

ÖNOLOGIE DER WEISSWEINE

**Optimierung von Haltbarkeit
und Aromastabilität**

VOM GLEICHEN AUTOR UND CO-AUTOREN

Red Wine Enology

Tannin and Redox Management in Red Wines

Board & Bench Publishing, San Francisco 2021



Acidity Management in Musts and Wines

Acidification, deacidification, crystal stabilization, and sensory consequences

- 2nd edition -

Board & Bench Publishing, San Francisco 2021



Cool-Climate White Wine Oenology

The Crowood Press, Ramsbury (UK) 2024

ÖNOLOGIE DER WEISSWEINE

**Optimierung von Haltbarkeit
und Aromastabilität**

Volker Schneider

Tredition, Ahrensburg

Impressum

Önologie der Weißweine

Copyright © 2025 Volker Schneider

Druck und Vertrieb im Auftrag des Autors:

tredition GmbH, Heinz-Beusen-Stieg 5, D-22926 Ahrensburg

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Ausgenommen davon sind kurze Zitate in kritischen Artikeln und Rezensionen.

Für den Inhalt ist der Autor verantwortlich. Veröffentlichung und Vertrieb erfolgen im Auftrag des Autors, der unter folgender Anschrift zu erreichen ist: tredition GmbH, Impressumservice, Heinz-Beusen-Stieg 5, 22926 Ahrensburg, Deutschland.

Kontaktadresse nach EU-Produktsicherheitsverordnung:
impressumservice@tredition.com

ISBN: 978-3-384-63021-6

Dieses Werk wurde ohne Zuhilfenahme künstlicher Intelligenz erstellt. Obwohl der Autor größte Sorgfalt auf die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Empfehlungen, Angaben und Daten verwendet hat, kann keine Garantie für deren Richtigkeit übernommen werden. Weder er noch der Verlag übernimmt die Haftung für Schäden und Unfälle, die sich aus ihrer Verwendung ergeben. Es liegt in der Verantwortung jedes Anwenders, die Angemessenheit einer bestimmten Empfehlung im Kontext der tatsächlichen technischen Gegebenheiten zu bewerten und zusätzliche Informationsquellen zu konsultieren, insbesondere bei neuen oder unbekannten Verfahren.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
1. Einführung	9
2. Typische und oxidative Alterung.....	13
2.1. Reaktionswege und sensorische Folgen	13
2.1.1. Nicht-oxidative Entstehung des Aromas typischer Alterung	13
2.1.2. Oxidative Entstehung des Aromas typischer Alterung.....	17
2.2. Einfluss der phenolischen Zusammensetzung.....	27
2.2.1. Oxidation der Phenole im Wein.....	27
2.2.2. Gesamtphenole und die Bedeutung flavonoider Phenole.....	32
2.2.3. Bestimmung flavonoider Phenole	49
2.3. Einfluss der Traubenverarbeitung	54
2.3.1. Maischzeit.....	54
2.3.2. Pressen.....	60
2.4. Einfluss der Mostverarbeitung	75
2.4.1. Effekte von schwefliger Säure und Sauerstoff im Most.....	75
2.4.2. Aktive Mostoxidation	88
2.4.3. Passive Mostoxidation	90
2.4.4. Chemische und analytische Folgen der Mostoxidation.....	97
2.4.5. Sensorische Effekte der Mostoxidation im Wein.....	98
2.4.6. Reduktive vs. oxidative Vinifikation in Kurzform.....	106
2.4.7. Minderung phenolischer Substanzen durch Schönung.....	108
2.4.8. Bedeutung, Schärfe und Beurteilung der Mostvorklärung	116
2.4.9. Mittel zur Vorklärung und Eiweißstabilisierung der Moste	126
2.5. Wirkung von Reduktionsmitteln in Wein.....	143
2.5.1. Wirkung von schwefliger Säure als Oxidationsschutz	143
2.5.2. Weine ohne zugesetzte schweflige Säure.....	160
2.5.3. Wirkung von Ascorbinsäure	162
2.5.4. Wirkung von Ellagttanninen	169
2.5.5. Wirkung schwefelhaltiger Aminosäuren und inaktiver Hefen	173
2.5.6. Sauerstoffzehrung durch postfermentative Hefe	182
2.5.7. Praktisches Arbeiten mit der Hefe nach der Gärung	192
2.5.8. Ausbau in Barriques – ein önologisch komplexer Sonderfall	197
2.6. Einfluss der Sauerstoffaufnahme nach der Gärung	202
2.6.1. Sauerstoffaufnahme durch Behältermaterialien	202
2.6.2. Sauerstoffaufnahme über die Weinoberfläche	206
2.6.3. Sauerstoffaufnahme durch Behandlungsmaßnahmen	214
2.6.4. Bedeutung und Maßnahmen schonender Weinbehandlung	217
2.6.5. Sensorische Folgen der Sauerstoffaufnahme in Weißweinen.....	226
2.6.6. Messung von gelöstem Sauerstoff	232
2.6.7. Sauerstoffaufnahme während und nach der Abfüllung	235
2.7. Einfluss der Lagertemperatur	251

3.	Reduktive Alterung	261
3.1.	Flüchtige Schwefelverbindungen als Alterungsnote	261
3.1.1.	Definitionen, Ursachen und wichtige Einzelsubstanzen	261
3.1.2.	Empyreumatische und mineralische Aromen.....	268
3.2.	Bedeutung und chemische Dynamik der Vorläuferstufen.....	273
3.2.1.	Bildung der Vorläuferstufen durch die Hefe.....	273
3.2.2.	Umwandlung von Vorläuferstufen in geruchsaktive Moleküle.....	275
3.3.	Identifizierung und Behandlung von Böcksern.....	285
3.3.1.	Identifizierung von Böcksern in der Praxis.....	285
3.3.2.	Beseitigung von Böcksern in der Praxis	287
3.3.3.	Die Rolle der Tiefbettfiltration nach der Kupferschönung.....	299
3.3.4.	Minderung überschüssigen Kupfers.....	301
3.4.	Wirkung von Kupferzusätzen vor der Abfüllung	304
3.4.1.	Beurteilung der Neigung zur reduktiven Alterung	304
3.4.2.	Kupfermanagement vor der Abfüllung	309
3.4.3.	Messung von Gesamtkupfer und freiem Kupfer	313
3.4.4.	Stabilität und Toxizität von Kupfer.....	317
3.5.	Einfluss der Verschlüsse auf die reduktive Alterung	322
3.5.1.	Bedeutung der Sauerstoffdurchlässigkeit von Verschlüssen.....	322
3.5.2.	Schraubverschlüsse mit Dichteinlagen unterschiedlicher OTR	327
3.5.3.	Böcker-abfängende Dichtscheiben für Schraubverschlüsse	332
3.5.4.	Reduktive Alterung von in Dosen abgefüllten Weinen.....	337
4.	Untypische Alterung (UTA)	341
4.1.	Sensorische und analytische Identifizierung	341
4.2.	Geringe Bedeutung mikrobiologischer Ursachen.....	346
4.3.	Chemische Entstehung von 2-Aminoacetophenon.....	347
4.4.	Weinbauliche Ursachen und Gegenmaßnahmen	351
4.5.	Önologische Maßnahmen gegen UTA	356
4.6.	Ermittlung des UTA-Potenzials: UTA-Test.....	362
5.	Petrolton	365
5.1.	Sensorische und analytische Identifizierung	365
5.2.	Weinbauliche Gegenmaßnahmen.....	369
5.3.	Önologische Gegenmaßnahmen.....	371
6.	Epilog	375
7.	Literatur	377
	Index	409

Vorwort

Dieses Buch ist speziell den Weißweinen gewidmet. Dennoch ist es kein weiteres der zahlreichen Bände zur Weinherstellung im Allgemeinen. Es geht vielmehr der konkreten Frage nach, warum manche Weine noch nach Jahren der Lagerung mit großem Trinkgenuss ins Glas gelangen, während andere bereits wenige Monate nach ihrer Abfüllung zusammengebrochen sind. Die Qualität des Leseguts erklärt vieles aber nicht alles, denn Weißweine sind sensible Produkte. Sie durchlaufen einen Prozess der Alterung, die man von Rotweinen in dieser Art nicht kennt. Ihr sensorisches Ergebnis ist oft diskutabel und selten überzeugend. Deshalb ist die Erhaltung der Qualität und die Optimierung der Aromastabilität der Weißweine eine der größten önologischen Herausforderungen weltweit.

Umfassende Abhandlungen zu dieser Thematik sind selten und in deutscher Sprache schlechthin fehlend. Das vorliegende Buch versucht, diese Lücke zu schließen. Es verschiebt den Schwerpunkt von der Erzeugung von Qualität zur Erhaltung dieser Qualität. Dabei kommen vielfältige önologische Faktoren ins Spiel. Sie entscheiden, wie schnell die Alterung von Weißweinen verläuft und wie sie sensorisch wahrgenommen wird.

Gemäß Definition steht Weinalterung in keinem Zusammenhang mit gängigen Weinfühlern mikrobiologischer Ursache, auch wenn diese erst einige Zeit nach der Gärung identifiziert werden. Sie beruht vielmehr auf rein chemischen Prozessen, von denen die allgemein bekannte Oxidation nur eine mögliche Variante ist. Deshalb erfordert jegliche Erörterung von Alterung zunächst eine Differenzierung zwischen den verschiedenen Arten von Alterung in Anlehnung an sensorische Kriterien, die Identifizierung der für sie verantwortlichen Moleküle sowie die Benennung der chemischen Reaktionen, die zu ihrem Entstehen führen. Aus diesem Grund ist die Sensorik ein Schwerpunkt dieses Buches.

In einem weiteren Schritt wird auf önologische Maßnahmen eingegangen, deren Durchführung oder Unterlassung die Alterungsreaktionen verlangsamen, unterbinden oder, im Gegenteil, sogar fördern. Solche Maßnahmen beginnen bereits während der Lese und Verarbeitung der Trauben und setzen sich während allen Phasen der Mostbehandlung, Weinlagerung und -stabilisierung, Abfüllung und Lagerung fort. Sie sind interdisziplinärer Natur und vereinigen Aspekte der Chemie, Technologie und Mikrobiologie. Sachfremde önologische Themen wie Gärführung oder Säuremanagement können in diesem Rahmen naturgemäß nicht berücksichtigt, aber im Rahmen des Notwendigen oder Sinnvollen angeschnitten werden.

Trotz zunehmenden Betriebsgrößen, schlagkräftigen Gerätschaften der Keller-technik und einem unüberschaubaren Angebot von Hilfs- und Zusatzstoffen kann und sollte die Weinbereitung mehr als nur den schematischen Einsatz verfügbarer Verfahrenstechnik beinhalten. Nach Jahrzehnten blinden Vertrauens in Technik, oftmals verbunden mit Qualitätsverlusten durch Überbehandlung als Konsequenz, folgt eine zunehmende Zahl von Weinmachern einem Trend hin zu Minimalbehandlung. Damit soll den Verbrauchererwartungen und Traditionen Rechnung getragen werden. Inzwischen haben neuere Untersuchungen gezeigt, dass einige traditionelle Methoden der Weinbereitung, obwohl empirisch entwickelt, durchaus ihre Berechtigung haben, auch und besonders unter dem Aspekt der Haltbarkeit. Entsprechende Beispiele wie die Belüftung von Most, der lange Kontakt mit der Hefe nach der Gärung und der Ausbau in Holz werden in diesem Zusammenhang ausführlich behandelt.

Die Entstehung dieses Buches hat eine lange Geschichte, denn sie musste auf eigene Untersuchungen, Erfahrungen und Daten aus einem halben Jahrhundert Berufserfahrung in verschiedenen Weinbauländern zurückgreifen. Versuchsdaten und praktische Erfahrungen sind gleichermaßen enthalten und ergänzen sich gegenseitig. Sie werden vervollständigt durch Erkenntnisse anderer Arbeitsgruppen aus der ganzen Welt, auf deren Publikationen in einem umfassenden und aktualisierten Literaturverzeichnis hingewiesen wird. Auf die chemischen Zusammenhänge wird im Rahmen des Notwendigen eingegangen, aber handwerkliche und verfahrenstechnische Aspekte werden besonders hervorgehoben.

Letztlich stellt dieses Buch eine außergewöhnliche Synthese von Wissenschaft und Praxis dar. Sie macht es zu einem Review- und Nachschlagewerk für leitendes Personal in der Weinindustrie, Berater und Dozenten ohne Erfahrung in der praktischen Weinbereitung, Studenten, Weinliebhaber mit naturwissenschaftlichem Hintergrund und nicht zuletzt lesewillige Winzer. Letzteren soll es als Anregung zu kritischer Reflektion dienen in einer Zeit, in der önologische Lehrmeinungen und Glaubenssätze im Wesentlichen durch die Zulieferer-industrie geprägt werden.

Der formale Aufbau dieses Bandes orientiert sich an den verschiedenen Erscheinungen von Qualitätsverlust durch Alterung, wie sie sensorisch durch Fachleute wahrgenommen werden. Um dem Leser die Orientierung zu erleichtern, wird jedes der mit einer zweistelligen Nummer versehenen Kapitel durch eine kurze Zusammenfassung seiner Inhalte eingeleitet. Zahlreiche Querverweise im Text erlauben ein zügiges Auffinden interessanterer Zusammenhänge und Teilespekte. Praktische Tipps helfen bei der Umsetzung im Keller.

1. Einführung

Der Marktwert fruchtiger Weißweine ist im deutschsprachigen Raum eng an ihr charakteristisches Sortenaroma gebunden. In dessen Erzeugung wird sehr viel Aufwand und önologisches Wissen investiert. Ungleich weniger Aufmerksamkeit wird seiner Erhaltung gewidmet. Ein typisches Beispiel ist der Einsatz oft extrem niedriger Gärtemperaturen zur Maximierung des Aromas, das in nicht wenigen Betrieben durch unkontrolliert hohe Temperaturen im Flaschenlager unbewusst zerstört wird. Eine rasche Alterung ist die Folge.

Weißweine sind sensible Produkte. Sie sind einer weit dynamischeren Alterung als Rotweine unterworfen. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle steht das sensorische Ergebnis dieser Alterung im Widerspruch zu den vorherrschenden Qualitätsvorstellungen; positiv gealterte Weißweine stellen seltene Ausnahmen dar. Die umfangreiche Forschung zu diesem Thema belegt die globale Bedeutung des Problems.

Grundsätzlich verändern sich alle Weine während der Lagerung. Ein gradueller Zerfall fruchtiger Aromenoten, besonders solcher aus dem Gärungsstoffwechsel der Hefe, ist allen Weinen zu eigen und unvermeidbar. Darüber hinaus entwickeln Weißweine in einer nachfolgenden Phase spezifische Alterungsnoten. Ihr Auftreten widerspricht den vom Erzeuger beabsichtigten sensorischen Eigenschaften und Qualitätsprofilen.

Um Aromastabilität, Mundgefühl und Haltbarkeit der Weißweine durch gezielte Maßnahmen zu optimieren, müssen verschiedene Arten von Alterung differenziert werden. Dies geschieht in Abhängigkeit von ihren sensorischen Ausdrucksformen und den chemischen Reaktionswegen ihrer Entstehung. Vor diesem Hintergrund ergibt sich in der sensorischen Beschreibung die Notwendigkeit des Gebrauchs sehr spezifischer Termini. Ihre präzise Anwendung ist eng an die sensorische Schulung und Erfahrung der Verkoster gebunden. Andernfalls redet man aneinander vorbei.

Eines der großen Probleme in der sensorischen Qualitätskontrolle besteht darin, dass sensorische Begriffe häufig falsch verwendet, missbraucht oder beliebig gegeneinander ausgetauscht werden. So gibt zum Beispiel der Begriff "oxidiert" keine Information darüber, ob der typische Geruch von freiem Acetaldehyd vorliegt, welcher nur in Abwesenheit von freier schwefliger Säure auftreten kann und im deutschsprachigen Branchenjargon als "Luftton" beschrieben wird, oder ob es sich um den Geruch anderer Oxidationsprodukte bei gleichzeitiger Anwesenheit freier schwefliger Säure handelt. Missverständnisse durch einen unpräzisen Sprachgebrauch führen zwangsläufig zu falschen Rückschlüssen und Fehlentscheidungen, wenn önologische Maßnahmen zur Vermeidung oder Behebung frühzeitig auftretender Alterungstöne getroffen werden sollen. Es handelt sich um ein semantisches Problem, das in allen Sprachen auftritt.

In Übereinstimmung mit den derzeitigen sensorischen Kriterien lassen sich fünf verschiedene Arten der Entwicklung gängiger Weißweine unterscheiden. Vier davon werden als spezifische Alterungstöne angesehen und im Rahmen der vorliegenden Abhandlung erörtert:

1. Eine allgemeine Minderung von Gäraromen, insbesondere von Acetaten höherer Alkohole aus dem Gärungsstoffwechsel der Hefen. Dieser Effekt ist während der ersten Wochen und Monate nach der alkoholischen Gärung besonders ausgeprägt und sensorisch leicht nachvollziehbar. Er betrifft alle Weine und gilt nicht als Alterung.
2. Die typische Alterung. Sie tritt in allen Weinen unabhängig von deren Sauerstoffexposition auf, wird aber durch die Aufnahme von Sauerstoff wesentlich beschleunigt. Ihr sensorisches Ergebnis wird mit dem deutschsprachigen Begriff der "Altersfirne" sehr präzise umschrieben. In anderen Sprachen stehen dazu nur die weniger spezifischen Termini wie "oxidiert" (engl. *oxidised*, fr. *oxydé*) oder "madeirisert" (engl. *maderised*, fr. *madérisé*) zur Verfügung. Der englischsprachige Begriff von "premox" kommt der deutschsprachigen Vorstellung von Altersfirne am weitesten entgegen, wenn diese in einem sehr frühen Stadium auftritt. Manchmal bezieht er sich auch auf einen gleichzeitig auftretenden Luftton. Der mitunter gebrauchte Begriff des "Firneböckers" gibt keine Auskunft darüber, ob es sich um einen Böckser (Reduktionsnote), eine Altersfirne oder um beides gleichzeitig handelt. Altersfirne manifestiert sich im Geruch durch Aromanoten von Heu, altem Stroh, Honig, Nüssen, gekochtem Gemüse, gekochten Kartoffeln, Pilzkonserven, schwarzem Tee und feuchter Gartenerde. Zusätzlich kann der an Apfelmus oder Sherry erinnernde Geruch von freiem Acetaldehyd

aufreten, nachdem die freie SO₂ durch Oxidation zum völligen Verschwinden gebracht wurde. Eine Zunahme der Adstringens am Gaumen sowie eine Intensivierung der Farbe können zusätzlich auftreten, müssen dies aber nicht.

3. Die untypische Alterung (UTA), welche auf die chemische Umwandlung eines Phytohormons namens Indol-3-Essigsäure in 2-Aminoacetophenon und weitere Nebenprodukte in Weinen aus gestresstem oder unreifem Lesegut zurückzuführen ist. In der Nase erinnern diese Verbindungen an Mottenkugeln, Seife, Bohnerwachs, Akazien- und Citronenblüten. Der UTA wird oft verwechselt mit einem sogenannten Stressaroma. Dieses zeichnet sich aus durch Noten von Fuselalkoholen, schmutziger Wäsche und feuchtem Putzlappen bei völliger Abwesenheit fruchtiger Aromaattribute direkt nach der Gärung. Insofern handelt es sich beim Stresston nicht um eine Alterungerscheinung, sondern um einen weinbaulich bedingten Qualitätsmangel schlechthin.
4. Der Lagerböckser, welcher erst nach der Filtration oder Abfüllung des Weins geruchlich in Erscheinung tritt. Er ist auf eine späte, rein chemische Bildung flüchtiger schwefelhaltiger Verbindungen zurückzuführen. Sie äußern sich in einem Geruch nach verbranntem Gummi, gekochtem Kohl, faulen Eiern, faulen Zwiebeln und Knoblauch. Ihre Entstehung wird wesentlich erleichtert, wenn Weine mit einer Veranlagung zu ihrer Bildung unter Verwendung von Flaschenverschlüssen sehr geringer Sauerstoffdurchlässigkeit abgefüllt werden.
5. Der Petrol- oder Kerosinton erinnert geruchlich an Benzin, Kerosin und manchmal auch an trockene Aprikosen. Seine Entstehung ist auf einen Zerfall traubenbürtiger Vorläuferstufen wie Carotinoide zurückzuführen. Dabei entsteht die für den Petrolton verantwortliche Substanz, die im Branchenjargon als TDN abgekürzt wird. Sie tritt überwiegend, aber nicht nur, in Weinen der Rebsorte Riesling auf.

Bei den Varianten 2-5 handelt es sich um spezifische Arten der Alterung. Davon ist die typische Alterung mit ihrem weithin bekannten sensorischen Bild die häufigste Form. Ihre Entstehung wird durch die Aufnahme und chemische Umsetzung von Sauerstoff erheblich beschleunigt. Demgegenüber werden die anderen Varianten von Alterung als untypische, fehlerhafte oder gar krankhafte Abweichungen von der normalen Entwicklung des Weins angesehen. Die besonders außerhalb des deutschen Sprachraums häufig anzutreffende Verwechslung von typischer und untypischer (UTA) Alterung führt zu seriösen önologischen Problemen mit weit reichenden Konsequenzen.

Grundsätzlich entwickelt jeder Weißwein die eine oder andere Form spezifischer Alterung. Die Frage ist nur, um welche Art von Alterung es sich handelt und wie schnell sie eintritt. Dabei können durchaus zwei Arten von Alterung gleichzeitig auftreten. Häufig beobachtete Kombinationen von Alterungstönen sind:

- typische Alterung + untypische Alterung
- typische Alterung + Petrolton
- untypische Alterung + Lagerböckser
- Petrolton + Lagerböckser

Die sensorische Identifizierung solcher Kombinationen stellt besondere Ansprüche an die Schulung der Verkoster. Teilweise können die sensorischen Eindrücke inzwischen dank Fortschritten in der Analytik abgesichert werden.

Nicht als Alterung angesehen werden Weinfehler, deren verantwortliche Moleküle bereits vor oder während der Gärung gebildet, im Jungweinstadium durch Gäraromen sensorisch maskiert und erst nach einer Phase der Reifung erstmalig wahrgenommen werden.

2. Typische und oxidative Alterung

2.1. Reaktionswege und sensorische Folgen

Zusammenfassung: Dieses Kapitel behandelt die für die typische Alterung verantwortlichen geruchsaktiven Weininhaltsstoffe, die durch sie hervorgerufenen Aromennoten, ihre geruchlosen Vorläuferstufen und die in ihrer Entstehung involvierten Reaktionsmechanismen. Es unterscheidet zwischen Reaktionsprodukten, die ohne Einwirkung von Sauerstoff gebildet werden und solchen, deren Bildung die Aufnahme von Sauerstoff erfordert. Zum Verständnis der Zusammenhänge ist ein kurzer Ausflug in die organische Chemie erforderlich. Sie ist verantwortlich für das, was wir riechen und schmecken. Fußnoten erleichtern das Verständnis für die meisten Leser, die mit der chemischen Terminologie weniger vertraut sind. Jene, die sofort zu den mehr praktischen Aspekten übergehen wollen, können ihre Lektüre mit Kapitel 2.2.2 beginnen und mit Kapitel 2.3 fortsetzen. Wenn jedoch zu viel Schulchemie in Vergessenheit geraten ist, empfiehlt sich eine Rückkehr zu diesem Beginn des Buches.

2.1.1. Nicht-oxidative Entstehung des Aromas typischer Alterung

Unter den gängigen Bedingungen der Weinbereitung nimmt der Wein Sauerstoff vor, während und nach der Abfüllung auf. Die aufgenommenen Mengen sind höchst unterschiedlich und werden in der Praxis fast nie gemessen.

In Bezug auf eine definierte Menge aufgenommenen Sauerstoffs führt die durch diese ausgelöste Oxidation in Weißwein zu anderen sensorischen Konsequenzen als in Rotweinen. Es ist allgemein bekannt, dass Rotweine eine gewisse Menge von Sauerstoff zu ihrer Reifung erfordern. Eine solche Sauerstoffaufnahme führt jedoch nur in seltenen Fällen zu einer besseren sensorischen Qualität von Weißweinen, bei deren Erzeugung die Ausarbeitung fruchtiger, floraler, vegetativer oder mineralischer Aromen als Ausdruck von Rebsorte oder Herkunft im Vordergrund steht.

Unter chemischen Gesichtspunkten ist die typische Alterung ein komplexer Prozess, der nicht nur durch Oxidation ausgelöst, wohl aber durch diese beschleunigt wird. Bevor im Detail gezeigt wird, wie die typische Alterung durch önologische Maßnahmen gemindert werden kann, ist ein Blick auf die verantwortlichen Reaktionswege und Endprodukte sinnvoll.

Reaktionen nicht-oxidativer Alterung in allen Weinen

In Abhängigkeit vom Einzelfall kann ein beträchtlicher Anteil der typischen Alterung durch die Aufnahme von Sauerstoff ausgelöst werden. Gleichzeitig laufen jedoch auch nicht-oxidative Reaktionen ab, die zu typischer Alterung führen. Sie treten in jedem Wein unabhängig von seiner Sauerstoffaufnahme auf. Ihre Bedeutung wird häufig unterschätzt. Sie werden an dieser Stelle zuerst behandelt.

Jeder Weinmacher ist mit dem relativ unspezifischen Verlust fruchtiger Aromaattribute während der ersten Wochen und Monate nach der alkoholischen Gärung vertraut. Dieser Verlust ist auf einen allmählichen Zerfall von Gäraromen zurückzuführen, welche meist nicht spezifisch für die Rebsorte, sondern vom eingesetzten bzw. zur Dominanz kommenden Hefestamm abhängig sind. Dabei steht der hydrolytische¹ Zerfall von Estern höherer Alkohole mit Essigsäure im Vordergrund (Rapp und Mandery 1986, Garafolo und Piracci 1994). In Abhängigkeit von der Lagertemperatur kommt dieser Prozess nach einigen Monaten zum Stillstand, wenn die Hydrolyse zu einem Gleichgewicht zwischen den Estern und ihren entsprechenden höheren Alkoholen geführt hat. Der Vorgang ist in sehr jungen Weinen unvermeidbar und wird nicht unbedingt als eine der Qualität abträgliche Art von Alterung angesehen.

Ein prägnantes Beispiel für nicht-oxidative Verluste von hefebürtigem Fruchtaroma durch Hydrolyse liefern Weine der Sorten Sauvignon und Scheurebe aus reifem Lesegut. Selbst wenn solche Weine unter anoxischen² Bedingungen gelagert werden, wie sie in sorgfältig beigefüllten Stahltanks oder in mit bestimmten Schraubverschlüssen (Kapitel 3.5.2) versehenen Flaschen vorliegen, sind die aromatischen Veränderungen verblüffend rasch. Die Ursache dieser Veränderungen liegt in der Reaktivität diverser Thiole³, also höhermolekularer Schwefelverbindungen, welche für das sortentypische Aroma von

¹ Hydrolyse = Spaltung einer chemischen Verbindung durch Reaktion mit Wasser

² anoxisch = in Abwesenheit von Sauerstoff

³ Thiole sind schwefelhaltige organische Moleküle mit einer oder mehrerer funktioneller Thiol-Gruppen, die als -SH geschrieben werden. Die meisten unter ihnen zeigen einen starken Geruch, der angenehm oder abstoßend sein kann. Weitere Details sind in Kapitel 3.1.1 gegeben.

tropischen Früchten verantwortlich sind. Sie werden durch spezifische Enzyme der Hefe aus geruchlosen Vorläuferstufen freigesetzt.

Eines dieser Thiole ist das 3-Mercaptohexanolacetat (3-MHA), ein sehr geruchsintensiver Ester, der wesentlich zum Aroma von Passionsfrüchten und Grapefruit in jungen Sauvignon-Weinen beiträgt. Durch Hydrolyse nimmt seine Konzentration stetig ab, wobei 3-Mercaptohexanol (3-MH) und Essigsäure als Zerfallsprodukte entstehen (Herbst-Johnson et al. 2011). Da das 3-MH eine ungefähr 15-fach geringere Geruchsintensität als das ursprüngliche 3-MHA aufweist, kommt es innerhalb weniger Monate nach Gären zu einer deutlich geringeren Aromaintensität und zu Veränderungen im Aromaprofil. Aus diesem Grund werden Weine der genannten Rebsorten bevorzugt jung konsumiert.

Dies ist jedoch nicht alles. Die typische Alterung in Abwesenheit von Sauerstoff beinhaltet auch die Synthese völlig neuer Substanzen in grundsätzlich allen Weinen unabhängig von der Rebsorte. Frühe Arbeiten (Marchand et al. 2000, Pripis-Nicolau et al. 2000) in dieser Richtung zeigten die Bildung solcher Substanzen durch Reaktionen zwischen Aminosäuren auf der einen Seite und Dicarbonyl⁴-Verbindungen wie zum Beispiel Diacetyl oder Acetoin auf der anderen Seite. So wurde die Entstehung von höheren Aldehyden durch die sogenannte Strecker-Reaktion (Kapitel 2.1.2) bei relativ niedrigen Temperaturen und Wein-pH in völliger Abwesenheit von Sauerstoff nachgewiesen. Diese äußerst geruchsintensiven Verbindungen erinnern an den Geruch von Mais, Popcorn, gerösteten Haselnüssen und überreifen Früchten. Erwartungsgemäß nimmt ihre Synthese mit steigender Temperatur zu (Kapitel 2.7).

Die genannten Aromaattribute unterscheiden sich nicht wesentlich von denen, die durch Einwirkung von Sauerstoff während der oxidativen Alterung entstehen. Deshalb kann allein mittels der Sensorik kaum festgestellt werden, ob die typische Alterung eines Weins durch Oxidation, durch Wärmebelastung unter anoxischen Lagerbedingungen oder durch beides gleichzeitig hervorgerufen wurde. Wichtig ist die Feststellung, dass Sauerstoffaufnahme die typische Alterung deutlich beschleunigt, aber völliger Sauerstoffabschluss sie nicht völlig verhindert.

⁴ Carbonyle sind organische Moleküle mit einer Carbonyl-Gruppe, die als –C=O geschrieben wird. Diese funktionelle Gruppe besteht aus einem Kohlenstoffatom (C), welches über eine Doppelbindung mit einem Sauerstoffatom verknüpft ist. Dicarbonyle weisen, wie der Name bereits andeutet, zwei solcher Gruppen im Molekül auf.

Fassen wir zusammen: Carbonyle, insbesondere höhere Aldehyde, sind die dominierenden Reaktionsprodukte typischer Alterung nicht-oxidativer Natur. Sie entstehen prinzipiell in jedem Wein über die Strecker-Reaktion (Kapitel 2.2.1), da die erforderlichen Ausgangssubstanzen nicht spezifisch für eine Rebsorte sind. In manchen Weinen wird ihr geruchlich negatives Ergebnis jedoch nicht eindeutig wahrgenommen, weil es überlagert und maskiert wird durch eine zusätzliche Art von Alterung, die nicht als typisch gilt. Dabei kann es sich um den Petrolton (Kapitel 5), die untypische Alterung (UTA) (Kapitel 4), auf der Flasche entstehende Reduktionsnoten (Kapitel 3.1.1) oder empyreumatisch (verbrannt) riechende Aromen handeln. Zu den empyreumatischen Aromen zählt insbesondere der Geruch nach Feurstein (Kapitel 3.2.1).

Der relative Beitrag nicht-oxidativer Reaktionen zur typischen Alterung hat deutlich zugenommen, seit sich annähernd hermetisch dichtende Schraubverschlüsse in zahlreichen Ländern einschließlich des deutschen Sprachraums als dominierender Flaschenverschluss durchgesetzt haben. Umgekehrt hat der Beitrag der Oxidation zur typischen Alterung abgenommen. Die Erklärung ist einfach: Die genannten Verschlüsse sind in der Lage, ein sauerstoffarmes oder völlig anoxisches Milieu zu schaffen, das Oxidation als Ursache der typischen Alterung zumindest während des Flaschenlagers ausschließt (Kapitel 3.5.1 und 3.5.2). Sie können jedoch einen Zerfall fruchtigen Sortenaromas und die Entstehung typischer Alterung nicht verhindern, wenn die Lagertemperatur unzulässig hoch ist. Weiterhin fördern sie die Entstehung von Reduktionsnoten nach der Abfüllung selbst bei niedriger Lagertemperatur, sofern der Wein grundsätzlich dazu neigt (Kapitel 3.5).

Sensorische Studien zum Einfluss der Temperatur auf die Entstehung der typischen Alterung und des Petroltons sind verfügbar (Kapitel 2.7 und 5.3). Sie verdienen viel mehr Aufmerksamkeit, als ihnen gemeinhin zukommt. Weitere Arbeiten auf diesem Gebiet geben Anlass zur Hoffnung, dass die relativen Beiträge von oxidativen und nicht-oxidativen Reaktionen zur typischen Alterung bald präzisiert werden können.

2.1.2. Oxidative Entstehung des Aromas typischer Alterung

Wie bereits angedeutet und allgemein bekannt, wird die Sauerstoffaufnahme während der Lagerung und Behandlung der Weine selten kontrolliert. Deshalb sind Qualitätsverluste durch Oxidation nach der Gärung eine weit verbreitete Realität, wenngleich ihr Ausmaß stark vom einzelnen Betrieb, den Lagerbedingungen und damit auch von den Traditionen des Anbaugebietes abhängt. Die sensorischen Folgen werden von vielen Weinmachern unterschätzt. Sie umfassen die Entstehung von Aromadeskriptoren wie trockene Kräuter, Nüsse, Popcorn, Honig, gekochtes Gemüse, gekochte Kartoffeln, schwarzen Tee, feuchte Gartenerde u.a.

Häufig aber nicht immer sind dabei auch eine Zunahme der Adstringens und eine Intensivierung der Farbe hin zu einem dunkleren Gelb und Bräunung im Extremfall zu beobachten. Diese sensorischen Veränderungen hängen nicht nur von der Menge des aufgenommenen Sauerstoffs ab, sondern auch vom Gehalt des Weins an freier schwefliger Säure und einer bestimmten Fraktion phenolischer Substanzen, die man flavonoide Phenole oder Catechine nennt (Kapitel 2.2.2).

Wichtig ist, dass oxidative Alterung auch in Anwesenheit von freier SO₂ ablaufen kann, wenngleich deutlich langsamer als in Weinen ohne freie SO₂. Der Grund liegt in dem beschränkten Oxidationsschutz, den Reduktionsmittel wie SO₂ oder Ascorbinsäure ausüben (Kapitel 3.5.1 und 3.5.3). Falls die freie SO₂ im Verlauf der Sauerstoffaufnahme völlig verschwindet, stellt sich schließlich der Geruch von freiem, nicht an SO₂ gebundenen Acetaldehyds ein, den man teilweise auch als 'Luftton' beschreibt. Dabei handelt es sich um einen Weinfehler, der nichts mit dem hier behandelten Thema zu tun hat – die oxidative Alterung in Anwesenheit von freier SO₂.

Oxidation fördert die Bildung übelriechender Carbonyle

Lange Zeit lagen nur beschränkte Kenntnisse über die chemischen Reaktionen und die daraus resultierenden Reaktionsprodukte vor, die für oxidationsbedingte Qualitätsverluste verantwortlich sind. Mit Sicherheit wusste man nur, dass die SO₂ durch Oxidation gemindert wird, aber diese triviale Beobachtung erklärt nur wenig. Erst dank der Verbreitung hoch entwickelter analytischer Techniken während der letzten zwei bis drei Jahrzehnte hat das Wissen über die oxidative Alterung deutlich zugenommen.

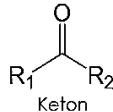
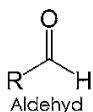
Die bereits im vorgehenden Kapitel angeführten Carbonyl-Verbindungen spielen eine herausragende Rolle im Aroma oxidativ gealterter Weine. Grund ist

ihre chemische Reaktivität und Diversität⁵. Sie können zwar auch unter den Bedingungen nicht-oxidativen Alterung entstehen (Kapitel 2.2.1), aber Oxidation beschleunigt ihre Bildung wesentlich. Schon vor langer Zeit wurde am Beispiel von Riesling die Bildung von Benzaldehyd und Furfural nachgewiesen, wenn der Wein unter oxidativen Bedingungen gelagert wurde (Simpson 1978). Während der Lagerung in Holzfässern mit der damit verbundenen Sauerstoffaufnahme wurde ein Anstieg der Gehalte von Carbonylen im Allgemeinen und Methylketonen im Speziellen beobachtet. Das unter diesen Bedingungen entstandene Aroma oxidierter Weine wurde zunächst dem 2-Nonanon und dem 2-Undecanon zugeschrieben (Ferreira und Bertrand 1996).

In einer weiteren Studie zur Lagerung von Weißwein in Holz wurden 2,5-Furandicarbaldehyd, Furylhydroxyketon und Hydroxymaltol als zusätzliche chemische Marker oxidativer Alterung identifiziert und insbesondere für die damit verbundene Aromanothe von Honig verantwortlich gemacht. Der Anstieg ihrer Konzentration wurde jedoch durch Aufröhren der Hefe gemindert (Lavigne-Cruège et al. 2000). Unbeantwortet blieb die Frage, auf welchem Weg die Hefe nach der Gärung diese Wirkung ausübt, sei es durch Adsorption der entstandenen Carbonyle oder durch Adsorption des gelösten Sauerstoffs, der zu ihrer Bildung führte (Kapitel 2.5.6).

Nach einer beschleunigten oxidativen Alterung von sechs Weißweinen wurden 22 geruchsaktive Substanzen erstmalig identifiziert. Vier dieser Substanzen liegen in allen Weinen und weitere 14 in über der Hälfte der Weine vor. Mehrere von ihnen zeigten einen abstoßenden Geruch nach Oxidation. Mittels Methoden der sensorischen Profilanalyse und multivariater Statistik konnte gezeigt werden, dass 15 der eindeutig identifizierten Geruchsattribute durch die Oxidation beeinflusst wurden, wobei sich das gesamte Aromaprofil um 60 % veränderte. In der Sensorik zeigte sich ein durch Oxidation hervorgerufenes Aromaprofil, dass allen oxidierten Weinen gemeinsam war (Escudero et al. 2000 a).

⁵ Carbonyle können als Aldehyde oder Ketone vorliegen. In Aldehyden ist ihre Carbonyl-Gruppe ($-C=O$) auf einer Seite mit einer variabel langen Alkyl-Gruppe (R) und auf der anderen Seite mit einem Wasserstoff-Atom (H) verbunden. Deshalb befindet sie sich immer am Ende des Moleküls. Im Gegensatz dazu haben die Ketone kein H auf der einen Seite der Carbonyl-Gruppe, sondern eine Alkyl-Kette auf beiden Seiten. Folglich ist ihre Carbonyl-Gruppe stets in der Mitte des Moleküls zu finden.



Die geruchlichen Eigenschaften einzelner Carbonyle konnten teilweise präzisiert werden. Es zeigte sich, dass das Aroma von gekochtem Gemüse mit den Konzentrationen von 2-Nonenal, Benzaldehyd, Furfural und Eugenol positiv korreliert, während die Gehalte von Acetaldehyd deutlich weniger durch Oxidation ansteigen (Escudero et al. 2002). Dafür ist die Bindung des Acetaldehyds an SO₂ verantwortlich, sofern solche noch in freier Form vorliegt. Weiterhin bestätigte sich die Bedeutung von Methional als Schlüsselkomponente im Aroma oxiderter Weißweine, mit einem Abstand gefolgt von Phenylacetaldehyd, 3-(Methylthio)-propionaldehyd, Sotolon (Ferreira et al. 2002, 2003 a, 2003 b, Ferreira 2007), Benzaldehyd, Furfural und anderen höheren Aldehyden⁶, die aus dem Abbau von Aminosäuren (Bueno et al. 2016) und manchmal auch ungesättigten Fettsäuren⁷ resultieren (Ferreira et al. 1997, Culleré et al. 2007).

Bleibt zu klären, auf welchem Weg die Oxidation die Bildung übelriechender Carbonyle fördert, die für das Aroma typisch gealterter Weine verantwortlich sind. Zwei Reaktionswege spielen eine Rolle – die Oxidation von Alkoholen und die Strecker-Reaktion von Aminosäuren.

Bildung übelriechender Carbonyle durch Oxidation von Alkoholen

Auf dem Weg der gekoppelten Oxidation von Alkoholen mit gewissen Phenolen (Wildenradt und Singleton 1974) entstehen die diesen Alkoholen korrespondierenden Carbonyle, wenn die Lagerbedingungen eine Sauerstoffaufnahme erlauben. Eine vorgängige Oxidation von Phenolen ist unumgänglich; sie liefert das zur Oxidation der Alkohole erforderliche Peroxid. Ein Beispiel ist die Oxidation des Alkohols Methionol zu Methional (Escudero et al 2000 b, Ferreira 2003 a). Kapitel 2.2.1 erläutert Einzelheiten.

Zu den so gebildeten Carbonylen zählt aber auch der Acetaldehyd mit seinem markanten Geruch. Er wird geruchlich vollständig neutralisiert durch Bindung an schweflige Säure, sofern solche noch in freier Form verfügbar ist (Baro und Quiros Carrasco 1977). Den anderen, höheren Aldehyden geht diese Eigenschaft weitgehend ab. Deshalb ist es sehr wichtig, zwischen Acetaldehyd und höheren Aldehyden zu differenzieren.

⁶ Höhere Aldehyde tragen mehr als eine Carbonyl-Gruppe (=C=O) oder eine verzweigte Alkyl-Kette, im Gegensatz zu einfachen Aldehyden mit nur einer Carbonyl-Gruppe und einer geraden Alkyl-Kette.

⁷ Fettsäuren sind Carboxylsäuren mit mindestens einer Carboxyl-Gruppe (-COOH) und einer Alkyl-Kette. Sie sind ungesättigt, weil sie zusätzlich mindestens eine C=C – Doppelbindung in der Alkyl-Kette aufweisen.

Bildung übelriechender Carbonyle durch die Strecker-Reaktion

Vereinfacht dargestellt beinhaltet die Strecker-Reaktion die Reaktion von Aminosäuren mit Dicarbonylen⁸. Dabei verlieren die Aminosäuren ihre Carboxyl-Gruppe (-COOH) und ihre Amino-Gruppe (-NH₂). So entsteht aus ihnen ein Aldehyd mit einem C-Atom weniger als die ursprüngliche Aminosäure. Die auf diesem Weg entstandene Aldehyde nennen sich "Strecker-Aldehyde". Nach diesem Reaktionsschema können die höheren Aldehyde wie 3-Methylbutanal (*malzig*), Phenylacetaldehyd (*Honig*) und Methional (*gekochtes Gemüse*) aus den korrespondierenden Aminosäuren Leucin, Phenylalanin und Methionin gebildet werden (Hofmann und Schieberle 2000).

Die für die Strecker-Reaktion erforderlichen Dicarbonyle können auch ortho-Chinone⁹ umfassen, da diese zwei Keto-Gruppen enthalten. Diese Chinone entstehen durch Oxidation ihrer korrespondierenden Phenole, welche in Wein als die primären Sauerstoffakzeptoren fungieren (Kapitel 2.2.1). Dies ist der Grund, warum die Strecker-Reaktion, die als solche auch unter anoxischen Bedingungen ablaufen kann, durch Sauerstoffaufnahme und Oxidation gefördert wird (Monforte et al. 2018).

Unter vergleichbaren Oxidationsbedingungen führte Catechin, ein flavonoides Phenol, zur Bildung von mehr Phenylacetaldehyd (*Honig*) aus Phenylalanin als nichtflavonoide Phenole (Oliveira et al. 2017). Diese besondere Eigenschaft flavonoider Phenole (Kapitel 2.2.1) wird uns im weiteren Verlauf des Buches begleiten.

Es steht außer Frage, dass es sich um eine äußerst komplexe Chemie handelt, die jeden Praktiker zur Verzweiflung treibt. Weiterhin steht noch nicht definitiv fest, welcher Reaktionsweg die größere Rolle bei der Bildung der geruchlich unerwünschten Carbonyle spielt, sei es die Oxidation ihrer

⁸ Dicarbonyle enthalten zwei Carbonyl-Gruppen im Molekül, im Gegensatz zu einfachen Carbonylen mit nur einer solchen funktionellen Gruppe.

⁹ Chinone entstehen durch Oxidation von Phenolen im Allgemeinen; ortho-Chinone durch Oxidation von ortho-Diphenolen. Dabei werden die beiden phenolischen Hydroxyl-Gruppen (-OH) zu Keto-Gruppen (=O), die über einen Sechsring miteinander verbunden sind. Die Keto-Gruppen können in para- oder ortho-Stellung zueinander stehen. In ortho-Stellung liegen sie benachbart vor (siehe Abbildung).

