

Optimierung von Haltbarkeit und Aromastabilität fruchtiger Weißweine

unter besonderer Berücksichtigung von

- die verschiedenen Arten der Alterung
 - schonende Weinbehandlung
- Sauerstoffmanagement und Flaschenverschlüsse
 - Lagerung auf der Hefe
 - Mostoxidation

1. Phase von Alterung: Abreicherung von Gäraromen

- Besonders ausgeprägt während der ersten Wochen und Monate nach der Gärung.
- Wesentliche Ursachen:
 - - Hydrolyse von Estern höherer Alkohole
 - - Verdunstung über eventuelle Oberfläche
- Wird sensorisch nicht als Alterung interpretiert, da keine sensorisch störenden Moleküle erzeugt werden.
- Unvermeidbar; unabhängig vom Wein, aber abhängig von Temperatur, Hefe und Gärparametern.

**Hefe-bürtige Gäraromen sind instabiler als Traubenaromen.
Je stärker ihr Ausgangsgehalt, desto stärker wird ihre Abreicherung im Stadium
des Jungweins wahrgenommen.**

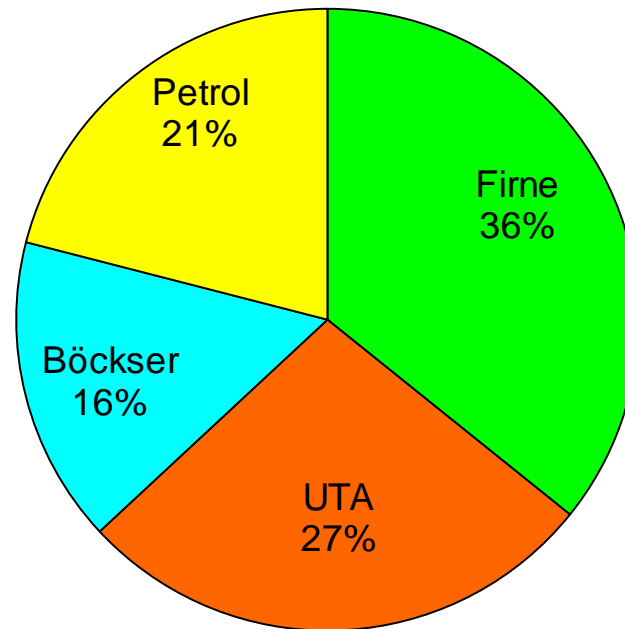
Vier Altersteine in Weißwein

Bezeichnung	sensorische Charakterisierung	Ursache
Oxidative Alterung (Altersfirne)	Schwarzer Tee, Nüsse, Honig, Pilzkonserven, Kartoffeln, Stroh, feuchte Gartenerde; zunehmende Adstringens in Anwesenheit flavonoider Phenole	Höhere Aldehyde und Ketone durch gekoppelte Oxidation mit Phenolen, Karamelisierungsprodukte von Zuckern und Aminosäuren. Abhängig von Sauerstoffzufuhr, O₂ beteiligt.
Reduktive Alterung (Lagerböckser)	verbrannter Gummi, altes Fleisch, Knoblauch, faule Zwiebeln, faule Eier, Fäkalien	Thiole (Mercaptane) - durch saure Hydrolyse geruchloser Thioessigsäureestern, - durch Reduktion von geruchsschwachen Disulfiden Abhängig von Sauerstoffzufuhr, kein O₂ beteiligt.
Untypische Alterung (UTA)	Kleiderschrank, Mottenkugeln, schmutzige Wäsche, Seife, Waschmaschine, Bohnerwachs, Zitronenblüte; im Extremfall bitterer Abgang.	2-Aminoacetophenon = Abbauprodukt von Indolesigsäure aus gestresstem Lesegut. Abgänglich von Sauerstoffzufuhr, fast kein O₂ beteiligt
Petrolton (Kerosinton)	Benzin, Kerosin, trockene Marillen	1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphtalin (TDN) = Abbauprodukt von Carotinoiden, fast nur in reifen Rieslingen. Schwellenwert = 2 µg/L. Unabhängig von Sauerstoffzufuhr, kein O₂ beteiligt.

In Weißweinen der fruchtigen Art wird jegliche Art der Alterung als negativ bewertet. Die Frage nach ihrer Haltbarkeit und Aromastabilität ist eine der zentralen Fragen der Önologie. Aroma muss nicht nur erzeugt, sondern auch erhalten werden.

Prozentuale Verteilung der vier Alterstöne bei österreichischen Weißweinen im Prämierungsbereich.

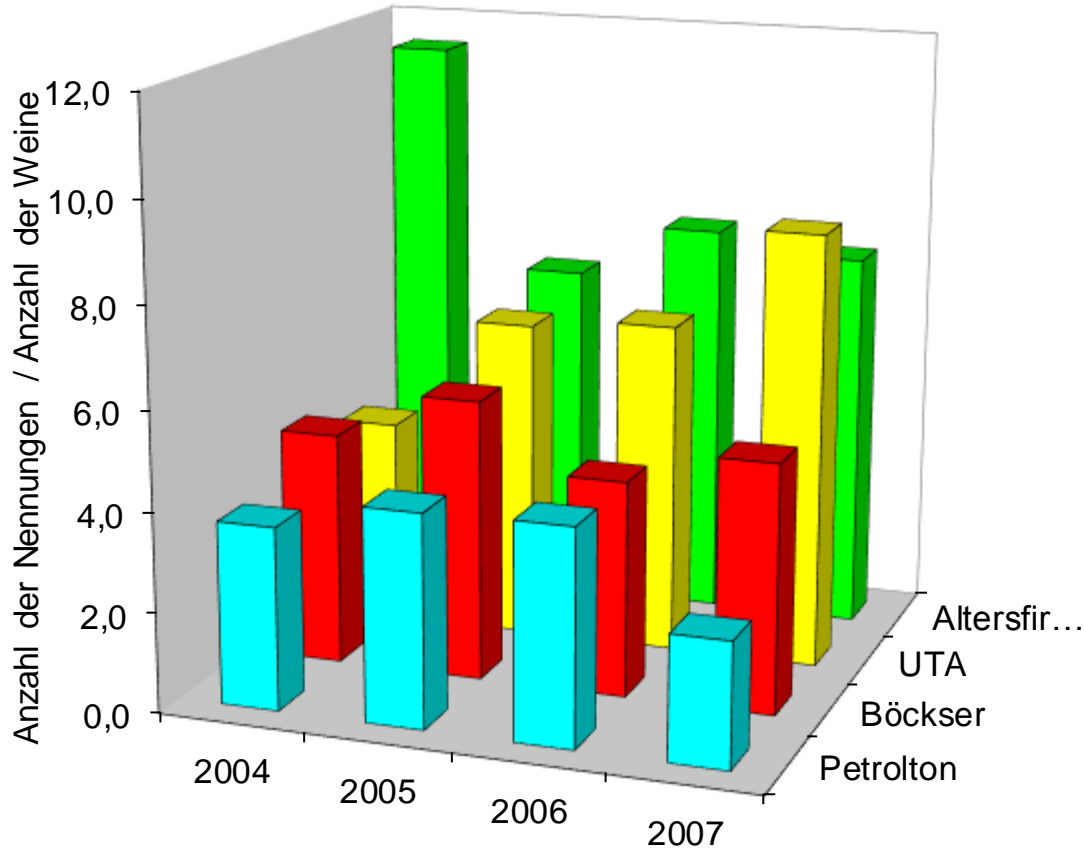
Sensorische Bewertung 2009, 1-3 Jahre nach Prämierung durch n = 22 Verkoster.
Zahlenangaben beziehen sich auf die Häufigkeit des Alterstons unabhängig von der Intensität.



Altersfirne bzw. oxidative Alterung ist die häufigste Ursache frühzeitigen Aromazerfalls hochwertiger Weißweine. Petrolton tritt fast nur bei Riesling auf.

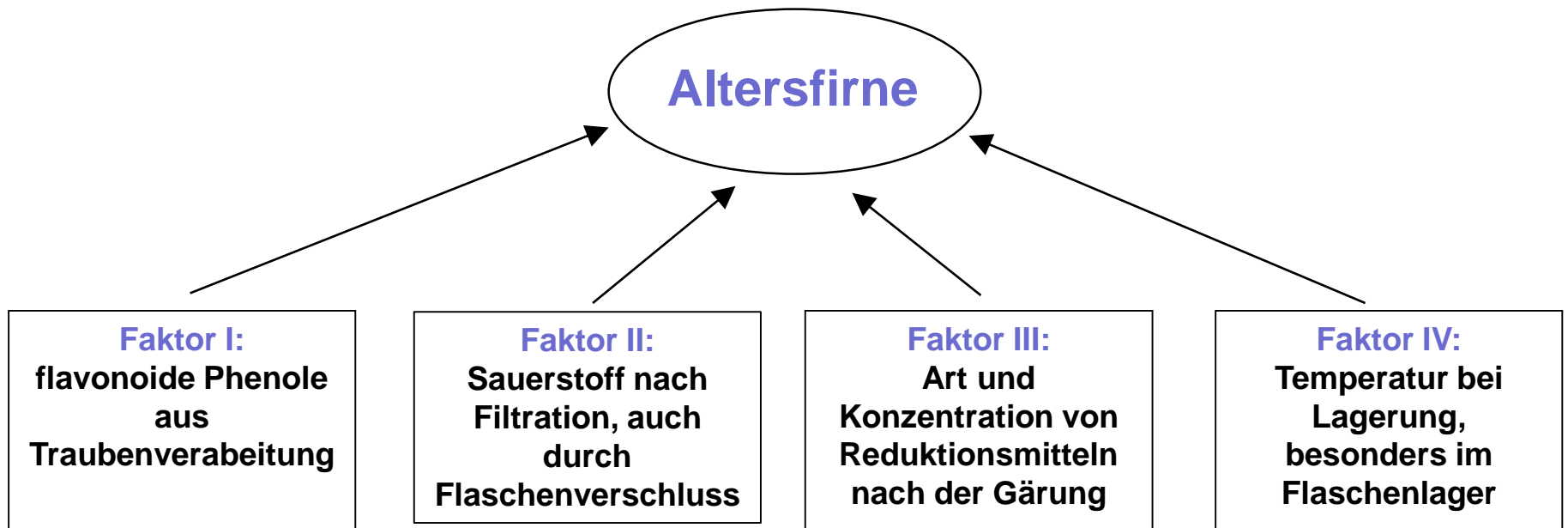
Verteilung der vier Alterstöne bei prämierten österreichischen Weißweinen in Abhängigkeit vom Alter der Weine.

Sensorische Auswertung 2009, 1-3 Jahre nach Prämierung durch n = 22 Verkoster.
Zahlenangaben beziehen sich auf die Häufigkeit des Alterstons unabhängig von der Intensität.



UTA kann bereits im sehr frühen Stadium des Jungweins entstehen und mit zunehmendem Alter durch Altersfirne maskiert werden.

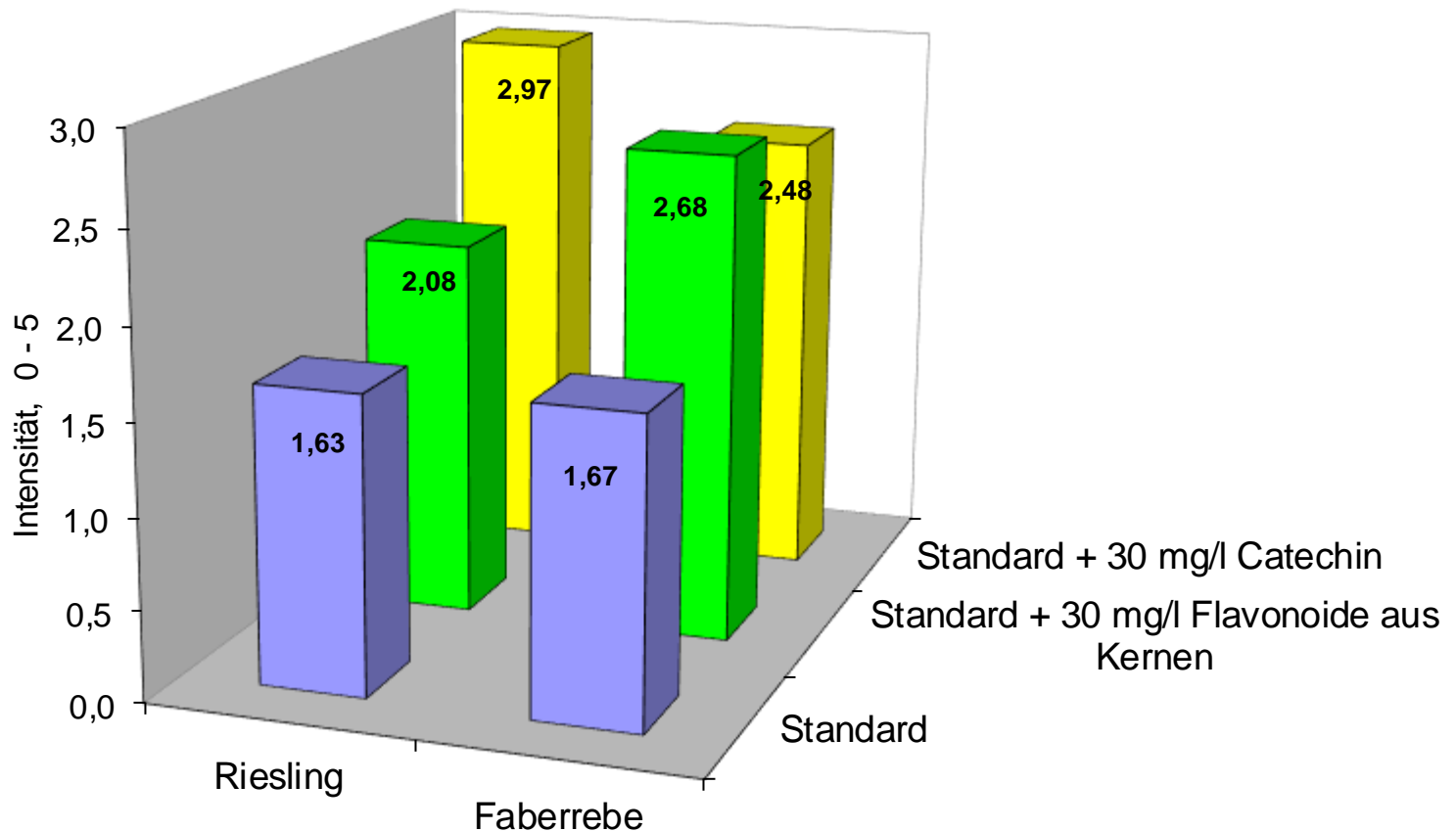
Oxidative Alterung (Altersfirne) – kontrollierende Faktoren



Bei der Bildung von Altersfirne wirken stets mehrere Faktoren zusammen.

Oxidative Alterung - Faktor I:

Einfluss der Phenolmatrix auf die geruchlich wahrnehmbare Altersfirne mit Kork verschlossener Weißweine nach 8 Monaten Flaschenlager.



Mit zunehmendem Gehalt an flavonoiden Phenolen steigt die Tendenz zur Ausbildung von Altersfirne (und Gerbigkeit) unter sonst vergleichbaren Bedingungen.

Oxidative Alterung – Faktor I

Einfluss der Mostverarbeitung auf die Phenolmatrix

Reduktiv oder oxidativ ?

Mit SO₂ oder mit Sauerstoff ?

Oder:

Warum die Oxidation des Mostes die oxidative Alterung des Weins verringert

Einfluss der Vinifikation auf den Gehalt an flavonoide Phenolen

Extraktion von Flavonoiden bei der Traubenverarbeitung gefördert durch:

- Maischestandzeit, gewollt oder unbewusst.
- Nachgelagerte Verarbeitung bei ungenügender Presskapazität ist größeres Problem als Vollernter !
- Maischepumpen, besonders bei engen Maischeleitungen und deren Umlenkungen.
- Pressdruck und mechanischer Aufschluss des Presskuchens: Anzahl der Scheiterintervalle sind entscheidender als Druck.

Stabilisierung der extrahierten Flavonoiden bei der Mostverarbeitung durch:

- SO_2 : Hemmt Oxidation und Ausflockung von Flavonoiden.
- Schutz vor Sauerstoff → wirkt wie SO_2 .
- Ungenügende Mostvorklärung: Eventuell ausgeflockte Flavonoide lösen sich in Alkohol zurück.

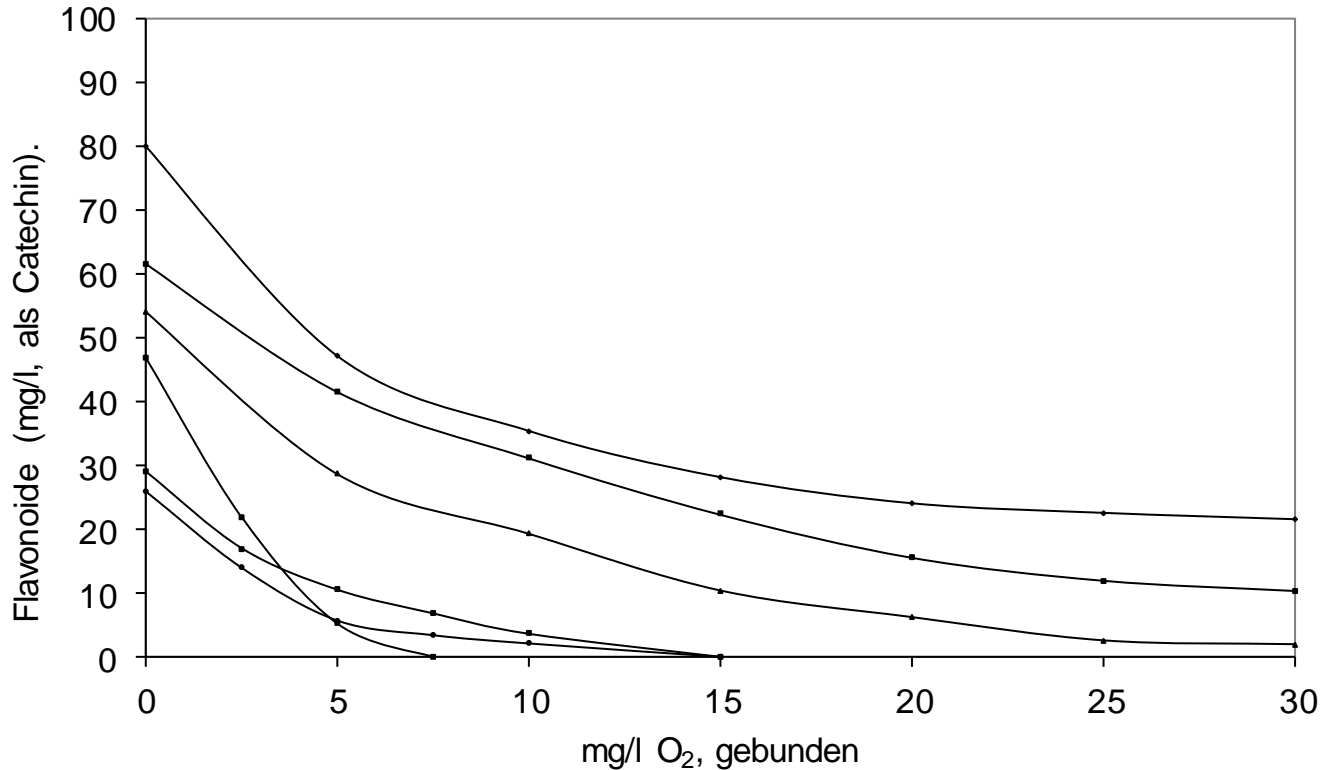
Minderung der extrahierten Flavonoiden durch:

- Enzymatische Oxidation und Ausflockung / Bräunung (keine SO_2 , aber Sauerstoffaufnahme)
- scharfe Mostvorklärung (< 100 NTU) zur Abtrennung ausgeflockter flavonoider Phenole.

Die Mostbehandlung (oxidativ vs. reduktiv) hat entscheidenden Einfluss auf den Gehalt flavonoider Phenole im Wein.

Oxidative Alterung – Faktor I

Fällung flavonoider Phenole während der Oxidation fünf verschiedener Moste (ohne SO₂) in Abhängigkeit von der Menge des gebundenen Sauerstoffs

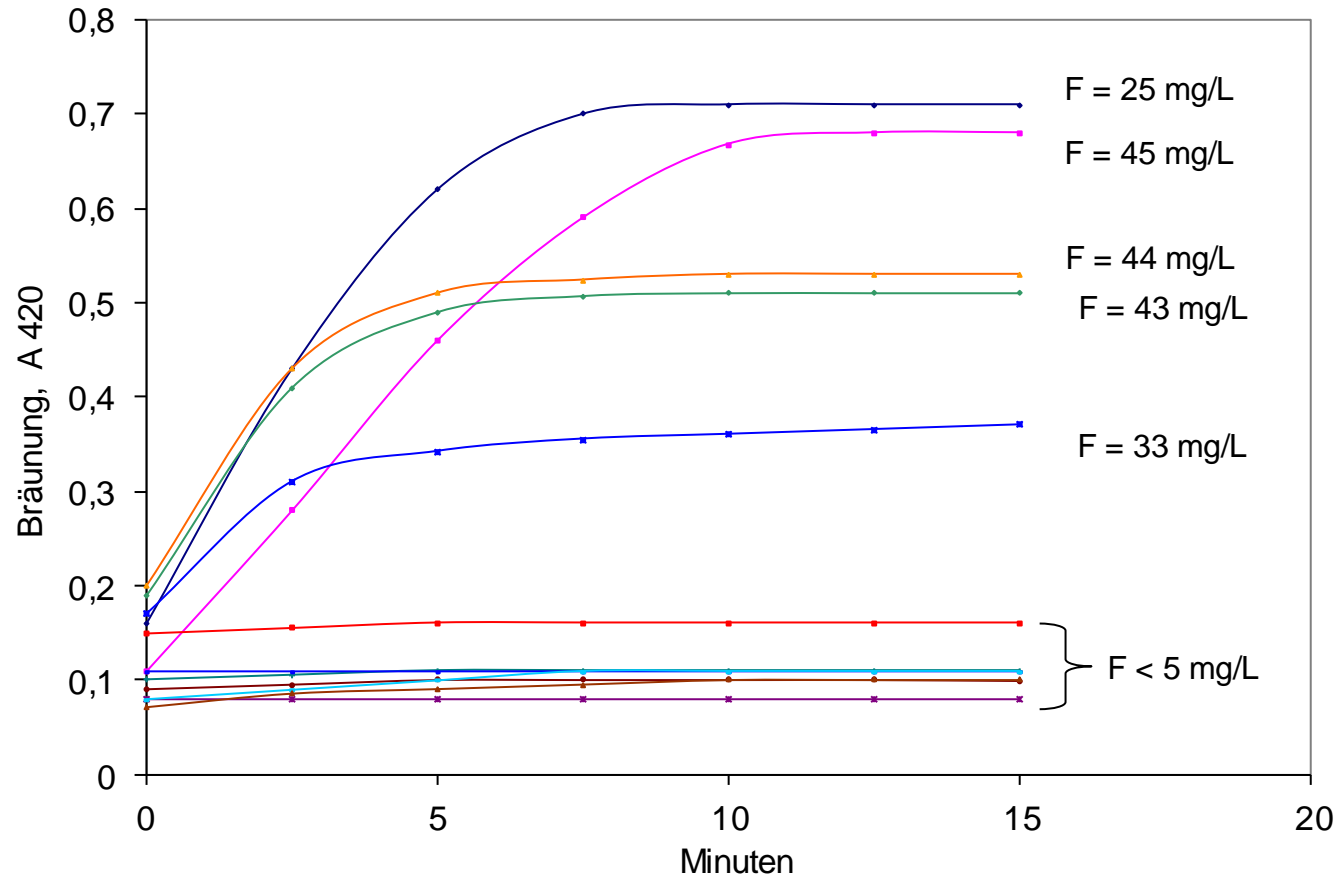


Die Oxidation des Mostes erlaubt, in Verbindung mit scharfer Vorklärung, praktisch flavonoidfreie Weißweine zu erhalten. Gerbstoff-mindernde Schönungsmittel werden überflüssig.

Eine Menge von ca. 20 mg/L enzymatisch umgesetzten Sauerstoffs genügt zur Eliminierung flavonoider Phenole durch Mostoxidation.

Oxidative Alterung – Faktor I

Farbintensivierung ungeschwefelter junger Weißweine bei Luftkontakt in Abhängigkeit vom Gehalt an flavonoiden Phenolen (F, mg/L)



Bräunung ungeschwefelter Jungweine ist das äußere Zeichen tiefgreifender Oxidation. Weißweine ohne flavonoide Phenole bräunen nicht.

Unterschiede zwischen Wein- und Mostoxidation

Mostoxidation

- Enzymatisch und sehr spezifisch
- Nebenprodukt = H_2O
- Oxidationsprodukte fallen aus *

* Oxidiert-braune Moste gewinnen nach Filtration ihre grün-gelbe Farbe zurück
→ Bräunung wird durch bereits ausgeflockte Feststoffe hervorgerufen.

Weinoxidation

- Chemisch und nicht spezifisch
- Nebenprodukt = H_2O_2
- Oxidationsprodukte bleiben in Lösung (Ethanol !)

Die Oxidation des Mostes hat nichts mit der Oxidation des Weins zu tun und wirkt dieser sogar entgegen.

Der oxidative Zustand des Mostes wird nach Eintritt der Gärung durch die Reduktionskraft der Hefe vollständig aufgehoben.

Der Lehrsatz, dass die Mostoxidation das Aroma zerstört, ist in seiner verallgemeinerten Form falsch und irreführend.

Chemische Folgen der Mostoxidation

- Die Oxidation des Mostes erlaubt die Ausflockung flavonoider Phenole durch natürliche enzymatische Reaktionen.
- Abtrennung der ausgeflockten Flavonoiden durch scharfe Mostvorklärung führt zu flavonoidfreien Weißweinen.
- Keine flavonoiden Phenole = keine Gerbstoffe
- Flavonoide im Weißwein oxidieren selbst und katalysieren weitere Oxidationen, daher sind flavonoidfreie Weißweine beständiger gegenüber oxidativer Alterung.

Obwohl flavonoide Phenole geruchlos sind, greifen sie auf katalytischem Weg in die Entwicklung der geruchlich wahrnehmbaren Aromatik ein.

Sensorische Folgen der Mostoxidation

Zusammenfassung vergleichender Versuche weltweit

Alle Rebsorten:

- Minderung oder völlige Abwesenheit von Gerbstoffen (flav. Phenole) und Adstringens

Bei Sauvignon blanc und anderen Rebsorten mit sensorisch relevanten Gehalten an Thiolen (Aromathiole) im Sortenaroma:

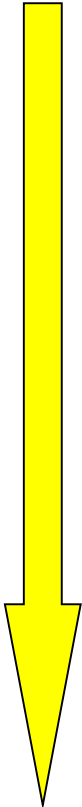
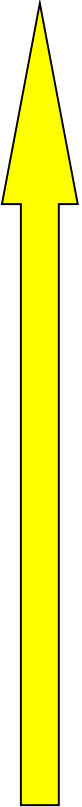
- Aromaverluste, starke Minderung der Attribute "tropische Früchte, Cassis, Grapefruit, Maracujá"

Bei allen anderen Rebsorten:

- keine Aromaverluste, solange nicht überoxidiert wird wie bei Flotation mit reinem O₂
- etwas weniger Bockser und flüchtige Phenole
- Betonung des Sortenaromas, weniger indifferente Gäraromen
- reiferes Sortenaroma, z. B. "grüne Äpfel" → "gelbe Äpfel", "Citronen" → "Grapefruit"
- Vorteile besonders ausgeprägt nach Maischestandzeit / Kaltmazeration
- höhere aromatische Stabilität und Beständigkeit gegenüber oxidativer Alterung
- Investition in Zukunft des Weins, keine Vorteile im jungen Weinstadium.

Die Effekte der Mostoxidation sind umso ausgeprägter, je höher der Gehalt des Mostes an flavonoiden Phenolen.

Reduktive vs. oxidative Mostverarbeitung; Einfluss von SO₂ und Sauerstoff vor der Gärung

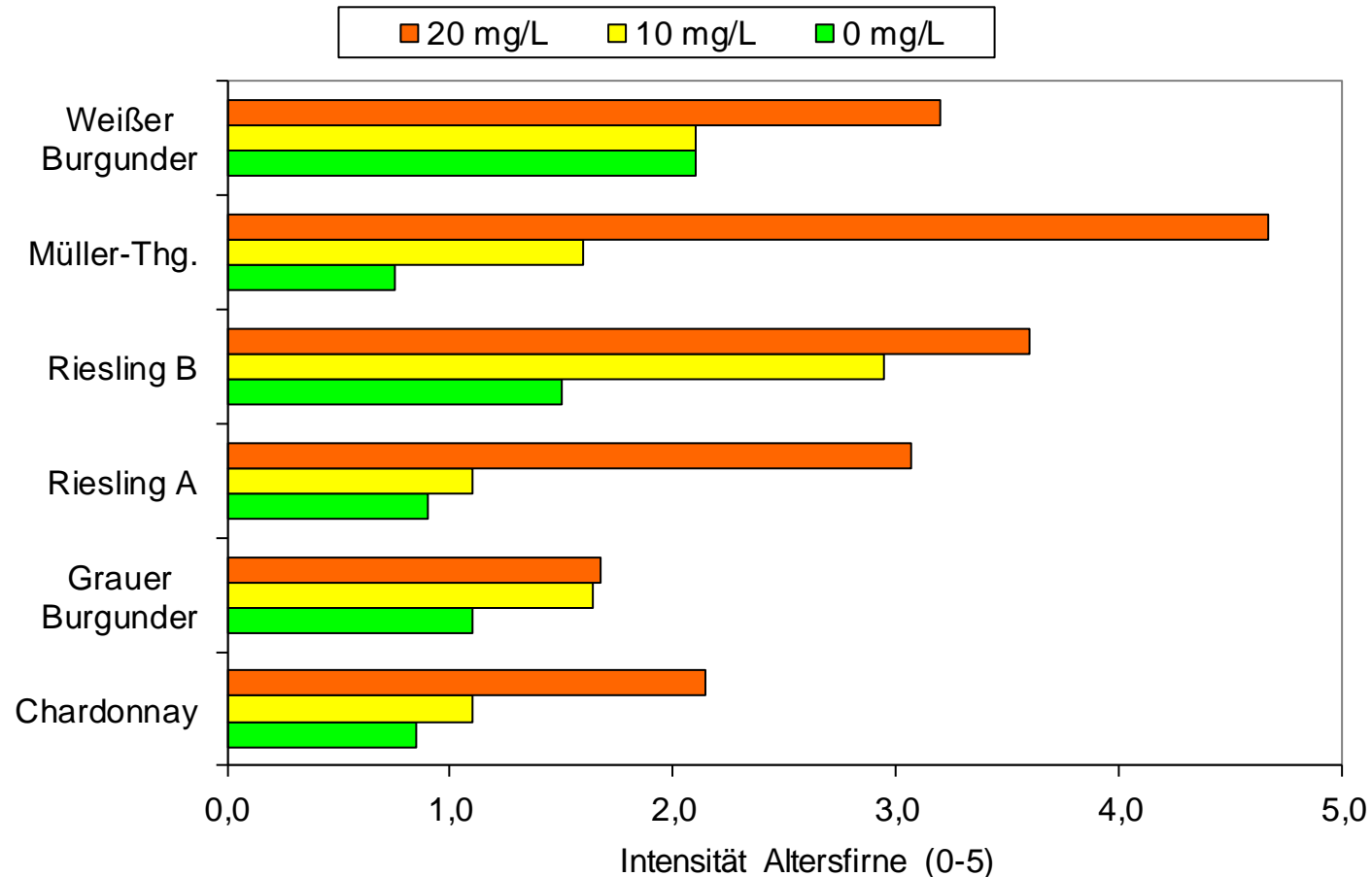
 <p>Oxidation vor Gärung</p>	Hyper-Reduktion	Extremer Schutz vor Oxidation durch Anwendung von SO ₂ , Ascorbinsäure und Inertgas bei Maische, Pressung und Mostverarbeitung.	 <p>Oxidative Alterung im Wein</p>
	Reduktive Vinifikation	Anwendung von SO ₂ und eventuell Ascorbinsäure, beschränkter Sauerstoffzutritt bei Mostverarbeitung. Keine Oxidation.	
	Normalverarbeitung	Schwefelung des Mostes ohne besondere Maßnahmen zur Vermeidung von Sauerstoffaufnahme. Geringe Oxidation	
	Oxidative Vinifikation	Keine Schwefelung vor Gärung, keine Maßnahmen zur Verhinderung des Sauerstoffzutritts. Passive Oxidation.	
	Hyper-Oxidation (aktive Mostoxidation)	Keine SO ₂ vor Gärung, aktive Zufuhr von reinem Sauerstoff oder Luft. Gezielte Oxidation.	

Je reduktiver die Mostverarbeitung, desto sensibler der Wein gegenüber Oxidation. Die Unterschiede zwischen reduktiver und oxidativer Vinifikation sind gradueller Natur.

Oxidative Alterung – Faktor II

Zunahme von Altersfirne (0-5) durch steigende Mengen von Sauerstoff zu abgefüllten Weißweinen.

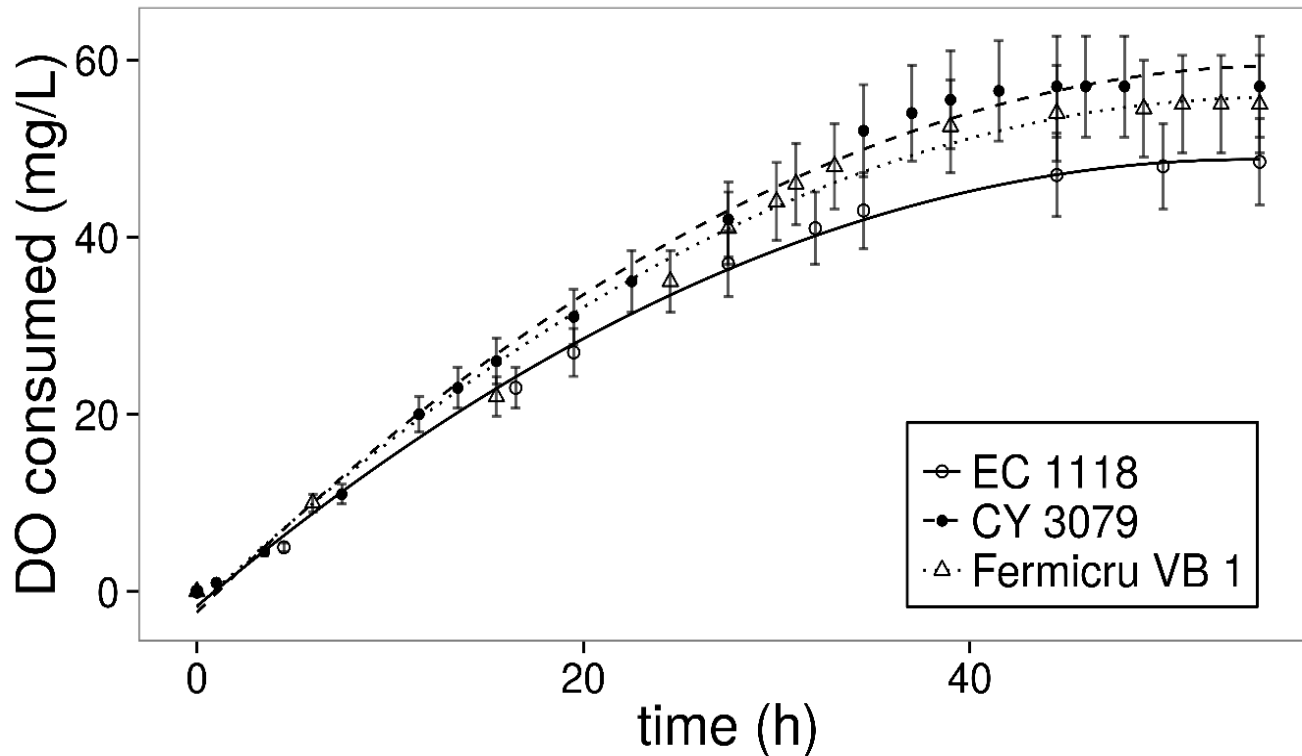
Sensorische Auswertung zwei Monate nach O₂-Gabe über Kopfraum; Schraubverschluss; n = 9 Prüfer.



Die nach der Filtration aufgenommenen Mengen an Sauerstoff können bereits ab einer Menge von 10 mg/L zu einer signifikanten Intensivierung von Altersfirne (bzw. Minderung der Fruchtaromatik) führen. Der Effekt ist von der Weinmatrix abhängig.

Oxidative Alterung – Faktor III

Zehrung gelösten Sauerstoffs durch postfermentative Hefe (300 NTU) einen Monat nach der Gärung bei unbeschränktem Sauerstoffangebot.



Die nach der Gärung im Wein suspendierte “Feinhefe“ ist in der Lage, mehrere Sättigungskonzentrationen gelösten Sauerstoffs zu konsumieren und so der Oxidation von Weininhaltsstoffen zu entziehen.

Ursache der Zehrung von gelöstem Sauerstoff durch postfermentative Hefe

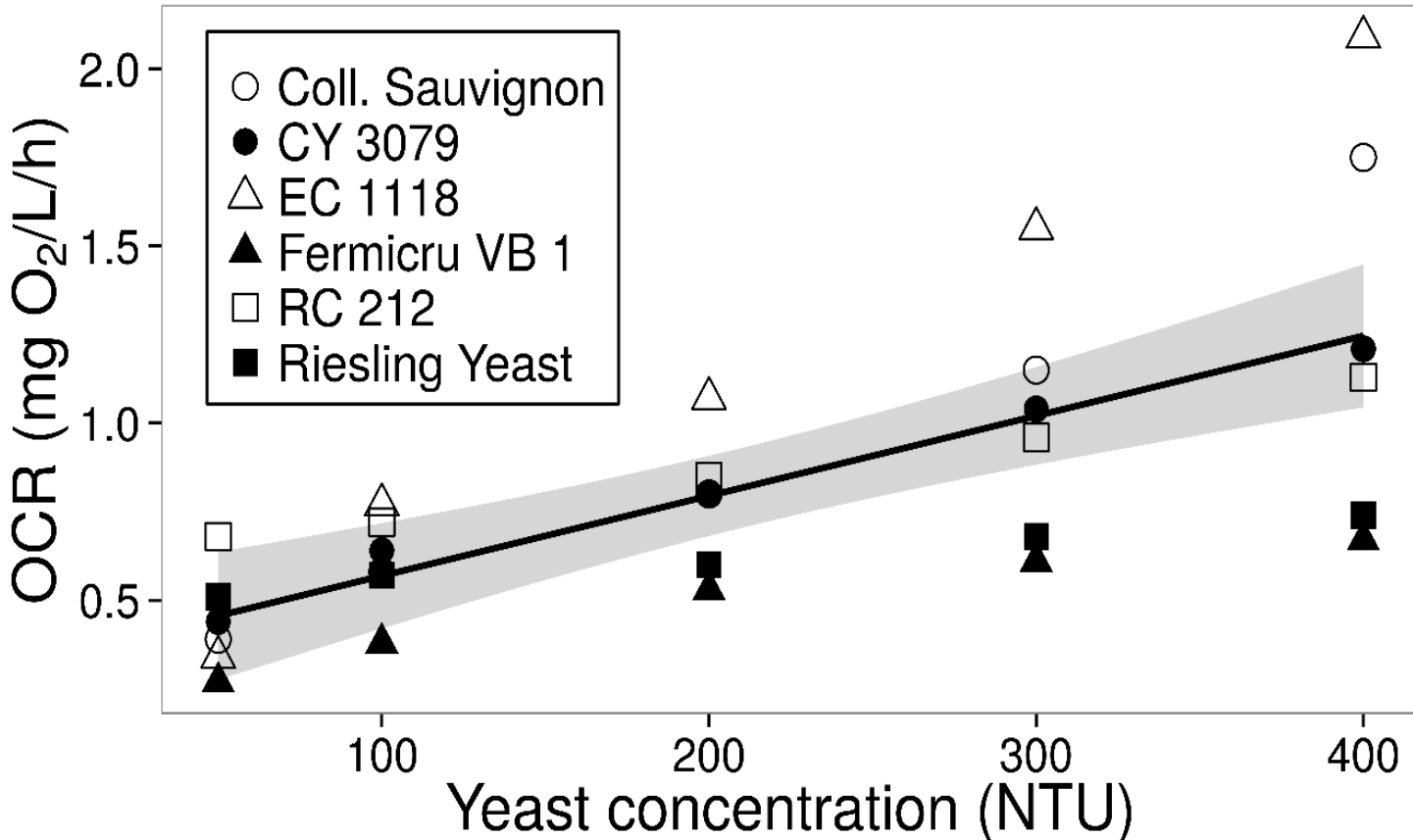
- In den ersten Tagen nach Ende der Gärung verbraucht die Hefe den Sauerstoff über den Atmungsstoffwechsel.
- Danach wird der Sauerstoff zur Oxidation von Lipiden verwendet, bis das Reservoir von Lipiden aufgebraucht ist.
- Die Beteiligung von Enzymen an dieser Reaktion ist bisher nicht sicher nachgewiesen. Pasteurisation setzt der Reaktion jedoch ein Ende.

In die Kanalisation abgelassene Hefe erhöht den BSB-Wert des Abwassers drastisch !

Oxidative Alterung – Faktor III

Zehrung gelösten Sauerstoffs durch postfermentative Hefe: Einfluss der Hefekonzentration (NTU) in Suspension

OCR = oxygen consumption rate

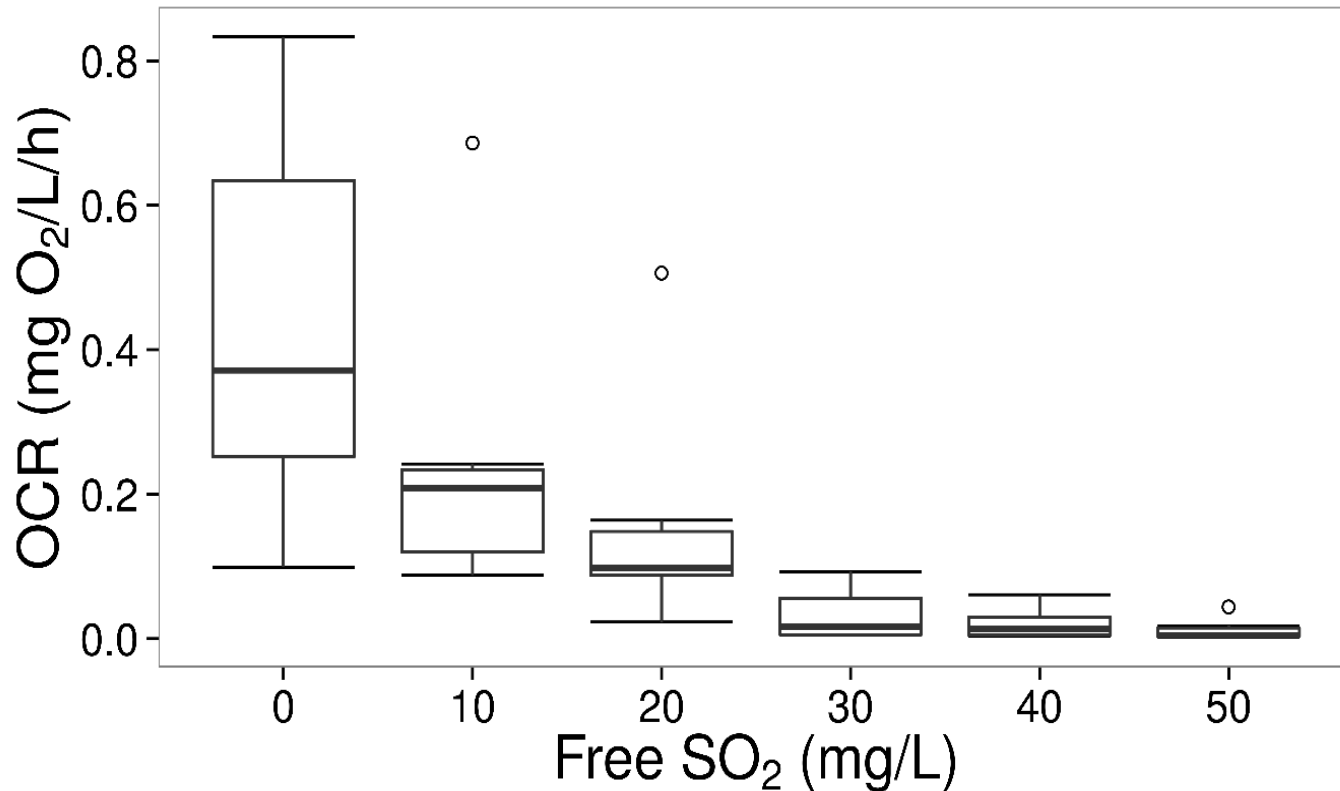


Während den ersten Monaten nach der Gärung kann postfermentative Hefe 0,5 – 1,0 mg/L • h O₂ konsumieren bei einer typischen Hefekonzentration von 200 NTU.

Oxidative Alterung – Faktor III

Zehrung gelösten Sauerstoffs durch postfermentative Hefe (200 NTU): Einfluss der freien SO_2

OCR = oxygen consumption rate



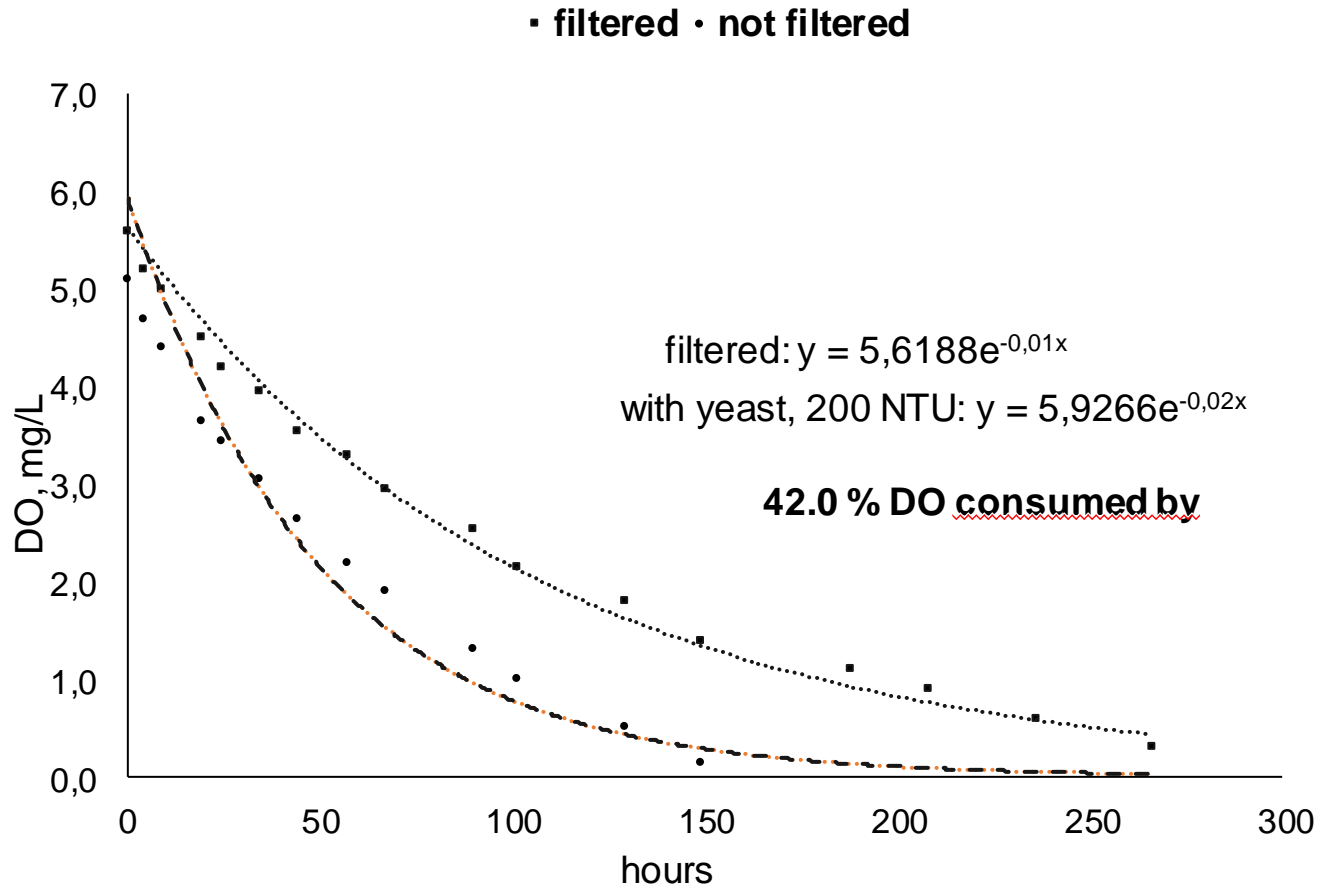
Die O_2 -Zehrung postfermentativer Hefe wird durch SO_2 stark gehemmt und ist nur bis ca. 20 mg/L freie SO_2 önologisch nutzbar.

Die reduktiven Effekte von freier SO_2 und Feinhefe addieren sich nicht;

→ freie SO_2 und Feinhefe können nicht komplementär zur Minderung oxidativer Alterung genutzt werden.

Oxidative Alterung – Faktor III

Zehrung gelösten Sauerstoffs in Weißwein (43 mg/l fr. SO₂) mit suspendierter Feinhefe (Fermicru VB 1, 200 NTU) und nach Filtration, 8 Wochen nach Gärung.



Die O₂-Zehrung durch die Hefe nach der Gärung verhält sich kompetitiv zur chemischen O₂-Bindung durch Weininhaltsstoffe (Oxidation). Nur ein Teil des Sauerstoffs wird durch die Hefe gezehrt.

Oxidative Alterung – Faktor III

Praktische Konsequenzen: Selbstklärung vs. Zwangsklä rung

- Der Trub junger Weißweine besteht zu 99 % aus Hefezellen – nicht Schmutz.
- Die positiven Eigenschaften der postfermentativen Hefe werden besonders in der Sektbereitung gezielt genutzt.
- Unnötig frühe Filtration mikrobiologisch stabiler Weine ist der Qualität abträglich.
- Selbstklärung erleichtert die Filtration → weniger Aromaverluste durch Oxidation, Verdunstung und Adsorption.

Unnötig frühe Filtration mikrobiologisch stabiler Weine entzieht dem Wein Substanz und widerspricht dem Prinzip schonender Weinbehandlung !

Praktische Konsequenzen: Die Frage nach dem Abstich

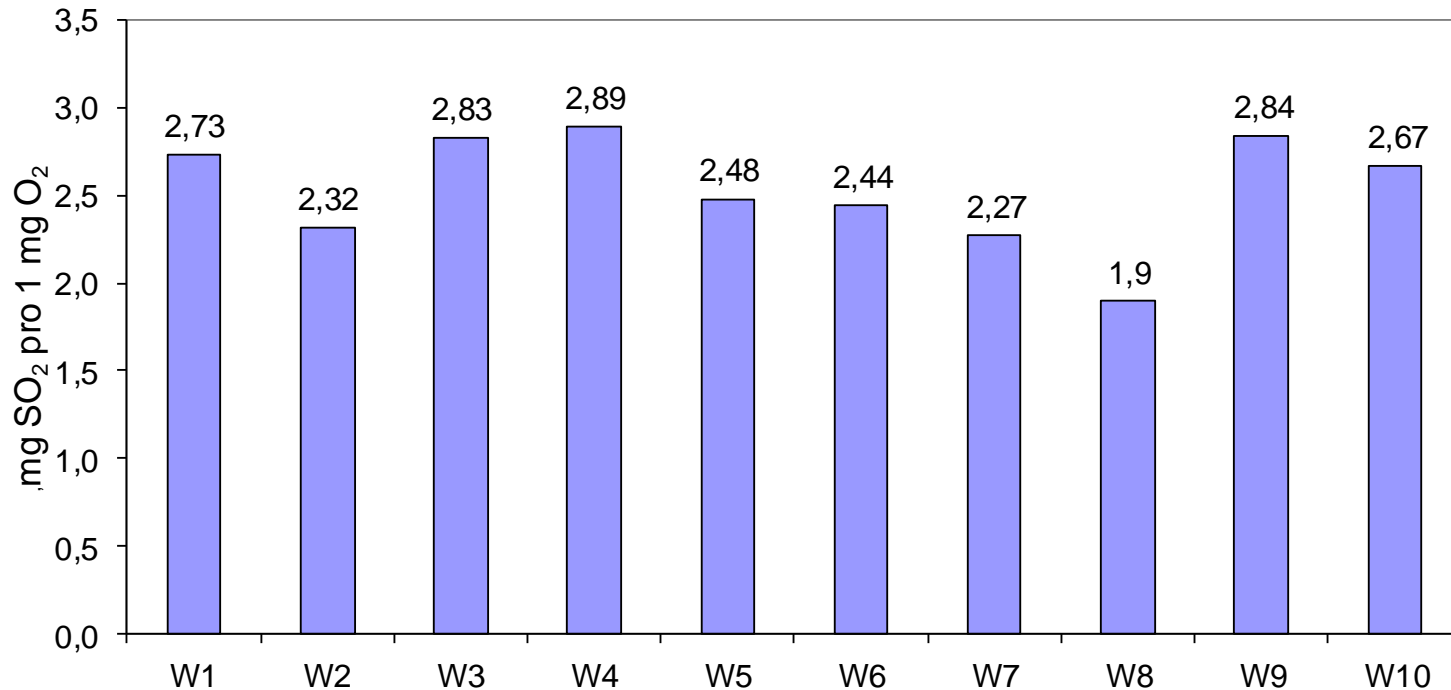
- **Eine scharfe Mostvorklärung (< 100 NTU) entfernt Schmutz : Fragmente aus Zellgewebe, Rückstände von Fungiziden, Erdreste, Schwermetalle, Vorläufer von Gerbstoffen, Vorläufer von Bocksern, Vorläufer von UTA....**
- **Nach scharfer Mostvorklärung bilden die Jungweine nur ein geringes Hefegeläger, welches praktisch nur aus Hefezellen besteht.**
- **Hefezellen sind kein Schmutz !**
- **In sensorisch sauberen Weinen aus sauberen Mosten verliert der Abzug seine Bedeutung.**

Unnötiger Abstich (Pumpen → Eintrag von Sauerstoff, Aromaverluste durch Verdunstung und Oxidation) widerspricht dem Prinzip schonender Weinbehandlung !

Wirkung von freier SO_2 auf oxidative Alterung

Verlust von SO_2 pro 1 mg O_2 bei der Umsetzung von 10 mg/L O_2 in 50 Tagen bei zehn verschiedenen Weißweinen

(stöchiometrisch maximaler Wert = 4 mg SO_2 pro 1 mg O_2)

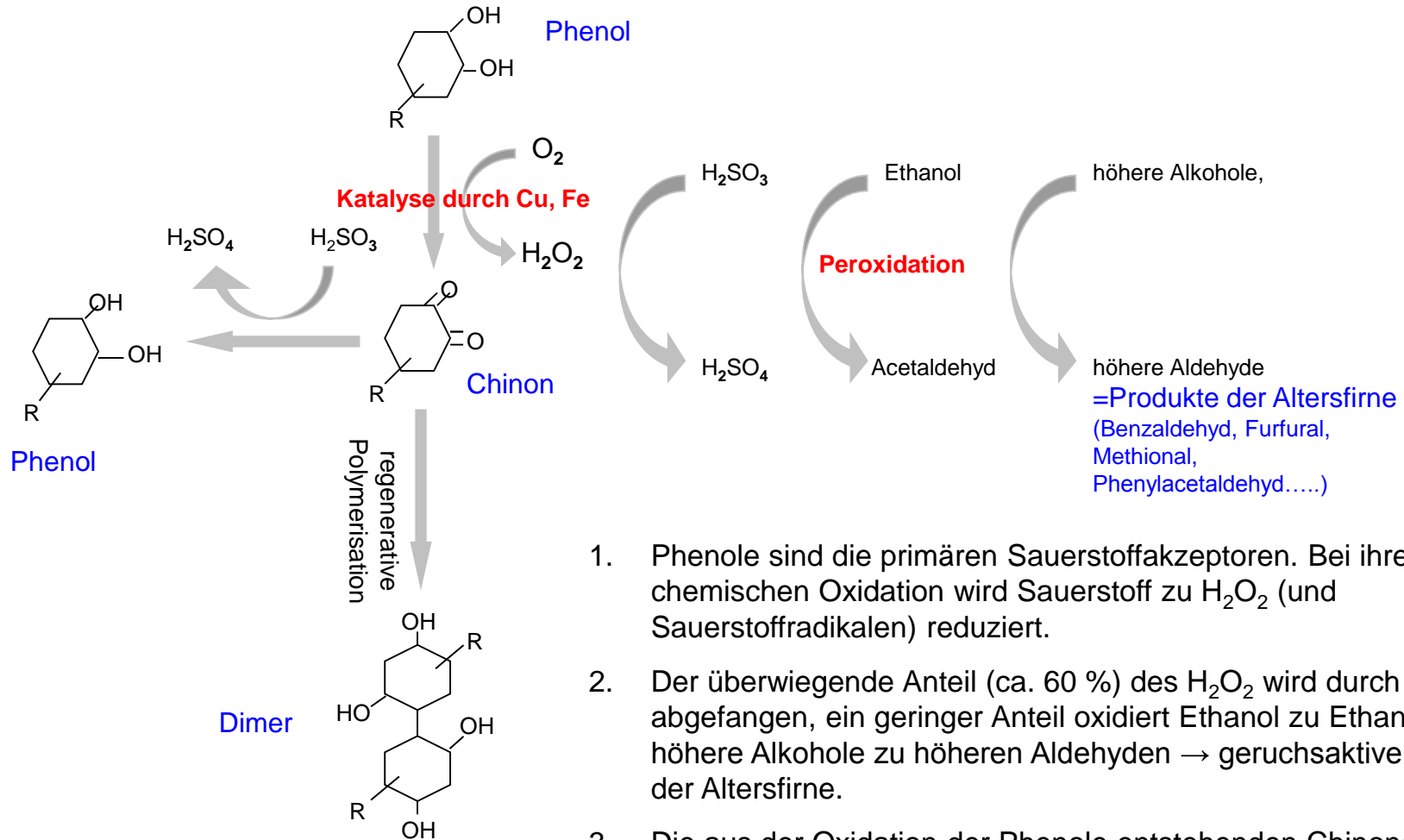


Nach den Regeln der Stöchiometrie führt 1 mg/L O_2 zur Oxidation von 4 mg/L SO_2 . In realen Weißweinen beträgt dieser Verlust jedoch durchschnittlich nur 2,5 mg/L SO_2 . Der restliche Sauerstoff – ca. 40 % – reagiert irreversibel mit anderen Weininhaltsstoffen und führt zur oxidativen Alterung.

→ Freie SO_2 schützt nur beschränkt vor oxidativer Alterung !!!

Reaktionen zwischen Sauerstoff, SO₂ und Phenolen in Weißwein

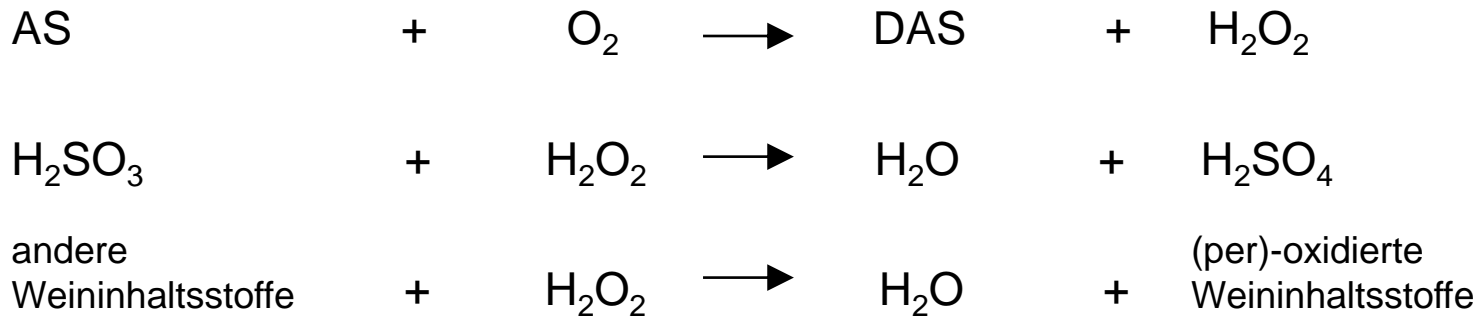
- stark vereinfacht -



1. Phenole sind die primären Sauerstoffakzeptoren. Bei ihrer chemischen Oxidation wird Sauerstoff zu H₂O₂ (und Sauerstoffradikalen) reduziert.
2. Der überwiegende Anteil (ca. 60 %) des H₂O₂ wird durch freie SO₂ abgefangen, ein geringer Anteil oxidiert Ethanol zu Ethanal sowie höhere Alkohole zu höheren Aldehyden → geruchsaktive Moleküle der Altersfirne.
3. Die aus der Oxidation der Phenole entstehenden Chinone werden teilweise durch SO₂ wieder reduziert oder polymerisieren mit einem Phenol unter Wiederherstellung der ursprünglichen Phenolgruppen (regenerative Polymerisation).
4. Mit zunehmendem Polymerisationsgrad flavonoider Phenole nimmt die Adstringenz zu.

Oxidative Alterung – Faktor III

Wirkung von Ascorbinsäure (AS) auf oxidative Alterung



Ascorbinsäure beseitigt Sauerstoff nicht wirkungslos, sondern reduziert ihn nur zu H₂O₂, welches auch bei der Oxidation des Weins (über Phenole) ohne Ascorbinsäure entsteht.

Ein geringer Anteil des H₂O₂ wird nicht spontan durch SO₂ abgefangen, sondern reagiert mit anderen Weininhaltsstoffen → oxidative Alterung wie sie auch ohne Ascorbinsäure abläuft.

→ Ascorbinsäure vermindert nicht die oxidative Alterung, wohl aber den UTA.

Beschränkte Wirkung von Reduktionsmittel

Keines der in Wein potentiell vorliegende Reduktionsmittel wie

- postfermentative Hefe
- durch die Hefe sekretierte reduzierende Aminosäuren (Cystein, Glutathion),
- freie SO_2 ,
- Ascorbinsäure
- Phenole

bringt gelösten Sauerstoff vollständig zum Verschwinden. Folglich reagiert ein Teil des Sauerstoffs mit der Weinmatrix und löst oxidative Alterung aus.

→ **Konsequenz I:**

Die oxidative Alterung kann am besten über die Minimierung des Sauerstoffzutritts kontrolliert werden.

→ **Konsequenz II:**

Die Weinbranche muss lernen, mg/L O_2 genauso zu kontrollieren wie mg/L SO_2 .

Auf diesem Prinzip beruht auch die Herstellung haltbarer Weißweine *ohne* SO_2 -Zusatz sowie von Bier.

Durchschnittliche O₂-Aufnahme bei kellertechnischen Behandlungen im Klein- und Mittelbetrieb

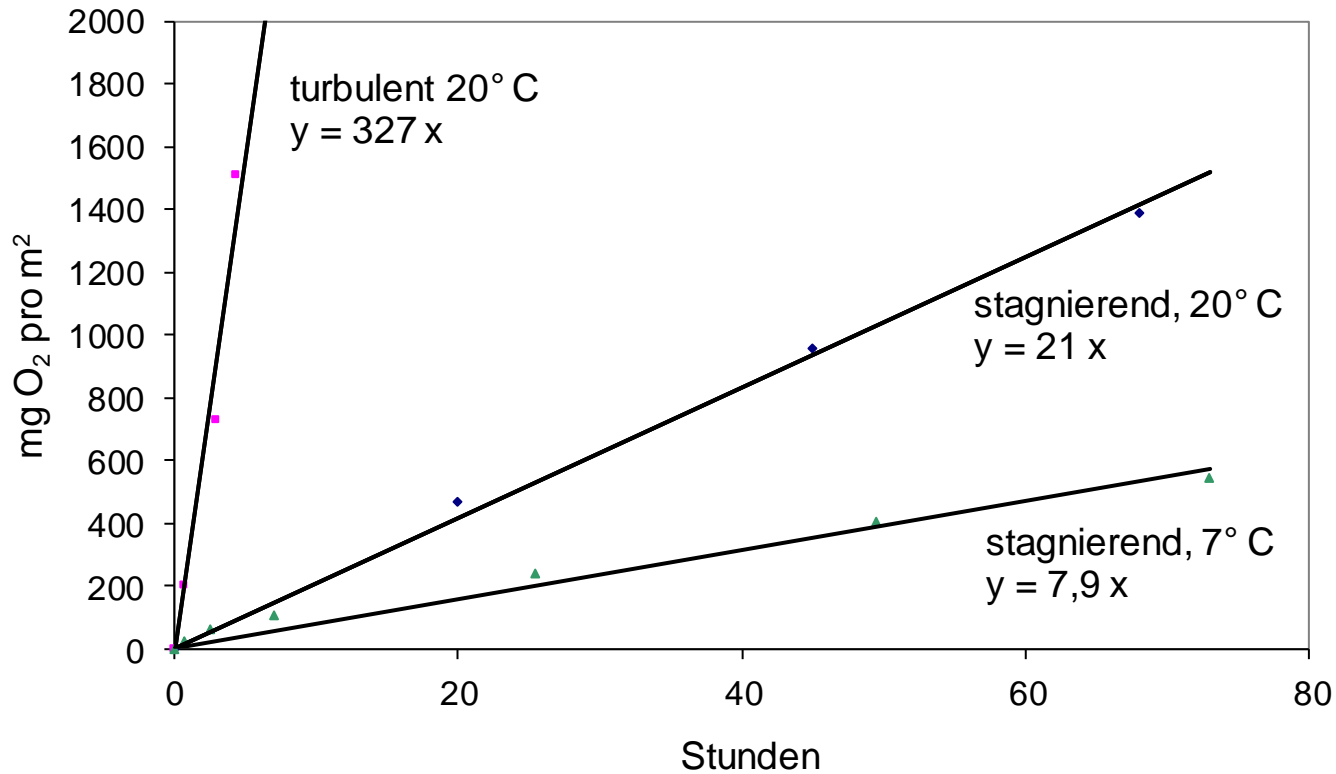
Vorgang	O ₂ , mg/L
Umlagerung, Einlauf unten	0,5 – 1,0
Umlagerung mit gelockerter Saugleitung, Einlauf unten	5 - 8
Umlagerung, Einlauf oben, über Auslaufbogen	3 - 4
Umlagerung, Einlauf oben, über Reißrohr	7 - 8
Zentrifugation	3 - 4
Kieselgurfiltration	2 - 4
Cross-Flow-Filtration	2 - 4
Schichtenfiltration	1 - 2
Rühren	1 - 4
Transport in teilbefüllten Tanks	5 - 7
Abfüllung	1 - 2
Lagerung im großen Holzfass, pro Jahr	10
Lagerung im Barrique, pro Jahr	20-30

**Je kleiner das Weinvolumen, desto geringer ist der Sauerstoffeintrag in mg/L
→ Problem der Behandlung kleiner Gebinde.**

Oxidative Alterung - Faktor II

Aufnahme atmosphärischen Sauerstoffs über die Oberfläche in nicht beigefüllten Behältern.

O₂-Aufnahme über die statische bzw. turbulente Oberfläche bei Normaldruck und verschiedenen Temperaturen (13 % Ethanol, pH 3,5; 200 mg/L Ascorbinsäure)



Der Wein nimmt Sauerstoff auf, sobald er mit Luft in Kontakt ist. Gegenüber einer ruhenden Oberfläche ist die Sauerstoffaufnahme über eine turbulente Oberfläche um ein Vielfaches höher.

Oxidative Alterung – Faktor II

Zusammenfassung:

**Koeffizienten des Sauerstofftransfers über die Flüssigkeitsoberfläche,
in mg / m² · Tag**

~ : abhängig von der Intensität der Turbulenz

	20° C	7° C
statische Oberfläche	21	7,9
turbulente Oberfläche	~ 327	~ 950

Unter den Bedingungen einer statischen Oberfläche wird die Aufnahme von Sauerstoff in der Kälte gemindert, weil die Diffusion innerhalb der Flüssigkeit verlangsamt ist. Dadurch wird der Effekt der besseren Löslichkeit in der Kälte zunichte gemacht.

Eine Turbulenz beschleunigt die Aufnahme von Sauerstoff durch seine schnellere Verteilung innerhalb der Flüssigkeit.

Aufnahme und Bindung des Sauerstoffs im Wein:

Oder: Was passiert mit dem Sauerstoff im Wein ?

2 Phasen :

1. Lösung atmosphärischen Sauerstoffs im Wein:

Keine sensorischen Konsequenzen; der als Gas gelöste Sauerstoff kann analytisch erfasst werden.

2. Bindung des gelösten Sauerstoffs an Weininhaltsstoffe:

Der gebundene Sauerstoff ist verschwunden und entzieht sich der Messung; sensorische Konsequenzen stellen sich ein.

2 Reaktionsmodelle :

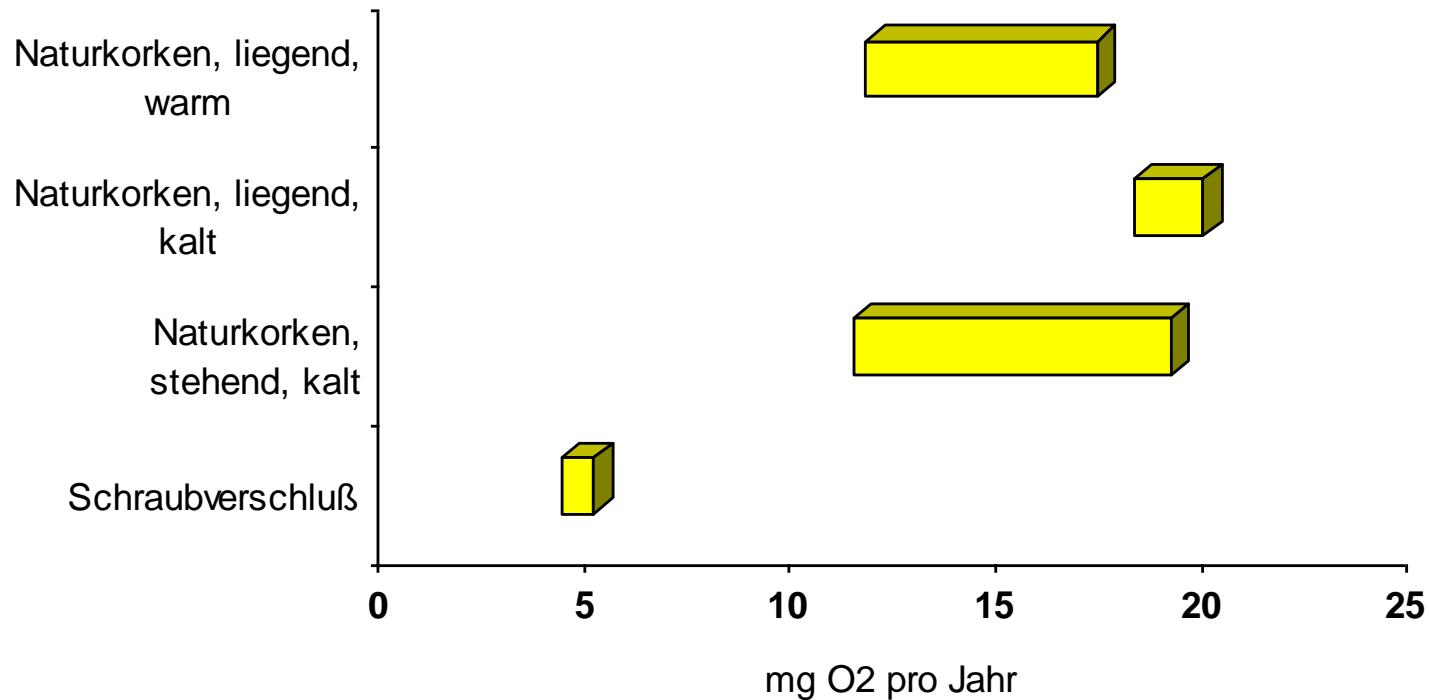
- Die Lösung des Sauerstoffs im Wein ist schneller als seine Bindung
→ Zunahme des gelösten Sauerstoffs.
- Die Lösung des Sauerstoffs ist langsamer als seine Bindung
→ kein gelöster Sauerstoff messbar.

Der analytisch gemessene Gehalt an gelöstem Sauerstoff entspricht dem momentanen Nettowert zwischen Lösung und Bindung.

Oxidative Alterung – Faktor II

Sauerstoffdiffusion (mg O₂ / Jahr) durch verschiedene Flaschenverschlüsse in Abhängigkeit von der Lagerart.

Beobachtungen im 1. Jahr nach der Abfüllung.

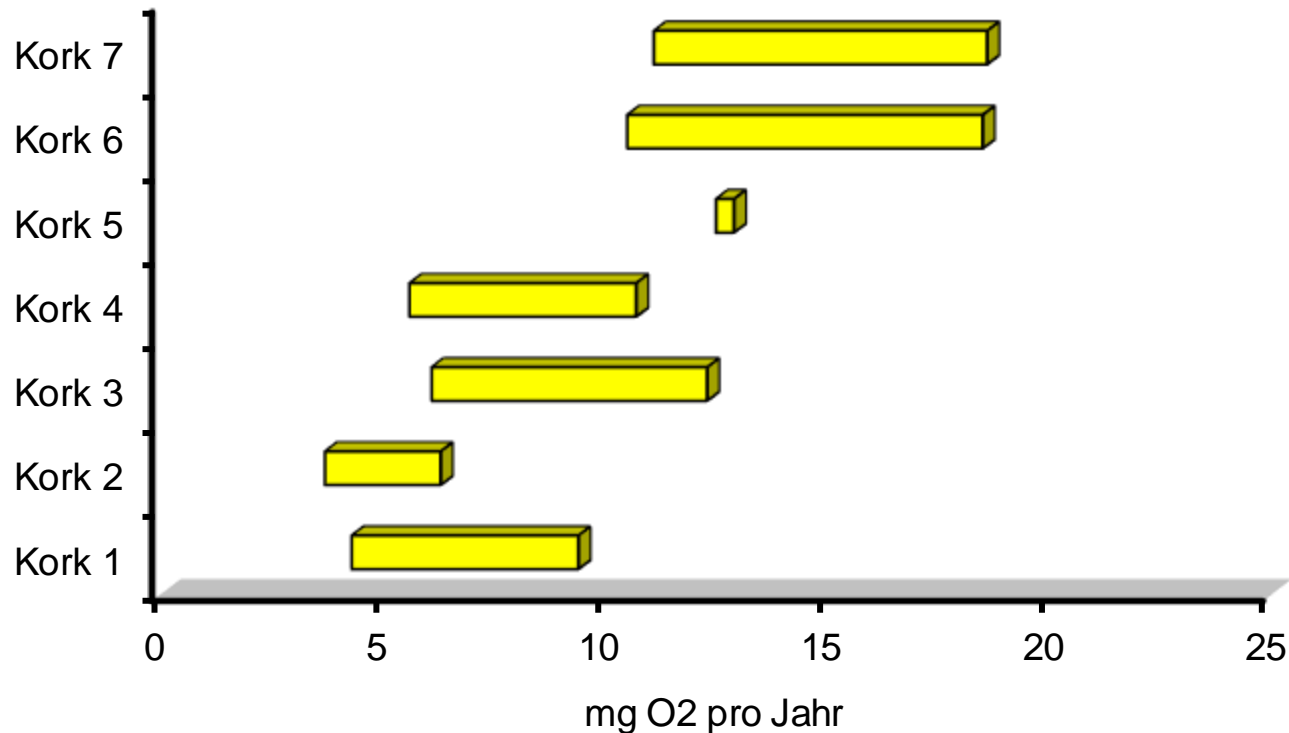


Schrauber mit Zinn-Saran- oder Saranex-Dichtscheibe sind deutlich gasdichter als die meisten Naturkorken !

Oxidative Alterung – Faktor II

Sauerstoffdiffusion (mg O₂ pro Jahr) durch Naturkorken verschiedener Chargen bei stehender Lagerung und 10-15° C.

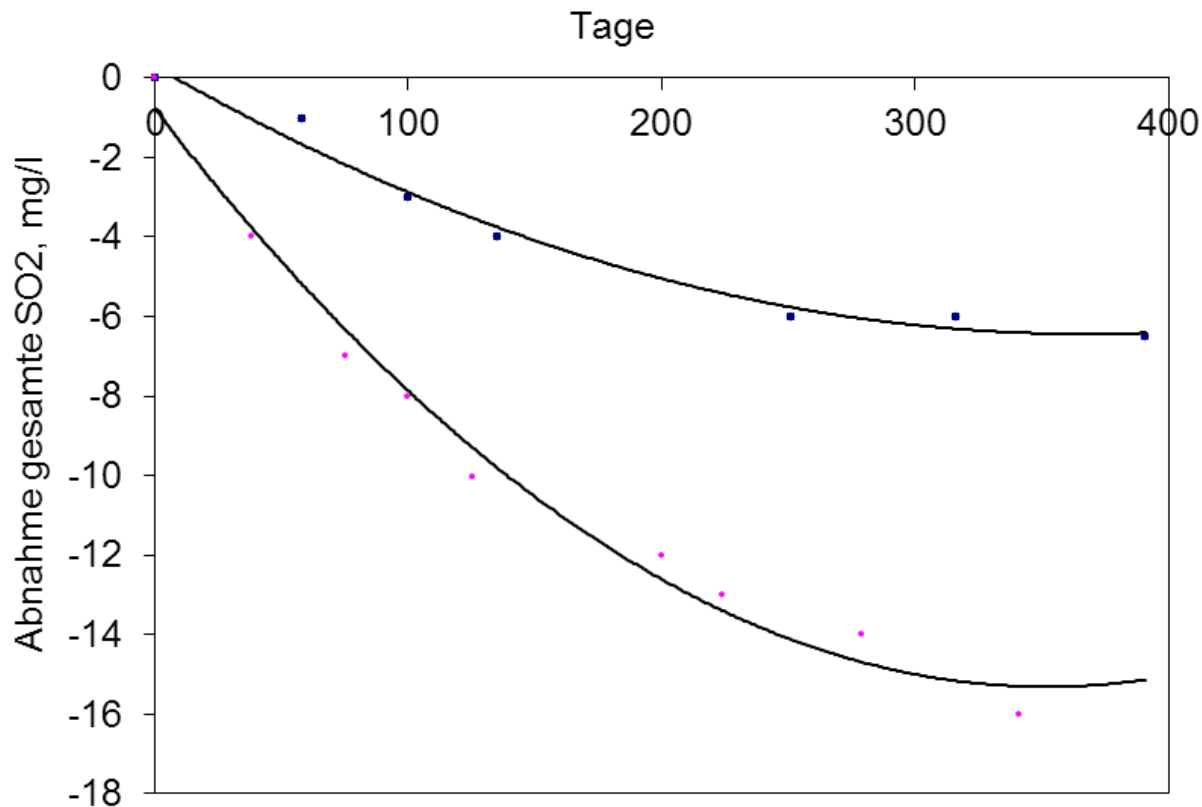
Schwankungsbreite von 3 Einzelstücken pro Charge im 1. Jahr nach Abfüllung.



Die O₂-Durchlässigkeit von Naturkorken streut stark (Faktor 2-3) innerhalb einer Charge → Problem unterschiedlich gealterter Flaschen innerhalb der gleichen Füllung, *random oxidation*.

Oxidative Alterung – Faktor II

Abnahme der SO₂ durch Oxidation bei der Lagerung eines mit unterschiedlichen Korken verschlossenen Weißweins.



In den ersten 250 Tagen nach der Abfüllung mit Kork ist die O₂-Aufnahme am stärksten, bedingt durch die Aufnahme von O₂ aus dem Zellgewebe des Korkens und aus dem Kopfraum.

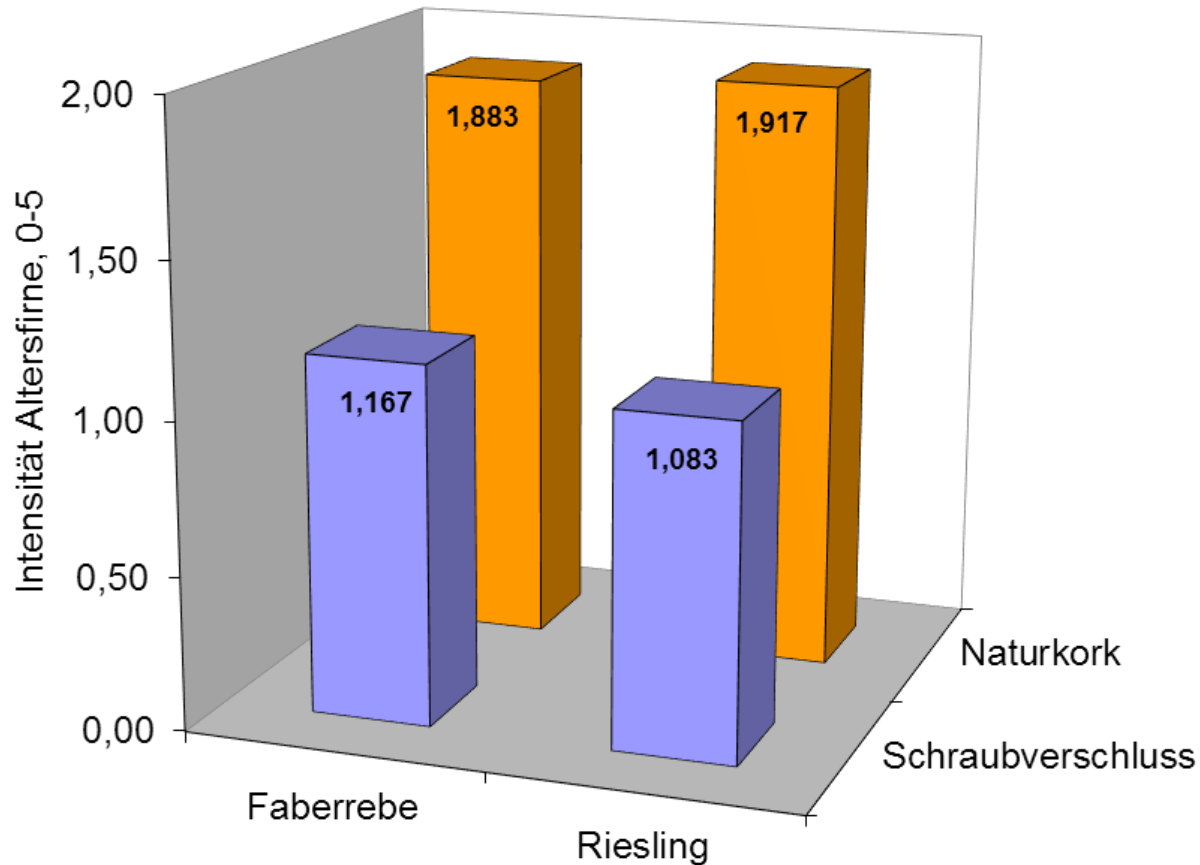
Dichtigkeit (OTR) verschiedener Flaschenverschlüsse gegenüber atmosphärischem Sauerstoff

OTR (oxygen transmission rate) in mg O₂ / Jahr

- Schraubverschluss mit Zinn-Saran-Dichtscheibe: 0,0 mg /Jahr
- Schraubverschluss mit Saranex-Dichtscheibe: 1,0 – 1,5 mg / Jahr
- Schraubverschluss mit Compound-Einlage (PVC oder LDPE): 1,4 mg / Jahr
- Technische Korken (Agglomeratkorken): 1 – 3 mg / Jahr
- Naturkorken: 3 – 20 mg / Jahr im ersten Jahr, danach weniger
- Synthetische Korken: 5 – 20 mg / Jahr, abhängig von Hersteller, ständige Verbesserung

Die OTR des Flaschenverschlusses hat erheblichen Einfluss auf die oxidative Alterung, bei mehrjähriger Lagerung deutlich mehr als im ersten Jahr nach der Abfüllung.

Einfluss des Flaschenverschlusses auf die Altersfirne von zwei Weißweinen nach 10 Monaten Flaschenlager



Schrauber mit Zinn-Saran-Dichtscheibe mindern Altersfirne durch perfekten Sauerstoffabschluss.

Der Sauerstoff in der Flasche. Der Begriff des "total package oxygen"

Nach der Abfüllung unterliegt der Wein dem Einfluss von Sauerstoff, der aus 4 Quellen resultiert:

- Sauerstoff, der durch den Kork diffundiert (im Allgemeinen hohe Diffusion für synthetische Korken, sehr variable Diffusion für Naturkorken, und gleichmäßig geringe Diffusion für Schrauber).
- Sauerstoff, der im Gewebe des Korks enthalten ist.
- Sauerstoff, der im Kopfraum der Flasche enthalten ist.
- Sauerstoff, der bei der Abfüllung bereits gelöst ist oder wird.



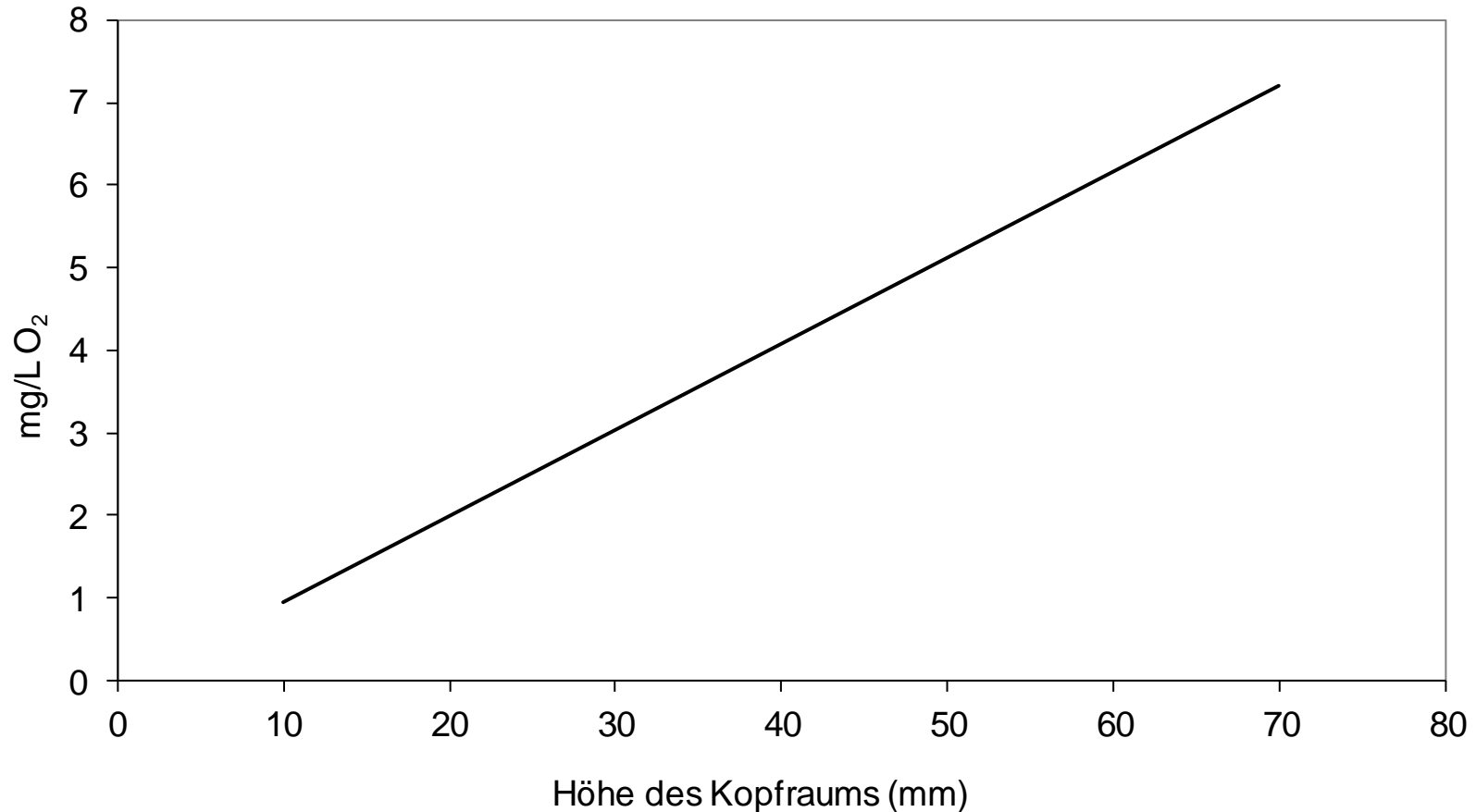
Σ = total package oxygen (TPO), in mg

. = Gesamtmenge des in der Flasche enthaltenen O_2 , in mg

Aus dem TPO ergibt sich die Abnahme der SO_2 nach der Abfüllung. Wenn die freie SO_2 vollständig durch Oxidation verschwunden ist, tritt ein Luftton (freier Ethanal) auf.

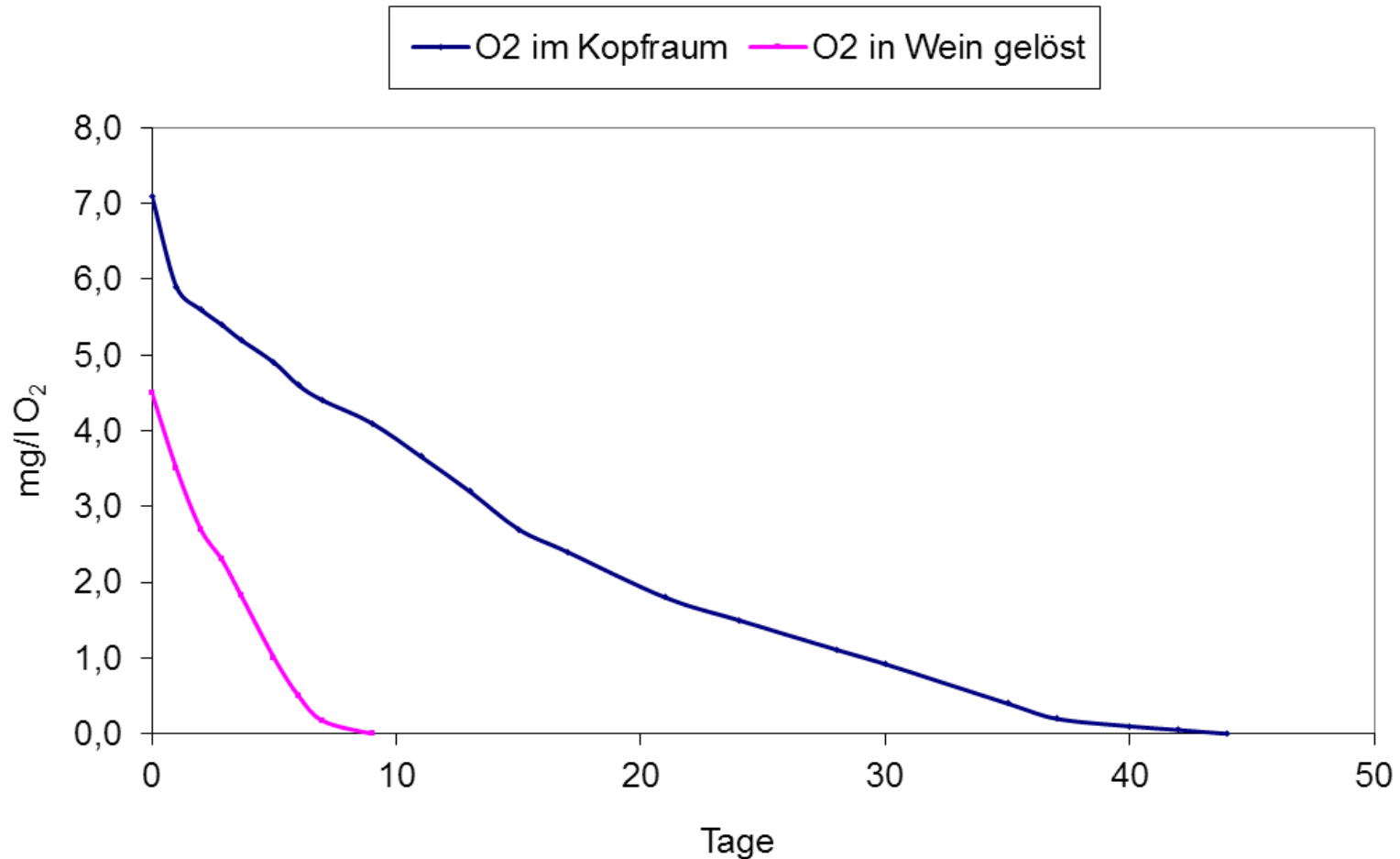
Oxidative Alterung – Faktor II

Sauerstoffaufnahme (mg/L O₂) aus dem mit Luft gefüllten Kopfraum einer Flasche von 0,75 L



Der größere Kopfraum unter Schraubern kann den Effekt ihres guten Sauerstoffabschlusses zunichte machen, falls keine Kopfraumpülung mit Inertgas erfolgt !

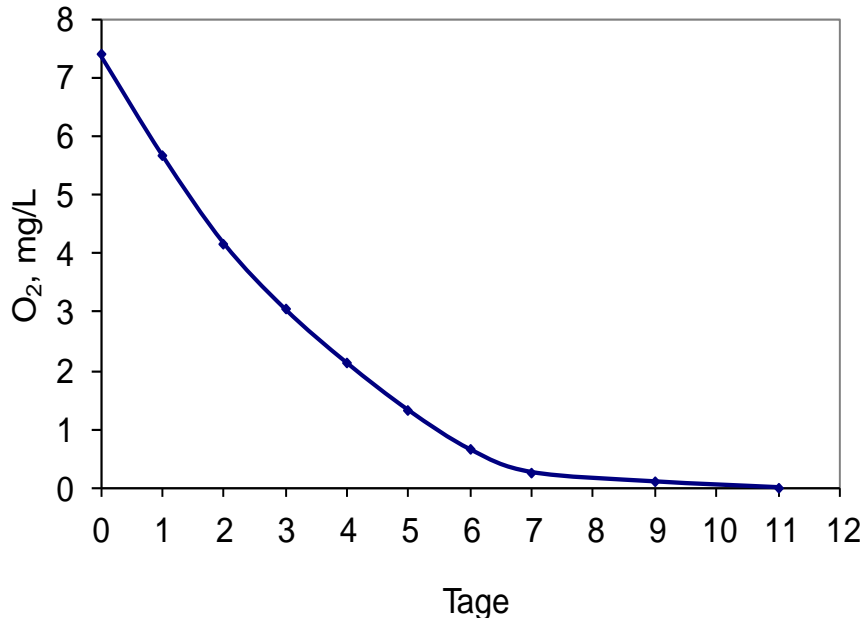
Abbau des Sauerstoffs eines handelsüblichen Weißweins nach der Abfüllung mit Schraubverschluss, differenziert nach Sauerstoff im Kopfraum und im Wein gelösten Sauerstoff.



Der im Kopfraum befindliche Sauerstoff benötigt 1 - 2 Monate, bis er vollständig in den Wein diffundiert ist und sich abreagiert hat. Danach ist die SO₂ stabil.

Problematik der SO₂-Stabilisierung vor dem Abfüllen

Abbau des gelösten O₂ in einem typischen Weißwein ohne Kopfraum :



- Vor der Abfüllung werden die Weine be- /misshandelt und nehmen dabei Sauerstoff auf.
- Dieser Sauerstoff geht zu Lasten der SO₂, wobei 1 mg O₂ zur Oxidation von ca. 2,5 mg/L SO₂ führt.
- Die Kenntnis der freien SO₂ ist nur so viel wert, wie man auch den momentanen Gehalt an gelöstem Sauerstoff kennt.
- Der überwiegende Anteil (80-90 %) des im Wein gelösten Sauerstoffs ist in ca. 1 Woche abreagiert (negative Exponentialfunktion).
- Füllweine sollten daher ca. 1 Woche unter Luftabschluss liegen, bevor die SO₂ eingestellt wird, ggf. durch mehrmaliges Kontrollieren.

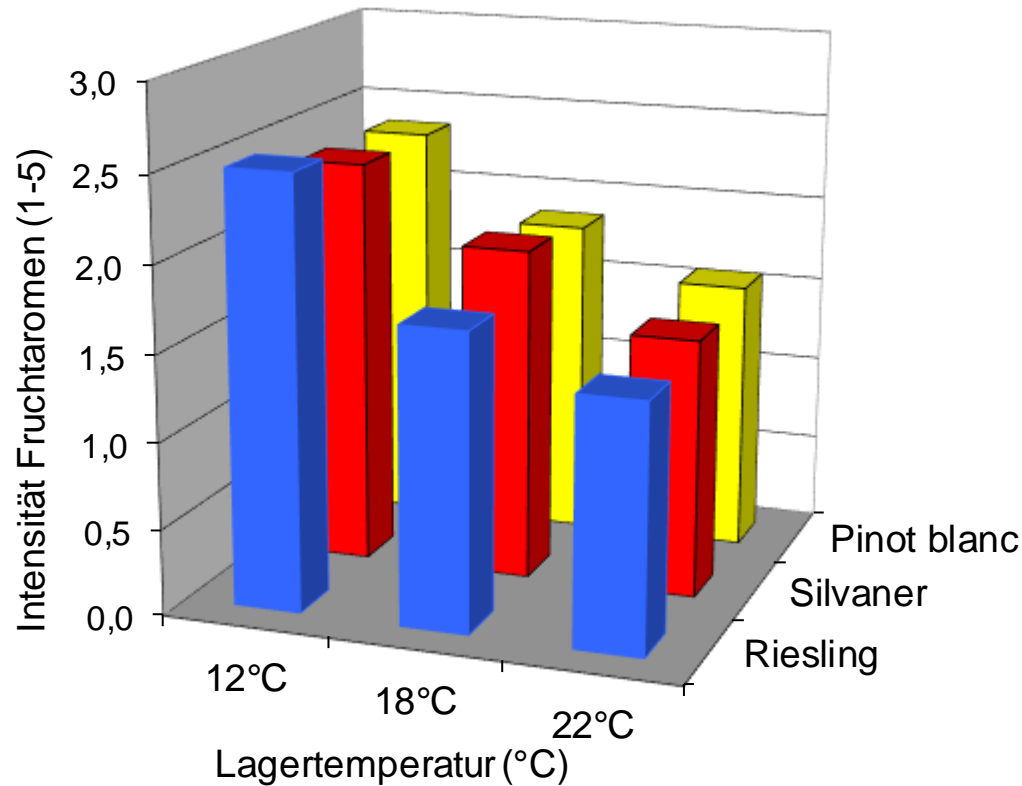
Der bereits beim Abfüllen im Wein gelöste Sauerstoff ist leicht zu messen und zu minimieren, er wird jedoch durch variable Mengen von Sauerstoff aus dem Kopfraum der Flaschen erhöht → Vorteil der Inertisierung des Kopfraums.

Zusammenfassung: Schutz vor Oxidation

- Wein nimmt O_2 auf bei jeder Behandlung im Keller, bei der Lagerung unter Oberfläche, beim Abfüllen, aus dem Flaschenkopfraum und ggf. durch den Flaschenverschluss.
- Die nach der Gärung suspendierte Hefe vermag bei geringen ($< ca. 20 \text{ mg/L}$) Gehalten an freier SO_2 erhebliche Mengen gelösten Sauerstoffs zu konsumieren, der so zur Oxidation des Weins nicht mehr zur Verfügung steht.
- Filtration entfernt den Oxidationsschutz durch Hefe.
- Eventuelle Schönungen und Entsäuerungen sind daher vor der Filtration durchzuführen.
- Im filtrierte Wein werden nur 50-70 % des O_2 durch die SO_2 abgefangen; der Rest verbleibt bei anderen Weininhaltsstoffen und induziert oxidative Alterung.
- Durch die Reduktion des O_2 fallen H_2O_2 und Sauerstoffradikale an, welche die eigentlichen Oxidantien darstellen.
- Ascorbinsäure eliminiert keinen Sauerstoff, sondern überträgt ihn nur beschleunigt als H_2O_2 auf andere Weininhaltsstoffe.
- Daher eignet sich Ascorbinsäure nicht zur Minderung der oxidativen Alterung, sondern nur zur Verhinderung von UTA.
- Unter dem Aspekt der Haltbarkeit der Weine unterscheiden sich die Flaschenverschlüsse in ihrer OTR.

Oxidative Alterung – Faktor IV

Abhängigkeit der geruchlich wahrnehmbaren Fruchtaromen von drei mit Kork abgefüllten Weißweinen nach 10 Monaten Lagerung bei verschiedenen Temperaturen.



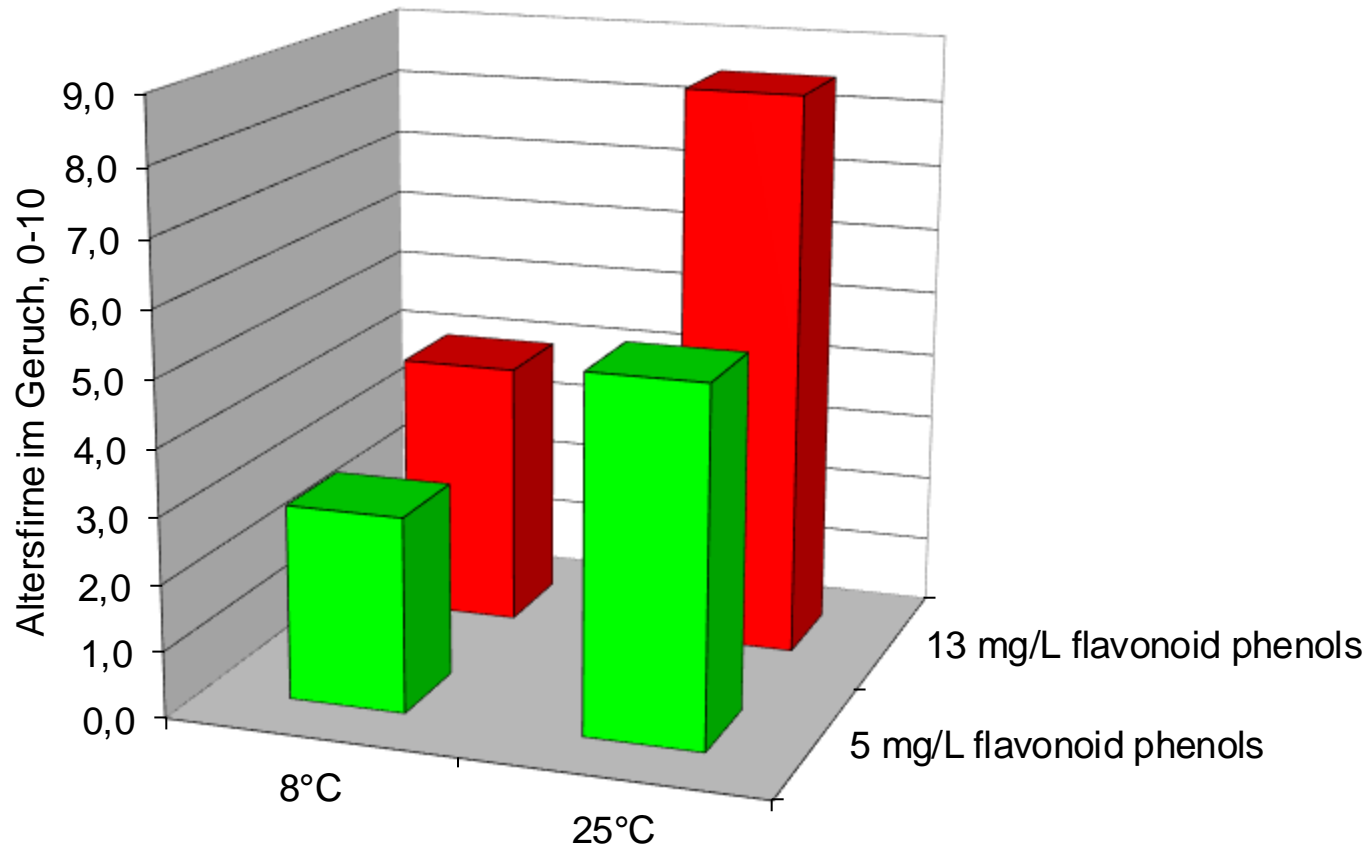
Warmes Flaschenlager beschleunigt die oxidative Alterung. Unterschiede von 5° C geben sich bereits nach 3 Monaten sensorisch signifikant zu erkennen.

Auch unter anoxischen Bedingungen (Schraubverschluss mit Dichtscheibe aus Zinn-Saran) entstehen bei warmer Lagerung Moleküle (Pyrazine, Thiazole, Oxalone, Lactone), die an Altersfirne erinnern. Verantwortlich dafür sind Reaktionen der Maillard- und Strecker-Art.

Oxidative Alterung – Faktor IV

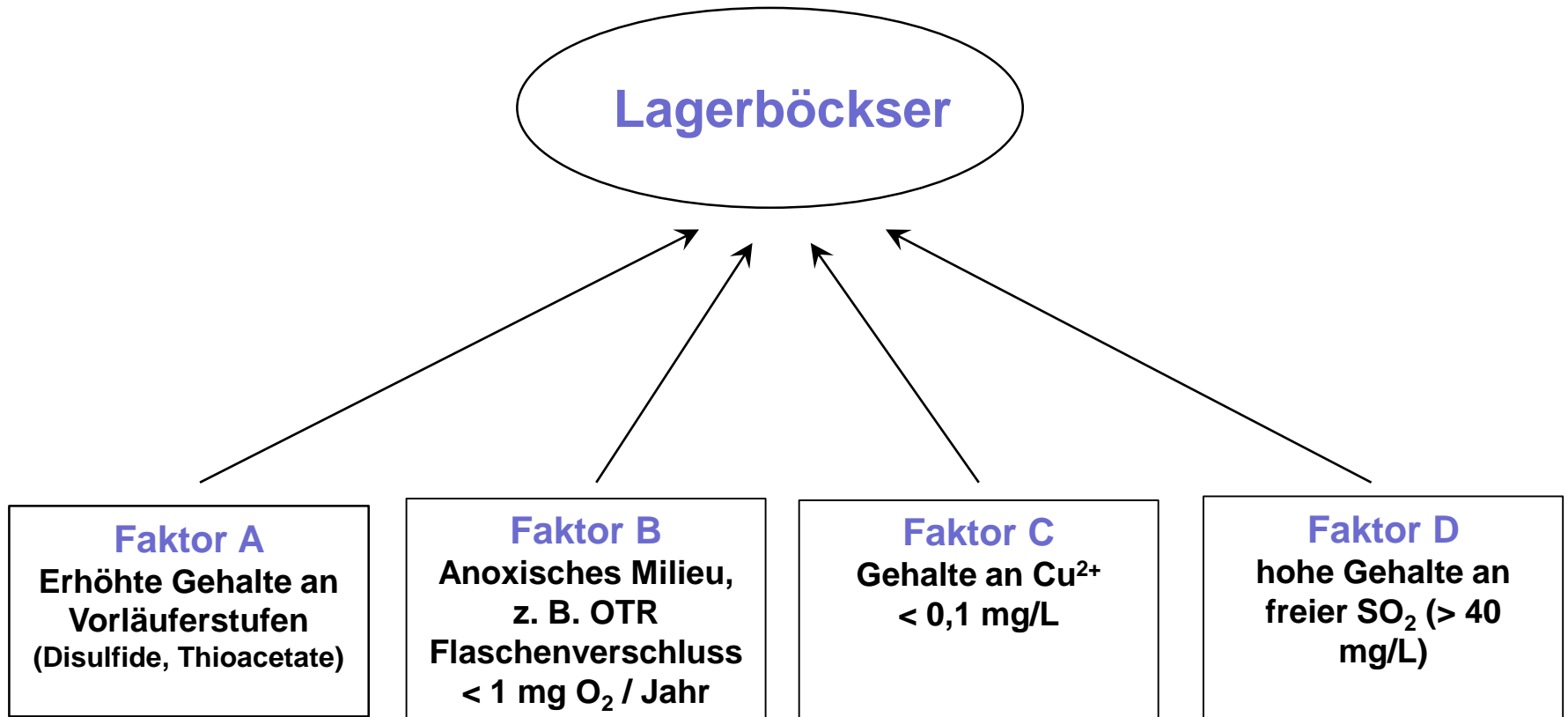
Einfluss von Temperatur und Phenolgehalt auf die Entstehung von Altersfirne bei Riesling.

Effekt nach 4 Monaten Flaschenlager mit Korkverschluss.



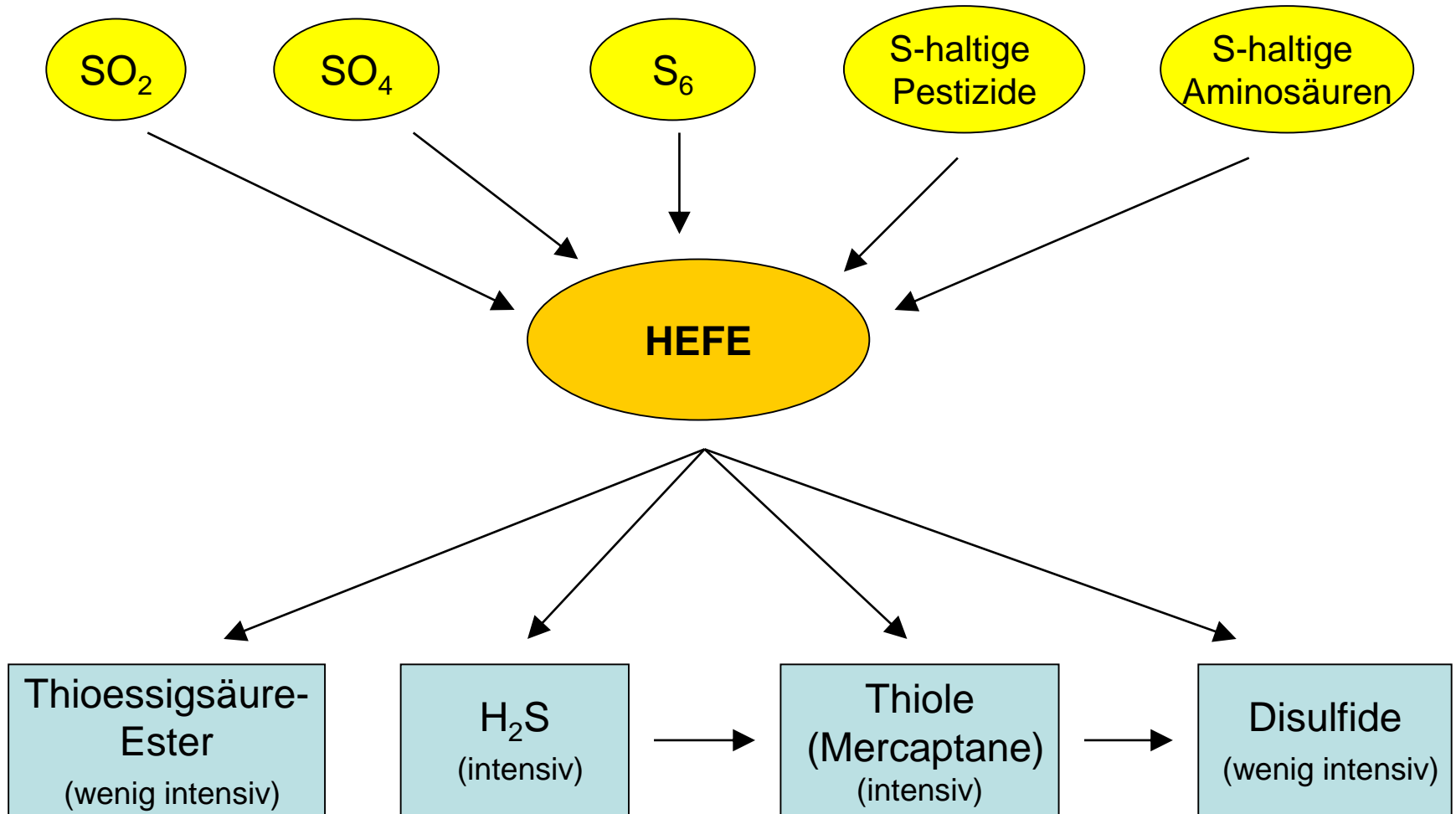
Bei der Bildung von Altersfirne potenzieren sich die Effekte von flavonoiden Phenolen und Temperatur !

Reduktive Alterung (Lagerböckser) – beschleunigende Faktoren



Bei der Ausbildung von reduktiver Alterung wirken stets mehrere Faktoren zusammen.

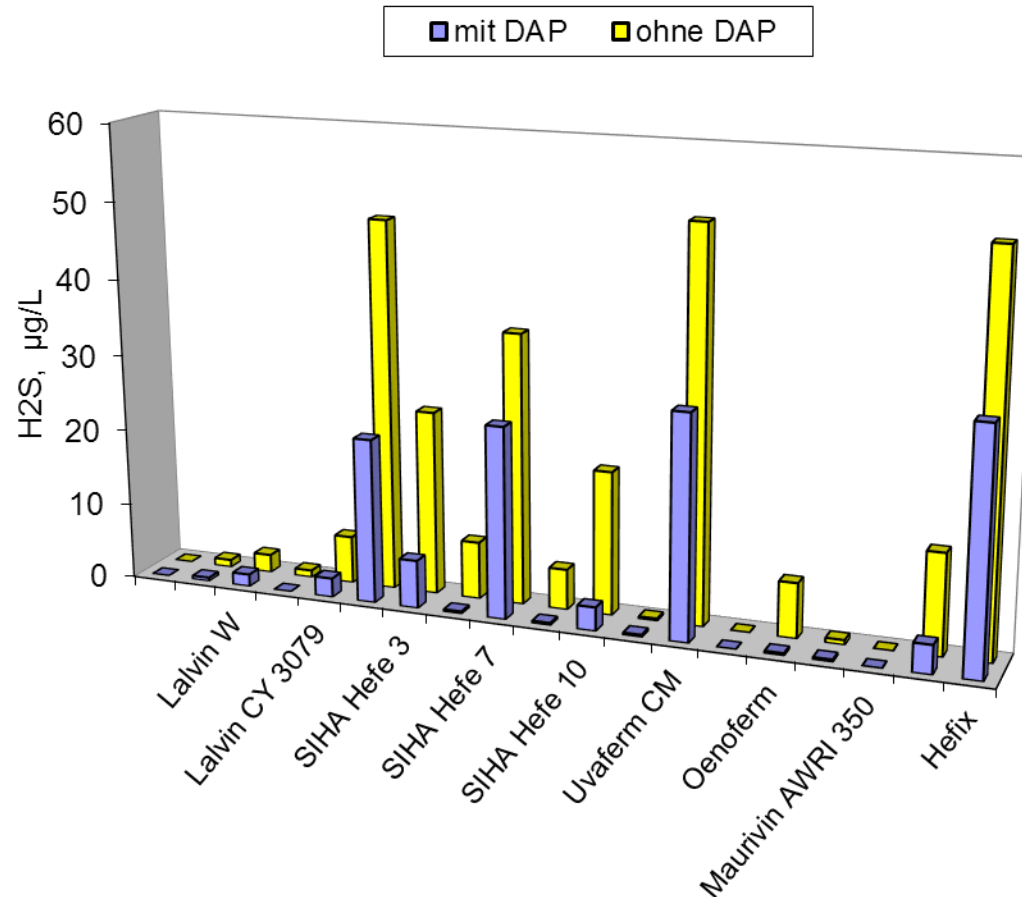
Bildung von Böcksern und deren Vorläuferstufen durch Hefe



Scharfe Mostvorklärung mindert Ausgangssubstanzen von Böckser und Lagerböckser.

Bildung von H₂S während der Gärung mit 18 verschiedenen Hefen (20 g/hl)

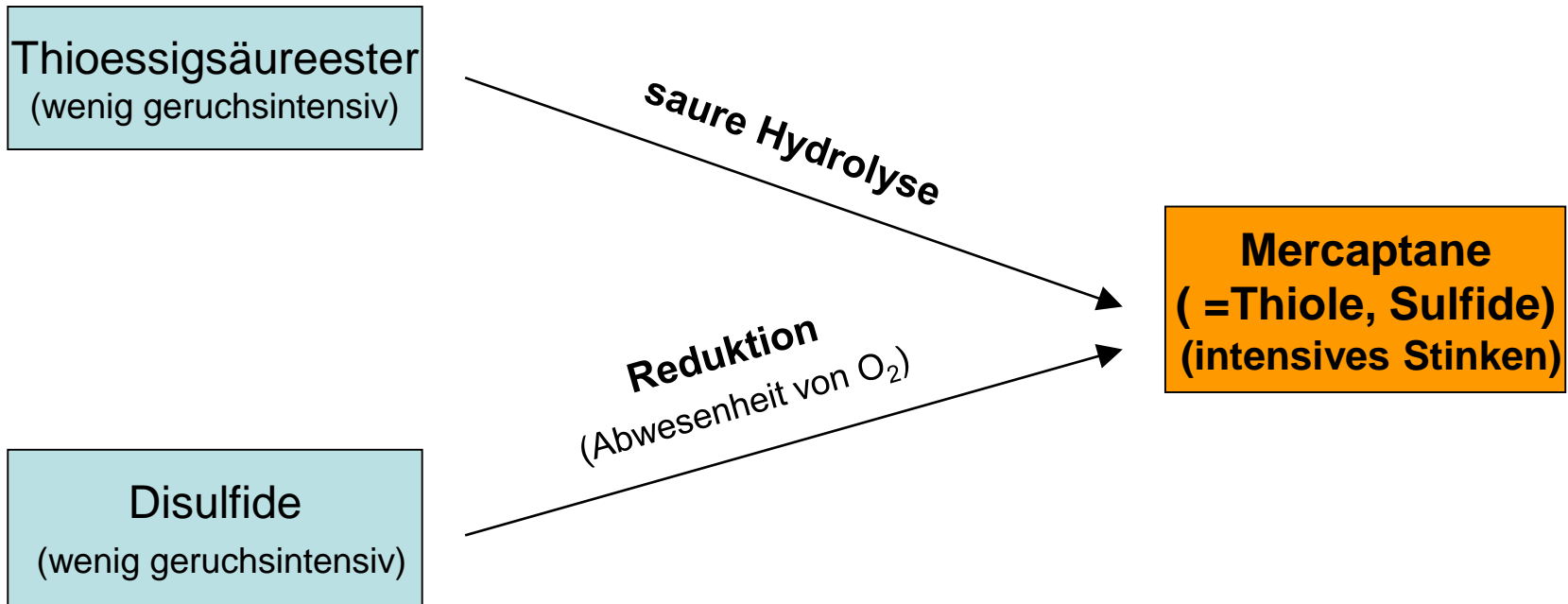
Mittelwerte von 2 Mosten jeweils ohne und mit Gärersalz (30 g/hl).



Die Bildung von H₂S während der Gärung ist der Indikator für einen gestörten S-Stoffwechsel der Hefe und die Bildung anderer S-Verbindungen, die als Vorläuferstufen späterer Lagerböckser dienen.

Sie wird durch eine gute YAN-Versorgung, z. B. durch Dosage von DAP, wesentlich verringert.

Entstehung von Mercaptanen aus Precursoren



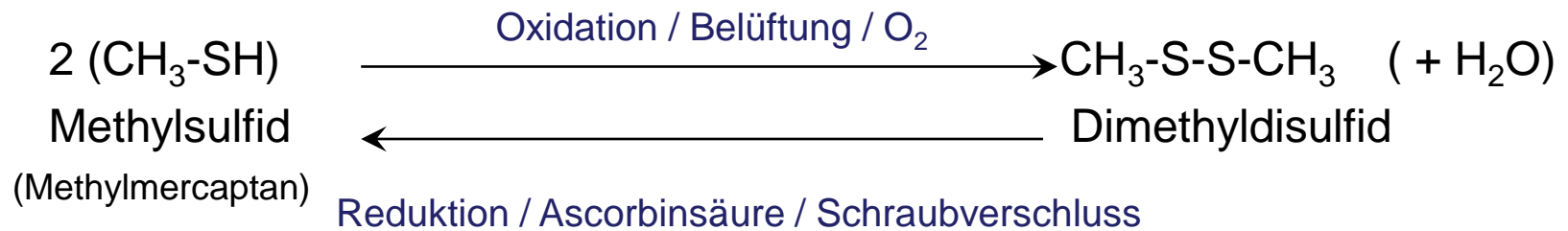
Die Bildung von Lagerböcksern ist überwiegend auf die Entstehung von Mercaptanen zurückzuführen. Diese stinken ca. 10 Mal stärker als ihre Vorläuferstufen - Disulfide und Thioacetate.

Weine enthalten diese Vorläuferstufen späterer Böckser in unterschiedlichen Konzentrationen.

In anoxischen Milieu und bei Cu-Karenz bleiben die entstehenden Mercaptane erhalten.

Reduktive Alterung – Faktor B

Einfluss von Sauerstoff und Redoxpotenzial auf Böckser



Die aus den Vorläuferstufen entstehenden Mercaptane bleiben im anoxischen Milieu erhalten.

Bei Sauerstoffzufuhr werden die Mercaptane teilweise wieder zu geruchsschwachen Disulfiden oxidiert – und bei nachfolgender Reduktion wieder zurückgebildet.

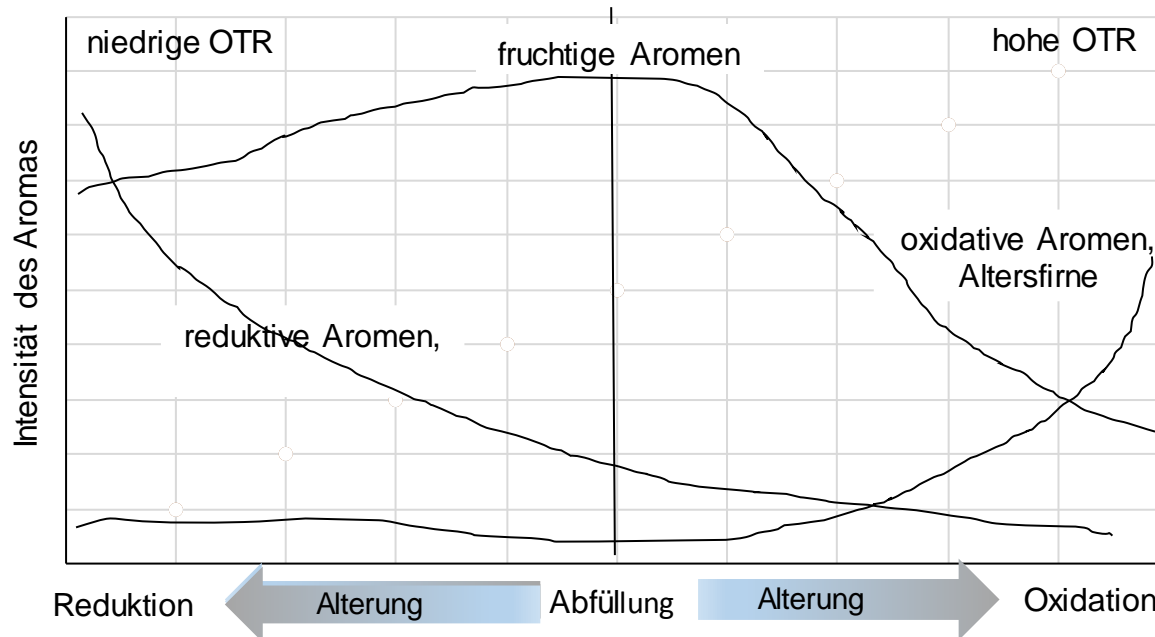
Das dynamische Gleichgewicht zwischen Mercaptanen und Disulfiden ist abhängig vom Redoxzustand des Weins und der OTR des Flaschenverschlusses.

→ Lösung I: Verwendung von Flaschenverschlüssen mit erhöhter OTR.

Reduktive Alterung – Faktor B

Einfluss der OTR des Flaschenverschlusses auf die Alterung (reduktiv vs. oxidativ) des Weins

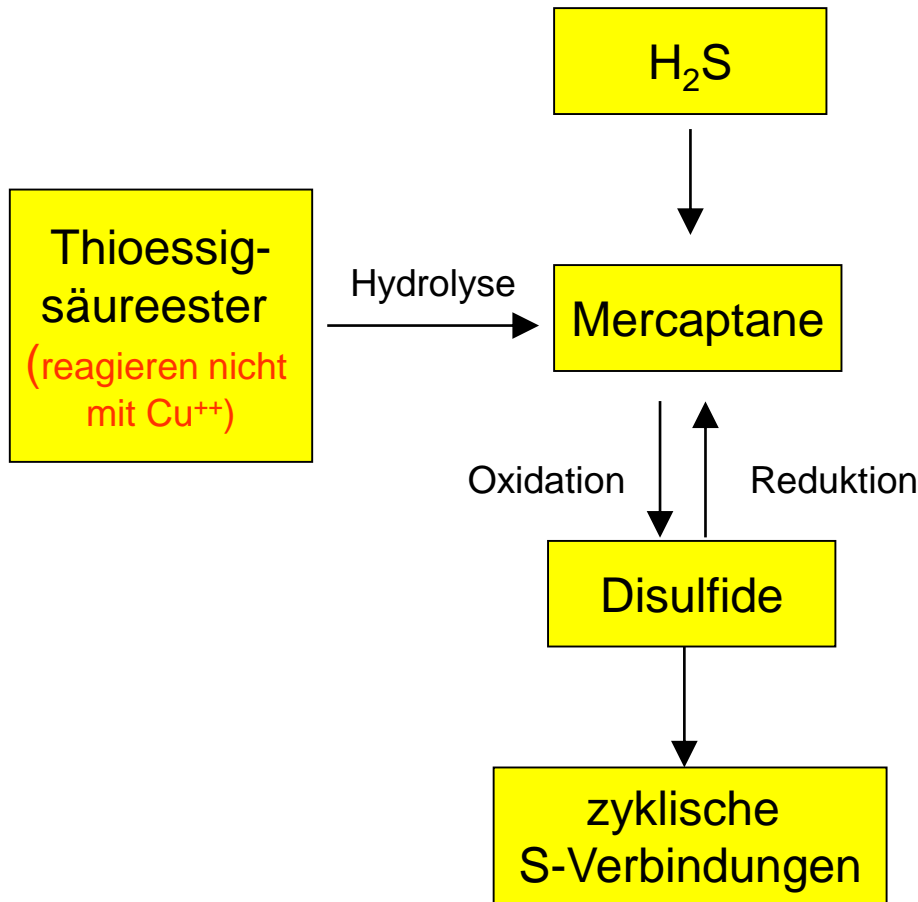
(nach Ugliano et al. 2009)



Sauerstoff durch Verschlüsse mit erhöhter OTR verhindert die reduktive Alterung, fördert aber die oxidative Alterung.

Die OTR des Flaschenverschlusses entscheidet, ob die Entwicklung des Weins während der Alterung mehr in die reduktive oder mehr in die oxidative Richtung getrieben wird.

Reaktionsfähigkeit flüchtiger S-Verbindungen mit Cu-Ionen



REAKTION bzw. BEHANDLUNG :

Verdunstung, Oxidation, Cu^{++} , Ag^+

Ausfällung mit Cu^{++} , Ag^+

Keine Reaktion bzw. mit Cu / Ag ,
aber nach Reduktion (Ascorbat!) zu
Mercaptanen

keine Reaktion ("abgehockt")

Mercaptane (Thiole) reagieren wie H_2S mit Cu- und Ag-Ionen

→ Lösung II: Zusatz von Cu-Ionen, gezieltes Cu-Management

Böcksertest / Korrektur der natürlichen Kupferkarenz

100 mg Kupfersulfat in 1 Liter Wasser lösen.

Von dieser Lösung entspricht:

1 mL / 100 mL Wein = 0,1 g/hl Kupfersulfat
= 0,25 mg/L Kupfer (als Cu)

Steigende Reihe mit 0,10; 0,15; 0,20 etc.....g/hl Kupfersulfat.

Sensorische Bewertung nach 2-3 Minuten bei Raumtemperatur.

"Dienliche“ Spuren von Kupferionen (0,2 - 0,5 mg/L Cu²⁺) fangen Mercaptane ab in dem Maße, wie sie während der reduktiven Alterung entstehen.

Auf saubere Weine angewandt zeigt der Böcksertest, dass diese geringen Mengen von Kupfer (bis 0,5 mg/L Cu²⁺) der Aromatik nicht abträglich sind ! Ausnahme = Sauvignon blanc und einige andere Rebsorten mit sensorisch relevanten Gehalten an sogenannten Aromathiolen.

Aber: Cu-Gehalte > 0,5 mg/L im anoxischen Milieu wirken kontraproduktiv.

Lösungstabilität von Cu²⁺ = 0,5 mg/L ohne und 0,3 mg/L mit Ascorbinsäure.

Reduktive Alterung – Faktor C

Kupfersulfat vs. Kupfercitrat

Cu⁺⁺ fällt Thiole (Mercaptane) und H₂S.

Alle Kupfersalze dissoziieren im Wein.

Das Anion (Sulfat, Chlorid, Carbonat, Citrat....) verbleibt wirkungslos im Wein.

Kupfer:	Cu ⁺⁺ ;	MG = 63,55
Kupfersulfat:	CuSO ₄ x 5 H ₂ O;	MG = 249,68
Kupfercitrat:	Cu ₃ (C ₆ H ₅ O ₇) ₂ ;	MG = 568,84

Kupfersulfat enthält 25,5 % Cu⁺⁺ (= 100 %)

Kupfercitrat enthält 33,5 % Cu⁺⁺ (= 131 %)

Da Kupfercitrat 31 % mehr Cu⁺ als Kupfersulfat enthält, benötigen wir davon eine um 31 % geringere Aufwandmenge zur Behandlung / Prävention des gleichen Böckers. Die Menge an Kupferionen ist identisch !

Bezogen auf die Menge des eingebrachten Cu⁺⁺ ergeben sich keine sensorisch signifikanten Unterschiede zwischen Kupfersulfat und Kupfercitrat.

Untypische Alterung (UTA) – deskriptive Sensorik

Attribute Gruppe I

Mottenkugeln
Naphtalin
Waschpulver
Seife
Bohnerwachs
Jasmin
Citronenblüte
Akazienblüte
trockene Wäsche
Kleiderschrank
Fuselalkohole

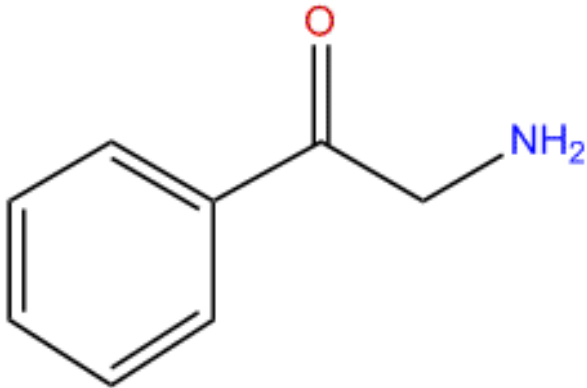
Attribute Gruppe II

Waschmaschine
feuchte Wäsche
Putzlappen
nasse Wolle
Urinstein

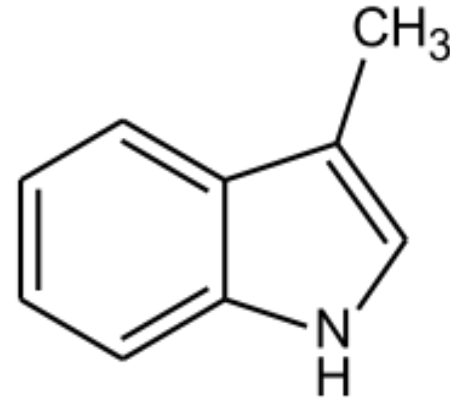
2-Aminoacetophenon (AAP) ist Leit- bzw. Indikatorsubstanz des UTA, erklärt aber nur einen Teil der geruchlichen Facetten (Gruppe I). Attribute von Gruppe II werden u.a. durch Skatol erzeugt.

UTA – Strukturformeln geruchsaktiver Moleküle

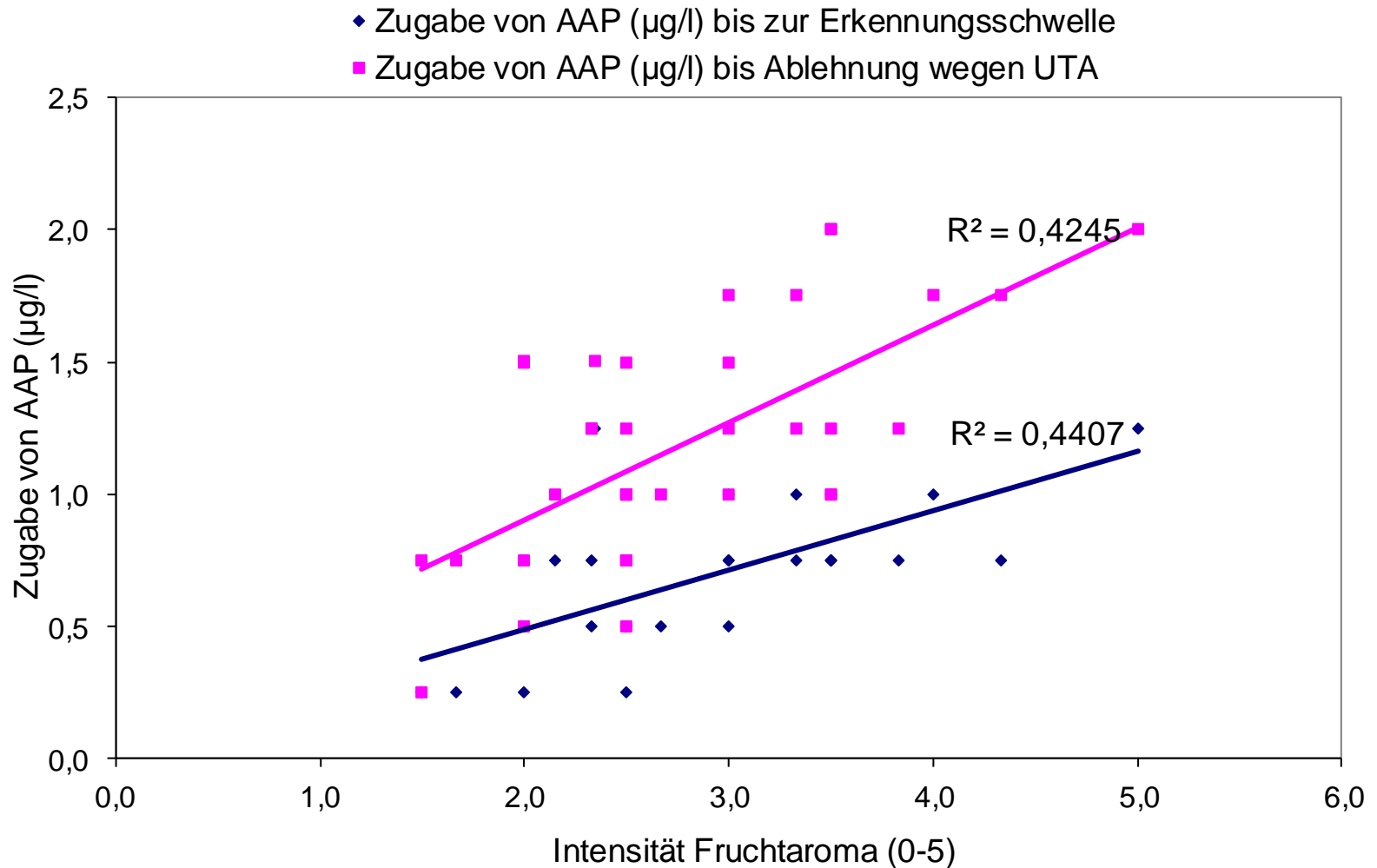
2-Aminoacetophenon (2-AAP)



Skatol (3-Methylindol)



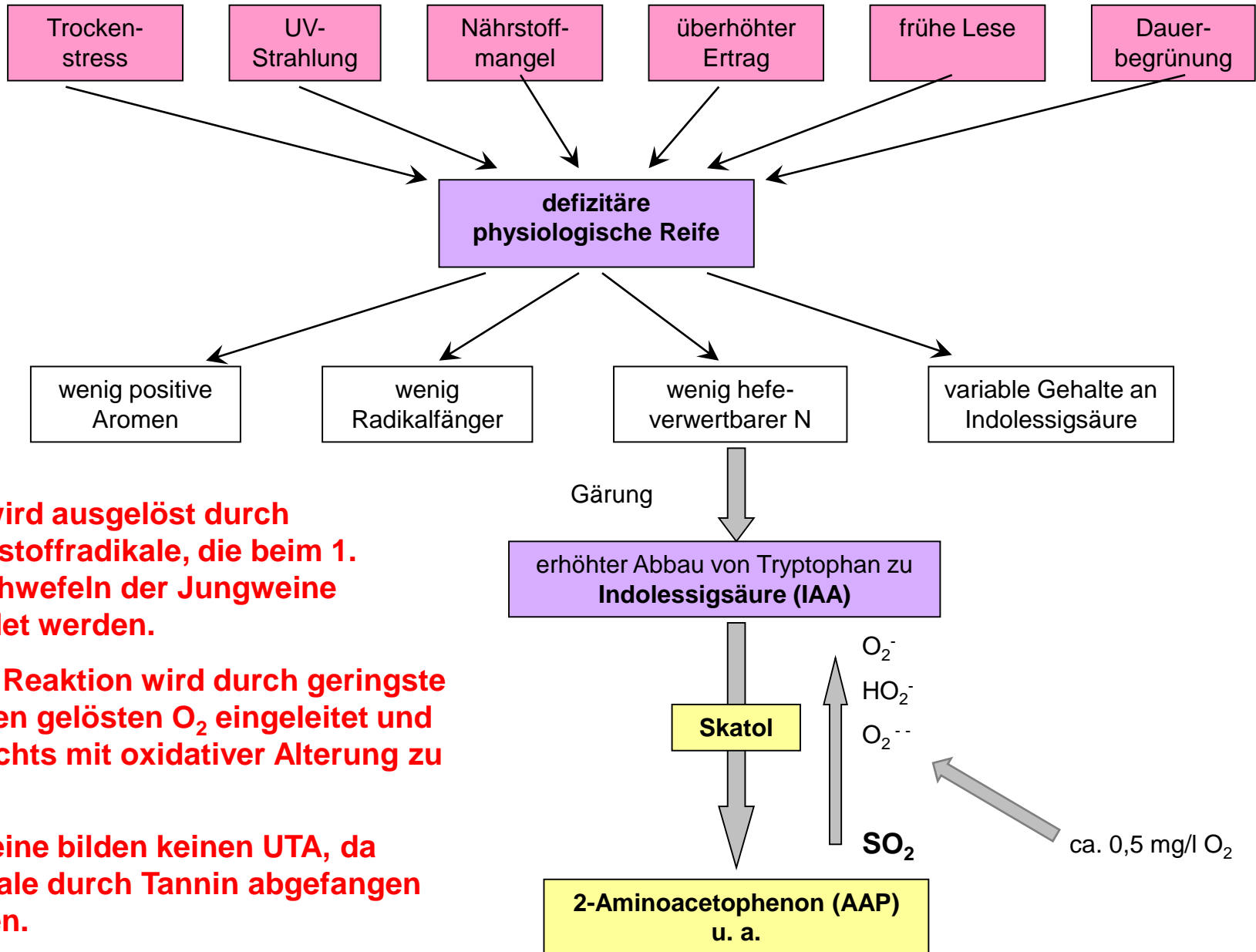
Einfluss der Aromaintensität von 38 Weißweinen auf die geruchliche Wahrnehmung von 2-Aminoacetophenon (AAP)



Die Wahrnehmungs- und Ablehnungsschwellen von 2-AAP sind erheblich von der Weinmatrix (Aromaintensität) abhängig.

Weine mit schwacher Aromatik weisen nicht zwangsläufig UTA auf !

Ursachen und Bildung von UTA



UTA wird ausgelöst durch Sauerstoffradikale, die beim 1. Aufschwefeln der Jungweine gebildet werden.

Diese Reaktion wird durch geringste Mengen gelösten O₂ eingeleitet und hat nichts mit oxidativer Alterung zu tun.

Rotweine bilden keinen UTA, da Radikale durch Tannin abgefangen werden.

Bedeutung des UTA

- Der UTA ist ein Aromadefekt, der schon im Stadium des noch relativ jungen Weins auftreten kann.
- Er ist ausschließlich weinbaulichen Ursprungs.
- Er steht in keinem Zusammenhang mit oxidativer Alterung und muss sensorisch streng von dieser abgegrenzt werden.
- Er ist die größte weinbauliche Herausforderung der Neuzeit und in allen Ländern verbreitet, wird aber in den einzelnen Ländern unterschiedlich identifiziert und diskutiert.

UTA ist die häufigste Form des frühzeitigen Aromazerfalls *einfacher* Weißweine.

Önologische Maßnahmen gegen den UTA

- Scharfe Mostvorklärung, da ein Teil der Vorläuferstufe (Indolessigsäure) am Trub gebunden → Minderung
- Maischestandzeit → Minderung
- Zusatz von Tannin → Minderung. Aber: Die in Rotweinen vorliegenden Tanningehalte werden nicht erreicht, bestenfalls werden Weißweine gerbig.
- **Zusatz von Ascorbinsäure (15-20 g/hl) beim 1. Aufschwefeln der Jungweine → sichere Vermeidung**

Alle Maßnahmen sind nur präventiver Natur; ein bereits vorliegender UTA kann nicht behoben werden !

Die Reaktion von IAA zu 2-AAP ist nicht reversibel.

Test auf ITA-Potenzial in Jungweinen

Weinprobe (ca. 200 mL)
evtl. Schwefelung (80 mg/L)
Klärung (Zentrifugation, Filtration)

Probe I :
100 mL Schraubflasche
mit **15 g/hL Ascorbinsäure**

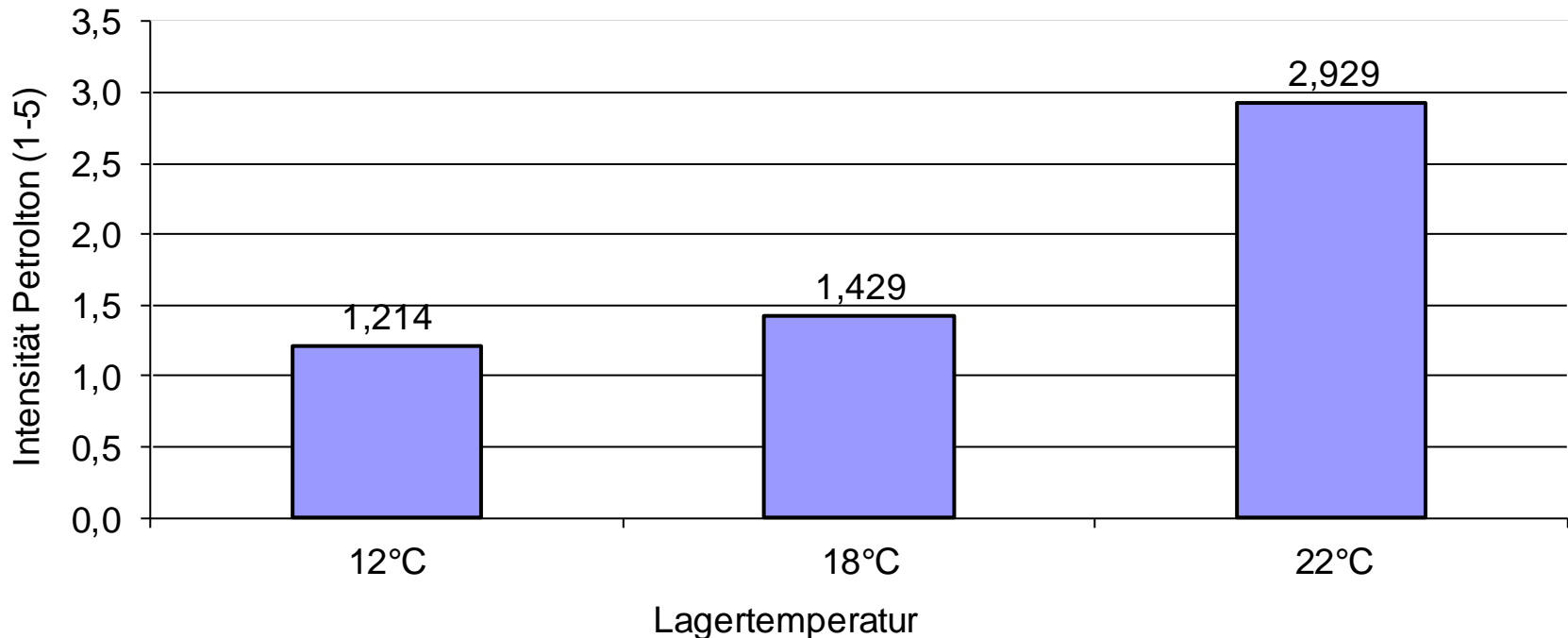
Probe II :
100 mL Schraubflasche
ohne Ascorbinsäure

3-4 Tage Lagerung bei 60-70°C (Brutschrank)
Abkühlung auf Raumtemperatur
Identifizierung von UTA durch geruchlichen Vergleich

**Falls UTA-positiv:
Präventive Behandlung des Weins mit ca. 15 g/hl Ascorbinsäure**

Petrolton:

Abhängigkeit des geruchlich wahrnehmbaren Petroltons bei Riesling nach 10 Monaten Lagerzeit bei verschiedenen Temperaturen.



Der Petrolton (TDN) setzt die Hydrolyse entsprechender Precursor voraus und tritt fast nur in Riesling auf. Er wird nicht unbedingt negativ interpretiert.

Die Temperatur im Flaschenlager ist von herausragender Bedeutung für seine Ausbildung – wie auch für die aller anderen Arten von Alterung.

Innen dichtende Verschlüsse (Kunststoffstopfen, Kork) adsorbieren TDN zu ca. 80 %, Schraubverschlüsse erhalten es.

Zur Vertiefung und für weiterführende Informationen:

