

Abstract

Oxidation is a major factor in the winemaking industry, and is of great importance in connection to different faults occurring in wine. Oxidation starts occurring in wine as soon as the grapes skin is broken, and the oxygen from the air comes into contact with the different substances in the grapes juice. The oxidation is especially harmful to the wine after the alcoholic fermentation, due to the fact that ethanol oxidizes to acetaldehyde and onward to vinegar acid, especially with the presence of acetobacter. Both of these represent serious oxidation-induced flaws in wine. The oxidation of, in grapes, naturally occurring phenolic compounds also plays an important role in the overall oxidation of the wine, in that it reduces the dissolved oxygen to hydrogenperoxid, which is an even more effective oxidizing agent. This oxidation triggers the polymerization of the phenolic compounds which binds them together to form larger molecules, which is responsible for the browning of wine, due to that phenol is a part of the coloring pigments. Phenolic substances transfer to the grape juice during the maceration of red wines, which therefore has more of these compounds than white wines, and is subsequently better protected from oxidation in that phenol absorbs oxygen in its oxidation, before other substances.

The most commonly used antioxidant in wine is SO_2 , due to its versatile properties. SO_2 has an antiseptic function that inhibits wild yeast and unwanted bacteria from corrupting the wine production. It obtains some of the formed hydrogenperoxid and inhibits the enzyme catalyzed oxidation of phenol. Other alternative antioxidants have been tried and are still experimented with, but none of these has yet been proven to be as stable, diverse and effective as SO_2 while at the same time ethical correct.

Indholdsfortegnelse

Abstract	1
Indledning.....	3
Vinproduktionen.....	4
Oxidation	6
Oxidation i vin.....	7
Gæring	7
Acetobacter	9
Phenoler	9
Forhindring af oxidation	12
Svovldioxid.....	12
Molekylært svovldioxid	13
Hydrogensulfit	14
Sulfit.....	14
Hyperoxidation	15
Perspektivering.....	16
Vurdering af metoder	16
Alternativer.....	16
Diskussion	17
Konklusion	18
Litteraturliste.....	19
Bøger	19
Artikler.....	19
Hjemmesider	19
Billeder.....	20
Bilagsfortegnelse	20

Indledning

Denne rapport består af en skriftlig kemisk og biologisk redegørelse, der er formuleret på baggrund af en omfattende research indenfor emnet Oxidation af vin. Rapporten er overordnet delt op efter 3 perspektiver; oxidation i forhold til den praktiske vinproduktion, biokemisk analyse af den specifikke oxidation i vin samt en faglig vurdering af allerede anvendte antioxidanter i den generelle vinproduktion og alternativer hertil.

Rapportens fokus vil primært ligge på den specifikke oxidation af stoffer i vin, og vil derfor ikke kunne anvendes til forklarende belysning af andre aspekter inden for vinproduktion/-smagning/-salg osv.. Dette bevirker også at biologien og kemien i denne rapport, vil bevæge sig indenfor rapportens fokus, deraf specifikt på disse fags betydning for de bestemte aspekter i opgaven.

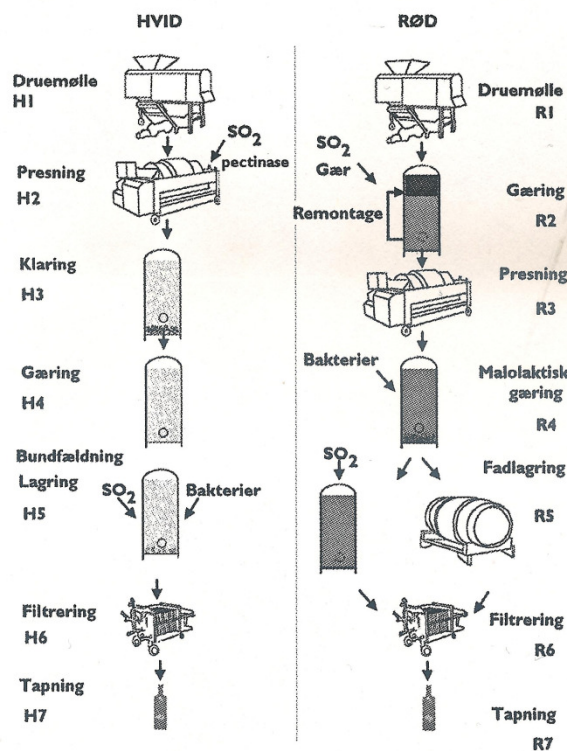
Det er desuden vigtigt at forstå at der er tale om en teoretisk faglig redegørelse, analyse og vurdering, som blevet udredet ud fra en række forskellige faglige kilder der muligvis ikke har nogen forbindelse i øvrigt, og forfatterne til disse kilder skal derfor ikke sættes lig hinanden (hverken meningsmæssigt eller ud fra faglig ekspertise).

Vinproduktionen

For bedst at kunne forstå hvorledes oxidation påvirker vinen, er det vigtigt først at danne sig en overordnet forståelse af selve vinproduktionen og de processer som er særligt udsatte i forhold til oxidation.

Oxidation er en potentiel trussel for den færdige vin, fra det øjeblik at druerne bliver plukket, og oxidation er desuden en fortsat potentiel trussel igennem det meste af produktionen. Idet druerne bliver plukket med stilk, sker der ingen oxidation så længe druerne ikke knuses. Ved mere kostbare vine, afhjælpes dette af at druerne transporteres i lave beholdere hvor druerne belastes minimalt af hinanden¹. Efter plukningen kommer druerne i en druemølle (H1/R1, se figur 1) og adskilles. Ved denne proces opstår således den første reelle trussel for en oxidation, idet at drueskallerne brydes og saften, eller mosten, kommer i kontakt med luftens ilt. Herefter divergerer produktionen af hhv. hvid- og rødvin en smule fra hinanden, eftersom rødvin er afhængig af at mosten får lov til at blive ved drueskallerne i et bestemt tidsrum for at udtrække farvestoffer fra disse (macerationen), hvilket vil have en påvirkning på oxidationen senere. Hos hvidvin presses druerne med det samme og centrifugeres². Ved begge produktioner, tilsættes nu svovldioxid (SO₂), hvilket har en del funktioner, som foruden at slå bakterier og arter af vildgær ihjel, også virker som en antioxidant hvilket vil blive belyst senere under den kemiske redegørelse. Gæringen sættes nu i gang.

Mosten kommer på ståltanke, hvorefter der tilsættes enkeltcellet vingær (*Saccaromyces elipsoides*), hvilket sætter gang i en forgæring af mostens glukose til ethanol samt kuldioxid: $C_6H_{12}O_{6(aq)} \rightarrow 2 CH_3CH_2OH_{(aq)} + 2 CO_{2(g)}$ (se figur 1, H4/R2). Det er essentielt at gæringen forløber under iltfrie (anaerobe) forhold og således ikke er udsat for oxidation. Dette præsenterer sig imidlertid ikke som noget alvorligt problem for de fleste vinproducenter, idet at den konstante udledning af CO₂ ligger sig som et låg over mosten og forhindrer at der kan komme noget ilt til at reagere med den gærende vin, selv i åbne kar. Ligeledes er princippet bag en



Figur 1: Procesforløbet under en vinfremstilling (bacchus, systime, 2001)

¹ Webb, A. Dinsmoor: Oxidation. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 489-489.

² Vinfremstilling. I: Bacchus. side 32-33. Redigeret af: Gunnar Jensen. 1. udg. Systime, 2001.

malolaktiske gæring (R4), som overordnet består i en tilsættende af mælkesyrebakterier (lactobacillus), for at nedbryde den uønskede æblesyre, som naturligt opstår i druer, til den mere behagelige mælkesyre³. Sådanne forhold hvor ilten er afskåret for tilføring til vinen, kaldes reduktive forhold, idet at en hver reaktion der herefter foregår, nedsætter muligheden for en yderligere påvirkning af ilten ved at opbruge noget af det som stadig er tilbage. Sådanne forhold ønsker man som sagt at opnå under den sidste del af gæringen, men under begyndelsen er oxidative forhold faktisk at foretrække, da det sikrer en høj gærvækst⁴. For at opnå disse oxidative forhold under den første del af gæringen, kan vinproducenten bevidst vælge at ilte vinen, igennem en metode som hedder macrooxidation, der består i at lede store mængder ilt igennem den gærende vin, hvorved den aerobe (fuldstændige) gæring kan finde sted og gærvæksten forøges. De aerobe gæringsprodukter vil ikke skade vinen, da det blot består af vand og kuldioxid⁵.

Den sidste potentielle risiko for oxidation, kommer med lagringen af den nu gærede vin (H5/R5). Denne risiko bliver dog minimeret anseeligt ved at det meste vin i dag lagres på ståltanke, og der endnu en gang tilsættes SO₂⁶. Men der er dog også andre forbehold som bør tages, idet SO₂ ikke garanterer at der ikke sker oxidation. Man anvender her bl.a. en pumpe som er installeret på tanken, som danner et vakuum i tanken ved at pumpe den luft ud, som befinder sig over vinen. Alternativt kan man også pumpe en ædelgas, som f.eks. Argon, ind i tanken, som, grundet at være tungere end atmosfærisk luft, vil lægge sig over vinen som et låg, og forhindre ilt i at nå ned til vinen. Men da denne metode er særdeles kostbar, anvendes der med fordel frit kvælstof (N_{2(g)}), men da det ikke er tungere end luften, fyldes hele tanken med kvælstof som således tvinger ilten ud⁷. Ved lagringen på fade, egetræs tønder, er der en større risiko for oxidation og de førnævnte metoder kan selvsagt ikke anvendes her. Hvis der er tale om et godt og nyt fad med en frisk spuns (prop som forseglar en åbning i siden af fadet), så vil der ske en diffusion af vin igennem tøndestavende, hvilket vil resultere i et hulrum øverst i tønden som fyldes med alkohol- og vanddampe samt kuldioxid, men grundet forseglingen vil der ikke kunne komme ilt ind i dette hulrum og der vil derfor ikke ske nogen betydelig oxidation. Ved brug af ældre fade kan forseglingen ikke gøres fuldstændig tæt, og hulrummet bliver derfor løbende fyldt op med mere vin. Desuden kan disse fade roteres en smule, således at spunsen og åbningen i siden holdes fugtig og luftningen minimeres⁸.

³ Vinfremstilling. I: Bacchus. side 34-35. Redigeret af: Gunnar Jensen. 1. udg. Systime, 2001

⁴ Webb, A. Dinsmoor: Reduktion. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 548-549

⁵ Goode, Jamie: Wine flaws: Oxidation. I: Sommelier Journal, 06.2008, s. 49-50 (Artikel)

⁶ Vinfremstilling. I: Bacchus. side 34-37. Redigeret af: Gunnar Jensen. 1. udg. Systime, 2001

⁷ Webb, A. Dinsmoor: Ædelgasser. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 774

⁸ Webb, A. Dinsmoor: Efterfyldning. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 198-198

En sådan produktion hvor der specifikt undgås en hver form for unødigt oxidation af vinen, mosten eller druerne, kaldes en reduktiv produktion, og indførelsen af denne form for produktion har været et af de rigtig store fremskridt inden for den moderne vinproduktion, især når det gælder store rødvine som hovedsageligt at båret af deres frugtsmag⁹. Det er dog imidlertid vigtigt her at bemærke at en al for effektiv reduktiv produktion samt lagring af en vin, faktisk også vil have nogle skadelige virkninger på vinen, grundet reduktion af andre stoffer i vinen¹⁰. Dette vil blive belyst nærmere under afsnittet Forhindring af oxidation.

Oxidation

Den kemiske forståelse af en oxidation, er overordnet en afgivelse af elektroner. Heraf følger den komplimenterende reduktionsreaktion, en optagelse af elektroner, og de 2 reaktioner kaldes under et navn for en redoxreaktion. Ud fra den kemiske forståelse behøver en oxidation i sig selv ikke at involvere oxygen.

Mest relevant for vinproduktionen, er det kemiske forhold som er imellem de stoffer som findes i vin, som har et potentiale for at oxidere. Med dette forhold skal forstås, at nogle stoffer er mere reaktionsdygtige end andre, med henblik på at blive oxideret eller reduceret. Et stof reduktions-/oxidationspotentiale afhænger af stoffets standards elektronnegativitet (se evt. bilag 1)¹¹. Der er mange eksempler på forskellige redoxreaktioner, men i henhold til vinproduktion er det dog imidlertid vigtigt at bevare en enkel forståelse af disse reaktioner.

Ved en oxidation i vin forstås der overordnet en kemisk forbindelse mellem stoffer i vinen, og ilt fra luften. Som sagt behøver der i princippet ikke at indgå ilt i oxidationen, men den gense forståelse af en "oxidation" af vin, består i en fejl i vinen forårsaget af en for høj eksponeringen af vin til den atmosfæriske luft (her oxygen)¹². Inden for vinproduktion beskriver man det samlede potentiale for alle vinens komponenter for at reagere i en oxidation eller reduktion, som redoxpotentialen. Som førnævnt afhænger redoxpotentialen af elektronegativiteten, og de af stofferne med højere elektronegativitet vil således have en større tendens til at afgive elektroner og således blive oxideret. Derfor sker en reaktion med mere positiv elektronegativitet, på bekostning af reaktioner med mere negativ elektronegativitet. Netto redoxpotentialen bestemmes ved det punkt hvor der er indstillet en ligevægt mellem redoxparrene (stoffer som indgår i en bestemt redoxligevægt).

⁹ Goode, Jamie: Wine flaws: Oxidation. I: Sommelier Journal, 06.2008, s. 50 (Artikel)

¹⁰ Webb, A. Dinsmoor: Reduktion. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 549

¹¹ Redoxreaktioner. Mygind, Helge: I: Kemi 2000 C-niveau. 1. udg. Haase & Søns forlag, 1994. side 134-137

¹² Webb, A. Dinsmoor: Oxidation. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 489

Redoxpotentialen er således et anskudt mål for en vins potentiale for at blive oxideret, ud fra koncentrationen af indholdsstofferne¹³.

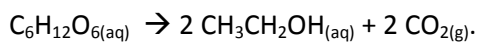
Oxidation i vin

Ser vi på oxidation i vin, som en skade på vinen forårsaget af en reaktion mellem bestemte stoffer i vinen og ilt, er det selvsagt nærværende at undersøge hvilke specifikke stoffer der er tale om.

Det første stof som vi vil fokusere på er eddike, hvis dannelse har en direkte relevans til alkoholgæringen i vin.

Gæring

Som førnævnt indgår den alkoholiske gæring, som en vigtig proces i vinproduktion. Netto reaktionen for denne gæring er en omdannelse af et glukosemolekyle til 2 ethanol-molekyler og 2 kuldioxidmolekyler:



Gæringen er en avanceret proces som består af 12 trin, der hver er katalyseret af et enzym¹⁴. Overordnet består denne proces i følgende:

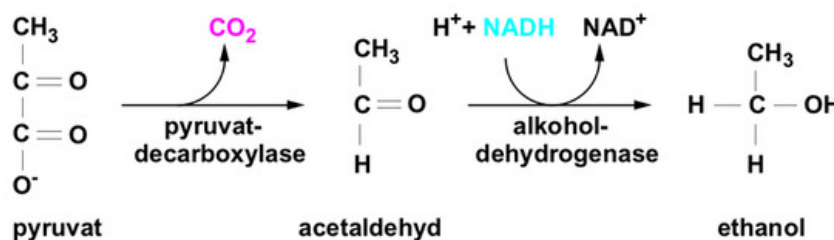
1. De første trin i processen forbinder fosfatgrupper med sukkeret.
2. Herefter følger en række trin hvor sukermolekylet med 6 kulstofmolekyler, spaltes til 2 med hver 3 kulstofmolekyler, og et af disse omorganiseres i strukturen på det andet.
3. Efter yderligere omflytninger mister dette molekyle sit terminale carboxyl kulstofatom i form af kuldioxid.
4. Tilbage bliver der acetaldehyd eller ethanal (CH_2CHO), som;
 - a. Ved mangel på oxygen: vil reduceres til alkohol
 - b. Ved overskud af oxygen: vil via en anden flertrinsserie blive nedbrudt til energi, vand og mere kuldioxid

På figur 2, ses de sidste 2 processer i gæringen, samt de enzymer som katalyserer processerne.

¹³ Webb, A. Dinsmoor: Redoxpotentialen. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 548

¹⁴ Vinframstilling. I: Bacchus. side 34. Redigeret af: Gunnar Jensen. 1. udg. Systime, 2001

Eftersom disse processer ikke er 100 % effektive, vil der ske en ophobning af delprocessernes reaktionsprodukter i vinen som

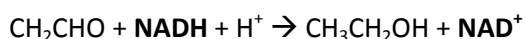


også vil have en evt. påvirkning på vinens smag og duft, idet at der

også vil blive dannet flygtige syrer¹⁵ under gæringen, hvoraf de vigtigste foruden eddikesyre er, smørsyre (butyrat), myresyre (formiat) og propionsyre (propianat)¹⁶. I reference til oxidation, er dog det sidste stadium i gæringen, reduktionen af acetaldehyd til ethanol, det mest interessante.

Figur 2, Sidste 2 processer i gæringen (www.denstoredanske.dk)

Som bekendt kan en reduktionsreaktion ikke forløbe isoleret, men er nødt til at komplimentere en oxidation. Reduktionen af acetaldehyd sker således ved en oxidation at et såkaldt coenzym kaldet NADH:



Hertil kommer relationen til en potentiel oxidation, idet at der ved eksponering af ilt til vinen vil ske en omvendning af ovenstående reaktion, således at alkoholen vil oxidere tilbage til acetaldehyd, hvorefter den dannede NADH vil blive oxyderet af ilt fra luften. Acetaldehyden kan nu ved yderligere påvirkning af oxygen blive oxideret videre til eddikesyre (det skal her nævnes at oxidation af alkohol sker ved reduktionen af brintoverilte (se evt. phenoler))¹⁷. Jævnfør den opstillede forståelse af gæringen, vil der naturligt forekomme en lille mængde eddikesyre (forsaget af ophobningen af acetaldehyd) og hvis denne koncentration holdes under 0,2 g/L vil det ikke påvirke vinens smag negativt, men kommer koncentrationen over 1,5 g/L vil vinen bære et tydeligt præg af eddike. Desuden vil ophobningen af acetaldehyd (ethanal), anses som en fejl da dette stof vil give vinen et præg af at være fad og doven, typisk de kriterier hvorpå man bedømmer hvorvidt en vin er oxideret¹⁸. Paradoksalt nok ønskes der, som regel, en vis produktion af eddikesyre, idet at eddikesyren er i stand til at reagere med ethanol i en såkaldt kondensationsreaktion, ved dannelse af esteren ethylacetat, som giver eddiken sig duft. Denne ester har en frugtagtig duft og smag i små koncentrationer i vinen, hvilket gør den til en primær duftnote hos mange vine grundet den høje koncentration af ethanol og eddikesyre. Hertil skal det nævnes at der bliver dannet en stor mængde estere i vin, ved *forestring* mellem ethanol og andre syre i vinen (heriblandt, propansyre,

¹⁵ Flygtige syrer: Syrer som har en damptryk, og altså vil fordampe en vis grad, ved stuetemperatur. (Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 2: Vines syrer og surhed. I: Vinpressen, 2002, s. 16 (Artikel))

¹⁶ Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 2: Vines syrer og surhed. I: Vinpressen, 2002, s. 16

¹⁷ Webb, A. Dinsmoor: Oxidation. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 489

¹⁸ Webb, A. Dinsmoor: Flygtige syrer. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 232

æblesyre, vinsyre, osv.), men der er dog en del af disse som ikke kan lugtes. Af de mere komplekse vine, vil langt størstedelen af deres bouquet komme fra flygtige estere i vinen. Dog vil en for høj koncentration af hvilken som helst af disse estere skabe en grim lugt, og anses som en fejl¹⁹.

En ester dannes som nævnt ved en kondensation af eddikesyre og alkohol. Ved en kondensation eller *forestring* forstås der en sammenbinding af 2 organiske molekyler under fraspaltning af et mindre molekyle, som oftest er et vandmolekyle²⁰.

Acetobacter

En anden vigtig rolle i produktionen af eddikesyre indtages af acetobacter eller eddikesyrebakterier. Selvom produktionen af eddike godt kan forløbe af sig selv i vin, går denne meget langsom og er særdeles ineffektiv. Acetobacter opnår en energiproduktion ved at oxidere alkohol til acetaldehyd, ligesom man ser det ved bakterier som opnår energi ved at spalte f.eks. nitrogenholdige stoffer, og findes derfor naturlig på planter hvor der også lever gærsvampe som kan producere den nødvendige alkohol for deres stofskifte, og de lever derfor også på vindruer som gør dem til en reel trussel for eddikedannelsen i vin. Skal en dannelse af eddikesyre være en fare for en vin, skal der nødvendigvis være acetobacter tilstede. Disse bakterier er sammen med mælkesyrebakterier (se malolaktiske gæring), nogle af de eneste grupper af bakterier som kan overleve effektivt i vinen meget syreholdige miljøer. Når man beskytter en vin mod oxidation, beskytter man den i lige så høj grad mod acetobacter, da der ved mangel af hvilken som helst en af de 2 faktorer ikke kan ske en eddikedannelse. Dette er dog imidlertid 2 sider af samme sag, idet at acetobacter er obligate aerobe, og derfor kun kan overleve i miljøer hvor der er rigeligt ilt til stede, og derfor vil disse bakterier også leve på kulturform i overfladen af vinen. Desuden har disse bakterier et temperatur optimum imellem 30-40°C og trives ved relativt høje pH-værdier (3,5-4,0). Man kan derfor beskytte sin produktion ved at nedkøle den, ved at have et højt syreindhold i vinen samt at tilsætte svovldioxid som desinfektionsmiddel foruden som antioxidant.²¹

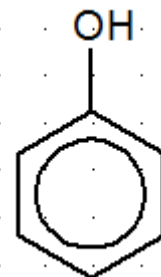
Phenoler

¹⁹ Webb, A. Dinsmoor: Estere. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 209-210

²⁰ Vin og kemi, Estere. I: Bacchus. side 55. Redigeret af: Gunnar Jensen. 1. udg. Systime, 2001

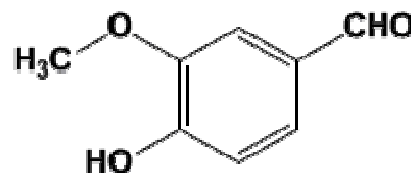
²¹ Williams, Patrick: Acetobacter. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads Forlag, 2002. side 2

Phenoler eller fenoler beskriver en stor gruppe af store komplicerede molekyler, som ofte også beskrives som polyphenoler grundet indholdet af flere af den grundlæggende byggesten der er phenol (en aromatisk benzenring, med en alkoholgruppe, se figur 3). Det er en meget generel vurdering at beskrive samtlige phenolholdige stoffer under et, da disse stoffer vil være meget forskellige og have lige så forskellige egenskaber, men i henhold til oxidation har alle phenoler i vin en større eller mindre påvirkning. Langt de fleste polyphenoler er ikke flygtige og påvirker derfor ikke duften i vinen, men de har ikke desto mindre overordnet 2 vigtige påvirkninger på vin, deraf farven og smagen i form af bitterhed og sammensnerpethed²². De fleste fenoler som er i druesaften (*mosten*) dannes i druerne som sekundære metabolitter, og er derfor ikke involveret i den primære metabolisme i planten. Phenolerne er meget letopløselige i vand, og udskilles i plantecellens vakuole i princippet som affaldsprodukter²³.



Figur 3 Phenol (Kemi 2000 B-niveau)

Polyphenolerne overføres til vin under macerationen²⁴ og mængden som overføres afhænger således af, hvor længe macerationen finder sted, hvor meget man blander drueskindet rundt i mosten (*remontage*) og hvor meget drueskindet presses for saft efterfølgende. Indholdet af polyphenoler er derfor typisk meget lavere i hvidvin, end rødvin grundet at hvidvin ikke udsættes for nær så lang og grundig maceration. Den store gruppe af forskellige polyphenoler, inddeles typisk i de non-flavonoide, og de flavonoide som igen opdeles i anthocyaniner og komplekse polyphenoler (læs tanniner). Anthocyaniner er relevante i forhold til en visuel vurdering af en oxidation af phenoler i en vin, idet at det er disse om giver vinen sin farve som pigmentstoffer²⁵. Disse pigmentstoffer i relativt ustabile når de først trækkes over i vinen via diffusion fra druerne, og vil hurtigt reagere med tanninerne og danne større og mere stabile polymerer. Tanninerne er ansvarlige for den bitre smag i vin, samt sammensnerpetheden. Tanniner betegnes sommetider også som garvesyre, idet det anvendes til garvning af læder (samme reaktion som skaber sammensnerpetheden i munden), men dette er misvisende idet at der faktisk ikke er tale om et stof med syrestruktur eller med en syres egenskaber. Desuden kan der dannes yderligere phenoler hvis vinen lagres på fade, idet der udtrækkes stoffer fra fadet som reagerer med phenoler i vinen og danner polymerer som f.eks.



Figur 4, Vanillin (www.biosite.dk)

²² Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 4: Vines øvrige stoffer. I: Vinpressen, 2003, s. 37

²³ Webb, A. Dinsmoor: Fenoler. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 225

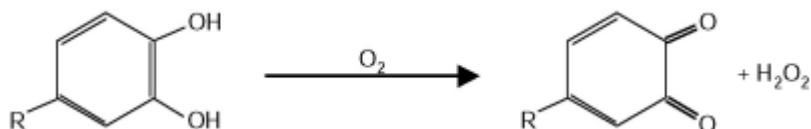
²⁴ Maceration: Processen hvor drueskindet og evt. stilke opbevares sammen med mosten, for at give denne farve og smag (rødvin)

²⁵ Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 4: Vines øvrige stoffer. I: Vinpressen, 2003, s. 37

vanillin (se figur 4) som kan være en markant smagsnote i mange fadlagrede vine²⁶.

Grundet heraf har polyphenoler en stor betydning for hele sammensætningen af en vin, og derfor er oxidationen af denne også relevant, især fordi den bevirker oxidationen af andre stoffer i vinen. Når en phenolgruppe med 2 alkoholgrupper, i polyphenolerne oxideres af frit ilt fraspaltes de 2 hydrogenatomer, som reducerer ilten og der dannes brintoverilte, H₂O₂ (hydrogenperoxid)(se figur 5). Jævnfør bilag 1, så er brintoverilte langt mere effektiv til at oxidere andre stoffer end frit oxygen, og jævnfør redoxpotentialet vil dette betyde at den reelle heraf

følgende oxidation forsages af brintoverilte. Oxidationen af



phenoler er således en forstærkende

Figur 3, Oxidation af phenolgruppe (www.wynboer.co.za)

faktor, for den yderligere oxidation af vin. Det er således også vigtigt i forhold til dannelsen af eddikesyre i vin da brintoverilte oxidere ethanol til ethanal (acetaldehyd). Det er derfor også vigtigt at forstå, at en forhindring af oxidation af phenoler i vin, hæmmer således oxidationen af resten af stofferne i vinen. Dog skal det her nævnes phenoler er langt mere reaktionsdygtige i forhold til en oxidation end mange af de øvrige stoffer, som ved oxidation kan skabe et skadeligt indtryk på vinen, hvilket betyder at de fleste phenoler vil blive oxideret før andre stoffer (især relevant ved mangel på acetobacter, i henhold til eddikedannelse)²⁷.

Som før nævnt skyldes den manglende maceration i hvidvin, at disse vine har et langt mindre indhold af phenoler. I og med at phenoler således er ansvarlig for den umiddelbare begyndende oxidation af vin, og at denne oxidationreaktion er i stand til at optage det meste ilten som bliver opløst i vin i starten, kan man anse disse phenoler som at have en *pufferfunktion* i forhold til den generelle oxidation af vin, i og med at de har et stort potentiale (relativ til andre af vinens indholdsstoffer) for at blive oxideret, og er derfor i stand til at dæmpe denne oxidation af vinen. Et stort indhold af phenoler i en vin vil derfor effektivt hæmme en oxidation af denne vin. Derfor er hvidvine også mere følsomme overfor oxidation end rødvine (dårligere "pufferkapacitet"), på trods af at de vil have et lavere redoxpotentiale forskyldt at et lavt indhold af reaktionsdygtige phenoler. Men omvendt vil en stor oxidation af disse phenoler, skabe en høj koncentration af hydrogenperoxid i vinen, som er endnu mere effektiv til at oxidere resten af vinen. Derfor er det vigtigt at der på trods af et stort indhold af phenoler, også tages højde for en for stor oxidation under

²⁶ Webb, A. Dinsmoor: Fenoler. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 225

²⁷ Du Toit, Wessel J.: Oxygen in winemaking: Part 1. I: Wynboer, 08.2005, s. 1.

produktionen. Det er derfor selvsagt stadig en stor diskussion den dag i dag, hvorvidt en vin er bedst beskyttet mod oxidation, ved et højt indhold af phenoler eller et lavt indhold²⁸.

Oxidation af phenoler er desuden relevant i forhold til lagringen af vin. Når phenolerne oxideres bevirker det at polyphenolerne kan bindes sammen i forlængelse af hinanden, og danner større polymerer (ved høj koncentration kan disse ses som brune plamager). Denne reaktion kan også ske ved en oxidation uden frit ilt, med konsekvensen af en reduktion af andre stoffer (se afsnittet Forhindring af oxidation). Ved lagring over længere tid vil denne gradvise polymerisering af phenolerne, bevirke at disse polymere får en så høj densitet at de ikke længere vil være opløselige i vinens vandfase og derfor vil udfældes og ses som bundfald. Dette vil således have en indvirkning på farven af vinen (rødvine bliver lysere og hvidvine bliver mere gyldne), samt smagen, i og med at tanniner og andre smagsstoffer som indeholder phenolgrupper (vanillin) vil ligeledes blive udfældet og fjernet fra smagsbilledet.

Forhindring af oxidation

Som det er blevet belyst tidligere, så er det er del metoder som kan integreres i vinproduktion, for at minimere tilføringen af ilt til vinen eller mosten, og derved hæmme oxidationen af vinen. I det følgende afsnit vil der blive belyst de mere molekylære teknikker til at forhindre en oxidation som fejl i en vin.

Svovldioxid

Som førnævnt tilsættes der svovldioxid til næsten alle vinproduktioner, og der er nogle grundlæggende grunde til dette:

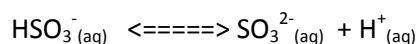
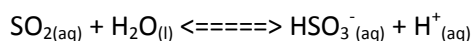
- Hæmning af vækst af uønskede bakterier og svampearter.
- Hæmning af oxidation af vinen.
- Hæmning af indvirkningen af oxidation, på vinen.

Svovldioxid (SO₂) tilsættes som regel flere gange under en produktion for en effektiv virkning, og der er flere måder at gøre dette på. Oprindeligt brændte man væger af ren svovl i tomme fade, før og efter brug, således at stoffet satte sig i træet. I dag anvender man i langt større stil, tilsætning af sulfitsalte (ofte kaliummetadisulfit, K₂S₂O₅) direkte til mosten eller vinen, som også gør det nemmere at kontrollere mængden af tilsat svovldioxid²⁹.

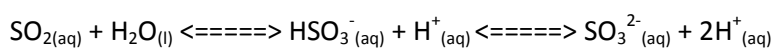
²⁸ Goode, Jamie: Wine flaws: Oxidation. I: Sommelier Journal, 06.2008, s. 48-49 (Artikel)

²⁹ Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 1: Sulfit i vin. I: Vinpressen, 2002, s. 10

I vin vil SO₂ forefindes overordnet på 2 forskellige former (dog vil noget opløses som ren svovl, mens en lille mængde vil fordampe som gas), deraf som frit og som bunden SO₂. Bunden SO₂ beskriver det svovl som straks efter tilsætning går i forbindelse med andre stoffer i vinen, hvoraf et det vigtigste er acetaldehyd. Denne forbindelse bevirker nemlig elimineringen af stoffets indvirkning på vinens smag og duft, som karakteriserer en oxideret vin³⁰. Det er forkert at tro at SO₂ decideret forhindrer en oxidation af vinen, da dens reaktion med ilt er så ineffektiv at den ikke kan konkurrer om ilten med phenoloxidationen, men dog til dels om brintoverilten som bliver produceret heraf og virker derfor til dels hæmmende overfor oxidationen. Den vigtigste funktion er (som førnævnt) at reagere med acetaldehyd, således at produktet af en eventuel oxidation ikke kan mærkes i den færdige vin³¹. I den yderligere konservering af vinen er den bundne SO₂ ikke særlig aktiv. Den frie svovldioxid opdeles yderligere i 3 former, da dens reaktion med vines vandfase forløber således:



Disse 2 ligevægte kan skrives sammen, for en bedre forståelse:



Den frie SO₃ eksistere derfor på følgende 3 former; **molekylært svovldioxid** (SO_{2(aq)}), **hydrogensulfit** (HSO_{3⁻(aq)}) og **sulfit** (SO_{3²⁻(aq)}), som alle har forskellige egenskaber og påvirkninger på vinen. Grundet fraspaltning af hydrogenioner vil pH-værdien i vin, have en stor betydning på fordeling af disse 3 former for sulfit. Anser vi den samlede ligevægt ud fra Le Chateliers princip³², må det forstås at en formindskelse af pH-værdien og derved en forøgelse af hydrogenioner (læs oxoniumion (H₃O⁺)), vil bevirke en forskydning i den retning hvor der dannes færrest hydrogenioner, og altså ved denne ligevægt vil det være mod den molekulære svovldioxid (se evt. bilag 2 for forhold mellem sulfitformerne bestemt ved pH). Dette er således vigtigt at tage i betragtning ved tilsætning af sulfit, foruden den del som bindes (ca. 50 %)³³.

Molekylært svovldioxid

Svovldioxid antiseptiske egenskaber er i høj grad afhængig af hvilken form den er på. Hertil har forskning heri, påvist at den effektive form er her den molekulære form af svovldioxid (SO₂). At kunne holde en høj koncentration af SO₂ på denne form er således vigtig for at undgå infektion af bakterier, og desuden

³⁰ Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 1: Sulfit i vin. I: Vinpressen, 2002, s. 10

³¹ Goode, Jamie: Wine flaws: Oxidation. I: Sommelier Journal, 06.2008, s. 49 (Artikel)

³² Le Chateliers princip: Et ydre indgreb i et ligevægtssystem fremkalder en forskydning, som formindsker virkningen af indgrebet (Helge Mygind, Kemi 2000 B-niveau, 2007)

³³ Broe, Jørgen: Kursus i vinkemi 1: Sulfit i vin. I: Vinpressen, 2002, s. 10-12

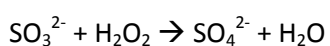
hæmme effekten af vilde gærsvampe, som giver en ren gæring da den industrielle anvendte vingær er mere resistent over for svovldioxid. Dette betyder dog i midlertidige også at molekylært svovldioxid, hæmmer effektiviteten af mælkesyrebakterier (*Lactobacillus*) og kan derfor i for høje koncentrationer være skadelig for den malolaktiske gæring. Såfremt at pH-værdien kontrolleres nøje, kan svovldioxid dog anvendes med fortjeneste til effektivt at kontrollere den malolaktiske gæring. Desuden kommer lugten af svovl i vin, fra denne form for sulfid, da dette er den mest flygtige. Denne lugt (brændt tændstik), kan således undgås ved mindre tilsætning af sulfitsalte *eller* ved at sænke pH-værdien (muligvis blot nogle få tiendedele af en enhed (se evt. bilag 2)³⁴.

Hydrogensulfit

Langt det meste af den frie sulfid er på denne form, og det er også denne forbindelse som er ansvarlig for langt det meste af det bundne sulfid. Som nævnt binder denne form sig til acetaldehyd og neutralisere herved konsekvensen af oxidationen af vinen. Denne binding er meget stærk og svær at bryde, men herudover bindes HSO_3^- også til andre stoffer, som tanniner, anthocyaniner og sukkerformer m.fl., og danner relativt svage bindinger som let kan blive brudt. Disse sidstnævnte forbindelser agere således som en reserve af hydrogensulfit, der kan opløses tilbage til vinen hvis der skulle opstå en mangel af frit sulfid, efterhånden som vinen langsomt oxideres. Det skal dog her siges at der er visse mælkesyrebakterier som er overfølsomme overfor hydrogensulfit, og en tilstrækkelig stor koncentration kan hæmme den malolaktiske gæring anseeligt eller helt stoppe den³⁵.

Sulfit

Under normale forhold i det meste vin, vil kun en lille brøkdelen af den frie sulfid befinde sig på denne form, men den er værd at anse idet den har en vigtig funktion i forhold til oxidationen. Sulfit (SO_3^{2-}) hæmmer effektivt oxideringen af phenoler ved hhv. at fjerne ilt opløst i vinen, samt ved at deaktivere naturlige forkomne enzymer i druer der katalysere oxidationen af phenolerne. I teorien kan sulfid reagere direkte med den frie ilt som er opløst i vinen, men undersøgelser har vist at sulfid i langt højere grad vil reagere ved en oxidation af brintover ilt, hvorved der dannes vand og sulfat:



Denne reaktion er irreversibel og ved fjernelsen af ilt vil der derfor gå noget frit sulfid tabt, som dog kan erstattes af bunden eller frit hydrogensulfit (dog med en konsekvens af reduktion af pH-værdien).

³⁴ Eisenman, Lum: Sulfur dioxide in wine. I: San Diego Winemaking society, 2002, s. 4-5

³⁵ Eisenman, Lum: Sulfur dioxide in wine. I: San Diego Winemaking society, 2002, s. 5

Enzymet som katalyserer oxidationen af phenolerne, kaldes *polyphenoloxidase*, og koncentrationen af dette varierer afhængig af druesorten. Enzymet er meget sensitivt overfor sulfit, og kun en lille mængde er nødvendigt for at effektivt hæmme størstedelen af oxidationen af phenoler i de fleste vine³⁶.

Foruden disse 3 former bør også nævnes den rene svovl som også forefindes i små mængder i vin. Som regel vil det ikke have nogen påvirkninger på en vin, ved en normal produktion og lagring. Men behandles en vin meget reduktivt kan ilten i vinen under lagringen blive opbrugt, som konsekvens af polymerisering af phenolerne (reduktion). Hvis denne tilstand indtræffer i en vin, vil polymeriseringen fortsætte blot med konsekvensen af reduktion af svovl, hvoraf der dannes dihydrogensulfid også kaldet svovlbrinte (H₂S). Dihydrogensulfid er en flygtig gas, som har en stærk lugt af rådne æg og er derfor en alvorlig fejl for en vin³⁷.

Hyperoxidation

Foruden den mere konventionelle anvendelse af SO₂ som antioxidant, findes der dog imidlertid også andre mere eksperimenterende måder at forhindre/nedsætte oxidation af vin. En af de mere relevante er hyperoxidation.

Den effektive oxidation af phenoler, kan anvendes til at mindske den overordnede oxidationen af vinen. Som nævnt bevirker en oxidation af phenoler, en dannelse af hydrogenperoxid der endnu mere effektivt oxiderer andre stoffer i vinen, som f.eks. ethanol til ethanal. Derfor bygger princippet i hyperoxidation (også kaldet oxidativ most håndtering) på, at en fjernelse af phenoler fra en bestemt vin, vil gøre vin mere resistent overfor oxidation. Princippet består derfor i at man bevidst udsætter mosten for oxidation, med en stor mængde ilt. Dette oxiderer selvsagt fenolerne i druesaften, og danner brintoverilte. Phenolerne danner polymerer som efterhånden vil bundfælde sig, hvorfra de kan filtreres fra, og brintoverilten vil reagere med yderligere med resten af phenolerne (accelerer processen) og andre stoffer i vinen som ikke vil få en stor betydning af vinen smag eller duft (dog med undtagelse duftstoffer med meget kraftig frugtduft), og herved har man effektivt fjernet mange phenoler, som gør vinen resistent overfor oxidation af ethanol videre i produktionen.

Denne proces skal dog selvsagt ske inden vinen udsættes for gæring, således at der ikke er ethanol tilstede, og helst også inden der tilsættes SO₂ da dette vil hæmme enzymet polyphenoloxidase som katalyserer denne oxidation af phenoler³⁸.

³⁶ Eisenman, Lum: Sulfur dioxide in wine. I: San Diego Winemaking society, 2002, s. 5-6

³⁷ Webb, A. Dinsmoor: Reduktion. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 549

³⁸ du Toit, Wessel: Oxygen in winemaking - Part 2. I: Wineland, 09.2005, s. 1.

Perspektivering

Vurdering af metoder

Som belyst er SO₂ en særdeles effektiv antioxidant, foruden også at beskytte mod uønskede bakterier og vildgær. Men der er dog ulemper ved at anvende SO₂ i vin, primært i form af stoffets indvirkning på vinens aroma og smag, som kan forekomme relativt ubehagelig selv i små koncentrationer. Ved opløsning af SO₂ i rent vand, har man påvist at mennesket kan registrere koncentrationer af svovldioxid helt ned til 11 mg/L. I vin ligger denne grænse dog en del højere, bl.a. grundet af den syrlige effekt som mærkes ved smagning af SO₂, overdøves af vinens naturlige syre. Men behandles vinen forkert kan det negative indtryk af SO₂, blive meget markant selv ved lave koncentration, som f.eks. svovlbrinte (reduktive forhold)³⁹.

Hyperoxidation er en effektiv metode at fjerne phenoler fra vinen, men det er samtidigt en meget voldsom behandling af vinen, og vine som i høj grad er baserede på deres meget frugtrige smag (især billigere vine), ville blive monotone og kedelige ved denne behandling⁴⁰.

Alternativer

Der er derfor konstant behov for udvikling af nye alternativer som, ved kombination med de nævnte, eller i sig selv er i stand til at bevirke en mere effektiv forhindring af oxidation uden uønskede bivirkninger.

Der foretages der stadig mange eksperimenterende vinproduktioner, på baggrund af undersøgelser fra div. vinstitutter, ved brug af alternative antioxidant. Bl.a. har der været meget debat om brugen af ascorbinsyre eller C vitamin, alene eller sammen med SO₂ for at hindre oxidation. Ascorbinsyre forekommer naturligt i druer (dog i relativt små koncentrationer) og har den fordel i forhold til SO₂ at den absorberer den frie ilt fra luften (O₂) ca. 1700 gange så effektivt, og er desuden i stand til at reducere oxiderede phenoler tilbage til deres oprindelige form, dog ved en mindre dannelse af brintoverilte som skal optages af svovldioxid. Desuden har der været gode resultater med anvendelsen af ascorbinsyre alene under hyperoxidation. Stoffet har dog den negative egenskab at det agerer anderledes ved forskellige koncentrationer. Det er som benævnt en effektivt supplerende antioxidant til SO₂ ved høje koncentrationer, men kan ved lavere koncentrationer fremskynde polymeriseringen af phenoler (brunfarvning) under lagringen, ved oxidative forhold. Ascorbinsyre kan derfor være decideret ødelæggende for en vinproduktion, og anvendes derfor i mindre grad, kun i hvide vine og kun med en høj koncentration af SO₂. Desuden har ascorbinsyre ingen antiseptiske egenskaber, hæmmer ikke den enzym katalyserede oxidation og binder ikke acetaldehyd, som SO₂ udmærker sig ved. Men der er dog belæg for

³⁹ Webb, A. Dinsmoor: Svovldioxid. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 645-646

⁴⁰ du Toit, Wessel: Oxygen in winemaking - Part 2. I: Wineland, 09.2005, s. 1

en fortsat anvendelse af ascorbinsyre i fremtiden, så længe at man kan effektivt regulere koncentrationen i vinen⁴¹.

Der er i den senere tid også blevet observeret vellykkede forsøg ved produktion af sødere vin, ved brug af antioxidationsmiddelet Kilol. Kilol udvindes fra grapefrugtkerner og er i en længere årrække blevet anvendt som svampemiddel, mod uønskede svampearter der vokser på vinstokkene. Kilol udmærker sig ved, ikke at være giftigt eller sundhedsskadeligt, og der kan derfor tilsættes en højere koncentration end SO₂ da det heller ikke påvirkning smagen eller duften af vinen nævneværdigt. Dog har Kilol den ulempe at det indtil videre er dyrere end den svovlbaserede oxidationshæmning⁴².

Diskussion

Det er således let at forstå grunden til at svovldioxid har været anvendt til at modvirke oxidation i vin, siden romerriget. Metoden ved brug af denne antioxidant fungerer så effektivt og alsidigt at det, kombineret med den lille omkostning, har gjort den fortsat populær i over 1000 år, hvilket selvsagt gør det svært for andre alternativer at konkurrerer med den. Dog er tilsætning af SO₂ ikke noget som mange vinproducenter bryder sig om, idet at det virker dem som en opbrydning med vinens rene naturlighed. Dette er højst sandsynligt også grunden til at hyperoxidation, ascorbinsyre og Kilol, er så populære alternativer, idet de går ud fra en naturlig oxidation af vinen, eller antioxidant der består af naturligt forekomne stoffer. Men den store forhindring for mange vinproducenter, er at alternative antioxidationsmetoder i dag ikke er effektive nok, i forhold til SO₂.

Skal man kigge nærmere på et eksempel af mere effektive antioxidant, kan det betaler sig at se på hvilke specifikke forhold som skaber oxidation. Da en høj koncentration af eddikesyre er det absolutte resultat af en oxideret vin, så vil det være relevant se på dannelsen af denne, og her mere specifikt på eddikesyrebakterier (acetobacter). Kan man hæmme disse mikroorganismer så kan man også effektivt hæmme dannelsen af eddikesyre. Dette kan gøres ved at indføre tilsætning af antibiotika, i vinproduktionen der således specifikt neutraliseres virkningen af disse bakterier, ved at dræbe dem. Denne metode vil om muligt være den mest effektive måde at forhindre dannelsen af eddikesyrer, men samtidig vil den også have ulemper i henhold til vinproduktion og til samfundet generelt. Foruden at højst sandsynligt at være en langt større udgift, vil det også betyde en øget risiko for resistensdannelse hos acetobacter og muligvis heraf også hos andre bakterier. Dette vil præsentere en omfattende fare for resten af samfundet idet tilblivelsen af resistente bakterier, kan betyde en sundhedsrisiko for visse personer som

⁴¹ du Toit, Wessel: New findings regarding ascorbic acid in wine. I: Wynboer, 07.2006, s. 1 (Artikel)

⁴² Webb, A. Dinsmoor: Svovldioxid. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 646;
Webb, A. Dinsmoor: Svampemidler. Robinson, Jancis: I: Oxford Vinleksikon. 2. udg. Gads forlag, 2002. side 644

ikke vil kunne blive behandlet af traditionelle antibiotika. Det vil derfor blive anset som etisk uansvarligt at anvende denne metode i vinproduktion. Til trods for at sådanne metoder vil virke mere effektivt i en forhindring af en "oxideret" vin, kan det næppe betale sig i en større sammenhæng.

Konklusion

Der kan på baggrund af denne redegørelse konkluderes, hvorledes en oxidation i vin finder sted og hertil hvordan den forebygges.

Det er blevet belyst der er en overvejende fare for oxidation vinen igennem hele produktionen, efter at druerne knuses, dog især under macerationen (evt. remontage) hvor vinen er i bevægelse og i mere specifikt grad efter gæringen hvor der er fare for dannelse af eddikesyre, ved tilstedeværelsen af acetobacter.

Oxidationen bygger på den kemiske formulering, der afgivelse af elektroner til et stof som heraf reduceres. I vin er der ved den almene forståelse af oxidation, tale om en oxidering af stofferne phenoler, som bevirker en reduktion af ilt til brintoverilte (H_2O_2), der mere effektivt oxidere resten af vinen. Herefter kan ethanol oxideres tilbage til ethanal (acetaldehyd)(jævnfør gæringen), der ved ophobning er et typisk tegn på en oxideret vin. Acetaldehyd kan oxideres videre til eddikesyre, der ved kondensation med ethanol danner den flygtige ester ethylacetat, som giver eddiken sin lugt, der ved høj koncentration i vin er den endelige bekræftelse af en oxideret vin. Phenoler er naturligt forekomne stoffer i vindruer, der ophobes i drueskindet. Rødvin har et markant højere indhold af phenoler end hvidvin, grundet macerationen, hvilket gør dem mere modtagelige overfor oxidation.

Den mest udbredte antioxidant til anvendelse i vin er SO_2 , grundet dens alsidige egenskaber foruden dens funktion som antioxidant, som antiseptisk middel, der dog er anset som et sundhedsskadeligt middel. Der findes få alternative antioxidant som fungerer lige så godt som SO_2 , idet de enten i sig selv ikke er effektive eller alsidige nok, eller ikke er lige så etisk ansvarlige. Der er dog et vist potentiale i videre forskning.

Litteraturliste

Bøger

- Oxford Vinleksikon. Redigeret af: Jancis Robinson. 2. udg. Gads Forlag, 2002.
- Nielsen, Ole Frost m.fl.: Bacchus - en temabog om vin. Redigeret af: Gunnar S. Jensen 1. udg. Systime A/S, 2001
- Brunn, Kim og Hans Birger Jensen: Isis Kemi B. 2. udg. Systime A/S, 2007
- Mygind, Helge: Kemi 2000 C-niveau. 1. udg. Haase & Søns Forlag, 1994.
- Mygind, Helge: Kemi 2000 B-niveau. 1. udg. Haase & Søns Forlag, 1995.
- Mygind, Helge: Kemi 2000 A-niveau 2. 1. udg. Haase & Søns Forlag, 1996.
- Dominé, André: Vin. 1. udg. Könemann, 2004.

Artikler

- Goode, Jamie: *Wine Flaws: Oxidation*. I: Sommelier Journal, 07.2008, s. 48-50
- du Toit, Wessel: *Oxygen in winemaking: Part 1*. I: Wynboer, 08.2005, Internetadresse: <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200508oxygen.php3> Besøgt d. 13.12.2010
- du Toit, Wessel: *Oxygen in winemaking - Part 2*. I: Wynland, 09.2005, Internetadresse: <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200509oxygen2.php3> Besøgt d. 14.12.2010
- du Toit, Wessel: *New findings regarding ascorbic acid in wine*. I: Wynboer, 07.2006, Internetadresse: <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200607acid.php3> Besøgt d. 14.12.2010
- Eisenman, Lum: *Sulfur dioxide in wine*. I: San Diego Winemaking society, 2002, s. 1-6
- Broe, Jørgen: *Kursus i vinkemi 1: Sulfit i vin*. I: Vinpressen, 2002, s. 10-11
- Broe, Jørgen: *Kursus i vinkemi 2: Vines syrer og surhed*. I: Vinpressen, 2002, s. 16
- Broe, Jørgen: *Kursus i vinkemi 4: Vines øvrige stoffer*. I: Vinpressen, 2003, s. 37

Hjemmesider

- THE HOME WINEMAKERS MANUAL: Chapter 6. Udgivet af Lum Eisenman. Internetadresse: <http://www.winebook.webs.com/chapt6.html> - Besøgt d. 12.12.2010
- Hydrogensulfid. Udgivet af BioSite. Internetadresse: <http://www.biosite.dk/leksikon/svovlbrinte.htm> - Besøgt d. 14.12.2010
- Acetobacter - Den Store Danske. Udgivet af Gyldendal. Internetadresse: http://www.denstoredanske.dk/Natur_og_milj%C3%B8/Mikrobiologi/Bakterier_og_mikrobiologi_generelt/Acetobacter - Besøgt d. 11.12.2010

- Wine Oxidation. Udgivet af Monash Scientific. Internetadresse:
<http://www.monashscientific.com.au/SO2ChemistryWine.htm> - Besøgt d. 12.12.2010
- Oxidation, vinleksikon. Udgivet af Vinlex. Internetadresse:
<http://www.vinlex.dk/Vinleksikon/Oxidation.aspx> - Besøgt d. 10.12.2010

Billeder

- Figur 1
 - Pedersen, Jørgen Mønster. *Fig. 4.1.* Set i: Bacchus. System A/S, 2001. s. 33.
- Figur 2
 - *Fermentering.* Gyldendal. Set:
[http://www.denstoredanske.dk/Natur_og_milj%C3%B8/Mikrobiologi/Bakterier_og_mikrobiologi_generelt/fermentering/fermentering_\(Levnedsmiddelfremstilling\)](http://www.denstoredanske.dk/Natur_og_milj%C3%B8/Mikrobiologi/Bakterier_og_mikrobiologi_generelt/fermentering/fermentering_(Levnedsmiddelfremstilling)). 12.12.2010
- Figur 3
 - *Phenol.* Set i: Kemi 2000 B-niveau. Haase & Søns Forlag, 2007. s. 139
- Figur 4
 - *Vanillin.* Set: <http://www.biosite.dk/leksikon/vanillin.htm>. 13.12.2010
- Figur 5
 - *The oxidation of a phenolic molecule to the corresponding quinone.* Set:
<http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200508oxygen.php3> . 11.12.2010

Bilagsfortegnelse

- Bilag 1
 - *Standard-elektrodepotentiale:* Kemi 2000 A-niveau 2. 1. udg. Haase & Søns Forlag, 1996. s. 226
- Bilag 2
 - *Wine pH determines how the free sulfur dioxide is distributed:* Sulfur dioxid in wine. I: San Diego Winemaking society, 2002, s. 3
- Bilag 2.a
 - *Wine pH determines the quantity of free SO₂ needed to produce 0.5 and 0.8 mg/l of molecular SO₂:* Sulfur dioxid in wine. I: San Diego Winemaking society, 2002, s. 4
- Bilag 2.b
 - Kursus i vinkemi 1: Sulfit i vin. I: Vinpressen, 2002, s. 12