde von 72°Oechsle auf 90 g/l Glucose und 90 g/l Fructose eingestellt. Je 1 Liter des Traubensaftes wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurde 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Zusatz der Substanzen Indol-3-essigsäure (Fluka, 57330) (0,1; 10; 100 mg/l) oder Indol-3-essigsäureethylester (Alfa Aesar A13474) (0,1; 10; 100 mg/l) erfolgte nach dem Autoklavieren und Abkühlen des Mediums unmittelbar vor der Gärung. Dabei wurde 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben. Mit der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* (Uvaferm CEG, 200 mg/l) wurde unmittelbar vor der Gärung angeimpft. Die Gärung erfolgte im Klimaschrank unter Lichtabschluss bei 20°C. Eine Überwachung der Gärndynamik erfolgte durch Kontrolle der Gewichtsabnahme.

Die Kontrollvarianten wurden mit den jeweiligen Mikroorganismen ohne Zusatz von Indol-3-essigsäure und Indol-3-essigsäureethylester durchgeführt. Zur Überprüfung des Zerfalls wurden weitere Kontrollvarianten mit den Substanzen angelegt.

Durch das synthetische Medium sollte moderater Stress für die Hefen ausgelöst werden. Die Analyse der Proben erfolgte direkt nach der alkoholischen Gärung sowie nach SO₂-Stabilisierung (50 mg/l) und 6 monatigen Lager bei 20°C.

Gärversuchsprogramm 2

Die Gärversuche wurden mit der Aminosäurekombination II (ASII) nach Rauhut (1996) (Tab. 2) durchgeführt. Zur Herstellung des synthetischen Mediums werden 90 g/l Glucose (Fluka 49140), 90 g/l Fructose (Fluka 47740), 5 g/l Weinsäure (Fluka 95310), 3 g/l Äpfelsäure (Fluka 2308) und die Aminosäurekombination in bidest. Wasser gelöst. Anschliessend werden der Lösung 2,3 g/l Kaliumhydroxid-Plätzchen zugegeben und somit pH 3,2 eingestellt. Je 1 Liter der Aminosäurekombination wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurden 6,7 g/l Hefe-Stickstoff-Basis ohne Aminosäuren und ohne Ammoniumsulfat (Difco 0335-15) und 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Zusatz der Substanzen Indol (Fluka 57190) (0,1; 10; 100 mg/l), p-Aminobenzoessäure (Fluka 06930) (0,1; 10; 100 mg/l), Indolpyruvat (Aldrich I5567) (100 mg/l), Indol-3-essigsäure (Fluka 57330) (0,1; 10 mg/l), Indol-3-essigsäureaspartat (Sigma I9387) (0,1; 0,4; 1; 10 mg/l), Indol-3-essigsäurealanin (Sigma I9262) (0,2; 0,4 mg/l), Gramin (Aldrich G10806) (0,1; 10; 100 mg/l), Kynurenin (Sigma K8625) (0,1; 10; 100 mg/l), 5-Hydroxytryptophan (Aldrich 107751) (100 mg/l), 5-Hydroxytryptamin (Fluka, 85036) (100 mg/l), N-Acetyl-5-methoxytryptamin (Fluka 63610) (100 mg/l), 5-Hydroxyindolessigsäure (Fluka 55360) (100 mg/l), Jasmonsäure (Sigma J2500) (0,05; 0,1; 0,2; 1; 2; 10 mg/l) Jasmonsäuremethylester (Aldrich 39270-7) (0,1; 10; 100 mg/l) und Abscisinsäure (Fluka 00012) (1 mg/l) erfolgte nach dem Autoklavieren und Abkühlen des Mediums kurz vor der Gärung. Dabei wurde Thiamin und Hefe-Stickstoff-Basis (Difco) zugegeben. Die Hefe *Saccharomyces cerevisiae* (Uvaferm CEG, 200 mg/l) wurde unmittelbar vor der Gärung zugegeben. Die Gärung der Versuchsansätze einschliesslich der Kontrollvarianten erfolgte im Klimaschrank bei 18°C unter Lichtabschluss. Eine Überwachung der Gärdynamik erfolgte durch Kontrolle der Gewichtsabnahme. Durch das synthetische Medium sollte moderater Stress für die Hefen ausgelöst werden. Die Proben wurden direkt nach der alkoholischen Gärung untersucht.

Gärversuchsprogramm 3

Die Gärversuche wurden mit der Aminosäurekombination II (ASII) nach Rauhut, (1996) (Tab. 2) und einem Mostmedium durchgeführt. Zur Herstellung des synthetischen Mediums werden 90 g/l Glucose (Fluka 49140), 90 g/l Fructose (Fluka 47740), 5 g/l Weinsäure (Fluka 95310), 3 g/l Äpfelsäure (Fluka 2308) und die Aminosäurekombination in bidest. Wasser gelöst. Anschliessend werden der Lösung 2,3 g/l Kaliumhydroxid-Plätzchen zugegeben und somit pH 3,2 eingestellt. Je 1 Liter der Aminosäurekombination wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurden 6,7 g/l Hefe-Stickstoff-Basis ohne Aminosäuren und ohne Ammoniumsulfat (Difco 0335-15) und 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Traubensaft (*Müller-Thurgau*) wurde vor der Gärung mit 17 g/l Glucose und 17 g/l Fructose auf 180 g/l vergärbaren Zucker angereichert. Je 1 Liter des Traubensaftes wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurde 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Zusatz der Substanzen Indol-3-essigsäureaspartat (Sigma I9387) oder Gramin (Aldrich G10806) erfolgte nach dem Autoklavieren und Abkühlen der Medien (Synthetisches Medium, Mostmedium) kurz vor der Gärung. Dabei wurde Thiamin und Hefe-Stickstoff-Basis (Difco) zugegeben. Die Hefe *Metschnikowia pulcherrima* (Herkunft SMB) wurde in einer Konzentration von $1,5 \times 10^5$ KBE/ml, *Kloeckera apiculata* (Herkunft SMB) mit $1,5 \times 10^5$ KBE/ml angeimpft. Die Inokulationsmenge der Hefe Uvaferm CEG (*S.c.*) wurde zur Angleichung der Populations- und Gärndynamik auf 5 mg/l reduziert. Bei den Varianten in denen alle drei Hefen zum Einsatz kommen sollten, wurden *Metschnikowia pulcherrima* und *Hanseniaspora uvarum* mit der Hälfte dieser Menge inokuliert. Nach etwa 1/3 der Gärung wurde *Saccharomyces cerevisiae* (200 mg/l) zugegeben. Die Gärung der Versuchsansätze einschliesslich der Kontrollvarianten erfolgte im Klimaschrank bei 20°C unter Lichtabschluss. Eine Überwachung der Gärndynamik erfolgte durch Kontrolle der Gewichtsabnahme.

Gärversuchsprogramm 4

Die Gärversuche wurden mit der Aminosäurekombination II (ASII) nach Rauhut, (1996) (Tab. 2) und einem Mostmedium durchgeführt. Zur Herstellung des synthetischen Mediums werden 90 g/l Glucose (Fluka 49140), 90 g/l Fructose (Fluka 47740), 5 g/l Weinsäure (Fluka 95310), 3 g/l Äpfelsäure (Fluka 2308) und die Aminosäurekombination in bidest. Wasser gelöst. Anschliessend werden der Lösung 2,3 g/l Kaliumhydroxid-Plätzchen zugegeben und somit pH 3,2 eingestellt. Je 1 Liter der Aminosäurekombination wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wurden 6,7 g/l

Hefe-Stickstoff-Basis ohne Aminosäuren und ohne Ammoniumsulfat (Difco 0335-15) und 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Traubensaft (*Müller-Thurgau*) wurde vor der Gärung mit 17 g/l Glucose und 17 g/l Fructose auf 180 g/l vergärbaren Zucker angereichert. Je 1 Liter des Traubensaftes wird anschliessend in 1 l Schott-Flaschen gefüllt und bei 121°C während 20 min autoklaviert. Vor der Gärung wird 0,6 mg/l Thiamin (0,76 mg/l Thiaminchlorid, Merck 1.08181) zugegeben.

Der Zusatz von Jasmonsäure (Sigma J2500) (0,1; 1 mg/l) zum Traubenmost bzw. dem synthetischen Medium (ASII) erfolgt nach dem Abkühlen unmittelbar nach Zugabe der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* (Uvaferm CEG (*S.c.*), 200 mg/l). Im synthetischen Medium (ASII) werden zusätzlich Varianten angelegt, in denen beim Zusatz der Jasmonsäure (Sigma J2500) (0,1; 1 mg/l) eine Belüftung über ein Venturirohrsystem während 20 s/d (ca. 0,1 mg/l/d O₂) durchgeführt wird.

Die erste Probeentnahme erfolgt zum Zeitpunkt des Versuchsansatzes im gärfähigen Gebinde. Die Gärung erfolgt im Klimaschrank bei 21°C. Während der Gärung werden die Proben täglich gewogen und jeweils nach 25, 50, 75 und 100% fortgeschrittener Gärung beprobt.

Zur Bestimmung der Analysenparameter (IAA, AAP) in den Hefezellen werden die Hefezellmembranen aufgeschlossen. Zu 10 ml homogener, trüber Probe werden 400 µl Lyticaselösung (250 U/ml, 1M Sorbitol, 100 mM EDTA, pH 7,5, Lyticase Sigma L2524) zugegeben, auf dem Vortex (15 s) durchmischt und für 2 h bei 37°C inkubiert. Danach werden 3 g Glaskugeln zugegeben und auf dem Vortex geschüttelt (2 min). Die Probe wird anschliessend zentrifugiert (5 min, 4000 Upm) und filtriert.

3.2 Enzymatische und physikalisch/chemische Analytik

3.2.1 Standardparameter

Die Gesamtsäure der Moste und Weine wurde titrimetrisch bestimmt und als Weinsäure berechnet. Die Weinsäure wurde colorimetrisch, der Alkoholgehalt nach Destillation titrimetrisch nach Rebelein (in Tanner und Brunner, 1987) bestimmt.

Extinktionen

Die Bestimmung der Extinktion erfolgte mit einem Spektrophotometer (Perkin Elmer Lambda 16). Dabei wurden die Wellenlängen im UV-Bereich zwischen 250-340 nm gemessen. Zur Bestimmung in diesem Wellenlängenbereich wurden die Proben 1:5 (v/v) oder 1:100 (v/v) verdünnt und in einer Quarzküvette mit 1 cm Schichtdicke bestimmt. Die Bestimmung der Extinktion von 340-650 nm wurde unverdünnt in einer Kunststoffküvette mit 1 cm Schichtdicke durchgeführt.

Enzymatische Analysen

Im Most und Wein wurden folgende Parameter enzymatisch mit Enzymtestkits von Boehringer Mannheim bestimmt: D-Gluconsäure (Kit Nr. 0428 191), Bernsteinsäure (Kit Nr. 176 281), L-Äpfelsäure (Kit Nr. 139 068), D/L-Milchsäure (Kit Nr. 1112 821) und Essigsäure (Kit Nr. 148 261). Zusätzlich wurden nach der Gärung der Gehalt an Glucose + Fructose (Restzucker) (Kit Nr. 139 106), Glucose (Kit Nr. 139 106), Glycerin (Kit Nr. 148 270) quantifiziert. Die Analyse wurde mit Hilfe eines Laborautomaten (Mascott Plus, Hycel Groupe), der aus einer Dosier- und Pipettierstation, einer Messstation und einer Programmierstation besteht, durchgeführt. Die Messungen wurden nach den Anwendungsrichtlinien der Enzymkits von Boehringer Mannheim durchgeführt (N.N., 1995).

Zur Bestimmung der Menge an intrazellulärem Glycerin, die ebenfalls enzymatisch erfolgte, wurden 40 ml einer homogenen Probe bei Raumtemperatur fünf Minuten bei 4000 Upm zentrifugiert, der Überstand dekantiert und zum Sediment wurden 2 ml 5%ige Trichloressigsäure (m/v) (Fluka 91230) in H₂O zugegeben. Während einer 45 minütigen Inkubationszeit wurde im Abstand von 10 Minuten geschüttelt und anschliessend bei 4000 Upm 10 Minuten zentrifugiert. Danach wurde im Überstand mittels enzymatischer Analyse der Glyceringehalt bestimmt. Ebenfalls wurde das Feuchtgewicht und das Trockengewicht der Hefemassee nach 60 Minuten bei 105°C bestimmt.

3.2.2 Aminosäuren und Gramin

Die gesamten Aminosäuren wurden nach Lebet et al. (1994) durch Ionenaustauschchromatographie aufgetrennt und mittels einer Nachsäulenderivatisierung mit Ninhydrin spektrophotometrisch bestimmt.

Die freien Aminosäuren der Moste und Weine wurden mittels Vorsäulenderivatisierung mit Phenylisothiocyanat und anschließender Trennung mit HPLC nach der Methode von Bidlingmeyer et al. (1985) bestimmt. Die Graminbestimmung erfolgte mittels HPLC nach Kämpfer (2002).

3.2.3 Indol-3-essigsäure

Die Methode zur Bestimmung der freien IAA mittels HPLC-FLD (Hoenicke et al., 2001) wurde von Linsenmeier (2002) modifiziert. Hierzu werden 2 ml Probe mit 2 ml Indolpropionsäure (Fluka 57400; 0,1 mg/l) als internen Standard versetzt und mit NaOH-Lösung auf pH 6-7 eingestellt. Mittels Festphasenextraktion wird die Probe eluiert. Es wurde dazu ein starker Anionentauscher SAX (Merck) 500 mg benutzt. Zur Säulenvorbereitung werden 2 ml MeOH, 2 ml Elutionslösung 2 (5% vol Acetonitril (LABC 9017.2504), 5,7% vol Essigsäure (Fluka 45731), 89,3% vol bidest.), 2 ml bidest. in dieser Reihenfolge aufgegeben. Danach werden 2 ml der aufbereiteten Probe aufgegeben. Anschließend wird die Säule mit 15 ml Elutionslösung 1 (5% vol Acetonitril, 95% vol bidest.) gewaschen. Zur Elution werden 2 ml Elutionslösung 2 verwendet. Die anschließende HPLC-FLD Analyse erfolgte mit einem HP 1090 Chromatograph. Als Trennsäule wurde ein LiChrospher (Merck) Rp-18 (5 µm, 250 x 3 mm) eingesetzt. Der Säulenofen wurde auf 35°C eingestellt. Als Eluenten dienten die Lösung A: 0,1% Trifluoressigsäure (Fluka 91703), und Lösung B: Acetonitril. Mit dem Fluoreszenzdetektor wurde bei einer Extinktion von 255 nm und einer Emission von 360 nm gemessen (Linsenmeier, 2002).

3.2.4 Aromastoffe

Zur Bestimmung der Konzentration an 2-Aminoacetophenon, 3(2H)-Furanone: 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon (Furaneol), 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon (Mesifuran), Anthranilsäuremethylester, Anthranilsäureethylester und 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin wurde eine GC-MS-Technik (HP-6890/Quadrupole) nach kontinuierlicher Flüssig-Flüssig-Extraktion (12 h) mit Dichlormethan bei 38,5°C und weiterer Konzentration des Aromaextraktes mittels Vigreux-Kolonnen auf 100 µl angewandt (modifiziert nach Rapp et al., 1976). Als interner

Standard diente Naphthalin (NAP) (Fluka, 70211). Bis zu 5 µl des Aromaextraktes wurde in ein Kaltaufgabesystem (KAS 4-Gerstel) splitlos (0,5 min) injiziert. Die Programmparameter für das Kaltaufgabesystem waren: Anfangstemperatur 70°C, Aufheizrate 10°C/s auf 240°C, 1 min halten. Die aus einer Carbowax 20 M (Länge: 50 m, Durchmesser: 320 µm, Filmdicke: 0,3 µm Flussrate: 1,5 ml/min, Trägergas: Helium) austretenden Komponenten wurden im Single-Ion-Monitoring Modus (Fenster 1: 102, 128, 142, 157, 172; Fenster 2: 65, 92, 120, 135; Fenster 3: 92, 119, 151, 165) mittels Massenspektrometer analysiert. Die Berechnung der Konzentrationen erfolgte über die Massen 120 (AAP), 120 (Furaneol), 142 (Mesifuran), 120 (Anthranilsäuremethylester), 120 (Anthranilsäureethylester), 157 (TDN) und 128 (NAP).

Neben der Analyse des freien TDN im Wein wurde das potenzielle durch eine saure Hydrolyse bei einem pH-Wert von 1 über 4 Stunden bei 50°C durchgeführt (Marais, 1992). Zur künstlichen Alterung wurden 100 ml Wein mit 30% H₂SO₄ auf einen pH-Wert von 1 eingestellt und zum Schutz vor Oxidation mit N₂-Gas überschichtet. Nach vierstündiger Wärmebehandlung bei 50°C erfolgte nach einer kurzen Abkühlzeit die Einstellung des ursprünglichen pH-Wertes mit 30% KOH von ca. 3,1, um die weitere Einwirkung des hohen Säuregehaltes zu unterbinden. Im Anschluss daran wurden die Proben extrahiert.

Zur Bestimmung der Konzentration an 2-Aminoacetophenon (AAP), Indol und 3-Methylindol (Skatol) in den Versuchsweinen wurde ferner ein GC (HP-6890) mit N-Chemilumineszenzdetektor oder massenselektivem Detektor eingesetzt. 10 ml Probe werden 30 min mittels Ster Bar Sorption Extraction (Twister 10 mm Magnetstab, 0,5 mm Polydimethyl-Siloxan-Beschichtung) aufbereitet. Der Magnetstabs mit den adsorbierten Aromasubstanzen wurde mit bidest. Wasser abgespült und mit einem fusselfreien Tuch getrocknet. In einem Thermo-desorbitionssystem wird der Magnetstab auf 200°C aufgeheizt und die desorbierten Substanzen in einem Kaltaufgabesystem mit flüssigem Stickstoff kondensiert und cryofokussiert. Die Proben wurden mittels GC-MS nach der Methode von Sponholz et al. (2001b) analysiert und im SIM (Single Ion Monitoring) Modus detektiert. Als interner Standard diente Anthranilsäureethylester. Programmparameter des Kaltaufgabesystems: Anfangstemperatur 50°C, Aufheizrate 12°C/s auf 280°C, 1 min halten. Trennsäule: DB5 (Länge: 50 m, Durchmesser: 320 µm, Filmdicke: 0,3 µm Flussrate: 1,5 ml/min, Trägergas: Helium).

Zur Analyse der Proben beim Versuch zum Einfluss der Gärungsbedingungen und Hefen wurde die Kaltron-Methode (Rapp et al., 1994) angewandt. Dabei werden 10 ml der klaren Probe in ein Spitzbodenzentrifugiergläschen (Gesamtvolumen 15 ml) mit Glasschliff eingefüllt und mit 10 µl

einer 1,1,2-Trichlortrifluorethan Lösung (Kaltron) und 5 µl einer 0,2%igen Standardlösung (20 µl 2,6-Dimethyl-5-hepten-2-ol in 10 ml Ethanol) versetzt. Um eine verbesserte Extrahierbarkeit und eine Verminderung der Emulsionsbildung zu erreichen, werden 2 g NaCl zugegeben. Danach erfolgt die Zentrifugation (1000 Upm, 15 min). Aus der Lösungsmittelphase werden 5 µl direkt in das Einlasssystem des Gaschromatographen injiziert. Bei dem verwendeten System handelte es sich um einen GC (HP 5890 II) mit einem Flammenionisationsdetektor (Brenngas: Wasserstoff), der mit folgenden Parametern eingesetzt wurde: Split 1:10, Injektortemperatur 190°C, Detektortemperatur 220°C, Temperaturprogramm 50-220°C, Aufheizrate 10°C/min. Als Trennsäule wurde eine DB5 (Länge: 60 m, Durchmesser: 320 µm, Filmdicke: 0,3 µm, Flussrate: 1,5 ml/min, Trägergas: Helium) verwendet. Die Auswertung erfolgte in diesem Fall über die relativen Peakflächen, welche auf die normierten Flächen des internen Standards berechnet wurden.

Die Analyse der höheren Alkohole (Hexanol, Propanol(1), Isobutanol, 2- und 3-Methylbutanol) sowie von Essigsäureethylester und 2-Phenylethanol erfolgte gaschromatographisch nach Bernath (1998). In ein Probenfläschchen wurden zu 0,3 g KCl (Fluka 60130) 800 µl Probe, 800 µl Diethylether und 8 µl Interner Standard (Essigsäureethylester (50mg/l), Propanol(1) (30 mg/l), Isobutanol (70 mg/l), 2-Methylbutanol (100 mg/l) und 2-Phenylethanol (40 mg/l)) zugegeben.

Für die Bestimmung der Standards wurden statt 800 µl Probe 800 µl synthetische Weinlösung in die Probenfläschchen gegeben. Die synthetische Weinlösung bestand aus 4 g Weinsäure und 10 Volumenprozent Ethanol in einem Liter bidest. Wasser. Die Probenfläschchen wurden gut verschlossen und auf dem Vortex während 30 s extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurden die Fläschchen (4000 Upm, 4 min) zentrifugiert. 1 µl der extrahierten Probe wurden in das Einlasssystem des Gaschromatographen (Varian 3400) eingespritzt. Eine Carbo Wax Säule B6B-C (BGB-Analytik, Länge: 30 m, Durchmesser: 1,32 mm) wurde mit Wasserstoff als Trägergas verwendet. Die Komponenten wurden mit einem Flammenionisationsdetektor detektiert. Die Geräteparameter waren wie folgt: Dauer des Temperaturprogramms: 28 min, Anfangstemperatur: 35°C, Haltezeit bei Anfangstemperatur: 4 min, Aufheizungsrate: 10°C/ min, Endtemperatur: 230°C, Haltezeit bei Endtemperatur: 5 min, Detektortemperatur: 250°C, Injektortemperatur: 200°C, Splitfluss: 50 ml/min, Splitlesszeit: 0,3 min.

Zur Bestimmung der anderen Aromastoffe (Benzaldehyd, Benzylalkohol, Bernsteinsäure-diethylester, Butyrolacton, C₄-säureethylester, C₆-säureethylester, C₈-säureethylester, C₁₀-säureethylester, Essigsäure-2/3-methylbutylester, Essigsäure-2-phenylethylester, 4-Ethylphenol, Eugenol, Geraniol, Hexansäureethylester, 2- und 3-Hexenol, Isobutanol, Linalool, cis(f)-Linalool-

oxid, trans-Linalooloxid, Methionol, 2-Methylbuttersäureethylester, 5-Methylfurfurol, 2-Methoxy-4-vinylphenol, Nerol, Octansäure, Rosenoxid, α -Terpineol) in den Versuchswainen wurden Vierfachanalysen durchgeführt. Nach Bernath et al. (2001) wurden zu 800 μ l Probe in einem 2 ml Autosamplerfläschchen, 5 μ l einer 100 μ g/ml Nonanollösung in Heptan als interner Standard zugesetzt. Anschliessend erfolgte die Zugabe von 0,1 g Natriumcarbonat und 800 μ l Pentan/tertiärer-butyl-methylether (1:1 v/v, beide Lösungsmittel zur Reinigung destilliert). Das Probefläschchen wurde verschlossen und die Probe 30 s auf dem Vortex extrahiert. Zur besseren Phasentrennung (wässrige Phase und organische Phase) wurde das Probefläschchen 5 min bei 3000 g zentrifugiert. 200 μ l der organischen Phase wurden direkt mit einem Autosampler (AS 800, CE Instruments) aus dem Autosamplerfläschchen entnommen und über ein mit Carbofrit (Restek Bellefonte) gepacktes im Silco Steel Verfahren desaktiviertes Stahlröhrchen (2 mm a. D., Restek) nach der von Grob und Biedermann (1996) beschriebenen Technik der „vaporising chamber-precolum solvent split/gas discharge“ eingespritzt. Chromatograph: 8060 Ultra-Trace (CE Instruments). Desaktivierte Vorsäule (Biedermann et al., 1997): Quarzglas 10 m x 0,53 mm i. D. (BGB-Analytik) mit OV 1701 (Fluka) desaktiviert, "Retaining pre-column": Quarzglas 10 m x 0,53 mm i. D. mit PS 255 (BGB-Analytik) 1 μ m Filmdicke beschichtet, Trennsäule: Quarzglas 50 m x 0,32 mm i. D. mit PEG bondable (BGB-Analytik) 1 μ m Filmdicke beschichtet. Trägergas: Wasserstoff. Säulenvordruck: 100 kPa, Säulenfluss: 3,5 ml/min bei 40°C. Temperaturprogramm: 15 min bei 40°C, 40-200°C mit 2°C/min, 200-220°C mit 3°C/min, 220-240°C mit 4°C/min, Flammenionisationsdetektor, 250°C.

3.3 Organoleptische Analytik

Die Degustationen erfolgten mit einer unterschiedlichen Anzahl von Probanden, die bei den jeweiligen Ergebnissen angegeben werden. Bei den Probanden handelt es sich um Personen, die mindestens über eine sensorische Grundausbildung verfügen. Zur Bewertung der sensorischen Eindrücke wurde das DLG-5-Punkte-Schema (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.) angewandt oder eine Rating-Skalierung vorgenommen.

3.4 Statistische Verfahren

Der Zusammenhang zwischen dem Alter der *Riesling* Weine aus den Klonen 64, 110, 198, 239 Gm und der sensorischen Beurteilung sowie dem TDN-Gehalt wurde durch die Ermittlung von Regressionsgeraden untersucht. Die Daten des Feldversuches 5 wurden mit einem t-Test für gepaarte Stichproben mit einem Signifikanzniveau von 5% analysiert. Der Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Aminosäuren im Most und dem Gehalt der gemessenen Aromasubstanzen im Wein wurde mit Hilfe des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten geprüft. Die Beziehung zwischen dem internen Glyceringehalt verschiedener Hefen und ihrer Fähigkeit, eine geringe Konzentration an Restzucker zu hinterlassen, wurde durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten getestet. Die Signifikanz der Korrelation sowie die Regressionsgeraden wurden mit dem Statistikprogramm Statistica (StatSoft Inc.) berechnet.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Einflussfaktoren der typischen Weinentwicklung

4.1.1 Rebsorten und Hefen

Acree et al. (1990) identifizieren 2-Aminoacetophenon (AAP) als typische Komponente in amerikanischen Wildreben und zeigen die Bedeutung für den „Foxton“ der Weine aus diesen Trauben. Diese Verbindung konnte aus dem Analbereich des japanischen Wiesels (*Mustela itatsi*) isoliert werden. Der sensorische Eindruck, den AAP hervorruft, wird als stechend-süß bezeichnet. Diese Substanz wird zur Imitation von blumigen, Mandel-, Kirsch-, Tabak- und Nussaromen eingesetzt (Ziegler, 1982). Die Bedeutung der Komponente und das Vererbungsverhalten des genetisch fixierten Bildungspotenzials bei interspezifischen Kreuzungen konnte gezeigt werden (Hühn, 1992).

Die genetische Prädisposition zur Bildung und Freisetzung der Komponente wird in Abbildung 12 deutlich. *Niagara* (Abb. 12 B), eine nordamerikanische Wildform, weist die höchsten Konzentrationen an AAP auf. Bei der interspezifischen Kreuzung Gm 7815-1 (*Arnsburger* x *Seyve Villard* 1-72) wird das geringere Bildungsvermögen, segregiert über die als Vater verwendete französische Komplexhybride, deutlich (Abb. 12 C). *Arnsburger* stellt eine Kreuzung aus *Riesling* Kl. 88 Gm und *Riesling* Kl. 64 Gm dar. Der von dieser Kreuzung ausgehende Einfluss auf Genotyp und Plasmotyp ist für die bei der Kreuzung Gm 7815-1 vergleichsweise schwache Ausprägung des „Foxtones“ verantwortlich (Hühn, 1992). Die niedrigsten Konzentrationen können bei der Rebsorte *Riesling* (Abb. 12 A) festgestellt werden. Der Einfluss der verwendeten Hefestämme wird deutlich. Bei der Rebsorte *Riesling* konnten ausschliesslich die Vertreter der Spontanflora *Kloeckera apiculata* und *Metschnikowia pulcherrima* sowie - zur Simulation einer Gärung unter Praxisbedingungen - mit zusätzlicher Einimpfung eines *S.c.* Stammes AAP bilden. Bei der interspezifischen Kreuzung Gm 7815-1 kann ein ähnliches Bild erkannt werden, unter der Annahme, dass aufgrund anderen Vorstufen und Synthesestruktur der Rebsorte durch die *S.c.*-Hefestämme wahrscheinlich weniger AAP gebildet wird. Der Einsatz von Thiamin konnte in einigen Fällen, insbesondere bei den Vertretern der Spontanhefefflora, die Konzentrationen erheblich reduzieren. Thiamin gilt für die meisten heterotrophen Mikroorganismen als wichtiger Co-Faktor der Pyruvatdecarboxylase bei der alkoholischen Gärung. Die Spaltung des Pyruvats stellt in diesem Zusammenhang wahrscheinlich die einzige irreversible Reaktion dar (Dittrich, 1987).

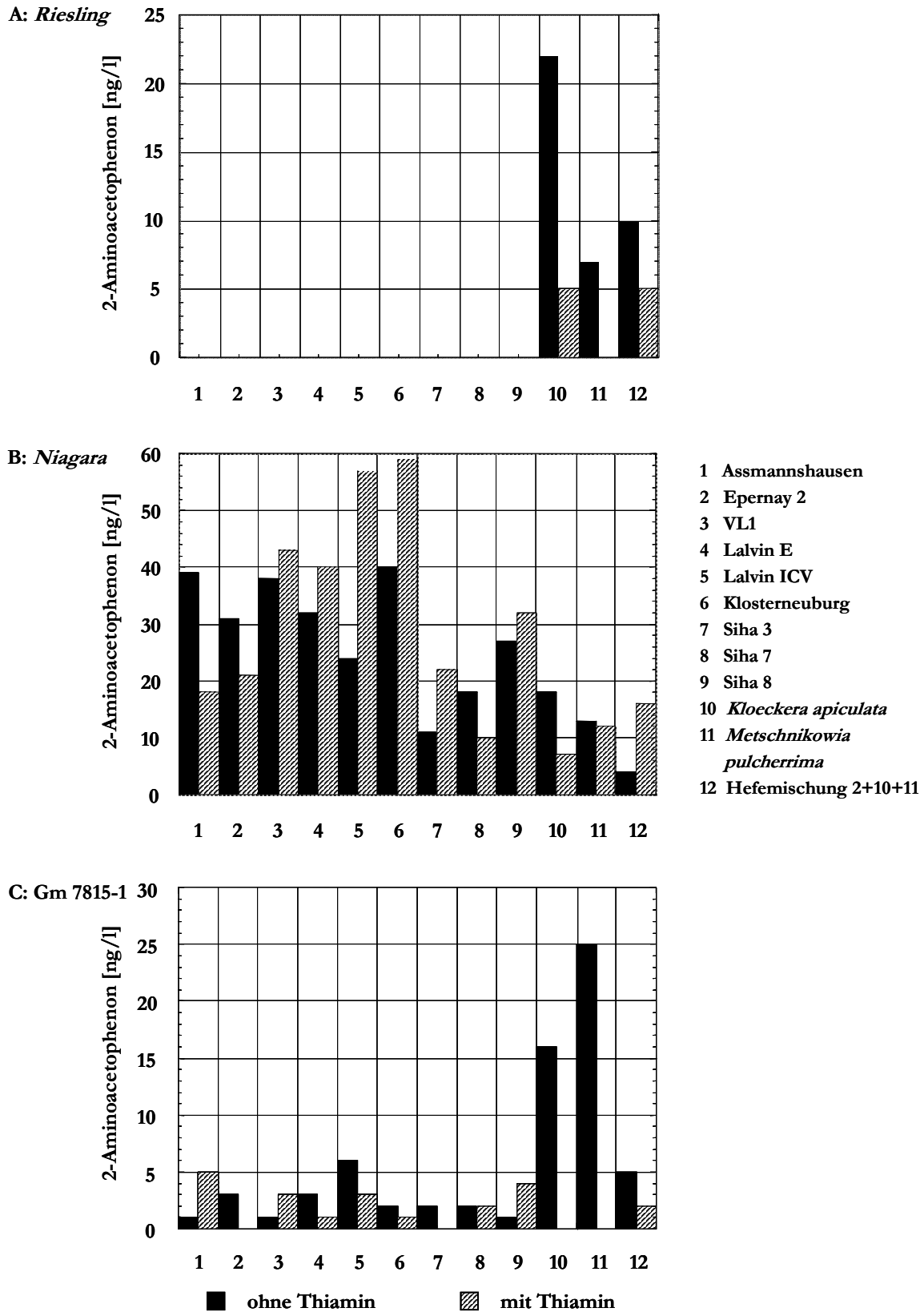


Abb. 12: Einfluss von Mosten verschiedener Rebsorten (A: *Riesling*, B: *Niagara*, C: Gm 7815-1) auf die Synthese von 2-Aminoacetophenon bei der alkoholischen Gärung durch unterschiedliche Hefen (Hühn et al., 1996)

Eine verbesserte Gärdynamik im Falle der Thiaminzugabe könnte bei der Wildform und der interspezifischen Kreuzung eine Erklärung für die erhöhte Synthese oder Freisetzung von AAP aus Vorstufen im Vergleich zum *Riesling* darstellen. Die gemessenen Konzentrationen an 2-Aminoacetophenon sind sicher zu gering, um den UTA auszulösen, für den der Geruchsschwellenwert mit 0,7-1,0 µg/l (Rapp et al., 1993) wesentlich höher anzusiedeln ist. Ein Beitrag zur sensorischen Wahrnehmung ist aufgrund von Matrixeffekten dennoch nicht auszuschliessen (Hühn, 1992).

Furaneol und Mesifuran kommen bei der Rebsorte *Riesling* (Tab. 3) und Gm 7815-1 (Tab. 5) nur in sehr geringen Mengen vor. Bei *Niagara* (Tab. 4) liegen die Werte in den meisten Fällen um ein vielfaches höher. Während bei erstgenannten kein Thiamineinfluss zu deuten ist, fällt er bei *Niagara* stark auf. Der Furaneolgehalt wird bei dieser Rebsorte (Tab. 4) durch Thiamineinsatz relativ stark reduziert. Der umgekehrte Effekt stellt sich bei Mesifuran ein, wo durch den Thiaminzusatz zum Gärmedium wesentlich höhere Konzentrationen detektiert wurden.

Tab. 3: Synthese von Furaneol, Mesifuran, Anthranilsäuremethylester und Anthranilsäure-ethylester durch alkoholische Vergärung von Most der Rebsorte *Riesling* mit und ohne Thiaminzusatz mit unterschiedlichen Hefen (Hühn et al., 1996)

Hefe	Furaneol (ng/l)		Mesifuran (ng/l)		Anthranilsäuremethylester (ng/l)		Anthranilsäureethylester (ng/l)	
		mit Thiamin		mit Thiamin		mit Thiamin		mit Thiamin
Assmannshausen	nn	7	nn	nn	1	nn	7	nn
Epernay 2	1	1	nn	1	12	2	4	1
VL1	6	4	nn	nn	1	1	1	nn
Lalvin E	1	9	1	2	10	6	1	2
Lalvin ICV	3	2	3	nn	4	1	nn	2
Klosterneuburg	2	4	nn	1	1	2	1	1
Siha 3	nn	5	nn	1	1	1	3	2
Siha 7	nn	4	3	1	1	1	1	1
Siha 8	6	4	2	1	4	1	3	nn
<i>Kloeckera apiculata</i>	10	8	11	2	7	3	1	nn
<i>Metschnikovia pulcherrima</i>	1	2	1	2	3	1	nn	1
Hefemischung Epernay 2 + <i>Kloeckera apiculata</i> + <i>Metschnikovia pulcherrima</i>	6	3	1	1	2	2	nn	nn

nn = nicht nachweisbar

Tab. 4: Synthese von Furaneol, Mesifuran, Anthranilsäuremethylester und Anthranilsäure-ethylester durch alkoholische Vergärung von Most der Rebsorte *Niagara* mit und ohne Thiaminzusatz mit unterschiedlichen Hefen (Hühn et al., 1996)

Hefe	Furaneol (ng/l)		Mesifuran (ng/l)		Anthranilsäuremethylester (ng/l)		Anthranilsäureethylester (ng/l)	
		mit Thiamin		mit Thiamin		mit Thiamin		mit Thiamin
Assmannshausen	52	22	486	1720	361	1164	15	17
Epernay 2	11	43	479	734	413	715	12	19
VL1	67	21	291	251	1244	1017	29	14
Lalvin E	89	28	198	822	677	615	34	18
Lalvin ICV	95	20	254	1386	1109	537	24	31
Klosterneuburg	98	21	317	1249	1248	744	32	14
Siha 3	213	36	65	497	344	296	32	10
Siha 7	96	23	159	651	278	463	3	10
Siha 8	98	23	180	372	606	772	19	20
<i>Kloeckera apiculata</i>	87	22	226	918	57	457	30	17
<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	272	50	186	370	180	280	33	20
Hefemischung Epernay 2 + <i>Kloeckera apiculata</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i>	216	106	211	346	213	50	30	5

Tab. 5: Synthese von Furaneol, Mesifuran, Anthranilsäuremethylester und Anthranilsäure-ethylester durch alkoholische Vergärung von Most der Rebsorte Gm 7815-1 mit und ohne Thiaminzusatz mit unterschiedlichen Hefen (Hühn et al., 1996)

Hefe	Furaneol (ng/l)		Mesifuran (ng/l)		Anthranilsäuremethylester (ng/l)		Anthranilsäureethylester (ng/l)	
		mit Thiamin		mit Thiamin		mit Thiamin		mit Thiamin
Assmannshausen	18	6	2	2	9	8	7	11
Epernay 2	34	10	3	nn	5	3	7	1
VL1	12	6	1	3	2	5	5	5
Lalvin E	3	15	2	2	8	35	8	8
Lalvin ICV	7	82	2	3	3	2	4	5
Klosterneuburg	12	7	1	1	2	3	6	4
Siha 3	10	9	1	1	1	1	7	nn
Siha 7	54	17	3	2	1	1	nn	nn
Siha 8	38	7	2	2	1	1	nn	nn
<i>Kloeckera apiculata</i>	3	4	nn	1	1	2	3	2
<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	53	15	1	nn	3	1	5	1
Hefemischung Epernay 2 + <i>Kloeckera apiculata</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i>	81	27	4	1	13	5	10	6

nn = nicht nachweisbar

Furanabkömmlinge wie die 3(2H)-Furanone: 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon (Furaneol), 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon (Mesifuran) sind sehr aromawirksam, sie werden als süß-karamelartig wahrgenommen (Baltes, 1989). Ob die in Früchten nachgewiesenen Furanone, begünstigt durch den niedrigen pH-Wert, ausschliesslich nichtenzymatisch auf dem Weg der Maillard-Reaktion entstehen, ist unklar (Belitz und Grosch, 1987). Die Bildung von 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon kann durch die Maillard-Reaktion erfolgen.

Die Reaktion geht von der Desoxyhexose L-Rhamnose (6-Desoxy-L-mannose) aus, die in Konzentrationen bis zu ca. 400 mg/l in Traubenmost vorkommt (Würdig und Woller, 1989). In Pflanzengummi, Pflanzenschleimen und Glykosiden ist sie ebenfalls nachgewiesen worden (Belitz und Grosch, 1987). Von der Maillard-Reaktion hervorgerufene Zucker-Amin-Umsetzungen laufen mit beachtlichem Umfang bei Raumtemperaturen ab (Estendorfer et al., 1991). 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon (Furaneol) wurde als Hauptbestandteil der arktischen Brombeere (*Rubus arcticus*) identifiziert und in Erdbeeren, Ananas, Abkömmlingen amerikanischer Wildreben der Gattung *Vitis labrusca* sowie in Mango- Früchtekonserven, Popcorn, gerösteten Haselnüssen, gebrannten Mandeln, Ahornsirup, Starkbier und Rinderbouillon nachgewiesen (Rapp et al., 1980; Lee et al., 1987; Nykänen und Suomalainen, 1983). Rapp (in Würdig und Woller, 1989b) gibt die Wahrnehmungsschwelle für 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon in Wein mit 50 bis 100 ppb an. Der Geruchsschwellenwert in Wasser (20°C) beträgt 0,00004 mg/l (40 ppt) (Belitz und Grosch, 1987). Das als Ananas-Furanon bezeichnete 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon weist im Bereich von 100 ppb einen fruchtigen Aromacharakter auf, der bei höheren Konzentrationen zugunsten einer karamelartigen Note verschwindet. 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon (Mesifuran) kommt ebenfalls in der arktischen Brombeere, Erdbeeren, Ananas, Mango und *Labrusca*-Kreuzungen vor (Bruche et al., 1991; Belitz und Grosch, 1987). Der Geruchsschwellenwert in Wasser (20°C) beträgt 0,00003 mg/l (30 ppt) (Belitz und Grosch, 1987). Nach Rapp et al. (1980) sind die Substanzen 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon und 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon für die in Aromaextrakten von Trauben und Weinen interspezifischer Kreuzungen vorkommende Erdbeernote verantwortlich. Cyclopentenole wie 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon, die eine planare Enoloxo-Konfiguration aufweisen, riechen nach Karamel. Ist die Hydroxygruppe wie bei 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon methyliert, so wird der Aromaeindruck in süßlich-modrig bis -schimmelig verändert (Mosandl et al., 1990). Untersuchungen, die Enantiomerenverteilung der beiden Substanzen 2,5-Dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanon und 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon in verschiedenen Weinen betreffend, ergaben, dass racemische Gemische vorliegen.

Chirale Aromastoffe liegen im Allgemeinen in Enantiomerenüberschüssen, die auf stereoselektive, enzymkatalysierte Biogenese zurückzuführen sind, vor (Bruche et al., 1991; Lettau, 1980). Es kann vermutet werden, dass die bei der Rebsorte *Niagara* durch verschiedene Hefen und den Einsatz von Thiamin erzielten Unterschiede sensorisch wahrnehmbar sind.

Anthranilsäuremethylester und -ethylester sind bei *Riesling* (Tab. 3) und Gm 7815-1 (Tab. 5) nur in sehr geringen Konzentrationen nachweisbar. Bei *Niagara* können wesentlich höhere Gehalte, besonders an Anthranilsäuremethylester, dokumentiert werden. Die verwendeten Hefen zeigen ein deutlich voneinander abweichendes Bildungspotenzial, das nicht eindeutig durch den Thiaminzusatz beeinflusst wird. In manchen Fällen tritt eine Verminderung, in anderen eine Erhöhung auf. Die Konzentrationen an Anthranilsäureethylester liegen um ein vielfaches niedriger als bei Anthranilsäuremethylester. Anthranilsäuremethylester wird sensorisch als süßfruchtig, modrig-blumig beschrieben. In der Lebensmittelindustrie wird es zur Imitation von Trauben-, Beeren-, blumigen, Melonen-, Frucht- und Kaugummiaromen verwendet (Ziegler, 1982). Anthranilsäuremethylester zählt zur Kategorie der fruchtigen Aromen (Noble et al., 1984). Das typische Aroma der Verbindung entfaltet sich nur in ortho-Stellung, die meta- und para-Isomeren sind geruchlos (Ohloff, 1981). Power und Chesnut (1923) charakterisieren den „Foxton“ chemisch mit dieser Substanz. Die Substanz kommt in *Labrusca*-Abkömmlingen und in anderen amerikanischen Wildformen vor (Nelson et al., 1977; Reynolds et al., 1982; Nykänen und Suomalainen, 1983; Rapp und Versini, 1996b). Der Gehalt an Anthranilsäuremethylester nimmt mit der Beerenreife zu (Fuleki, 1972; Robinson et al., 1949; Rapp und Ringlage, 1989). Der bei Voruntersuchungen als interner Standard verwendete Anthranilsäureethylester musste in dieser Funktion verworfen werden, da diese Verbindung originär in Traubenmost vorkommen kann. Anthranilsäureethylester wurde in das Versuchsprogramm aufgenommen.

Bei Analyse der in den Tabellen 3-5 dargestellten Substanzen kann ein Einfluss der verwendeten Hefe in Abhängigkeit des Ausgangssubstrates verschiedener Rebsorten festgestellt werden. Insbesondere bei der in der Wildform vorhandenen Substratstruktur wird der Einfluss des Thiamins deutlich.

4.1.2 Rebsortenklone und Hefen

Die Alterung von *Riesling* Weinen, die zum Petrol- oder Kerosin-Ton führt, wird auf die Bildung von 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) (Simpson, 1978 und 1979) zurückgeführt. Die *Riesling* Weine der Jahrgänge 1980 bis 1992 (Abb. 13-16) weisen 0,2-8,7 µg/l TDN auf. Sie erreichen somit den von Simpson und Miller (1983) postulierten Geruchsschwellenwert von

20 µg/l eines *Riesling* Weins mit erkennbarem Petrolton nicht. Diese Untersuchungen konnten durch die Verkostung (n = 20 Prüfer/innen) belegt werden. Keiner dieser Weine zeigte einen Petrolton, die älteren wurden jedoch als gereift beschrieben. Obgleich es in den verschiedenen Jahrgängen Unterschiede im TDN-Gehalt gibt, konnte eine Beeinflussung durch das Alter der Weine und das Klonenmaterial festgestellt werden.

Im analysierten Klonenmaterial konnten Unterschiede zwischen den einzelnen Klonen festgestellt werden. Klon 64 Gm (Abb. 13) und 198 Gm (Abb. 15) wiesen geringere Mengen an TDN auf als die Klone 110 Gm (Abb. 14) und 239 Gm (Abb. 16).

Bei der Verkostung und bei den TDN-Gehalten zeigte Klon 64 Gm die interessantesten Ergebnisse. Mit fortschreitendem Alter konnte nur in den Weinen dieses Klons eine Zunahme der sensorischen Qualität festgestellt werden. Die Zunahme der sensorischen Qualität und der Anstieg des TDN-Gehaltes waren nahezu parallel. *Riesling* Klon 198 Gm mit beinahe dem gleichen TDN-Gehalt wie Klon 64 Gm zeigt dagegen eine Abnahme der Weinqualität mit zunehmendem Alter. Die Gesamteinstufung der Weine dieses Klones war jedoch die Höchste unter allen und zeigte auf einer Skala von 0-5 Punkten (0 niedrigste, 5 höchste Bewertung) eine im Durchschnitt um einen Punkt bessere Bewertung als die anderen Klone. Die Klone 110 und 239 Gm wurden in ihrer Qualität durch die Alterung nicht so stark beeinflusst. Die Qualitätsbeurteilung war über die Jahre nahezu konstant, obgleich sich der TDN-Gehalt stärker als bei Kl. 64 und 198 Gm erhöhte. Vergleichbare Beurteilungen der analytischen und organoleptischen Daten zeigen, dass die Alterungssubstanz TDN eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der positiven Alterung von Rheingau *Riesling* spielen kann, wenn sie nur in geringen Mengen vorhanden ist. Diese Mengen müssen aber wesentlich geringer sein als der Geruchsschwellenwert, der den Kerosin- oder Petrol-Ton auslöst. Diese Konzentrationen von TDN sollten 4 µg/l nicht wesentlich übersteigen, um als positiv beurteilt zu werden. Der Einfluss von TDN könnte mit dem gesamten Aromaprofil eines *Riesling* Klones und der Qualität eines Jahrganges in Verbindung stehen.

TDN wurde in den *Riesling* Kreuzungen *Arnsburger* (0,45-1,61 µg/l) und Gm 7012-1 (0,75-2,03 µg/l) gefunden. *Arnsburger* zeigte während der Alterung keine signifikante TDN Zunahme, diese wurde jedoch in seiner Rückkreuzung mit *Riesling* Kl. 239 Gm festgestellt. Gm 7012-1 zeigt die Vererbung der TDN-Vorstufensynthese durch den Vater *Riesling* Kl. 239 Gm mit seiner insgesamt höheren Bildungspotenz.

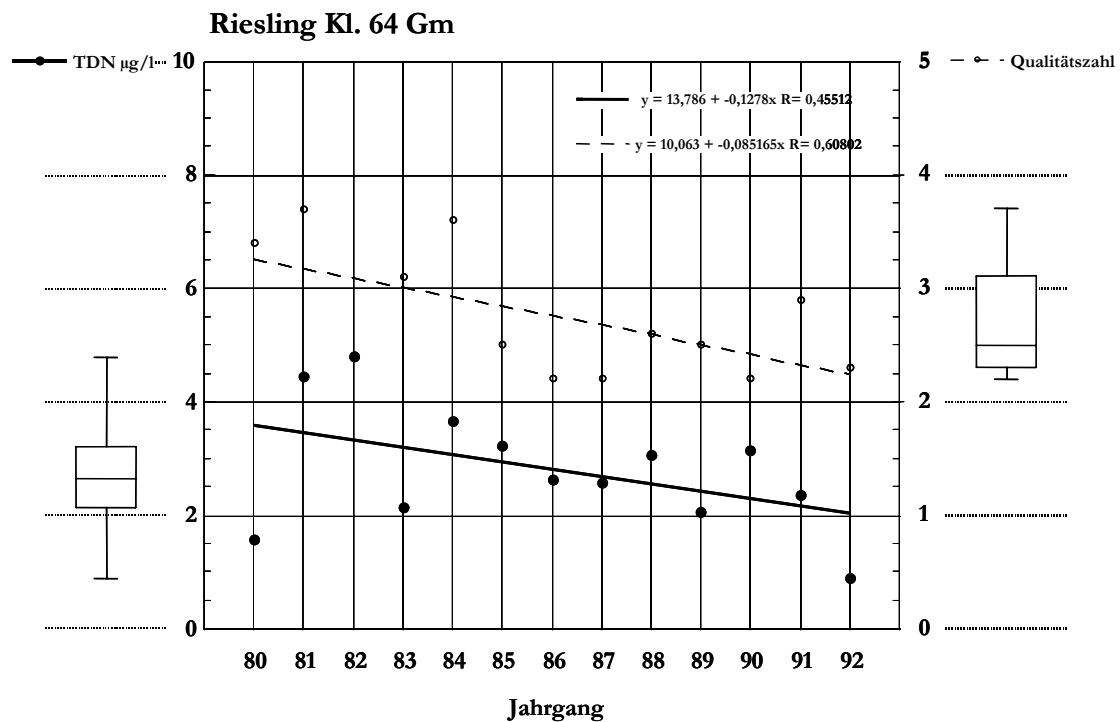


Abb. 13: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte *Riesling* Kl. 64 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)

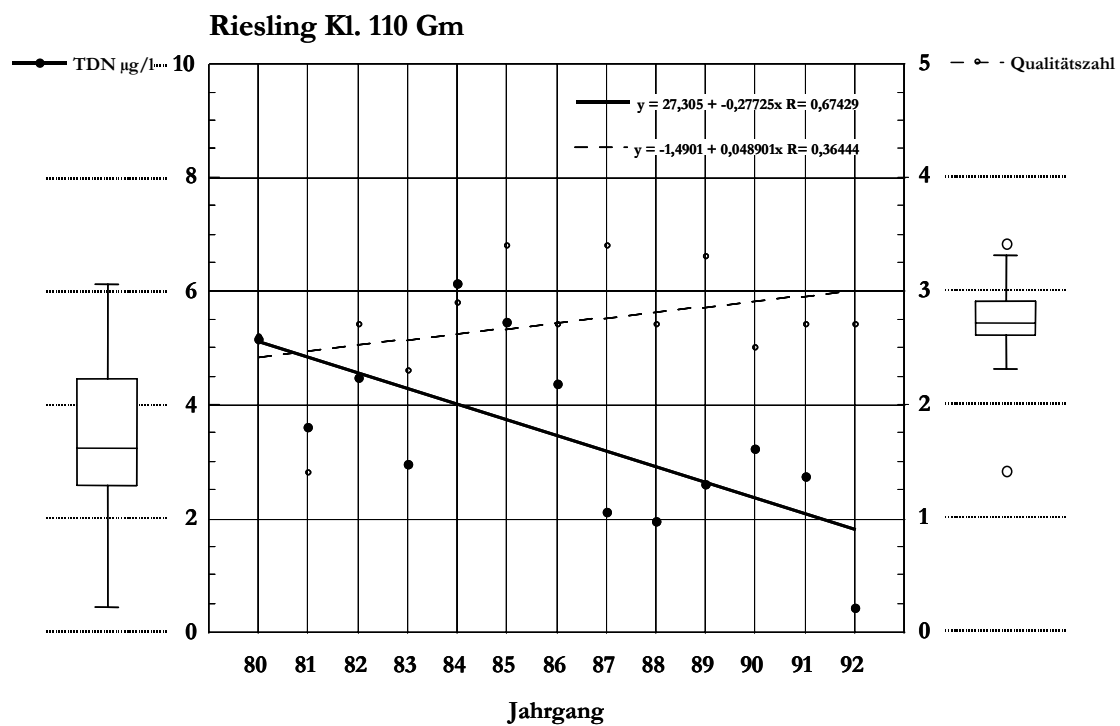


Abb. 14: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte *Riesling* Kl. 110 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)

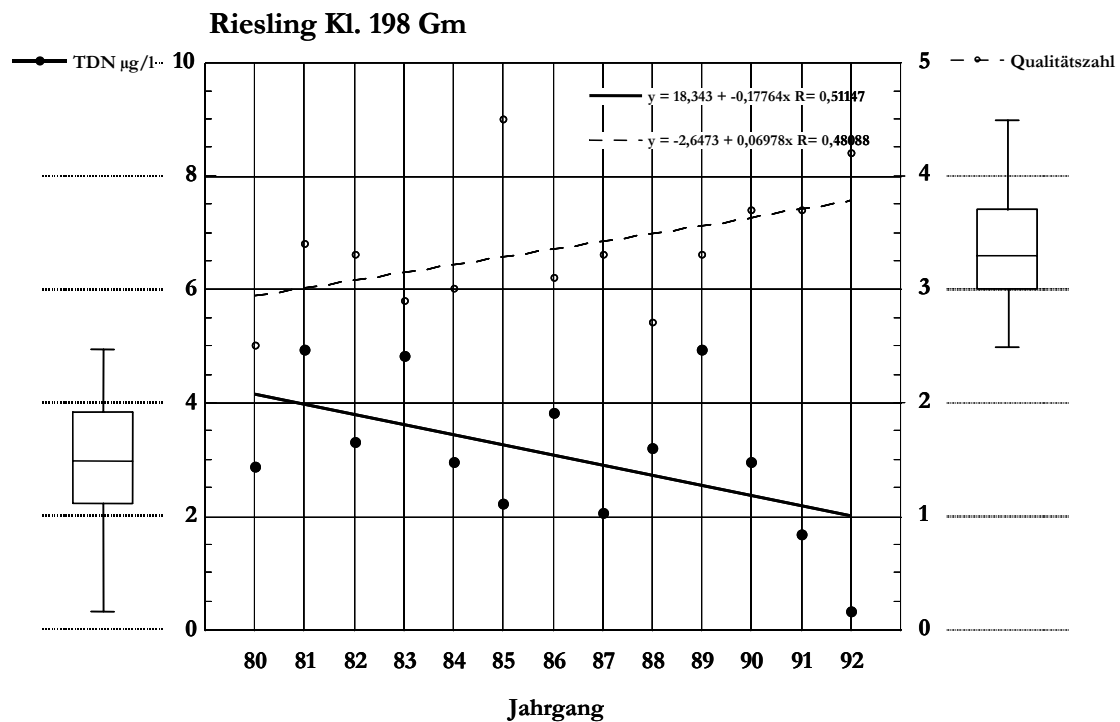


Abb. 15: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte *Riesling* Kl. 198 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)

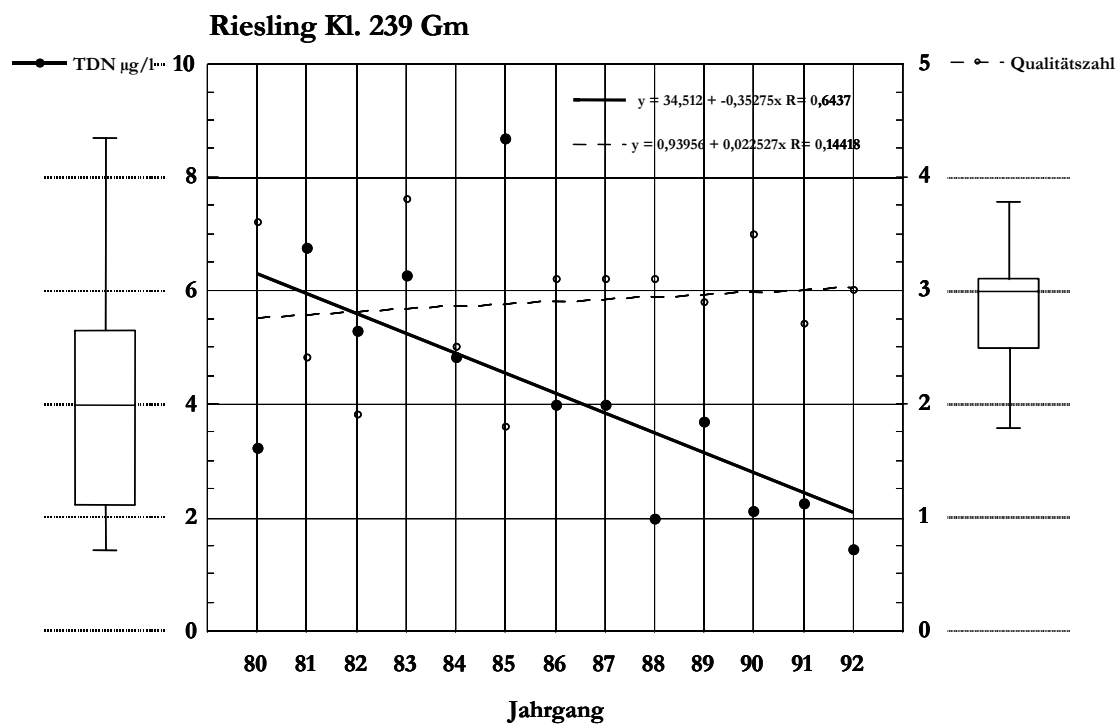


Abb. 16: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte *Riesling* Kl. 239 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)

Ein Vergleich von Weinen aus dem Rheingau mit Weinen von der Ostküste der USA zeigte deutliche Unterschiede im TDN-Gehalt. Alle gleichartigen Weine aus dem Rheingau wiesen keinen Petrolton auf, während ein 1990er *Riesling* aus den USA bereits nach zwei Jahren sensorisch in dieser Richtung auffiel. Der TDN-Gehalt betrug 13,1 µg/l. Eine künstliche Alterung beider Weine zeigte, dass der Gehalt an TDN-Vorstufen in Rheingauer *Riesling* Weinen in manchen Fällen höher ist als in vergleichbaren Weinen aus den USA. Ein 1992 Rheingau *Riesling* mit einem vorhandenen TDN-Gehalt von 0,4 µg/l zeigte nach einer künstlichen Alterung den um den beinahe 100-fachen höheren Gehalt von 37,6 µg/l. Der Wein von der Ostküste der USA mit dem natürlichen Gehalt von 13,1 µg/l zeigte nur eine Erhöhung auf 24,5 µg/l TDN. Im Unterschied zu diesen Weinen, die das TDN in 1-3 Jahren freisetzen und dadurch einen deutlichen Petrolton aufweisen, wird das in Weinen aus Geisenheimer *Riesling* Klonen nicht festgestellt. Die Ursache, warum die Freisetzung in Rheingauer *Riesling* Weinen so gering ausfällt, ist bisher unbekannt. Eine Möglichkeit ist das Vorhandensein unterschiedlicher Vorstufen in kälteren und wärmeren Weinbauzonen oder Regionen (Versini et al., 1996).

In Mosten und Weinen werden diese Vorstufen hauptsächlich in β -Stellung, gebunden an Glucose, nachgewiesen. In Pflanzenmaterial, wie in den Petalen von *Tagetes*, werden sie dagegen an langkettige Fettsäuren gebunden beschrieben (Gayle et al., 1986).

Es besteht daher Grund zur Annahme, dass beide Bindungstypen einem forcierten Abbau durch verschiedene Hefestämme unterliegen könnten. Die β -glucosidischen Bindungen könnten durch die unterschiedlich hohe β -Glucosidaseaktivität verschiedener Stämme von *Saccharomyces cerevisiae* gespalten werden (Aryan et al., 1987; Wenzel, 1989; Sponholz, 1992). Durch die Esterasen oder Transferasen, die ebenfalls in Hefestämmen vorhanden sind, können die Esterbindungen hydrolysiert werden (Yoshioka, 1983; Bardi et al., 1992). Beide Prozesse können durch einen normalen Abbau der Vorstufen und eine Equilibrierung des Systems Wein, wie es von den Acetylestern während der Alterung bekannt ist, überlagert werden (Rapp et al., 1985)

Die insgesamt geringen freien TDN-Konzentrationen in den untersuchten Rheingauer *Riesling* Weinen könnten von der vergleichsweise geringen β -Glucosidase Aktivität des Hefestammes *S.c.* Epernay Gm abhängig sein. Dieser Stamm hat eine nur geringe β -Glucosidaseaktivität von 5 m-Units. Zum Vergleich wurden Hefen mit geringerer und höherer β -Glucosidaseaktivität eingesetzt, um diese Annahme zu überprüfen (Sponholz und Hühn, 1997).

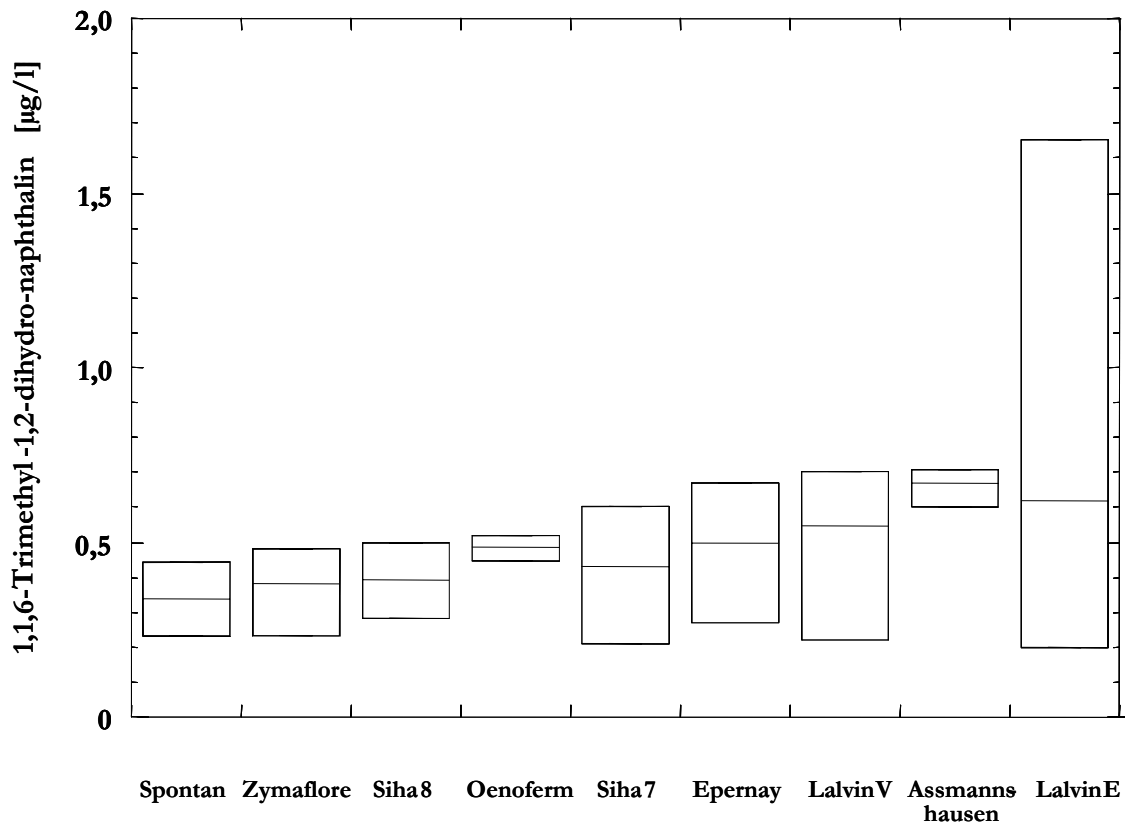


Abb. 17: Schwankungsbreite der 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN)

Konzentrationen durch verschiedene Hefen bei Weinen der Rebsorte *Riesling* (n = 27)
(Sponholz und Hühn, 1997)

Assmannshausen mit 2 m-Units und Lalvin V und Lalvin E mit 16 m-Units wurden ebenso eingesetzt wie der Stamm Zymaflore VL1, eine Hefe, die speziell für die Freisetzung von β -glucosidisch gebundenen Aromen in Mosten und Weinen selektiert wurde (Sponholz und Hühn, 1997). Wie Abbildung 17 zeigt, kann in jungen *Riesling* Weinen (12 Monate nach der Gärung) kein Einfluss des Hefestammes und somit der β -Glucosidaseaktivität auf die Freisetzung von TDN bestätigt werden. Stämme mit hoher β -Glucosidaseaktivität können sogar geringere TDN-Konzentrationen freisetzen, als solche mit geringerer Aktivität. Ausgenommen Lalvin E, die eine hohe Potenz TDN freizusetzen besitzt, zeigten alle anderen Hefestämme, nur geringe Unterschiede in der TDN-Freisetzung.

Das zeigt, dass die β -Glucosidaseaktivität der Hefe nur einen sehr geringen Einfluss auf die TDN-Freisetzung in Rheingauer *Riesling* Weinen hat.

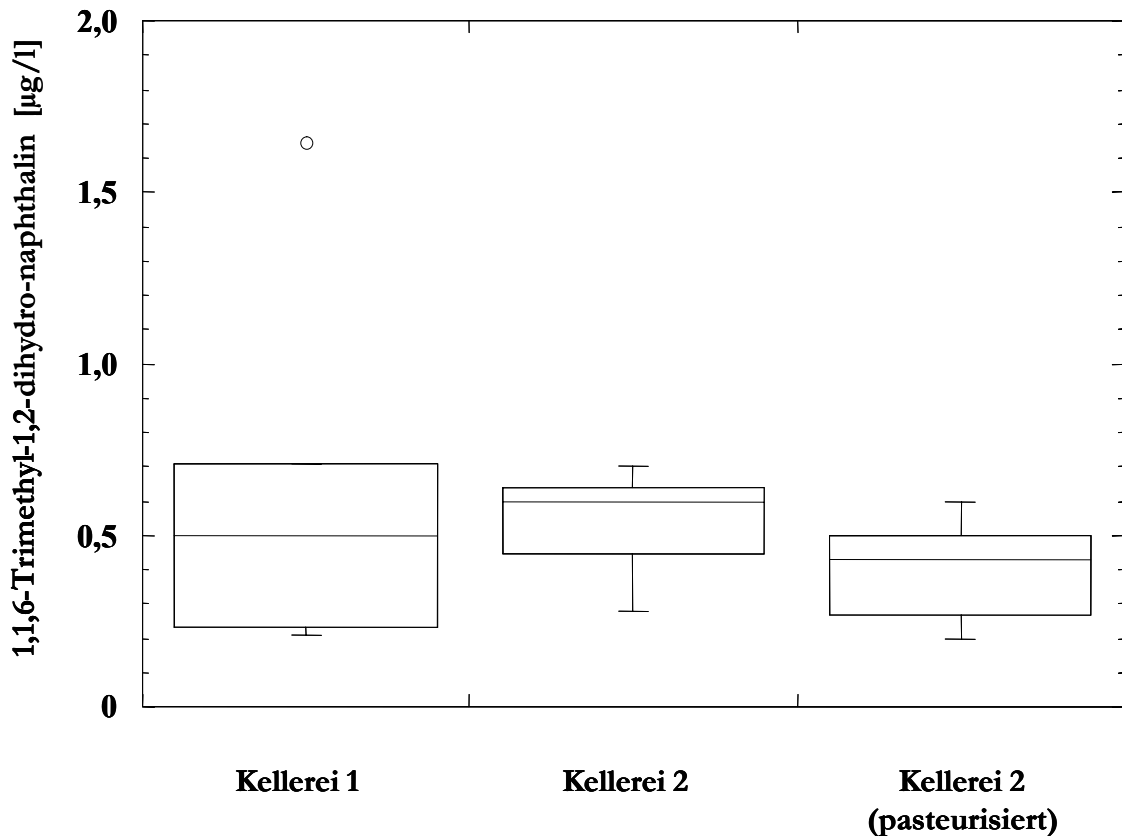


Abb. 18: Schwankungsbreite der 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen durch verschiedene Kellereien (2) und Einfluss einer Mostpasteurisation bei Weinen der Rebsorte *Riesling* (n = 27) (Sponholz und Hühn, 1997)

Die TDN-Bildung zeigt eine Abhängigkeit vom Most und dessen Vorbehandlung (Abb. 18). Dabei ist der Bereich der TDN-Bildung bei Kellerei 1 so unterschiedlich, dass Lalvin E 1,6 µg/l und Siha 7 mit nur 0,21 µg/l während der Gärung freisetzen. Die pasteurisierten Varianten zeigen im Durchschnitt eine geringere TDN-Freisetzung als die unbehandelten. Das sollte von der Inaktivierung mosteigener Enzyme abhängig sein. Die geringste TDN-Konzentration zeigt sich bei spontanen Fermentationen (Abb. 17) und schliesst somit einen fördernden Einfluss der spontanen Hefeflora auf die TDN-Bildung aus.

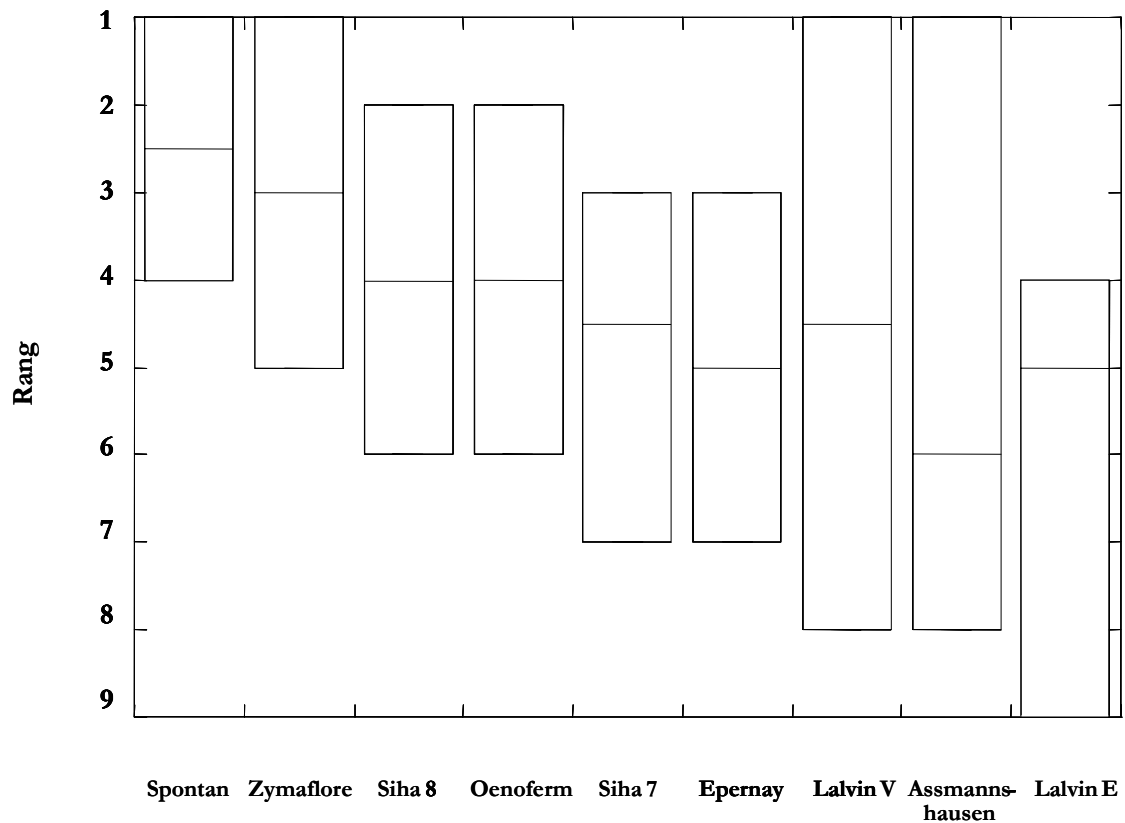


Abb. 19: Schwankungsbreite der sensorischen Beurteilung durch verschiedene Hefen bei Weinen der Rebsorte *Riesling* (n = 27) (Sponholz und Hühn, 1997)

Eine Evaluierung der Hefestämme in Bezug auf die sensorische Qualität der Weine (Rangordnungsprüfung) zeigt, dass die spontane Vergärung oft präferiert wurde (Abb. 19). Durch die relativ hohen Schwankungsbreiten in der Beurteilung durch die Prüfpersonen (n = 20) wird deutlich, dass die Präferenzen für die Weine sehr individuell sind.

4.1.3 Gärungsbedingungen und Hefen

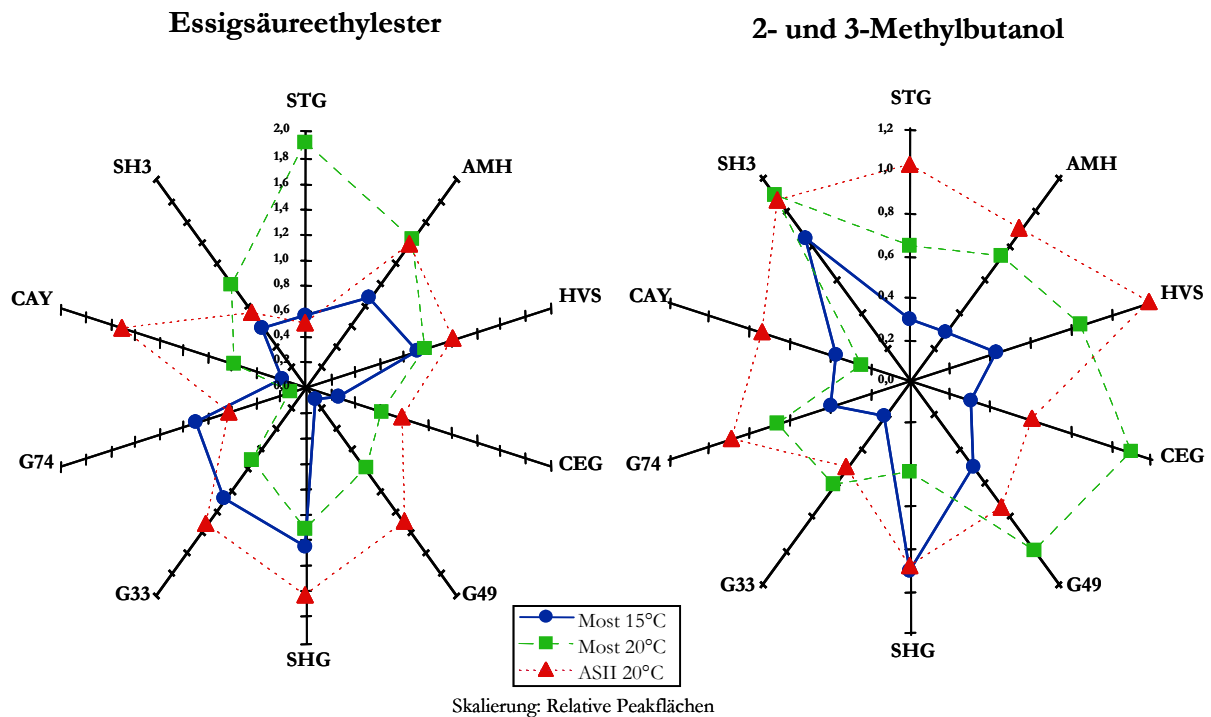


Abb. 20: Profile wertbestimmender Substanzen beeinflusst durch *Saccharomyces cerevisiae*-Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen: Essigsäureethylester, 2- und 3-Methylbutanol (Hühn et al., 1998)

Die Genese von Essigsäureethylester (Abb. 20), das in höheren Konzentrationen zum Lösungsmittelton führt, hinterlässt im Most bei den unterschiedlichen Gärtemperaturen ein sehr heterogenes Bild.

Verschiedene Hefen wie z.B. SH3, STG, AMH, CEG und G49 bilden bei 20°C mehr Essigsäureethylester als bei 15°C. G74 und G33 verhalten sich umgekehrt. Einige der geprüften Hefestämme, besonders CAY reagieren auf das eher durchschnittlich mit Aminosäuren versorgte Medium ASII mit einer erhöhten Produktion an Essigsäureethylester.

Bei den Hauptvertretern der höheren Alkohole, dem 2- und 3-Methylbutanol (Abb. 20), deren olfaktorische Wirkung mit einem fuseligen bis brenzligen Eindruck treffend umschrieben werden kann, ist der beim ASII entstehende Effekt verschiedener Hefen wie STG, AMH, HVS, G74 und CAY vergleichbar. Die meisten Varianten zeigen bei Verringerung der Gärtemperatur eine niedrigere Syntheserate von 2- und 3-Methylbutanol. Grundsätzlich ist hier einzuwenden, dass ein Optimum des Gehaltes an diesen Substanzen noch nicht festzulegen ist, da die Wahrnehmung von einzelnen Aromastoffen und deren Interaktion mit anderen Komponenten noch zu wenig verstanden wird.

Höhere Alkohole werden während der Gärung synthetisiert, sie sind aber keine eigentlichen Gärungsprodukte. Vielmehr handelt es sich hierbei um Substanzen, die auf dem Weg der Aminosäureproduktion aus Zucker während der Gärung gebildet werden. Die typischen höheren Alkohole entstehen durch Decarboxylierung von Ketosäuren, die aus Pyruvat und Acetaldehyd entstanden sind, und Hydrierung der entstehenden Aldehyde (Dittrich, 1987)

Im Wein finden sich eine Vielzahl von Estern. Neben Ethanol werden höhere Alkohole verestert. Die Veresterung der alkoholischen Komponenten erfolgt in den meisten Fällen mit Essigsäure. Die Bildung der Ethylester der Fettsäuren und die der Essigsäureester der Alkohole ist positiv mit der Zuckerkonzentration des Mostes korreliert (Dittrich, 1987). Die Freisetzung von Essigsäure, wie die Essigsäureethylesterbildung, steigt mit zunehmender Gärgeschwindigkeit und Hefemenge. Sortenabhängigkeiten konnten bislang keine festgestellt werden. Die Präsenz von Trubbestandteilen beeinflusst die Bildung dieser Substanzen ebenfalls positiv. Dieser Effekt beruht dementsprechend auf der Freisetzung von extrahierbaren Vorstufen für diese Substanzgruppe aus dem Traubenmaterial. Ebenso wirkt sich eine Steigerung der Gärtemperatur erhöhend auf die Esterkonzentration aus (Houtman et al., 1980a und 1980b; Daudt und Ough, 1973). Eine Erhöhung der kolloidalen Trübung der Moste kann zu einer verbesserten Hefeernährung und somit zu einer Reduktion der Esterbildung beitragen (Houtman und Du Plessis, 1981 und 1986, Hühn et al., 2001). Durch eine gezügelte Gärung um 10°C bei der die niedrigersiedenden fruchtigen Komponenten Essigsäurehexylester, Essigsäure-isobutylester, Essigsäure-3-methylbutylester, Buttersäureethylester im Endprodukt erhalten bleiben (Killian und Ough, 1979), können im Vergleich höhere Konzentrationen im Endprodukt erwartet werden. Es besteht die Gefahr, dass diese Komponenten bei höheren Gärtemperaturen von über 20°C verloren gehen. Hierbei ist nicht nur die Temperatur während der Gärung in Betracht zu ziehen, sondern die Temperatur am Ende der Gärung und während der Lagerung (Suomalainen, 1980; Nykänen und Nykänen, 1977).

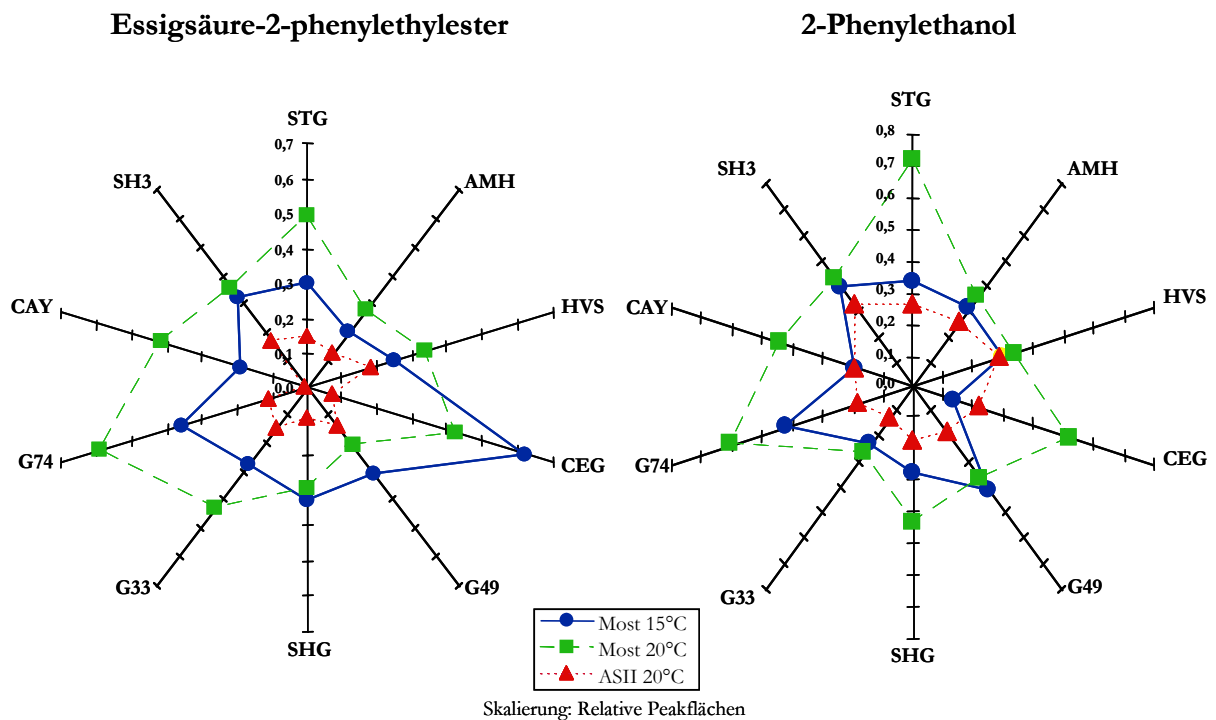


Abb. 21: Profile wertbestimmender Substanzen beeinflusst durch *Saccharomyces cerevisiae*-Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen: Essigsäure-2-phenylethylester, 2-Phenylethanol (Hühn et al., 1998)

Die beiden für einen rosenähnlichen Duft verantwortlich gemachten Komponenten, Essigsäure-2-phenylethylester und 2-Phenylethanol, werden von den meisten Hefen verstärkt bei 20°C synthetisiert (Abb. 21). Bei höheren Gärtemperaturen muss durch eine schnellere Gärung und der damit verbundenen CO₂-Freisetzung mit Auswaschungsverlusten gerechnet werden, die hier dennoch zu höheren Endkonzentrationen geführt haben. Vorteile, die durch geringe Aromaverluste bei einer gekühlten Gärung (10°C) entstehen, können bei entsprechend wärmerer Lagerung (20°C und darüber) und bei Bewegung (Umzug) durch CO₂-Freisetzung wieder verloren gehen.

Interessant ist das Verhalten des Hefestammes CEG, einer Variante, die zur Kaltvergärung von Sektgrundweinen selektiert wurde. Sie produziert bei 15°C deutlich mehr Essigsäure-2-phenylethylester; ein Effekt, der sich bei 2-Phenylethanol nicht wiederholt. Aufgrund mangelnder Vorstufen im synthetischen ASII-Medium werden diese beiden Substanzen, vor allem aber Essigsäure-2-phenylethylester, vergleichbar gering freigesetzt. Essigsäure-2-phenylethylester, ein Vertreter der höhersiedenden Komponenten, wird verstärkt bei Gärtemperaturen von 15-20°C gebildet und verbleibt bei diesen Temperaturen im Endprodukt (Killian und Ough, 1979; Nykänen und Suomalainen, 1983).

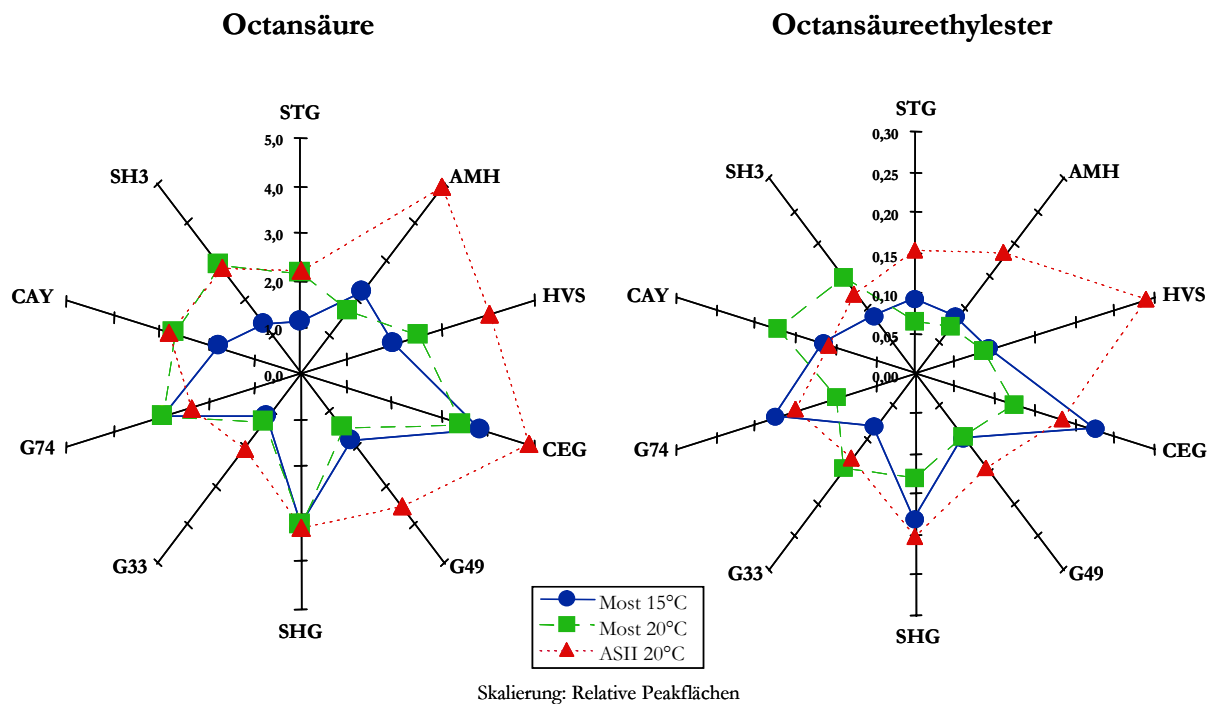


Abb. 22: Profile wertbestimmender Substanzen beeinflusst durch *Saccharomyces cerevisiae*-Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen: Octansäure, Octansäureethylester (Hühn et al., 1998)

In Abbildung 22 ist der Octansäureethylester, der einen fruchtig-blumigen Geruchseindruck hinterlässt sowie seine Vorstufe, die Octansäure, dargestellt. Einflüsse der Temperatur auf die Genese der Vorstufe sind nur bei CAY, SH3 und STG deutlich feststellbar. Die erhöhte Bildung dieser Fettsäure beim synthetischen Medium ASII durch die Hefen AMH, HVS, CEG und G49 könnte eine Stressindikation darstellen.

Der Octansäureethylester kommt nur in vergleichsweise niedrigen Konzentrationen vor. Die Hefestämme G33, CAY und SH3 setzen bei 20°C mehr Octansäureethylester frei als der Durchschnitt der anderen Stämme. CEG, SHG und G74 reagieren hier bei niedrigeren Gärbedingungen mit erhöhten Veresterungsaktivitäten.

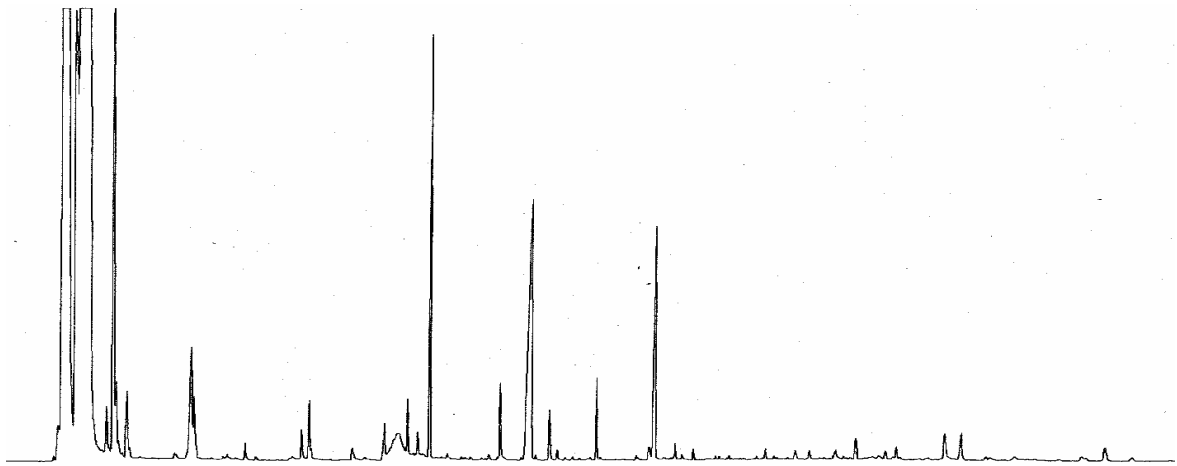
Die Bildungsraten von Esterkomponenten werden vom Hefestamm und den jeweiligen Gärbedingungen beeinflusst (Nykänen und Nykänen, 1977; Ough und Daudt, 1981). Nach dem Höhepunkt der Fettsäuresynthese der Hefe erhöht sich die Bildung von Essigsäureethylester und Essigsäure-3-methylbutylester deutlich. Dieser Effekt beruht auf der Tatsache der Erhöhung des Acetyl-CoA-Gehaltes in den Hefezellen, der nach der Einstellung der Fettsäuresynthese zur Generierung der Essigsäureester zur Verfügung steht.

Die Zusammensetzung der Substrate und somit die Nährstoffversorgung der Reben beeinflussen die Bildung der höheren Alkohole und Ester. Die Genese von Essigsäureethylester durch Zusatz von Ammoniumsulfat oder einer der Aminosäuren Alanin, Leucin, Isoleucin, Valin oder Prolin

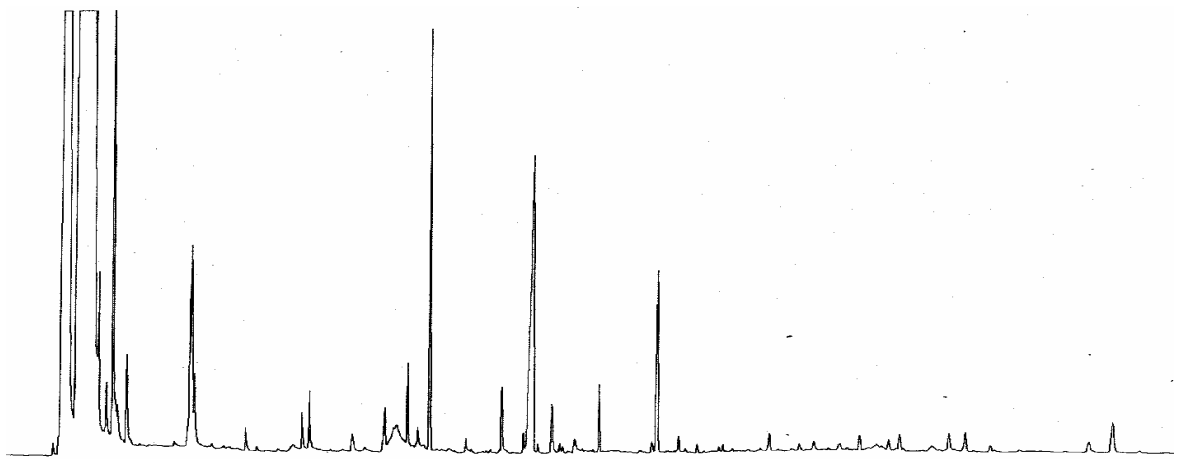
wurde im Gegensatz zur Bildung von Essigsäure-2/3-methylbutylester nicht beeinflusst, der infolge der höheren Syntheseleistung von Isoamylalkohol vermehrt auftrat (Engan, 1970 und 1972 und 1974). Die Bildung von ungesättigten Fettsäuren, wie beispielsweise Linolensäure, vermindern die Genese von Essigsäureethylester und Essigsäure-3-methylbutylester um bis zu 80% (Thurston et al., 1981 und 1982). Die Verfügbarkeit von Sauerstoff für die Hefe erhöht die Syntheseleistung für Fettsäuren.

Die höheren (weniger fruchtigen) Ester werden im inneren der Hefezelle angereichert (Houtman et al., 1980a). Eine Freisetzung dieser Verbindungen ist durch die Erhöhung der Kontaktzeit des Jungweines nach der Gärung mit den Hefen zu erwarten, nachdem die Autolyse eingesetzt hat. Einer längeren Kontaktzeit mit der lebenden Hefe steht aber entgegen, dass im alkoholischen Milieu Hefeesterasen verschiedene Ester zerlegen können (Schermers et al., 1976; Suomalainen, 1981; Parkkinen, 1980).

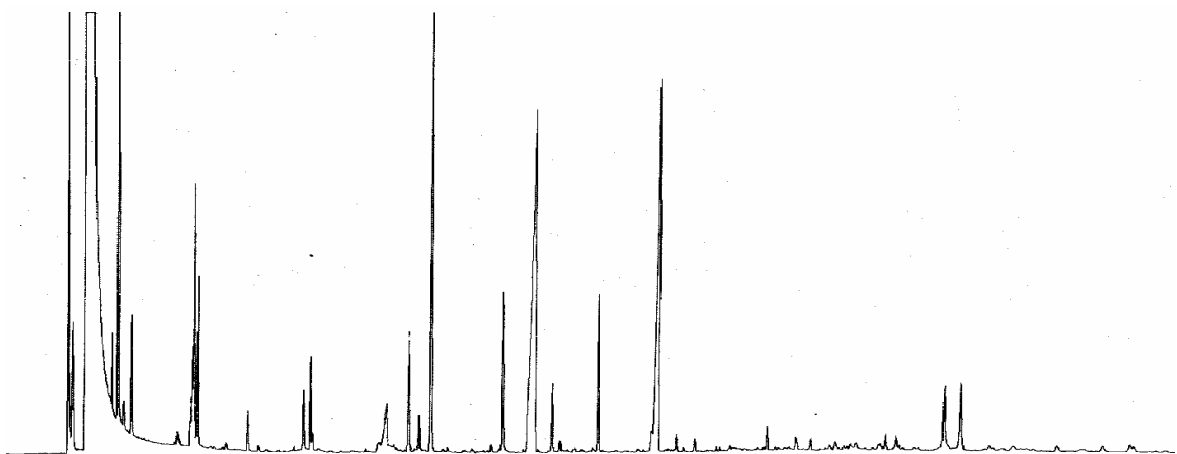
Die stammspezifische Bildung von Aromasubstanzen durch die Hefen Champagne-Hautvillers, -Ay und -Epernay der Spezies *Saccharomyces cerevisiae* zeigt Abbildung 23. Die Hefen wurden unter identischen Substratbedingungen in einem Most bei 20°C kultiviert. Die Auswertung der Analysen ergab deutliche Unterschiede in der Genese verschiedener Ester, höherer Alkohole und Fettsäuren, verursacht durch die unterschiedliche genetische Ausstattung der verwendeten Hefen.



A: Champagne-Ay-Chromatogramm, Most 20°C



B: Champagne-Epernay-Chromatogramm, Most 20°C



C: Champagne-Hautvillers-Chromatogramm, Most 20°C

Abb. 23: Chromatogramme von Aromasubstanzen verschiedener Hefen (A: Champagne-Ay, B: -Epernay, C: -Hautvillers) nach alkoholischer Vergärung eines Mostmediums bei 20°C (Hühn et al., 1998)

Glycerin stellt als eines der Hauptnebenprodukte der alkoholischen Gärung eine Substanz dar, die das Mundgefühl des Weines wesentlich beeinflussen kann. Ferner wird diesem dreiwertigen Alkohol eine Transportfunktion für Aromasubstanzen zugeschrieben (Hinreimer et al., 1995). Durch die Glycerinproduktion in der Hefezelle werden Redox- und Osmobalance gesteuert. Die alkoholische Gärung als Unterprozess der Glycolyse stellt eine redoxneutrale oder ausgeglichene Stoffwechselfolge dar. Eine starke Biomasseproduktion, verbunden mit einer Überproduktion von NADH (van Dijken und Scheffers, 1986) während des ersten Drittels der alkoholischen Gärung, muss in der Hefezelle beispielsweise durch eine erhöhte Glycerinproduktion ausgeglichen werden (Grossmann et al., 2000). Osmotischem Stress, hervorgerufen durch hohe natürliche Zuckerkonzentrationen oder Anreicherung mittels Saccharose, kann die Hefe durch intrazelluläre Akkumulation von Glycerin begegnen (Mager und Varela, 1993).

Abbildung 24 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen internem Glyceringehalt und der Fähigkeit von Hefen, unter vergleichsweise kühleren Bedingungen (15°C) die Gärung zu vollenden. Zwischen dem internen Glyceringehalt und dem Restzuckeranteil konnte mit $-0,94$ ein für biologische Zusammenhänge vergleichsweise hoher Korrelationskoeffizient bestimmt werden. Die Vergärung des Mostmediums bei 20°C führt zu niedrigeren Restzuckeranteilen, wobei der Zusammenhang mit dem internen Glyceringehalt verloren geht ($Korr = -0,25$). Beim synthetischen Medium besteht ebenfalls kein Zusammenhang ($Korr = -0,41$). Die vorliegenden Daten lassen den Schluss zu, dass mit der Fähigkeit der Hefe Glycerin in der Zelle zu akkumulieren, die Fähigkeit das Substrat bei vergleichsweise kühleren Temperaturen (15°C) zu vergären, verbunden ist. Die Stämme AMH, CEG und G33 wurden bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen internem Glycerin- und Restzuckeranteil eliminiert, da die Restzuckeranteile mit 15-32 g/l auf ein unzureichendes Vermögen der Stämme durchzugären schließen liessen. Diese Ergebnisse zeigen, dass nicht nur die Gärtemperatur sondern der Ernährungsstatus und das genetisch fixierte Potenzial die interne Glycerinakkumulation beeinflussen.

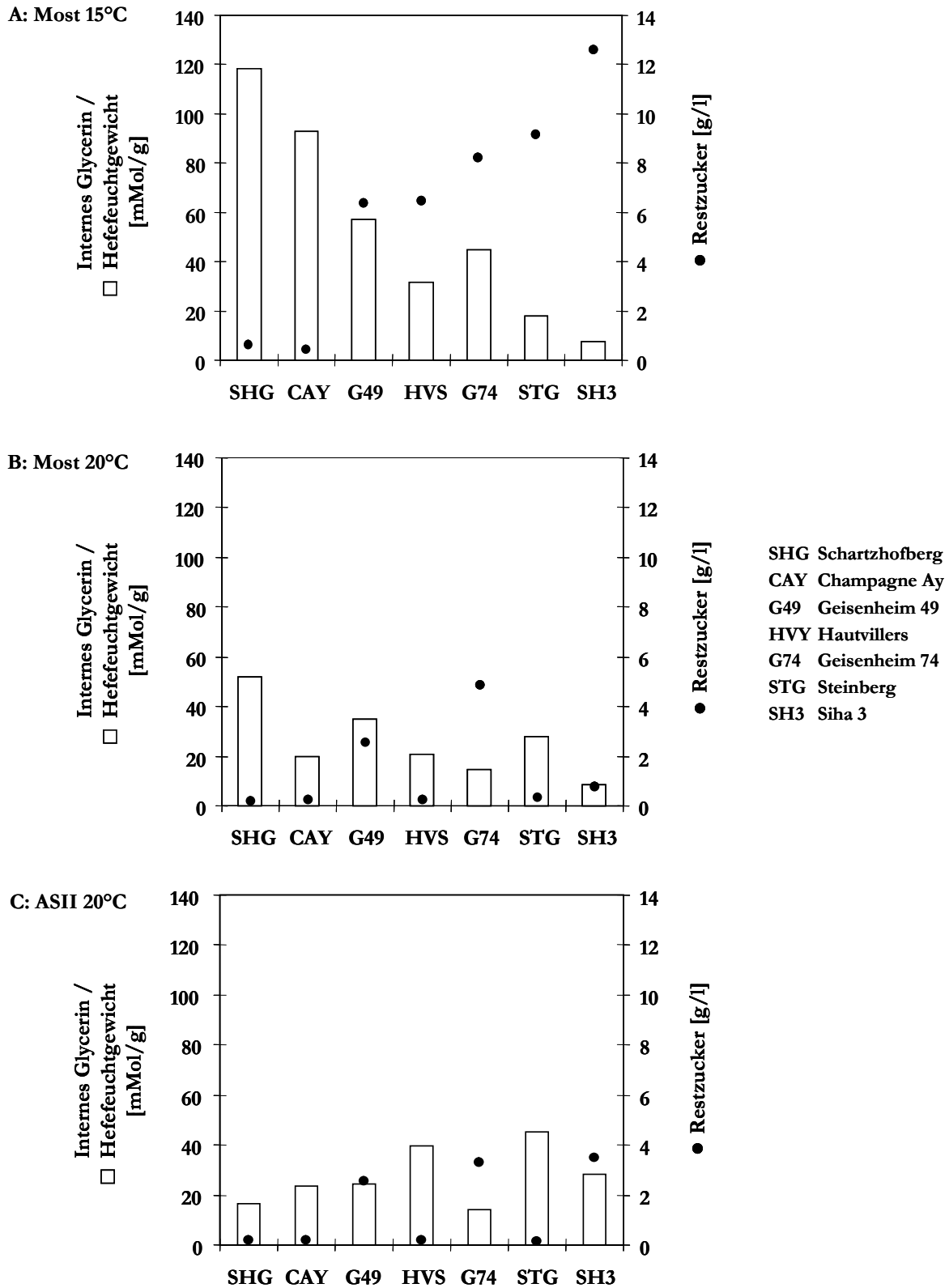


Abb. 24: Interner Glycerin- und Restzucker Gehalt im Medium ausgewählter *Saccharomyces cerevisiae*-Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen (A: Most 15°C, B: Most 20°C, C: ASII 20°C)

Ein Zusammenhang der internen Glycerinkonzentration mit der Sekretion ins Medium kann nicht festgestellt werden (Abb. 25). Der interne Glyceringehalt kann als ein Faktor einer Stressantwort auf Temperatur, Alkoholgehalt und Stickstoffverfügbarkeit gesehen werden. Hefestämme mit der ausgeprägten Fähigkeit, unter vergleichsweise kühlen Fermentationsbedingungen (15°C) die Gärung zu Ende zu führen, weisen interne Glycerinkonzentrationen zwischen 90 und 120 mMol/g Feuchtgewicht auf. Bei Hefen, die weniger als 60 mMol/g Feuchtgewicht unter diesen Bedingungen aufweisen, liegt eine vergleichsweise schlechte Eignung betreffend des Endvergärungsgrades vor.

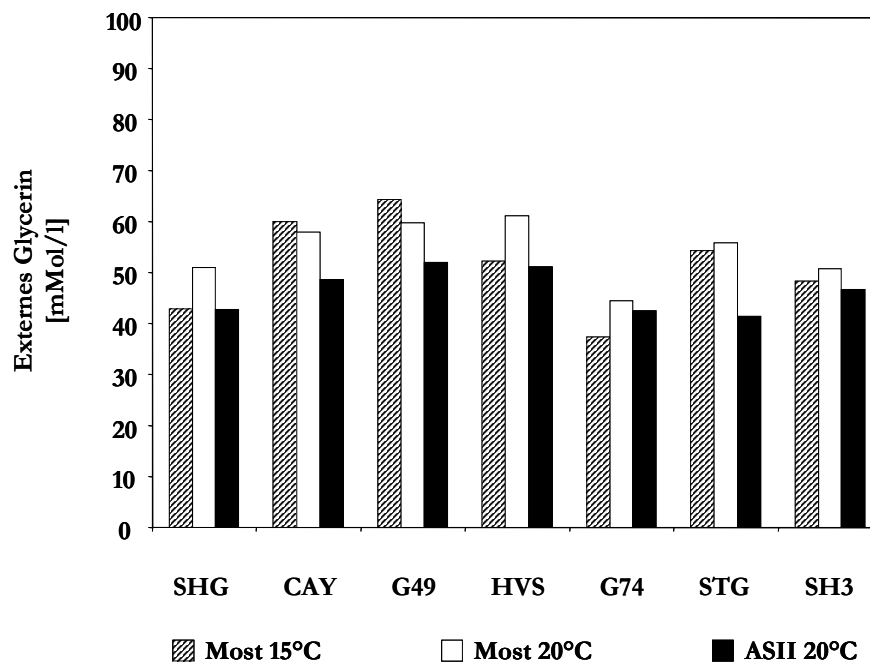


Abb. 25: Externer Glyceringehalt im Medium ausgewählter *Saccharomyces cerevisiae*-Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen

Aufgrund dieser Ergebnisse kann festgehalten werden, dass es „die Hefe“ mit genormten Eigenschaften nicht gibt, sondern Hefestämme individuell verschieden auf die (Most)-Umwelt reagieren (Hühn und Grossmann, 1997).

4.2 Einflussfaktoren der atypischen Weinentwicklung
 4.2.1 Umweltbedingungen der Reben
 4.2.1.1 UV-B-Strahlung und wertbestimmende Inhaltsstoffe

Die folgenden Daten stellen die Ergebnisse des Screeningversuchs (Feldversuch 1 und 2) zum Einfluss kurzweiliger, energieintensiver Strahlung und anderer Standortfaktoren auf die Konzentration ausgewählter wertbestimmender Inhaltsstoffe dar. Zum Schutz der Pflanze vor UV-Anteilen kam neben einer Folie ein versprühter Absorber zum Einsatz. Diese Schutzmassnahmen wurden auf einer Teilparzelle mit verstärkter und einer weiteren mit moderater Stressneigung als Kontrollvariante getestet. Die Weine aus den unter diesen Bedingungen produzierten Trauben und Mosten der Rebsorte *Müller-Thurgau* wurden auf die Gehalte an verschiedenen wertbestimmenden Substanzen gaschromatographisch untersucht.

1998 führte der trockene März bis Mai zu eher tiefen Nmin Gehalten im Boden. Der Bereich der Kontrollvariante zeigte durchschnittlich 30 kg/ha Nmin - der „gestresste“ 15 kg/ha Nmin. Ab Juli konnte der Stickstoffmangel am Blatt beobachtet werden (helles Blatt, rote Blattstiele, angezogener Blattwinkel). Bei der Messung am 12. Mai 1998 konnte noch kein Unterschied beim N-Gehalt der Blätter gemessen werden (N-Tester, Hydro Agri). Die Werte lagen bei 250 ppm Nitrat, was einer eher niedrigen Versorgung entspricht. Das bedeutet, dass in beiden Varianten die Stickstoffversorgung nicht optimal war und bei der Kontrollvariante ebenfalls mindestens von moderatem Stress für die Pflanze ausgegangen werden kann. Bei Messungen im Herbst 1997 (22.9.97) zeigten sich aber deutliche Unterschiede. Die Reben von der „gestressten“ Variante zeigten 240 ppm Nitrat, die Reben der Kontrollvariante zwischen 350 und 440 ppm Nitrat.

Tab. 6: Konzentrationen ausgewählter Terpene und Fettsäureethylester (Hühn et al., 1999b)

Varianten	Substanzkonzentration [mg/l]								
	Geraniol	Linalool	cis(ß)-Linalool-oxid	Rosenoxid	α-Terpineol	C ₄ -säure-ethylester	C ₆ -säure-ethylester	C ₈ -säure-ethylester	C ₁₀ -säure-ethylester
behandelt/ gestresst	0,003	0,020	0,044	0,055	0,029	0,020	0,161	0,162	0,065
unbehandelt/ gestresst	0,004	0,021	0,023	0,018	0,025	0,021	0,193	0,238	0,101
behandelt/ Kontrolle	0,007	0,022	0,039	0,033	0,024	0,017	0,146	0,138	0,059
unbehandelt/ Kontrolle	0,004	0,019	0,020	0,037	0,023	0,021	0,189	0,188	0,074

Die Variante behandelt/Kontrolle liefert die höchsten Konzentrationen an Linalool und Geraniol (Tab. 6). Linalooloxid und Rosenoxid konnten in erhöhten Konzentrationen beim behandelt/gestressten Ansatz detektiert werden. Dagegen liegen die Werte im unbehandelt/gestressten Versuchsansatz deutlich niedriger. Die Konzentrationen an α -Terpineol sind beim behandelt/gestressten Ansatz vergleichsweise am höchsten und in der unbehandelten Kontrollvariante am niedrigsten. Bei den mit dem UV-Absorber behandelten Varianten wurden die Gehalte an verschiedenen Fettsäureethylestern (Tab. 7) tendenziell herabgesetzt. Die Konzentrationen sind bei den unbehandelten Varianten deutlich erhöht. Stressbedingungen verstärken offensichtlich die Produktion der C₆-, C₈- und C₁₀-säureethylester. Die Gehalte bei den unbehandelten Varianten liegen höher als bei den behandelten. Weiterhin sind die Konzentrationen in den Weinen aus den gestressten Parzellen gegenüber den Kontrollen erhöht.

Tab. 7: Konzentrationen verschiedener ausgewählter Substanzen (Hühn et al., 1999b)

Varianten	Substanzkonzentration [mg/l]									
	Essigsäure-2/3-methylbutylester	Hexansäureethylester	Essigsäure-2-phenylethylester	Iso-butanol	Methionol	2-Methylbuttersäureethylester	Butyrolacton	Bernsteinsäurediethylester	5-Methylfurfurol	2-Methoxy-4-vinylphenol
behandelt/gestresst	0,226	0,006	0,030	4,160	2,024	0,262	1,273	0,934	1,949	0,008
unbehandelt/gestresst	0,191	0,005	0,030	2,190	1,301	0,076	0,514	0,619	0,873	0,247
behandelt/Kontrolle	0,279	0,007	0,037	3,576	1,449	0,304	0,056	0,915	1,596	0,017
unbehandelt/Kontrolle	0,208	0,006	0,034	3,504	1,498	0,234	0,035	0,623	1,473	0,073

Essigsäure-2/3-methylbutylester und Hexansäureethylester (Tab. 7) sind bei den behandelten Varianten gegenüber den unbehandelten Varianten erhöht. Die Konzentration dieser Substanzen und von Essigsäure-2-phenylethylester liegen in den gestressten Varianten tendenziell niedriger. Bei Isobutanol und Methionol (Tab. 7) fällt auf, dass die Konzentrationen im Wein der behandelt/gestressten Variante erhöht sind. Die unbehandelt/gestresste Variante zeigt deutlich geringere Konzentrationen. Die Unterschiede fallen bei den Kontrollvarianten deutlich geringer aus und liegen unter den Konzentrationen in der behandelt/gestressten Variante, aber über denen der unbehandelt/gestressten. Butyrolacton (Tab. 7) zeigt eine erhöhte Konzentration bei der behandelten/gestressten gegenüber der unbehandelt/gestressten Variante. Die Konzentrationen nehmen überproportional bei den Kontrollvarianten weiter ab. Bernsteinsäurediethylester (Tab. 7) ist bei den behandelten Varianten deutlich erhöht. Die Substanzkonzentration scheint von den übrigen Versuchsparametern unbeeinflusst. Die Konzentrationen an 5-Methylfurfurol (Tab. 7) konnten gleichfalls in den behandelten Ansätzen erhöht werden.

Deutlich fällt hier die unbehandelt/gestresste Variante mit einer vergleichsweise niedrigen Konzentration auf.

Der Gehalt an 2-Methoxy-4-vinylphenol (Tab. 7) ist bei der unbehandelt/gestressten Variante deutlich am höchsten. Die behandelten Varianten zeigen sehr niedrige Konzentrationen dieser Substanz. Bei der unbehandelten Kontrollvariante ist der Gehalt viermal geringer als beim unbehandelt/gestressten Ansatz.

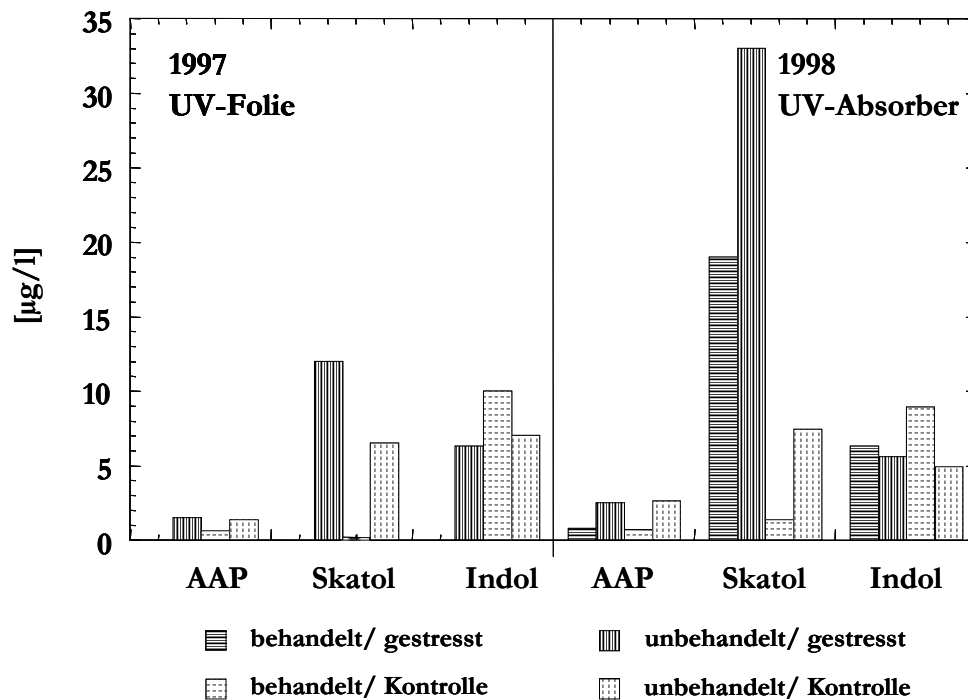


Abb. 26: Konzentrationen von 2-Aminoacetophenon, Skatol und Indol bei überwiegender Schutz der Triebzone (1997) mittels UV-Folie und der Traubenzone mittels UV-Absorber (1998) (Hühn et al., 1999b)

Durch die Schutzmassnahmen konnte in allen Fällen eine Reduktion der Konzentrationen an 2-Aminoacetophenon und Skatol gegenüber den unbehandelten Varianten erreicht werden (Abb. 26). Die Indol-Konzentrationen wurden dagegen durch die Schutzmassnahmen tendenziell erhöht. Die Weine aus den „gestressten“ Varianten zeigen vergleichsweise hohe Skatol-Konzentrationen. Eine Gewichtung der Behandlungszone kann aufgrund dieser Datenlage nicht erfolgen. Eine Reihe von Substanzkonzentrationen zeigen sich sehr unterschiedlich von den Schutzmassnahmen und den Stressbedingungen für Pflanze und Mikroorganismen beeinflusst. Die in Verbindung mit dem „Untypischen Alterungston“ stehenden Substanzen 2-Aminoacetophenon und Skatol konnten durch den Einsatz der Schutzmassnahmen reduziert werden.

Auf dieser Grundlage kann die Hypothese, dass komplexe Stressfaktoren die Genese unerwünschter Aromastoffe über mehrere Stufen induzieren können, weiter verfestigt werden.

4.2.1.2 Nährstoffverfügbarkeit und wertbestimmende Inhaltsstoffe

Nachdem die Feldversuche 3 und 4, 1999 und 2000 nicht zu einer Auswertung herangezogen werden konnten, wurde 2001 der Feldversuch 5 durchgeführt. Eine Aufteilung der Varianten in gestresst und ungestresst erfolgte nach der in den Kontrollen gemessenen Konzentration an AAP. Diese Einteilung stimmt nicht zwangsläufig in jedem Fall mit der morphologischen Beurteilung der Reben überein, was vermutlich auf Adaptionseffekte zurückgeführt werden kann. In den gestressten Varianten (1 und 2) führten alle Behandlungen zu einer Reduktion des AAP-Gehaltes im Wein, unter oder nahe der Nachweisgrenze, während dieser Effekt in den weniger gestressten Varianten (als ungestresst bezeichnet, 3 und 4) nicht festgestellt werden konnte (Abbildung 27). Diese Resultate bestätigen bereits gewonnene Erkenntnisse durch Reduzierung der UV-B-Strahlung auf die Reben mittels einer Folie (1997) und Einsatz des UV-B-Absorbers in der Laubwand und Traubenzone (1998) (Hühn et al., 1999b).

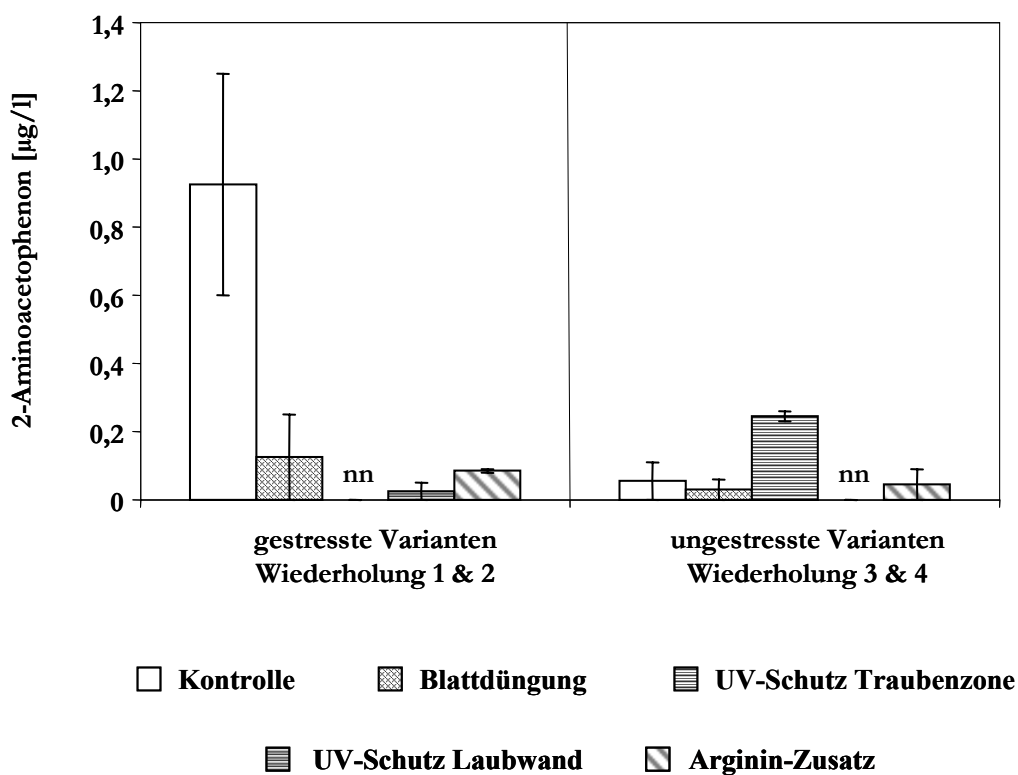


Abb. 27: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den 2-Aminoacetophenon-Gehalt der Weine (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)

Die Skatol-Werte zeigen ein ähnliches Bild wie die AAP-Gehalte (Tab. 8). Skatol (3-Methylindol) wird als Zwischenstufe des Bildungsweges von AAP aus Tryptophan angesehen (Christoph et al., 1998). Alle stressreduzierenden Massnahmen konnten in der stark gestressten Wiederholung 2 den Skatol-Gehalt im Wein reduzieren, während in den weniger gestressten Varianten kein Einfluss der Behandlungen der Reben festzustellen war.

Tab. 8: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Skatol- und Indol-Gehalt der Weine. Wiederholung 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholung 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/Variante	Skatol [µg/l]	Indol [µg/l]
1.1	Kontrolle	nn	1,48
1.2	Blattdüngung	nn	1,71
1.3	UV-B-Schutz Traubenzone	nn	0,35
1.4	UV-B-Schutz Laubwand	0,02	0,68
1.5	Kontrolle + Arginin	0,02	0,23
2.1	Kontrolle	0,11	1,11
2.2	Blattdüngung	0,01	1,35
2.3	UV-B-Schutz Traubenzone	nn	2,17
2.4	UV-B-Schutz Laubwand	0,04	0,87
2.5	Kontrolle + Arginin	nn	0,98
3.1	Kontrolle	0,02	0,69
3.2	Blattdüngung	nn	0,42
3.3	UV-B-Schutz Traubenzone	nn	0,25
3.4	UV-B-Schutz Laubwand	nn	0,46
3.5	Kontrolle + Arginin	0,02	1,69
4.1	Kontrolle	0,02	0,94
4.2	Blattdüngung	nn	1,39
4.3	UV-B-Schutz Traubenzone	nn	1,28
4.4	UV-B-Schutz Laubwand	0,02	1,12
4.5	Kontrolle + Arginin	0,01	0,76

nn = nicht nachweisbar

Es konnte kein eindeutiger Effekt der verschiedenen stressreduzierenden Massnahmen auf die Indol-Gehalte im Wein festgestellt werden (Tab. 8). In den gestressten Varianten (1 und 2) führten der Einsatz des UV-B-Schutzes in der Laubwand und die Zugabe von Arginin zu einer Reduktion der Indol-Konzentration, während in den ungestressten Varianten bei der Wiederholung 3 der Arginin-Zusatz zu einem erhöhten Indol-Gehalt führte. In diesen Versuchen konnte, wie bereits beobachtet wurde, keine verstärkte Bildung von Indol durch eine Reduktion

der UV-B-Belastung der Pflanzen nachgewiesen werden (Hühn et al., 1999b). Der UV-B-Absorber war bei dem Versuch 1998 in der Laubwand und der Traubenzone angewandt worden, was die unterschiedlichen Effekte erklären könnte.

Als Mass für die Stickstoffversorgung der Hefe wurde die Summe der freien Aminosäuren ohne Prolin verwendet, welche als freier Aminostickstoff (FAN = free α -amino nitrogen) bezeichnet wurde. Die Gehalte an hefeverwertbarem Aminostickstoff der Moste lagen zwischen 910 und 1265 mg/l (Abb. 28). Die Gesamt-Aminosäuregehalte der Moste (mit Prolin) betrugen 1215 bis 1722 mg/l. Die freien Aminosäuren machten 82-100% des Gesamt-Aminosäuregehaltes aus. Es bestand eine knapp nicht signifikante Differenz ($p = 0,06$) im Gehalt an freiem Aminostickstoff zwischen den gestressten und ungestressten Varianten. In allen Varianten wiesen die Moste, im Vergleich zu den von Sponholz (1991) in *Müller-Thurgau* Mosten gefundenen Aminosäuregehalten zwischen 1217 und 4921 mg/l, relativ niedrige Konzentrationen auf.

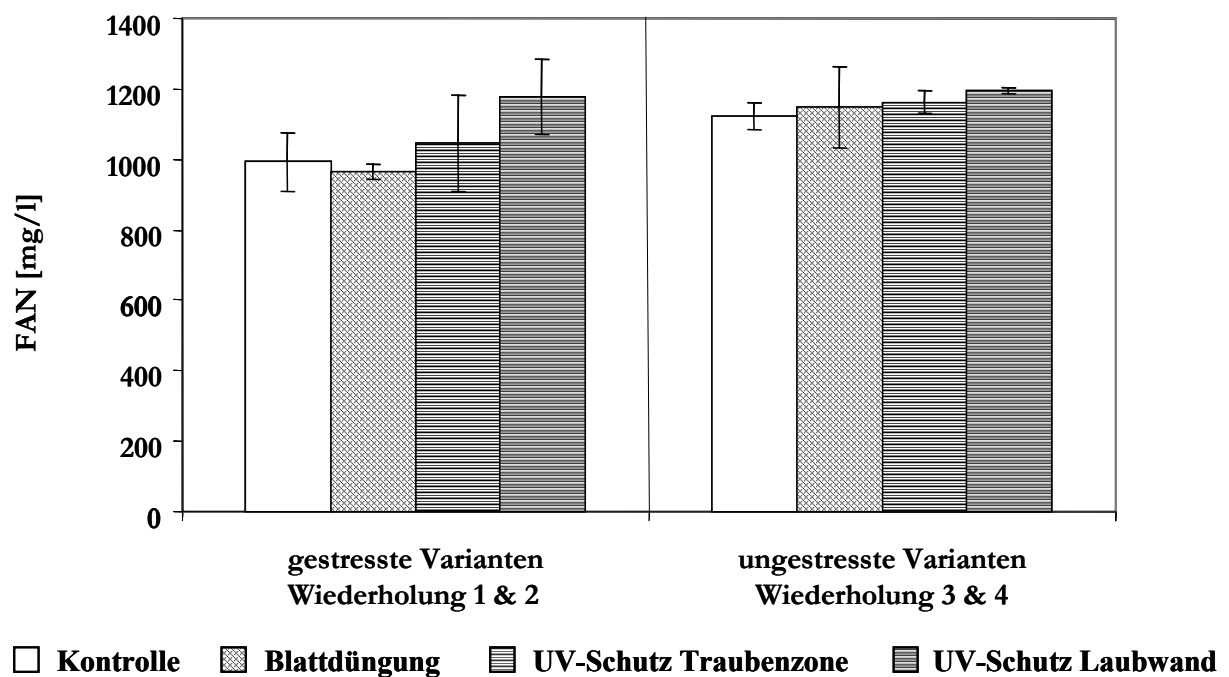


Abb. 28: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe auf den Gehalt an hefeverwertbaren Aminosäuren (FAN) im Most (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)

Der Anteil des Arginins an der Summe der freien Aminosäuren lag in den Mosten der gestressten Wiederholung 2 signifikant tiefer als in den ungestressten Wiederholungen 3 und 4. Durchschnittlich wiesen die Varianten der gestressten Wiederholungen knapp signifikant kleinere

Anteile an Arginin auf ($p = 0,07$). In der am stärksten gestressten Wiederholung 2 wurden die signifikant höchsten Anteile an Prolin gemessen.

Der geringste Gesamt-Aminosäuregehalt wurde im Most der Kontrolle der Wiederholung 2 gemessen (Tab. 9). Die Wiederholung 2 wurde als die am stärksten gestresste bezeichnet. Den höchsten Gesamt-Aminosäuregehalt (und Gehalt an hefeverwertbaren Aminosäuren) wies die blattgedüngte Variante der Wiederholung 3 auf (Tab. 9). In dieser Variante wurden gegenüber der Kontrolle um 15-40% höhere Konzentrationen an Arginin, Glutamin, Asparagin, Threonin, Phenylalanin, Histidin, Tryptophan, Tyrosin, Leucin, Isoleucin und Valin (freie Aminosäuren) gemessen. Möglicherweise waren die mittels Blattdüngung zugeführten Nährstoffe dieser Variante durch die Reben besser aufgenommen und verwertet worden, was sich in höheren Aminosäuregehalten im Most zeigte. Aufgrund des nicht nachweisbaren AAP-Gehaltes in der Kontrollvariante konnte diese als die am geringsten gestresste bezeichnet werden. In der Wiederholung 2 war anzunehmen, dass die Hefen aufgrund einer ungenügenden Versorgung mit verwertbaren Stickstoffverbindungen am stärksten unter Stress gesetzt worden waren.

Der Einsatz des UV-B-Schutzes zeigte in den ungestressten Wiederholungen keinen Effekt auf die Aminosäurekonzentrationen im Most, während der UV-B-Schutz der Laubwand in den gestressten Wiederholungen eine Verbesserung der Stickstoffversorgung bewirken konnte. Der UV-B-Absorber in der Traubenzone hingegen führte zu einer geringeren Erhöhung der Gesamt-Aminosäuregehalte im Most. Die Anwendung des UV-B-Absorbers in der Laubwand verminderte die UV-B-Strahlung auf die photosynthetisch aktiven Organe der Pflanze, was sich schliesslich in einer verbesserten Stickstoffversorgung der Weinhefen und einer reduzierten Bildung von AAP im Laufe der Gärung zeigte. Die partiellen Konzentrationsüberschreitungen der freien über die gesamten Aminosäuren müssen auf die unterschiedlichen Bestimmungsmethoden zurückgeführt werden.

Die Moste der unterschiedlich behandelten Varianten enthielten zwischen 156 und 303 mg Arginin/l. Die durch Hydrolyse erhaltenen gesamten Arginingehalte lagen etwa gleich hoch wie die Gehalte an freiem Arginin. Nach Kliever (1978) und Juhász (1983) ist die Argininkonzentration der Beeren und des Mostes ein Indikator für den Stickstoff-Ernährungszustand der Rebe. Die gestressten Varianten wiesen signifikant niedrigere Arginingehalte (freies und gesamtes) auf als die ungestressten Varianten. In der am stärksten gestressten Wiederholung 2 mit dem höchsten AAP-Gehalt der Kontrollvariante im Wein wurden die niedrigsten Konzentrationen gemessen. Die Varianten der Wiederholung 2 wiesen die signifikant niedrigsten Gehalte an gesamtem Arginin auf, während in den Gehalten an freiem Arginin nur eine signifikante Differenz zur Wiederholung 3 bestand.

Dieses Resultat bestätigt die Einteilung der Wiederholungen aufgrund der AAP-Gehalte im Wein in gestresste und ungestresste Wiederholungen und den angenommenen Zusammenhang zwischen Pflanzen- und Mikroorganismenstress. Die Arginin-Konzentration der supplementierten Varianten lag zwischen 487 und 548 mg/l.

Tab. 9: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an freien und gesamten Aminosäuren vor der Gärung. Wiederholung 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholung 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/Variante	Freie Aminosäuren [mg/l]	Gesamte Aminosäuren [mg/l]
1.1	Kontrolle	1329	1441
1.2	Blattdüngung	1213	1424
1.3	UV-B-Schutz Traubenzone	1117	1361
1.4	UV-B-Schutz Laubwand	1507	1587
1.5	Kontrolle + Arginin	1410	1674
2.1	Kontrolle	1234	1214
2.2	Blattdüngung	1295	1362
2.3	UV-B-Schutz Traubenzone	1590	1722
2.4	UV-B-Schutz Laubwand	1428	1514
2.5	Kontrolle + Arginin	1788	1605
3.1	Kontrolle	1335	1450
3.2	Blattdüngung	1471	1633
3.3	UV-B-Schutz Traubenzone	1432	1577
3.4	UV-B-Schutz Laubwand	1527	1501
3.5	Kontrolle + Arginin	1560	1774
4.1	Kontrolle	1506	1448
4.2	Blattdüngung	1282	1284
4.3	UV-B-Schutz Traubenzone	1559	1649
4.4	UV-B-Schutz Laubwand	1421	1528
4.5	Kontrolle + Arginin	1601	1723

In den gestressten Varianten konnte der Einsatz des UV-B-Absorbers in der Laubwand den Arginingehalt um 53 (Wiederholung 1) und 38 mg/l (Wiederholung 2) (freies Arginin) bzw. um 44 (Wiederholung 1) und 53 mg/l (Wiederholung 2) (gesamtes Arginin) erhöhen (Abb. 29). In den ungestressten Varianten wurde keine Beeinflussung der Arginingehalte durch den UV-B-Absorber festgestellt. In der Wiederholung 1 zeigten die verschiedenen stressreduzierenden Massnahmen mit Ausnahme des UV-B-Schutzes in der Laubwand keinen Effekt auf den Arginingehalt des Mostes. Die Gehalte der durch die Hefe nicht verwertbaren Aminosäure Prolin

lagen zwischen 205 und 407 mg/l (freies Prolin), bzw. 270 und 537 mg/l (gesamtes Prolin). Die höchsten Prolingehalte wurden in den unterschiedlich behandelten Varianten der Wiederholung 2 gemessen.

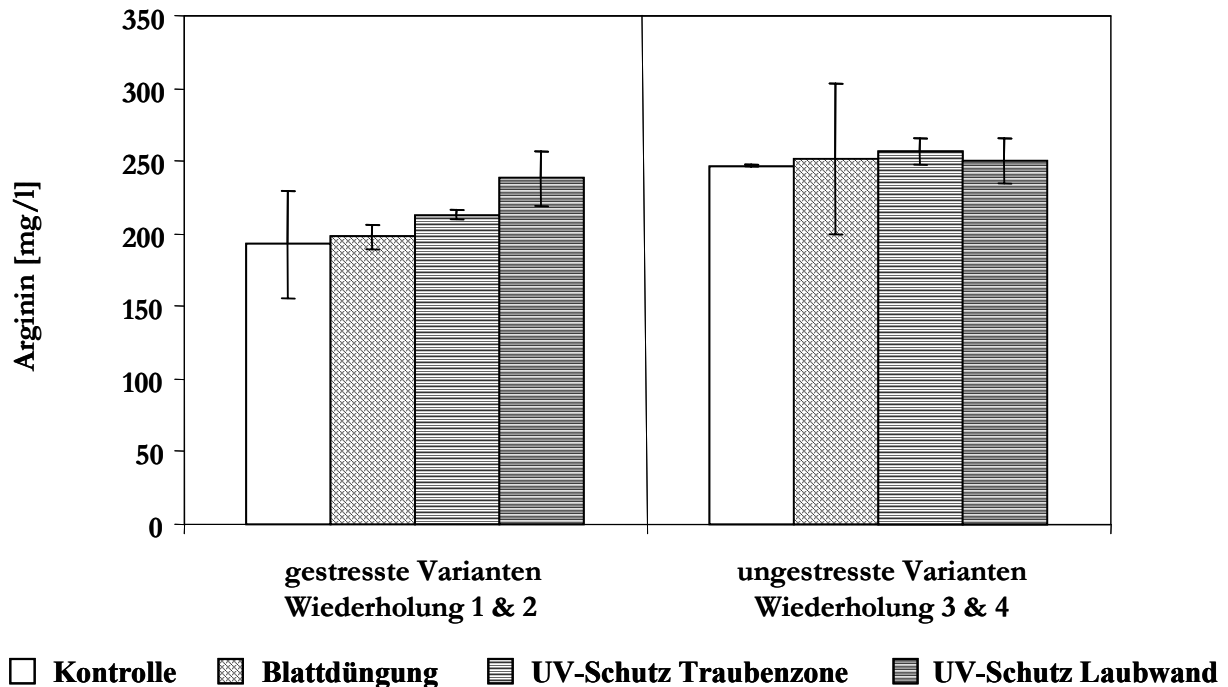


Abb. 29: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe auf den Gehalt an freiem Arginin (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)

Durch die stressreduzierenden Massnahmen konnte nicht in allen Varianten der Wiederholungen 1 und 2 die Prolinkonzentrationen vermindert werden, was erwartet worden war, da Prolin nach Rhodes et al. (1999) ein Indikator für Pflanzenstress darstellt. Der Einsatz des UV-B-Absorbers in der Traubenzone führte sowohl in den gestressten wie in den ungestressten Wiederholungen zu einer Zunahme des freien und des gesamten Prolingehaltes. Möglicherweise lässt sich die Erhöhung des Gehaltes durch die Wirkung des UV-B-Absorbers erklären. Durch die geringere UV-B-Belastung der Trauben könnte der Abbau von Prolin vermindert werden und somit zu höheren Gehalten im Most führen. Welchen Einfluss eine Verminderung der UV-B-Bestrahlung der Pflanzen auf die Bildung von Prolin ausübt, bleibt zu untersuchen.

Die Gehalte an freiem Tryptophan im Most lagen zwischen 11,7 und 18,7 mg/l. Die gestressten Varianten wiesen einen knapp nicht signifikant niedrigeren Gehalt auf als die ungestressten Varianten ($p = 0,06$). Es konnte bestätigt werden, dass kein Zusammenhang zwischen den AAP-Gehalten im Wein und dem Gehalt an Tryptophan im Most besteht, wie Gessner et al. (1996), Dollmann et al. (1996) und Christoph et al. (1996) feststellten.

Die unterschiedlichen Behandlungen der Reben führten in mehr als der Hälfte der Varianten zu höheren Tryptophangehalten im Most, während die AAP-Gehalte im Wein reduziert wurden. Es konnte somit kein Effekt der verschiedenen Behandlungen und der Blattdüngung auf die Tryptophangehalte im Most erkannt werden. Falls Tryptophan mit der Entstehung des UTA zusammenhängt, ist anzunehmen, dass Stressfaktoren zu einer Veränderung des Tryptophan-katabolismus führen, bei der die unerwünschten Aromasubstanzen gebildet werden (Prior, 1997). Tryptophan war nach der Gärung nicht mehr nachweisbar.

Nach der Gärung konnten keine Unterschiede zwischen den gestressten und ungestressten Wiederholungen sowie zwischen den verschiedenen Behandlungen und den supplementierten Varianten festgestellt werden. Je besser die Hefen mit Arginin und hefeverwertbaren Aminosäuren versorgt worden waren, um so mehr Arginin und Aminosäuren wurden während der Gärung verbraucht. Dies bestätigt die von Bleser (1999) gemachten Beobachtungen. Der höhere Verbrauch an freiem Arginin durch die Hefe in den ungestressten Varianten entsprach dem Unterschied im Arginingehalt zwischen den ungestressten und gestressten Varianten (Abb. 30).

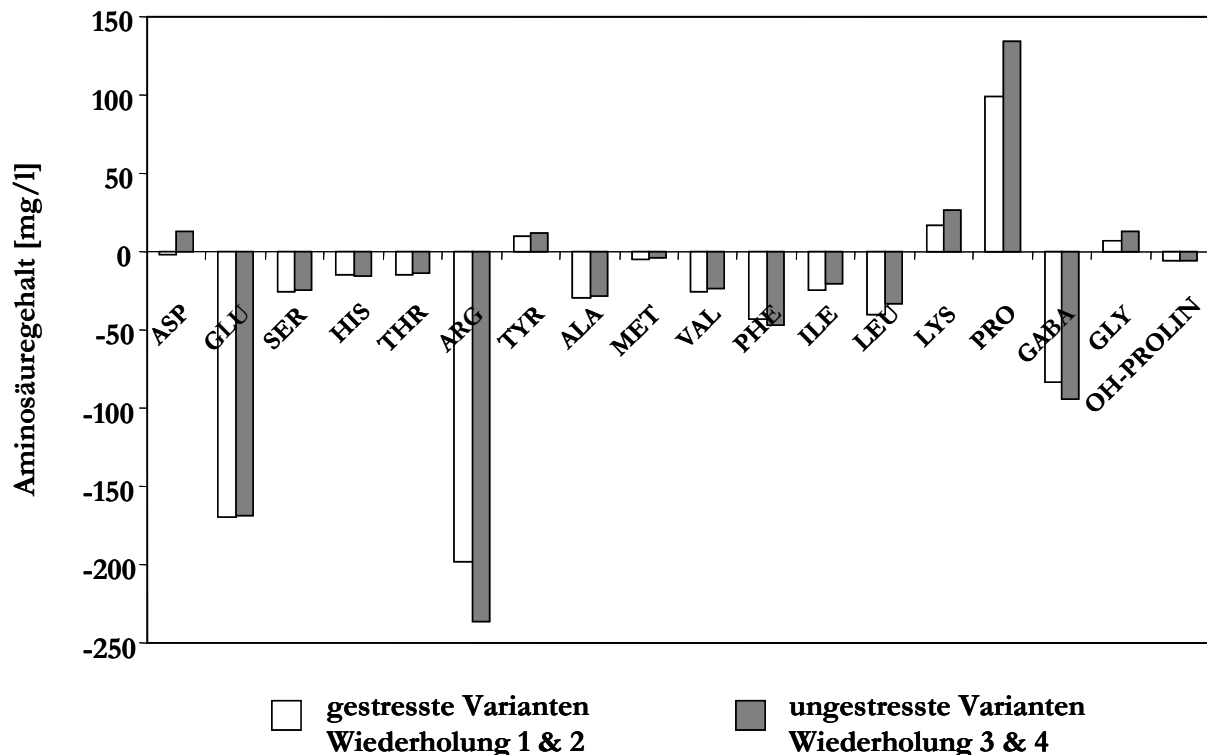


Abb. 30: Durchschnittlicher Verbrauch bzw. Bildung/Freisetzung von gesamten Aminosäuren während der Gärung bei gestressten und ungestressten Varianten (Cuperus, 2002)

Arginin-Stickstoff wird bei ausreichenden Aminosäuregehalten im Most in geringerem Umfang genutzt, als bei Mosten mit Aminosäuremangel (Sponholz, 1991). Dies lässt vermuten, dass in den ungestressten Varianten die Hefen nicht optimal mit Aminosäuren versorgt worden waren. Die Gehalte an freiem Arginin aller Varianten lagen nach der Gärung um 4 mg/l.

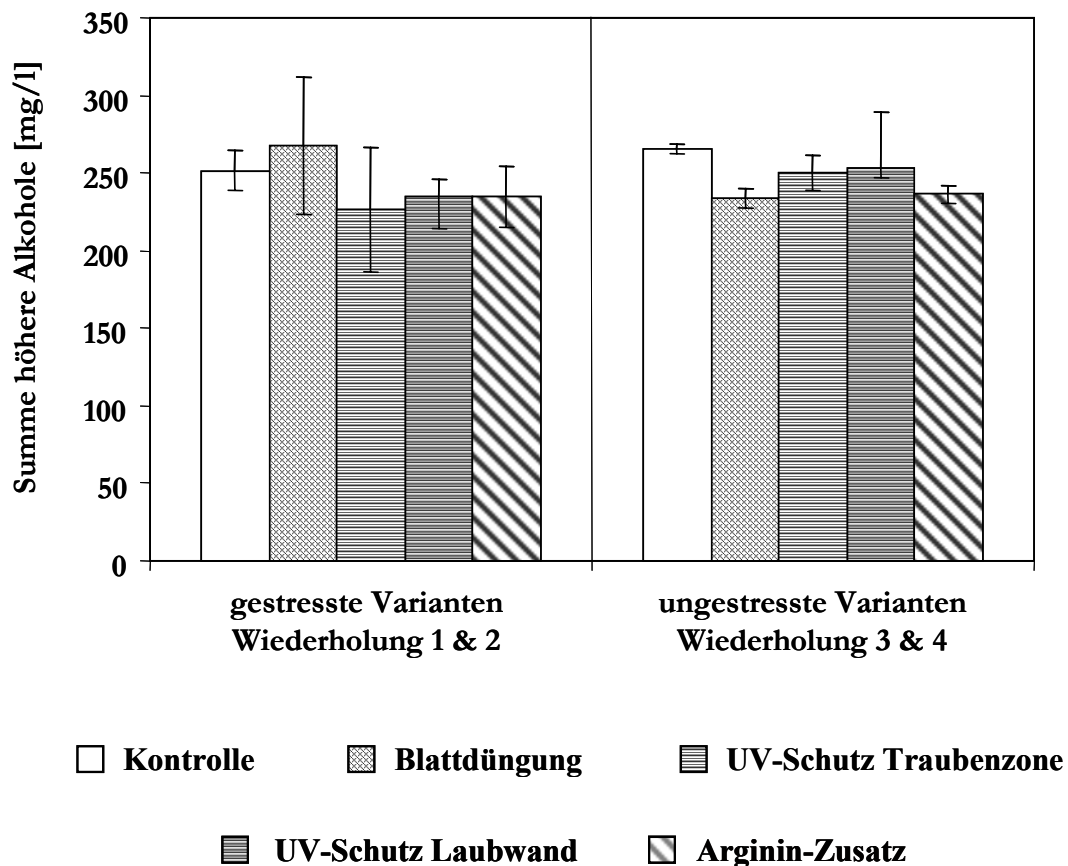


Abb. 31: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an höheren Alkoholen als Summe von Propanol(1), Isobutanol, 2- und 3-Methylbutanol der Weine (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)

Die verschiedenen Behandlungen der Reben und die Argininsupplementierung des Mostes zeigten unterschiedliche Effekte auf die Bildung höherer Alkohole durch die Hefe (Abb. 31). Zwischen den gestressten und ungestressten Varianten kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Bei den gestressten Varianten wurden bei der Wiederholung 1 in der blattgedüngten Variante erhöhte Gehalte an höheren Alkoholen während der Gärung produziert. Bei allen anderen Varianten führten die verschiedenen Behandlungen und der Zusatz von Arginin zu einer reduzierten Bildung der höheren Alkohole. Die mit dem UV-Schutz behandelten Varianten der Wiederholung 3 wiesen gegenüber der Kontrollvariante keine reduzierten Gehalte

an höheren Alkoholen auf, während dies bei allen anderen Wiederholungen festgestellt werden konnte. Die Argininsupplementierung des Mostes konnte in allen 4 Wiederholungen die Bildung der höheren Alkohole vermindern. Es bestand jedoch keine signifikante Korrelation zwischen der Konzentration der höheren Alkohole im Wein und der Stickstoffversorgung der Hefe (Summe der freien Aminosäuren ohne Prolin).

Tab. 10: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an Propanol(1), Isobutanol, 2- und 3-Methylbutanol, 2-Phenylethanol und Essigsäureethylester der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/ Variante	Propanol(1) [mg/l]	Isobutanol [mg/l]	2- und 3- Methylbutanol [mg/l]	2-Phenyl- ethanol [mg/l]	Essigsäure- ethylester [mg/l]
1.1	Kontrolle	11,6	37,9	214,9	35,6	26,2
1.2	Blattdüngung	12,0	48,0	251,8	46,8	24,3
1.3	UV-Schutz Traubenzone	11,5	41,1	214,2	39,4	24,5
1.4	UV-Schutz Laubwand	12,5	37,9	195,7	31,6	28,4
1.5	Kontrolle + Arginin	13,7	39,7	200,8	34,8	26,7
2.1	Kontrolle	10,0	27,5	201,4	39,5	22,7
2.2	Blattdüngung	10,1	29,1	183,9	33,2	24,7
2.3	UV-Schutz Traubenzone	8,7	22,7	154,5	29,5	24,9
2.4	UV-Schutz Laubwand	10,9	28,4	183,2	41,6	28,3
2.5	Kontrolle + Arginin	11,2	26,7	176,8	31,8	24,3
3.1	Kontrolle	12,2	40,2	210,2	40,0	26,0
3.2	Blattdüngung	14,6	37,5	175,5	37,6	28,2
3.3	UV-Schutz Traubenzone	12,2	40,4	208,7	40,1	25,0
3.4	UV-Schutz Laubwand	11,5	45,9	232,4	45,1	23,5
3.5	Kontrolle + Arginin	13,8	40,2	177,2	34,4	28,9
4.1	Kontrolle	10,7	41,5	216,2	35,5	25,2
4.2	Blattdüngung	10,4	30,6	198,6	39,9	25,0
4.3	UV-Schutz Traubenzone	10,2	37,6	191,5	34,2	28,4
4.4	UV-Schutz Laubwand	11,9	32,9	170,9	37,3	28,8
4.5	Kontrolle + Arginin	12,9	39,0	190,4	29,6	27,2

Die während der Gärung von der Hefe gebildeten Mengen an Propanol(1), Isobutanol, 2- und 3-Methylbutanol sowie 2-Phenylethanol und Essigsäureethylester der unterschiedlich behandelten Varianten sind in Tabelle 10 dargestellt. In den gestressten Varianten wurde weniger Propanol(1) durch die Hefen gebildet als in den ungestressten Varianten. Durch die Supplementierung des Mostes mit Arginin konnte in allen Varianten eine erhöhte Bildung von Propanol(1) festgestellt werden. Zwischen der Bildung von Isobutanol durch die Weinhefen und den verschiedenen Behandlungen der Reben konnte kein Zusammenhang erkannt werden. Die Blattdüngung und der UV-Schutz führten in einigen Varianten zu einer erhöhten, in anderen Varianten zu einer verminderten Bildung von Isobutanol.

Die unterschiedlichen Behandlungsmassnahmen der Reben sowie der Einsatz von Arginin zum Most führte in $\frac{3}{4}$ der Varianten zu niedrigeren 2- und 3-Methylbutanolgehalten im Wein. Zwischen den gestressten und ungestressten Varianten liess sich kein Unterschied erkennen.

Der 2-Phenylethanolgehalt der Weine lag zwischen 29,9 und 47,3 mg/l (Tab. 10). Die Massnahmen an der Pflanze zeigten unterschiedliche Effekte auf die 2-Phenylethanolgehalte im Wein, wobei in 11 Varianten die Konzentrationen niedriger als in den Kontrollvarianten waren. Die Zugabe von Arginin zum Most führte bei allen Varianten zu einer Verminderung der 2-Phenylethanolbildung. Ein signifikanter Unterschied zwischen den gestressten und ungestressten Wiederholungen kann nicht festgestellt werden. Vor der Gärung wurden Gehalte zwischen 0,8 und 3,2 mg 2-Phenylethanol/l in den Mosten gemessen. Die Bildung von 2-Phenylethanol wird mit verbesserter N-Versorgung der Hefen reduziert, was die Ergebnisse von Rapp und Versini (1996a) bestätigt. Es besteht ein indirekter Zusammenhang zwischen dem Einsatz des UV-Schutzes, der zu erhöhtem Aminosäuregehalt im Most führte, und dem 2-Phenylethanolgehalt im Wein, der mit verbesserter N-Versorgung der Hefen gesenkt wird. Schultz et al. (2001) hingegen stellen in Weinen, die aus UV-exponierten Trauben hergestellt worden waren, geringere 2-Phenylethanolkonzentrationen fest.

Die Essigsäureethylesterkonzentration der Weine lag zwischen 23,5 und 28,8 mg/l (Tab. 10). Es bestand keine signifikante Differenz zwischen dem Essigsäureethylestergehalt der Weine der gestressten Varianten und den ungestressten. Die detektierbaren Unterschiede sind sehr gering und als nicht relevant einzustufen. Die Essigsäuregehalte in den Mosten lagen zwischen 0 und 6 mg/l, was auf einen sehr guten Gesundheitszustand des Traubenmaterials schliessen lässt.

Zwischen Valin im Most und dem entsprechenden höheren Alkohol Isobutanol im Wein bestand kein Zusammenhang. Die Bildung von 2- und 3-Methylbutanol korrelierte mit einer Signifikanz von >95% mit dem Gehalt an Leucin und Isoleucin im Most. Diese Ergebnisse entsprechen den von Cantagrel et al. (1982) und Ough und Bell (1980) festgestellten Zusammenhängen. Die Beobachtung von Cantagrel et al. (1982), dass eine Zunahme der Phenylalaninkonzentration im Most bis zu 50 mg/l zu einer verminderten Bildung von 2-Phenylethanol führt, konnte nicht bestätigt werden. Zwischen der Synthese von Isobutanol und dem Gehalt an hefeverwertbaren Aminosäuren im Most besteht kein Zusammenhang. Zwischen dem Gehalt an 2- und 3- Methylbutanol und dem der freien Aminosäuren im Most (ohne Prolin) besteht eine negative Korrelation mit einer Signifikanz von >95%. Dieses Ergebnis entspricht dem von Ough und Bell (1980) und Rapp und Versini (1996a). Durch die verschiedenen Behandlungsmassnahmen der Reben, die zu höheren Aminosäurenkonzentrationen im Most führten, konnte die Bildung von 2- und 3-Methylbutanol während der Gärung vermindert werden.

Die Terpenegehalte (als Summe von Linalool, Linalooloxid, Geraniol, Nerol und Rosenoxid und α -Terpineol berechnet) der Weine liegen zwischen 66 und 115 $\mu\text{g/l}$. In den Mosten wurden Gehalte um 10 $\mu\text{g/l}$ gemessen. Die Linalool-, Geraniol-, Rosenoxid, trans-Linalooloxid und α -Terpineolgehalte der unterschiedlich behandelten und gestressten Varianten nach der Gärung sind in Tabelle 11 zusammengestellt. Linalool stellt die mengenmässig häufigste Terpenkomponente im Most wie im Wein dar. Mit zwei Ausnahmen (Wiederholung 1 Blattdüngung und Wiederholung 2 UV-Schutz Traubenzone) konnten die stressreduzierenden Massnahmen bei den gestressten Wiederholungen 1 und 2 zu höheren Linaloolgehalten im Wein führen. Schulz et al. (2001) stellt in Weinen aus UV-exponierten Trauben niedrigere Terpenegehalte fest, als in Weinen aus UV-geschützten Trauben. Die Argininsupplementierung der Moste zeigt keinen Einfluss auf den Linaloolgehalt des Weines. Auf die Linaloolgehalte bei den ungestressten Wiederholungen 3 und 4 konnte kein Einfluss der pflanzenbaulichen Massnahmen festgestellt werden. Bei den gestressten Varianten wurden ausser in der Variante UV-Schutz Traubenzone kleinere Linaloolkonzentrationen als in den ungestressten Varianten gemessen. Die höchsten Konzentrationen an Linalool und Geraniol konnten beim Feldversuch 2 in einer mit dem UV-Schutz behandelten, ungestressten Variante gemessen werden. Die Ergebnisse des Feldversuches 5 zeigen hier keine Beeinflussung der Geraniol-Konzentration durch die stressreduzierenden Massnahmen. Die Linalool- sowie die Geraniol-Konzentrationen der Weine liegen höher als in den Weinen der Untersuchung des Feldversuches 2 während die Gehalte an Rosenoxid und Linalooloxid sehr viel niedriger liegen.

Die Anwendung des UV-Absorbers in der Traubenzone oder der Laubwand im Feldversuch 5 anstelle der Traubenzone und der Laubwand im Feldversuch 2 könnte zu unterschiedlichen Konzentrationen an Terpenen im Wein geführt haben. Der Jahrgang (Niederschläge, Trockenheit und weitere Faktoren) kann einen grossen Einfluss auf die Konzentration an Terpenen im Wein ausüben (Rapp und Versini, 2001). Weiterhin ist davon auszugehen, dass im Jahr 2001 ein anderes Stressniveau vorlag als in den anderen Versuchsjahren.

Tab. 11: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an Linalool, Geraniol, Rosenoxid, trans-Linalooloxid und α -Terpineol der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/ Variante	Linalool [$\mu\text{g/l}$]	Geraniol [$\mu\text{g/l}$]	Rosenoxid [$\mu\text{g/l}$]	trans- Linalooloxid [$\mu\text{g/l}$]	α -Terpineol [$\mu\text{g/l}$]
1.1	Kontrolle	40,55	22,62	0,05	3,52	11,91
1.2	Blattdüngung	29,84	21,47	0,08	2,90	11,74
1.3	UV-Schutz Traubenzone	42,45	22,96	0,08	3,55	13,10
1.4	UV-Schutz Laubwand	43,07	21,92	0,12	3,95	12,41
1.5	Kontrolle + Arginin	40,18	23,02	0,03	3,35	13,87
2.1	Kontrolle	45,14	22,53	0,08	3,72	17,48
2.2	Blattdüngung	47,85	26,96	0,08	4,29	15,34
2.3	UV-Schutz Traubenzone	43,96	22,25	0,06	3,42	13,95
2.4	UV-Schutz Laubwand	46,58	21,52	0,13	3,83	16,06
2.5	Kontrolle + Arginin	49,06	23,70	0,08	4,31	19,29
3.1	Kontrolle	52,89	24,83	0,03	4,80	16,08
3.2	Blattdüngung	40,72	22,77	0,10	3,83	14,29
3.3	UV-Schutz Traubenzone	31,03	15,05	0,03	2,57	11,72
3.4	UV-Schutz Laubwand	50,06	27,44	0,07	4,17	16,34
3.5	Kontrolle + Arginin	50,43	27,83	0,07	4,57	32,14
4.1	Kontrolle	46,67	22,54	0,08	3,41	14,99
4.2	Blattdüngung	50,30	20,52	0,11	3,64	16,46
4.3	UV-Schutz Traubenzone	42,27	23,05	0,08	3,31	13,72
4.4	UV-Schutz Laubwand	47,44	28,42	0,06	3,31	15,11
4.5	Kontrolle + Arginin	53,33	18,96	0,11	4,76	27,51

Die trans-Linalooloxid-Konzentration im Wein konnte in der am stärksten gestressten Wiederholung 2 durch die stressreduzierenden Massnahmen mit Ausnahme des UV-Schutzes in der Traubenzone erhöht werden. In den Wiederholungen 1, 3 und 4 war kein Effekt der Behandlungen auf die trans-Linalooloxid-Konzentrationen erkennbar. Zwischen den α -Terpineol- und der Rosenoxidgehalten der Weine und den stressreduzierenden Massnahmen konnte kein Zusammenhang festgestellt werden.

Es wurden keine Fettsäureethylester in den Mosten nachgewiesen. Tabelle 12 gibt die Konzentration der C₆-, C₈- und C₁₀-säureethylester aller Varianten nach der Gärung an. Die Gehalte an Fettsäureethylestern wurden bei den mit UV-Absorber behandelten Varianten tendenziell erhöht (Tab. 12). Dies steht den Ergebnissen aus Feldversuch 2 entgegen, wo die Gehalte der Fettsäureethylester durch den Einsatz des UV-Absorbers tendenziell herabgesetzt wurden. Die höchsten Fettsäureethylestergehalte wurden in der am stärksten gestressten Wiederholung 2 festgestellt. Dies steht wiederum in Einklang mit den in Feldversuch 2 gesammelten Erfahrungen. Insgesamt wurden höhere Konzentrationen an Fettsäureethylestern detektiert als im Feldversuch 2, was einen Jahrgangseinfluss und ein unterschiedliches Stressniveau vermuten lässt. Ebenso müssen in diesem Zusammenhang die abweichenden Applikationszonen einbezogen werden.

Steigende Gehalte an hefeverwertbarem Stickstoff führen zu einer Mobilisierung der Fettsäureethylestersynthese während der Gärung (Bleser, 1999; Löhnertz, 1998). Während die C₁₀-säureethylesterkonzentrationen eher vermindert werden, führt die Supplementierung der Moste mit Arginin in allen Wiederholungen zu einer verstärkten Bildung von C₆- und C₈-säureethylester. In den blattgedüngten und den mit dem UV-Schutz behandelten Varianten kann kein Zusammenhang zwischen dem Gehalt an hefeverwertbaren Aminosäuren und der Bildung von Fettsäureethylestern festgestellt werden. Zwischen der Summe der Fettsäureethylester im Wein und der Stickstoffversorgung der Hefe besteht kein signifikanter Zusammenhang.

In den Mosten konnte kein Essigsäure-2/3-methylbutylester und Hexansäureethylester detektiert werden. Die Konzentration an Essigsäure-2/3-methylbutylester in den Weinen bewegt sich zwischen 4,5 und 5,5 mg/l (Tab. 13). Die Hexansäureethylesterkonzentrationen liegen zwischen 0,24 und 0,37 mg/l (Tab. 13). Es wurden deutlich höhere Gehalte als im Feldversuch 2 detektiert. Die Essigsäure-2/3-methylbutylesterkonzentrationen der Weine des Feldversuches 2 liegen um 0,23 mg/l und die Hexansäureethylesterkonzentrationen um 0,006 mg/l.

Tab. 12: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an C₆-, C₈- und C₁₀-säureethylester der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/ Variante	C ₆ -säure- ethylester [mg/l]	C ₈ -säure- ethylester [mg/l]	C ₁₀ -säure- ethylester [mg/l]
1.1	Kontrolle	0,95	2,81	1,21
1.2	Blattdüngung	0,94	2,40	0,99
1.3	UV-Schutz Traubenzone	0,93	2,95	1,24
1.4	UV-Schutz Laubwand	1,04	3,12	1,37
1.5	Kontrolle + Arginin	1,10	2,99	0,86
2.1	Kontrolle	1,16	2,93	1,46
2.2	Blattdüngung	1,01	3,07	0,95
2.3	UV-Schutz Traubenzone	1,37	3,60	1,51
2.4	UV-Schutz Laubwand	1,21	3,16	1,41
2.5	Kontrolle + Arginin	1,24	3,15	1,01
3.1	Kontrolle	0,95	2,72	0,90
3.2	Blattdüngung	1,01	3,16	1,37
3.3	UV-Schutz Traubenzone	0,84	2,49	0,83
3.4	UV-Schutz Laubwand	1,11	2,97	0,87
3.5	Kontrolle + Arginin	1,05	2,83	0,94
4.1	Kontrolle	1,03	2,92	0,97
4.2	Blattdüngung	1,05	2,78	1,32
4.3	UV-Schutz Traubenzone	1,09	3,11	1,00
4.4	UV-Schutz Laubwand	1,19	3,44	1,12
4.5	Kontrolle + Arginin	1,07	3,11	0,95

Dies kann vermutlich auf die im Feldversuch 2 durchgeführte Spontangärung zurückgeführt werden. Sämtliche stressreduzierenden Massnahmen konnten bei der Wiederholung 2 die Bildung von Essigsäure-2/3-methylbutylester im Wein erhöhen. Die stressreduzierenden Massnahmen führen tendenziell zu einer Erhöhung der Essigsäure-2/3-methylbutylesterkonzentrationen im Wein. Die Argininsupplementierung und der UV-Schutz der Laubwand führte in allen

Wiederholungen zu höheren Essigsäure-2/3-methylbutylestergehalten im Wein. Der Effekt des UV-Absorbers bestätigt die Ergebnisse des Feldversuches 2.

Tab. 13: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an Hexanol, 2- und 3-Hexenol, Methionol, Essigsäure-2/3-methylbutylester und Hexansäureethylester der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/ Variante	Hexanol [mg/l]	2- und 3- Hexenol [mg/l]	Methionol [mg/l]	Essigsäure-2/3- methylbutylester [mg/l]	Hexansäure- ethylester [mg/l]
1.1	Kontrolle	2,00	0,07	2,32	4,67	0,29
1.2	Blattdüngung	2,13	0,10	2,90	4,46	0,24
1.3	UV-Schutz Traubenzone	1,89	0,09	2,33	4,64	0,27
1.4	UV-Schutz Laubwand	1,83	0,10	2,19	5,17	0,31
1.5	Kontrolle + Arginin	1,98	0,11	2,63	4,99	0,31
2.1	Kontrolle	1,83	0,08	2,18	4,56	0,27
2.2	Blattdüngung	1,95	0,07	2,59	4,74	0,30
2.3	UV-Schutz Traubenzone	1,86	0,11	2,03	5,44	0,38
2.4	UV-Schutz Laubwand	1,81	0,12	2,02	5,20	0,32
2.5	Kontrolle + Arginin	1,95	0,08	2,56	5,49	0,32
3.1	Kontrolle	1,98	0,08	2,95	5,07	0,26
3.2	Blattdüngung	1,90	0,07	1,95	4,68	0,31
3.3	UV-Schutz Traubenzone	1,27	0,12	1,75	4,58	0,26
3.4	UV-Schutz Laubwand	2,10	0,09	2,68	5,29	0,37
3.5	Kontrolle + Arginin	2,00	0,07	2,85	5,10	0,32
4.1	Kontrolle	2,13	0,18	2,50	4,94	0,30
4.2	Blattdüngung	1,82	0,13	1,90	4,49	0,28
4.3	UV-Schutz Traubenzone	1,84	0,08	2,22	5,43	0,34
4.4	UV-Schutz Laubwand	1,63	0,08	2,13	5,51	0,34
4.5	Kontrolle + Arginin	2,32	0,17	2,70	5,41	0,32

Nicht bestätigt werden konnte, dass die Acetatestergehalte der Weine der ungestressten Wiederholungen tendenziell niedriger waren. Die Wiederholung 1 wies die niedrigsten Essigsäure-2/3-methylbutylester und Hexansäureethylestergehalte auf. Die Behandlungs-

massnahmen der Rebe zeigten keinen Einfluss auf die Hexansäureethylestergehalte im Wein. In allen Wiederholungen führte die Argininzugabe zu einer erhöhten Bildung von Hexansäureethylester. Zwischen dem Aminosäuregehalt der Moste und der Hexansäureethylesterkonzentration im Wein konnte kein Zusammenhang erkannt werden.

Beim Methionolgehalt der Weine wurden Werte zwischen 1,75 und 2,90 mg/l (Tab. 13) gemessen. Der Blattdüngereinsatz erhöhte bei den beiden gestressten Wiederholungen die Methionolkonzentrationen um fast 20%. Die Methionolgehalte konnten durch den UV-Schutz der Laubwand oder der Traubenzone reduziert werden. Im Feldversuch 2 konnte bei der UV-Schutz behandelten, gestressten Variante ein Gehalt von 2,02 mg/l gemessen werden, während in allen anderen Varianten (gestresst/unbehandelt, ungestresst/behandelt und ungestresst/unbehandelt) der Gehalt unter 1,50 mg/l lag. Bei den ungestressten Wiederholungen wurden die Methionolkonzentrationen durch die stressreduzierenden Massnahmen vermindert. Zwischen dem Methioningehalt im Most und dem Methionolgehalt im Wein bestand kein Zusammenhang.

Vor wie nach der Gärung wurden vergleichbare Konzentrationen an Hexanol gemessen. Nach der Zerstörung des Zellverbandes werden unter Luftzutritt durch enzymatische Oxidation Aldehyde und Alkohole - vorwiegend C₆-Verbindungen - gebildet. Diese Verbindungen werden bei der Aufarbeitung unter Luftabschluss (Überschichten des Traubenmostes mit CO₂) nur in geringen Mengen synthetisiert (Rapp in Würdig und Woller, 1989b).

Die Hexanol- und Hexenolgehalte nach der Gärung gehen aus Tabelle 13 hervor. Die Blattdüngung konnte bei den gestressten Varianten zu erhöhten Hexanolgehalten im Wein führen, während der Einsatz des UV-Schutzes die Hexanolgehalte eher verminderte. Die Hexenolgehalte im Wein scheinen nicht durch die im Anbau getroffenen Massnahmen beeinflusst zu werden.

In den Mosten wurden geringe Gehalte an 4-Ethylphenol unter 1 µg/l und Eugenolgehalte um 1 µg/l gemessen. 4-Ethylphenol und Eugenol, die durch enzymatische oder thermische Decarboxylierung aus Phenolsäuren entstehen können, kommen im Most nicht vor (Würdig und Woller, 1989). Die 4-Ethylphenol- und Eugenolgehalte der Weine finden sich in Tabelle 14.

Bei drei der 4 Wiederholungen zeigen die behandelten Varianten (mit Ausnahme der Variante Blattdüngung der Wiederholung 1) niedrigere 4-Ethylphenolgehalte nach der Gärung als in den Kontrollen. Bei der am stärksten gestressten Wiederholung 2 kann dieser Effekt nicht beobachtet werden. In der stark gestressten Wiederholung können die stressreduzierenden Massnahmen

nicht zu einer nachhaltigen Verminderung der 4-Ethylphenolgehalte führen. Es konnte kein eindeutiger Effekt des Argininzusatzes auf die 4-Ethylphenolgehalte erkannt werden.

Tab. 14: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an 4-Ethylphenol, Eugenol, Benzaldehyd und Benzylalkohol der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)

Wiederholung	Bezeichnung/ Variante	4-Ethylphenol [µg/l]	Eugenol [µg/l]	Benzaldehyd [µg/l]	Benzylalkohol [µg/l]
1.1	Kontrolle	0,63	2,09	0,61	34,26
1.2	Blattdüngung	0,65	2,29	2,39	39,25
1.3	UV-Schutz Traubenzone	0,16	2,23	0,60	38,48
1.4	UV-Schutz Laubwand	0,16	1,69	0,80	34,72
1.5	Kontrolle + Arginin	1,45	1,87	2,56	45,51
2.1	Kontrolle	0,30	2,14	nn	32,43
2.2	Blattdüngung	1,11	2,02	1,55	50,38
2.3	UV-Schutz Traubenzone	0,30	2,17	0,65	35,36
2.4	UV-Schutz Laubwand	0,45	1,88	0,66	30,12
2.5	Kontrolle + Arginin	0,88	2,07	1,61	52,94
3.1	Kontrolle	0,84	2,02	nn	49,14
3.2	Blattdüngung	0,33	2,49	0,85	45,15
3.3	UV-Schutz Traubenzone	0,36	1,42	1,47	27,70
3.4	UV-Schutz Laubwand	0,42	1,82	0,84	29,06
3.5	Kontrolle + Arginin	0,62	2,41	nn	53,17
4.1	Kontrolle	0,45	3,11	0,50	29,38
4.2	Blattdüngung	0,26	1,78	0,68	29,02
4.3	UV-Schutz Traubenzone	0,30	2,75	0,63	28,01
4.4	UV-Schutz Laubwand	0,18	2,58	0,50	28,34
4.5	Kontrolle + Arginin	0,36	3,09	1,46	45,78

nn = nicht nachweisbar

Die Eugenolkonzentrationen wurden durch die Ausbringung des UV-Absorbers in der Laubwand in allen Wiederholungen vermindert. Durch die Blattdüngung und den Einsatz des UV-Schutzes in der Traubenzone konnten keine eindeutigen Effekte erzielt werden.

Benzaldehyd war nach der Gärung nicht in allen Varianten nachweisbar (Tab. 14). Die Benzaldehydkonzentrationen im Wein liegen zwischen 1,09 und 3,37 µg/l und sind damit niedriger als vor der Gärung. Nur in einer Variante (Arginin-Zusatz, Wiederholung 2) lag der Benzaldehydgehalt nach der Gärung gleich hoch wie vor der Gärung. Benzaldehyd geht zu einem Teil während der Gärung in Benzylalkohol über, der im Wein in entsprechend höheren Mengen gefunden werden konnte.

Zwischen den Benzaldehydkonzentrationen vor der Gärung und den unterschiedlichen Behandlungen der Reben konnte kein Zusammenhang gefunden werden. In den Varianten Kontrolle-Wiederholung 2 und -Wiederholung 3 sowie unter Argininzusatz war nach der Gärung Benzaldehyd nicht nachweisbar. In den gestressten Wiederholungen 1 und 2 führten die Blattdüngung und die Zugabe von Arginin zum Most zu höheren Benzaldehydmengen im Wein. Bei den ungestressten Wiederholungen liess sich kein Effekt der Behandlungen auf die Benzaldehydkonzentrationen im Wein auffinden.

Bei den gestressten Varianten führte die Blattdüngung und der UV-Schutz der Traubenzone zu höheren Benzylalkoholkonzentrationen nach der Gärung (Tab. 14). Der UV-Schutz der Laubwand zeigt keinen Effekt. Bei den ungestressten Varianten führen die stressreduzierenden Massnahmen tendenziell zu geringeren Konzentrationen im Wein. Ob die angewandten Massnahmen bei ungestressten Reben zum umgekehrten Effekt wie bei gestressten Reben führen, muss weiter geprüft werden. Die Argininsupplementierung zum Most konnte bei allen Wiederholungen den Benzylalkoholgehalt im Wein erhöhen. Dies lässt die weiter zu prüfende Vermutung zu, dass durch verbesserte Ernährungsbedingungen die Benzylalkohol-Synthese durch die Hefe erhöht wird.

4.2.1.3 Absorptionsprofile verschiedener Stoffe des Tryptophanstoffwechsels

Der Einfluss von UV-Strahlung auf die Bildung von unerwünschten Aromastoffen bei Wein wurde nachgewiesen (Hühn et al., 1999b; Schultz et al., 2001; Hühn et al., 2002). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach Pflanzeninhaltsstoffen die UV-Licht absorbieren und ob diese durch eine direkte Bestrahlung mit UV-B-Licht verändert werden.

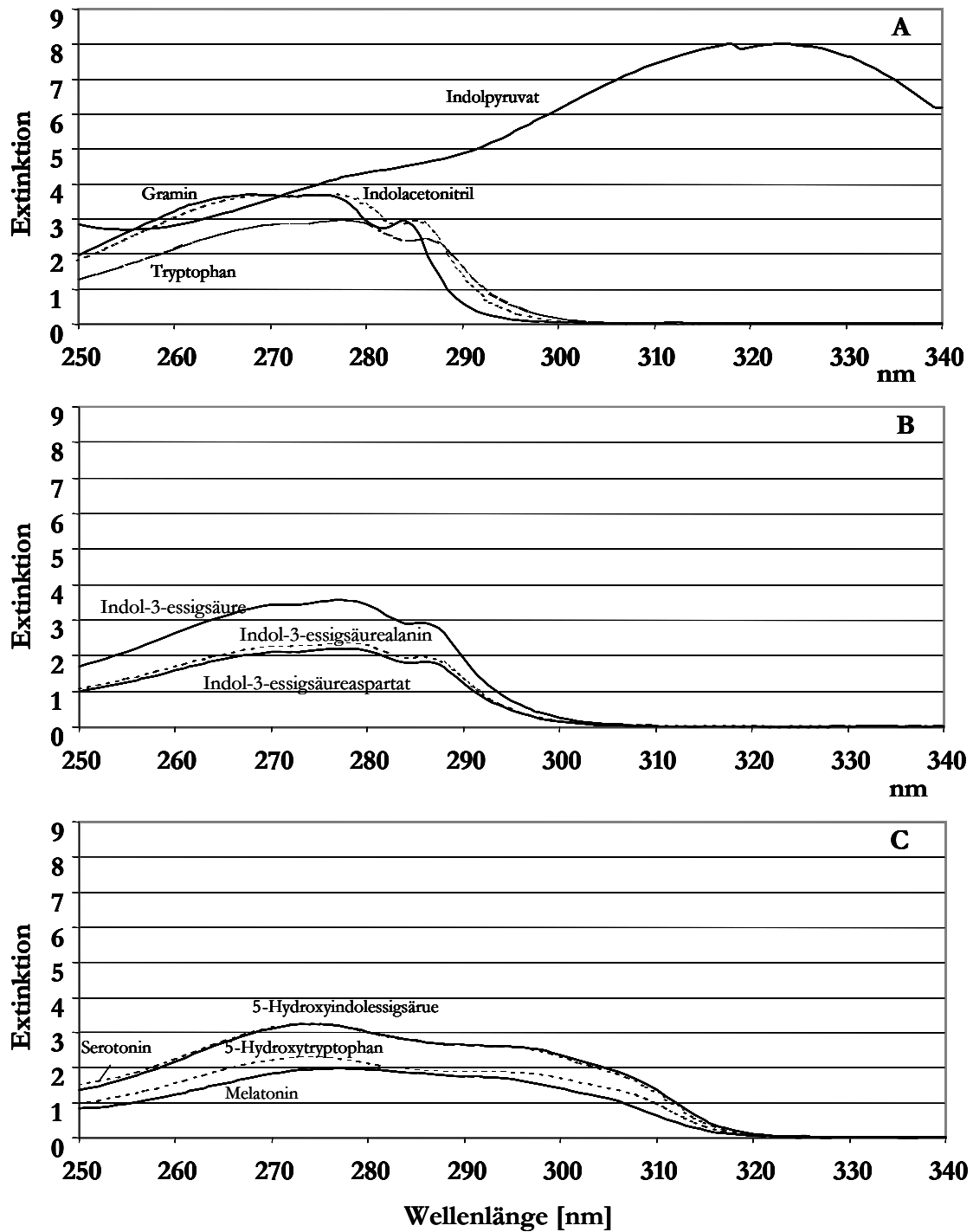


Abb. 32: Absorptionsspektren von Gramin, Indolacetonitril, Indolpyruvat, Tryptophan (A); Indol-3-essigsäure, Indol-3-essigsäurealanin, Indol-3-essigsäureaspartat (B), Melatonin, Serotonin, 5-Hydroxyindolessigsäure, 5-Hydroxytryptophan (C) im UV-Bereich (Pflieger, 2002)

Die in Abbildung 32 dargestellten Absorptionsprofile verschiedener Stoffe des Tryptophanstoffwechsels absorbieren Licht im UV-B-Bereich. Mit Ausnahme von Gramin und Indolpyruvat liegt das Absorptionsmaximum (Abb. 32A) im Bereich zwischen 274-278 nm. Während die

anderen Verbindungen bis auf Indolpyruvat im Bereich bis 320 nm nur eine geringe Absorption aufweisen, zeigen die 5-Hydroxy-Verbindungen (Abb. 32C) eine Erweiterung des Absorptionsspektrums. Die konjugierten Verbindungen von Indol-3-essigsäure (Abb. 32B) absorbieren weniger Licht im UV-Bereich als Indol-3-essigsäure. Die höchsten Extinktionswerte der getesteten Substanzen im UV-Bereich bis zu einer Wellenlänge von 340 nm zeigt Indolpyruvat.

Die Absorptionsspektren im UV-Bereich ändern sich nach der Bestrahlung bei Tryptophan (Abb. 33) und Gramin (Abb. 34) und besonders drastisch bei Indol-3-essigsäure (Abb. 35) und Indolpyruvat (Abb. 36). Bei der Kontrolle und bei Jasmonsäure bewirkt die Bestrahlung keine Veränderungen. Die Extinktionsveränderungen zeigen, dass durch die Bestrahlung eine Veränderung der Substanzen erfolgen muss.

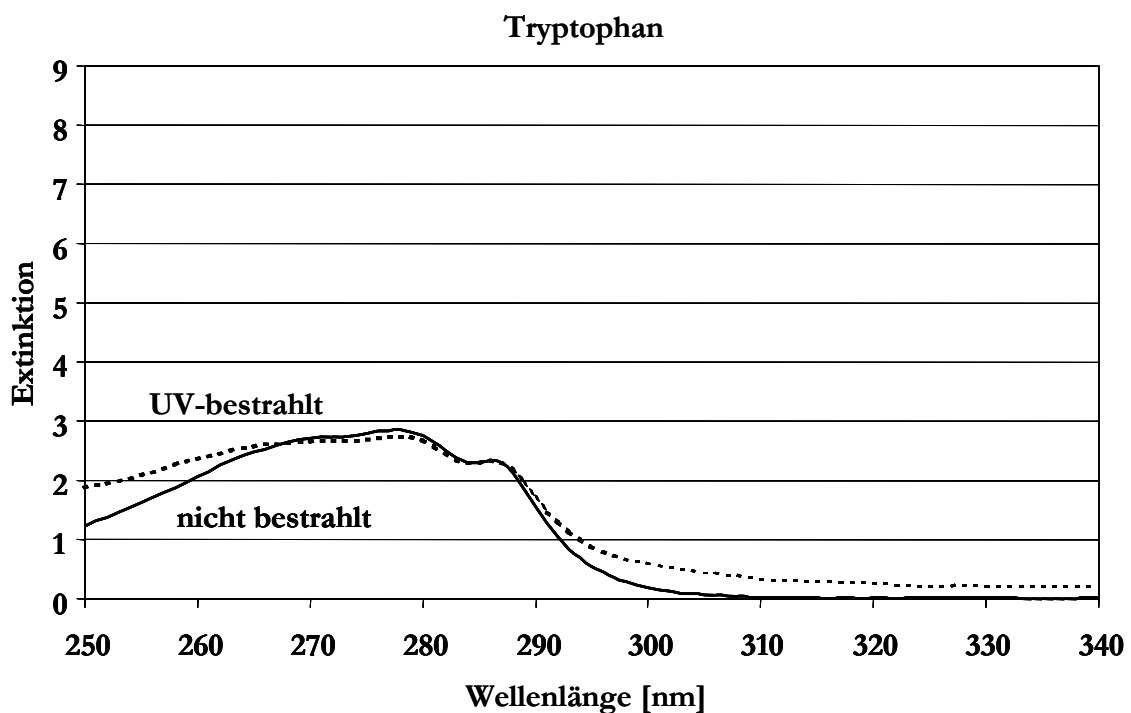


Abb. 33: Absorptionsänderung einer Tryptophanlösung nach UV-Bestrahlung
(Pflieger, 2002)

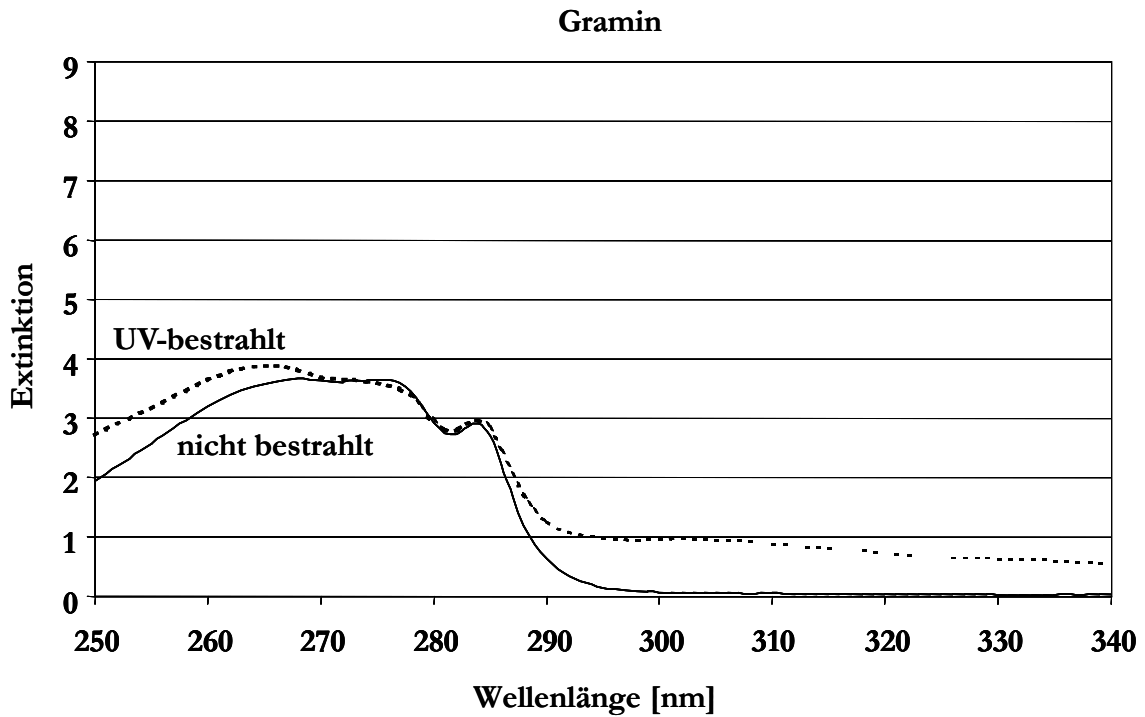


Abb. 34: Absorptionsänderung einer Graminlösung nach UV-Bestrahlung
(Pflieger, 2002)

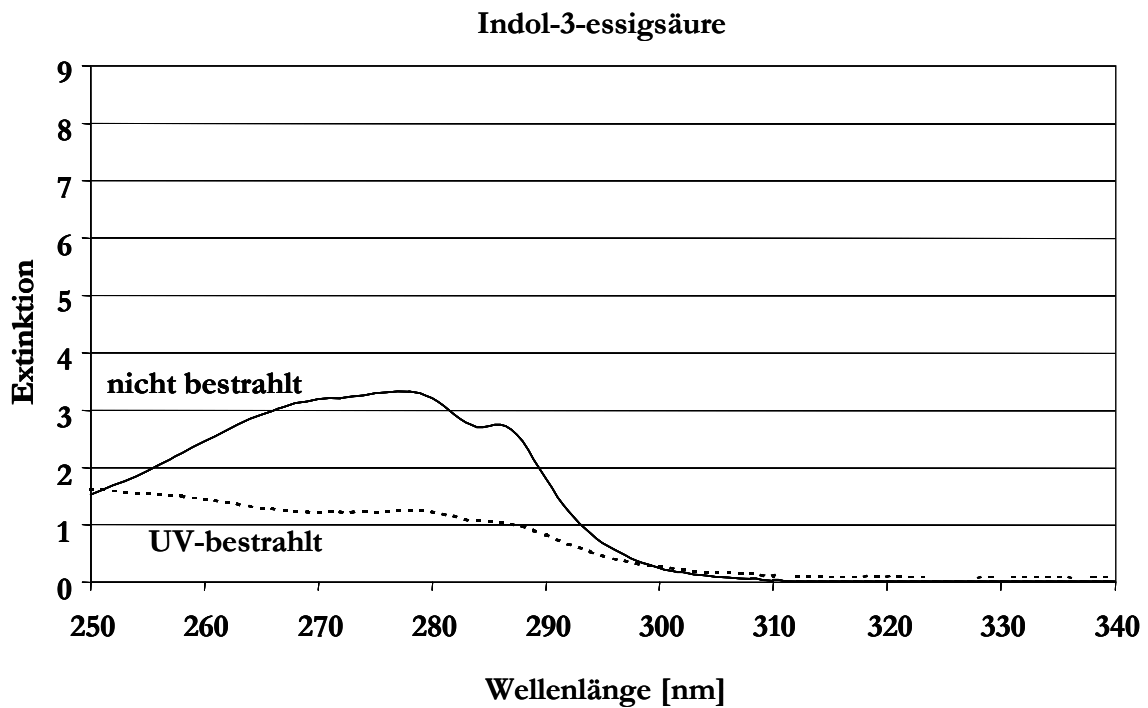


Abb. 35: Absorptionsänderung einer Indol-3-essigsäurelösung nach UV-Bestrahlung
(Pflieger, 2002)

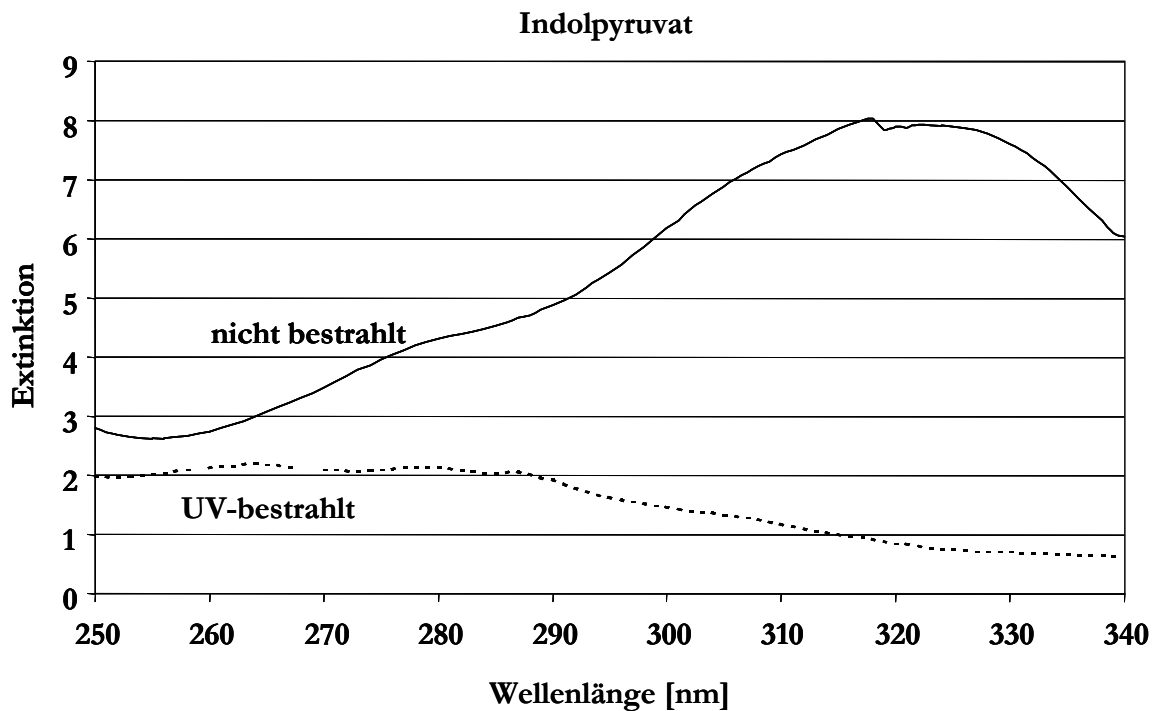


Abb. 36: Absorptionsänderung einer Indolpyruvatlösung nach UV-Bestrahlung
(Pflüchinger, 2002)

Die Veränderung der Absorptionsspektren ist sensorisch festzustellen. Die Lösungen mit Indolpyruvat, Indol-3-essigsäure und Tryptophan färben sich während der Bestrahlung braun-rot. Nach der Bestrahlungsdauer von 35 Stunden ist ein Niederschlag zu beobachten. Die höhere Absorption im UV-Bereich von Tryptophan gegenüber Tyrosin stellte Longsteth et al. (1998) dar. Eine UV-Bestrahlung der menschlichen Haut führt auf Proteinebene zur Bildung von photosensibilisierenden Molekülen, wie N-Formyl-kynurenin (Andley, 1987). Eine Ringspaltung von aromatischen Aminosäuren in Pflanzen durch UV-Licht ist bekannt (Rüegsegger, 1996). Formyl-Kynurenin kann zu AAP umgesetzt werden (Rapp und Versini, 2002; Luckner, 1969). Der Umsatz auf chemischem Wege durch radikalische Kooxidation konnte nicht nachgewiesen werden (Christoph et al., 1998). Eine enzymatische Umsetzung während der Gärung durch die Hefe wäre möglich.

4.2.1.4 Bildung von unerwünschten Aromastoffen durch UV-Bestrahlung

Die UV-Bestrahlung der verschiedenen Substanzen des Tryptophanstoffwechsels führt zu einer Bildung von fehltonrelevanten Substanzen (Tab. 15). Dies wird beim Abriechen der bestrahlten Lösungen ebenfalls sensorisch (Probanden: n = 4) wahrnehmbar. Tryptophan und Indolpyruvat zeigen im Vergleich zu Indol-3-essigsäure geringere Mengen an Skatol und Indol.

Der Syntheseweg von AAP bei UV-Bestrahlung ist nicht vollkommen geklärt. Wahrscheinlich kommt es zu einer Pyrrolringsspaltung und danach durch weiteren Umsatz zu AAP. Die Ringspaltung von Tryptophan in Pflanzen und in der menschlichen Haut ist beschrieben (Andley, 1987; Rügsegger, 1996). Wahrscheinlich ist dies bei Indol-3-essigsäure, Gramin und Indolpyruvat ebenso der Fall. Durch Abspaltung von Säuren oder Aminosäuren könnte AAP entstehen. Durch Abspaltungen am Pyrrolring könnten Skatol und Indol entstehen.

Tab. 15: Bildung von Aromastoffen durch UV-Bestrahlung (Pflieginger, 2002)

Zusatz	Menge [mg/l]	Behandlung	Indol [$\mu\text{g/l}$]	Skatol [$\mu\text{g/l}$]	AAP [$\mu\text{g/l}$]
Kontrolle		UV-Bestrahlung	nn	nn	nn
Tryptophan	100	UV-Bestrahlung	0,82	2,07	0,15
Indol-3-essigsäure	100	UV-Bestrahlung	7,66	16,41	0,52
Indolpyruvat	100	UV-Bestrahlung	1,88	0,38	nn
Gramin	100	UV-Bestrahlung	0,30	0,40	1,10
Kontrolle		Keine	nn	nn	nn
Tryptophan	100	Keine	0,04	0,01	nn
Indol-3-essigsäure	100	Keine	0,26	0,30	0,19
Indolpyruvat	100	Keine	0,44	0,13	0,03
Gramin	100	Keine	nn	nn	0,32

nn = nicht nachweisbar

4.2.1.5 Oxidativer Pflanzenstress und Antioxidantien

Oxidativer Stress von Pflanzen wird mit UTA in Zusammenhang gebracht. Es wird vermutet, dass gestresste Pflanzen ein geringeres antioxidatives Potenzial aufweisen (Löhnertz et al., 2002). Ein Mangel an Antioxidantien führt durch Co-Oxidation zu einer stärkeren Umsetzung von IAA zu AAP. Indole stellen eine der wichtigsten Stoffklassen dar, die in der Lage sind, mit Sauerstoffradikalen zu reagieren. Aufgrund ihrer grossen Verbreitung in lebenden Zellen können sie als eine der ersten während der Evolution gebildeten Abwehrmechanismen betrachtet werden (Politi et al., 1996). Ausser Gramin und Indolacetonitril weisen alle getesteten Substanzen des Tryptophanstoffwechsels einen höheren TEAC-(Trolox-Equivalent-Antioxidative-Capacity) Wert als Ascorbinsäure auf (Tab. 16).

Mit 1,56 mmol/l zeigt Melatonin den höchsten Wert. Melatonin gilt als einer der effizientesten Hydroxyl-Radikalfänger, der bislang in biologischem Material gefunden wurde (Tan et al., 1993). Melatonin liegt damit über den von Rechner et al. (1997) gemessenen Werten bei Lösungen mit Anthocyanen, Phenolcarbonsäuren und Flavonoiden von 0,74 bis 1,38 mmol/l.

Durch Lichteinfluss verschiedener Wellenlängen kann Melatonin zerstört werden (Hardeland et al., 1996). Während die schützende Wirkung von Melatonin auf das Abfangen von Radikalen zurückzuführen ist, wirkt Indol im Gehirn von Ratten indirekt, indem das Enzym Glutathionperoxidase aktiviert wird (Barlow-Walden et al., 1995).

Tab. 16: TEAC-Wert von Ascorbinsäure und von Substanzen aus dem Tryptophanstoffwechsel in synthetischer Weinlösung (Pflieginger, 2002)

Substanz	Menge [mg/l]	TEAC-Wert [mmol/l]
Ascorbinsäure	100	0,56
Tryptophan	100	1,21
Indolacetonitril	100	0,33
Indolpyruvat	100	0,75
Indol-3-essigsäure	100	0,80
5-Hydroxytryptophan	100	1,07
5-Hydroxyindolessigsäure	100	1,27
Serotonin	100	1,08
Melatonin	100	1,56
Gramin	100	0,07

Serotonin, bei dessen Oxidation farbige Produkte entstehen, weist einen Wert von 1,08 mmol/l auf. Serotonin kann die Oxidation von Lipoproteinen inhibieren (Huether und Schuff-Werner, 1996). Das Vorhandensein von Serotonin, Melatonin und 5-Hydroxyindolessigsäure in der Traube ist bislang nicht geklärt.

Der TEAC-Wert des Tryptophans liegt mit 1,21 mmol/l vergleichsweise hoch. Tryptophan kann durch H_2O_2 oder durch Fettsäuren oxidiert werden (Hurrell und Finot, 1987), was zur Ringspaltung führt und es entsteht N-Formyl-kynurenin und Kynurenin oder Oxindol-3-alanin und Dioxindolyl-3-alanin. Kynurenin konnte im Traubenmost nachgewiesen werden (Dollmann et al., 1997). Der Bildungsweg in der Pflanze ist bislang nicht bekannt. Pflanzen bilden unter Stressbedingungen vermehrt freie Sauerstoffradikale, die unter Umständen Tryptophan oxidieren können, was einen möglichen Mechanismus zur Entstehung des Kynurenins darstellen könnte.

Das antioxidative Potenzial von IAA konnte gezeigt werden. Der TEAC-Wert dieser Substanz liegt mit 0,8 mmol/l über dem der Ascorbinsäure. Da IAA ein Antioxidanz ist, könnte dies eine Erklärung dafür sein, dass die freien IAA-Konzentrationen in Mosten gestresster Anlagen niedriger sind.

In den Reben dieser Anlagen werden aufgrund von Umweltstress mehr Sauerstoffradikale gebildet, die möglicherweise IAA oxidieren können (Moore, 1979). Ein bekanntes Phänomen ist die Photooxidation von IAA (Hashimoto et al., 1991).

Die Stoffe des Oxidationsweges sind identisch mit den von Christoph et al. (1998) beschriebenen Intermediären beim Abbau von IAA zu AAP Oxindol-3-essigsäure (2-Oxo-2,3-dihydro-indol-3-yl)-essigsäure und Dioxindol-3-essigsäure (3-Hydroxy-2-oxo-2,3-dihydro-indol-3-yl)-essigsäure. Diese Substanzen sind potenzielle Vorläufer der nach Rapp und Versini (2002) beschriebenen Schlüsselsubstanz 3-(2-Formylamino)-phenyloxopropionsäure (Abb. 38). In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in der Pflanze bei der Oxidation von IAA keine Pyrrolringsspaltung zu beobachten ist. Unklar bleibt, ob in der Pflanze die Oxidation von IAA ausschliesslich auf enzymatischem Wege erfolgt oder ob auch spontane chemische Reaktionen ablaufen.

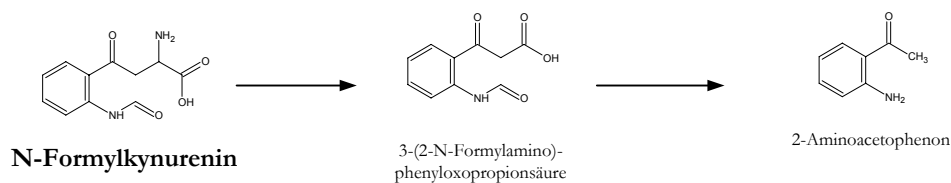


Abb. 38: Bildung von 2-Aminoacetophenon aus N-3-(2-Formylamino)-phenyloxopropionsäure (Rapp und Versini, 2002)

Gramin hat ein vergleichsweise geringes antioxidatives Potenzial. Die Umsetzung dieser Substanz durch H_2O_2 erscheint nur sehr gering. Unter Umständen ist die Reaktion mit anderen Sauerstoffradikalen nicht auszuschliessen.

Das antioxidative Potenzial von Indolpyruvat konnte mit 0,75 mmol/l gezeigt werden. Bei der Herbstverfärbung von Blättern höherer Pflanzen in den Gelb-, Rot- und Braunbereich kann eine Reaktion von Indol-3-pyruvat mit Sauerstoffradikalen festgestellt werden (Politi et al., 1996). Die Reaktion verläuft ausgehend von der Enol-Form des Indol-3-pyruvats über Indolaldehyd, bei dem eine Pyrrolringsspaltung stattfindet (Abb. 39).

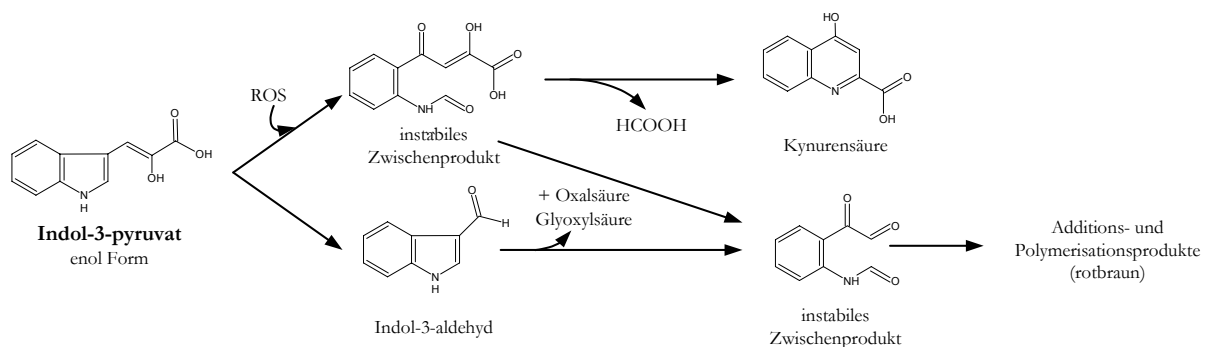


Abb. 39: Reaktion von Indol-3-pyruvat mit Sauerstoffradikalen (Politi et al., 1996)

Die entstehenden instabilen Zwischenprodukte polymerisieren und bilden teilweise farbige Komplexe. Diese Reaktion kann bei Zugabe von Indolpyruvat zu belichteten und belüfteten Lösungen beobachtet werden (Politi et al., 1996). Dieses Phänomen erschwert die Analyse, denn kurze Zeit (30 min) nach dem Auflösen in alkoholischer Lösung (12% vol) setzt eine Rotfärbung ein.

Wie andere Indole ist Indolpyruvat ein guter Elektronendonator und es kommt zu einer intensiven Farbreaktion, wenn es mit Elektronenacceptoren in Kontakt gebracht wird (Hutzinger et al., 1972). Indolpyruvat wurde bislang im Traubenmost nicht analysiert. Beim Wachstumsstopp von Pflanzen wird die IAA Produktion stark reduziert. Gleichzeitig kommt es zu einer Anreicherung von Indolpyruvat in seneszenten Blättern (Atsumi und Hayashi, 1979). Der Biosyntheseweg über Indolpyruvat wird als der wichtigste angesehen (Nonhebel et al., 1993). Da in Trauben und Mosten IAA enthalten ist, kann davon ausgegangen werden, dass ebenfalls Indolpyruvat gefunden werden kann. Eine Bestimmung von Indolpyruvat sollte durchgeführt werden. Die Entstehung von AAP aus Indolpyruvat durch Co-Oxidation konnten Christoph et al. (1998) nachweisen. Indolpyruvat wird als Vorstufe von Indol und Skatol gesehen (Abb. 40) (Rapp und Versini, 2002).

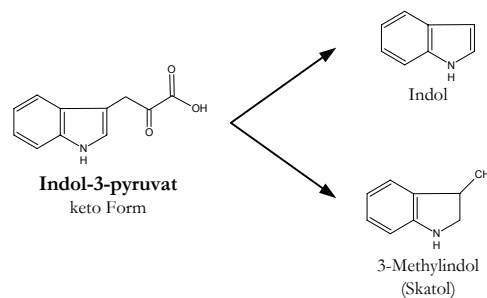


Abb. 40 Bildung von Indol und Skatol aus Indolpyruvat (Rapp und Versini, 2002)

Das antioxidative Potenzial (TEAC-Wert) bei der Sorte *Müller-Thurgau* bewegt sich in Abhängigkeit vom Klärverfahren zwischen 0,5 und 1,1 mmol/l (Pour Nikfardjam et al., 2001). Nach Löhnertz et al. (2000) konnte im Most aus einer gestressten Anlage ein TEAC-Wert von 1,5 mmol/l gefunden werden. Dies deutet auf eine tendenziell höhere antioxidative Kapazität in Mosten aus gestressten Anlagen hin. Die Bedeutung von Indolderivaten im Hinblick auf eine Erhöhung des antioxidativen Potenzials in diesem Zusammenhang wäre zu prüfen. Diese Antioxidantien oder die daraus entstehenden oxidierten Substanzen könnten mögliche Vorstufen von fehltonrelevanten Substanzen darstellen. Insbesondere das instabile Zwischenprodukt auf dem Weg von Indolpyruvat zu den polymeren Komplexen könnte eine Vorstufe von AAP sein.

Prior (1997) stellt fest, dass bei Mosten aus nicht oder nur wenig gedüngten Anlagen die Farbe dunkel, rot-braun ist. Bei Anlagen mit einer vergleichsweise höheren Düngung sind nach seiner Beschreibung die Moste als weiss-gelb zu beurteilen. Dieser Unterschied bleibt bis zum Ende der Gärung erhalten. Der Farbunterschied kann auf eine Veränderung von Inhaltsstoffen zurückgeführt werden (Rigaud et al., 1990). Die Verfärbung des Mostes wird auf den Gehalt an Glutathion und Ascorbinsäure zurückgeführt. Bei hohen Gehalten an Glutathion entsteht aus Kaffeesäure und Glutathion das Grape-reaction-Product (Singleton et al., 1984; Singleton et al., 1985; Cheynier et al., 1986). Da durch Bildung dieser Verbindung bei hohen Glutathiongehalten wenig Chinone der Kaffeesäure entstehen, werden nur wenige Flavonoide oxidiert. In diesen Mosten tritt eine vergleichsweise geringe Bräunung auf. Die Farbe kann in diesen Mosten als beige bezeichnet werden. Bei geringen Gehalten an Glutathion erhöht sich die Menge an Chinonen der Kaffeesäure. Diese können Sauerstoff abgeben und Flavonoide oxidieren. Die Farbe wird dadurch braun mit einem erhöhten Orange-Anteil (Ribéreau-Gayon et al., 2000b). Moste mit geringem Stickstoffgehalt weisen geringere Glutathiongehalte auf (Dubourdiou und Lavigne-Cruege, 2002). Moste aus wenig gedüngten und gestressten Anlagen weisen relativ wenig Stickstoffverbindungen auf, was eine Erklärung für die Farbe des Mostes darstellen kann.

Indolpyruvat könnte wie beschrieben über ein Reaktionsprodukt und das daraus folgende Polymerisationsprodukt die Farbe des Mostes beeinflussen. Deshalb wurde geprüft, inwieweit Indolpyruvat durch Oxidation mit und ohne Enzym (Tyrosinase) eine rote Färbung in einer wässrigen Lösung mit und ohne Gerbstoff (Catechin und Kaffeesäure) oder in Traubensaft ergibt. Die Sauerstoffzufuhr bei den Varianten ohne Polyphenoloxidase erfolgte auf die gleiche Weise wie beim Enzymzusatz.

Eine deutliche Färbung des Mediums ist unter Zusatz von Polyphenoloxidase zu einer wässrigen Lösung mit Indolpyruvat ist zu erkennen. Die Farbe entwickelt sich von rot nach violett. Im Vergleich zum Muster ohne Polyphenoloxidase ist eine deutliche Zunahme der Extinktion im Bereich von 400-650 nm zu erkennen (Abb. 41A).

Unter Zusatz von Gerbstoff und Indolpyruvat (Abb. 41B) ist nach enzymatischer Oxidation eine erhöhte Extinktion im Rotbereich zu erkennen, während die Kontrolle ohne Zusatz von Indolpyruvat in diesem Bereich eine geringere Extinktion zeigt. Ohne Zusatz von Polyphenoloxidase und ohne Indolpyruvat liegt im Bereich von 400-650 nm nur eine geringe Extinktion vor. Durch Zusatz von Indolpyruvat ist eine geringfügige Erhöhung im Rotbereich zu erkennen.

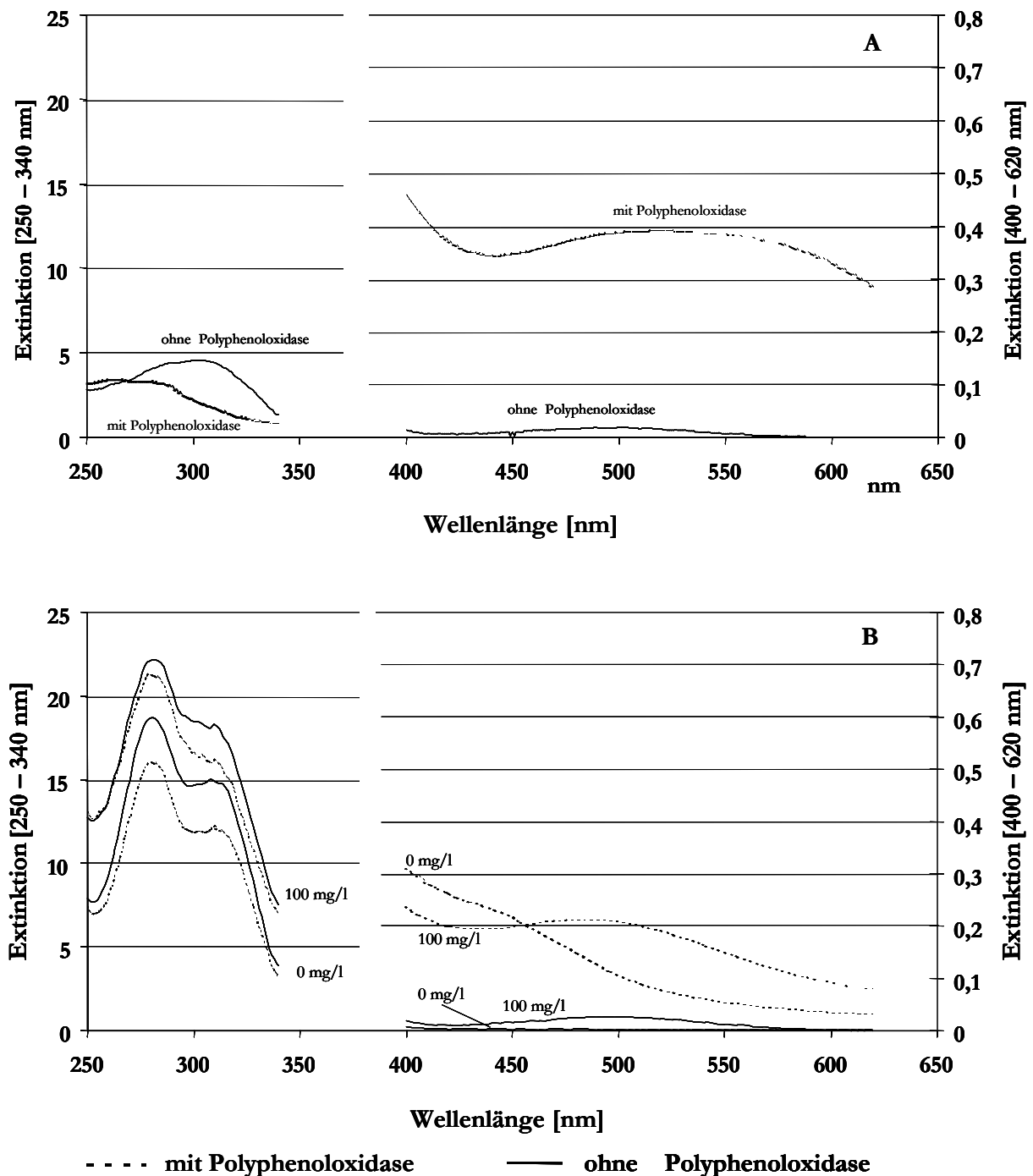


Abb. 41: Absorptionsspektren einer Indolpyruvatlösung (A) und einer Indolpyruvat-/Catechinlösung (B) vor und nach Zusatz einer Polyphenoloxidase (Pflieinger, 2002)

Bei Zusatz von Indolpyruvat zu Traubensaft (Abb. 42) ist ohne Zusatz der Polyphenoloxidase (Tyrosinase) eine Rotfärbung zu beobachten. Die Extinktion im Bereich von 400-540 nm ist höher als beim Zusatz der Polyphenoloxidase zum Traubensaft ohne Indolpyruvat. Durch die enzymatische Oxidation von Traubensaft unter Zusatz von Indolpyruvat ist eine nochmalige Zunahme der Extinktion zu beobachten. Die Zunahme ist stärker als bei Zusatz der

Polyphenoloxidase zu Traubensaft. Eine Abnahme der Extinktion im UV-Bereich (250-340 nm) durch Zusatz einer Polyphenoloxidase ist bei den drei Medien zu beobachten.

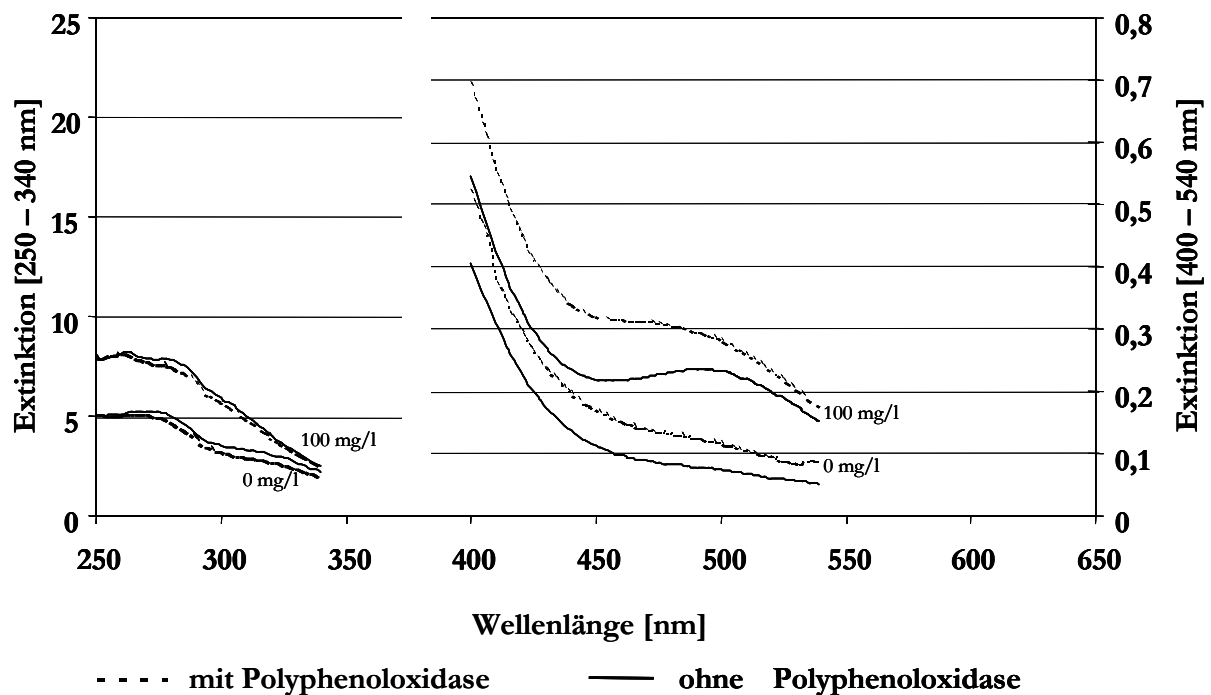


Abb. 42: Absorptionsspektren von Traubensaft mit und ohne Zusatz von Indolpyruvat vor und nach Oxidation mit einer Polyphenoloxidase (Pfliehringer, 2002)

Bei einem Zusatz von 100 mg/l Indolpyruvat waren die Unterschiede deutlich und bei 10 mg/l noch zu erkennen, während bei 1 mg/l und 0,1 mg/l kaum noch Unterschiede wahrnehmbar sind. Indolpyruvat könnte in Konzentrationen oberhalb von 10 mg/l einen Beitrag zu der von Prior (1997) beobachteten rot-braunen Färbung der Moste leisten. Das vergleichsweise hohe antioxidative Potenzial von Indolpyruvat und die schnelle Reaktion in Anwesenheit von Sauerstoff erschwert die Bestimmung. Diese Substanz wird bereits bei Beschädigung der Beere, dem Abbeeren und Pressen oxidiert und sollte infolgedessen in Mosten und Weinen nicht mehr nachweisbar sein.

Bei einer enzymatischen Oxidation von Indolpyruvat entsteht eine violette Farbe. Es ist davon auszugehen, dass eine Polymerisation stattfindet. Möglicherweise führt eine Übertragung von Sauerstoff durch Tyrosinase zur Pyrrolringspaltung und das dabei entstehende Zwischenprodukt polymerisiert. In Anwesenheit von Gerbstoff nimmt die Extinktion im Bereich von 400-650 nm ab und die Farbe wechselt von violett nach rot-braun.

Dies ist unter Umständen auf eine geringere Oxidation von Indolpyruvat in Anwesenheit von Gerbstoff zurückzuführen. Eine Interaktion zwischen Indolpyruvat und Polyphenolen wäre ebenfalls zu prüfen.

Bei den belüfteten Lösungen mit Indolpyruvat und ohne Enzym entsteht ein Blütenaroma, und ein an nasse Lappen erinnernder Geruch konnte wahrgenommen (Probanden: n = 4) werden. Die mit Polyphenoloxidase behandelten Varianten wiesen eine geringere Geruchsintensität auf.

4.2.2 Substratbedingungen der Hefen

4.2.2.1 Indol-3-essigsäure und Indol-3-essigsäureethylester als Vorstufen

Bei den Testvergärungen mit Indol-3-essigsäure und Indol-3-essigsäureethylester konnten unter Verwendung des Mostmediums (Abb. 43 und Abb. 44) unmittelbar nach der Vergärung nur sehr geringe Konzentrationen an AAP festgestellt werden. Die Freisetzungsraten nach der Lagerung unterscheiden sich zwischen den beiden verwendeten Vorstufen und unter Einfluss der verwendeten Hefen. Die Kontrollvarianten ohne Zusatz der relevanten Vorstufen ergaben keine Freisetzung von AAP.

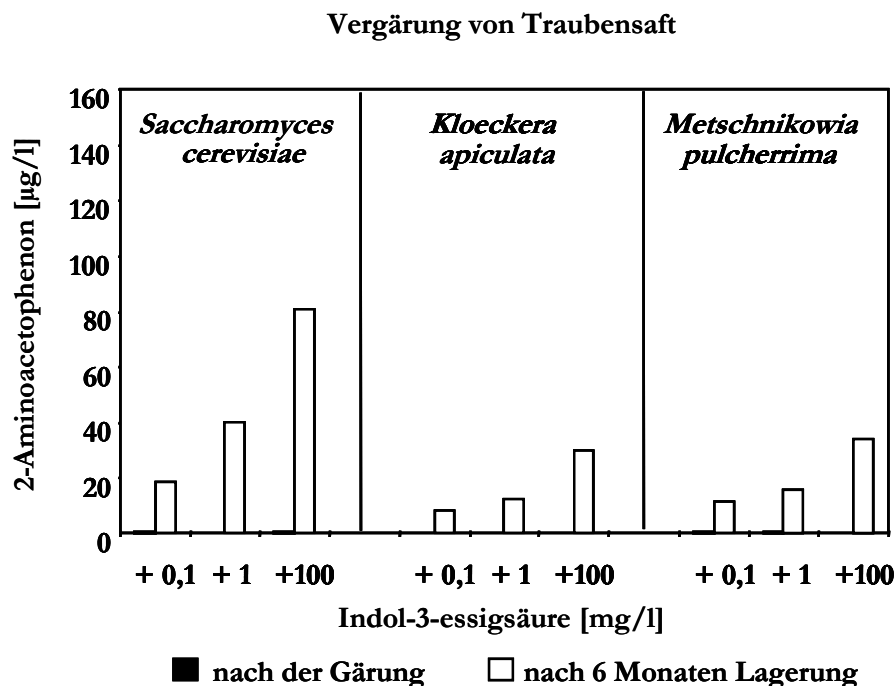


Abb. 43: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines Mostmediums mit Indol-3-essigsäure (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata*, *Metschnikowia pulcherrima*) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO₂-Zusatz (Hühn et al., 1999c)

Vergärung von Traubensaft

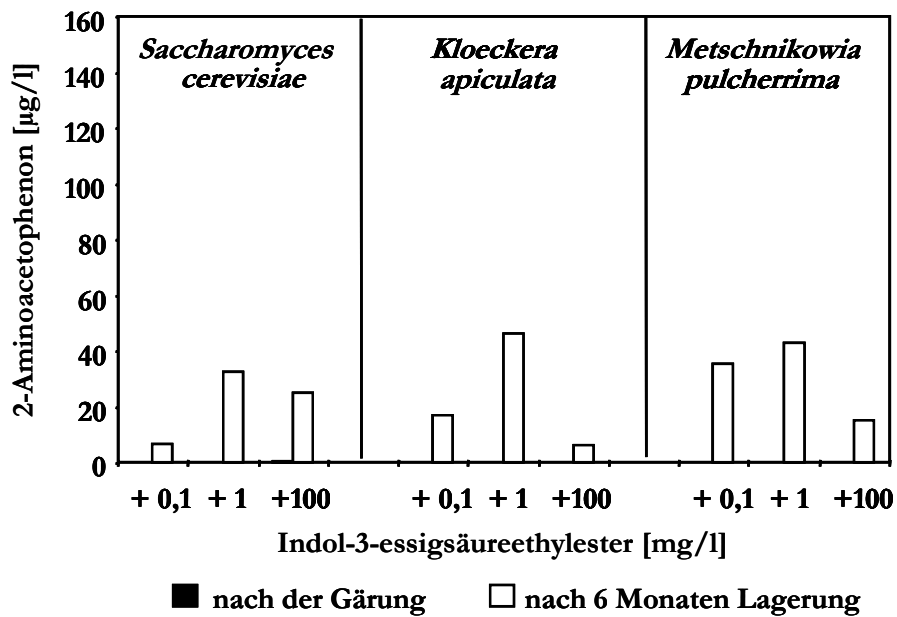


Abb. 44: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines Mostmediums mit Indol-3-essigsäureethylester (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata*, *Metschnikowia pulcherrima*) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO₂-Zusatz (Hühn et al., 1999c)

Für die Freisetzung von AAP nach SO₂-Stabilisierung und 6-monatigem Lager lieferten bereits Christoph et al. (1998) mit der radikalischen Kooxidation eine Erklärung. Die Frage nach beteiligten Intermediärprodukten, die durch die Hefe gebildet oder umgebaut werden, muss weiterhin unbeantwortet bleiben.

Durch die Verwendung des synthetischen Mediums konnten die Hefen unter Stress gesetzt werden und es zeigt sich (Abb. 45 und Abb. 46), dass bei allen Varianten eine Freisetzung von AAP direkt nach der alkoholischen Gärung stattgefunden hat. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen den deutlichen Einfluss von Mikroorganismen unter Stressbedingungen auf die Freisetzung von AAP.

Vergärung von ASII

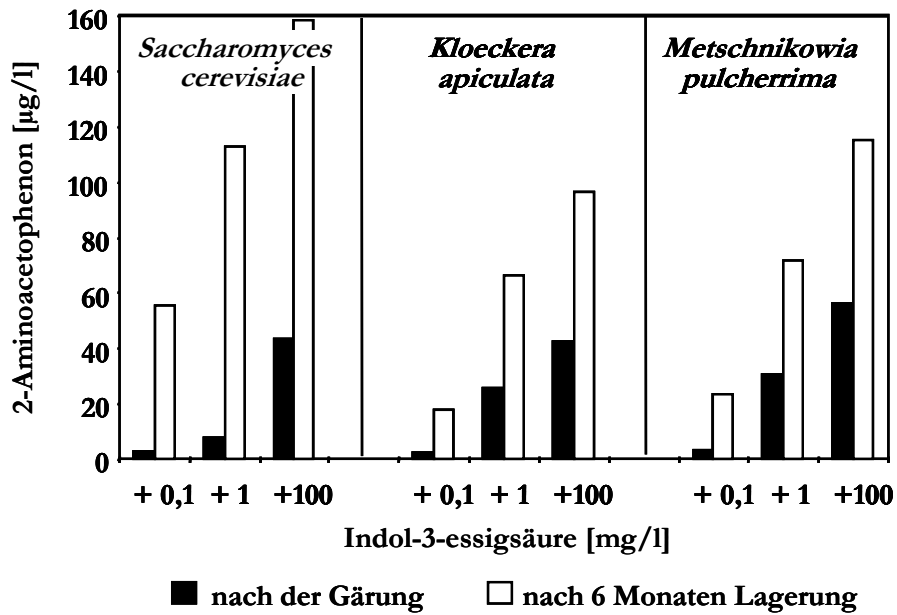


Abb. 45: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäure (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata*, *Metschnikowia pulcherrima*) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO₂-Zusatz (Hühn et al., 1999c)

Vergärung von ASII

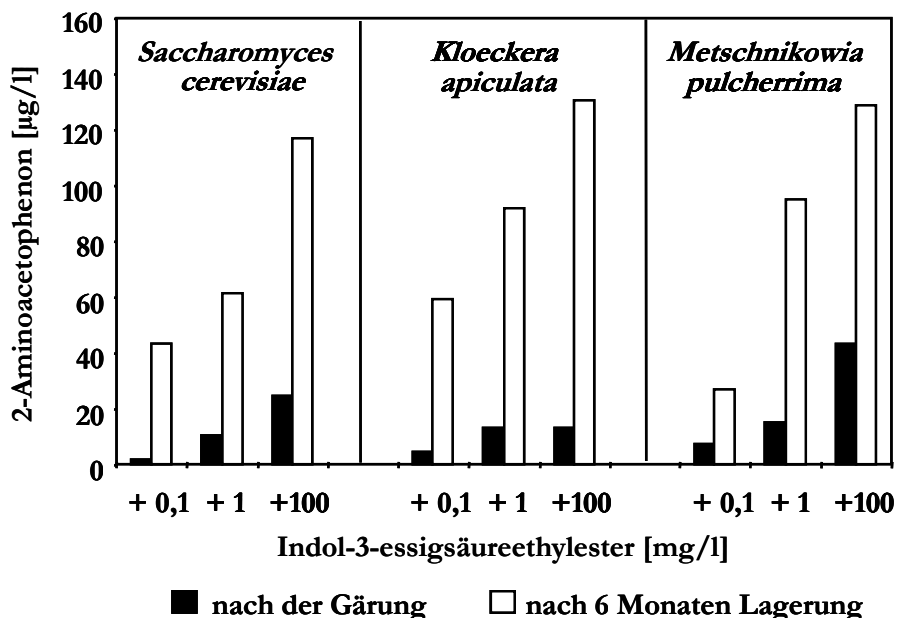


Abb. 46: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureethylester (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata*, *Metschnikowia pulcherrima*) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO₂-Zusatz (Hühn et al., 1999c)

Tuomi et al. (1995) untersuchten den Einfluss der Mikroorganismenflora auf die Produktion von Pflanzenhormonen bei der Keimung von Gerstenmalz für die Bierproduktion. Aus der Sicht der Mälzer ist für einen erfolgreichen Prozess der Keimung ein Gleichgewicht zwischen verschiedenen Phytohormonen sehr wichtig, durch das die Freisetzung von α -Amylasen optimiert wird (Chrispeels und Varner, 1966; Paleg, 1960; Salmenkallio et al., 1990; Stillwell und Wassall 1993). Dieser Prozess wird hauptsächlich von exogen angewandter Gibberellinsäure hervorgerufen und durch IAA unterstützt (Kieninger und Blohm, 1983; Kieninger, 1983). Während in den Untersuchungen von Tuomi et al. (1995) Abscisinsäure und Gibberellinsäure nur von wenigen der vorkommenden Mikroorganismen produziert wurden, konnte bei 88% der Bakterien und 58% der Pilze, darunter *Candida*, eine Produktion von IAA festgestellt werden. Rainbow (in Pollock, 1981) führt auftretende Fehltöne beim Bier auf Mikroorganismen des Malzes zurück. Die Produktion von IAA ist von der Zellzahl der vorkommenden Mikroorganismen abhängig (Tuomi et al., 1995). Vor dem Hintergrund, dass bei der Bierbereitung ähnliche Phänomene mit AAP auftreten (Palamand und Grigsby, 1974) und dass, wie gezeigt Stressbedingungen von Hefen die Umsetzung von IAA zu AAP begünstigen, könnte die Fehltonproblematik auf gleiche Ursachen zurückgeführt werden.

Die Freisetzung von IAA erfolgt im Verlauf der Fermentation. Bei der Vergärung mit *Kloeckera apiculata* und *Metschnikovia pulcherrima* wurden höhere Werte an IAA gebildet (Hoenicke et al., 2001). Hoenicke et al. (2000) zeigten, dass der Gehalt an freier IAA während der Gärung ansteigt, wohingegen der Gehalt der gebundenen IAA bis auf geringe Gehalte abnimmt. Nach Gärung und SO₂-Zugabe wurde in Weinen bis zu 88 $\mu\text{g/l}$ freie IAA nachgewiesen, während der Anteil an gebundener IAA auf unter 40 $\mu\text{g/l}$ fiel (Hoenicke et al., 2000). Bei der Vergärung eines mit 462 mg/l Gesamt-Stickstoff versorgten Mostes konnte nach der Gärung ein Gehalt an freier IAA von 29 $\mu\text{g/l}$ gemessen werden. Bei einem Most mit einem Gesamt-N-Gehalt von 200 mg/l betrug der IAA Gehalt nach der Gärung 58 $\mu\text{g/l}$. Dabei war die Freisetzung von IAA im ersten Fall zu Beginn der Gärung höher, im weiteren Verlauf der Gärung wurde eine Abnahme dokumentiert. Diese Abnahme konnte im zweiten Fall, des weniger gut versorgten Mostes, nicht beobachtet werden (Hoenicke et al., 2000).

Roustan et al. (1988) wiesen auf einen positiven Einfluss von Auxin auf die Arginindecaboxylaseaktivität bei *Vitis* hin. Die Arginindecaboxylase setzt Arginin, einen wesentlichen Vertreter der von *Saccharomyces cerevisiae* verbrauchten Aminosäuren, in Agmatin, einer Vorstufe von Putrescin, um. Putrescin kann wiederum zu Spermin und Spermidin umgesetzt werden (Smith, 1985). Gildenhuis und Slaughter (1983) zeigen eine an die

Verfügbarkeit von Magnesium gebundene Umsetzung von Aminen durch *Saccharomyces cerevisiae*. Neben der physiologischen Bedeutung der Polyamine wurde hier eine Interaktion mit Arginin nachgewiesen. Auswirkungen auf die Hefeernährung sollten in diesem Zusammenhang Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Die Interpretation der dargelegten Resultate im Bereich der UTA-Problematik können als ein weiterer Anhaltspunkt für ein Vorhandensein von Intermediärprodukten und die Beteiligung von Mikroorganismen angesehen werden. Neben den schon diskutierten Vorstufen sollten weiterhin die von der Pflanze verwendeten Inaktivierungsprodukte (Dörffling, 1982) von IAA I-(Indol-3-acetyl)- β -D-glucose, N-(Indol-3-acetyl)-asparaginsäure und O-(Indol-3-acetyl)-myoinositol in zukünftige Überlegungen einbezogen werden (Hühn et al., 1999c).

4.2.2.2 Ascorbinsäure und die Umsetzung von Indol-3-essigsäure

Christoph et al. (1998) entwickelten die Beobachtungen von Horng und Yang (1975) und Yang und Saleh (1973) fort und zeigten die Bedeutung von schwefliger Säure in Anwesenheit von Manganionen und oxidierenden Komponenten, wie Peroxid- und Hydroxylradikale für die Umsetzung von IAA durch radikalische Kooxidation. Bei der Oxidation von Sulfid zu Sulfat werden Peroxid- und Hydroxylradikale gebildet, wobei der Pyrrolring der IAA oxidiert wird. Ein frühzeitiger Zusatz von Ascorbinsäure (150 mg/l) zu gefährdeten Weinen, bei gleichzeitigem Vorhandensein von 40 mg/l freier SO_2 , kann die Bildung von UTA vermeiden helfen. Ascorbinsäure vermag die Superoxid- und Hydroxylradikale abzufangen, wodurch die Spaltung des Pyrrolringes der IAA und somit die Bildung von AAP verhindert wird (Gessner et al., 1998; 1999).

Die Lagerung von Lösungen ohne Vergärung unter Zusatz von Indol-3-essigsäure (Abb. 47) zeigte, dass ohne Zusatz von SO_2 zu IAA der Umsatz zu AAP vergleichsweise gering ist. Die höchste Zunahme kann unter Zusatz von SO_2 beobachtet werden. Bei einer Zugabe von Ascorbinsäure zu IAA und SO_2 zeigt sich ein Rückgang des Gehaltes an AAP, Skatol und Indol. Auffallend ist der hohe Wert von Indol bei einem IAA Zusatz zum Medium ohne SO_2 .

Gessner et al. (1998) fanden bei einem Zusatz von 0,1 mg/l IAA zu geschwefeltem Jungwein AAP-Werte bis zu 10 $\mu\text{g/l}$. Bei Zusatz von SO_2 und Ascorbinsäure war eine deutliche Abnahme zu beobachten. Eine Zunahme bei der Zugabe von SO_2 konnte ebenfalls festgestellt werden. Die Umsatzrate ist im Vergleich wesentlich geringer.

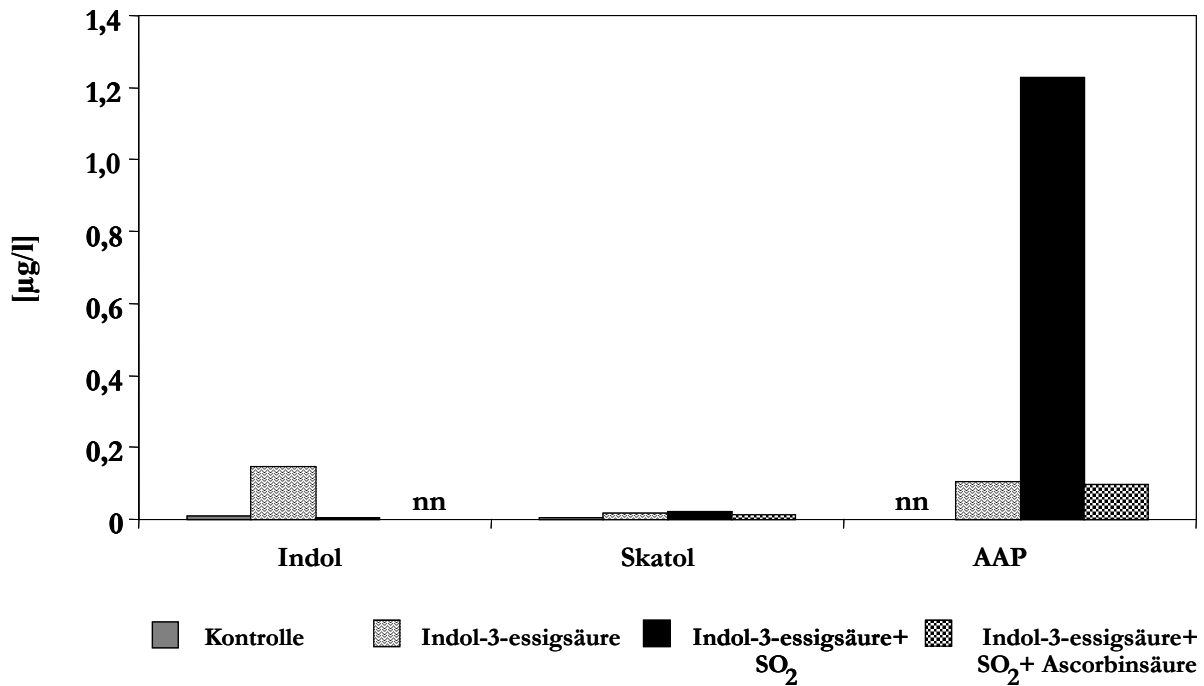


Abb. 47: Einfluss von SO₂ und Ascorbinsäure auf die Bildung/Freisetzung von unerwünschten Aromastoffen bei der Lagerung (2 Monate) von Lösungen unter Zusatz von IAA und Mangan (Pflieginger, 2002)

Ascorbinsäure kann mit Stoffen des Tryptophanstoffwechsels reagieren. Dies ist bei einem Oxidationsprodukt der IAA Indol-3-methanol der Fall, das nach Bindung an Ascorbinsäure Ascorbigen ergibt (Abb. 48) (Luckner, 1969). Dies ist möglicherweise bei der beobachteten Oxidation von IAA der Fall.

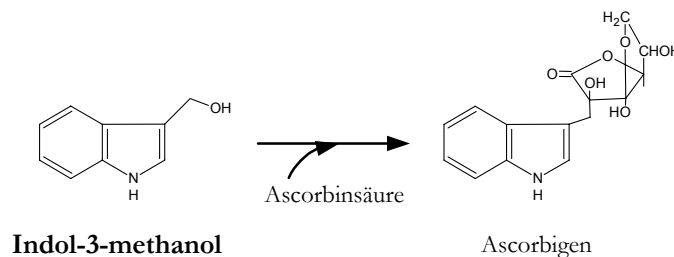


Abb. 48: Bildung von Ascorbigen aus Indol-3-methanol (Luckner, 1969)

Die entstehenden Oxidationsprodukte binden an Ascorbinsäure. Die Pyrrolringspaltung ist dadurch gehemmt oder verlangsamt, was sich auf die Bildung von AAP auswirkt. Dies steht im Zusammenhang mit den Beobachtungen, dass sich Ascorbinsäure besonders auf die sensorischen Attribute Antikwachs und Nasser Lappen und weniger auf Akazienblüte auswirkt. AAP wird mit Akazienblüte, Skatol eher mit nassem Lappen sensorisch assoziiert (Sponholz und Hühn, 2001).

4.2.2.3 Indol-3-essigsäureaspartat und Gramin als Vorstufen

Traubensaft (*Müller-Thurgau*) und ASII wurden mit verschiedenen Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum*) bzw. einer Kombination von Hefen (*Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) unter Zusatz von Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) vergoren. Der Traubensaft wies einen Arginingehalt von 492 mg/l bei einem Gesamtaminosäuregehalt von 1244 mg/l auf. Das synthetische Medium wies hingegen einen Arginingehalt von 350 mg/l bei einem Gesamtaminosäuregehalt von 1001 mg/l auf. Durch den höheren Gehalt an Arginin beim Traubensaft sollte eine bessere Versorgung der Hefe im Vergleich zum synthetischen Medium (ASII) gewährleistet werden. Da es sich beim Traubensaft um ein Vollmedium handelt, ist die Versorgung der Hefe mit Cofaktoren günstiger zu bewerten. Den Einfluss höherer Gehalte an Arginin durch eine Supplementierung konnte bereits gezeigt werden (Hühn et al., 2002).

Die Gärdauer beim synthetischen Medium (ASII) betrug ca. 30 Tage. Die Restzuckergehalte bei *Saccharomyces cerevisiae* lagen zwischen 5-30 g/l. Die Vergärung mit *Hanseniaspora uvarum* führte zu Restzuckergehalten von 130-140 g/l. Die Kombination der Hefen (*Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) führte zu einem Endvergärungsgrad zwischen 1-12 g/l. Nach Beenden der Gärung mit *Saccharomyces cerevisiae* lagen die Werte des Traubensaftes bei Restzuckergehalten zwischen 30-40 g/l. *Hanseniaspora uvarum* zeigte Werte zwischen 130-180 g/l und die Hefekombination lieferte Werte zwischen 20-40 g/l Restzucker. Die höheren Gehalte bei *Hanseniaspora uvarum* können auf eine geringere Gärleistung von *Apiculatus*-Hefen zurückgeführt werden (Dittrich, 1987). Nach der Gärung konnte im synthetischen Medium bei keinem Gäransatz L-Milchsäure gefunden werden, was bestätigt, dass keine unerwünschte Bakterienaktivität stattgefunden hat. L-Milchsäure wird ausschliesslich von Bakterien gebildet und entsteht nicht während der alkoholischen Gärung (Dittrich, 1987). Die gemessenen Gehalte von 0,11 und 0,16 mg/l nach der Vergärung des Traubensaftes können nicht auf eine Bakterientätigkeit während oder nach der Gärung zurückgeführt werden, da im Traubensaft ein Gehalt von 0,14 mg/l L-Milchsäure vorlag.

Die Vergärung mit Indol-3-essigsäureaspartat zeigte bei *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum* und der Hefekombination im Vergleich zu Gramin höhere Gehalte an AAP. Die höchsten Gehalte gefolgt von *Hanseniaspora uvarum* und der Hefekombination wurden in den Testgärungen mit *Saccharomyces cerevisiae* erreicht (Abb. 49). Bei Skatol fällt vor allem die hohe Menge bei der Zugabe von Indol-3-essigsäureaspartat und der Hefe *Hanseniaspora uvarum* auf (Tab. 17).

Bei der Vergärung mit Traubensaft (Abb. 49) wurde unter Zusatz von Indol-3-essigsäureaspartat durch *Saccharomyces cerevisiae* höhere Gehalte an AAP als im synthetischen Medium (Abb. 50) gebildet, während beim Graminzusatz die Werte im Vergleich zum synthetischen Medium in allen Fällen tiefer lagen. Die Bildung von AAP durch Zugabe von Gramin bei den verschiedenen Hefen im Traubensaft wird in ähnlicher Weise beeinflusst wie beim synthetischen Medium. Bei Indol-3-essigsäureaspartat bildet *Saccharomyces cerevisiae* die höchsten Konzentrationen und *Hanseniaspora uvarum* die niedrigsten. *Saccharomyces cerevisiae* könnte bei der Hefekombination für den höheren Gehalt im Vergleich zu *Hanseniaspora uvarum* verantwortlich sein. In Traubensaft scheint die Zugabe von Indol-3-essigsäureaspartat zu höheren Gehalten an AAP zu führen als im synthetischen Medium. Der Einfluss der Hefe und des Mediums auf die Bildung von AAP wird hier ebenfalls deutlich.

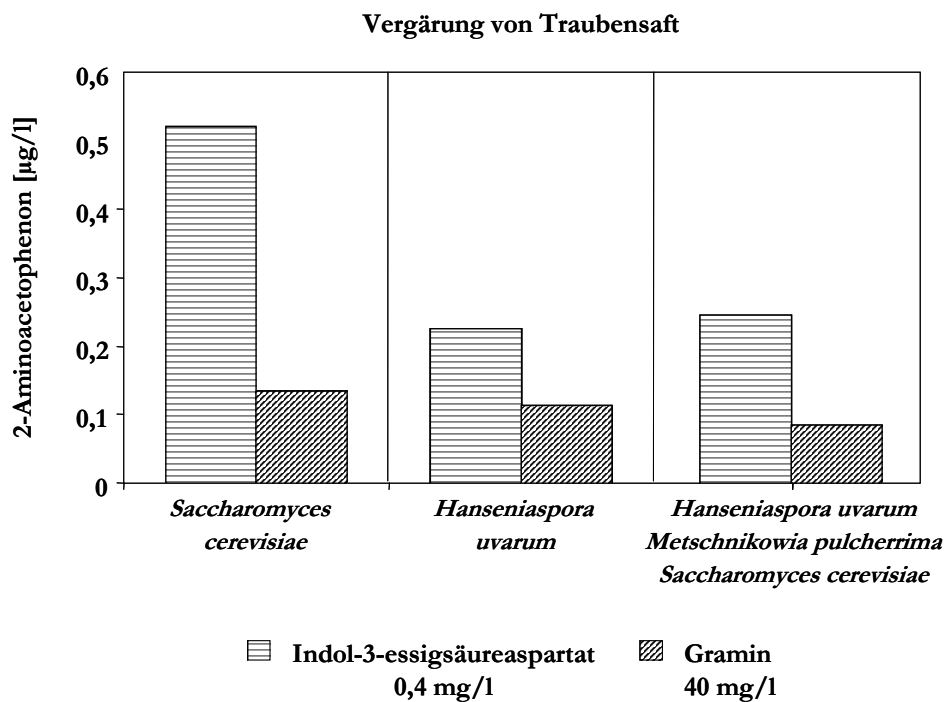


Abb. 49: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines Traubenmostes mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum*, *Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) (Pflieginger, 2002)

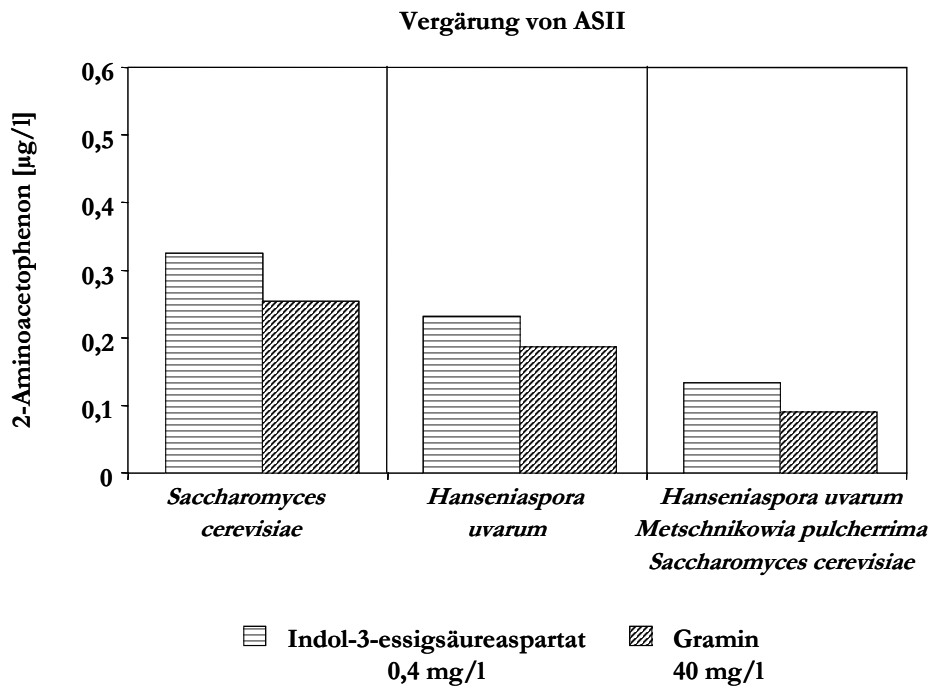


Abb. 50: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum*, *Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) (Pflieginger, 2002)

Die höheren Gehalte bei *Saccharomyces cerevisiae* im Vergleich zu *Hanseniaspora uvarum* oder der Hefekombination kann auf eine stärkere Hefevermehrung zurückgeführt werden, wobei *Saccharomyces cerevisiae* durch ein limitiertes Stickstoffangebot unter Stress gesetzt wurde. Eine Bildung höherer Mengen an AAP durch *Hanseniaspora uvarum* konnte bei diesen Versuchen nicht gezeigt werden. In einem besser versorgten Medium (Traubensaft) werden unter Vergärung mit Indol-3-essigsäureaspartat höhere Gehalte an AAP als in einem schlechter versorgten Medium (ASII) gebildet, was mit der Gärdynamik zusammenhängen kann. Bei Gramin sind die Verhältnisse ähnlich wie bei wie IAA. Die Nährstofflimitierung führt zu einer verstärkten Bildung von AAP. Dies zeigt, dass das Nährstoffangebot und die zugesetzten Stoffe einen Einfluss auf die Hefe und damit auf die Bildung von unerwünschten Aromastoffen haben. Bei Nährstofflimitierung (insbesondere von Aminosäuren) ist bei bestimmten Substanzen, ob als Vorstufen oder stoffwechselbeeinflussenden Verbindungen, mit einer stärkeren Bildung von unerwünschten Aromastoffen zu rechnen. Andere Substanzen können in einem gut versorgten Medium mit einer entsprechenden Gärdynamik Vorstufen unerwünschter Substanzen sein.

Tab. 17: Bildung von Skatol und Indol aus Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum*, *Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) bei Testgärung mit A Traubenmost (*Müller-Thurgau*) und B synthetischem Medium (ASII) (Pflieginger, 2002)

Substanz	Medium	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		<i>Hanseniaspora uvarum</i>		<i>Hanseniaspora uvarum</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
		Indol [µg/l]	Skatol [µg/l]	Indol [µg/l]	Skatol [µg/l]	Indol [µg/l]	Skatol [µg/l]
Kontrolle	A	2,36	1,35	1,95	0,44	nd	nd
Indol-3-essigsäureaspartat	A	0,05	nn	1,67	0,02	0,07	0,23
Gramin	A	nn	nn	nn	8,16	2,08	0,18
Kontrolle	B	nn	0,01	0,02	0,16	0,11	0,03
Indol-3-essigsäureaspartat	B	0,04	0,02	0,09	3,29	1,69	nn
Gramin	B	0,40	0,19	2,75	0,31	0,32	0,19

nn = nicht nachweisbar nd = nicht detektiert

Die Synthese von Essigsäureethylester wird deutlich durch die Hefen beeinflusst (Abb. 51). Während durch *Saccharomyces cerevisiae* in der Kontrolle 50 mg/l gebildet werden, weist der Ansatz mit *Hanseniaspora uvarum* in der Kontrolle 350 mg/l auf. Die Hefekombination zeigt bei der Kontrolle 155 mg/l. Dieses Ergebnis stimmt mit den bisherigen Erkenntnissen überein (Dittrich, 1987).

Die Indol-3-essigsäureaspartat-Zugabe bei *Saccharomyces cerevisiae* führt im Vergleich zur Kontrolle zu keiner Veränderung. Unter Einsatz von Indol-3-essigsäureaspartat nimmt der Gehalt an Essigsäureethylester bei *Hanseniaspora uvarum* und der Hefekombination zu. Die Gehalte steigen dabei mit Erhöhung der Zugabe von Indol-3-essigsäureaspartat. Bei einer Zugabe von Gramin (20 mg/l) ist bei *Saccharomyces cerevisiae* und *Hanseniaspora uvarum* im Vergleich zur Kontrolle eine Zunahme des Essigsäureethylesters festzustellen. Die Hefekombination zeigt bei Zugabe von Gramin eine im Vergleich zu Indol-3-essigsäureaspartat gegenläufige Reaktion. Der Gehalt an Essigsäureethylester nimmt mit steigender Zugabe ab. Ein Einfluss der zugesetzten Substanzen auf die Bildung des in höheren Konzentrationen unerwünschten Essigsäureethylesters ist zu erkennen. *Hanseniaspora uvarum* scheint besonders auf die Zugabe von Indol-3-essigsäureaspartat zu reagieren.

Die Bildung der erwünschten Komponente 2-Phenylethanol ist bei *Saccharomyces cerevisiae* am stärksten ausgeprägt, nimmt bei der Hefekombination ab und zeigt bei *Hanseniaspora uvarum* die geringsten Werte (Abb. 52). Sponholz und Dittrich (1974) zeigen, dass *Kloeckera apiculata* mehr 2-Phenylethanol bildet als *Saccharomyces cerevisiae*. Bei den hier mit synthetischem Medium durchgeführten Versuchen ist dies nicht der Fall. Der Zusatz von Indol-3-essigsäureaspartat und Gramin bei *Hanseniaspora uvarum* und der Hefekombination führt zu einer Abnahme des Gehaltes an 2-Phenylethanol. Bei einer Zugabe von 0,2 mg/l bzw. 20 mg/l werden bei der Hefekombination geringere Mengen synthetisiert.

Der Zusatz von Indol-3-essigsäureaspartat zum synthetischen Medium und einer Vergärung mit *Saccharomyces cerevisiae* zeigt bei der niedrigsten Zugabemenge im Vergleich zur Kontrolle eine Abnahme. Mit steigenden Zugabemengen nimmt die Konzentration zu und ist bei 0,4 mg/l höher als in der Kontrolle. Die steigende Zugabe von Gramin führt zu einer Abnahme des 2-Phenylethanolgehaltes.

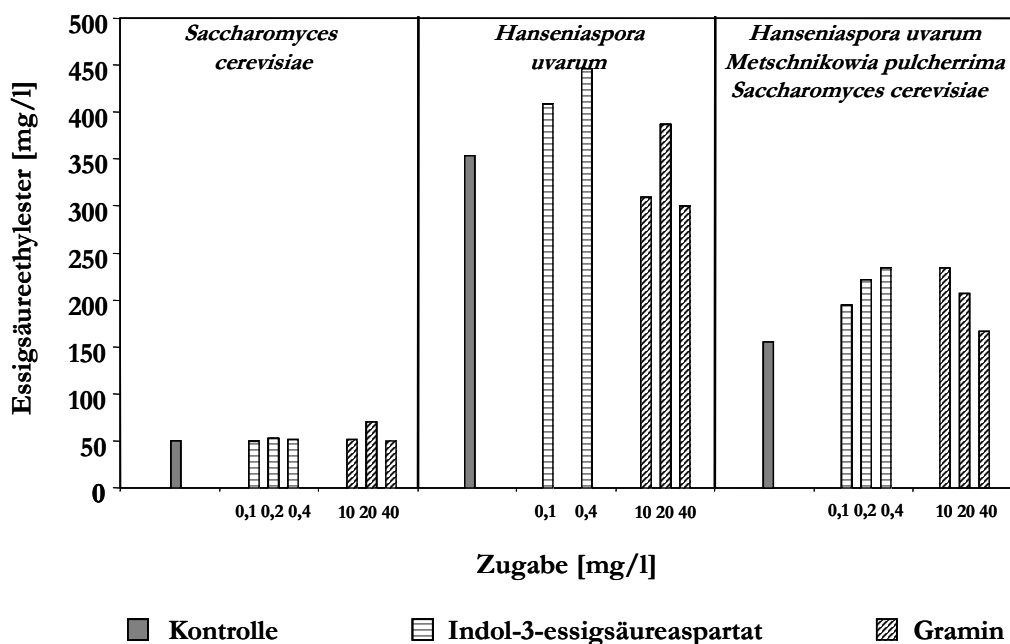


Abb. 51: Essigsäureethylester-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,1; 0,2; 0,4 mg/l) und Gramin (10; 20; 40 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum*, *Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) (Pflieginger, 2002)

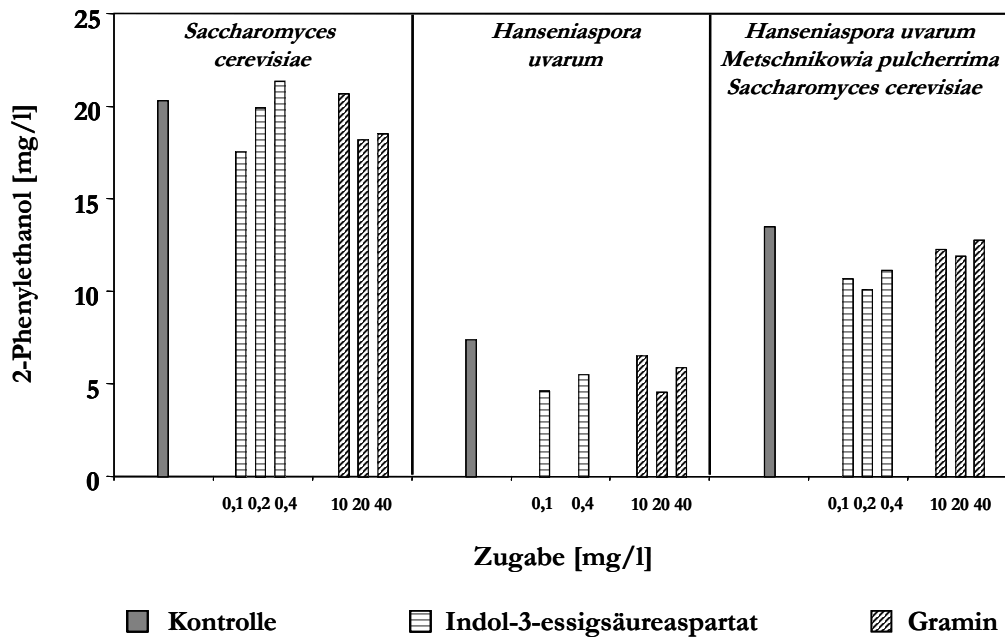


Abb. 52: 2-Phenylethanol-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,1; 0,2; 0,4 mg/l) und Gramin (10; 20; 40 mg/l) durch verschiedene Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum*, *Hanseniaspora uvarum* + *Metschnikowia pulcherrima* + *Saccharomyces cerevisiae*) (Pflieger, 2002)

Bei der Vergärung des synthetischen Mediums (ASII) betrug die Gärdauer ca. 30 Tage. Die Restzuckergehalte lagen zwischen 5-30 g/l. Bei keinem Gäransatz konnte L-Milchsäure gefunden werden. Dies zeigt, dass keine unerwünschte Bakterienaktivität stattgefunden hat, da L-Milchsäure ausschliesslich von Bakterien gebildet wird und nicht während der Gärung entsteht (Dittrich, 1987). Zur Analyse der Substratbedingungen für die Hefe kann der Verbrauch an Aminosäuren herangezogen werden. Bei Glutamin und Arginin ist der höchste Verbrauch zu verzeichnen (Abb. 53). Der relativ hohe Argininverbrauch der Hefe ist bekannt (Rauhut et al., 1996). Von 1001 mg/l zugegebenen Aminosäuren wurden ca. 600 mg/l verbraucht. Nach Dittrich (1987) benötigt die Hefe zur Vermehrung 1000 mg/l Aminosäuren. Da diese Menge in der Lösung vorlag und nur 600 mg/l aufgenommen wurden, ist von der Auslösung eines Stresszustandes für die Hefe auszugehen. Da in der Regel Prolin während der Gärung nicht von der Hefe aufgenommen wird (Dittrich, 1987), überrascht die Abnahme des Prolins während der alkoholischen Gärung. Rapp und Franck (1971) konnten nachweisen, dass Prolin in den Hefestoffwechsel einbezogen wird, wenn im Medium ein geringer Gesamtaminosäuregehalt vorliegt. Der Argininverbrauch während der Gärung liegt bei 180 mg/l (Abb. 53). Die Hefe konnte die gesamte Menge an Arginin nicht aufnehmen. Die Bedeutung von Arginin in Zusammenhang mit UTA konnte bereits gezeigt werden (Hühn et al., 2002).

Eine geringe Aufnahme der Aminosäuren kann auf eine verminderte Hefevermehrung und/oder vorzeitiges Absterben der Zellen zurückgeführt werden. Intrazellulär kommt es zu nachhaltigen Störungen verschiedener Stoffwechselreaktionen. Unter Stickstoffmangel bauen Hefen einen Teil jener Transportproteine ab, welche spezifisch Zuckermoleküle aus dem Most in die gärende Zelle schleusen. Der Mangel an verwertbarem Stickstoff im Most führt somit zu Gärstockungen und Gärverzögerungen (Rauhut et al., 1996). Damit können ebenfalls die Restzuckerhalte bei *Saccharomyces cerevisiae* von 5-30 g/l erklärt werden.

Zwischen der Kontrolle und dem Zusatz von Substanzen des Tryptophanstoffwechsels stellt sich die Argininaufnahme teilweise unterschiedlich dar. Bei IAA ist die Aufnahme geringer, bei Indol-3-essigsäureaspartat und Gramin etwas grösser (Abb. 53). Möglicherweise nimmt die Hefe unter Stress grössere Mengen an Arginin auf.

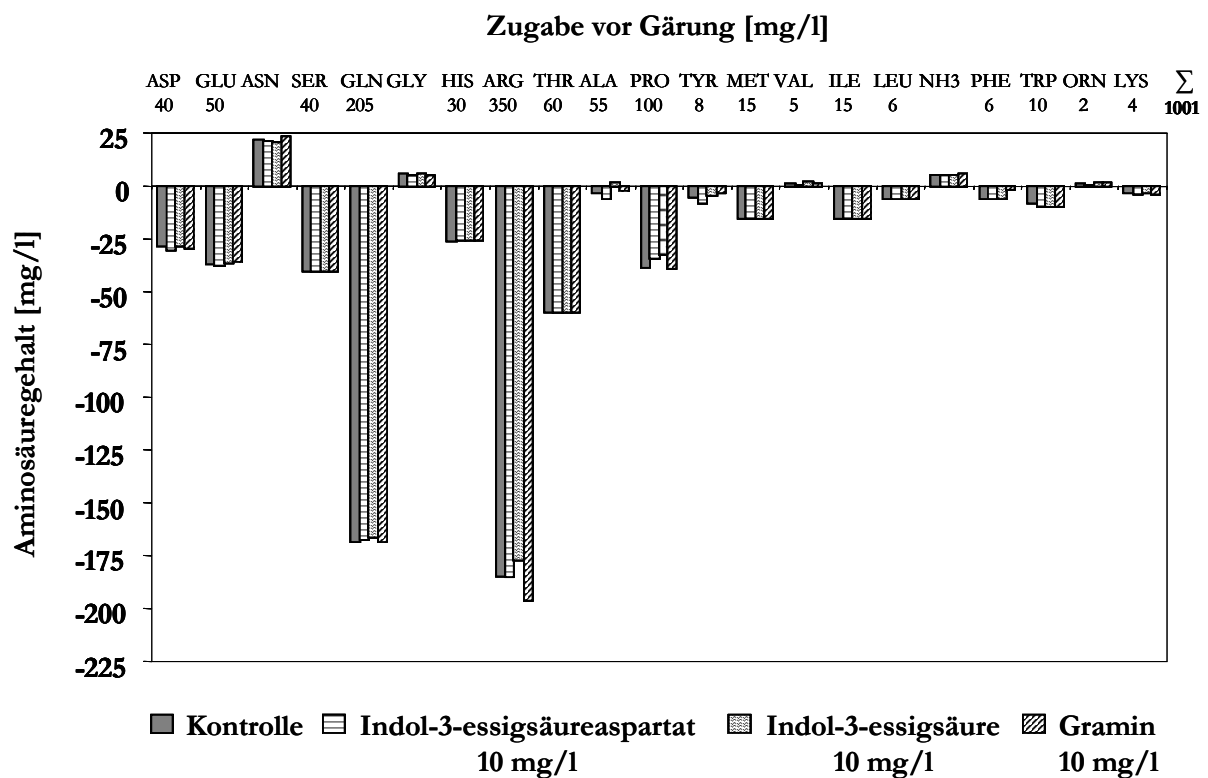


Abb. 53: Verbrauch von Aminosäuren bei der alkoholischen Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) durch *Saccharomyces cerevisiae* unter Zusatz verschiedener Substanzen (Indol-3-essigsäureaspartat, Indol-3-essigsäure, Gramin) (Pflieger, 2002)

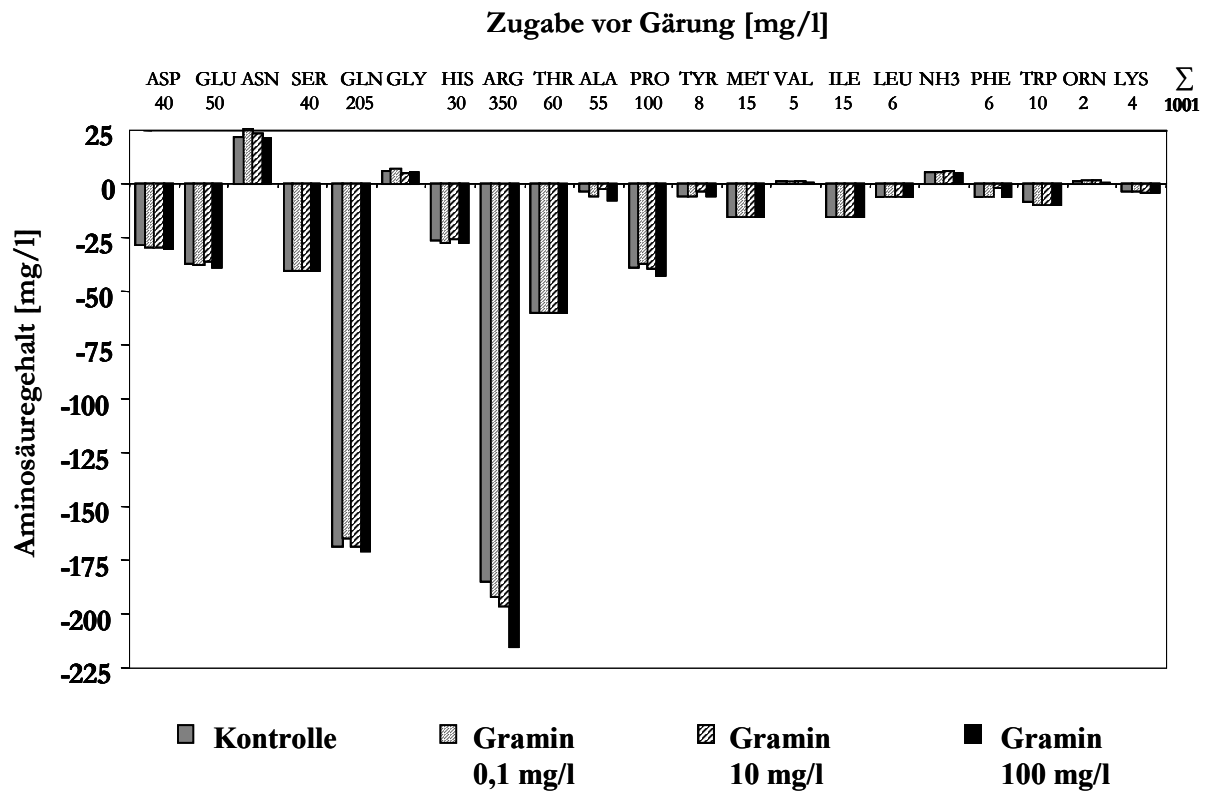


Abb. 54: Verbrauch von Aminosäuren bei der alkoholischen Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) durch *Saccharomyces cerevisiae* unter Zusatz unterschiedlicher Mengen (0,1; 10; 100 mg/l) an Gramin (Pflieger, 2002)

Der Unterschied im Argininverbrauch ist bei steigenden Graminzugaben besonders auffällig (Abb. 54). Bei einer Zugabe von 100 mg/l Gramin zum Medium ist die Argininaufnahme deutlich höher als bei den tieferen Dosierungen (0,1; 10 mg/l) und bei der Kontrolle. Ebenfalls wäre es möglich, dass die Hefe aufgrund von durch Stress ausgelösten Stoffwechselstörungen aufgenommenes Arginin, das in der Hefe als N-Speicher angesehen wird (Bisson, 1991), wieder abgibt. Die vergleichsweise hohe Prolinaufnahme bei der Zugabe von 100 mg/l Gramin könnte auf einen Stresszustand hindeuten und diese Vermutung stützen.

4.2.2.4 Weitere sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe als Vorstufen

Die auf dem Shikimatweg entstehenden Substanzen p-Aminobenzoesäure und Indol werden nur in geringen Mengen zu AAP umgesetzt (Tab. 18). Bei der Zugabe von 10 bzw. 100 mg/l Indol entstehen vergleichsweise geringe Mengen an AAP. Bei p-Aminobenzoesäure kann keine Bildung von AAP beobachtet werden. Indol wird während der alkoholischen Gärung umgesetzt, was an der Abnahme bei einer Einwaage von 10 mg/l und 100 mg/l zu erkennen ist. Eine Produktion

von Indol kann bei einer Einwaage von 0,1 mg/l gemessen werden. Die Zugabe von 100 mg/l Indol führt zu einer erhöhten Bildung von Skatol. Dies ist ebenfalls bei 10 mg/l p-Aminobenzoessäure der Fall. Die erhöhte Bildung von Skatol bei der Dosierung relativ grosser Mengen an Indol und p-Aminobenzoessäure könnte durch Hefestress, der durch diese Substanzen verursacht wird, erklärt werden. Die Hefe versucht diese Stoffe zu metabolisieren. Bei grossen Mengen könnte es zu Stoffwechselstörungen und zur Produktion unerwünschter Aromastoffe kommen. Ein starker Umsatz von Indol und p-Aminobenzoessäure zu den fehltonrelevanten Komponenten konnte nicht beobachtet werden. Anthranilsäure, ein Intermediärprodukt der Tryptophansynthese, kann bei Zusatz zum Medium während der Gärung zur Bildung von AAP führen (Gessner et al., 1996). Ciolfi et al. (1996), die bei Zugabe von Tryptophan zum Gärmedium nach der Gärung AAP fanden, vermuten, dass Chorisminsäure zur Bildung von AAP führen könnte.

Indolpyruvat kann in geringerem Umfang als IAA während der Gärung zu Indol, Skatol und AAP umgesetzt werden. Die Wirkung von Indolpyruvat auf die Bildung von fehltonrelevanten Substanzen scheint deutlich geringer zu sein als bei IAA (Tab. 18). Bei einer Menge von 100 mg/l werden Werte erreicht, die bei IAA bei einer Zugabe von 0,1 mg/l gebildet werden. Beim Wachstumsstopp von Pflanzen geht die IAA-Produktion zurück, während Indolpyruvat in seneszenten Blättern angereichert wird (Atsumi und Hayashi, 1979). Rapp und Versini (2002) sehen in Indolpyruvat eine Vorstufe von Indol und Skatol. Aus Indolpyruvat kann durch Co-Oxidation AAP entstehen (Christoph et al., 1998).

Neben Indol-3-essigsäure können die konjugierten Formen Indol-3-essigsäureaspartat und Indol-3-essigsäurealanin (Abb. 55) als Vorstufen oder verursachende Substanzen bei der Synthese von AAP, Skatol und Indol angesehen werden. In Tabelle 18 ist zu sehen, dass die Bildung von unerwünschten Aromastoffen bei einer Zugabe von Mengen zwischen 0,1 mg/l und 1 mg/l Indol-3-essigsäureaspartat höher ist als bei IAA. Eine relativ hohe Zugabe von 10 mg/l führt wieder zu einer geringeren Bildung von Indol, Skatol und AAP. Die Umsetzung von Indol-3-essigsäurealanin ist im Vergleich zu der mit Aspartat gebundenen Form wesentlich geringer und liegt tiefer als bei Indol-3-essigsäure.

Tab. 18: Bildung von fehltonrelevanten Substanzen aus verschiedenen Vorstufen/
durch auslösende Substanzen (Pflieinger, 2002)

Substanz	Menge [mg/l]	Indol [µg/l]	Skatol [µg/l]	AAP [µg/l]
Kontrolle	/	0,006	0,016	0,034
Kontrolle	/	nn	0,010	nn
Indol	0,1	0,258	0,275	nn
Indol	10	2,084	0,003	0,020
Indol	100	44,140	3,026	0,090
p-Aminobenzoesäure	0,1	nn	nn	nn
p-Aminobenzoesäure	10	0,253	7,234	nn
p-Aminobenzoesäure	100	0,752	nn	nn
Indolpyruvat	100	0,680	0,012	0,107
Indol-3-essigsäure	0,1	0,683	0,041	0,090
Indol-3-essigsäure	10	2,084	0,766	0,290
Indol-3-essigsäureaspartat	0,1	0,341	0,075	0,500
Indol-3-essigsäureaspartat	0,4	0,036	0,017	0,325
Indol-3-essigsäureaspartat	1	0,285	0,258	0,660
Indol-3-essigsäureaspartat	10	0,605	0,171	0,110
Indol-3-essigsäurealanin	0,2	0,271	nn	0,083
Indol-3-essigsäurealanin	0,4	nn	nn	0,196
Gramin	0,1	0,533	0,186	nn
Gramin	10	1,468	0,581	0,590
Gramin	100	7,345	5,618	9,470
Kynurenin	0,1	0,730	nn	0,010
Kynurenin	10	1,110	0,070	0,010
Kynurenin	100	0,930	nn	0,150
5-Hydroxytryptophan	100	0,137	0,023	nn
5-Hydroxytryptamin	100	0,056	0,060	0,285
N-Acetyl-5-methoxytryptamin	100	0,014	0,005	0,197
5-Hydroxyindolessigsäure	100	0,072	0,041	0,200
Jasmonsäure	0,05	nn	2,310	0,141
Jasmonsäure	0,1	0,065	0,037	0,355
Jasmonsäure	0,2	0,075	nn	0,222
Jasmonsäure	1	0,260	0,026	0,673
Jasmonsäure	2	0,137	nn	0,262
Jasmonsäure	10	0,612	0,386	nn
Jasmonsäuremethylester	0,1	0,394	0,050	0,189
Jasmonsäuremethylester	10	nn	0,063	nn
Jasmonsäuremethylester	100	nn	0,069	nn
Abcisinsäure	1	1,030	0,244	0,090

nn = nicht nachweisbar

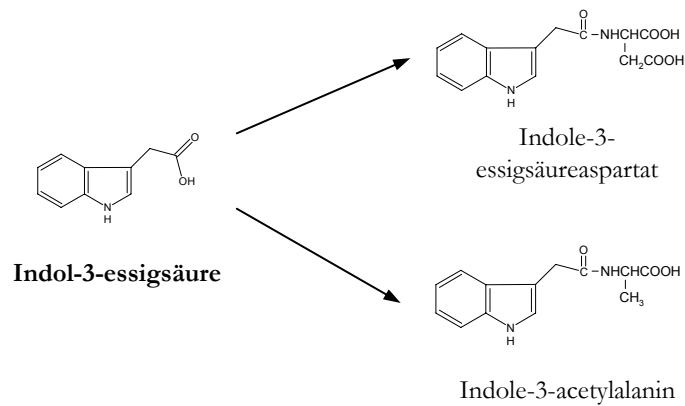


Abb. 55: Konjugierte Formen der Indol-3-essigsäure (Dörffling, 1982)

Der Umsatz von IAA wurde mehrfach nachgewiesen (Gessner et al., 1996; Dollmann et al., 1996; Rapp und Versini, 1998; Hühn et al., 1999c). Hühn et al. (1999c) vermuteten, dass konjugierte IAA in Form von Indol-3-essigsäureaspartat, Indol-3-essigsäureinositol und Indol-3-essigsäureglucose Vorstufen von fehltonrelevanten Substanzen sein könnten. Die Umsetzung von Indol-3-essigsäurealanin und Indol-3-essigsäurephenylalanin durch Co-Oxidation konnte nicht festgestellt werden (Christoph et al., 1998). Der Umsatz von zwei konjugierten Substanzen während der Gärung konnte gezeigt werden (Tab. 18). Konjugierte IAA ist im Most vorhanden (Hoenicke et al., 2000 und 2001) und kann während der Gärung umgesetzt werden. Die Gehalte an gebundener IAA sind nach der Gärung vergleichsweise gering, was bedeutet, dass die Hefe in der Lage ist, diese Stoffe zu verstoffwechseln. Es besteht die Möglichkeit, dass gebundene IAA in freie IAA überführt wird. Die freie IAA kann dann während der Gärung von der Hefe verstoffwechselt werden.

Nach Erreichen eines Maximums der freien IAA nehmen freie und gebundene IAA gleichzeitig ab oder der Gehalt an freier IAA bleibt auf gleichem Niveau (Hoenicke et al., 2000). Es wird vermutet, dass die freie IAA anschliessend durch Co-Oxidation umgesetzt wird (Christoph et al., 1998; Rapp und Versini, 2002).

Es wäre ebenfalls möglich, dass IAA auf enzymatischem Weg von der Hefe verstoffwechselt wird. Aus Weizenkeimlingen und aus Rattenleber und -hirn konnte ein Enzym (Pyrroloxygenase) extrahiert werden, welches Skatol und IAA zu Formylacetophenon und AAP umsetzt. Eine enzymatische Umsetzung von IAA zu Skatol durch *Lactobacillen* konnte ebenfalls beobachtet werden (Frydman et al., 1971; Honeyfield und Carlson, 1990). Das als Reinsubstanz schon unangenehm riechende Gramin führt bei Zusatz zur Gärung zu einer Bildung von fehltonrelevanten Aromastoffen. Die Bildung von Indol, Skatol und AAP ist höher als bei IAA (Tab. 18).

Gramin wird während der Gärung nicht oder nur in geringem Masse verstoffwechselt (Tab. 19). Eine Bildung/Freisetzung muss fallweise in Betracht gezogen werden. Möglicherweise ist Gramin keine Vorstufe von AAP, Skatol oder Indol, sondern sie wirkt als verursachende Substanz zu deren Bildung. Die Substanz könnte somit als Transduktor (lat. Duktus = Führung) bezeichnet werden. Dabei stellt der Transduktor keine direkte Vorstufe dar, sondern führt zur Bildung von unerwünschten Stoffen. Beim Feldversuch 5 konnte mit einer Nachweisgrenze von 22 mg/l kein Gramin in den Mosten nachgewiesen werden.

Tab. 19: Konzentrationen an Gramin vor und nach der Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) (Pflieginger, 2002)

Zugabe zum Medium vor der Gärung [mg/l]	Analysierte Menge nach der Gärung [mg/l]
0,1	nn
0,1	1,48
1	1,36
10	17,16
10	13,30
100	120,22

nn = nicht nachweisbar

Tryptophan ist der Ausgangsstoff des Indol-Alkaloids Gramin (Abb. 56). Die C₂-Verkürzung von Tryptophan führt zu 3-Aminomethylindol, das bei N-Methylierung Gramin ergibt. Bei der Methylierung wird S-Adenosyl-L-methionin zu S-Adenosyl-L-homocystein umgesetzt. Bei Wassermangel der Pflanze wird das S-Adenosyl-L-methionin-Synthaseenzym hochreguliert (Espartero et al., 1994). Besonders bei Temperatur-Stress kommt es zu einer starken Akkumulierung von Gramin in Blättern (Hanson et al., 1983).

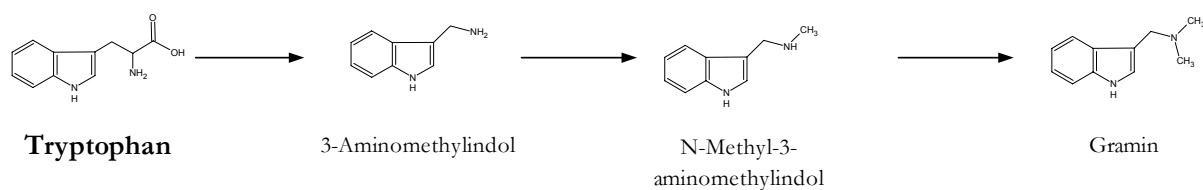


Abb. 56: Entstehung von Gramin aus Tryptophan (Hanson et al., 1983)

Manche Gerstensorten sind nicht in der Lage Gramin zu synthetisieren, da der Übergang von Tryptophan zu 3-Aminomethylindol gehemmt ist (Hanson et al., 1983). Gramin führte bei Blaualgen zu Wachstumsdepressionen. Eine Chlorophyllreduktion und ein Anstieg des

Pigmentgehaltes wurde beobachtet (Foguel und Chaloub, 1993). Die Photophosphorylierung wird in Spinat-Thylakoiden durch Gramin gehemmt (Andreo et al., 1984).

Bei einer Inokulation von Gerste-Pflanzen mit Mehltau oder mechanischer Verletzung, erhöht sich die Graminkonzentration in kurzer Zeit. Zwischen der Bildung von Gramin und der Resistenz gegen Mehltau in Gerstenblättern wurde eine Korrelation festgestellt (Matsuo et al., 2001). Gramin wird bei Stresssituationen in höheren Gehalten gebildet. Inwieweit eine Bildung von Gramin in Reben stattfindet, konnte bisher nicht geklärt werden.

Alkaloide hemmen die Respiration von Hefezellen (Vallejos und Roveri, 1972). Dies könnte zu einer Störung des Stoffwechsels der Hefe in der Angärphase führen, da während der alkoholischen Gärung die Respiration eine untergeordnete Rolle spielt.

Kynurenin wurde bei den Testvergärungen nur in geringem Masse zu AAP, Skatol und Indol umgesetzt (Tab. 18). Rapp und Versini (1998) setzten Kynurenin als einzige Stickstoffquelle zu, was zu einer Bildung von 1,6 µg/l AAP führte. Bei diesem Versuchsansatz ist wahrscheinlich durch starke Nährstofflimitierung eine Mangelsituation mit der Bildung unerwünschter Substanzen durch die Hefe entstanden. Gessner et al. (1996) konnten bei einem Zusatz von 25 mg/l Kynurenin zu Traubensaft die Bildung von 0,4 µg/l AAP feststellen, was durch den mengenmässig höheren Zusatz der Vorstufe zu erklären sein könnte.

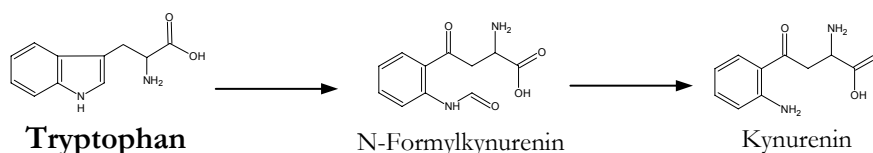


Abb. 57: Entstehung von Kynurenin aus Tryptophan (El-Sewedy, 2000)

Kynurenin stellt eine Zwischenstufe bei der Bildung von NAD aus Tryptophan dar (Abb. 57). Die Hefe ist wie der Mensch in der Lage, aus Tryptophan Nicotinsäure zu bilden (Kindl, 1994; Belitz und Grosch, 1987). Bei Mangel von Vitamin B₆ beim Menschen ist die Umsetzung auf der Stufe der Kynureninase (Kynurenin-3-hydroxylase) (Belitz und Grosch, 1987) oder die Decarboxylierung von Chinolinsäure gehemmt (Kelsey et al. 1968 zitiert in El-Sewedy, 2000). Aufgrund der Hemmung der Chinolinsäuredecarboxylierung kann ein Anstieg der Mengen an 3-Hydroxyanthranilsäure, 3-Hydroxy-L-kynurenin und Kynurenin erwartet werden (Kelsey et al., 1968 zitiert in El-Sewedy, 2000; El-Sewedy, 2000).

In Traubenmost liegen die Mengen an Vitamin B₆ (Pyridoxin) zwischen 160-530 µg/l (Ribéreau-Gayon et al., 1982). Dies reicht in der Regel für die Wachstumsbedürfnisse von Mikroorganismen aus. Die Bildung von Pyridoxin ist bei den verschiedenen Hefen unterschiedlich stark ausgeprägt (Lemperle und Lay, 1984).

Während unter aeroben Wachstumsbedingungen bei *Saccharomyces cerevisiae* die Nicotinsäurebiosynthese ausgehend von Tryptophan verläuft, wird unter anaeroben Bedingungen Nicotinsäure aus Asparaginsäure gebildet (Heilmann und Lingens, 1968). Chinolinsäure kann aus Tryptophan gebildet werden. Bei der Asparaginsäurebildung ist die Chinolinsäure das Intermediärprodukt. Die Aktivität der Kynurenin-3-hydroxylase, die im Kynureninstoffwechsel als umsatzlimitierend angesehen wird, kann bei Anwesenheit von Sauerstoff um das 10-fache gesteigert werden (Schott und Staudinger, 1971).

Es wird vermutet, dass die nicht aus dem Tryptophanstoffwechsel stammende Nicotinsäure für die Bedürfnisse von *Saccharomyces cerevisiae* nicht ausreicht (Heilmann und Lingens, 1968). Inwieweit Kynurenin durch die Hefe im gärenden Most gebildet wird und welche Bedingungen zur Bildung herrschen müssen, bleibt offen.

Durch den Mangel an Vitamin B₆, der wahrscheinlich durch Thiaminzusatz zum Substrat induziert wird, kann die Biosynthese von Nicotinsäure aus Tryptophan bei *Saccharomyces uvarum* gehemmt werden (Umezawa und Kishi, 1989). Kynurenin konnte noch in Trauben in Konzentrationen zwischen 0 bis max. 94 µg/l nachgewiesen werden (Dollmann et al., 1997). Vor dem Hintergrund der vorliegenden Ergebnisse wäre eine Bildung von AAP aus dieser Menge Kynurenin sehr gering.

Die Umsetzung von Kynurenin und deren Vorstufe Formylkynurenin auf chemischem Wege durch Co-Oxidation konnte nicht nachgewiesen werden (Christoph et al., 1998). Eine enzymatische Umsetzung während der Gärung ist möglich.

Bei *Pseudomonas*-Arten konnte eine Umsetzung von Tryptophan über N-Formylkynurenin und Kynurenin zu AAP gezeigt werden (Cox und Parker, 1979; Mann, 1967a und 1967b).

5-Hydroxytryptamin (Serotonin), 5-Hydroxyindolessigsäure und N-Acetyl-5-methoxytryptamin (Melatonin) können im Vergleich zu IAA in geringeren Mengen zur Bildung von AAP, Skatol und Indol führen (Tab. 18). 5-Hydroxytryptophan wird nicht zu AAP, aber im Vergleich zu den anderen Substanzen, zu höheren Konzentrationen an Indol und Skatol umgesetzt. Die Umsatzraten bleiben hinter IAA als Vorstufe zurück.

Bei Pflanzenstress werden Tryptamin, 5-Hydroxytryptamin (Serotonin) und seine N-Methyl-Derivate oft angetroffen (Kindl, 1994). 5-Hydroxytryptamin konnte in Bananen, Pflaumen, Tomaten, Avocados, Auberginen (Udenfried et al., 1959) und Walnüssen nachgewiesen werden (Kirberger und Braun, 1961). Serotonin wurde im Fruchtfleisch in einer Konzentration von bis zu 28 mg/kg aufgefunden (Belitz und Grosch, 1987). Menschlicher Verzehr dieser Früchte führt zur Verstoffwechslung von 5-Hydroxytryptamin zu 5-Hydroxyindolessigsäure und anschließender Ausscheidung über den Urin (Grosse und Rasche, 1987). Ein ähnlicher Stoffwechselweg scheint für die Hefe möglich.

Ausgehend von Tryptophan wird Serotonin über 5-Hydroxytryptophan gebildet (Abb. 58).

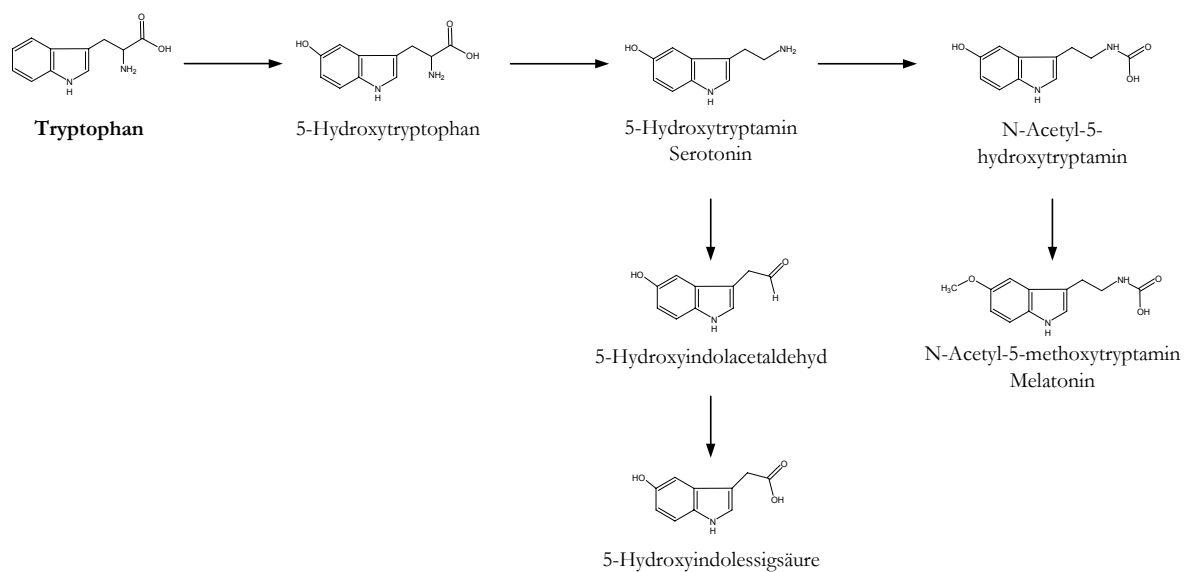


Abb. 58: Entstehung von Serotonin und Melatonin aus Tryptophan (Luckner, 1969)

Die Bildung von 5-Hydroxyindolessigsäure verläuft mit der Bildung von IAA aus Tryptamin identisch. Durch Acetylierung von Serotonin entsteht N-Acetyl-5-Hydroxytryptamin und bei weiterer Methylierung Melatonin.

Melatonin konnte in Bananen, Gurken und Tomaten nachgewiesen werden (Belitz et al., 2001). Die N-Methylierung von Serotonin führt zu 5-Hydroxy-N-methyl-tryptamin. Tryptamin kann am N-Atom methyliert werden. Das Vorkommen dieser Stoffe in der Traube konnte bislang nicht dokumentiert werden.

Eine durch Pflanzenstress erhöhte Konzentration an methylierten Substanzen des Tryptophanstoffwechsels kann zu einer Bildung von unerwünschten Aromastoffen beitragen. Wie gross der Beitrag zur Bildung dieser Komponenten ist, bleibt fraglich, da sehr grosse Mengen dieser Substanzen zur Bildung von AAP, Skatol und Indol notwendig sind.

Bei einem Zusatz der in höheren Pflanzen weit verbreiteten Jasmonsäure zum Medium werden während der alkoholischen Gärung fallweise erhöhte Gehalte an AAP gebildet (Tab. 18). Bis zu einer Zugabe von 1 mg/l Jasmonsäure ist eine Zunahme festzustellen. Nach Überschreiten eines Maximums nimmt die Bildung von AAP mit steigenden Jasmonsäurezugaben wieder ab. Die Mengen an Indol nehmen mit steigenden Zugaben an Jasmonsäure zu. Bei vergleichsweise geringen Jasmonsäuredosierungen können hohe Bildungsraten an Skatol festgestellt werden. Nach einer konzentrationsabhängigen Abnahme ist bei 10 mg/l wieder eine Zunahme der Skatolbildung zu beobachten. Durch Zusatz von Abscisinsäure und Jasmonsäuremethylester werden keine erhöhten Gehalte an AAP, Skatol oder Indol gebildet (Tab. 18).

Der Methylester der Jasmonsäure, Jasmonsäuremethylester, ein Duftstoff in Jasmin und Rosmarin, wird ebenfalls als Hemmstoff eingestuft. Die Aktivität der Jasmonsäure ist 40-200 mal geringer als von Abscisinsäure. Die Konzentration an Jasmonsäure kann in Früchten fast 1000 mal höher sein als von Abscisinsäure (Libbert, 1987).

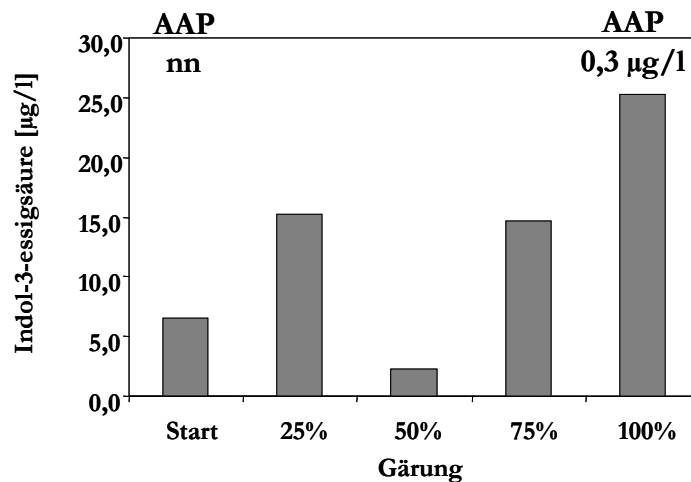
Jasmonsäure kann unter Einfluss von Elicitoren durch Oxidation von Linolensäure entstehen, die dann die Synthese bestimmter Enzyme und damit die Bildung von Phytoalexinen anregt (Doke, 1997).

Während der Reife nimmt der Gehalt an freier Abscisinsäure in Traubenbeeren stark zu, erreicht ein Maximum und nimmt wieder ab. Der Gehalt an gebundener Abscisinsäure nimmt während der Reife stetig zu. Die Maximalgehalte an gesamter Abscisinsäure in Trauben lagen bei den Sorten *Müller-Thurgau* und Sylvaner zwischen 100-180 µg/l (Düring, 1974). Abscisinsäure dient der Signalübertragung der Umweltsituation Trockenheit (Wasserstress) durch Konzentrationserhöhung. Bei Trockenheit synthetisieren die Wurzeln Abscisinsäure, die in die Blätter transportiert wird und dort zu einer Verminderung der Spaltöffnungsweite führt. Der starke Abscisinsäure-Anstieg löst Wachstumshemmung aus (Libbert, 1987).

4.2.2.5 Jasmonsäureeinfluss auf die Synthese von Indol-3-essigsäure und 2-Aminoacetophenon

Um die Relevanz von Jasmonsäure auf die Synthese von Indol-3-essigsäure und 2-Aminoacetophenon bei der alkoholischen Gärung zu untersuchen, wurden Gärversuche unter Verwendung eines Traubenmostes und eines Aminosäuremangelmediums (ASII, Rauhut 1996) durchgeführt.

A: Vergärung von Traubenmost



B: Vergärung von Traubenmost + 0,1 mg/l Jasmonsäure

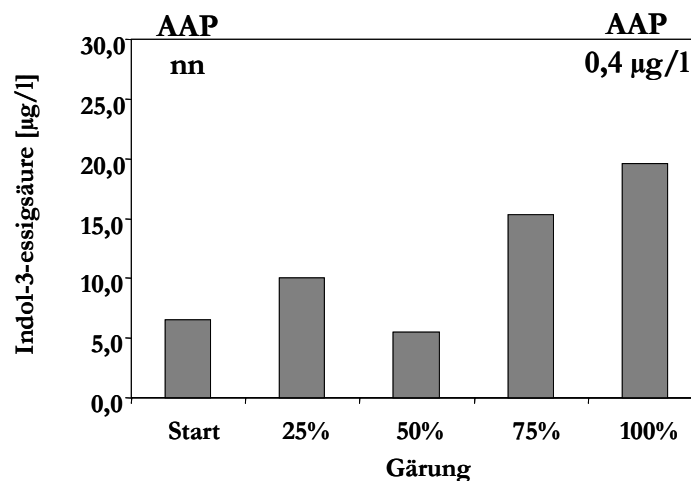
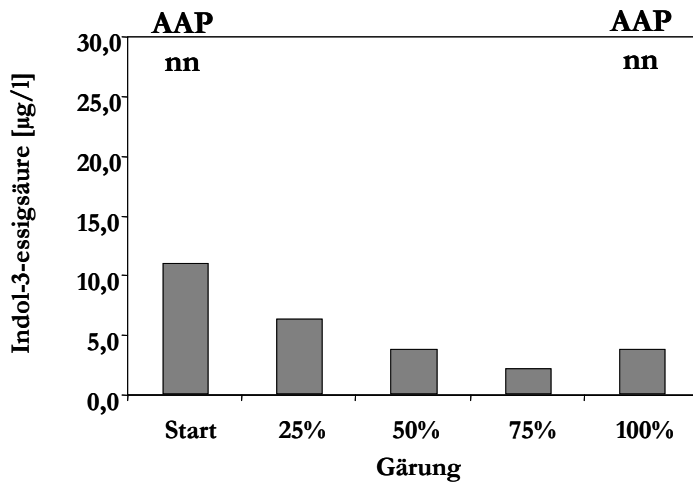


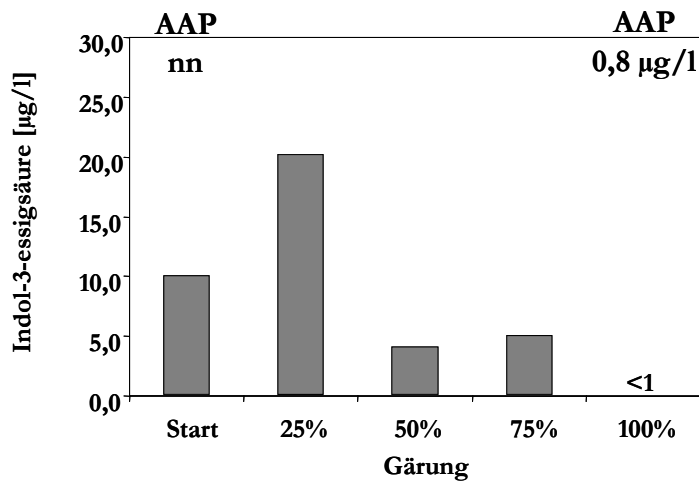
Abb. 59: Indol-3-essigsäuredynamik und 2-Aminoacetophenonkonzentration bei Vergärung eines Traubenmostes (A: Traubenmost, B: Traubenmost + 0,1 mg/l Jasmonsäure)

Die Elicitierung des Traubenmostes zeigt im Vergleich zur Variante ohne Zusatz von Jasmonsäure weder bezüglich der Dynamik der Indol-3-essigsäure noch der Bildung von 2-Aminoacetophenon deutliche Unterschiede (Abb. 59). Bei der Vergärung des Mangelmediums (Abb. 60) ist im Vergleich dazu eine veränderte Dynamik der Bildung/Freisetzung von Indol-3-essigsäure festzustellen.

A: Vergärung von ASII



B: Vergärung von ASII + 0,1 mg/l Jasmonsäure



C: Vergärung von ASII + 0,1 mg/l Jasmonsäure + 0,1 mg/l/d O₂

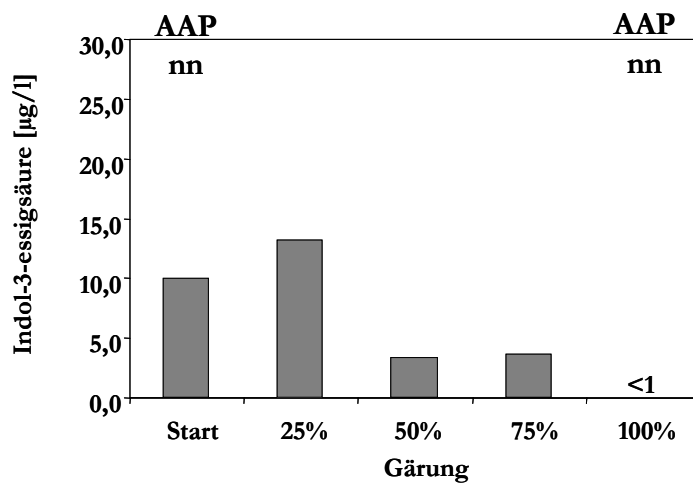


Abb. 60: Indol-3-essigsäuredynamik und 2-Aminoacetophenonkonzentration bei Vergärung eines synthetischen Mediums (A: ASII, B: ASII + 0,1 mg/l Jasmonsäure, C: ASII + 0,1 mg/l Jasmonsäure + 0,1 mg/l/d O₂)

Die Dynamik der Bildung von IAA während der Gärung, wird durch die Hefeelicitierung mit Jasmonsäure in Abhängigkeit des Substrates beeinflusst. Die Hefeelicitierung mit 0,1 mg/l Jasmonsäure zeigte bei Vergärung des Mangelmediums (ASII) eine Bildung relevanter Mengen an AAP (0,8 µg/l). Durch eine Versorgung der Hefe während der Vergärung des Mangelmediums mit 0,1 mg/l/d Sauerstoff, konnte die Bildung von AAP unter die Nachweisgrenze herabgesetzt werden. Die Wirkung des Sauerstoffes während der Gärung kann vermutlich als Stressreduktion interpretiert werden.

Durch Hefeinfektion von Pflanzen kann ein deutlicher Anstieg des endogenen Jasmonsäuregehaltes beobachtet werden (Gundlach et al., 1992). Die Verletzung des Pflanzengewebes führt über Jasmonsäure zur Stimulation der Phytoalexinsynthese (Brodschelm, 1995; Doke, 1997). Phytoalexine können Stoffwechselstörungen der Hefe auslösen. Alkaloide hemmen die Respiration der Hefe, wodurch die Energiegewinnung reduziert wird (Vallejos und Roveri, 1972).

Das Auftreten von Pflanzenkrankheiten ist oftmals mit einer Erhöhung der IAA Konzentration verbunden (Libbert und Silhengst, 1970). Eine Bildung von IAA durch Hefen wurde gleichfalls beobachtet (Tuomi et al., 1995). Ansteigende IAA-Konzentrationen führen in der Pflanze zu einer Erweichung der Zellwand und können die Bildung der Sekundärwand inhibieren. Beides begünstigt das Wachstum von Pathogenen (Stillwell und Wassall, 1993). Die Produktion von IAA durch Mikroorganismen könnte die Besiedelung erleichtern und zur besseren Verwertung der Nährstoffquelle dienen, da infolge stärkeren Wachstums die Pflanze unter Umständen zusätzlich geschwächt, sicher aber die Zellwände leichter penetriert werden können (Hühn et al., 1999c).

Vor diesem Hintergrund kann die Hypothese formuliert werden, dass möglicherweise Hefe, bei einer durch Phytoalexine verursachten Stoffwechselstörung, in höheren Konzentrationen IAA bildet, um sich Substrat zu erschliessen. Bei Nährstoffdefiziten der Hefe wird vermutlich, um ein höheres Nährstoffangebot zu erschliessen, die IAA-Synthese forciert, während bei ausreichendem Nährstoffangebot die Bildung geringer ist. Da die Stoffwechselwege der Phytoalexinbildung und der IAA-Biosynthese bis zur Chorisminsäure identisch sind ist es denkbar, dass es sich bei der Hefe unter Stress um eine ähnliche Übertragungskette zur Bildung von Abwehrstoffen handelt wie in der Pflanze.

Möglicherweise können Pflanzen IAA durch Konjugation oder Metabolisierung inaktivieren, um so der Besiedelungsstrategie der Mikroorganismen entgegen zu wirken.

Die Mobilisierung der Phytoalexinsynthese kann durch verschiedene biotische oder abiotische Faktoren erfolgen. Nebst der Besiedelung durch Mikroorganismen oder stechend/saugenden Insekten kommt jegliche Zerstörung des Pflanzengewebes z.B. durch kurzweilige Strahlung in Betracht. Infolgedessen kann es zur Akkumulation von Substanzen des Phytoalexinstoffwechsels einschliesslich der auslösenden Substanzen (Elicitoren) kommen. Diese Substanzen liegen im Substrat der Hefe bei der alkoholischen Gärung vor, wodurch die Hefe unter Stress gesetzt werden kann. Eine Wirkung von Gramin konnte bereits belegt werden. Die Reaktion der Hefe auf die als Verteidigungsantwort der Pflanze eingestufteten Substanzen der Phytoalexinsynthese könnte, besonders unter Nährstofflimitierung, die verstärkte IAA Produktion und die somit intensivierte Bemühung der Besiedelung sein. Dies könnte davon unabhängig sein, ob sich der Mikroorganismus im Pflanzengewebe oder im Most befindet. Über die Erkennungsmöglichkeiten für die Differenzierung zwischen diesen Lokalisationen liegen aus der Sicht der Mikroorganismen keine Anhaltspunkte vor. Die stärkere Bildung von IAA bei N-Mangel im Vergleich zu einer vergleichsweise guten Versorgung mit Stickstoff, konnten Hoenicke et al. (2000) nachweisen. Die Folge dieser Zusammenhänge könnte sein, dass die Hefe unter Stress höhere Mengen an IAA bildet, die die Vorstufe von AAP darstellt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass IAA wie an das Pflanzengewebe, ins Medium abgegeben wird. Da eine Inaktivierung/Metabolisierung der IAA durch die Pflanze nicht mehr erfolgen kann, kommt es zur Akkumulation bis zum Erreichen von stoffwechselbeeinträchtigenden Konzentrationen im Most, die von der Hefe reguliert werden müssen. Einerseits könnte eine Bildung der fehltonrelevanten Substanzen durch biochemische Prozesse erfolgen, andererseits wäre eine Entsorgung in der Vakuole unter Fehltonbildung durch radikalische Kooxidation unter SO_2 -Einfluss beim weiteren Ausbau denkbar. Die Umsetzung von IAA zu AAP während der Gärung (Gessner et al., 1996; Rapp und Versini, 1998; Hühn et al., 1999c) und durch Co-Oxidation (Christoph et al., 1998; Dollmann et al., 1996) konnte bereits nachgewiesen werden. Die Frage nach dem Stoffwechselweg, auf dem AAP aus IAA entsteht, muss weiter unbeantwortet bleiben.

Inwieweit die Situation während der alkoholischen Gärung mit dem partiell aeroben Stoffwechsel der Hefe auf der Pflanze verglichen werden kann, ist nicht klar. Pflanzen, die über keine Respiration, cirkulatorische und ausscheidende Funktionen verfügen, müssen IAA zerstören, bevor es zur Wirkung kommt (Slovin et al., 1999). Möglicherweise müssen die Hefen IAA abbauen, um den entsprechenden Stimulus auf der Pflanze auszulösen und es zur Wirkung zu bringen. Dieser biochemische Prozess könnte einen Erklärungsansatz für die Metabolisierung von IAA liefern.

Eventuell können Hefen unter aeroben Bedingungen mehr IAA bilden als unter anaeroben. Dies könnte unter Umständen erklären, warum Hefen wie *Metschnikovia pulcherrima* oder *Kloeckera apiculata* höhere Mengen an freiem IAA (Hoenicke et al., 2001) und an AAP (Hühn et al., 1996) bilden. Diese Hefen verfügen über einen stärker aerob ausgeprägten Stoffwechsel und liefern infolge erhöhter Aktivität des Pentosephosphatweges höhere Erythrosemengen, von denen die Phenylalkohol-Synthese ausgehen kann (Sponholz und Dittrich, 1974). Die Bildung von Tryptophan und IAA geht ebenfalls von Erythrose aus. Nicht nur die Bildung von IAA könnte bei diesen Hefen erhöht sein, sondern ein stärker aerob geprägter Stoffwechsel könnte den Grund für einen geringeren Abbau liefern.

Während bei *Saccharomyces cerevisiae* die Veränderung der Stoffwechsellage von aerob auf anaerob bei ausreichendem Nährstoffangebot kein Problem darstellt, könnte diese Umstellung bei Nährstoffmangel gehemmt werden. Mögliche Folge könnte die Produktion von IAA sein. Reinecke (1990) berichtet über die enzymatische Umsetzung von IAA zu oxidiertem IAA in der Pflanze. Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure dienen in diesem Zusammenhang als Cosubstrat. Die oxidierten Fettsäuren sind Prostaglandinen wie z.B. Jasmonsäure ähnlich. Der Einfluss von Jasmonsäure während der Gärung konnte gezeigt werden. Falls die Hefe über vergleichbare Mechanismen zur Oxidation von IAA verfügt, könnte ein Zyklus entstehen. In diesem Fall wäre ein Inaktivierungsprodukt der IAA gleichzeitig Stimulanz zur weiteren IAA-Synthese. Dieser Zyklus könnte unter Umständen das Phänomen erklären, warum der Gehalt an freiem IAA in einem relativ schlecht mit Stickstoff versorgten Most konstant bleibt und nicht, wie in einem gut versorgten Most abnimmt (Hoenicke et al., 2000). Pressmost aus gestresstem Lesegut, der in der Regel besser mit Stickstoff versorgt ist als Vorlaufmost, weist keinen niedrigeren IAA-Wert nach der Gärung auf (Hoenicke et al., 2001). Dies deutet darauf hin, dass neben der Nährstofflimitierung das Vorhandensein von Substanzen die Bildung von IAA auslösen könnte. Die Präsenz dieser Verbindungen könnte auch bei guter Nährstoffversorgung zu fehltonrelevanten Aromastoffen führen.

4.3 Reiz-Organismus-Reaktions Modell

Die Entstehung des UTA Phänomens lässt sich nicht auf den Pflanzenbau oder die Vinifikation beschränken. Umweltbedingungen der Rebe führen zu veränderten Substratbedingungen für die Mikroorganismen bei der Weinbereitung und dies kann den Fehlton auslösen. Vor dem Hintergrund der gesammelten Erkenntnisse soll nun der Versuch unternommen werden, die Beziehungen in einen grösseren Zusammenhang zu stellen und ein Modell zur weiteren Diskussion vorzuschlagen.

4.3.1 Pflanzenstress

Pflanzen sind in ihrer natürlichen Umgebung zahlreichen äusseren Reizen und schädigenden Faktoren ausgesetzt. Frassfeinden (Herbivoren) dienen sie als Nahrung und müssen ihren Lebensraum gegen Konkurrenten wie phytopathogene Pilze, Bakterien und Viren, die das Pflanzengewebe als Nährsubstrat nutzen, es besiedeln, es parasitieren und zum Absterben bringen können, behaupten. Dazu kommen abiotische Stressoren wie Frost, Dürre, Lichtüberschuss oder -mangel und Schwermetalle (Levitt, 1980; Beck und Lüttge, 1990; Brodschelm, 1995).

Die Ortsfestigkeit der Pflanzen führt dazu, dass sie verschiedenen Stressoren gleichzeitig ausgesetzt sein können. Eine Störung der optimalen Lebensbedingungen bedingt daher Schutzreaktionen. Pflanzen haben im Verlauf der Evolution ausserordentlich effektive Abwehrmechanismen entwickelt, die bei der Interaktion mit der Umwelt ihr Überleben sichern. Die Abwehr von Pathogenen kann durch permanente präinfektionelle Systeme oftmals durch die Ausgestaltung des Abschlussgewebes oder durch Abwehrmechanismen, die erst durch den Eindringling ausgelöst werden, erfolgen. Physikalische Barrieren (Trichome, Haare, Stacheln, Dornen, klebrige Substanzen, Wachsschicht) verleihen der Pflanze bereits eine deutliche Toleranz gegen Angriffe von aussen und gegen abiotische Einflüsse wie Temperatur-, Feuchtigkeitsschwankungen oder Sonneneinstrahlung. Die Ausbreitung von bereits eingedrungenen Schadorganismen kann durch sklerenchymatisches, verkorktes oder mit Mineraleinlagerungen versehenes Gewebe als innere mechanische Barriere eingeschränkt oder verhindert werden. Als chemische Abwehrmechanismen kommen antimikrobiell wirksame Substanzen vor, die bereits in freier oder gebundener Form vor der Infektion vorhanden sind und dadurch eine präinfektionelle Abwehr darstellen.

Die sekundären Pflanzenstoffe als chemische Schutzstoffe gegen Herbivoren und Mikroorganismen stellen ein chemisches Abwehrsystem dar, das aus einem heterogenen strukturell vielfältigen Spektrum besteht und viel schwerer zu überwinden ist als eine Abwehr, die auf eine Monosubstanz setzt und sei sie noch so wirksam (Brodschelm, 1995).

Die Produktion und Akkumulation von Phytoalexinen als chemische Abwehrstoffe stellt ein sehr effektives Prinzip der postinfektionellen Abwehr dar, da sie gegen eine Vielzahl von Angreifern gerichtet ist. Phytoalexine sind Stressmetabolite mit antimikrobieller Wirkung, die postinfektionell gebildet und verstärkt akkumuliert werden (Griesebach und Ebel, 1978). In nicht attackierten Pflanzen sind sie nicht oder nur in sehr geringer Konzentration vorhanden. Phytoalexine gehören zu folgenden Stoffklassen: Flavonoide, Isoflavonoide, Terpene, Steroide, Polyacetylene, Stilbene, Dihydrophenanthrene, Cumarine, Diterpenlactone, Alkaloide. Verbindungen, welche die Phytoalexinakkumulation auslösen, werden als Elicitoren (lat. *elicitare* = hervorrufen) bezeichnet (Darvill und Albersheim, 1984). Elicitoren sind Substanzen, die eine Verteidigungsantwort stimulieren (Scheel und Parker, 1990). Als biotische Elicitoren kommen organische Verbindungen wie Polysaccharide, Peptide, Glykoproteine und Fettsäurederivate vor, die meist einen Kohlenhydratanteil besitzen und vom Pathogen oder von der angegriffenen Pflanze gebildet werden. Abiotische Elicitoren sind chemische Faktoren wie Schwermetallsalze, Pestizide, SH-Reagenzien, Ethylen oder Stoffwechsellinhibitoren, oder physikalische Faktoren wie mechanische Verletzung, Kältereiz, Wassermangel, Hitzeschock oder UV-Bestrahlung (Wolters und Eilert, 1983). Der Angriff von Folgeparasiten wird durch die Induktion der Phytoalexinsynthese bei einer durch abiotischen Stress geschwächten oder verwundeten Pflanze gehemmt.

Pflanzenstress kann sich einerseits in der Produktion von Aromakomponenten und deren Vorstufen niederschlagen, die sich negativ auf das Geruchs- und Geschmacksbild auswirken können. Andererseits ist ausgelöst durch ein Unterangebot von Nährstoffen für Hefen oder Bakterien die Freisetzung oder Produktion unerwünschter Substanzen möglich. Nährstoffdefizite können Gärverzögerungen, -stockungen und im schlimmsten Falle Gärunterbrechungen zur Folge haben.

Das Stress-Organismus-Response Modell zur Diskussion von Umwelteinflüssen und Stressreaktionen basiert auf Artikeln von Rennenberg, Strasser et al., Rüegethaller, Hartung, Brändle, Fuhrer und Brunold in Brunold et al. (1996). „Stress wird als ein Beanspruchungszustand eines Organismus verstanden, der zunächst Destabilisierung, dann Normalisierung und Resistenzsteigerung bewirkt und bei Überschreiten der Anpassungsfähigkeit

und Überforderung der Anpassungsmechanismen zum Absterben der ganzen Pflanze oder Teilen davon führt (Larcher, 1987)“. „Pflanzenstress wird durch biotisch oder abiotisch ausgelöste Belastungssituationen verursacht, die sich durch negativ veränderte Klimabedingungen, Nährstoffmangelsituationen, und/oder Schaderregerbefall wachstums- oder fortpflanzungsstörend auswirken (nach Brunold, 1996 in Brunold et al., 1996)“.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse sollte diese Definition wie folgt erweitert werden: „und/oder sich modifizierend auf die wertbestimmenden Inhaltsstoffe der Pflanze oder von Pflanzenteilen auswirken (erweitert nach Brunold, 1996 in Brunold et al., 1996)“.

Stoffwechsel-Aktivatoren

Exogene Faktoren im Optimalbereich
Situation: Adaptiert

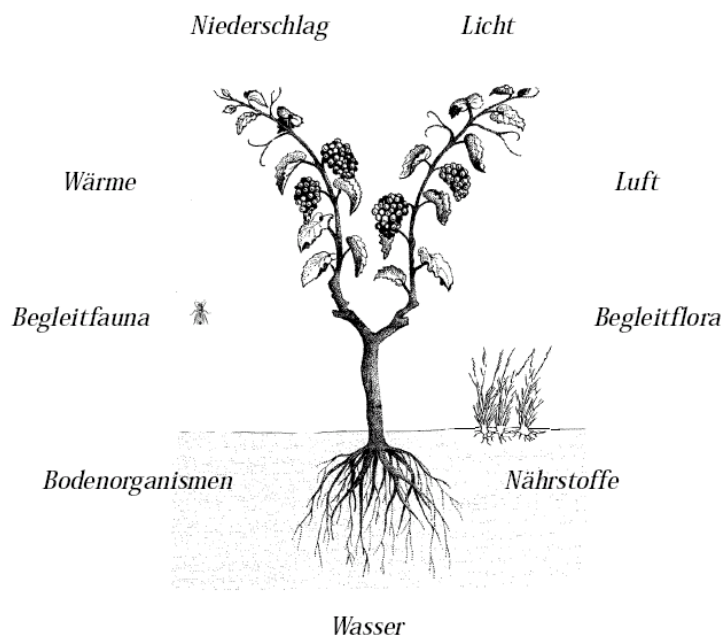


Abb. 61: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - *Stoffwechsel-Aktivatoren* (Hühn et al., 1999c)

Die in Abbildung 61 dargestellten Umweltfaktoren stellen essentielle Faktoren für das Existieren der Pflanze dar. Pflanzen können sich in bestimmten Schwankungsbereichen diesen Umweltfaktoren anpassen. Ist dies erfolgt, und sind die exogenen Faktoren im Optimalbereich, kann die Situation als adaptiert bezeichnet werden. Die Umweltfaktoren können dann, da sie das Leben der Pflanze fördern, als Aktivator bezeichnet werden.

Falls die Aktivator eine kritische Grösse überschreiten oder das Gleichgewicht unter ihnen gestört ist, können sie zu Stressoren für die Pflanze werden. Die exogenen Faktoren befinden sich ausserhalb des Optimalbereichs. Dadurch kann sich eine Stresssituation einstellen. Verschiedene Ausprägungen der Umweltfaktoren als Stressoren sind in Abbildung 62 dargestellt.

Stoffwechsel-Stressoren

Exogene Faktoren ausserhalb des Optimalbereichs
Situation: Stress

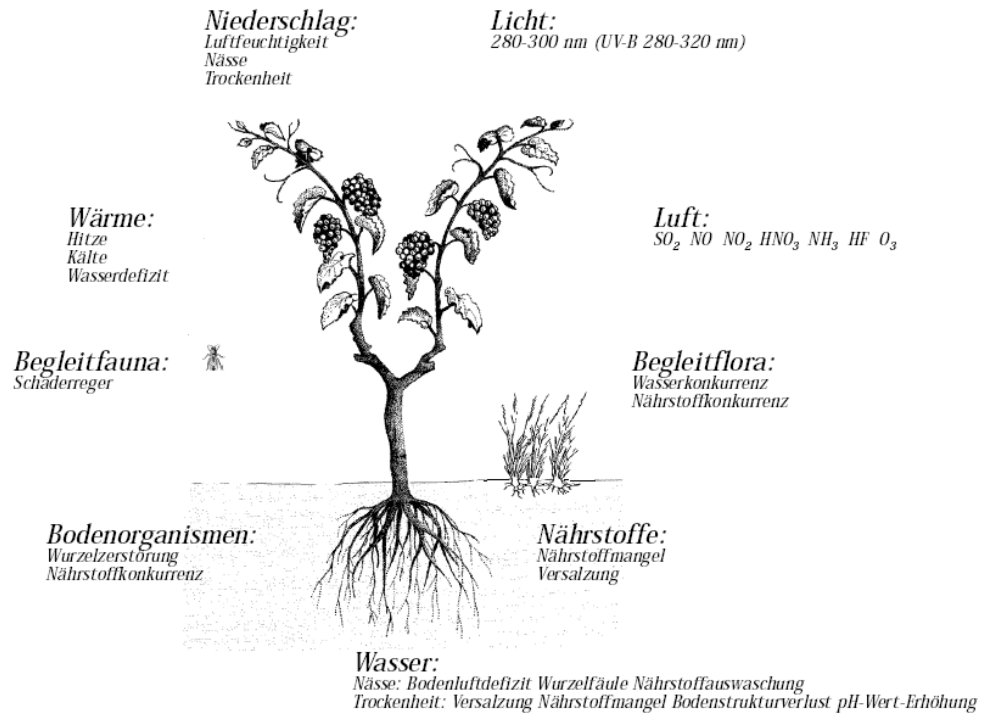


Abb. 62: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - *Stoffwechsel-Stressoren* (Hühn et al., 1999c)

Stressoren können über die Interaktion von exogenen und endogenen Faktoren verstärkt (Stress-Expression) oder abgeschwächt (Stress-Suppression) werden. Diese Faktoren können als Modifikatoren bezeichnet werden. Die dann eintretende Situation kann, wie in Abbildung 63 dargestellt, als Stress-/Reaktion-Interaktion beschrieben werden. Beispielsweise führt Wasserstress über die Signaltransduktion durch Abscisinsäure zur Verringerung des Blattwachstums und zum Schliessen der Spaltöffnungen, was insgesamt zu einer Reduktion des Wasserbedarfs führt und den Stress zumindest für einen gewissen Zeitraum mildert - Stress-Suppression. Ein Beispiel für die Stress-Expression ist Hitze (Wärme ausserhalb des Optimalbereichs), sie kann infolge von Wassermangel die Stresssituation weiter verstärken.

Stoffwechsel-Modifikatoren

Interaktion exogener und endogener Faktoren
 Situation: Stress-/Reaktion-Interaktion

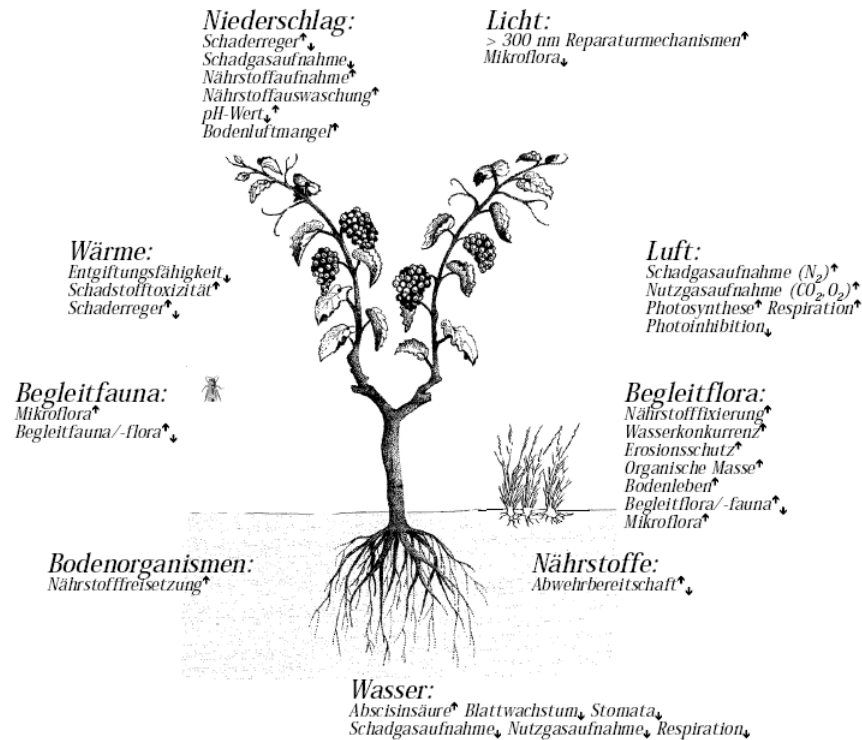


Abb. 63: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - *Stoffwechsel-Modifikatoren* (Hühn et al., 1999c)

Die Stressoren wirken beeinflusst durch die Modifikatoren auf die Pflanze. Die Pflanze reagiert auf die exogenen Faktoren ausserhalb des Optimalbereichs. Die Situation, in der sie sich befindet, kann als Stressantwort bezeichnet werden (Abb. 64). Eine erhöhte Strahlung im unteren UV-B Bereich kann zur Bildung von Flavonoiden, Carotinoiden und Terpenen führen. Diese Substanzen dienen teilweise dem Schutz vor dem Eindringen der Strahlung in tiefere Zellschichten und können als Reaktoren angesehen werden. In diesem Zusammenhang könnte die Vermutung aufgestellt werden, dass, wenn UV-Strahlen an der Degradation von Produkten aus dem Tryptophanstoffwechsel oder IAA direkt beteiligt sein sollten, die Trauben farbstoffreicherer Sorten besser geschützt sind als andere.

Stoffwechsel-Reaktoren

Reaktion auf exogene Faktoren ausserhalb des Optimalbereichs
Situation: Stressantwort

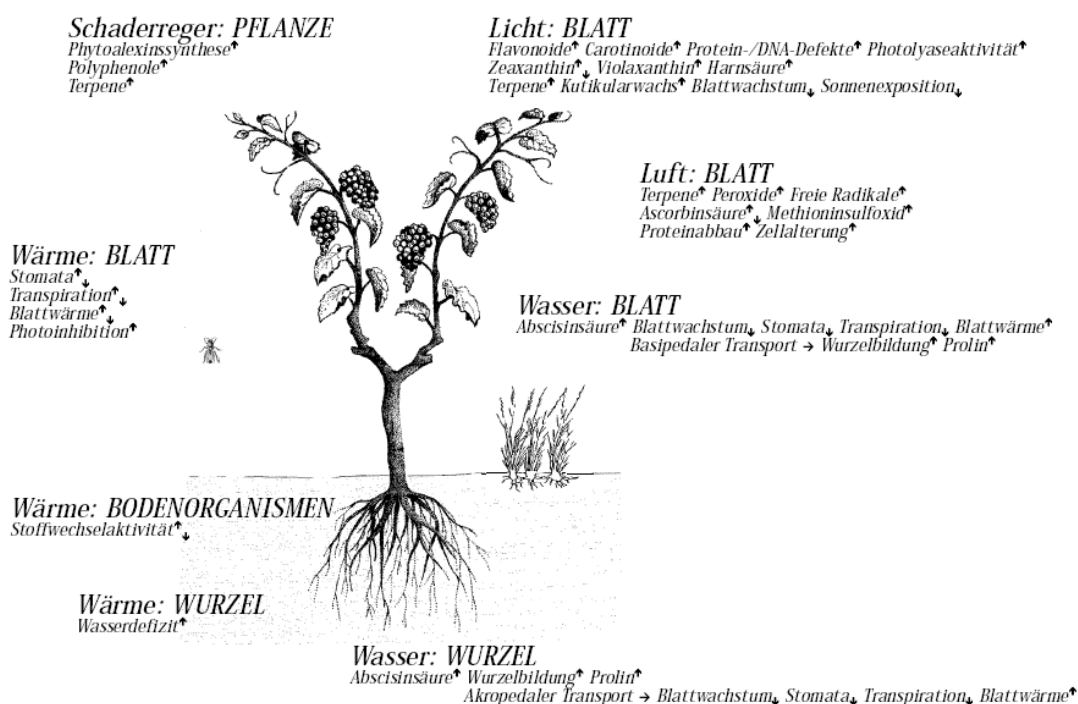


Abb. 64: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - *Stoffwechsel-Reaktoren* (Hühn et al., 1999c)

Die beschriebenen Sachverhalte sind in Abbildung 65 zusammengefasst. Moderater Stress ist aus der Sicht der wertbestimmenden Bestandteile bestimmter Pflanzenteile sicher nicht ausschliesslich negativ zu beurteilen. So kann beispielsweise die Bildung von Terpenen und ihr Beitrag zum Primäroroma von Trauben positiv gesehen werden. Ebenfalls führt moderater Stress im Gegensatz zum Luxurieren zur Stärkung der Pflanze. Die Stressreaktionen der Pflanze sollten nicht mehr nur im Hinblick auf das Überleben, das Wachstum und die Fortpflanzung, sondern auch im Hinblick auf wertbestimmende Bestandteile betrachtet werden. Dies gilt ebenso für den Fall, wenn die Konsequenzen erst über einen weiteren biotischen oder abiotischen Einfluss zum Tragen kommen. Das Modell soll helfen, die Zusammenhänge zwischen Pflanze und Umwelt zu verdeutlichen und zu weiteren Diskussionen anregen. Ziel des Weinbaus ist die Produktion von Trauben. Dieses Rohprodukt wird bislang mit nur sehr wenigen Qualitätskriterien beurteilt. Vor dem Hintergrund der aufgezeigten Problematik sollte die Konzentration von Inhaltsstoffen des sekundären Pflanzenstoffwechsels zukünftig stärker berücksichtigt werden.

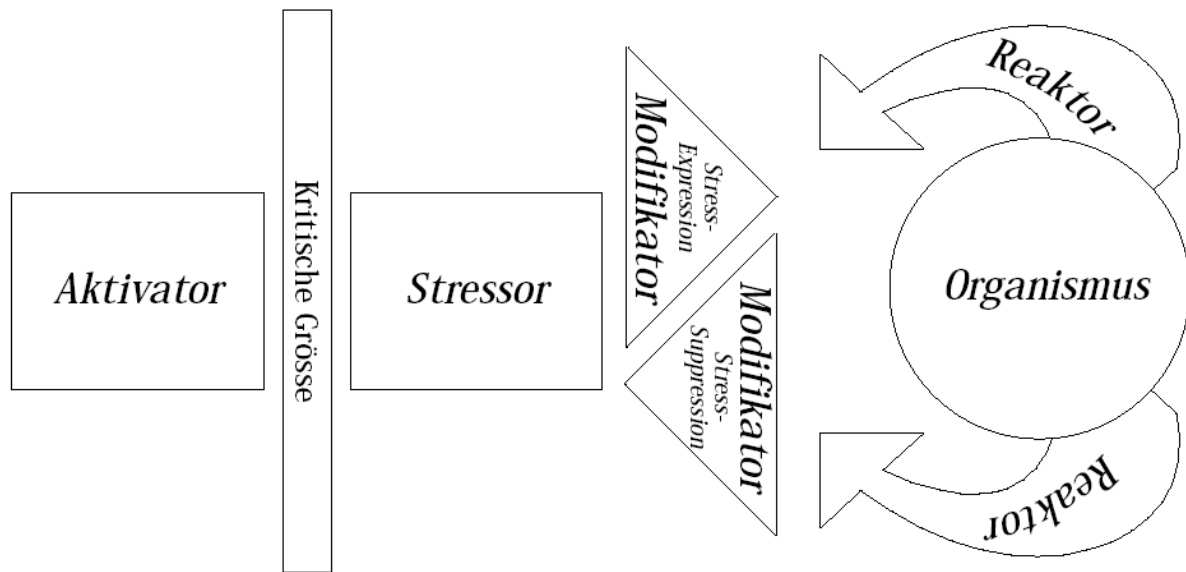


Abb. 65: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell (Hühn et al., 1999c)

4.3.2 Mikroorganismenstress

Stresssituationen während der Vegetationsperiode führen zu einer geringeren Einlagerung von Stickstoff in die Traube und somit in das Gärsubstrat für die Hefen, den Most (Löhnertz et al., 2002). Neben den geringen Gehalten an hefeverfügbarem Stickstoff kann mit einem Defizit an anderen essentiellen Nährstoffen gerechnet werden (Rauhut und Kürbel, 2002). Dies kann zu einer Freisetzung unerwünschter Substanzen durch Hefen und Bakterien aufgrund des Unterangebotes von Nährstoffen führen (Sponholz et al., 2001a). Demzufolge kann Stress für die Pflanze zu Stress für die Mikroorganismen bei der Gärung führen. Dieser Zusammenhang wird als Stresskaskade gesehen (Hühn et al., 1999c). Infolge eines Nährstoffdefizits können Stoffwechselprobleme auftreten oder bestimmte Sekundärmetabolite durch die Mikroorganismen umgesetzt werden, die dann zu unerwünschten Aromastoffen im Endprodukt führen. Vor dem Hintergrund der durchgeführten Experimente und der ausgewerteten Literatur ergibt sich folgende Hypothese eines Erklärungsansatzes für die Fehltonbildung:

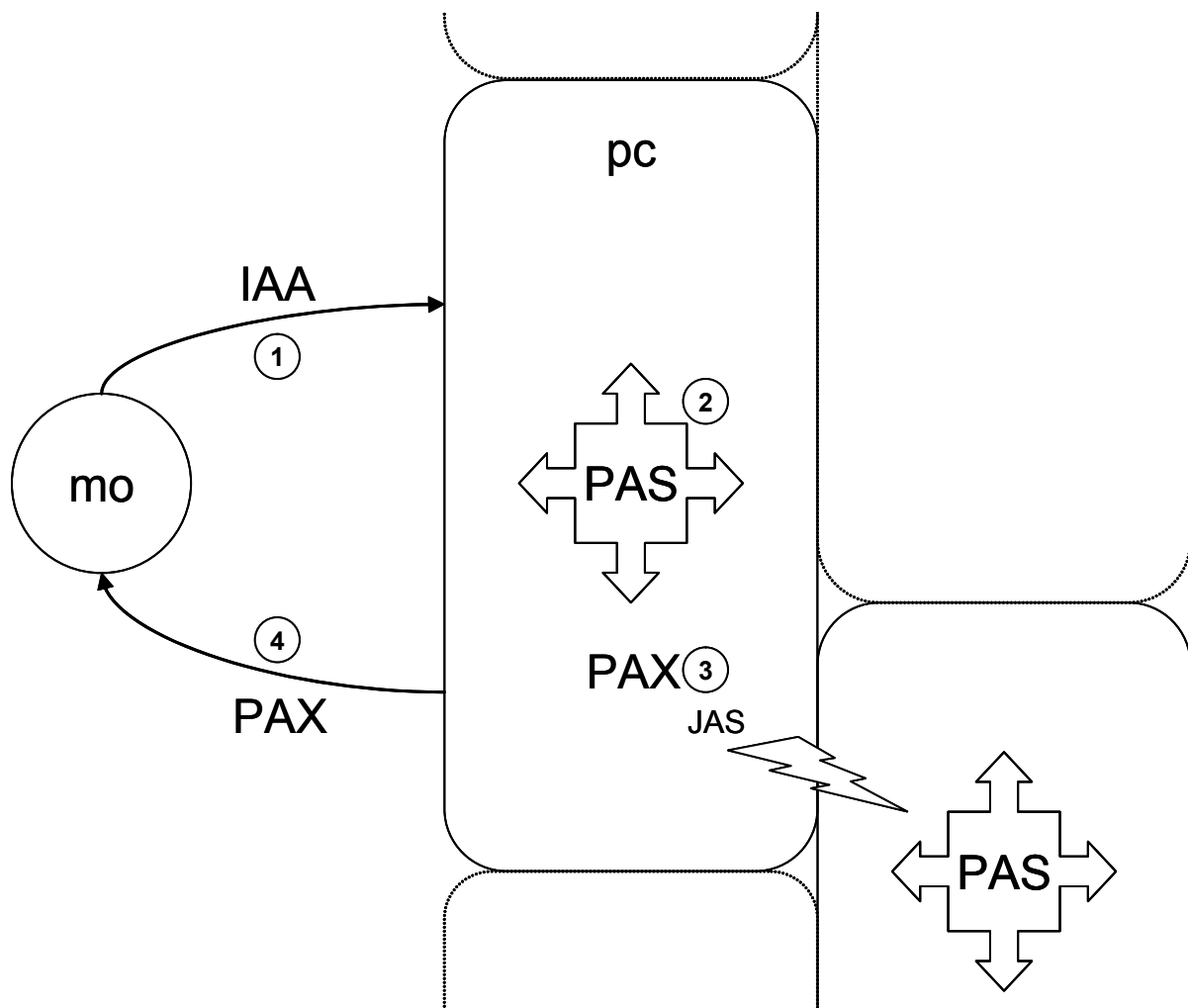


Abb. 66: Bildungsmechanismus des Elicitors Jasmonsäure in der Pflanze. mo: Mikroorganismus (Schimmelpilz), pc: Pflanzenzelle, IAA: Indol-3-essigsäure, PAS: Phytoalexinsynthese, PAX: Phytoalexin, JAS: Jasmonsäure (Hühn et al., 2003)

Die Pflanze wird durch Stressoren zur Phytoalexinsynthese angeregt. Dies können Pilzbefall, Hagelschlag, Wassermangel verbunden mit Nährstoffdefiziten, energieintensive Strahlung (UV-B) und andere Faktoren sowie deren Kombinationen sein. Der Reaktionsmechanismus bei Mikroorganismenbefall ist in Abbildung 66 dargestellt. Die Mikroorganismen produzieren IAA, um die Zellstreckung der Pflanze zu beschleunigen (1), was zur Wassereinlagerung und somit zur Schwächung des Gewebes führen kann. Bei der Phytoalexinsynthese (2) wird neben anderen Phytoalexinen Jasmonsäure (3) gebildet. Jasmonsäure dient der Signalübermittlung an andere Pflanzenzellen und löst dort die Präimmunisierung durch verstärkte Phytoalexinsynthese aus. Die gebildeten Phytoalexine (4) können bei Mikroorganismen möglicherweise zur Intensivierung der Besiedelungsbemühungen durch weitere Bildung/Freisetzung von Indol-3-essigsäure führen.

Die Reaktionen zur Bildung unerwünschter Substanzen wie AAP zeigt Abbildung 67. In Mosten (nlmu) aus Trauben gestresster Pflanzen, kann die erhöhte Konzentration an Jasmonsäure (1) unter Nährstofflimitierung die verstärkte Bildung von IAA (2) während der alkoholischen Gärung induzieren. Bei Überschreitung einer kritischen Konzentration (cl) kommt es unter Nährstofflimitierung, wahrscheinlich infolge einer Detoxifikationsreaktion, zum Abbau von IAA (3) und zur Bildung von AAP (4).

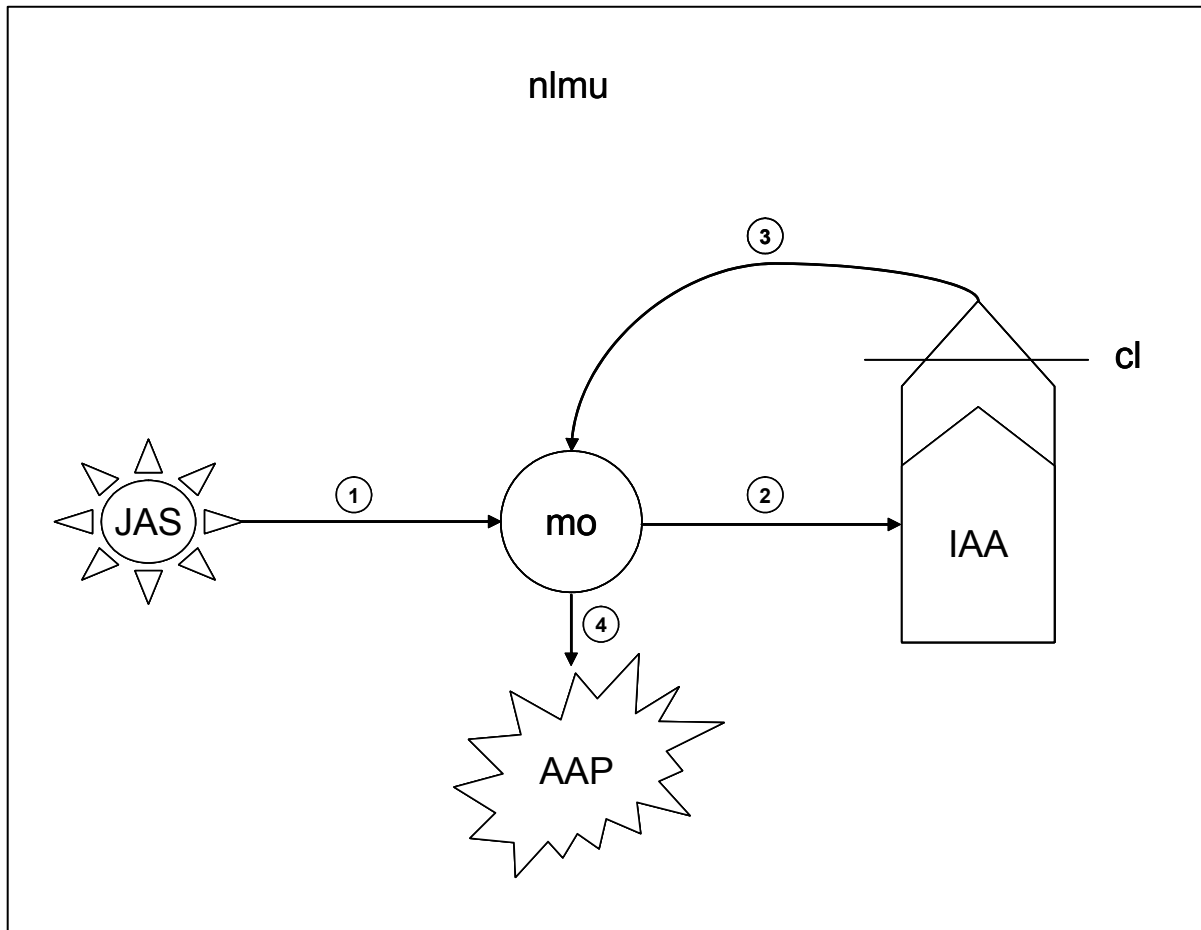


Abb. 67: Wirkung von Jasmonsäure bei der alkoholischen Gärung von nährstofflimitierten Mosten. nlmu: nährstofflimitierter Most, mo: Mikroorganismus (Hefe), cl: Kritische Konzentration, JAS: Jasmonsäure, IAA: Indol-3-essigsäure, AAP: 2-Aminoacetophenon (Hühn et al., 2003)

Durch die Beobachtungen kann folgende Stressdefinition für Mikroorganismen vorgeschlagen werden:

Stress bei Mikroorganismen wird durch biotisch oder abiotisch ausgelöste Belastungssituationen verursacht, die sich durch negativ veränderte Umweltbedingungen wie Nährstoffmangelsituationen und Konkurrenz um Nährstoffe wachstums- oder vermehrungsstörend auswirken können. In der Regel ist damit ein unerwünscht wertmindernder Einfluss auf die Inhaltsstoffe des Weines oder seiner Verarbeitungsprodukte verbunden. (Hühn et al., 1999c verändert nach Brunold, 1996 in Brunold et al., 1996)

5 Zusammenfassung

Die Komplexität des durch 2-Aminoacetophenon (AAP) ausgelösten „Untypischen Alterungstones“ (UTA) in Weinen wurde im Zusammenhang mit pflanzenbaulichen und mikrobiologischen Einflussfaktoren diskutiert. Neben einem Überblick über den Stand der Forschung wurde der Wirkzusammenhang zwischen Pflanzen- und Mikroorganismenstress verdeutlicht. Indol-3-essigsäure (IAA) gilt als wesentliche Vorstufe für die Bildung von AAP. Die Funktion und Wirkung des Pflanzenhormons IAA wurde vorgestellt, um die Bildung und den Stoffwechsel in der Pflanze in Verbindung mit der Metabolisierung durch Mikroorganismen zu diskutieren. Die mögliche Bedeutung des Elicitors Jasmonsäure konnte gezeigt werden. Ein Stress-Organismus-Reaktions-Modell für Pflanzen zur Beschreibung von Stressreaktionen auf Umwelteinflüsse und ein Erklärungsansatz des „UTA“ wurde erstellt. Vor dem Hintergrund der Beobachtungen wurde eine Stressdefinition für Mikroorganismen entwickelt.

Um die Faktoren der typischen Weinentwicklung von denen der atypischen zu separieren, wurden zunächst die Einflüsse verschiedener Rebsorten, Rebsortenklone und der Gärungsbedingungen als substratdeterminierende Faktoren für die Hefen durch Mikrovinifikationen und Modellgärungen auf wertbestimmende Inhaltsstoffe untersucht.

Die Wirkzusammenhänge der atypischen Alterung wurden durch Modellgärungen in synthetischen- und Mostmedien, unter Zusatz von Indol-3-essigsäure und Indol-3-essigsäureethylester, durch Vergärung mit verschiedenen Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata*, *Metschnikowia pulcherrima*) und nach Lagerung untersucht. Während bei Verwendung von Mostmedien unmittelbar nach der Gärung nur sehr geringe Gehalte an AAP festgestellt werden konnten, wurden in synthetischen Medien die Hefen unter Stress gesetzt. Bei allen Varianten wurde AAP direkt nach der alkoholischen Gärung freigesetzt. Diese Ergebnisse belegen den Einfluss von Mikroorganismen auf die Freisetzung von AAP unter Stressbedingungen. Die erhöhten AAP-Werte weisen ferner auf das Vorhandensein von Intermediärprodukten (im Most) hin.

Die Zusammenhänge zwischen Umwelt- und Substrateinflüssen einerseits und dem Auftreten des UTA andererseits wurden untersucht. Zum Schutz der Pflanze vor UV-B-Strahlung wurde ein Absorber in die Laubwand bzw. Traubenzone versprüht. Der Einfluss von Blattdüngung und eine Argininsupplementierung im Most auf Bildung des „UTA“ wurde untersucht.

Die Weine aus den unter diesen Bedingungen produzierten Trauben und Mosten der Rebsorte *Müller-Thurgau* wurden auf die Gehalte an Aminosäuren und fehltonrelevanten Substanzen analysiert.

Der Einfluss kurzweiliger energieintensiver Strahlung (UV-B) auf die Bildung fehltonrelevanter Verbindungen wie AAP und Skatol wurde festgestellt. Die in Verbindung mit dem UTA stehenden Substanzen AAP und Skatol konnten durch UV-B-Schutzmassnahmen sowie einer Blattdüngung und einer Argininsupplementierung des Mostes reduziert werden.

Um die Relevanz verschiedener Substanzen für die alkoholische Gärung aufzuzeigen, wurden Gärversuche unter Verwendung eines Aminosäuremangelmediums (ASII) durchgeführt. Neben Indol-3-essigsäure können mit Aminosäuren konjugierte Indol-3-essigsäure, Indol-3-essigsäure-aspartat und Indol-3-essigsäurealanin während der Gärung zur Bildung von AAP, Skatol und Indol beitragen. Gramin ist ein weiterer Stoff des Tryptophanstoffwechsels, der die Bildung von UTA-Aromen während der Gärung verursacht. Gramin wurde während der Gärung jedoch nicht umgesetzt, so dass diese Substanz nicht als Precursor, sondern als Transduktor fungiert. Das Vorkommen von Gramin in Traubenmost konnte nicht gezeigt werden. Das Pflanzenhormon Jasmonsäure kann ebenfalls als Transduktor eingestuft werden. Die Gärversuche belegen, dass der Hefemetabolismus während der alkoholischen Gärung einen entscheidenden Einfluss auf die Bildung von unerwünschten Aromastoffen (Indol, Skatol, AAP) hat. Mögliche Zusammenhänge von Umwelteinflüssen und späterem Auftreten von „UTA“-Aromen wurden anhand von Versuchen mit UV-bestrahlten Substanzen des Tryptophanstoffwechsels (Tryptophan, Indol-3-essigsäure, Indolpyruvat, Gramin) aufgezeigt. Diese Moleküle absorbieren UV-Licht und ihre photochemische Reaktion kann einen Beitrag zur Bildung von fehltonrelevanten Substanzen leisten.

Die Bildung wertbestimmender Inhaltsstoffe während der Weinbereitung steht somit im engen Zusammenhang mit pflanzenbaulichen und mikrobiologischen Parametern. Der Wirkungszusammenhang zwischen Pflanzen- und Mikroorganismenstress und seine Auswirkungen auf die Bildung von dem „UTA“ zuzurechnenden unerwünschten Aromasubstanzen wurde aufgezeigt.

Literaturverzeichnis

- ACREE, T.E., LAVIN, E.H., NISHIDA, R., WATANABE, S. (1990) O-Aminoacetophenone the „foxy“ smelling component of *Labruscana* grapes. In: Bessière, Y.; Thomas, A.F. Flavour science and technology, Wiley, Chichester, 49-52
- AGENBACH, W.A. (1977) A study of must nitrogen content in relation to incomplete fermentations, yeast production and fermentation activity, Proceedings of the S. Afr. Society for Enology and Viticulture, Cape Town, 66-88
- ANDLEY, U.P. (1987) Photodamage to the eye, Photochem. Photobiol., 46, 1057-1066
- ANDREO, C.S., ORELLANO, E.G., NIEMEYER, H.M. (1984) Uncoupling of spinach thylakoids by gramine, Z. Naturforsch., 39c, 746-748
- ARNOLD, R.G., LIBBEY, L.M., DAY, E.A. (1966) Identification of components in the stale flavor fraction of sterilized concentrated milk, J. Food Sci., 31, 566-573
- ARNOTT, T., MURPHY, T.M. (1991) A comparison of the effects of a fungal elicitor and ultraviolet peroxide synthesis by rosa cell, Environ. Exp. Bot., 31, 209-216
- ARYAN, A.P., WILSON, B., STRAUSS, C.R., WILLIAMS, P.J. (1987) The properties of glucosidases of *Vitis vinifera* and a comparison of their β -glucosidase activity with that of exogenous enzymes. An assessment of possible applications in enology, Am. J. Enol. Viticult., 38, 182-188
- ATSUMI, S., HAYASHI, T. (1979) Examination of the pronounced increase in auxin content of senescence leaves, Plant & Cell Physiol., 20, 861-865
- AUH, C.-K., MURPHY, T.M. (1995) Plasma membrane redox enzyme is involved in the synthesis of O₂ and H₂O₂ by Phytophthora elicitor-stimulated rose cells, Plant Physiol., 107, 1241-1247
- BALLAS, N., WONG, L., THEOLOGIS, A. (1993) Identification of the auxin-responsive element, AuxRE, in the primary indoleacetic acid-inducible gene, PS-IAA4/5, of Pea (*Pisum sativum*), J. Mol. Biol., 233, 580-596
- BALTES, W. (1989) Lebensmittelchemie, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- BANDURSKI, R.S., SCHULZE, A. (1977) Concentration of Indole-3-acetic acid and its derivatives in plants, Plant Physiol., 60, 211-213
- BARDI, L., DELL'ORO, V., DELFINI, C. (1992) Attività esterasica di lieviti vinari, Riv., Vitic. Enol. Sci., 45, 17-27
- BARLOW-WALDEN, L.R., REITER, R.J., ABE, M., PABLOS, M., MENENDEZ-PELAEZ, A. CHEN, L.-D., PÖEGGELER, B. (1995) Melatonin stimulates brain glutathione peroxidase activity, Neurochem. Int., 26, 497-502
- BATES, G.W., CLELAND, R.E. (1979) Protein synthesis and auxin-induced growth: Inhibitor studies, Planta, 145, 437-442
- BAYONOVE, C., CORDONNIER, R. (1971) Recherches sur l'arôme du Muscat. III. Étude de la fraction terpénique, Ann. Technol. Agr., 20, 347-355
- BECK, E., LÜTTGE, U. (1990) Stress der Pflanzen, Biologie in unserer Zeit, 20, 237-244
- BELITZ, H.D., GROSCH, W. (1987) Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- BELITZ, H.-D., GROSCH, W., SCHIEBERLE, P. (2001) Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer-Verlag, Berlin
- BELL, E., MULLET, J.E. (1991) Lipoxygenase Gene Expression is Modulated in Plants by Water Deficit, Wounding, and Methyl Jasmonate, Mol. Gen. Genet., 230, 456-462
- BELY, M., SABLAYROLLES, J.-M., BARRE, P. (1990) Automatic detection of assimilable nitrogen deficiencies during alcoholic fermentation in enological conditions, J. Ferment. Bioeng., 70, 246-252
- BERNATH K., GROB K., HÜHN T. (2001) Fast extraction of grape juice and low detection limit by injection of large volumes with the vaporising chamber-precolum solvent split-gas discharge system. In: Rothe, M. (ed.) Proceedings of the 6. Wartburg Aroma Symposium, 2000, Eisenach, 123-127
- BERNATH, K. (1998) Gaschromatographische Methode zur Bestimmung von Ethylacetat, Hexanol, Propanol(1), Isobutanol, 2-Phenylethanol, 2- und 3-Methylbutanol Hochschule Wädenswil - Zürcher Fachhochschule, Abteilung Lebensmitteltechnologie, Fachgebiet Getränketechnologie, unveröffentlicht

- BIDLINGMEYER, B.A., COHEN, S.A, TARVIN, T.L. (1985) Rapid Analysis of Amino Acids Using Pre-Column Derivatisation, *J. Chromatogr.*, 336, 93-104
- BIEDERMANN, M., GROB, K., WIEDMER, M. (1997) Polyimide for deactivating gas chromatography vaporising chambers and fixing packing materials, *J. Chromatogr.*, 764, 65-71
- BISSON, L.F. (1991) Influence of nitrogen on yeast and fermentation of grapes, In: Rantz, J.M. (ed.) Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine, Seattle-Washington, The American Society for Enology and Viticulture, 78-89
- BLAICH, R., BACHMANN, O. (1980) Die Resveratrolsynthese bei *Vitaceen* - Induktion und zytologische Betrachtung, *Vitis*, 19, 230-240
- BLATT, M.R., THIEL, G. (1994) K⁺ channels of stomatal guard cells: bimodal control of the K⁺ inward-rectifier evoked by auxin, *Plant J.*, 5, 55-68
- BLESER, M. (1999) Einfluss von N-Düngung und Begrünung auf die Gesamt-N-, Aminosäure-N- und Polyamin-N-Gehalte in Beeren, Mosten und Weinen von *Vitis vinifera* (c.v. Riesling) im Verlauf zweier Vegetationsperioden, Dissertation Justus-Liebig-Universität Giessen
- BOCK, G., BENDA, I., SCHREIER, P. (1988) Microbial transformation of geraniol and nerol by *Botrytis cinerea*, *Appl. Microbiol. Biot.*, 27, 351-357
- BOOT, K.J.M., VAN DER ZAAL, B.J., VELTEROP, J., QUINT, A., MENNES, A.M., HOOYKAAS, P.J.J., LIBBENGA, K.R. (1993) Further characterization of expression of auxin-induced genes in tobacco (*Nicotiana tabacum*) cell-suspension cultures, *Plant Physiol.*, 102, 513-520
- BRODSCHELM, W. (1995) Untersuchungen zur Jasmonsäure und strukturverwandte Verbindungen als wichtige Signalstoffe im Elictierungsgeschehen, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München
- BRUCHE, G., SCHMARR, H.G., BAUER, A., MOSANDL, A., RAPP, A., ENGEL, L. (1991) Stereoisomere Aromastoffe, *Z. Lebensm. Unters. For.*, 193, 115-118
- BRUNERIE, P., BENDA, I., BOCK, G., SCHREIER, P. (1987) Bioconversion of citronellol by *Botrytis cinerea*, *Appl. Microbiol. Biot.*, 27, 6-10
- BRUNOLD, CH., RÜEGSEGGER, A., BRÄNDLE, R. (1996) Stress bei Pflanzen, Verlag Paul Haupt, Bern
- CANTAGREL, R., SYMONDS, P., CARLES, J. (1982) Composition en acides aminés du moût en fonction du cepage et de la qualite du vin, *Sci. Aliments*, 2, 109-142
- CANTARELLI, C. (1957) On the activation of alcoholic fermentation in wine making, *Am. J. Enol. Viticult.*, 8, 113-120
- CHEYNIER, V., TROUSDALE, E., SINGLETON, V.L., SALGUES, M., WYLDE, R. (1986) Characterization of 2-S-glutathionyl caftaric acid and its hydrolysis in relation to grape wines, *J. Agr. Food Chem.*, 34, 217-221
- CHRISPEELS, M.J., VARNER, J.E. (1966) Gibberellic Acid-Enhanced Synthesis and Release of α -Amylase and Ribonuclease by Isolated Barley Aleurone Layers, *Plant Physiology*, 42, 398-406
- CHRISTOPH, N., BAUER-CHRISTOPH, C., GESSNER, M., KÖHLER, H.J., SIMAT, T.J., HOENICKE, K. (1998) Bildung von 2-Aminoacetophenon und Formylaminoacetophenon im Wein durch Einwirkung von schwefeliger Säure auf Indol-3-essigsäure, *Vitic. Enol. Sci.*, 53, 79-86
- CHRISTOPH, N., BAUER-CHRISTOPH, C., GESSNER, M., KÖHLER, H.-J. (1996) Die „Untypische Alterungsnote“ beim Wein, *Rebe & Wein*, 8, 246-250
- CHRISTOPH, N., BAUER-CHRISTOPH, C., GESSNER, M., KÖHLER, H.-J. (1995) Die „Untypische Alterungsnote“ (UTA) im Wein Teil I: Untersuchungen zum Auftreten und zur sensorischen Charakterisierung der „Untypischen Alterungsnote“, *Rebe & Wein*, 48, 388-394
- CIOLFI, G., GAROFOLO, A., DI STEFANO, R. (1996) Identification of o-Aminophenons as Secondary Metabolites of *Saccharomyces* Yeast during Fermentation by Synthetic Medium, *Vitic. Enol. Sci.*, 51, 156-158
- CLELAND, R. (1971) Cell wall extension, *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 22,197-222
- COX, C.D., PARKER, J. (1979) Use of 2-Aminoacetophenon production in Identification of *Pseudomonas aeruginosa*, *J. Clin. Microbiol.*, 2, 479-484
- CREELMAN, R.A., TIERNEY, M.L., MULLET, J.E. (1992) Jasmonic Acid / Methyl Jasmonate Accumulate in Wounded Soybean Hypocotyls and Modulate Wound Gene Expression, *Proc. Natl. Acad. Sci USA*, 89, 4938-4941

- CROTEAU, R. (1986) Biosynthesis of Cyclic Monoterpenes. In: Parliment, T.H., Croteau, R. (eds.) Biogenesis of aromas, ACS Symposium Series 317, American Chemical Society, Washington, DC, 134-156
- CUPERUS, S. (2002) Einfluss energieintensiver Strahlung (UV-B) auf den Gehalt an wertbestimmenden Inhaltsstoffen in Wein bei *Vitis Vinifera* L., c.v. Müller-Thurgau, Diplomarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich
- DARVILL, A.G., ALBERSHEIM, P. (1984) Phytoalexins and their elicitors - A defense against microbial infection in plants, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 35, 243-275
- DARWIN, C. (1880) The power of movements in plants, London
- DAUDT, C.E., OUGH, C.S. (1973) Variations in some volatile acetate esters formed during grape juice fermentation: Effects of fermentation temperature, SO₂, yeast strain and grape variety, *Am. J. Enol. Viticult.*, 24, 130-135
- DING, J.P., PICKARD, B.G. (1993) Auxin promotes activity of potassium channels and mechanosensory calcium channels in cell membranes of onion epidermis, *Plant J.*, 3, 83-110
- DITTRICH, H.H. (1987) Mikrobiologie des Weines, Ulmer Verlag, Stuttgart
- DÖHLER, G. (1997) Wirkung erhöhter UV-B-Strahlung und anderer Stressfaktoren auf marines Phytoplankton: Abschlussbericht, Vorhaben KBF 56A, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München
- DÖHLER, G., HAGMEIER, E., DAVID, CH. (1995) Effects of solar und artificial UV irradiation on pigments and assimilation of ¹⁵N ammonium and ¹⁵N nitrate by macroalgae, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 30, 179-187
- DOKE, N. (1997) The Oxidative Burst: Roles in signal transduction and plant stress. In: Scandalios, J.G. Oxidative Stress and the Molecular Biology of Antioxidant defenses, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 785-813
- DOLLMANN, B., RICHLING, E., HEDERICH, M., KÖHLER, H., SCHWAB, A., SCHMITT, A., SCHREIER, P. (1997) High performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry (HPLC-ESI-MS-MS) for the quantification of L-kynurenine and indole-3-acetic acid in grape must by isotope dilution assay, *Vitis*, 36, 97-101
- DOLLMANN, B., SCHMITT, A., KÖHLER, H., SCHREIER, P. (1996) Zur Entstehung des „Untypischen Alterstons“ in Wein: Bildung von 2-Aminoacetophenon in Modellstudien mit *Saccharomyces cerevisiae*, *Vitic. Enol. Sci.*, 51, 122-125
- DÖRFFLING, K. (1982) Das Hormonsystem der Pflanzen, Thieme Stuttgart, New York, 4-45
- DRAWERT, F., RAPP, A., ULRICH, W. (1965) Über Inhaltsstoffe von Mosten und Weinen, VI. Bildung von Hexanol als Stoffwechselprodukt der Weinhefen sowie durch Reduktion von Hexen-2-al-1 während der Hefegärung, *Vitis*, 5, 195-198
- DUBOURDIEU, D., LAVIGNE-CRUEGE, V. (2002) Role du glutathion sur l'évolution aromatique défectueuse des vin blancs secs, Internationale Vereinigung für Oenologie, Betriebsführung und Weinmarketing e.V., 13. Internationales Oenologisches Symposium, 332-347
- DÜRING, H. (1974) Abscisinsäure in reifenden Weinbeeren, *Vitis*, 13, 112-119
- DÜRING, H. (1977) Analysis of abscisic acid and indole-3-acetic acid from fruits of *Vitis vinifera* L. by high pressure liquid chromatography, *Experientia*, 33, 1666-1667
- ECCLI, E. (1999) Der hefeverwertbare Stickstoff in sortenreinen Mosten und Weinen im Trentino, Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden
- EDELMANN, H., SCHOPFER, P. (1989) Role of protein and RNA synthesis in the initiation of auxin-mediated growth in coleoptiles of *Zea mays* L., *Planta*, 179, 475-485
- EL-SEWEDY, S.M. (2000) Pharmacology of the Kynurenine Pathway. In: Stone, T.W. Quinolinic acid and the Kynurenines, CRC Press, Boca Raton, Florida, 101-110
- ENGAN, S. (1970) Wort composition and beer flavour, I. The influence of some amino acids on the formation of higher aliphatic alcohols and esters, *J. Inst. Brew.*, 76, 254-261
- ENGAN, S. (1972) Wort composition and beer flavour, II. The influence of different carbohydrates on the formation of some flavour components during fermentation, *J. Inst. Brew.*, 78, 169-173
- ENGAN, S. (1974) Esters in beer, *Brewers Dig.*, 49, 40-48
- ENGELMANN, A., SIBEN, A. (1995) Alterung und Alterungsverhalten von Rieslingweinen, Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden

- ESCUADERO, A., HERNANDEZ-ORTE, P., CACHO, J., FERREIRA, V. (2000) Clues about the Role of Methional as Character Impact Odorant of Some Oxidized Wines, *J. Agr. Food Chem.*, 48, 4268-4272
- ESPARTERO, J., PINTOR-TORO, J.A., PARDO, J.M. (1994) Differential accumulation of S-adenosylmethionine synthetase transcripts in response to salt stress, *Plant Mol. Biol.*, 25, 217-227
- ESTENDORFER, S., LEDL, F., SEVERIN, T. (1991) Die Maillard-Reaktion unter physiologischen und Lagerbedingungen, Isolierung neuer Produkte, *Lebensmittelchemie*, 45, 18-19
- FARMER, E.E., RYAN, C.A. (1990) Interplant Communication: Airborne Methyl Jasmonate Induces Synthesis of Proteinase Inhibitors in Plant Leaves, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87, 7713-7716
- FELLE, H., PETERS, W., PALME, K. (1991) The electrical response of maize to auxins, *Biochim. Biophys. Acta*, 1064, 199-204
- FISCHER, C. (1995) Zur Wirkungsvermittlung des Pflanzenhormons Auxin, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- FOGUEL, D., CHALOUB, R.M. (1993) Effects of the Alkaloid Gramine on the Light-Harvesting, Energy Transfer, and Growth of *Anabaena* sp. (PCC 7119), *Plant physiol.*, 101, 633-639
- FRITZSCHE, R., DECKER, H., LEHMANN, W., KARL, E., GEISLER, K. (1987) Resistenz von Kulturpflanzen gegen tierische Schaderreger, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- FRYDMAN, R.B., TOMARO, M.L., FRYDMAN, B. (1971) Pyrroloxigenases: biosynthesis of 2-Aminoacetophenon, *FEBS Lett.*, (17), 273-276
- FULEKI, T. (1972) Changes in the chemical composition of Concord grapes grown in Ontario during ripening in the 1970 season, *Can. J. Plant Sci.*, 52, 863-868
- GALSTON, A.W., KAUR-SAWHNEY, R., ALTABELLA, T., TIBURCIO, A.F. (1997) Plant polyamines in reproductive activity and response to abiotic stress, *Bot. Acta*, 110, 197-207
- GAYLE, K.G., CHEN, T., PHILIP, T. (1986) Quantitative Analysis of Lutein Esters in Marigold Flowers (*Tagetes erecta*) by High Performance Liquid Chromatography, *J. Food Sci.*, 51, 1093-1094
- GESSNER M., KÖHLER, H-J., NAGEL-DERR, A. (1999) Damit die Nase „sauber“ bleibt, *Das deutsche Weinmagazin*, 19, 12-17
- GESSNER, M., CHRISTOPH, N., SIMAT, T. (1998) Neue Erkenntnisse zur Bildung von Alterungsnoten in Wein. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 290-291
- GESSNER, M., KÖHLER, H.J., CHRISTOPH, N., BAUER-CHRISTOPH, C. (1996) Die Untypische Alterungsnote im Wein. Teil VII: Untersuchungen zur Bildung von o-Aminoacetophenon aus Produkten des Tryptophan-Stoffwechsels bei der alkoholischen Gärung, *Rebe & Wein*, 8, 251-255
- GILDENHUYS, P.T., SLAUGHTER, J.C. (1983) The metabolism of putrescine, spermidine and spermine by yeast in relation to the availability of magnesium, *J. Inst. Brew.*, 89, 333-340
- GOLDSMITH, M.H.M. (1977) The polar transport of auxin, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 28, 439-478
- GRISEBACH, H., EBEL, J. (1978) Phytoalexine, chemische Abwehrstoffe höherer Pflanzen?, *Angew. Chemie*, 90, 668-681
- GROB, K., BIEDERMANN, M. (1996) Vaporising systems for large volume injection or on-line transfer into gas chromatography: classification, critical remarks and suggestions, *J. Chromatogr.*, 750, 11-23
- GROSSE, W., RASCHE, A. (1987) Indoles from pecan nuts as interfering compounds on clinical chemical diagnosis and as a possible natural supply of 5-HTP. In: Bender, D.A., Joseph, M.H. *Progress in Tryptophan and Serotonin Research 1986*, Walter de Gruyter & Co., Berlin, New York, 317-320
- GROSSMANN, M.K., SCHNEIDER, I., HÜHN, T., REMIZE, F., DEQUIN, S. (2000) Effects of enhanced glycerol production on yeast activity and fermentation flavour, XXV. Congrès Mondial de la Vigne et du vin, Paris 19-23 Juin, 61-67
- GUNDLACH, H., MELLER, M.J., KUTCHAN, T.M., ZENK, M.H. (1992) Jasmonic acid is a signal transducer in elicitor-induced plant cell cultures, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89, 2389-2393
- HANSON, A.D., DITZ, K.M., SINGLETARY, G.W., LELAND, T.J. (1983) Gramine accumulation in leaves of barley grown und high temperatures stress, *Plant Physiol.*, 71, 896-904

- HARDELAND, R., BEHRMANN, G., FUHRBERG, B., POEGGELER, B., BURKHARDT, S., URIA, H., OBST, B. (1996) Evolutionary aspects of indolamines as radical scavengers. In: Filippini, G.A.; Costa, C.V.L.; Bertazzo, A. Recent Advances in Tryptophan Research, Plenum Press, New York, 279-284
- HASHIMOTO, T., SHICHIJO, C., YATSUHASHI, H. (1991) Ultraviolet action spectra for the induction and inhibition of anthocyanin synthesis in broom sorghum seedlings, *J. Photochem. Photobiol.*, 11, 353-363
- HEILMANN, H.D., LINGENS, F. (1968) Zur Regulation der Nicotinsäure-Biosynthese in *Saccharomyces cerevisiae*, *H-S. Z. Physiol. Chem.*, 349, 231-236
- HENSCHKE, P.A., JIRANEK, V. (1993) Yeasts - Metabolism of nitrogen compounds. In: Fleet, G.H. (ed.) Wine Microbiology and Biotechnology, Harwood Academic Publishers, Chur, 77-164
- HERTEL, R. (1983) Hormonbindung, in-vitro-Transport, Gewebesensitivität: Ihre mögliche Bedeutung für die Analyse der Auxinwirkung. In: Bangerth, F. (ed.) Regulation des Phytohormongehaltes, Hohenheimer Arbeiten 129, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 81-101
- HERTEL, R. (1994) A critical view on proposed hormone action: The example of auxin. In: Smith, C.J., Gallon, J., Chiatante, D., Zocchi, G. Biochemical Mechanisms Involved in Plant Growth Regulation, Clarendon Press, Oxford, 1-15
- HINMAN, R.L., LANG, J. (1965) Peroxidase-catalyzed oxidation of indole-3-acetic acid, *Biochemistry*, 4, 144-158
- HINREIMER, E., FILIPELLO, F., WEBB, A.D., BERG, H.W. (1995) Evaluation of thresholds and minimum difference concentrations for various constituents of wines, I. Ethyl alcohol, glycerol and acidity in aqueous solution, *Food Technol.*, 9, 351-353
- HOCK, R., BENDA, T., SCHREIER, P. (1984) Formation of Terpenes by yeasts during Alcoholic Fermentation, *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 179, 450-452
- HOENICKE, K., CHRISTOPH, N., SCHWAB, A., SIMAT, T.J., STEINHART, H. (2000) The untypical aging off-flavor (UTA) in wine - formation and possible preventions, *Czech J. Food Sci.*, 18, 52-54
- HOENICKE, K., SIMAT, T.J., STEINHART, H., GESSNER, M., KÖHLER, H.J., SCHWAB, A., CHRISTOPH, N. (2001) Indolessigsäure in Mosten und Weinen - Bedeutung hinsichtlich der Ausbildung einer „Untypischen Alterungsnote“ (UTA) in Wein. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 113-123
- HONEYFIELD, D.C., CARLSON, J.R. (1990) Effect of indoleacetic acid and related indoles on *Lactobacillus* sp. Strain 11201 growth, indoleacetic acid catabolism and 3-methylindole formation, *Appl. Environ. Microb.*, 56, 1373-1377
- HORNG, A.J., YANG, S.F. (1975) Aerobic oxidation of indole-3-acetic acid with bisulfite, *Phytochemistry*, 14, 1425-1428
- HOUTMAN, A.C., DU PLESSIS, C. (1981) The effect of juice clarity and several conditions promoting yeast growth on fermentation rate, the production of aroma components and wine quality, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 2, 71-81
- HOUTMAN, A.C., DU PLESSIS, C. (1986) Nutritional deficiencies of clarified white grape juices and their correction in relation to fermentation, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 7, 39-46
- HOUTMAN, A.C., MARAIS, J., DU PLESSIS, C. (1980a) The possibilities of applying present-day knowledge of wine aroma components: Influence of several juice factors on fermentation rate and ester production during fermentation, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 1(1), 27-33
- HOUTMAN, A.C., MARAIS, J., DU PLESSIS, C. (1980b) Factors affecting the reproducibility of fermentation of grape juice and of the aroma composition of wines I. Grape maturity, sugar, inoculum concentration, aeration, juice turbidity, ergosterol, *Vitis*, 19, 37-54
- HUETHER, G., SCHUFF-WERNER, P. (1996) Platelet serotonin acts as a locally releasable antioxidant. In: Filippini, G.A.; Costa, C.V.L.; Bertazzo, A. Recent Advances in Tryptophan Research, Plenum Press, New York, 299-306
- HÜHN, T. (1992) Untersuchung spezifischer Aromastoffe an Kreuzungspartnern interspezifischer Rebsorten, Diplomarbeit Justus-Liebig-Universität Giessen
- HÜHN, T., CUPERUS, S., PFLIEHINGER, M., LANZ, S., SPONHOLZ, W.R., BERNATH, K., PATZWAHLE, W., GROSSMANN, M.K., AMADÒ, R., GALLI, J., FRIEDMANN, A. (2003) Influence de l'environnement et des effets de substrat sur les substances déterminant la valeur du moût et du vin, *Revue des Œnologues*, 109, 41-45

- HÜHN, T., CUPERUS, S., PFLIEHINGER, M., SPONHOLZ, W.R., BERNATH, K., PATZW AHL, W., GROSSMANN, M.K., AMADO, R., GALLI, J., FRIEDMANN, A. (2002) Einfluss von Umwelt- und Substrateffekten auf die Bildung von wertbestimmenden Weininhaltsstoffen, Internationale Vereinigung für Oenologie, Betriebsführung und Weinmarketing e.V., 13. Internationales Oenologisches Symposium, 313-328
- HÜHN, T., GROßMANN, M. (1997) Die alkoholische Gärung: Stress für die Hefen, Der Deutsche Weinbau, 18, 24-28
- HÜHN, T., MUNO, H., HERMES, M., WITTE, L., WIEDERKEHR, M., GROSSMANN, M.K. (1998) Variabilität von Hefestämmen: Einfluss von Temperatur, Nährstoffversorgung und Prozesstechnik auf die Bildung von Gäraromen. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 163-174
- HÜHN, T., SPONHOLZ, W.R., BERNATH, K., FRIEDMANN, A., HESS, G., MUNO, H., FROMM, W. (1999b) The influence of high-energy short-wave radiation and other environmental factors on the genesis of compounds affecting the wine quality in *Vitis Vinifera* L., c.v. *Müller-Thurgau*, Vitic. Enol. Sci., 54, 101-104
- HÜHN, T., SPONHOLZ, W.R., BOTTERO, S., KALLINIKIDOU, E. (1996) Inheritance of Aroma Compounds in Interspecific Crossings of *Vitis*, Cool Climate Symposium Viticulture and Oenology - Proceedings, VI, 107-122
- HÜHN, T., SPONHOLZ, W.R., GROSSMANN, M.K. (1999c) Freisetzung unerwünschter Aromastoffe aus Pflanzenhormonen bei der alkoholischen Gärung, Vitic. Enol. Sci., 54, 105-113
- HÜHN, T., SPONHOLZ, W.R., PULVER, D. (1999a) Mikroorganismen bei der Weinbereitung, Mitteilungen für Wissenschaft und Technik, CDR3, Leica, Wetzlar, 42-88
- HÜHN, T., DÖRR, W., HAMATSCHKE, J., BERNATH, K., PFLIEHINGER, M., BÖHM, M. (2001) The influence of various process parameters and juice extraction technologies on the composition of ingredients which determine the value of red wines in thermovinification. 26TH World Congress of the Office International de la Vigne et du Vin, Adelaide, 65-75
- HÜNNECKE, B., STEINBERG, B., WEBER, M., KÜRBEL, H., RAUHUT, D., LÖHNERTZ, O., SCHULTZ, H.R. (2001) Einfluss einer Blattdüngung auf die Gärung und die Bildung von Weininhaltsstoffen und Fehleraromen. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 60-66
- HURRELL, R.F., FINOT, P.-A. (1987) Losses of tryptophan during food processing. In: Bender, D.A., Joseph, M.H. Progress in Tryptophan and Serotonin Research 1986, Walter de Gruyter & Co., Berlin, New York, 165-170
- HUTZINGER, O., HEACOCK, R.A., MAC NEIL, J.D., FREI, R.W. (1972) Indoles and auxins, XIII. Identification and analysis of naturally occurring indoles via electron donor-acceptor complexes, J. Chromatogr., 68, 173
- ITAI, C. (1999) Role of phytohormones in plant responses to stresses. In: Lerner, H.R. Plant Responses to Environmental Stresses, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, 287-301
- JAKOB, L. (1989) Reifung und Alterung. In: Würdig, G., Woller, R. (Hrsg.) Chemie des Weines, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 381-385
- JANSEN, M.A.K., GABA, V., GREENBERG, M. (1998) Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation, Trends Plant Sci., 3, 131-135
- JIRANEK, V., LANGRIDGE, P., HENSCHKE, P.A. (1995) Amino acid and ammonium utilization by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeasts from a chemically defined medium, Am. J. Enol. Viticult., 46, 75-83
- JUHAZS, O. (1983) Relationship between N-nutrient supply of grapevines and arginine content of the must, Kerteszeti Egyetem, Budapest, Hungary, 47, 43-58
- KÄMPFER, U. (2002) Methode und Untersuchungsbefund Gramin, Departement für Chemie und Biochemie, Universität Bern, persönliche Mitteilungen
- KIENINGER, H. (1983) Mälzungsversuche mit 3-Indolyl-Essigsäure, Brauwissenschaft, 9, 352-355
- KIENINGER, H., BLOHM, H. (1983) Über die Wirkung von 3-Indolyl-Essigsäure bei der Herstellung von Malz, Proceedings of the 19th Congress, European Brewery Convention, London, 409-416
- KILLIAN, E., OUGH, C.S. (1979) Fermentation esters – formation and retention as affected by fermentation temperature, Am. J. Enol. Viticult., 30, 301-305
- KINDL, H. (1994) Biochemie der Pflanzen, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin
- KIRBERGER, E., BRAUN, L. (1961) Über das Vorkommen von 5-Hydroxytryptamin in der Walnuss (*Juglans regia*), Biochim. Biophys. Acta, 49, 391-393

- KLIEWER, W.M. (1969) Free amino acids and other nitrogenous substances of table grape varieties, *J. Food Sci.*, 34, 274-278
- KLIEWER, W.M. (1968) Changes in the concentration of free amino acids in grape berries during maturation, *Am. J. Enol. Viticult.*, 19, 166-174
- KLIEWER, W.M. (1978) Arginine can tell vine's nitrogen needs, *Wines & Vines*, 59(3), 32-34
- KOCH, J. (1986) *Getränkebeurteilung*, Ulmer, Stuttgart
- KÖGL, F., HAAGEN-SMIT, J., ERXLEBEN, H. (1934) Über ein neues Auxin (Heteroauxin) aus Harn, *Z. Physiol. Chemie*, 228, 90-103
- KÖHLER, H.J., CHRISTOPH, N., GESSNER, M., BAUER-CHRISTOPH, C. (1995) Die „Untypische Alterungsnote im Wein“, III: Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der „Untypischen Alterungsnote“ und dem Reifestadium der Trauben (Lesetermin), *Rebe & Wein*, 12, 424-430
- KÖHLER, H., CHRISTOPH, N., BAUER-CHRISTOPH, C., GESSNER, M., CURSCHMANN, K. (1996) Die „Untypische Alterungsnote“ im Wein, V: Einfluss kellerwirtschaftlicher Massnahmen auf die Ausprägung der UTA, *Rebe & Wein*, 7, 213-218
- LARCHER, W. (1987) Stress bei Pflanzen, *Naturwissenschaften*, 74, 158-167
- LEA, J.P., IRELAND, R.J. (1999) Nitrogen metabolism in higher plants. In: Singh, B.K. (ed.) *Plant Amino Acids*, Marcel Dekker Inc., New York, 1-45
- LEA, P.J., BLACKWELL, R.D. (1992) The Role of amino acid metabolism in photosynthesis. In: Singh, B.K., Flores, H.E., Shannon, J.C. *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*, American Society of Plant Physiologists, 98-109
- LEBET, V., SCHNEIDER, H., ARRIGONI, E., AMADÒ, R. (1994) Kritische Beurteilung der Proteinbestimmung nach der Methode von Kjeldahl aufgrund der Aminosäureanalyse, *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.*, 85, 45-58
- LEE H.S., NAGY, S. (1987) High performance liquid chromatography of 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone in pineapple and grapefruit juices, *J. Food Sci.*, 52, 163-165
- LEMPERLE, E., LAY, H. (1984) Kupfergehalt auf Weintrauben in Traubenmost und in Wein nach Anwendung kupferhaltiger *Peronospora*-Fungizide, 2. Mitt. Ergebnisse aus den Jahren 1982 und 1983, *Weinwirtschaft Technik*, 129, 221-224
- LETTAU, H. (1980) *Chemie der Heterocyclen*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- LEVIN, A. (1999) Oxidative stress as a regulator of environmental responses in plants. In: Lerner, H.R. *Plant Responses to Environmental Stresses*, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, 247-264
- LEVITT, J. (1980) *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Vol. I., Academic Press, New York
- LIBBERT, E. (1987) *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie*, 4. Auflage, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
- LIBBERT, E., SILHENGST, P. (1970) Interactions between Plants and Epiphytic Bacteria regarding their Auxin Metabolism, VIII. Transfer of ¹⁴C-Indoleacetic Acid from Epiphytic Bacteria to Corn Coleoptiles, *Physiol. Plantarum*, 23, 480-487
- LINSENMEIER, A. (2002) Methode und Untersuchungsbefund Indol-3-essigsäure, Fachgebiet Bodenkunde und Pflanzenernährung, Forschungsanstalt Geisenheim, persönliche Mitteilungen
- LÖHNERTZ, O. (1988) Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis Vinifera* (c.v. Riesling), Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen
- LÖHNERTZ, O. (1996) UTA und Rebenernährung, *Stress mach alt*, *Das Deutsche Weinmagazin*, 18, 18-23
- LÖHNERTZ, O. (1998) Einfluss von Stresssituationen auf die Trauben- und Weinqualität, *Obstbau/Weinbau*, 11, 342-344
- LÖHNERTZ, O., RAUHUT, D., SHEFFORD, P.G., POUR NIKFARDJAM, M., LOOS, U. (2000) Einfluss verschiedener Antioxidantien auf die Vergärung von Traubenmost und die Weinqualität, XXXV. Vortragstagung der DGQ, Funktionelle Inhaltsstoffe pflanzlicher Lebensmittel, 139-144
- LÖHNERTZ, O., SCHULTZ, H.R., HÜNNECKE, B., LINSENMEIER, A. (2002) Weinbauliche Massnahmen zur Vermeidung von UTA, *Internationale Vereinigung für Oenologie, Betriebsführung und Weinmarketing e.V.*, 13. Internationales Oenologisches Symposium, 215-228
- LONGSTETH, J., DE GRUIJL, F.R., KRIPKE, M.L., ABSECK, S., ARNOLD, F., SLAPER, H.I., VELDERS, G., TAKIZAWA, Y., VAN DER LEUN, J.C. (1998) Health risks, *J. Photochem. Photobiol. B*, 46, 20-39

- LOROS, J., TAIZ, L. (1982) Auxin increases the water permeability of *Rhoeo* and *Allium* epidermal cells, *Plant Sci. Letts.*, 26, 93-102
- LÖSCH, R. (2001) *Wasserhaushalt der Pflanzen*, Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim
- LUCKNER, M. (1969) *Der Sekundärstoffwechsel in Pflanze und Tier*, Gustav Fischer Verlag, Jena
- LUDWIG-MÜLLER, J., HILGENBERG, W. (1988) A plasma membrane-bound enzyme oxidizes L-tryptophan to indole-3-acetaldoxime, *Physiol. Plant*, 74, 240-250
- MACAULAY, L.E., MORRIS, J.R. (1993) Influence of Cluster Exposure and Winemaking Processes on Monoterpenes and Quality of Golden Muscat, *Vitic. Enol. Sci.*, 48, 190-193
- MAGER, W.H., VARELA, J.C.S. (1993) Osmostress response of the yeast *Saccharomyces*, *Mol. Microbiol.*, 10, 253-258
- MANN, S. (1967a) Besonderheiten im Tryptophanstoffwechsel von *Pseudomonas aeruginosa*, *Arch. Hyg. Bakteriol*, 151, 474-491
- MANN, S. (1967b) Chinazolinderivate bei *Pseudomonaden*, *Arch. für Mikrobiol.*, 56, 324-329
- MARAIS, J. (1983) Terpenes in the aroma of grapes and wines: A Review, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 4, 49-58
- MARAIS, J. (1986) A reproducible capillary gas chromatographic technique for the determination of specific terpenes in grape juice and wine, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 7, 21-25
- MARAIS, J. (1992) 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalene (TDN): A possible degradation product of lutein and beta-carotene, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13, 52-55
- MARAIS, J., VAN WYK, C.J. (1986) Effect of grape maturity and juice treatments on terpene concentrations and wine quality of *Vitis vinifera* L. cv. *Weisser Riesling* and *Bukettraube*, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 7, 26-35
- MARAIS, J., VAN WYK, C.J., RAPP, A. (1991) Carotenoid levels in maturing grapes as affected by climatic regions, sunlight und shade, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 12, 64-69
- MARAIS, J., VAN WYK, C.J., RAPP, A. (1992a) Effect of sunlight and shade on norisoprenoid levels in maturing *Weisser Riesling* and *Chenin blanc* grapes and *Weisser Riesling* wines, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13, 23-32
- MARAIS, J., VAN WYK, C.-J., RAPP, A. (1992c) Effect of storage time, temperature and region on the levels of 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalene and other Volatiles and on Quality of *Weisser Riesling* Wines, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13, 33-44
- MARAIS, J., VERSINI, G., VAN WYK, C.J., RAPP, A. (1992b) Effect of region on free and bound monoterpene and C₁₃-norisoprenoid concentrations in *Weisser Riesling* wines, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13(2), 71-77
- MARTEN, I., LOHSE, G., HEDRICH, R. (1991) Plant growth hormones control voltage-dependent activity of anion channels in the plasma membrane of guard cells, *Nature*, 353, 758-762
- MATHEIS, G. (1992) Biogenese von Weinaroma; dragoco Bericht für Geschmackstoffe verarbeitende Industrien, 2, 72-89
- MATSUO, H., TANIGUCHI, K., HIRAMOTO, T., YAMADA, T., ICHINOSE, Y., TOYODA, K., TAKEDA, K., SHIRAIISHI, T. (2001) Gramine increase associated with rapid and transient systemic resistance in barley seedlings induced by mechanical and biological Stresses, *Plant Cell Physiol.*, 42, 1103-1111
- MENGEL, K. (1991) *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*, Gustav Fischer Verlag, Jena
- MILLER, J., RICE-EVANS, C., DAVIES, J., GOPINATHAN, V., MILNER, A. (1993) A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates, *Clin. Sci.*, 84, 407-412
- MOHR, H., SCHOPFER, P. (1992) *Pflanzenphysiologie*, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin
- MOORE, T.C. (1979) *Biochemistry and Physiology of Plant Hormones*, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin
- MOSANDL, A., BRUCHE, G., ASKARI, C., SCHMARR, H.G. (1990) Stereoisomeric flavor compounds, *J. High Res. Chromatog.*, 13, 660-662
- MÜLLERS, V. (1996) *Alterungsverhalten von Rieslingweinen*, Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden
- N.N. (1995) *Methoden der enzymatischen Bioanalytik und Lebensmittelanalytik*, Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim

- NELSON, R.R., ACREE, T.E., LEE, C.Y., BUTTS, R.M. (1977) Methyl-anthranilate as an aroma constituent of American wine, *J. Food Sci.*, 42, 57-59
- NOBLE, A.C., ARNOLD, R.A., MASUDA, B.M., PECORE, S.D., SCHMIDT, J.O., STERN, P. (1984) Progress towards a standardized system of wine aroma terminology, *Am. J. Enol. Viticult.*, 35, 107-109
- NONHEBEL, H.M., COONEY, T.P., SIMPSON, R. (1993) The Root, Control and Compartmentation of Auxin Synthesis, *Aust. J. Plant Physiol.*, 20, 527-539
- NORMANLY, J., SLOVIN, J.P., COHEN, J.D. (1995) Rethinking auxin biosynthesis and metabolism, *Plant Physiology*, 107, 323-329
- NYKÄNEN, L., NYKÄNEN, I. (1977) Production of esters by different yeast strains in sugar fermentations, *J. Inst. Brew.*, 83, 30-31
- NYKÄNEN, L., SUOMALAINEN, H. (1983) *Handbuch der Aromaforschung: Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverages*, Akademie-Verlag, Berlin
- OHLOFF, G. (1978) Recent developments in the field of naturally-occurring aroma components, *Fortschritte d. Chem. Org. Naturst.*, 35, 431-527
- OHLOFF, G. (1981) Bifunctional unit concept in flavour chemistry in Schreier, P. (ed.) *Flavour*, Proc. 3rd Woehrmann Symp., Munich, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 757-777
- OUGH, C.S., BELL, A.A. (1980) Effects of Nitrogen fertilization on grapevines, on amino acids metabolism and higher alcohol formation during grape juice fermentation, *Am. J. Enol. Viticult.*, 31, 122-123
- OUGH, C.S., DAUDT, C.E. (1981) Quantitative determination of volatile amines in grapes and wines: I. Effect of fermentation and storage temperature on Amine concentrations, *Am. J. Enol. Viticult.*, 32, 185-188
- PALAMAND, S.R., GRIGSBY, J.H. (1974) Stale flavors in beer: Identification of o-aminoacetophenon and ethyl nicotinoate in beer, *The Brewers Dig.*, 49, 58-59
- PALEG, L.G. (1960) Physiological Effects of Gibberellic Acid: II. On Starch hydrolysing enzymes of barley endosperm, *Plant Physiology*, 35, 902-906
- PARKKINEN, E. (1980) Multiple forms of carboxylesterases in baker's yeast, *Cellular and Molecular Biology*, 26, 147-154
- PARKS, O.W., SCHWARTZ, D.P., KEENEY, M. (1964) Identification of o-aminoacetophenone as a Flavour Compound in Stale Dry Milk, *Nature*, 202, 185-187
- PFLIEHINGER, M. (2002) Umwelt- und Substrateinflüsse auf die Bildung wertbestimmender Inhaltsstoffe bei Wein, Diplomarbeit, Justus-Liebig-Universität Giessen
- POLITI, V., D'ALESSIO, S., DI STAZIO, G., DE LUCA, G. (1996) Antioxidant properties of indole-3-pyruvic acid. In: Filippini, G.A.; Costa, C.V.L.; Bertazzo, A. *Recent Advances in Tryptophan Research*, Plenum Press, New York, 291-298
- POLLE, A. (1997) Defense against photooxidative damage in plants. In: Scandalios, J.G. *Oxidative Stress and the Molecular Biology of Antioxidant defenses*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 623-666
- POLLOCK, J.A.R. (1981) *Brewing Science vol. 2*, Academic Press, London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, 491-549
- POUR NIKFARDJAM, M., SECKLER, J., CHRISTMANN, M., PATZ, C.-D., DIETRICH, H., KÖHLER, H.J., SCHMITT, A. (2001) Einfluss der Verarbeitungstechnik und Stabilisierung auf die phenolischen Inhaltsstoffe des Weines. *Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa*, Stuttgart, 164-179
- POWER, F.B., CHESNUT, V.K. (1923) Examination of authentic grape juices for methyl anthranilate, *J. Agric. Res.*, 23, 47-53
- PRIOR, B. (1997) Einfluss der Stickstoffversorgung auf die löslichen Aminosäuren in den Organen von *Vitis vinifera* L. (c.v. Riesling) und auf die Qualität des Mostes und des Weines, Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen
- RAPP, A. (1989a) Stickstoffverbindungen. In: Würdig, G., Woller, R. (Hrsg.) *Chemie des Weines*, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 76-94
- RAPP, A. (1989b) Aromastoffe. In: Würdig, G., Woller, R. (Hrsg.) *Chemie des Weines*, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 584-615
- RAPP, A. VERSINI, G. (1995) Fehleroma: Die untypische Alterungsnote, *Der Deutsche Weinbau*, 18, 18-21

- RAPP, A., ENGEL, L. (1995) Nachweis und Bestimmung von „Furaneol“ (2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3-furanon) in Weinen von *Vitis vinifera*-Sorten, *Vitis*, 34, 71-72
- RAPP, A., FRANCK, H. (1971) Über die Bildung von Ethanol und einigen Aromastoffen bei Modellgärversuchen in Abhängigkeit von der Aminosäurenkonzentration, *Vitis*, 9, 299-311
- RAPP, A., GÜNTERT, M., ULLEMEYER, H. (1985) Über Veränderungen der Aromastoffe während der Flaschenlagerung von Weissweinen der Rebsorte *Riesling*, *Z. Lebensm. Unters. For.*, 180, 109-116
- RAPP, A., HASTRICH, H. (1976) Gaschromatographische Untersuchungen über die Aromastoffe von Weinbeeren: II. Möglichkeiten der Sortencharakterisierung, *Vitis*, 15, 183-192
- RAPP, A., HASTRICH, H., ENGEL, L. (1976) Gaschromatographische Untersuchungen über die Aromastoffe von Weinbeeren: I. Anreicherung und kapillarchromatographische Auftrennung, *Vitis*, 15, 29-36
- RAPP, A., KNIPSER, W. (1979) 3,7-Dimethyl-okta-1,7-dien-3,7-diol - eine neue terpenoide Verbindung des Trauben- und Weinaromas, *Vitis*, 18, 229-233
- RAPP, A., KNIPSER, W., ENGEL, L., ULLEMEYER, H., HEIMANN, W. (1980) Fremdkomponenten im Aroma von Trauben und Weinen interspezifischer Rebsorten :I. Die Erdbeernote, *Vitis*, 19, 13-23
- RAPP, A., MANDERY, H. (1986) Wine aroma, *Experientia*, 42, 873-884
- RAPP, A., MANDERY, H., NIEBERGALL, H. (1986) Neue Monoterpendiole in Traubenmost und Wein sowie in Kulturen von *Botrytis cinerea*, *Vitis*, 25, 79-84
- RAPP, A., MANDERY, H., ULLEMEYER, H. (1983) 3,7-Dimethyl-1,7-octandiol - eine neue Terpen-Komponente des Trauben- und Weinaromas, *Vitis*, 22, 225-230
- RAPP, A., MANDERY, H., ULLEMEYER, H. (1984) Neue Monoterpendiole in Traubenmosten und Weinen und ihre Bedeutung für die Genese einiger cyclischer Monoterpenäther, *Vitis*, 23, 84-92
- RAPP, A., REUTHER, K. H. (1971) Der Gehalt an freien Aminosäuren in Traubenmosten von gesunden und edelfaulen Beeren verschiedener Rebstorten, *Vitis*, 10, 51-58
- RAPP, A., RINGLAGE, S. (1989) Vergleichende gaschromatographische Untersuchungen über die Aromastoffzusammensetzung der Weine verschiedener *Vitis vinifera*- und pilzresistenter Rebsorten, *Vitis*, 28, 21-29
- RAPP, A., VERSINI, G. (1996a) Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wine, *Vitic. Enol. Sci.*, 51, 193-203
- RAPP, A., VERSINI, G. (1996b) Vergleichende Untersuchungen zum Gehalt von Methylantranilate („Foxton“) in Weinen von neueren pilzresistenten Rebsorten und *Vitis vinifera*-Sorten, *Vitis*, 35, 215-216
- RAPP, A., VERSINI, G. (1998) Fremde und unerwünschte Aromastoffe des Weines: Die untypische Alterungsnote. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 270-289
- RAPP, A., VERSINI, G. (2001) Einfluss von Standortfaktoren auf Charakteristische Aromakomponenten des Weines. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 85-97
- RAPP, A., VERSINI, G. (2002) Vorkommen, Herkunft und Möglichkeiten für eine Verminderung der untypischen Alterungsnote (UTA) bei Wein – ein Überblick, Internationale Vereinigung für Oenologie, Betriebsführung und Weinmarketing e.V., 13. Internationales Oenologisches Symposium, 285-310
- RAPP, A., VERSINI, G., ENGEL, L. (1995) Nachweis und Bestimmung von 2-Aminoacetophenon in vergorenen Modelllösungen, *Vitis*, 34, 193-194
- RAPP, A., VERSINI, G., ULLEMEYER, H. (1993) 2-Aminoacetophenon: Verursachende Komponente der „Untypischen Alterungsnote“ („Naphthalinton“, „Hybridton“) bei Wein, *Vitis*, 32, 61-62
- RAPP, A., YAVAS, I., HASTRICH, H. (1994) Einfache und schnelle Anreicherung von Aromastoffen des Weines und deren quantitative Bestimmung mittels Kapillargaschromatographie, *Deut. Lebensm.-Rundsch.*, 6, 171-174
- RAUHUT, D. (1996) Qualitätsmindernde Schwefelhaltige Stoffe im Wein – Vorkommen, Bildung, Beseitigung, Geisenheimer Berichte, Dissertation Justus-Liebig-Universität Giessen
- RAUHUT, D., KÜRBEL, H. (2002) Böckserbildung und/oder untypischer Alterungston: eine mögliche Differenzierung, Internationale Vereinigung für Oenologie, Betriebsführung und Weinmarketing e.V., 13. Internationales Oenologisches Symposium, 371-383
- RAUHUT, D., KÜRBEL, H., GROSSMANN, M.K. (1996) Hefeernährung und Weinqualität, *Das deutsche Weinmagazin*, 18, 24-31

- RAUHUT, D., LÖHNERTZ, O. (1995) Durchschnittlicher Aminosäurebedarf von *Saccharomyces cerevisiae*, Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Mikrobiologie, Fachgebiet Bodenkunde und Pflanzenernährung, unveröffentlichte Darstellung
- RAUHUT, D., SHEFFORD, P.G., POUR NIKFARDJAM, M., KÜRBEL, H., LOOS, U., LÖHNERTZ, O. (2001) Einfluss verschiedener Antioxidantien auf die Gärung und die Entstehung von Fehlparfümen, Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 209-217
- RECHNER, A., PATZ, C.D., DIETRICH, H. (1997) Beitrag zur Bewertung der antioxidativen Kapazität verschiedener Getränke, Flüssiges Obst, 64, 62-65
- REINECKE, D. (1990) The oxindole 3-acetic acid pathway in *Zea mays*. In: Pharis, R.P., Rood, S.B. (eds.) Plant Growth Substances 1988, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 367-373
- REYNOLDS, A.G., FULEKI, T., EVANS, W.D. (1982) Inheritance of methyl-anthranilate and total volatile esters in *Vitis* spp., Am. J. Enol. Viticult., 33, 14-19
- RHODES, D., SHARP, R.E., VERSLUES, P.E. (1999) Role of amino acids in abiotic stress resistance. In: Singh, B.K. (ed.) Plant Amino Acids, Marcel Dekker Inc., New York, 1-45
- RIBÉREAU-GAYON, J., PEYNAUD, E., SUDRAUD, P., RIBÉREAU-GAYON, P. (1982) Traité d'œnologie, Sciences et techniques du vin, Band I. Analyse et contrôle des vins, Dunod, Paris
- RIBÉREAU-GAYON, P., DUBOURDIEU, D., DONÈCHE, B., LONVAUD, A. (2000a) Handbook of Enology Volume 1, The Microbiology of Wine and Vinifications, John Wiley & Sons Ltd., Chichester
- RIBÉREAU-GAYON, P., GLORIES, Y., MAUJEAN, A., DUBOURDIEU, D. (2000b) Handbook of Enology Volume 2, The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments, John Wiley & Sons Ltd., Chichester
- RIEDEL, M., SEITERS, P. (1999) Einfluss von Bodenpflege und Stickstoffversorgung auf Ertrag und Qualität, Der Badische Winzer, 24, 34-37
- RIGAUD, J., CHEYNIER, V., SOUQUET, J.M., MOUTOUNET, M. (1990) Mécanismes d'oxydation des polyphénols dans les mouts blancs, Rev. Fr. Oenol., 124, 27-31
- ROBINSON, W.B., SHAULIS, N.J., PEDERSON, C.S. (1949) Ripening studies of grapes grown for juice manufacture, Fruit Prod. J., 29, 36-37
- ROUSTAN, J.-P., HENRY, M., FALLOT, J. (1988) Influence de l'auxine sur l'activité de l'arginine décarboxylase de suspensions cellulaires cultivées in vitro, C. R. Acad. Sci. Paris, Série 3, Science de la Vie, 307, 781-784
- RÜEGSEGGER, A. (1996) UV-B-Strahlung. In: Brunold, Ch., Rügsegger, A., Brändle, R. (Hrsg.) Stress bei Pflanzen, Verlag Paul Haupt, Bern, 103-117
- SALMENKALLIO, M., HANNUS, R., TEERI, T.H., KAUPPINEN, V. (1990) Regulation of α -amylase promoter by gibberellic acid and abscisic acid in barley protoplasts transformed by electroporation, Plant Cell Rep., 9, 352-355
- SCHEEL, D., PARKER, J.E. (1990) Elicitor recognition and signal transduction in plant defense gene activation, Z. Naturforsch., 45c, 569-575
- SCHERMERS, F.H., DUFFUS, J.H., MAC LEOD, A.M. (1976) Studies on yeast esterase, J. Inst. Brew., 82, 170-174
- SCHINDLER, T., BERGFELD, R., HOHL, M., SCHOPFER, P. (1994) Inhibition of golgi-apparatus function by brefeldin A in maize coleoptiles and its consequences on auxin-mediated growth, cell-wall extensibility and secretion of cell-wall proteins, Planta, 192, 404-413
- SCHOTT, H.H., STAUDINGER, H. (1971) The regulatory function of L-kynurenine-3-hydroxylase (EC 1.14.1.2) for the biosynthesis of pyridine nucleotides in anaerobically and aerobically grown *Saccharomyces cerevisiae*, H-S. Z. Physiol. Chem., 352, 1654-1658
- SCHRUFF, G. (1984) Moderne Strategien des Pflanzenschutzes - Phytoalexine, Elicitoren, Phytoncide und induzierte Resistenzen, Deutsches Weinbau Jahrbuch, Waldkircher Verlagsgesellschaft, 35, 135-143
- SCHULTZ, H.R., DEIBEL, M., LÖHNERTZ, O., BETTNER, W., VARADI, G., VERSINI, G. (2001) Is current level UV-B radiation influencing wine aroma components? Results from 5-years of field experiments. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, Intervitis-Interfructa, Stuttgart, 76-84
- SCHULTZ, H.R. (1998) Entblätterung der Traubenzone – keine Mussmassnahme, Das Deutsche Weinmagazin, 19, 21-26
- SCHULTZ, H.R., LÖHNERTZ, O. (1998) Is grape composition affected by current levels of UV-B radiation?, *Vitis*, 37, 191-192

- SCHWAB, A., PETERNEL, M. (2001) Reifes Lesegut – Schlüssel zur UTA-Vermeidung, *Der Badische Winzer*, 10, 21-25
- SCHWAB, A., PETERNEL, M., KÖHLER, J., HEIGEL, K.-P. (1996) Die Untypische Alterungsnote im Wein, IV: Beeinflussung durch weinbauliche Massnahmen, *Rebe & Wein*, 6, 181-187
- SHIMIZU, J., UEHARA, M., WATANABE, M. (1982) Transformation of terpenoids in grape must by *Botrytis cinerea*, *Agr. Biol. Chem. Tokyo*, 46, 1339-1344
- SHURE, K., ACREE, T.E. (1994) Changes in the odor-active compounds in *Vitis labruscana* c.v. *Concord* during growth and development, *J. Agr. Food Chem.*, 42, 350-353
- SIMPSON, R.F. (1978) 1,1,6-Trimethyl-1,2 Tetrahydronaphthalene, an important contribution to the bottle aged bouquet of wine, *Chem. Ind.*, 1, 37
- SIMPSON, R.F. (1979) Aroma composition of bottle aged white wine, *Vitis*, 18, 148-154
- SIMPSON, R.F., MILLER, G.C. (1983) Aroma composition of aged *Riesling* wine, *Vitis*, 22, 51-63
- SINGLETON, V.L. (1995) Maturation of wines and spirits: Comparisons, facts, and hypotheses, *Am. J. Enol. Viticult.*, 46, 98-113
- SINGLETON, V.L., SALGURS, J., ZAYA, J., TROUSDALE, E. (1985) Caftaric acid disappearance and conversion to products of enzymatic oxidation in grape must and wine, *Am. J. Enol. Viticult.*, 36, 50-56
- SINGLETON, V.L., ZAYA, J., TROUSDALE, E., SALGUES, M. (1984) Caftaric acid in grapes and conversion to a reaction product during processing, *Vitis*, 23, 113-120
- SLOVIN, J.P., BANDURSKI, R.S., COHEN, J.D. (1999) Auxin. In: Hooykaas, P.J.J., Hall, M.A., Libbenga, K.R. (eds.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plant Hormones*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 115-140
- SMITH, T.A. (1985) Polyamines, *Ann. Rev. Plant. Physio.*, 36, 117-143
- SNEDDEN, W.A., FROMM, H. (1999) Regulation of the γ -aminobutyrate-synthesizing enzyme, glutamate decarboxylase, by calcium-calmodulin: A mechanism for rapid activation in response to stress. In: Lerner, H.R. *Plant Responses to Environmental Stresses*, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, 549-574
- SPONHOLZ, W.R. (1991) Nitrogen compounds in grapes, musts and wine. In: Rantz, J.M. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Seattle-Washington, The American Society for Enology and Viticulture, 67-77
- SPONHOLZ, W.R., HOFFMANN, A., DAVID, F., SANDRA, P. (2001b) Detection of corkiness in wine by analysis of 2,4,6-trichloranisol with stir bar sorptive extraction (SBSE) and Thermal Desorption GC/MS, *Mitt. Klosterneuburg*, 51, 248-253
- SPONHOLZ, W.R., HÜHN, T., ENGELMANN, A., SIBEN, A. (1997) Mögliche Einflüsse weinbaulicher Parameter auf die Ausbildung des „Untypischen Alterungstons“ bei Rieslingweinen, *Vitic. Enol. Sci.*, 52, 41-50
- SPONHOLZ, W.R., HÜHN, T., GROSSMANN, M.K. (2001a) Einfluss von Umwelt- und Substrateffekten auf die Bildung von wertbestimmenden Inhaltsstoffen. Innovationen in der Kellerwirtschaft, Tagungsband, *Intervitis-Interfructa*, Stuttgart, 98-112
- SPONHOLZ, W.R. (1992) Die β -Glucosidaseaktivität von Hefen der Gattung *Saccharomyces cerevisiae* und ihr Einfluss auf das Aroma und die Farbe von Wein, *Lallemand Symposium „Sensory Contribution of Yeasts to Wine“*, Weissenkirchen/Wachau, 21-24
- SPONHOLZ, W.R. (1999) Messung des hefeverwertbaren Stickstoffs mit einem enzymatischen Test, *24TH World Congress of the Office International de la Vigne et du Vin*, Mainz, 1, 60-61
- SPONHOLZ, W.R., DITTRICH, H.H. (1974) Die Bildung von SO₂-bindenden Gärungsnebenprodukten, höheren Alkoholen und Estern bei einigen Reinzuchthefestämmen und bei einigen für die Weinbereitung wichtigen „wildem“ Hefen, *Vitic. Enol. Sci.*, 29, 301-314
- SPONHOLZ, W.R., HÜHN, T. (1997) Einflussfaktoren von Klonenmaterial und verwendetem Hefestamm auf die Alterung von *Riesling* Weinen, *Vitic. Enol. Sci.*, 52, 103-108
- SPONHOLZ, W.R., HÜHN, T. (2001) Was sie schon immer über UTA...., *Der Deutsche Weinbau*, 10, 82-87
- STEWART, G.R., LAHRER, F. (1980) Accumulation of amino acids and related compounds in relation to environmental stress. In: Mifflin, B.J. (ed.) *The Biochemistry of Plants*, Volume 5, Amino Acids and Derivates, Academic Press, New York, 609-635

- STILLWELL, W., WASSALL, S.R. (1993) Binding of IAA and ABA to phospholipid bilayers, *Phytochemistry*, 34, 367-373
- STRAUSS, C.R., WILSON, B., ANDERSON, R., WILLIAMS, P.J. (1987) Development of precursors of C₁₃ norisoprenoid flavorants in *Riesling* grapes, *Am. J. Enol. Viticult.*, 38, 23-27
- STRAUSS, C.R., WILSON, B., GOOLEY, P.R., WILLIAMS, P.J. (1986) Role of monoterpenes in grape and wine flavor. In: Parliment, T.H. and Croteau, R.(eds.) *Biogenesis of Aromas*, ACS Symposium Series 317, American Chemical Society, Washington, DC, 222-242
- SUOMALAINEN, H. (1980) Yeast esterases and aroma esters, *Biochemistry Group of European Brewery Convention (EBC)*, London, Abstracts, 18
- SUOMALAINEN, H. (1981) Yeast esterases and aroma esters in alcoholic beverages, *J. Inst. Brew.*, 87, 296-300
- TAN, D.-X., CHEN, L.-D., POEGGELER, B., MANCHESTER, L.C., REITER, R.J. (1993) Melatonin: a potent, endogenous hydroxyl radical scavenger, *Endocr. J.*, 1-57
- TANNER, H., BRUNNER, H.R. (1987) *Getränkanalytik*, 2. Heller Chemie- und Verwaltungsgesellschaft mbH
- TEVINI, M. (1996) Erhöhte UV-B-Strahlung: Ein Risiko für Nutzpflanzen?, *Biologie in unserer Zeit*, 26, 245-245
- THIMANN, K.V., SWEENEY, B.M. (1937) The effect of auxins upon protoplasmic streaming, *J. gen. Physiol.*, 21, 123-135
- THURSTON, P.A., QUAIN, D.E., TUBB, R.S. (1982) Lipid metabolism and the regulation of volatile ester synthesis in *Saccharomyces cerevisiae*, *J. Inst. Brew.*, 88, 90-94
- THURSTON, P.A., TAYLOR, R., AHVENAINEN, J. (1981) Effects of linoleic acid supplements on the synthesis by yeast of lipids and acetate esters, *J. Inst. Brew.*, 87, 92-95
- TUOMI, T., LAAKSO, S., ROSENQVIST, H. (1995) Plant hormones in fungi and bacteria from malting barley, *J. Inst. Brew.*, 101, 351-357
- UDENFRIED, S., LOVENBERG, W., SJOERDSMA, A. (1959) Physiologically active amines in common fruits and vegetables, *Arch. Biochem. Biophys.*, 85, 487-490
- UMEZAWA, C., KISHI, T. (1989) Vitamin metabolism. In: Rose, A.H., Harrison, J.S. *The Yeasts*, Volume 3, *Metabolism and Physiology of yeasts*, Second Edition, Academic Press, New York, 457-482
- VALLEJOS, F., ROVERI, O.A. (1972) Alkaloid inhibition of yeast respiration: prevention by Ca²⁺, *Biochem. Pharmacol.*, 21, 3179-3182
- VAN DIJKEN, J., SCHEFFERS, W.A. (1986) Redox balances in the metabolism of sugars by yeasts, *FEMS Microbiol. Rev.*, 32, 199-224
- VERMA, D.P.S., HU, C.-A.A., DELAUNY, A.J., MIAO, G.-H., HONG, Z. (1992) Deciphering proline biosynthesis pathways in plants by direct, trans-, and co-complementation in bacteria. In: Singh, B.K., Flores, H.E., Shannon, J.C. *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*, American Society of Plant Physiologists, 128-137
- VERSINI, G., RAPP, A., MARAIS, J., MATTIVI, F., SPRAU, M. (1996) A new 1,1,6-trimethyl-1,2-dihydronaphthalene (TDN) precursor isolated from *Riesling* grape products: Partial structure elucidation and possible reaction mechanism, *Vitis*, 35, 15-21
- WENT, F.W. (1928) Wuchsstoff und Wachstum, *Rec. Des Trav. Bot. Neerland*, 25, 1-116
- WENZEL, K. (1989) Die Selektion einer Hefemutante zur Verminderung der Farbstoffverluste während der Rotweingärung, *Vitis*, 28, 112-120
- WILLIAMS, P.S., SEFTON, M.A., MARIONS, V.A. (1992) Hydrolytic flavour release from non-volatile precursors in fruits, wines and some other plantderived foods, 3rd international Haarman & Reimer symposium, Weinheim, VCH Publishers, 283-290
- WILSON, B., STRAUSS, C.R., WILLIAMS, P.J. (1986) The distribution of free and glycosidically-bound monoterpenes among skin, juice and pulp fractions of some white grape varieties, *Am. J. Enol. Viticult.*, 37(2), 107-111
- WINTERHALTER, P. (1992) Oxygenated C₁₃-Norisoprenoids: Important Flavor Precursors: Thermal and Enzymatic Conversion, ACS Symposium Series American Chemical Society, Washington DC, 98

- WÖHLER, I. (1990) Auxin-Indole-3-Acetic Acid: Formation, Distribution, Effects, Biochemistry, and Methods of Detection in Microorganisms, Plants and Soils, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, München, GSF-Bericht 4
- WOHLFARTH, P. (1995) Untypische Alterungsnote: Erfahrungen aus den vergangenen drei Jahren, *Der Badische Winzer*, 8, 383-388
- WOLTERS, B., EILERT, U. (1983) Elicitoren – Auslöser der Akkumulation von Pflanzenstoffen, *Deutsche Apotheker Zeitung*, 123, 659-667
- WRIGHT, A.D., SAMPSON, M.B., NEUFFER, M.G., MICHALCZUK, L., SLOVIN, J.P., COHEN, J.D. (1991) Indole-3-acetic acid biosynthesis in the mutant maize orange pericard, a tryptophan auxotroph, *Science*, 254, 998-1000
- YANG, S.F., SALEH, M.A. (1973) Destruction of indole-3-acetic acid during the aerobic oxidation of sulfite, *Phytochemistry*, 12, 1463-1466
- YOSHIOKA, K. (1983) Alcohol-acetyltransferase and ester formation by brewers yeast, 3. Int. Mycol. Congr., Tokyo, Japan, Abstr. 359
- ZEEVART, J.A.D. (1999) Abscisic acid metabolism and its regulation. In: Hooykaas, P.J.J., Hall, M.A., Libbenga, K.R. (eds.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plant Hormones*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 189-207
- ZIEGLER, E. (1982) *Die natürlichen und künstlichen Aromen*, Hüthig Verlag, Heidelberg

Abkürzungen

A Horizont	0-20 cm Bodentiefe
a. D.	Aussendurchmesser
AAP	2-Aminoacetophenon
ALA	Alanin
AMH	Reinhefepräparat Assmannshausen
ARG	Arginin
ASN	Asparagin
ASP	Asparaginsäure
B Horizont	20-40 cm Bodentiefe
C Horizont	40-60 cm Bodentiefe
CAY	Reinhefepräparat Ay
CEG	Reinhefepräparat Epernay 2
cl	Kritische Konzentration
EDTA	Ethylenediamine-tetra-acetic acid
FAN	Free α -amino-nitrogen
FAP	Formylaminoacetophenon
Ferm-N-Wert	Index zur Bewertung des Gehaltes an hefeverwertbaren Stickstoffverbindungen
G33	Reinhefepräparat Geisenheim 33
G49	Reinhefepräparat Geisenheim 49
G74	Reinhefepräparat Geisenheim 74
GABA	Gamma-amino-buttersäure
GC-MS	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
GLN	Glutamin
GLU	Glutaminsäure
GLY	Glycin
Gm	Geisenheim
GOGAT	Glutamin-Oxo-Glutarat-Aminotransferase
GS	Glutaminsynthetase
HIS	Histidin
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
HVS	Reinhefepräparat Hautvillers
i. D.	Innendurchmesser
IAA	Indol-3-essigsäure
ILE	Isoleucin
JAS	Jasmonsäure
Ke	Fachgebiet Kellerwirtschaft, Forschungsanstalt Geisenheim
Kl.	Klon

LEU	Leucin
LYS	Lysin
m.ü.M.	Höhe in Meter über Meeresspiegel
MET	Methionin
mo	Mikroorganismus
NAP	Naphthalin
nd	nicht detektiert
nlmu	Nährstofflimitierter Most
Nmin	Mineralisierter Stickstoff
nn	nicht nachweisbar
N-Sink	Stickstoffaufnahmephase während des Weichwerdens der Beeren
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
ORN	Ornithin
PAS	Phytoalexinsynthese
PAX	Phytoalexin
pc	Pflanzenzelle
PHE	Phenylalanin
PRO	Prolin
PVPP	Polyvinylpolypyrrolidon
Rubisco	Ribulosebisphosphat-Carboxylase
Rz	Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung, Forschungsanstalt Geisenheim
S.c.	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
SER	Serin
SH3	Reinhefepräparat Siha 3
SHG	Reinhefepräparat Schartzhofberg
SMb	Hefestammsammlung Fachgebiet Mikrobiologie und Biochemie, Forschungsanstalt Geisenheim
STG	Reinhefepräparat Steinberg
TDN	1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin
TEAC	Trolox-Equivalent-Antioxidative-Capacity
THR	Threonin
TRY	Tryptophan
TYR	Tyrosin
UTA	Untypischer Alterungston
UV	Ultravioletter Spektralbereich
UV-A	Ultravioletter Spetralbereich (>320-400 nm)
UV-B	Ultravioletter Spetralbereich (>280-320 nm)
VAL	Valin

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Niederschläge und Bodenfeuchtigkeit während N-Sink 2, Wachenheim-Pfalz, 1988 (Sponholz et al., 1997)	6
Abb. 2: Niederschläge und Bodenfeuchtigkeit während N-Sink 2, Wachenheim-Pfalz, 1991 (Sponholz et al., 1997)	6
Abb. 3: Bodenfeuchte während N-Sink 2 und sensorische UTA-Neigung der Weine, Geisenheim-Rheingau, 1981-1991 (Sponholz et al., 1997)	7
Abb. 4: Ferm-N-Wert und Ammoniumgehalt bei offenen und begrüntem Parzellen, Geisenheim-Rheingau (Sponholz et al., 2001a)	9
Abb. 5: Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungs- und N-Düngungsmassnahmen auf den Ferm-N-Wert und die 2-Aminoacetophenonkonzentration, Freiburg-Baden, 1996-1998 (Sponholz et al., 2001a nach Riedel und Seiters, 1999)	11
Abb. 6: Bildungswege fehltonrelevanter Substanzen aus Indol-3-essigsäure (Rapp und Versini, 2002; Christoph et al., 1998; Belitz et al., 2001)	18
Abb. 7: Bildungswege von Indol-3-essigsäure aus Tryptophan (Bandurski und Schulze, 1977; Ludwig-Müller und Hilgenberg, 1988; Wöhler, 1990; Nonhebel et al., 1993)	19
Abb. 8: Durchschnittlicher Aminosäurebedarf von <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Rauhut und Löhnertz, 1995)	26
Abb. 9: Ferm-N-Wert und hefeverwertbarer Aminosäurestickstoffgehalt verschiedener Rebsorten, Freiburg-Baden (Sponholz et al., 2001a nach Amman, 1999)	27
Abb. 10: Ferm-N-Wert und Ammoniumgehalt in Abhängigkeit des Extraktions- und Pressverfahrens, Trier-Mosel (Sponholz et al., 2001a)	28
Abb. 11: Hefeferwertbarer Stickstoff (Ferm-N-Wert) und Gärdauer, Ihringen-Baden (Sponholz et al., 2001a nach Seiters und Riedel, 1999)	29
Abb. 12: Einfluss von Mosten verschiedener Rebsorten (A: <i>Riesling</i> , B: <i>Niagara</i> , C: Gm 7815-1) auf die Synthese von 2-Aminoacetophenon bei der alkoholischen Gärung durch unterschiedliche Hefen (Hühn et al., 1996)	53
Abb. 13: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> Kl. 64 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)	59
Abb. 14: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> Kl. 110 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)	59
Abb. 15: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> Kl. 198 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)	60

	Seite
Abb. 16: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen und sensorische Bewertung von Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> Kl. 239 von 1980 bis 1992 (Sponholz und Hühn, 1997)	60
Abb. 17: Schwankungsbreite der 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen durch verschiedene Hefen bei Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> (n = 27) (Sponholz und Hühn, 1997)	62
Abb. 18: Schwankungsbreite der 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydro-naphthalin (TDN) Konzentrationen durch verschiedene Kellereien (2) und Einfluss einer Mostpasteurisation bei Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> (n = 27) (Sponholz und Hühn, 1997)	63
Abb. 19: Schwankungsbreite der sensorischen Beurteilung durch verschiedene Hefen bei Weinen der Rebsorte <i>Riesling</i> (n = 27) (Sponholz und Hühn, 1997)	64
Abb. 20: Profile wertbestimmender Substanzen beeinflusst durch <i>Saccharomyces cerevisiae</i> -Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen: Essigsäure-ethylester, 2- und 3-Methylbutanol (Hühn et al., 1998)	65
Abb. 21: Profile wertbestimmender Substanzen beeinflusst durch <i>Saccharomyces cerevisiae</i> -Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen: Essigsäure-2-phenylethylester, 2-Phenylethanol (Hühn et al., 1998)	67
Abb. 22: Profile wertbestimmender Substanzen beeinflusst durch <i>Saccharomyces cerevisiae</i> -Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen: Octansäure, Octansäureethylester (Hühn et al., 1998)	68
Abb. 23: Chromatogramme von Aromasubstanzen verschiedener Hefen (A: Champagne-Ay, B: -Epernay, C: -Hautvillers) nach alkoholischer Vergärung eines Mostmediums bei 20°C (Hühn et al., 1998)	70
Abb. 24: Interner Glycerin- und Restzucker Gehalt im Medium ausgewählter <i>Saccharomyces cerevisiae</i> -Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen (A: Most 15°C, B: Most 20°C, C: ASII 20°C)	72
Abb. 25: Externer Glyceringehalt im Medium ausgewählter <i>Saccharomyces cerevisiae</i> -Stämme unter verschiedenen Kulturbedingungen	73
Abb. 26: Konzentrationen von 2-Aminoacetophenon, Skatol und Indol bei überwiegendem Schutz der Triebzone (1997) mittels UV-Folie und der Traubenzzone mittels UV-Absorber (1998) (Hühn et al., 1999b)	76
Abb. 27: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den 2-Aminoacetophenon-Gehalt der Weine (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)	77
Abb. 28: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe auf den Gehalt an hefeferwertbaren Aminosäuren (FAN) im Most (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)	79
Abb. 29: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe auf den Gehalt an freiem Arginin (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)	82

	Seite
Abb. 30: Durchschnittlicher Verbrauch bzw. Bildung/Freisetzung von gesamten Aminosäuren während der Gärung bei gestressten und ungestressten Varianten (Cuperus, 2002)	83
Abb. 31: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Argininsupplementierung des Mostes auf den Gehalt an höheren Alkoholen als Summe von Propanol(1), Isobutanol, 2- und 3-Methylbutanol der Weine (Mittelwerte mit Abweichungen der 2 Wiederholungen) (Cuperus, 2002)	84
Abb. 32: Absorptionsspektren von Gramin, Indolacetonitril, Indolpyruvat, Tryptophan (A); Indol-3-essigsäure, Indol-3-essigsäurealanin, Indol-3-essigsäure-aspartat (B), Melatonin, Serotonin, 5-Hydroxyindolessigsäure, 5-Hydroxy-tryptophan (C) im UV-Bereich (Pflieginger, 2002)	95
Abb. 33: Absorptionsänderung einer Tryptophanlösung nach UV-Bestrahlung (Pflieginger, 2002)	96
Abb. 34: Absorptionsänderung einer Graminlösung nach UV-Bestrahlung (Pflieginger, 2002)	97
Abb. 35: Absorptionsänderung einer Indol-3-essigsäurelösung nach UV-Bestrahlung (Pflieginger, 2002)	97
Abb. 36: Absorptionsänderung einer Indolpyruvatlösung nach UV-Bestrahlung (Pflieginger, 2002)	98
Abb. 37: Oxidation von Indol-3-essigsäure in der Pflanze (Slovin et al., 1999)	101
Abb. 38: Bildung von 2-Aminoacetophenon aus N-3-(2-Formylamino)-phenyloxopropionsäure (Rapp und Versini, 2002)	102
Abb. 39: Reaktion von Indol-3-pyruvat mit Sauerstoffradikalen (Politi et al., 1996)	102
Abb. 40: Bildung von Indol und Skatol aus Indolpyruvat (Rapp und Versini, 2002)	103
Abb. 41: Absorptionsspektren einer Indolpyruvatlösung (A) und einer Indolpyruvat-/Catechinlösung (B) vor und nach Zusatz einer Polyphenoloxidase (Pflieginger, 2002)	105
Abb. 42: Absorptionsspektren von Traubensaft mit und ohne Zusatz von Indolpyruvat vor und nach Oxidation mit einer Polyphenoloxidase (Pflieginger, 2002)	106
Abb. 43: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines Mostmediums mit Indol-3-essigsäure (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Kloeckera apiculata</i> , <i>Metschnikowia pulcherrima</i>) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO ₂ -Zusatz (Hühn et al., 1999c)	107
Abb. 44: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines Mostmediums mit Indol-3-essigsäureethylester (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Kloeckera apiculata</i> , <i>Metschnikowia pulcherrima</i>) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO ₂ -Zusatz (Hühn et al., 1999c)	108

	Seite
Abb. 45: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäure (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Kloeckera apiculata</i> , <i>Metschnikowia pulcherrima</i>) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO ₂ -Zusatz (Hühn et al., 1999c)	109
Abb. 46: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureethylester (0,1; 1; 100 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Kloeckera apiculata</i> , <i>Metschnikowia pulcherrima</i>) und Lagerung (20°C, 6 Monate) unter SO ₂ -Zusatz (Hühn et al., 1999c)	109
Abb. 47: Einfluss von SO ₂ und Ascorbinsäure auf die Bildung/Freisetzung von unerwünschten Aromastoffen bei der Lagerung (2 Monate) von Lösungen unter Zusatz von IAA und Mangan (Pfliehringer, 2002)	112
Abb. 48: Bildung von Ascorbigen aus Indol-3-methanol (Luckner, 1969)	112
Abb. 49: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines Traubenmostes mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>) (Pfliehringer, 2002)	114
Abb. 50: 2-Aminoacetophenon-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>) (Pfliehringer, 2002)	115
Abb. 51: Essigsäureethylester-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,1; 0,2; 0,4 mg/l) und Gramin (10; 20; 40 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>) (Pfliehringer, 2002)	117
Abb. 52: 2-Phenylethanol-Konzentrationen nach Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) mit Indol-3-essigsäureaspartat (0,1; 0,2; 0,4 mg/l) und Gramin (10; 20; 40 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>) (Pfliehringer, 2002)	118
Abb. 53: Verbrauch von Aminosäuren bei der alkoholischen Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) durch <i>Saccharomyces cerevisiae</i> unter Zusatz verschiedener Substanzen (Indol-3-essigsäureaspartat, Indol-3-essigsäure, Gramin) (Pfliehringer, 2002)	119
Abb. 54: Verbrauch von Aminosäuren bei der alkoholischen Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) durch <i>Saccharomyces cerevisiae</i> unter Zusatz unterschiedlicher Mengen (0,1; 10; 100 mg/l) an Gramin (Pfliehringer, 2002)	120

	Seite
Abb. 55: Konjugierte Formen der Indol-3-essigsäure (Dörffling, 1982)	123
Abb. 56: Entstehung von Gramin aus Tryptophan (Hanson et al., 1983)	124
Abb. 57: Entstehung von Kynurenin aus Tryptophan (El-Sewedy, 2000)	125
Abb. 58: Entstehung von Serotonin und Melatonin aus Tryptophan (Luckner, 1969)	127
Abb. 59: Indol-3-essigsäuredynamik und 2-Aminoacetophenonkonzentration bei Vergärung eines Traubenmostes (A: Traubenmost, B: Traubenmost + 0,1 mg/l Jasmonsäure)	129
Abb. 60: Indol-3-essigsäuredynamik und 2-Aminoacetophenonkonzentration bei Vergärung eines synthetischen Mediums (A: ASII, B: ASII + 0,1 mg/l Jasmonsäure, C: ASII + 0,1 mg/l Jasmonsäure + 0,1 mg/l/d O ₂)	130
Abb. 61: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - <i>Stoffwechsel-Aktivatoren</i> (Hühn et al., 1999c)	136
Abb. 62: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - <i>Stoffwechsel-Stressoren</i> (Hühn et al., 1999c)	137
Abb. 63: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - <i>Stoffwechsel-Modifikatoren</i> (Hühn et al., 1999c)	138
Abb. 64: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell - <i>Stoffwechsel-Reaktoren</i> (Hühn et al., 1999c)	139
Abb. 65: Reiz-Organismus-Reaktionsmodell (Hühn et al., 1999c)	140
Abb. 66: Bildungsmechanismus des Elicitors Jasmonsäure in der Pflanze. mo: Mikroorganismus (Schimmelpilz), pc: Pflanzenzelle, IAA: Indol-3- essigsäure, PAS: Phytoalexinsynthese, PAX: Phytoalexin, JAS: Jasmonsäure (Hühn et al., 2003)	141
Abb. 67: Wirkung von Jasmonsäure bei der alkoholischen Gärung von nährstofflimitierten Mosten. nlm: nährstofflimitierter Most, mo: Mikroorganismus (Hefe), cl: Kritische Konzentration, JAS: Jasmonsäure, IAA: Indol-3-essigsäure, AAP: 2-Aminoacetophenon (Hühn et al., 2003)	142

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Zusätze von Aminosäuren zur Aminosäurelösung II (ASII nach Rauhut, 1996)	37
Tab. 2: Versuchsplan Feldversuch 5	40
Tab. 3: Synthese von Furaneol, Mesifuran, Anthranilsäuremethylester und Anthranilsäureethylester durch alkoholische Vergärung von Most der Rebsorte <i>Riesling</i> mit und ohne Thiaminzusatz mit unterschiedlichen Hefen (Hühn et al., 1996)	54
Tab. 4: Synthese von Furaneol, Mesifuran, Anthranilsäuremethylester und Anthranilsäureethylester durch alkoholische Vergärung von Most der Rebsorte <i>Niagara</i> mit und ohne Thiaminzusatz mit unterschiedlichen Hefen (Hühn et al., 1996)	55
Tab. 5: Synthese von Furaneol, Mesifuran, Anthranilsäuremethylester und Anthranilsäureethylester durch alkoholische Vergärung von Most der Rebsorte Gm 7815-1 mit und ohne Thiaminzusatz mit unterschiedlichen Hefen (Hühn et al., 1996)	55
Tab. 6: Konzentrationen ausgewählter Terpene und Fettsäureethylester (Hühn et al., 1999b)	74
Tab. 7: Konzentrationen verschiedener ausgewählter Substanzen (Hühn et al., 1999b)	75
Tab. 8: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Skatol- und Indol-Gehalt der Weine. Wiederholung 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholung 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	78
Tab. 9: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Gehalt an freien und gesamten Aminosäuren vor der Gärung. Wiederholung 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholung 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	81
Tab. 10: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Gehalt an Propanol(1), Isobutanol, 2- und 3-Methylbutanol, 2-Phenylethanol und Essigsäureethylester der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	85
Tab. 11: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Gehalt an Linalool, Geraniol, Rosenoxid, trans-Linalooloxid und α -Terpineol der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	88
Tab. 12: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Gehalt an C ₆ -, C ₈ - und C ₁₀ -säureethylester der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	90

	Seite
Tab. 13: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Gehalt an Hexanol, 2- und 3- Hexenol, Methionol, Essigsäure-2/3-methylbutylester und Hexansäure-ethylester der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	91
Tab. 14: Einfluss unterschiedlicher Behandlungen der Rebe und einer Arginin-supplementierung des Mostes auf den Gehalt an 4-Ethylphenol, Eugenol, Benzaldehyd und Benzylalkohol der Weine. Wiederholungen 1 und 2 gestresste Varianten, Wiederholungen 3 und 4 ungestresste Varianten (Cuperus, 2002)	93
Tab. 15: Bildung von Aromastoffen durch UV-Bestrahlung (Pflieginger, 2002)	99
Tab. 16: TEAC-Wert von Ascorbinsäure und von Substanzen aus dem Tryptophanstoffwechsel in synthetischer Weinlösung (Pflieginger, 2002)	100
Tab. 17: Bildung von Skatol und Indol aus Indol-3-essigsäureaspartat (0,4 mg/l) und Gramin (40 mg/l) durch verschiedene Hefen (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>) bei Testgärung mit A Traubenmost (<i>Müller-Thurgau</i>) und B synthetischem Medium (ASII) (Pflieginger, 2002)	116
Tab. 18: Bildung von fehltonrelevanten Substanzen aus verschiedenen Vorstufen/ durch auslösende Substanzen (Pflieginger, 2002)	122
Tab. 19: Konzentrationen an Gramin vor und nach der Vergärung eines synthetischen Mediums (ASII) (Pflieginger, 2002)	124

Tilo August Johann Hühn
Langwiesstrasse 561
CH-8824 Schönenberg

Lebenslauf

Geburtsdatum: 04. Oktober 1966

Geburtsort: Rüdesheim am Rhein

Familienstand: Verheiratet: Gisela Hühn (geb. Steinmetz)
Kinder: Ann-Kathrin *25.06.1998, Lea Sophie *27.05.2000

1972 - 1976 Grundschule Rüdesheim

1976 - 1982 Realschule St. Hildegardis, Rüdesheim

1982 - 1984 Berufsausbildung
Forschungsanstalt Geisenheim,
Institut für Rebenzüchtung und Rebenveredlung
Berufsbezeichnung: Winzer

1984 - 1985 Fachoberschule Geisenheim - Agrarwirtschaft

1985 - 1986 Grundwehrdienst

1986 - 1990 Fachhochschule Wiesbaden, Geisenheim,
Fachbereich Weinbau & Getränketechnologie
Studiengang: Weinbau und Oenologie
Akademischer Grad: Dipl. Ing. (FH)

1990 - 1992 Justus-Liebig-Universität, Giessen,
Fachbereich 17 Agrarwissenschaften;
Forschungsanstalt Geisenheim
Aufbaustudiengang Oenologie
Akademischer Grad: Diplom Oenologe

1992 - 1997 Laboringenieur
Fachhochschule Wiesbaden, Geisenheim,
Fachbereich Weinbau & Getränketechnologie
Arbeitsgebiete: Mikrobiologie und Oekonomie

1994 - Johann Wolfgang Goethe - Universität, Frankfurt am Main,
Fachbereich Biologie und Informatik;
Forschungsanstalt Geisenheim,
Fachgebiet Mikrobiologie und Biochemie
Doktorand

1995 - 1997 Wissenschaftler
Forschungsanstalt Geisenheim,
Fachgebiet Mikrobiologie und Biochemie
EU-Forschungsprojekt: „Engineering of yeast glycerol metabolism
towards optimised yield of fermentation end products and improved
tolerance to osmotic stress“

1997 - Dozent, Fachgebietsleiter
Zürcher Fachhochschule, Wädenswil,
Abteilung Lebensmitteltechnologie, Fachgebiet Getränketechnologie