

Ausbau von Rotwein

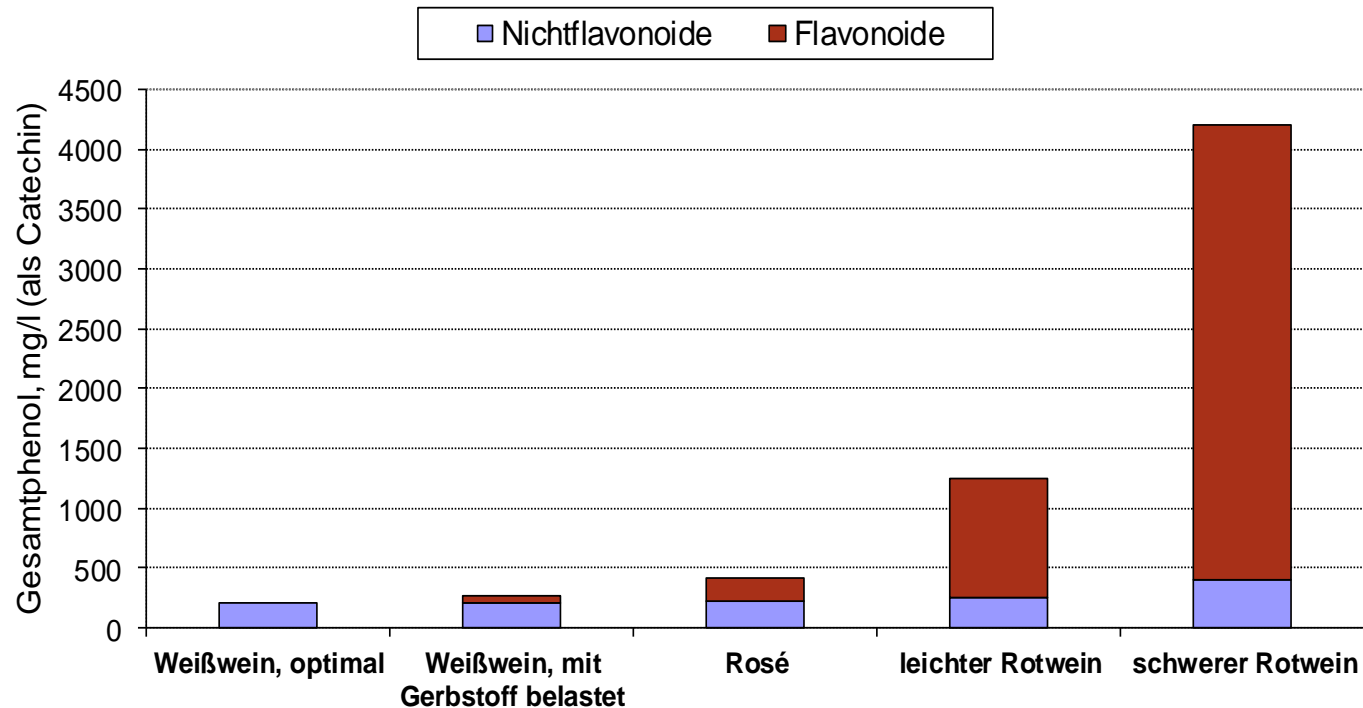
Tanninmanagement und Redoxführung:

Die Reaktionen von Tannin und Sauerstoff und ihr Einfluss auf die Sensorik



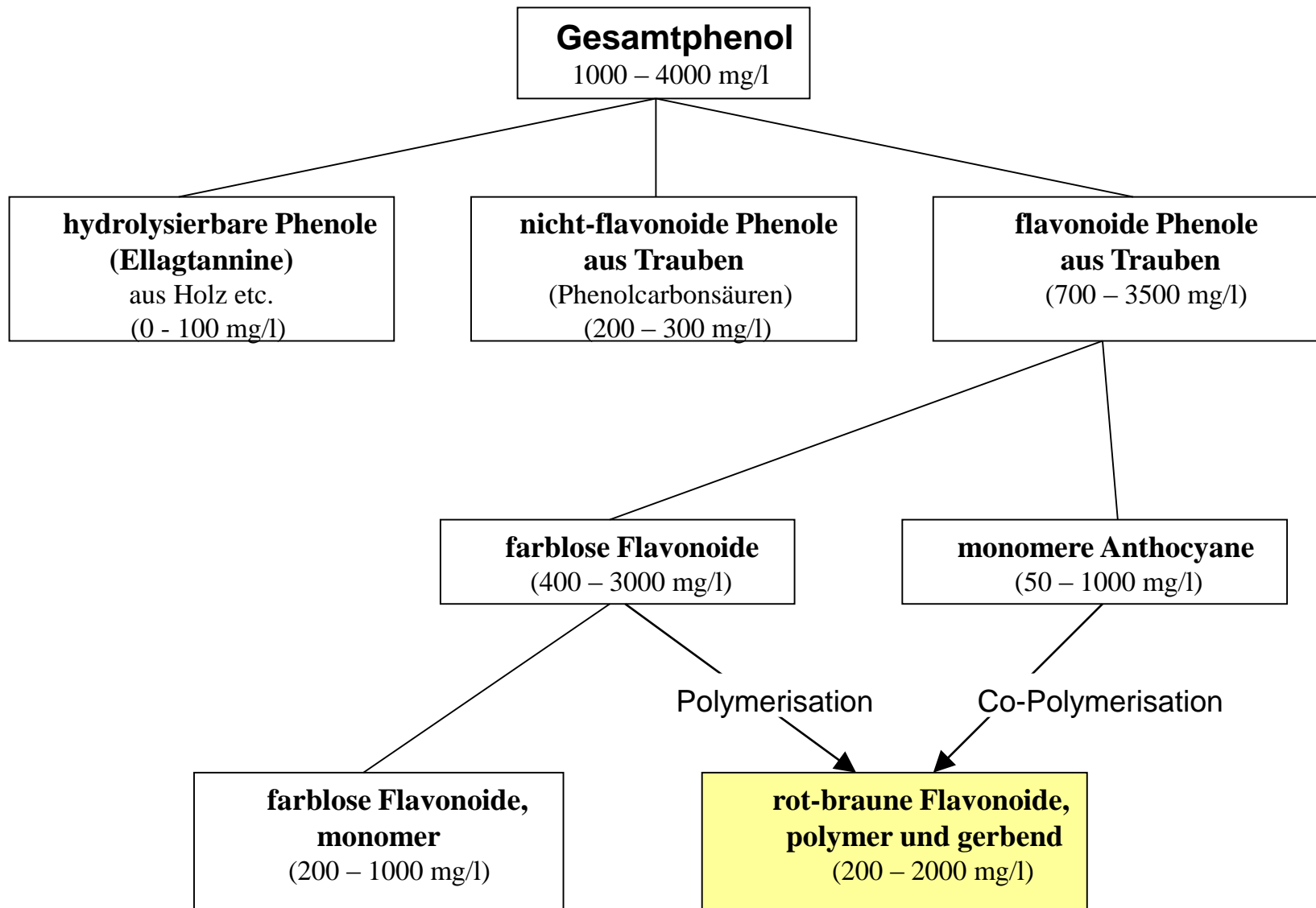
Gesamtphenolgehalt verschiedener Weinarten

differenziert nach flavonoiden und nichtflavonoiden Phenolen
(in mg/L Catechin)

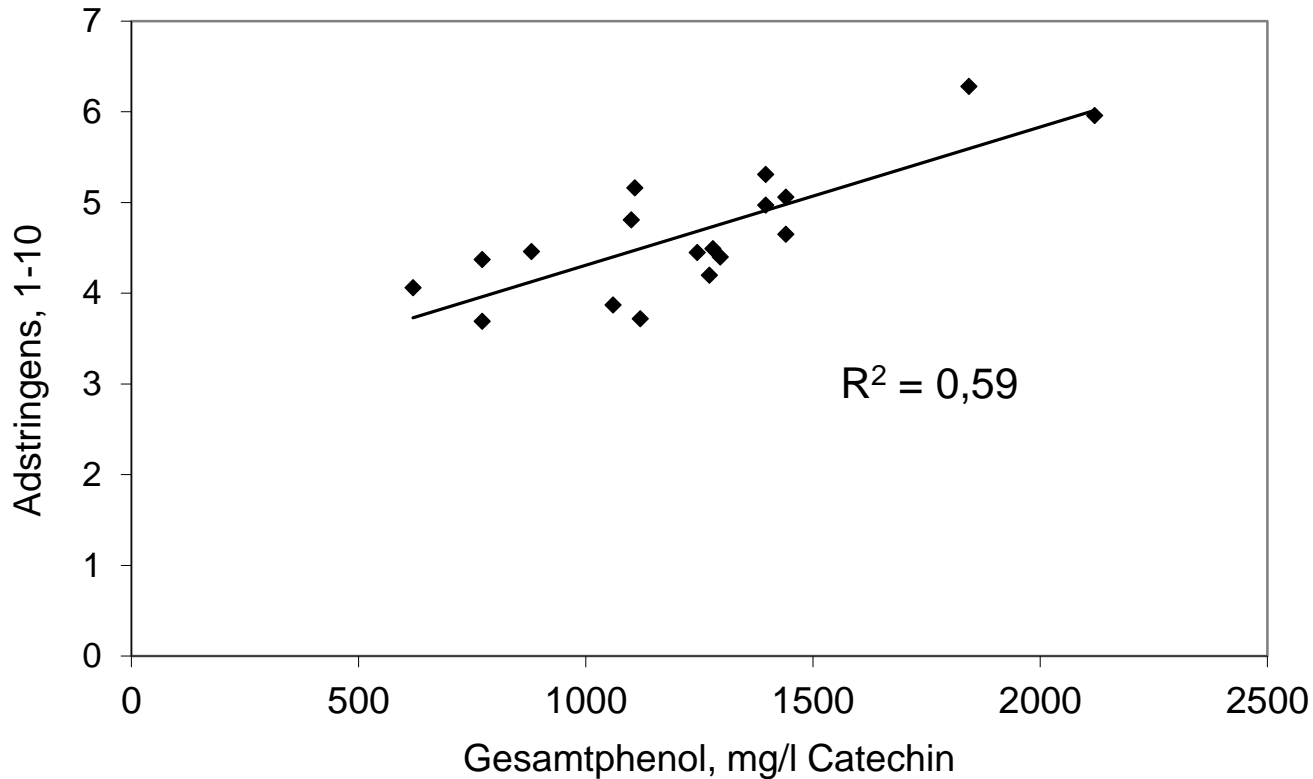


- **Der relativ hohe Gesamtphenolgehalt der Rotweine umfasst die Summe von Tanninen und Anthocyanen, welche in Weißweinen fehlen.**
- **Er ist ein Maßstab für die Intensität der Rotweिनart.**
- **Jedes Labor, das über einen Photometer verfügt, kann den Gesamtphenolgehalt messen.**

Gesamtphenole in Rotwein. Fraktionierung zur Qualitätskontrolle.



Zusammenhang zwischen Gesamtphenol und Adstringens in 18 deutschen Rotweinen verschiedener Rebsorten



- Die Adstringens ist die primäre sensorische Ausdrucksform des Tannins.
- Sie wird zu ca. 60 % durch den Gesamtphenolgehalt erklärt – ähnlich wie der größte Teil des sauren Geschmacks durch die Gesamtsäure erklärt wird.

Korrelationskoeffizienten (r) zwischen phenolanalytischen und gustativen Parametern bei Rotweinen (nur $r > 0,7$) (deutsche Rotweine, 1999)

	Adstringens	Bittere	Mundfülle
Gesamtphenole	0,79	0,70	
Anthocyane			0,83
flavonoide Phenole	0,77	0,73	
monomere flavonoide Phenole	0,82	0,72	
gerbende flavonoide Phenole	0,77	0,72	

Gesamtphenolgehalt, gesamte flavonoide Phenole, monomere flavonoide Phenole und gerbende flavonoide Phenole beschreiben die Adstringens mit annähernd gleicher Präzision.

Gängige Methoden zur Bestimmung des Gesamtphenolgehalts in der Betriebskontrolle

1. Photometrisch mittels Folin-Ciocalteu-Reagenz bei 720 nm

Auch anwendbar auf einzelne phenolische Fraktionen nach Fällungsgängen. Die Ergebnisse werden in mg/l Catechin oder mg/l Gallussäure ausgedrückt (Kalibration!).

1 mg Gallussäure \approx 1,4 mg Catechin.

2. Photometrisch als A 280 nm (*indice des polyphenols totaux*)

Die Ergebnisse werden als A 280 bei 10 mm Lichtdurchgang) ausgedrückt.

Weniger spezifisch und reproduzierbar als 1., da Absorptionsmaximum variabel, in mitteleuropäischen Rotweinen bei ca. 285 nm.

Problem der Vergleichbarkeit.

3. Mittels FTIR

Kalibriert mittels der Methoden 1. und 2.

Der Gesamtphenolgehalt ist einfach zu messen und ein elementarer Parameter in der Rotweinbereitung.

Gängige Methoden zur Bestimmung des Anthocyangehaltes in der Betriebskontrolle

1. Photometrisch bei 520 nm vor und nach Zugabe eines Überschusses von SO_2 .
2. Photometrisch bei 520 nm vor und nach Ansäuerung auf pH 0,6 mit HCl.

Die Ergebnisse werden üblicherweise als mg/L Malvidinglucosid ausgedrückt.

Dividiert man den Gesamtphenolgehalt durch den Anthocyangehalt, erhält man einen Index für das Tannin-Anthocyan-Verhältnis. Er ergänzt die Aussagekraft des Gesamtphenolgehalts in jungen Rotweinen.

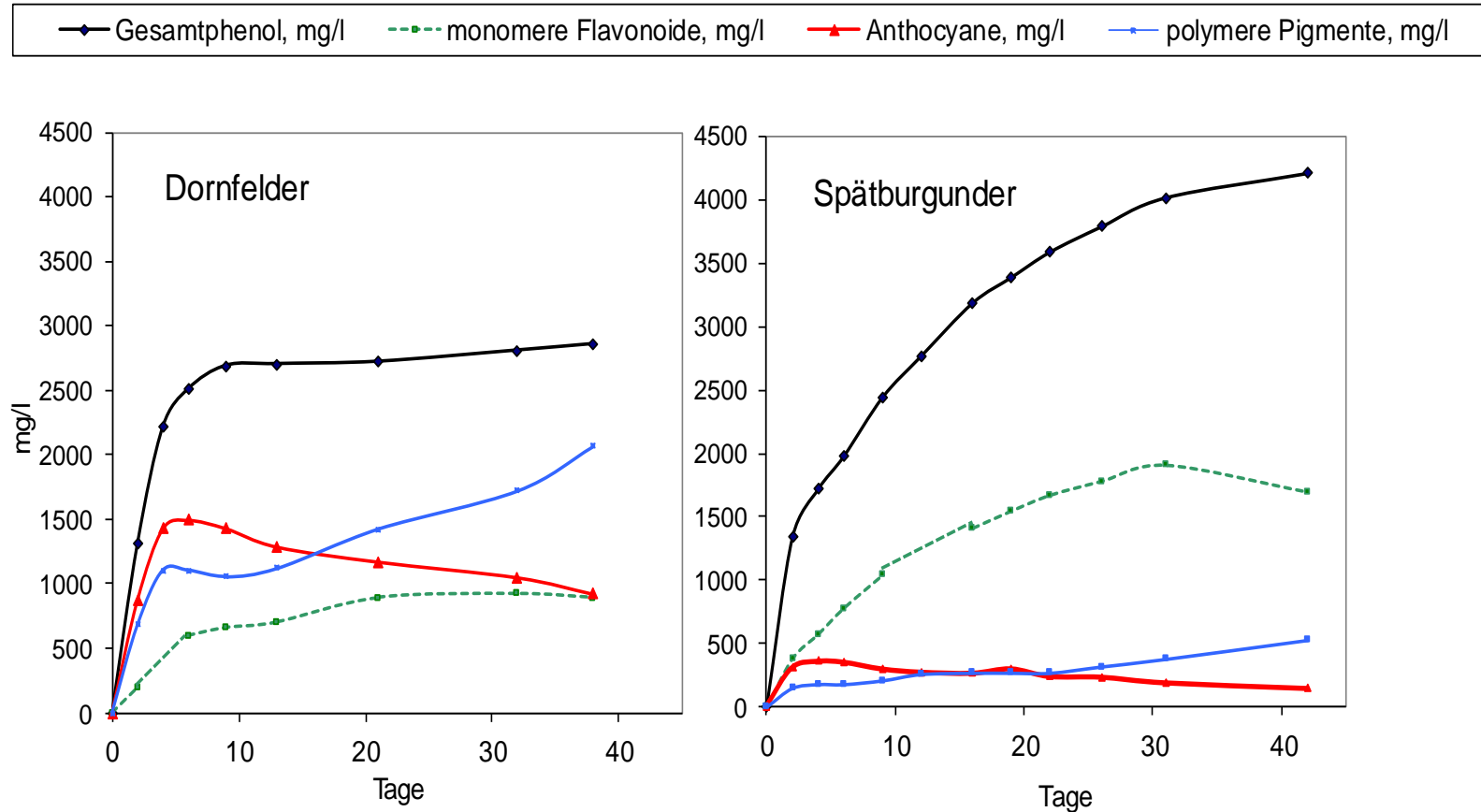
Zusammenfassung:

Analytische Beurteilung von Tannin- und Anthocyangehalt

- Der Gesamtphenolgehalt gibt die Summe von Tanninen und Anthocyanen wieder.
- Er beschreibt auf einfache Weise die Intensität der Rotweinart, jedoch nicht die sensorische Qualität des Tannins.
- Ohne gleichzeitige Kenntnis des Anthocyangehaltes ist er nur beschränkt verwertbar.
- Der Quotient Gesamtphenol : Anthocyan stellt einen Index für das Tannin-Anthocyan-Verhältnis dar.
- Leichte Rotweine weisen 1500-2000 mg/L Gesamtphenol (als Catechin) auf, kräftige Rotweine bis über 4000 mg/L.
- Helle Rotweine (Spätburgunder) weisen im jungen Stadium 150-200 mg/L Anthocyane auf, dunkle Rotweine (Regent, Dornfelder usw.) bis über 1000 mg/L.

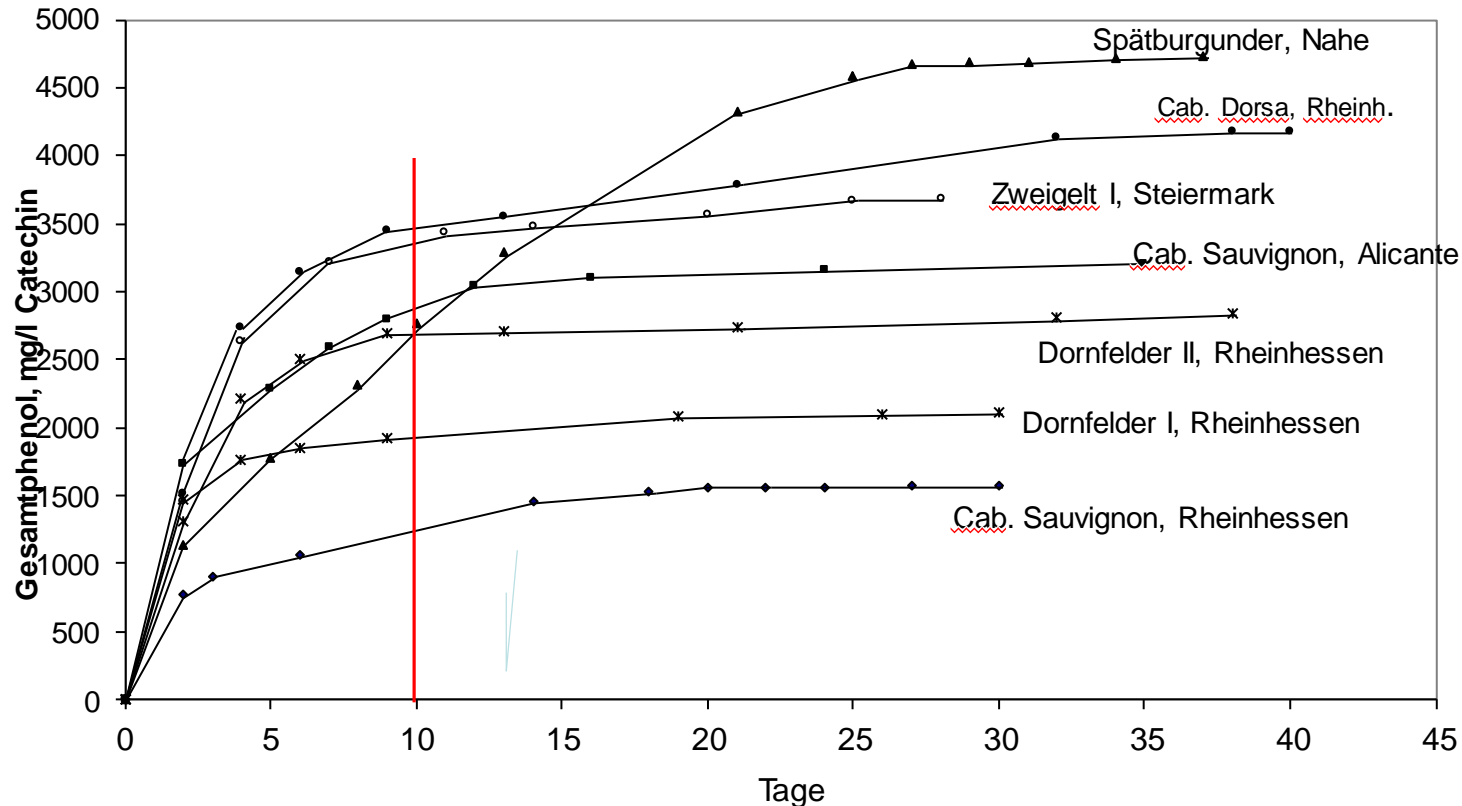
Zieht man die Analytik zur Unterstützung der Sensorik heran, kommt dem Gesamtphenolgehalt in Rotwein die gleiche Bedeutung wie der Bestimmung von Alkohol, Zucker, Säure usw.

Extraktionsverlauf des Tannins bei der Maischestandzeit zweier unterschiedlicher Rebsorten bei konstant 25° C (3 x Remontage pro Tag)



- Die Extraktion der Anthocyane ist bei der Maischegärung (25° C) nach 5-6 Tagen beendet, während die des Tannins bis zu über sechs Wochen dauern kann (nicht muss).
- Die Extraktionsgeschwindigkeit des Tannins ist sortenspezifisch. Spätburgunder extrahiert langsam.

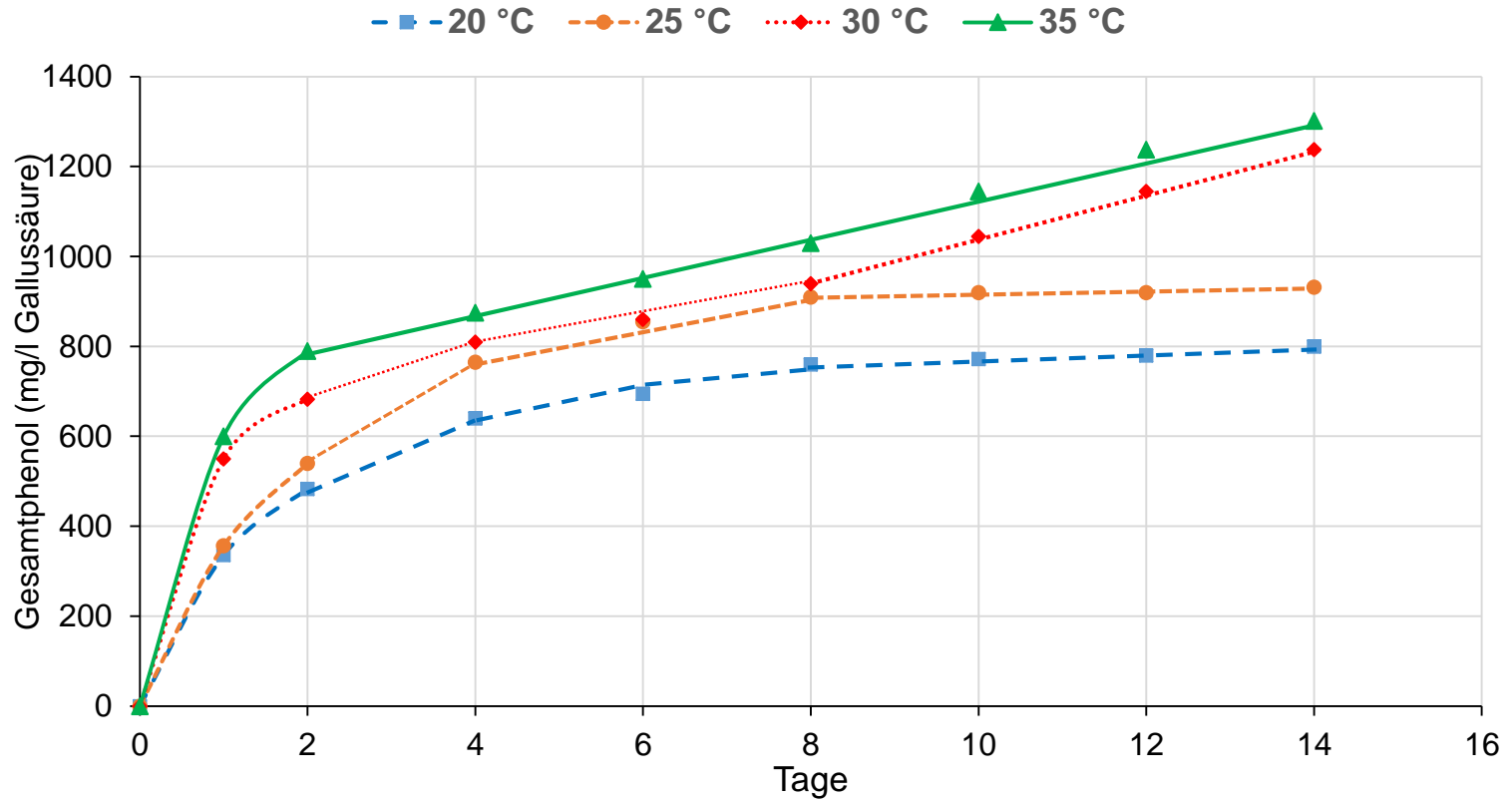
Extraktion von Gesamtphenol während der Maischestandzeit unterschiedlichen Leseguts bei konstant 25° C (3 x Remontage pro Tag)



- Die Menge des extrahierbaren Tannins (hier: Gesamtphenol) ist von der Rebsorte und der phenolischen Reife (nicht vom Mostgewicht !) der Trauben vorgegeben.
- Nach 10 Tagen Standzeit bei 25° C sind ca. 85 % des Tannins extrahiert. Ausnahme = Spätburgunder.
- Seine Extraktion während der Maischestandzeit steht in keinem Zusammenhang mit dem Vergärungsgrad: Ende der Gärung ≠ Ende der Extraktion.
- Gesamtphenol ist ein brauchbarer Parameter zur Optimierung des Zeitpunkts des Abpressens.

Extraktion von Gesamtphenol bei Cabernet Sauvignon bei verschiedenen Temperaturen

(nach Lerno et al. 2016)



- Nach 10 Tagen Mazeration bei 30 °C liegen ca. 50 % mehr Gesamtphenol vor als bei 20 °C.
- Ungenügende Temperatur während der Maischestandzeit ist ein seriöses Problem und häufigste Ursache ungenügender Tanningehalte in Deutschland.

Zusammenfassung: Gewinnung von Tannin und Anthocyanen bei Maischegärung

- **Tanningehalt und Extrahierbarkeit des Tannins sind von der phenolischen Reife der Trauben vorgegeben; die alkoholische Reife (Mostgewicht) ist weniger bedeutend.**
- **Die Extraktion von Farbe (Anthocyanen) ist bei der Maischegärung (25 °C) nach 5-6 Tagen beendet, danach wird nur noch Tannin extrahiert.**
- **Aus der Länge der Maischestandzeit kann nicht auf den extrahierten Tanningehalt geschlossen werden.**
- **Bei den meisten Rebsorten werden 85 % der phenolischen Substanz (Tannin) innerhalb von 10 Tagen extrahiert (25° C, 3 x Umpumpen per Tag). Ausnahme: Spätburgunder.**
- **Nachmazeration (nach Gärende) kann zusätzliches Tannin extrahieren, muss es aber nicht.**

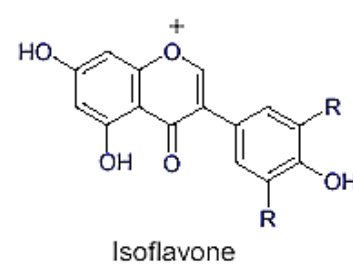
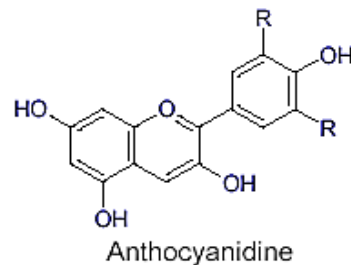
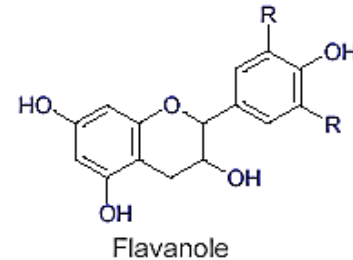
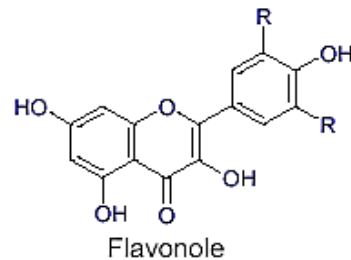
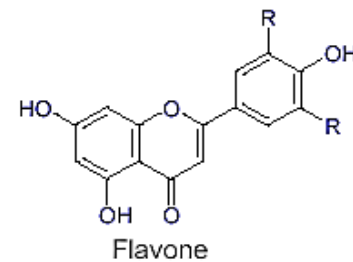
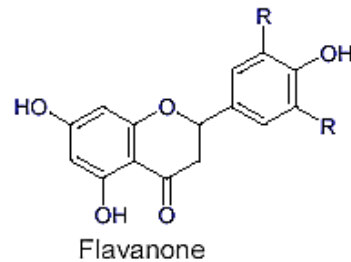
Ziele der Sauerstoffzufuhr während des Ausbaus

Veränderung der chemischen Struktur des Tannins durch Polymerisation hin zu größeren Molekülen zwecks:

- **Optimierung der durch Tannine und Anthocyane hervorgerufenen geschmacklichen Parameter (Adstringens, Bittere, Säure, Mundfülle....)**
- **Stabilisierung / Intensivierung der Farbe durch Bildung von Tannin-Anthocyan-Polymerisaten.**
- **Komplexierung der geruchlich wahrnehmbaren Aromatik.**
- **Primärer (aber nicht einziger) Sauerstoffakzeptor in Rotwein ist das Tannin, welches sich durch Oxidation und nachfolgende Reaktionen der Polymerisation qualitativ verändert.**

**Die Oxygenierung von Rotweinen verfolgt das Ziel, den geschmacklichen Ausdruck des Tannins zu optimieren.
Kein Sauerstoff → hartes Tannin.**

Strukturen monomerer flavonoider Phenole



Monomere flavonoide Phenole, welche die Basis des traubenbürtigen Tannins bilden, sind der Grundstruktur $C_6-C_3-C_6$. Sie polymerisieren auf verschiedenen Wegen. Aber:

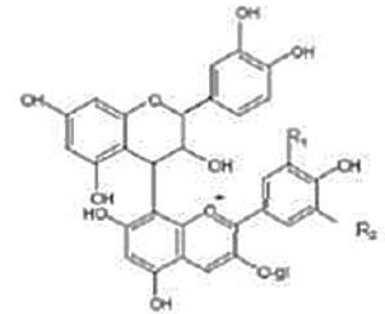
Tannine in Rotwein sind mehr als Flavonoid-Polymerisate unterschiedlicher Kettenlänge; sie sind auch mit anderen Makromolekülen wie Polysacchariden (Mannoproteinen) assoziiert.

Chemische Mechanismen der Polymerisation

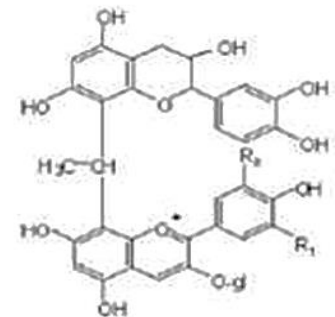
1. Polymerisation von "Tannin + Anthocyan" oder "Tannin + Tannin"; ohne Sauerstoff.

2. Polymerisation über Ethylbrücke des Typs "Phenol-Ethyl-Phenol"; mit Sauerstoff.

- Erfordert Sauerstoff zur Bildung von Ethanal durch gekoppelte Oxidation von Phenolen und Ethanol.
- Fünf Mal schneller als Polymerisation des Typs 1.
- Polymerisation mit einem Anthocyan setzt der Polymerisationskette ein Ende
→ geringer Polymerisationsgrad in Anthocyan-reichen Weinen.



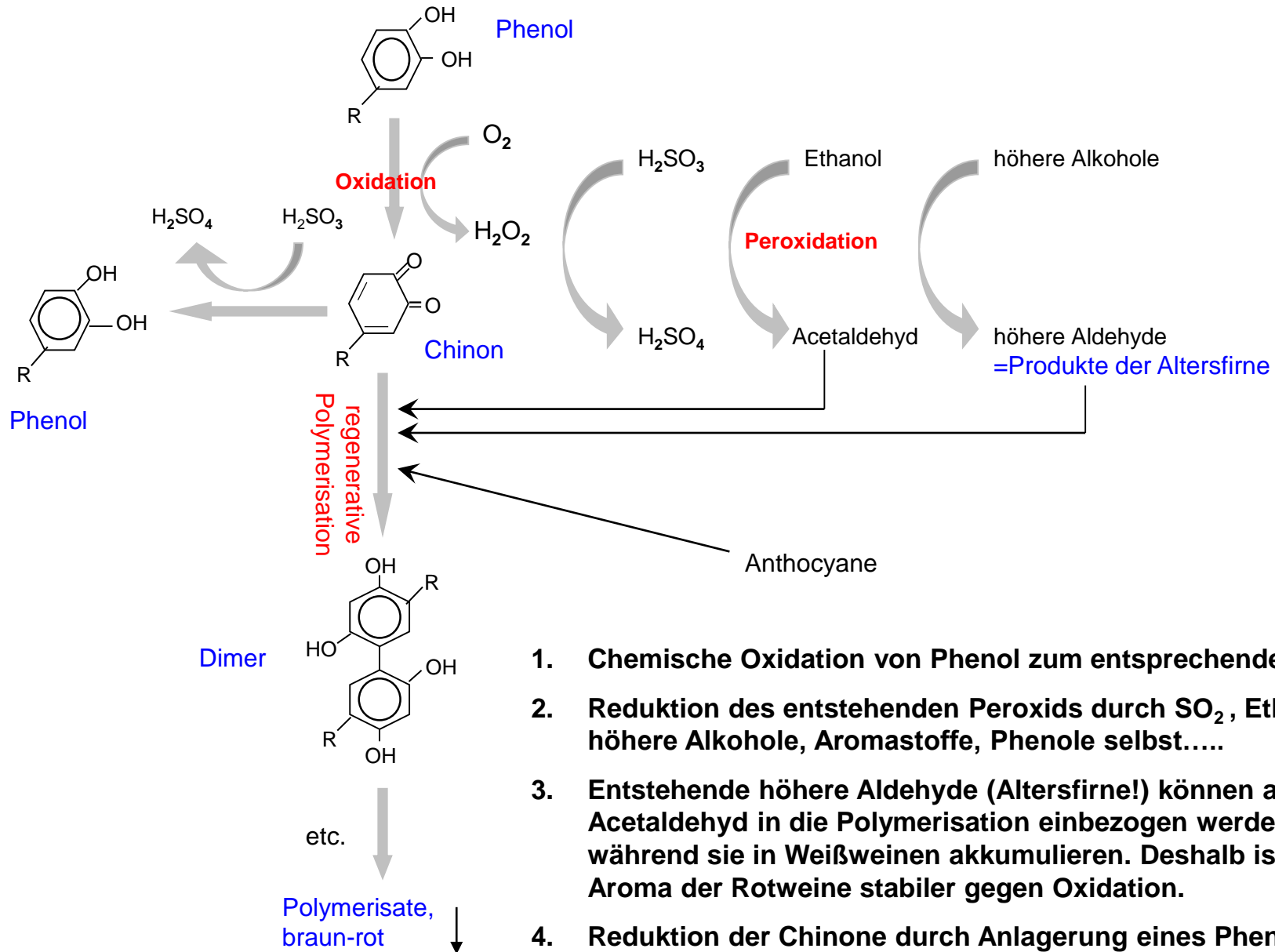
Dimer ohne Ethylbrücke



Dimer mit Ethylbrücke

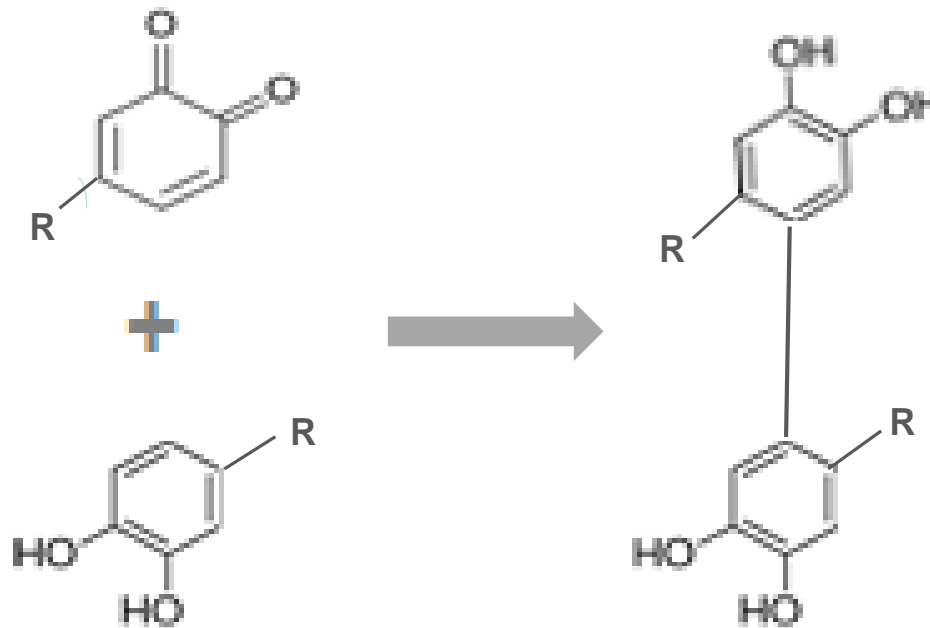
- Die Oxygenierung fördert die Bildung von Polymerisaten des Typs "Phenol-Ethyl-Phenol", z. B. "Tannin – Ethyl – Tannin - Ethyl – Tannin - Ethyl – Anthocyan".
- Sauerstoffeintrag verfolgt das Ziel, die Reifung des Rotweins zu beschleunigen und sein Tannin weicher zu gestalten.

Oxidation und regenerative Polymerisation von Phenolen



1. Chemische Oxidation von Phenol zum entsprechenden Chinon.
2. Reduktion des entstehenden Peroxids durch SO_2 , Ethanol, höhere Alkohole, Aromastoffe, Phenole selbst.....
3. Entstehende höhere Aldehyde (Altersfirne!) können analog zu Acetaldehyd in die Polymerisation einbezogen werden, während sie in Weißweinen akkumulieren. Deshalb ist das Aroma der Rotweine stabiler gegen Oxidation.
4. Reduktion der Chinone durch Anlagerung eines Phenols (regenerative Polymerisation) oder durch SO_2 .

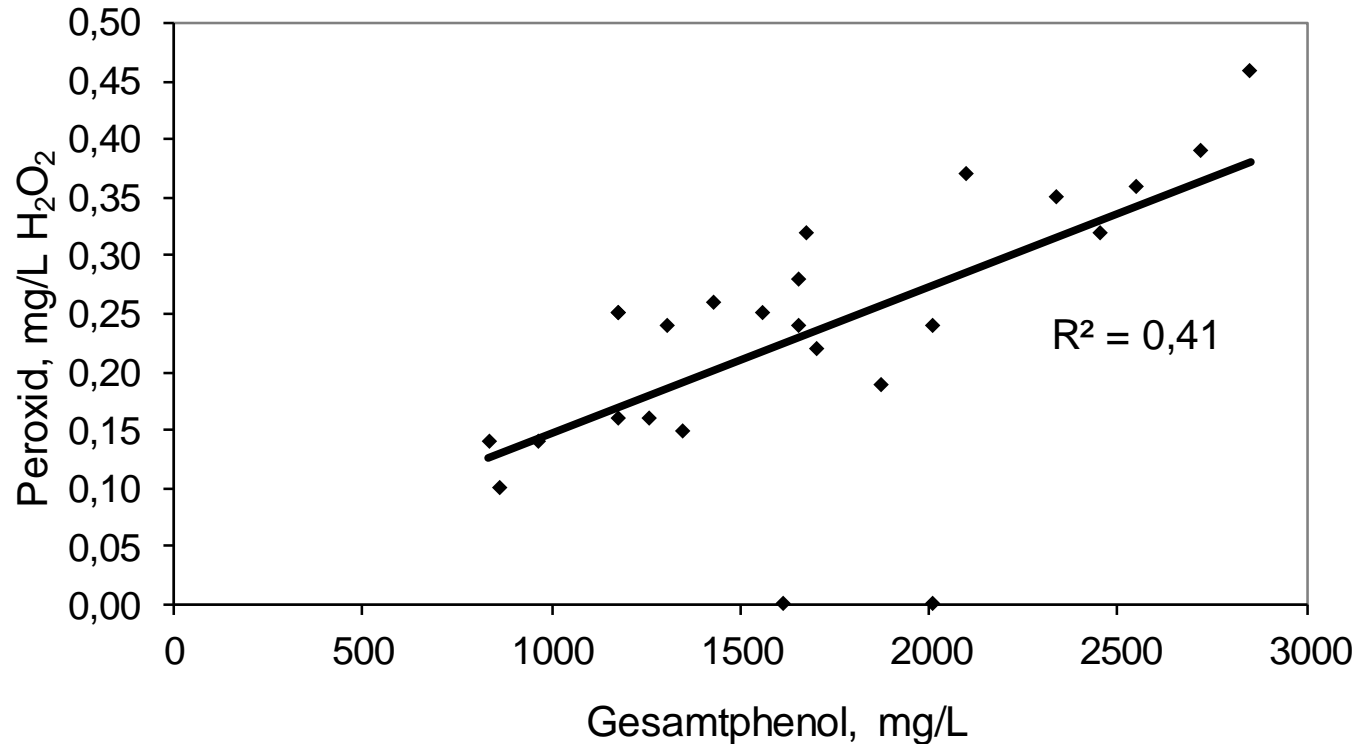
Regeneration phenolischer OH-Gruppen durch Polymerisation eines Chinons mit einem Phenol



Die regenerative Polymerisation entspricht einer Reduktion ohne Einwirkung eines Reduktionsmittels.

Momentane Konzentration an Peroxiden (als H_2O_2) während der Oxygenierung von Rotweinen (ohne freie SO_2) in Abhängigkeit vom Gesamtphenolgehalt.

Bestimmung enzymatisch mittels NADP-Peroxidase.

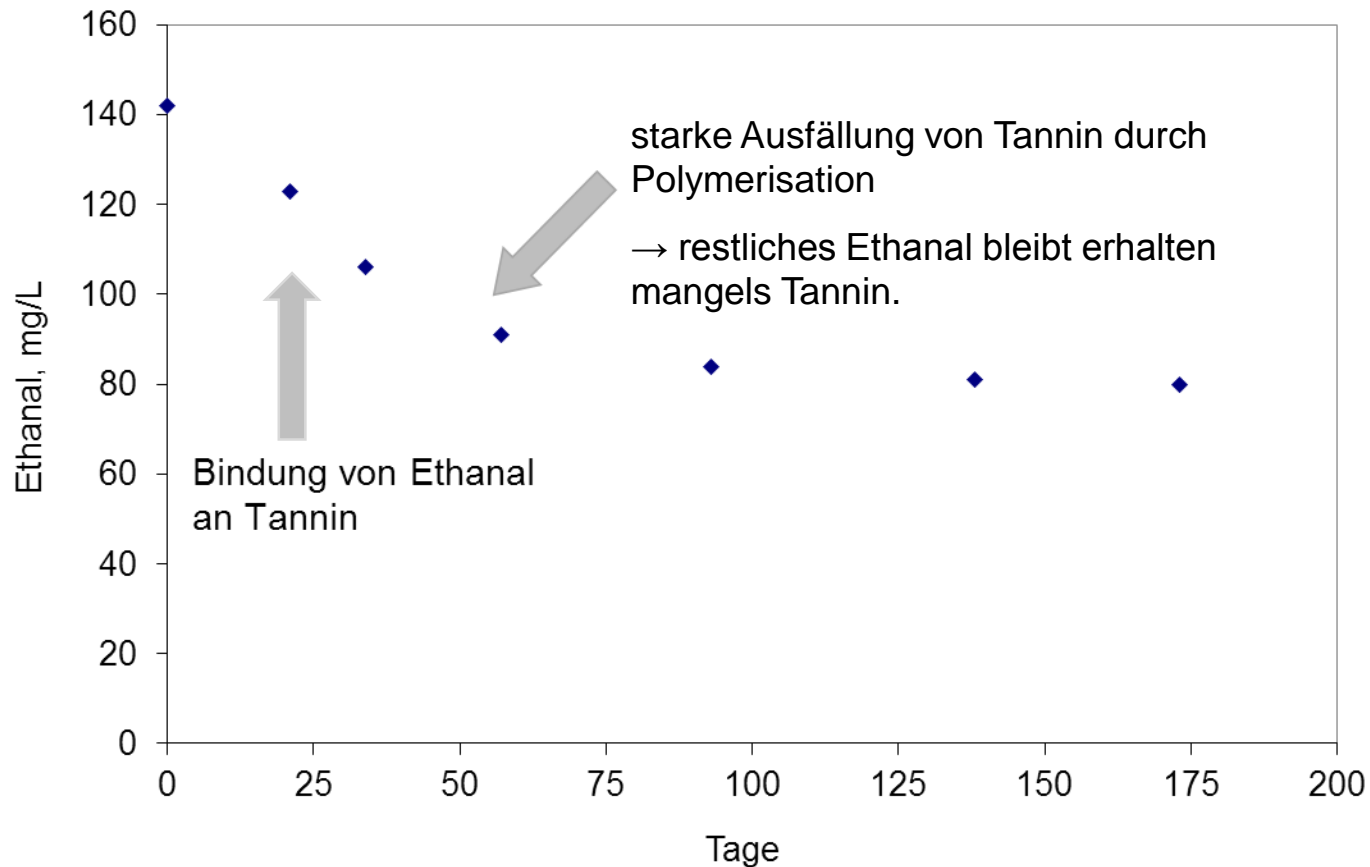


Die Oxidation von Phenolen führt zur Bildung von Peroxiden. Bei der Oxygenierung von Rotweinen in Abwesenheit von SO_2 können intermediäre Peroxide zu nachweisbaren Konzentrationen akkumulieren.

Unter vergleichbaren Bedingungen korreliert die momentane Konzentration intermediärer Peroxide mit dem Gehalt an Gesamtphenol.

Bindung von Ethanal in Rotwein unter Luftabschluss

(Gesamtphenol = 3200 mg/l, freie SO_2 = 0 mg/l)



Ethanal entsteht durch Oxidation von Ethanol mit Peroxid.

Freier Ethanal wird allmählich an das Tannin gebunden und verschwindet.

Starke Akkumulation von Ethanal unter oxidativen Bedingungen (keine SO_2) führt zu einer Ausfällung von Tannin, sobald ein gewisser Polymerisationsgrad überschritten wird.

Zusammenfassung: Oxidation und regenerative Polymerisation von Phenolen

- Die Oxidation des Tannins beschleunigt seine Polymerisation.
- Bei der regenerativen Polymerisation (Chinon + Phenol) werden die durch Oxidation verloren gegangenen OH-Gruppen der Phenole wieder hergestellt (regeneriert).
- Die regenerierten Phenole sind erneut der Oxidation zugänglich. Dadurch kann das Tannin der Rotweine ungleich mehr Sauerstoff binden, als sich aus der Stöchiometrie ergibt.
- Die Fähigkeit der Rotweine zur Sauerstoffaufnahme kennt daher keinen festen Endpunkt und ist theoretisch unbegrenzt.
- Bei der Oxidation von Phenolen entsteht intermediäres Peroxid, welches durch SO_2 , Ethanol (\rightarrow Acetaldehyd), Aromastoffe und Phenole selbst reduziert wird.
- Die Fähigkeit der Sauerstoffumsetzung findet ihre praktische Grenze im vorliegenden Phenolgehalt (evtl. Ausflockung, oxidative Zerstörung der Farbe) und der oxidativen Zerstörung des Aromas durch temporäre Akkumulation intermediären Peroxids.
- Entstehender Acetaldehyd wird an Tannin gebunden (Ethyl-Brücke!)

Verfahren der Sauerstoffzufuhr

Passive Zufuhr von Sauerstoff

- während Lagerung in Holz oder Reifetanks (HD-PE),
- durch Behandlungsmaßnahmen (Abstich, Befüllen der Tanks von oben, Filtration, Rühren usw.)
- in Flasche aus Kopfraum und durch Flaschenverschluss in Abhängigkeit von der Sauerstoff-Barrierewirkung des Verschlusses

Aktive Zufuhr von Sauerstoff

- durch belüftendes Umpumpen,
- durch Ansaugen von Luft über Belüftungsrohr, Flotationsanlage
- durch bewusstes Hohlliegenlassen (nur in der Kälte)
- durch Micro-Oxygenierung

Herausforderungen bei der Sauerstoffzufuhr

Abstimmung der Sauerstoffzufuhr auf Menge und Art der verschiedenen Sauerstoff-Akzeptoren:

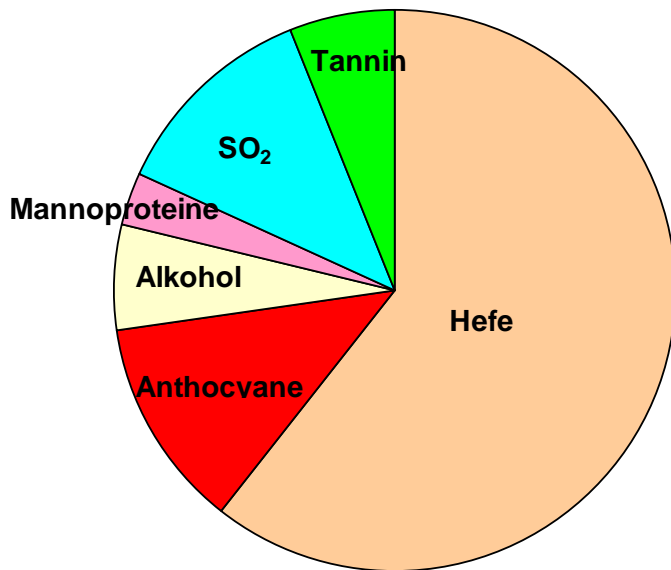
- Phenole
- Hefe
- SO₂

Diese Sauerstoff-Akzeptoren verhalten sich kompetitiv.

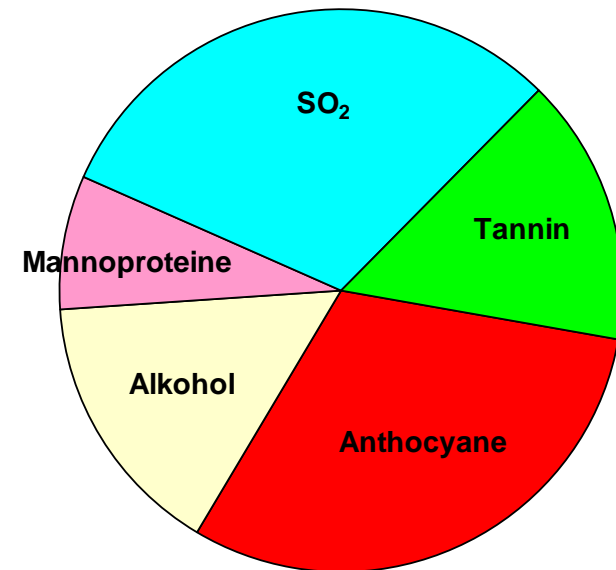
Praktische Herausforderung ist, die Zufuhr von Sauerstoff (in mg/L) ähnlich gut zu beherrschen wie die Dosage von SO₂.

Einfluss von Feinhefe und Filtration auf die Reaktionen des Sauerstoffs mit den Inhaltsstoffen des Rotweins

mit Hefe



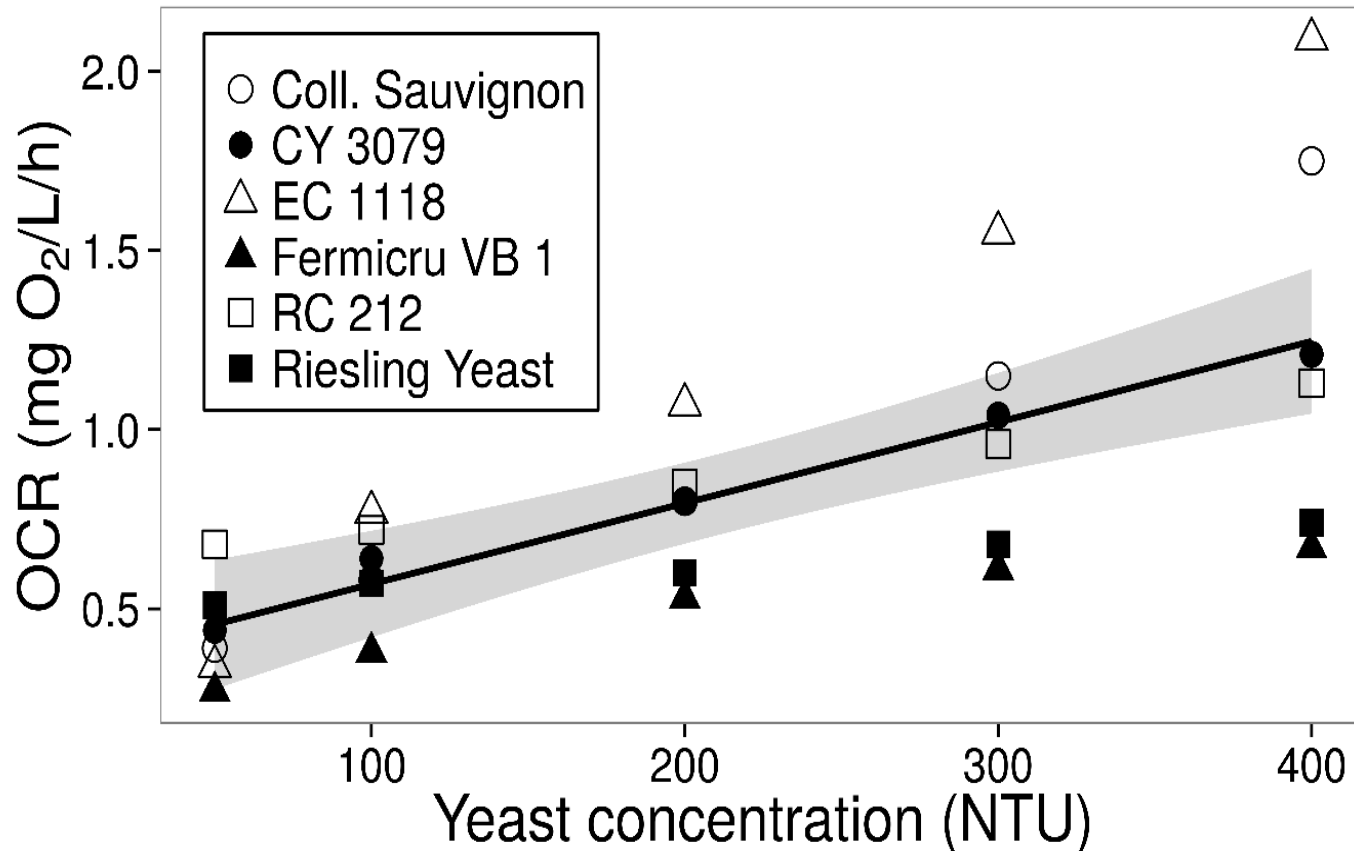
ohne Hefe



Der Anteil des Sauerstoffs, die mit dem Tannin reagiert, ist ganz erheblich von Menge und biochemischem Status der suspendierten Feinhefe abhängig.

Verbrauch gelösten Sauerstoffs durch postfermentative Hefe:

1. Einfluss der Hefekonzentration (NTU) in Suspension

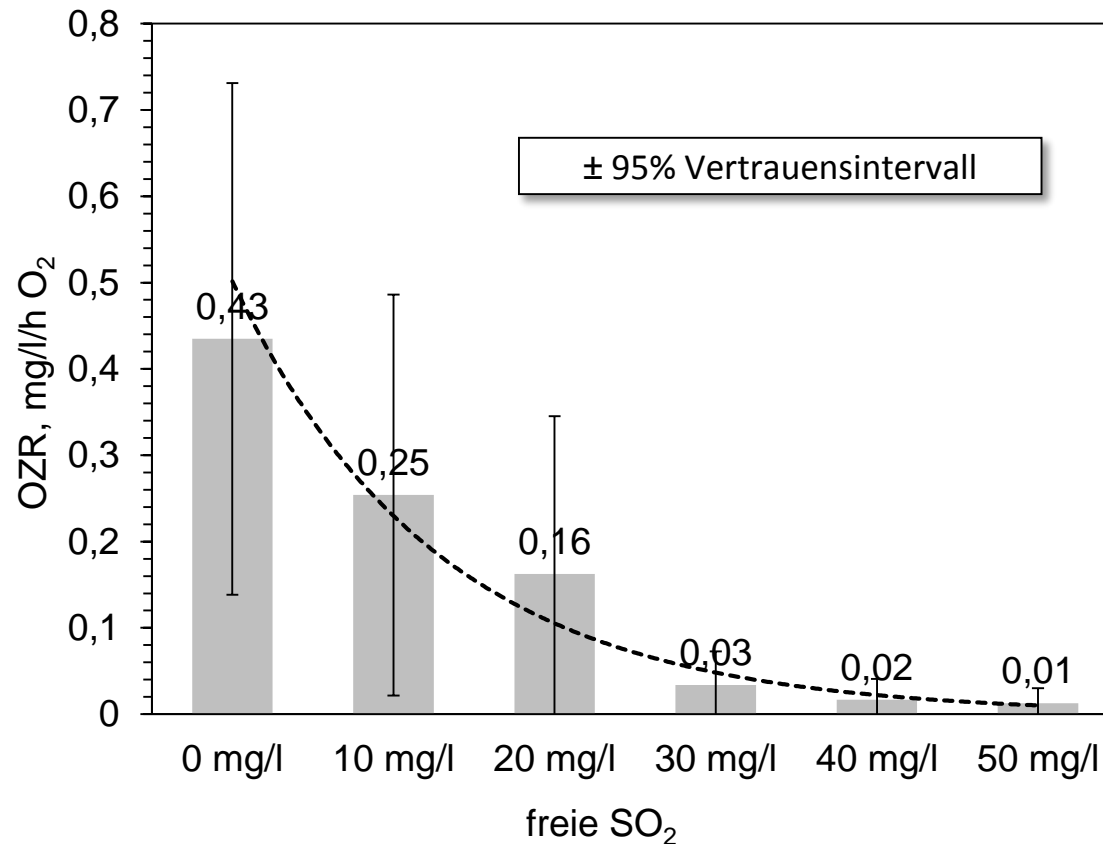


Während den ersten Monaten nach der Gärung konsumiert postfermentative Hefe 0,5 – 1,0 mg/l / h O₂ bei einer typischen Hefe-Konzentration von 200 NTU. Dieser Sauerstoff steht nicht mehr zur Reaktion mit dem Tannin zur Verfügung.

Verbrauch gelösten Sauerstoffs durch postfermentative Hefe:

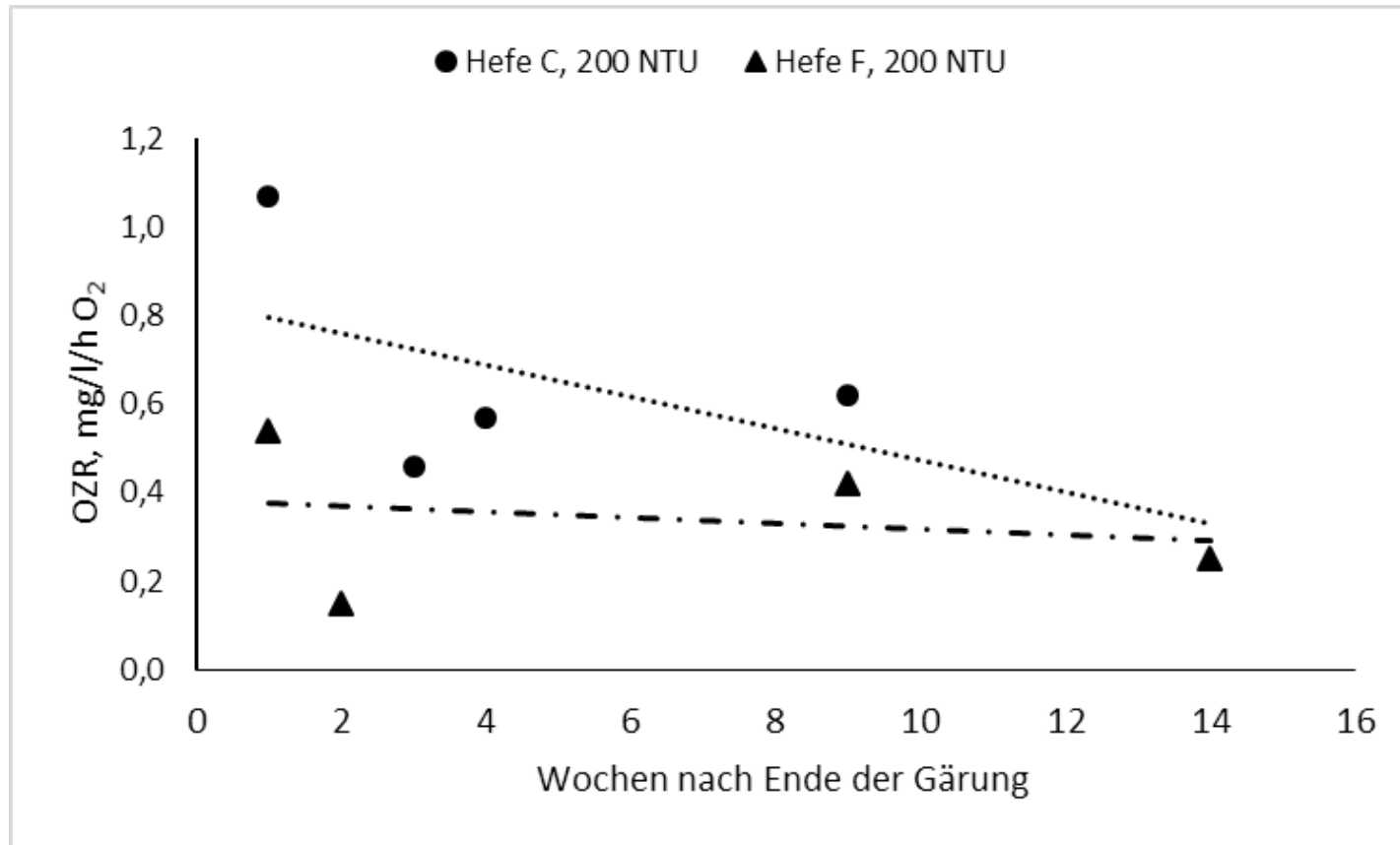
2. Einfluss von freier SO_2

(pH 3,5; Mittelwerte aus 6 Hefestämmen; Hefekonzentration = 200 NTU)



Die Fähigkeit postfermentativer Hefe zur Zehrung von Sauerstoff ist nur bei geringen Gehalten an freier SO_2 (< 20 mg/l) technisch relevant. Bei höheren SO_2 -Gehalten reagiert der Sauerstoff mit Phenolen und / oder der SO_2 selbst.

Verbrauch gelösten Sauerstoffs durch postfermentative Hefe: 3. Einfluss von Alter und Lagerdauer

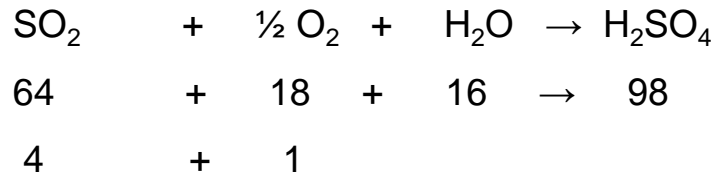


Die Sauerstoffzehrung postfermentativer Hefe nimmt während der Alterung sehr langsam und unregelmäßig ab.

In Abhängigkeit von Hefemenge, SO₂ und Lagerdauer werden 10-60 % des Sauerstoffs durch die Hefe gezehrt und stehen so für Reaktionen mit der Weinmatrix nicht mehr zur Verfügung.

Verbrauch gelösten Sauerstoffs durch SO₂

Stöchiometrisch / theoretisch:



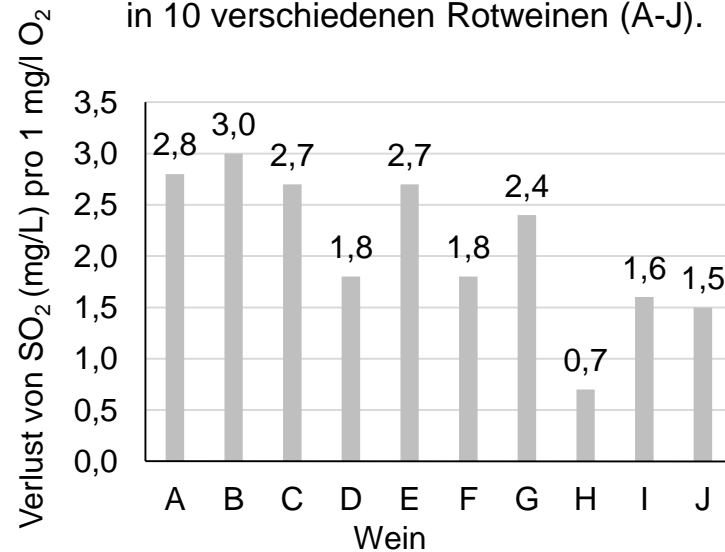
$$4 \text{ mg SO}_2 = 1 \text{ mg/L O}_2$$

Nach den Gesetzen der Stöchiometrie führt 1 mg/L O₂ zur Oxidation von 4 mg/L SO₂.

In diesem Fall reagiert der Sauerstoff vollständig mit SO₂.

Praktisch:

Verluste von SO₂ (mg) pro 1 mg O₂ nach der Umsetzung von 10 mg/l O₂ in 10 verschiedenen Rotweinen (A-J).



Im Wein werden nur ca. 50 % (2,1 mg SO₂ pro 1 mg O₂) des O₂ durch SO₂ abgefangen. Der restliche Sauerstoff steht zu Reaktionen mit Phenolen bereit oder wird durch Hefe gezehrt.

Verbrauch gelösten Sauerstoffs durch Phenole

Geschwindigkeit * (mg O₂/L/h) der Bindung von Sauerstoff durch einzelne phenolische Fraktionen der Rotweine.

(nach Vivas 1999)

Fraktion	Konzentration, mg/l	mg O₂/L/h
monomere Catechine	1000	0,051
oligomere Procyanidine	1000	0,049
polymere Procyanidine	1000	0,043
Anthocyane (60 % Malvidin)	1000	0,560
Tannin-Anthocyan-Verbindungen	1000	0,048

* Ermittelt während der ersten Stunde nach Sättigung des Milieus mit Sauerstoff. Lösungsmittel = 12 % Ethanol von pH 3,5.

Anthocyane reagieren mit Sauerstoff ca. 10 Mal schneller als andere phenolische Fraktionen → Oxidationsempfindlichkeit der Anthocyane.

Durchschnittliche passive 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	5 - 8
Umlagerung, Einlauf oben, über Auslaufbogen	2 - 4
Umlagerung, Einlauf oben, ober Reißrohr	7 - 8
Zentrifugation	3 - 4
Kieselgurfiltration	2 - 4
Cross-Flow-Filtration	0,5 – 1,0
Rühren	1 - 4
Transport in teilbefüllten Tanks	5 - 8
Abfüllung	1 - 2
Lagerung im großen Holzfass, pro Jahr	10
Lagerung im Barrique, pro Jahr	20 - 40

**Je größer die Gebindeeinheiten, desto geringer ist der Sauerstoffeintrag in mg/L
→ Problem der Behandlung großer Gebinde.**

Bis die in Rotwein störende CO₂ ausgetrieben ist, hat der Wein bereits eine gewisse Menge an Sauerstoff aufgenommen !

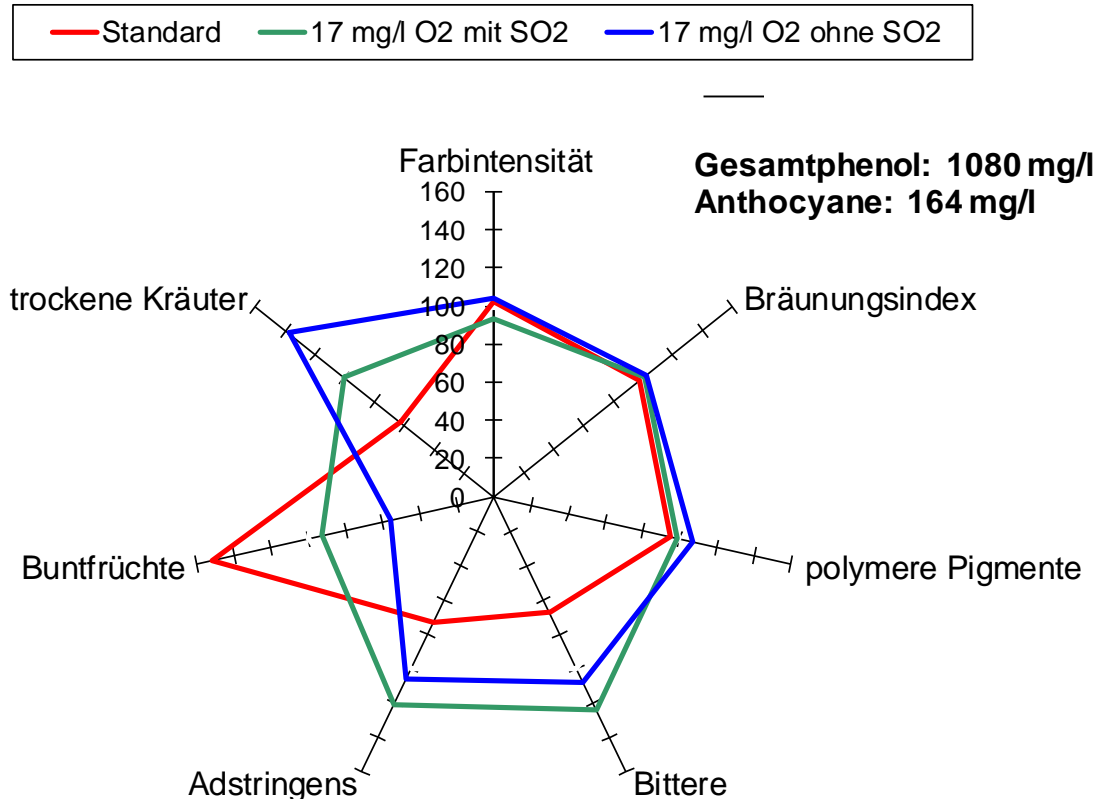
Verfahren aktiver Sauerstoffzufuhr

Vor- und Nachteile

Verfahren	Wirkung
Abzug / Umpumpen über Luft / Befüllungen von oben	Geringe O ₂ -Aufnahme (~1 mg/L) beim ersten Umpumpen / Abstich durch CO ₂ -Entbindung, relativ hohe O ₂ -Aufnahme (2-4 mg/L) bei weiteren Umpumpvorgängen.
Ansaugen von Luft über Saugstutzen der Pumpe	Variabel, eher hohe O ₂ -Aufnahme, schwer zu regulieren.
Ansaugen von Luft durch poröses Belüftungsrohr saugseitig an Pumpe	Variable, eher hohe O ₂ -Aufnahme.
Ansaugen von Luft über Flotationsanlage	O ₂ -Aufnahme regulierbar über Druck, nur mit niedrigem Gegendruck, sonst zu hohe O ₂ -Aufnahme.
Mikro-Oxygenierung	Dosage (mg / L / Monat) variabel einstellbar.
Kontrolliertes Hohlliegenlassen	Aus mikrobiologischen Gründen nur bei unter 10° C, eventuell Rühren.
Holzfass, Barrique	Langsame O ₂ -Aufnahme durch das Holz und aus Kopfraum.
Flex- (PVC)-Tanks	Rasche O ₂ -Aufnahme durch gasdurchlässigen Kunststoff, abhängig von Größe (Verhältnis von Wandfläche : Volumen).

Gesamtphenol in der Praxis: Einfluss von SO₂ auf die Oxidation (2 x 8,5 mg/L O₂) von Portugieser Rotwein nach Filtration.

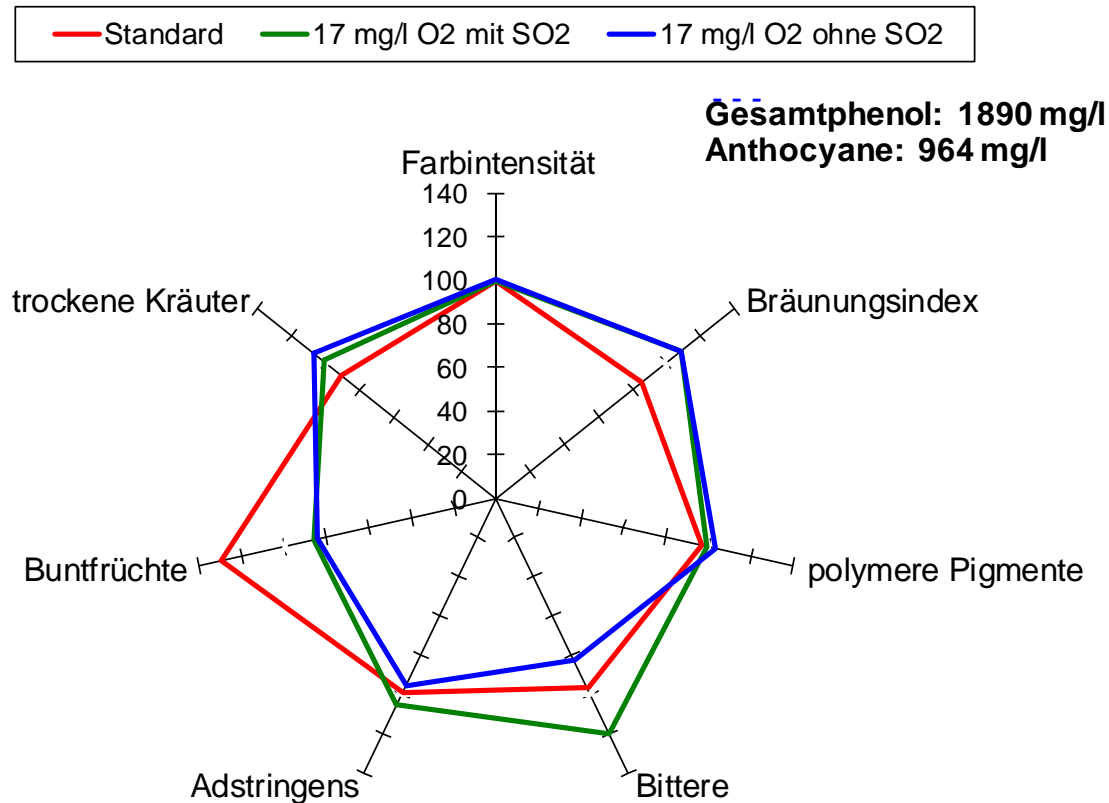
Daten in % vom Mittelwert = 100 %.



In Rotweinen mit geringem Gesamtphenolgehalt führt die Umsetzung von Sauerstoff zu starken Aromaschäden durch Überoxidation, wenn keine freie SO₂ anwesend ist. SO₂ spielt hier eine wesentliche Rolle als Sauerstoffakzeptor und unterstützt die reduzierende Wirkung des Tannins.

Gesamtphenol in der Praxis: Einfluss von SO₂ auf die Oxidation (2 x 8,5 mg/L O₂) von Dornfelder Rotwein nach Filtration.

Daten in % vom Mittelwert = 100 %.

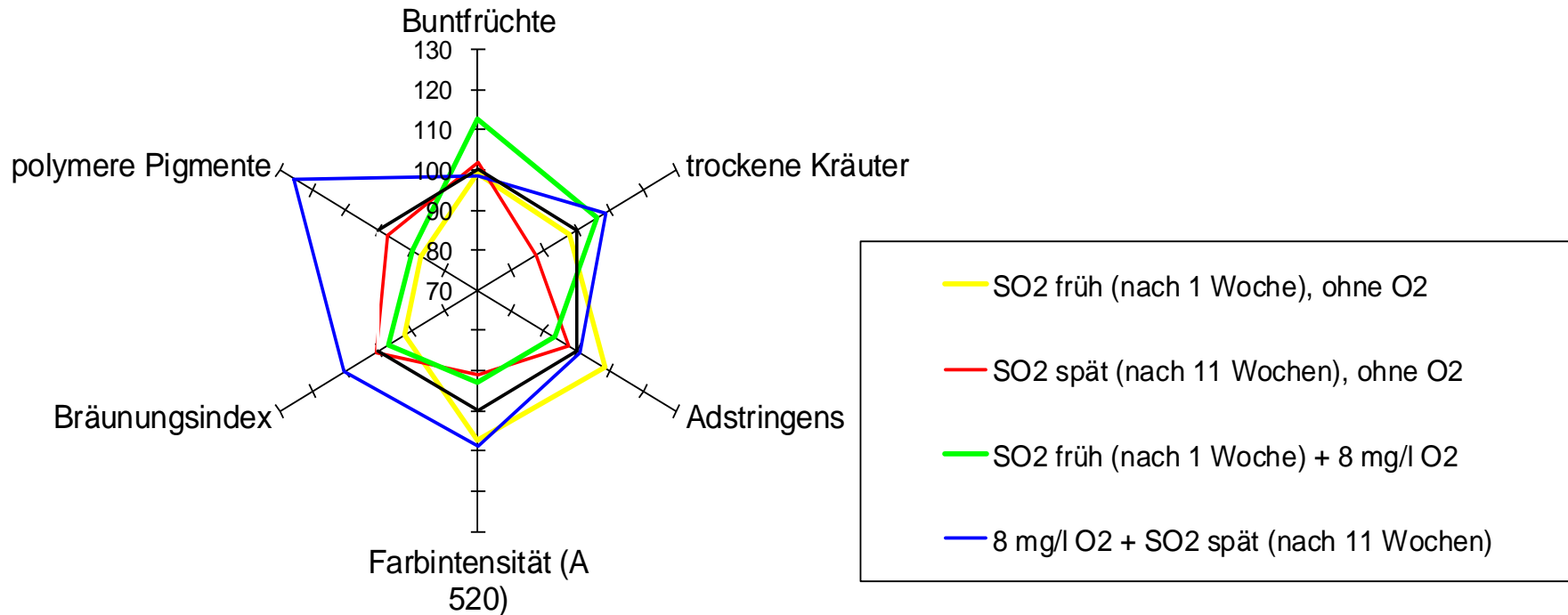


Unter vergleichbaren Bedingungen spielt die SO₂ eine geringere Rolle als Sauerstoffakzeptor, wenn der Wein mehr Gesamtphenole und Anthocyane aufweist. Insgesamt führt die Umsetzung von Sauerstoff hier zu geringen Verlusten an Fruchtaroma.

Gesamtphenol in der Praxis:

Einfluss des Schwefelungszeitpunkts (60 mg/L SO₂) auf die Oxygenierung (8 mg/L O₂) von Spätburgunder (filtriert).

Daten in % vom Mittelwert = 100 %.

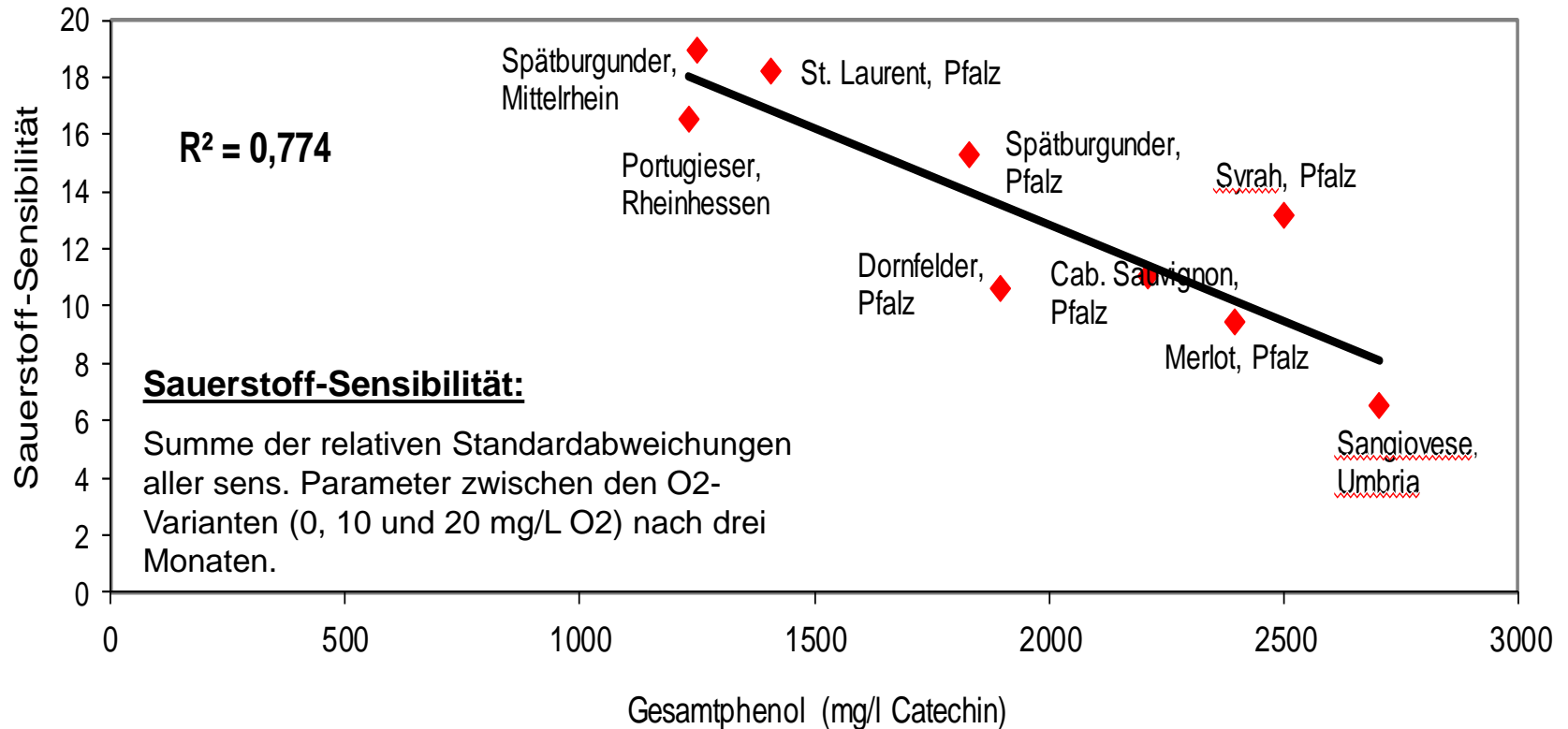


- SO₂ früh, kein O₂ → schwächste Aromatik und hellste Farbe, höchste Adstringens.
- O₂ vor SO₂ spät → höchste Farbintensität, starke Aromaschäden.
- SO₂ früh und O₂ danach → stärkste Fruchtaromatik mit geringster Adstringens und Farbe.

Die zeitlich Abfolge von SO₂ und Belüftung hat erheblichen Einfluss auf das sensorische Profil. Dieser Einfluss nimmt zu in dem Maße, wie die Gehalte an Gesamtphenol und Hefe abnehmen.

Gesamtphenol in der Praxis:

Einfluss des Gesamtphenolgehaltes auf die Oxygenierung (0, 10 und 20 mg/L O₂) von Rotweinen (filtriert, mit SO₂).



Je höher der Gesamtphenolgehalt, desto weniger spricht der Wein auf eine bestimmte Menge Sauerstoff sensorisch an und desto mehr Sauerstoff benötigt er zu seiner Reifung.

Der Gesamtphenolgehalt liefert ein Indiz dafür, wie viel Sauerstoff ein Rotwein zu seiner Reifung benötigt bzw. verträgt.

Gesamtphenol in der Praxis: Klassifizierung junger Rotweine in Hinblick auf ihren Ausbau

Typ	Gesamtphenol (GP) (mg/L Catechin)	Anthocyane (A) (mg/L Malvidingl.)	GP : A	Art des Ausbaus
leicht	1500 - 2000	150 – 200	7,5 – 13,3	<ul style="list-style-type: none"> - Tank mit 2 x Umpumpen über Luft, - große alte Holzfässer 3 – 12 Monate
mittel	2000 – 3000	200 – 400	5,7 - 15	<ul style="list-style-type: none"> - Teilmenge in Barriques, - Restmenge in großen Holzfässern oder Tanks mit 1-2 Mal belüftendem Umpumpen
stark	3000 – 4000	400 – 600	5,0 – 10,0	<ul style="list-style-type: none"> - Mikro-Oxygenierung kurzzeitig, - Barriques ca. 1-2 Jahre mit 1-2 Mal belüftendem Umpumpen
konzentriert, überextrahiert	4000 - 5000	600 - 1000	4,0 – 8,3	<ul style="list-style-type: none"> - Mikro-Oxygenierung langfristig, - Barriques mindestens 2 Jahre mit mehrmaligem belüftendem Umpumpen

Aus dem Sauerstoffbedarf, der in erster Näherung aus dem Gesamtphenolgehalt resultiert, ergibt sich die Art des Ausbaus (Tank / altes Holz / neues Holz).

**Differenzierung von Gesamtphenol durch T:A-Verhältnis:
 Polymerisationsreaktionen in Rotwein in Abhängigkeit vom
 Weintyp**

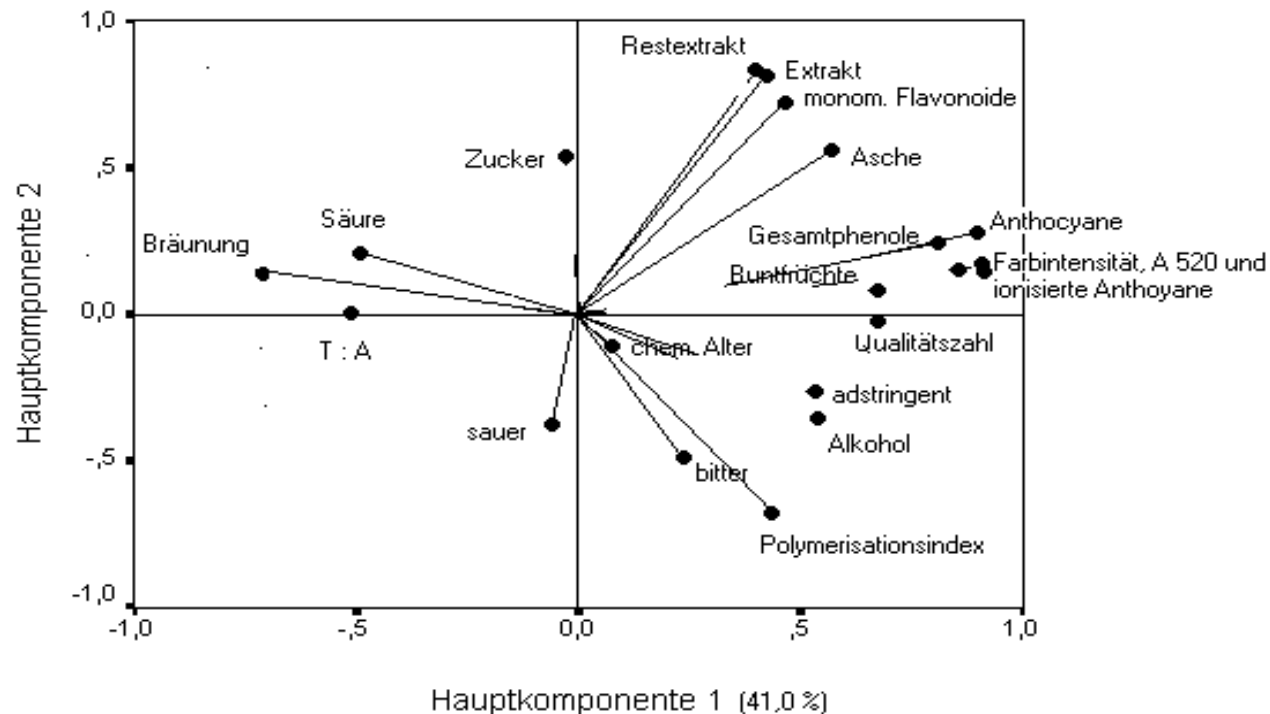
Art	Weintyp	sensorische Folgen bei Überoxidation
Tannin – Tannin	Rotwein mit wenig Farbe und viel Tannin, z. B. Spätburgunder	Altersfirne (“trockene Kräuter”), Intensivierung der Adstringens bei Alterung, im Extremfall Bräunung.
Anthocyan – Anthocyan	Rotwein mit viel Farbe und wenig Tannin, z. B. Dornfelder, Regent	Abbau von Mundfülle durch Verlust von Anthocyanen, im Extremfall Ausflockung von Farbe
Tannin – Anthocyan	Rotweine mit ausgeglichenem Tannin-Anthocyan-Verhältnis (GP : A = 4 : 1, molar), z. B. Cabernet Sauvignon, Portugieser	Relativ stabil in Geruch und Geschmack während Lagerung, gut alterungsfähig.

Die Bedeutung von Gesamtphenol erfährt durch das Tannin-Anthocyan-Verhältnis (GP : A) eine zusätzliche Differenzierung.

Anthocyane machen das Tannin geschmacklich weicher und verbessern seine Löslichkeit; sie verschwinden durch Polymerisation während der Lagerung. Farbe schmeckt man!

Aber: Wenig Tannin / viel Anthocyan → erhöhte Sauerstoff-Sensibilität.

**Differenzierung von Gesamphenol durch T : A - Verhältnis:
Dornfelder: Principal Component Analysis analytischer
und sensorischer Daten.
Beispiel für eine Rebsorte mit geringem Sauerstoffbedarf.**

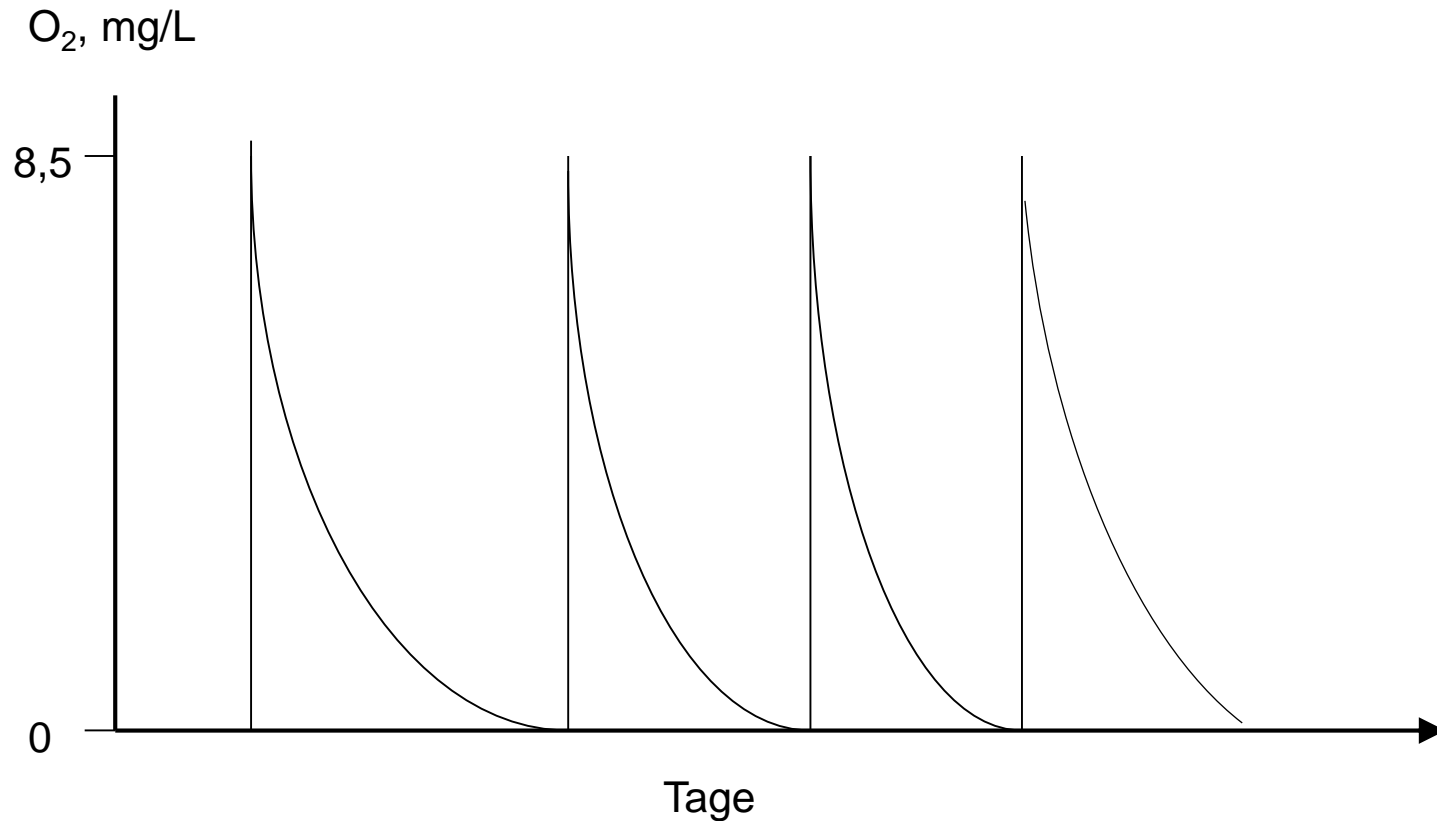


Bei Dornfelder nimmt die Qualitätszahl zu in dem Maße, wie Gesamtphenol und alle Anthocyan-abhängigen Parameter (Farbe, A 520, Gesamt- und ionisierte Anthocyane) zunehmen.

Chemisches Alter und Polymerisation des Tannins (und damit O₂-Zufuhr) sind bei dieser Rebsorte von geringem Einfluss.

Dornfelder spricht auf O₂ eher negativ an, da er wenig Tannin (und viel Anthocyan) enthält.

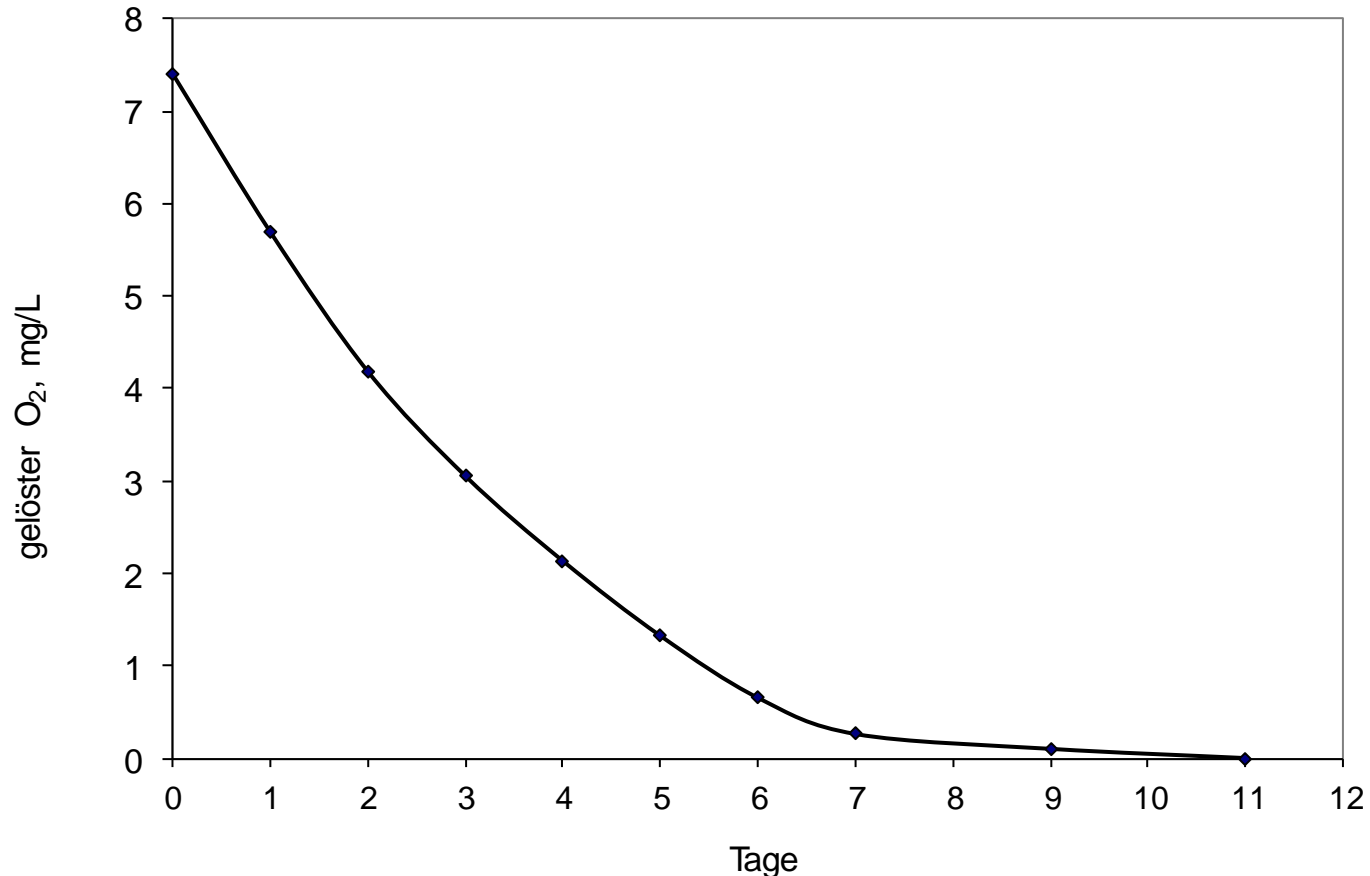
Langsame vs. schnelle Oxygenierung: Schema mehrerer aufeinander folgenden Sättigungen mit Sauerstoff



Ein Wein kann bei Kellertemperatur bis zu 8,5 g/l O_2 aufnehmen (Sättigung). Erst nach dessen Minderung bzw. Verschwinden durch Bindung kann es zu einer erneuten Aufnahme von O_2 kommen.

Langsame vs. schnelle Oxygenierung: Typischer Verlauf der Bindung von gelöstem Sauerstoff in Rotwein

(Luftabschluss, kein Kopfraum)



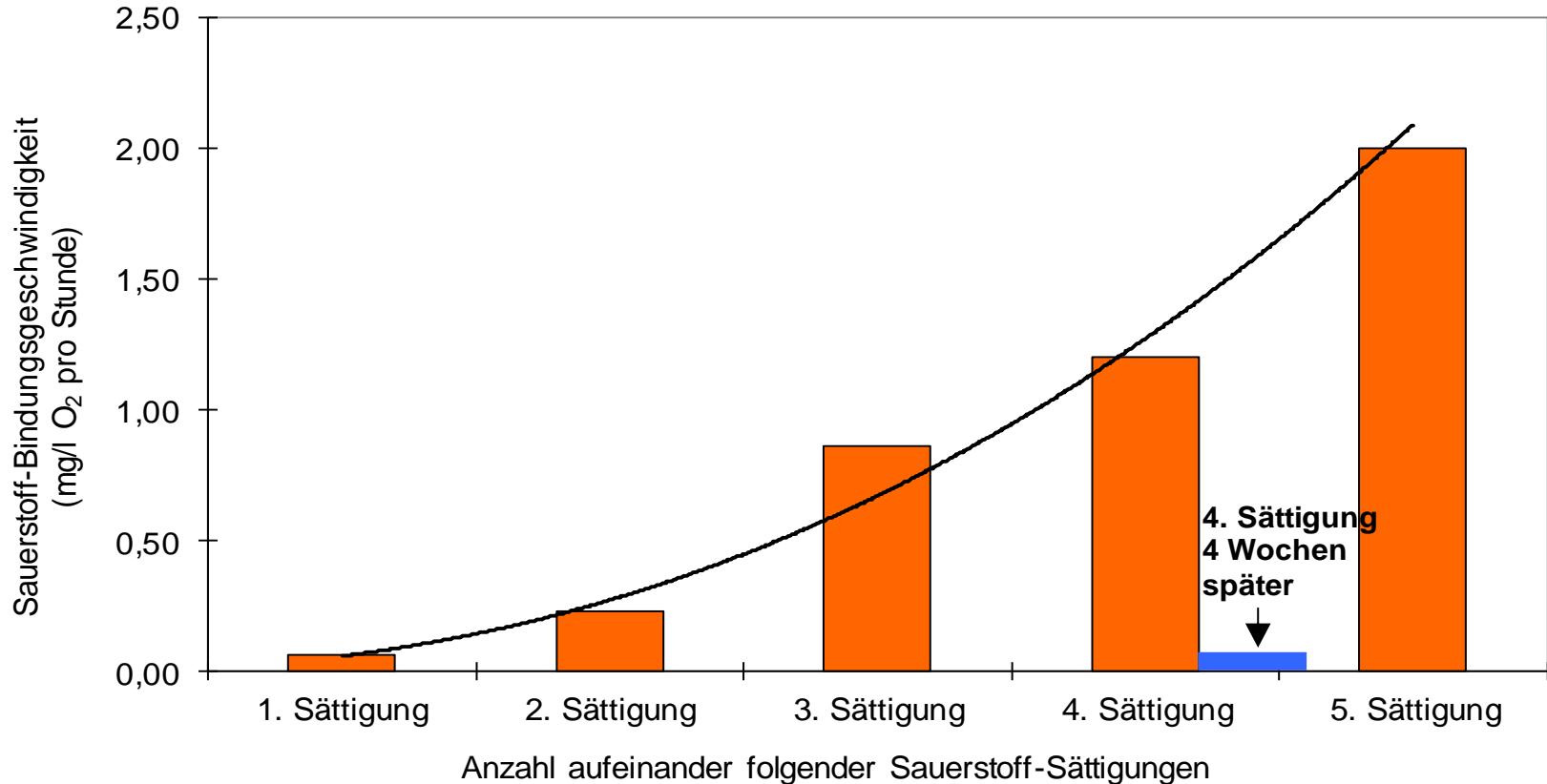
Die Geschwindigkeit der Bindung gelösten Sauerstoffs ist von seiner momentanen Konzentration abhängig und folgt meist einer negativen exponentiellen Funktion.

In der Praxis ist gelöster Sauerstoff nach einer Woche zu ca. 90 % verschwunden, sofern kein weiterer Sauerstoff, z. B. über die Oberfläche, aufgenommen wird.

Langsame vs. schnelle Oxygenierung: Überoxidation, Szenarium I:

Bindungsgeschwindigkeit des Sauerstoffs (mg/L O₂ / h) bei aufeinander folgenden Sättigungen (8 mg/L O₂) von Spätburgunder Rotwein.

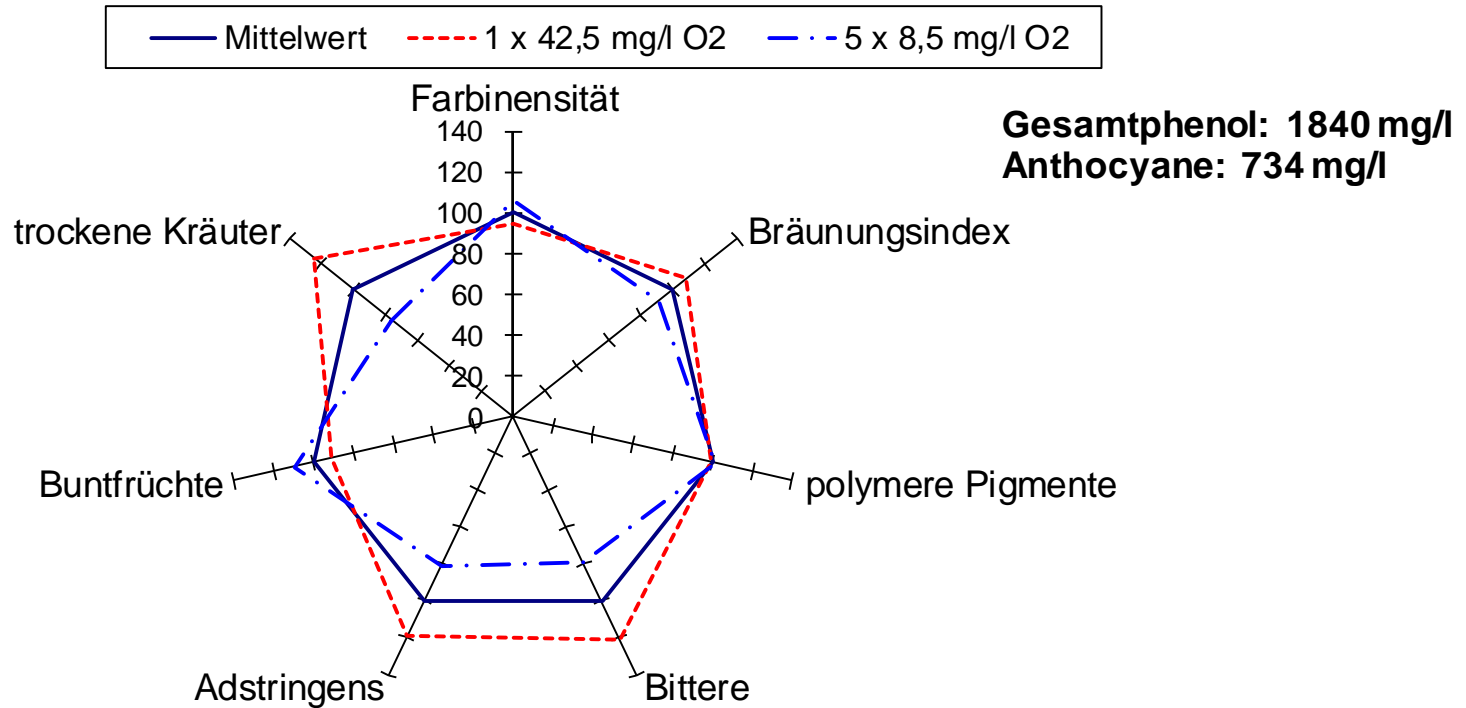
Eine Sättigung erfolgt direkt nachdem der O₂ aus der vorhergehenden Sättigung gebunden ist.



Die Oxidation bei nicht limitiertem O₂-Angebot ist autokatalytisch, d.h., ihre Geschwindigkeit nimmt exponentiell zu.

Grund: Entstehende Phenolpolymerisate haben niedrigeren pK-Wert (pK 8,5 bei Dimer statt pK 9,0 bei Monomer), sind daher stärker ionisiert und binden deshalb Sauerstoff schneller als ihre niedermolekularen Vorläuferstufen → Reaktionskaskade.

**Langsame vs. schnelle Oxygenierung:
Überoxidation, Szenarium II:
Schnelle vs. langsame Zufuhr von Sauerstoff.
Einfluss der Intensität der Oxygenierung bei Dornfelder.**



Bezogen auf die gleiche Gesamtmenge (mg/L) von Sauerstoff führt seine Zufuhr in Form zeitlich versetzter Teilmengen zu qualitativ besseren Resultaten als die einmalige Dosage der Gesamtmenge.

Grund: Regenerative Polymerisation läuft der Oxidation der Phenole hinterher → Autokatalyse

Lösung: Mikrooxygenierung - sofern der Wein überhaupt zusätzlichen Bedarf an Sauerstoff aufweist.

Langsame vs. schnelle Oxygenierung: Mikro- vs. Makro-Oxygenierung

Makro-Oxygenierung:

Schnelle Oxygenierung der Art
5 mg / L / Tag, einmalig an einem
Tag.

- Akkumulation von gelöstem O₂, H₂O₂ und Acetaldehyd bis zu mehreren mg/L.
- Regenerative Polymerisation läuft der Oxidation hinterher.
- Oxidierbare Phenole werden rasch aufgebraucht und eventuell zerstört.

Mikro-Oxygenierung:

Langsame Oxygenierung der Art
0,5 mg / L / Tag, kontinuierlich über
mehrere Monate.

- O₂-Bindung schneller als O₂-Zufuhr, kaum gelöster O₂ und Folgeprodukte nachweisbar.
- Regenerative Polymerisation hebt Effekt der Oxidation sofort auf.
- Oxidierbare Phenole werden regeneriert und bleiben erhalten.

- Die O₂-Aufnahme im Rahmen gängiger kellertechnischer Behandlungsmaßnahmen entspricht eher einer Makro-Oxygenierung, kann aber durchaus funktionieren.
- Die Mikro-Oxygenierung erfordert erhebliche handwerkliche Erfahrung, um die O₂-Dosage (1-10 mg / L / Monat) auf die Menge und Vielfalt der beteiligten Sauerstoffakzeptoren abzustimmen. Ziel: O₂-Zufuhr < O₂-Bindung → wenig gelöster O₂.
- Zeitlich versetztes, zwei- bis dreimaliges Umpumpen über Luft zum Austreiben der CO₂ kann Sauerstoffbedarf einfacher Rotweine stillen.

Experimentelle Ermittlung des Sauerstoffbedarfs

1. Zwei Flaschen von 0,75 L (rv-Volumen = 785 mL) mit Schlauch unterschichtig und randvoll befüllen.
Ziel: Keine O₂-Aufnahme beim Befüllen.
2. Eine Flasche sofort zuschrauben → Standard.
3. Aus zweiter Flasche mit Pipette 20 mL entnehmen und zuschrauben. Im Kopfraum steht eine O₂-Menge von 7,7 mg/L O₂ zur Verfügung.
Berechnungsgrundlage: Luft enthält 20,8 %-vol. O₂, 1 mL O₂ = 1,4 mg O₂.
4. Täglich umschütteln, ohne Flaschen zu öffnen.
5. Verkostung gegen Standard nach 1-2 Wochen, ggf. nach Korrektur der freien SO₂.

International gängige Empfehlungen (Lehrmeinungen) beziehen sich meist auf *high phenol red wines* und können nicht verallgemeinernd auf mitteleuropäische Verhältnisse übertragen werden.

Die häufigsten Fehler beim Sauerstoffmanagement der Rotweine

- Zu hohe Sauerstoffzufuhr, z. B. durch Holz, zu Weinen mit wenig Tannin.
- Micro-ox bei Rotweinen, die mangels Tannin dafür ungeeignet sind.
- Irreversible Überoxidation durch zu spätes Aufschwefeln bei Lagerung in Barriques → Ausflockung von Tannin und Farbe
- Zu geringe Sauerstoffzufuhr zu Weinen mit viel Tannin.
- Die natürliche Sauerstoffaufnahme wird über- oder unterschätzt.

Grundregeln:

Fruchtiger Rotwein: SO₂ früh, O₂ danach und moderat.

Lagerfähiger Rotwein, für Barrique, vin de garde: SO₂ relativ spät;
O₂ gezielt in Abhängigkeit von Tannin, SO₂ und Feinhefe.

Zusammenfassung:

Aktive und passive Zufuhr von Sauerstoff

- Die passive O₂-Aufnahme während Ausbau und Behandlungsmaßnahmen bis zum vollständigen Austreiben störender CO₂ kann für Rotweine mit geringem Gehalt an Gesamtphenol genügen, sodass weiterer Sauerstoff kontraproduktiv wirken kann.
- Die passive O₂-Aufnahme bei Behandlungen ist stark von der Gebindegröße und eventuell entweichender CO₂ abhängig.
- Im hefetrüben Rotwein konsumiert die Hefe erhebliche Mengen an Sauerstoff ohne sensorische Konsequenzen.
- Der Bedarf eines geklärten Rotweins an O₂ und seine Widerstandsfähigkeit gegen Oxidation wird in erster Linie durch seinen Gehalt an Gesamtphenol (und SO₂) wiedergegeben.
- Dieser Grundsatz erfährt eine weitere Differenzierung durch den Anthocyan-Anteil am Gesamtphenol bzw. das Tannin:Anthocyan-Verhältnis.
- Bezogen auf eine bestimmte Menge Sauerstoff, wirkt seine Dosage in Form zeitlich gestaffelter Teilmengen besser als die einmalige Zugabe der Gesamtmenge.
- Überoxidation führt zu einer temporären Akkumulation von Peroxid, zur Zerstörung von Aroma, zu harten Tanninen oder zur Ausflockung von Tannin.
- Durch die Wahl des Flaschenverschlusses mit seiner spezifischen Sauerstoff-Barrierewirkung kann die weitere Entwicklung des Rotweins beeinflusst werden (Nano-Oxygenierung).

Vorbereitung zur Abfüllung: Der Sauerstoff in der Flasche. Der Begriff des "total package oxygen" (TPO)

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

Auf der Flasche läuft die Reifung weiter. Deren Geschwindigkeit ist vom TPO abhängig.

Aber: Aus dem TPO ergibt sich auch die Abnahme der SO_2 in der Flasche. Wenn die freie SO_2 vollständig durch Oxidation verschwunden ist, tritt i. A. ein Luftton (freier Acetaldehyd) auf.

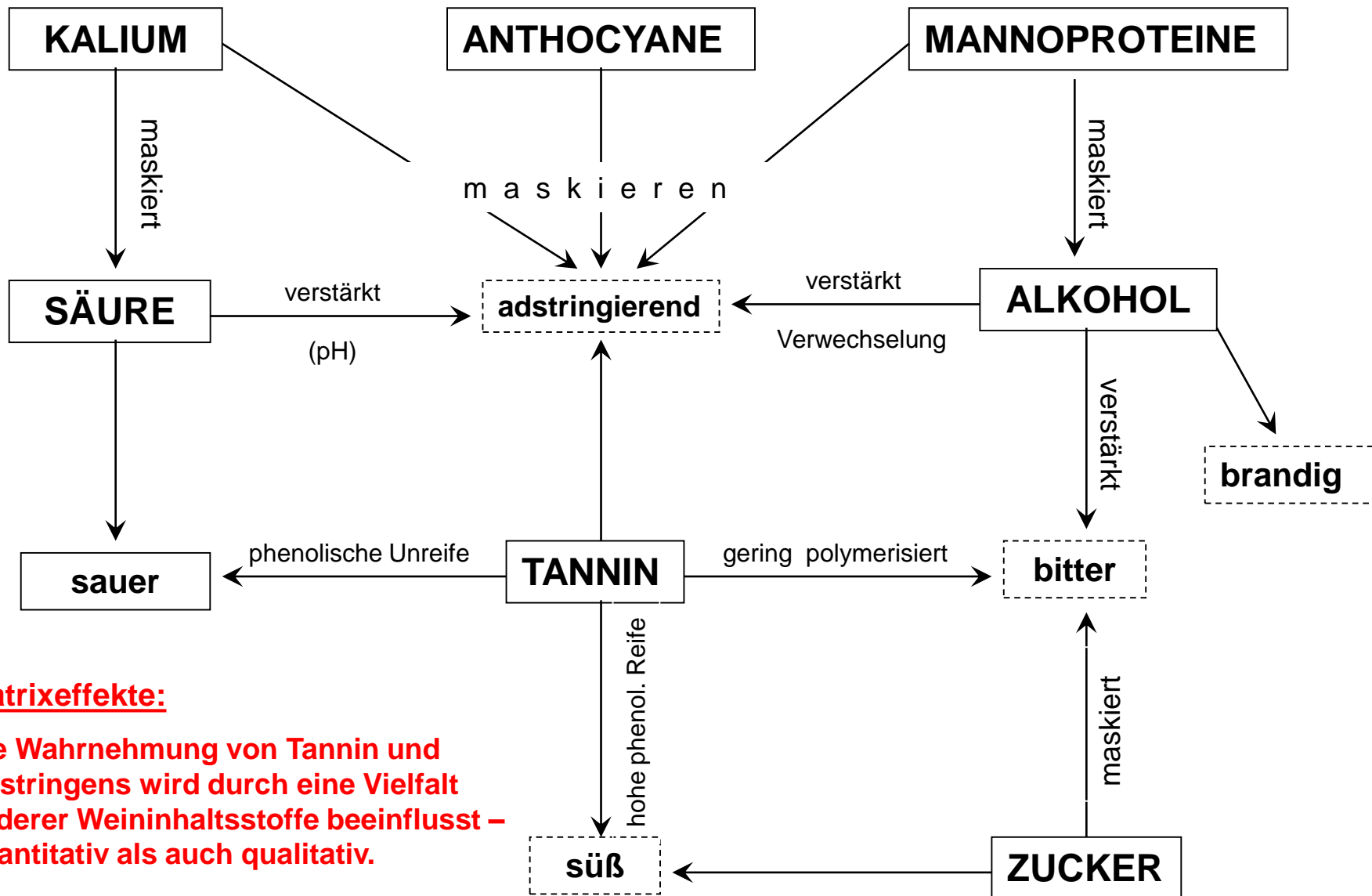
1 mg O_2 → Oxidation von ~ 2 mg SO_2 → Verluste von freier und gesamter SO_2 (Folie 27).

Zur Herstellung der SO_2 -Stabilität muss O_2 -Aufnahme spätestens eine Woche vor der Abfüllung unterbunden werden, damit noch gelöster O_2 vor der Abfüllung abreagieren und ggf. nachgeschwefelt werden kann.

**Vorbereitung zur Abfüllung:
Gerät zur nicht-invasiven Messung des gasförmigen (im Kopfraum)
und gelösten (im Wein) Sauerstoffs mittels Lumineszenz-Technik.**



Vorbereitung zur Abfüllung: Geschmackliche Ausdrucksformen des Tannins; Wechselwirkung mit anderen Weininhaltsstoffen

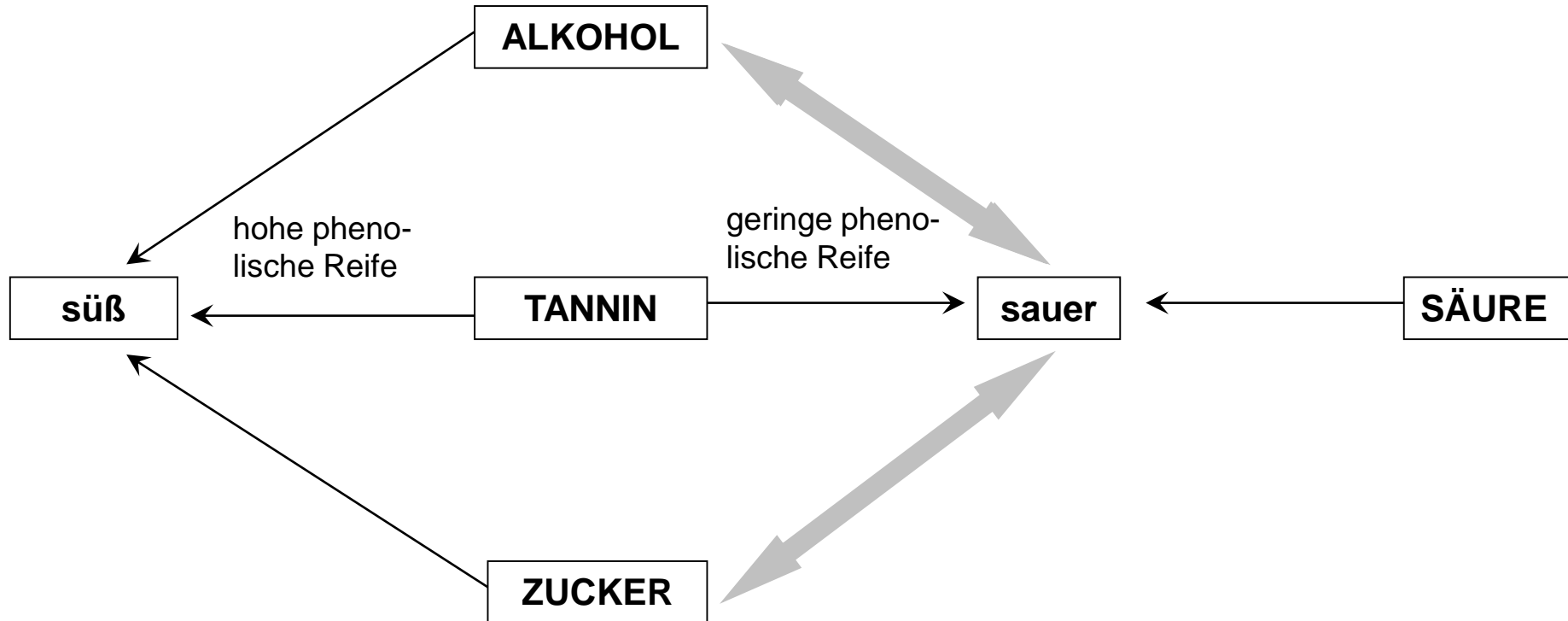


Matrixeffekte:

Die Wahrnehmung von Tannin und Adstringens wird durch eine Vielfalt anderer Weininhaltsstoffe beeinflusst – quantitativ als auch qualitativ.

Vorbereitung zur Abfüllung:
**Wechselwirkung von Tannin und Säure:
Beeinflussung des sauren Geschmacks durch Tannin und
andere Inhaltsstoffe von Rotwein**

↔ = gegenseitige Maskierung



Reifes vs. unreifes Tannin:

Tannin aus reifem Lesegut kann einen süßen, solches aus unreifem Lesegut einen sauren Beigeschmack aufweisen.

Die sensorische Beurteilung des Tannins ist erst möglich, nachdem der saure Geschmack unter Kontrolle gebracht wurde (Ansätze mit KHCO_3).

Vorbereitung zur Abfüllung: Vorversuche zur Feinentsäuerung mit KHCO_3

Herstellung der Versuchslösung zur Entsäuerung mit KHCO_3 und Durchführung der Versuche.					
Herstellung der Versuchslösung	100 g KHCO_3 mit Wasser auf 1000 ml auffüllen und lösen.				
Anwendung der Versuchslösung pro 100 ml Wein	0,1 ml / 100 ml Wein entspricht im Tank: + 0,1 g/l KHCO_3				
	+ 0,25 ml	+ 0,50 ml	+ 0,75 ml	+ 1,00 ml	+ 1,25 ml
Entspricht im Tank:	+ 0,25 g/l	+ 0,50 g/l	+ 0,75 g/l	+ 1,00 g/l	+ 1,25 g/l

Der BSA allein genügt oft nicht zur Herstellung eines harmonischen Säurebildes.

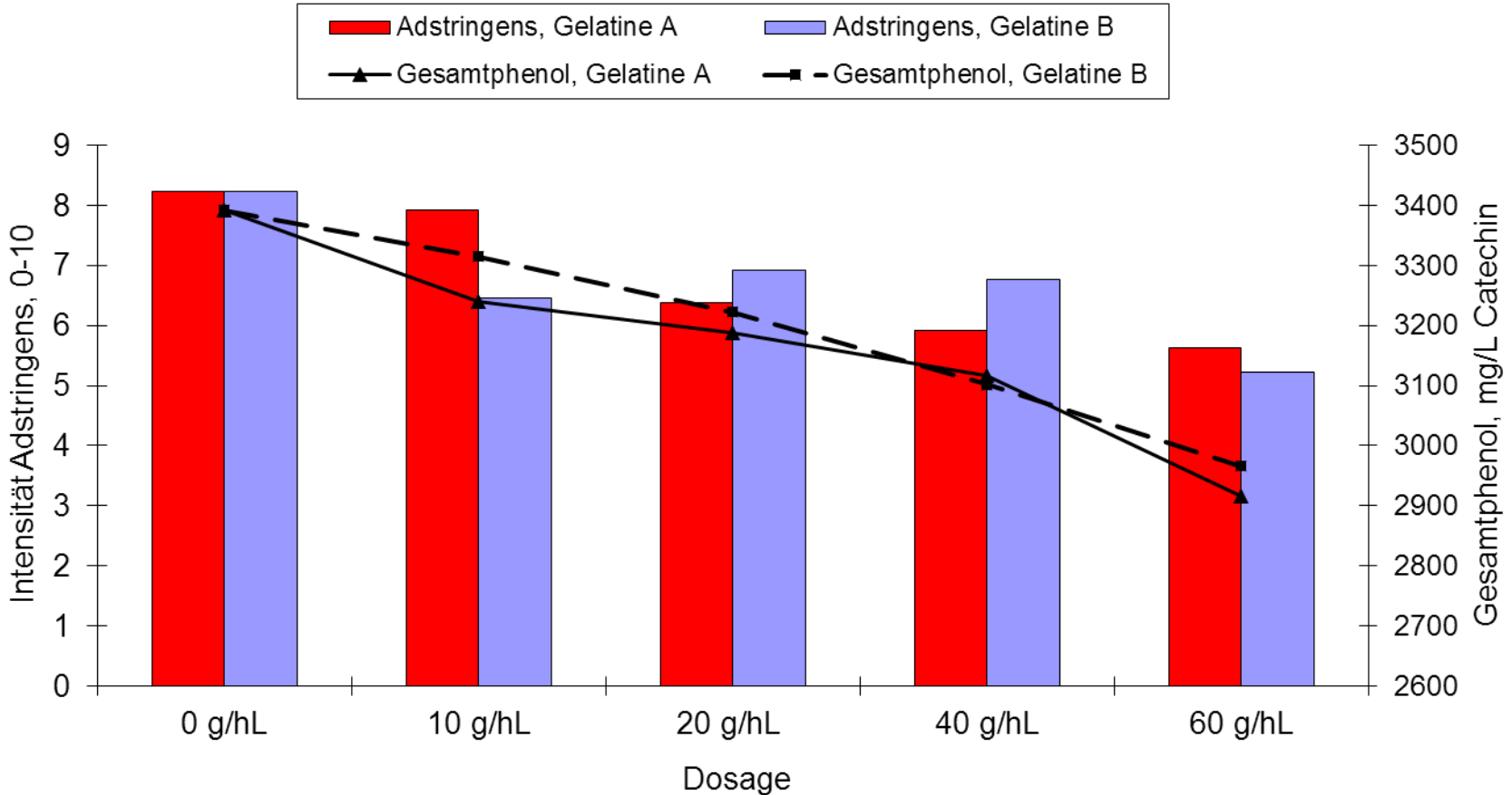
In deutschen Rotweinen liegt die vom Verbraucher präferierte Säure bei ca. 4,5 g/L.

Nur Rotweine aus Lesegut hoher phenolischer Reife vertragen 5,0 g/L Säure und mehr.

Bei der Entsäuerung von Rotwein mit KHCO_3 gilt ein Entsäuerungsfaktor von fast 1,34 (nicht 0,67).

Es interessiert ausschließlich die benötigte Menge KHCO_3 , nicht die berechnete Endsäure !

Vorbereitung zur Abfüllung: Wirkung von zwei Gelatinen (A und B) auf Gesamtphenol und Adstringens bei Spätburgunder



Wird zu Minderung der Adstringens eines Rotweins mit einem eiweißhaltigem Schönungsmittel wie Gelatine geschönt, besteht ein enger Zusammenhang zwischen Aufwandmenge des Schönungsmittels, Minderung des Gesamtphenolgehalts und Minderung der Adstringens.

Zusammenfassung: Minderung der Adstringens durch Schönung und / oder Entsäuerung

- Eine störend hohe Adstringens kann durch zu viel Tannin, Tannin schlechter Qualität oder zu viel Säure hervorgerufen werden.
- Das Tannin kann erst nach Einstellung der Säure sensorisch definitiv beurteilt werden.
- Vor Schönungen sollte zuerst versucht werden, die Säure nach unten zu korrigieren, da Säure die Adstringens verstärkt und die Mundfülle mindert (Vorversuche mit KHCO_3).
- Gelatine ist am effizientesten zur Minderung hoher Tanningehalte; andere Präparate erfordern ungleich höhere Aufwandmengen - bezogen auf die gleiche Wirkung.
- Gelatine-Dosagen ab 10 g/hl ergeben sensorisch signifikante Unterschiede, Dosagen um 20 g/hl sind oft sinnvoll bei rauen Rotweinen.
- Im Einzelfall kann die Adstringens gemindert und das Tannin besser integriert werden, wenn der Gehalt an Mannoproteinen (Handelspräparate, Hefe) erhöht wird.
- Zufuhr von Sauerstoff ist keine geeignete Maßnahme zur kurzfristigen Minderung von Adstringens.