

**Wat is het directe effect van een toenemende atmosferische CO₂ –
concentratie op de wijnstok?**



Beeld: Franz Eugen Köhlers (1883-1914)

Scriptie in het kader van het examen Magister Vini

**Wieger Roelevink
Maart 2022**



Wat is het directe effect van een toenemende atmosferische CO₂ –concentratie op de wijnstok?

Scriptie in het kader van het examen Magister Vini

23 maart 2022

Auteur:

W. (Wieger) Roelevink

Scriptiebegeleiders:

E. (Eric) Ivens

J.E. (John) van Wielink

Examencommissie:

G. (Gerhard) Horstink

M. (Magda) van der Rijst

J. (Job) de Swart

I. (Ibert) van der Waal

Voorwoord

'Success always demands a greater effort'
Sir Winston Churchill.

Tijdens mijn horeca-carrière stond wijn centraal. Als sommelier de wijnkeuze toelichten aan gasten was iets dat ik met veel plezier heb gedaan. Inmiddels werk ik geruime tijd bij Vinites, een wijnimporteur met een breed wijnassortiment, die diverse marktsegmenten bedient. In mijn rol als *senior rayonmanager* is productkennis onontbeerlijk. Dit heeft mij ertoe aangezet om het begeleidingstraject tot Magister Vini te volgen om mijn relaties van gedegen informatie te kunnen blijven voorzien.

Het eerste doel van deze scriptie is om aandacht te besteden aan de groeisystematiek van de wijnstok. Dit onderwerp heeft geringe aandacht in de Nederlandse wijneducatie. Een tweede doel is om een maatschappelijk probleem, de stijging van CO₂ als broeikasgas, te relateren aan de wijnindustrie. Deze scriptie geeft zowel een overzicht van onderzoeken die tot op heden zijn uitgevoerd als een vooruitblik naar de toekomstige effecten van een stijgende atmosferische CO₂-concentratie op de wijnstok.

'Dat is een complex onderwerp dat je aansnijdt' was een veelgehoorde reactie toen ik het onderwerp van deze scriptie besprak. Tegelijkertijd proefde ik tussen de regels door dat men het relevant vond en dat laatste gaf mij een duw in de rug. De scriptie schrijven was voor mij meer dan een extra module in het Magister Vini traject. Bij veel onderwerpen bleek mijn basiskennis basaal. Maar nieuwe informatie die je interesse heeft, geeft je energie.

Ik heb bij veel mensen aangeklopt voor informatie (en soms een beetje steun...). Nel Ruigrok dank ik voor haar hulp bij het 'kader' van deze scriptie, John & Eric, mijn scriptiebegeleiders, wil ik bedanken voor hun professionele inzichten en support: merci! En 'de familie Vinites', ... ach wat is het fijn om familie te hebben! Mijn drie geweldige dames thuis, Annemarie, Susie & Junia, jullie hebben het mogelijk gemaakt om gezin, werk en studie te combineren.

Uithoorn, 23 maart 2022.

Samenvatting

'Le meilleur vin n'est pas nécessairement le plus cher, mais celui qu'on partage'
G. (Georges) Brassens.

Sinds het begin van de industriële revolutie is de atmosferische CO₂-concentratie met ruim 45 procent toegenomen. Dit heeft gevolgen voor het klimaat, want CO₂ is één van de belangrijkste broeikasgassen. Ook voor de groei van planten heeft deze toename gevolgen. CO₂ is het substraat waaruit planten suikers maken om te voorzien in hun onderhoud en groei van hun biomassa. In deze scriptie onderzoek ik de gevolgen van de CO₂-toename op de groei van de wijnstok en de kwaliteit van de druiven.

Literatuur over de stijging van de atmosferische CO₂ en veldonderzoek over de effecten van een verhoogde CO₂ op de wijnstok zijn de basis voor het antwoord op de vraagstelling. De toename van de CO₂ lijkt onomstotelijk bewezen. Gebaseerd op informatie van het IPCC zet die stijging door.

In de wetenschap wordt de CO₂-toename - afgezien van de evidente effecten op het klimaat - als positief gezien voor de wijnstok, want er komt meer substraat voor de plant beschikbaar met als effect een meer productieve fotosynthese. Dit leidt tot een grotere blad- en stamgroei. Er ontstaan niet persé meer druiventrossen, maar trossen en druiven worden groter van omvang en het aantal druiven per tros neemt toe met daardoor een stijging van het rendement. De samenstelling van most en jonge wijn, gelet op *total soluble solids*, blijft daarbij nagenoeg gelijk.

Atmosferische stijging van CO₂ heeft een positief effect op de ontwikkeling van de wijnstok en de (kwantiteit) van de opbrengst, maar leidt tot een stijgende voedingsbehoefte.

Inhoud

<i>Voorwoord</i>	1
<i>Samenvatting</i>	2
Hoofdstuk 1. Inleiding	5
1.1 <i>Aanleiding</i>	5
1.2 <i>Vraagstelling</i>	6
1.2.1 <i>Onderzoeksmethode</i>	6
1.2.2 <i>Reikwijdte en detailniveau van het onderzoek</i>	6
1.2.3 <i>Opbouw van de scriptie</i>	7
Hoofdstuk 2. Wat is CO₂? En wat is de rol van CO₂ bij de groei van de wijnstok?	8
2.1 <i>Wat is CO₂?</i>	8
2.2 <i>Bij welke processen van de wijnstok speelt CO₂ een rol?</i>	9
Hoofdstuk 3. Scenario's voor de atmosferische CO₂-ontwikkeling	12
3.1 <i>Verleden</i>	12
3.2 <i>Heden</i>	12
3.3 <i>Toekomstscenario's voor de ontwikkeling van atmosferische CO₂-concentratie</i>	13
Hoofdstuk 4. Het effect van een verhoogde atmosferische CO₂ op de wijnstok	15
4.1 <i>Onderzoek</i>	15
4.1.1 <i>Fotosynthese</i>	15
4.1.2 <i>Respiratie</i>	16
4.1.3 <i>Stomata (huidmondjes)</i>	16
4.1.4 <i>Water</i>	16
4.2 <i>Vegetatieve processen</i>	16
4.2.1 <i>Bladeren</i>	16
4.2.2 <i>Meerjarige groei</i>	17
4.3 <i>Generatieve processen</i>	17
4.3.1 <i>Vruchtvorming</i>	17
4.3.2 <i>Samenstelling van de druiven en most</i>	18
4.3.3 <i>Fenologie</i>	18
Hoofdstuk 5. Wijngaardbeheer	19
5.1 <i>Voedingsbehoefte</i>	19
5.2 <i>Water</i>	19
5.3 <i>Biomassa</i>	19
5.4 <i>Fenologie</i>	19
Hoofdstuk 6. Conclusie en discussie	21
6.1 <i>Wat is atmosferische CO₂ en welke scenario's zijn er voor de atmosferische ontwikkeling?</i>	21

6.2 Bij welke processen van de wijnstok speelt CO ₂ een rol?	21
6.3 Wat zijn de effecten van een grotere atmosferische CO ₂ -concentratie op de diverse processen, zoals genoemd bij de beantwoording van deelvraag 2.....	21
6.4 Wat zijn de gevolgen voor het wijngaardbeheer bij een verhoogde atmosferische CO ₂ -concentratie?.....	21
6.5 Hoofdvraag: wat is het directe effect van een toenemende atmosferische CO ₂ -concentratie op de wijnstok?.....	21
6.6 Discussie	22
Geraadpleegde bronnen op het World Wide Web	24
Literatuurlijst	25
Bibliografie	26
Bijlagen.....	28
Bijlage 1. Interview met Y. Wohlfahrt.....	29
Bijlage 2. Emailwisseling met G. Mazzoni	31
Bijlage 3. Emailwisseling met C. Martin	32
Bijlage 4. Gesprek met B. Raats.....	33
Bijlage 5. Gesprek met J. Riske	34

Hoofdstuk 1. Inleiding

'In spite of much wishful thinking on our part, the role of grape berries is only to enable the vine to spread its seeds and hence its genes, which the berries achieve by attracting seed dispersers using pigments and aroma volatiles and by 'paying' for transportation with energy-rich sugar and other nutritionally valuable components'.

W. J. (Jim) Hardie.

1.1 Aanleiding

Grootschalig gebruik van fossiele brandstoffen heeft grote gevolgen gehad voor de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Sinds het begin van de industriële revolutie (1750) is deze toegenomen van circa 280 'parts per million' (ppm) tot het huidige niveau van 414 ppm (2021), zo blijkt uit de publicatie van het Global Monitoring Laboratory (2021). De stijging van CO₂ lijkt voorlopig onomkeerbaar en is toe te schrijven aan menselijk handelen, zo valt te lezen in een publicatie van de World Meteorological Organisation (2019). Verbranding van fossiele brandstoffen, betonindustrie, ontbossing en grootschalige landbouw zijn factoren die bijdragen aan een stijging van natuurlijke- en industriële broeikasgassen in de atmosfeer. Deze stijging beïnvloedt het aardse klimaat. Klimaatverandering omvat gecorreleerde stijgingen in temperatuur en atmosferische CO₂-concentratie en brengt daardoor grote uitdagingen met zich mee.

Internationaal klimaatbeleid wordt bepaald tijdens de jaarlijkse 'Conference of Parties' (bijeenkomst Conference of Parties, 2021). De belangrijkste doelstelling van dit overleg is "de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer dusdanig te stabiliseren dat gevaarlijke antropogene -menselijke- interferentie met het wereldwijde klimaatsysteem wordt voorkomen". Daarnaast heeft de Europese Unie met 'The Green Deal' een programma opgezet om Europa het eerste klimaatneutrale continent te laten worden en daarmee verdere klimaatverandering tegen te gaan. Tot op heden is er echter nog steeds sprake van een stijging van het CO₂-gehalte in de atmosfeer. Dit blijkt onder meer uit de zogenaamde 'Keelingcurve' (ESRL, 2021) een grafiek met dagelijkse metingen van het atmosferische CO₂-gehalte, gepubliceerd door de Earth System Research Laboratories.

Ten aanzien van de wijnbouw zijn er diverse publicaties te vinden over de gevolgen van het veranderende klimaat. Deze zijn met name gericht op het effect van een stijgende temperatuur en een veranderend neerslagpatroon, (zie o.a Gladstones, J., 2011, Ivens, E., 2019 en Schunselaar, D. 2019). Voor het specifieke effect van het toenemende broeikasgas CO₂ op de wijnstok is nog weinig aandacht. In deze scriptie wil ik onderzoek doen naar de effecten van hogere CO₂-concentraties in de atmosfeer op de groei van de wijnstok (*Vitis Vinifera L.*). Dit doe ik door middel van een literatuurstudie en de onderzoeksvraag:

Wat is het directe effect van een toenemende atmosferische CO₂ – concentratie op de wijnstok?

1.2 Vraagstelling

De hoofdvraagstelling van de scriptie luidt: 'Wat is het directe effect van een toenemende atmosferische CO₂-concentratie op de wijnstok'? Om de hoofdvraag te beantwoorden heb ik literatuur bestudeerd en een online college gevolgd (Ruschenberg, H. 2015).

Vervolgens zijn onderstaande deelvragen geformuleerd:

Deelvraag 1. Welke scenario's zijn er voor de atmosferische CO₂-ontwikkeling?

- Wat is het effect van CO₂ als broeikasgas voor het klimaat?
- Wat houdt de koolstofkringloop in en wat is de relatie met het veranderende atmosferische CO₂-niveau?
- Welke scenario's zijn er voor de mogelijke atmosferische ontwikkeling?

Deelvraag 2. Bij welke processen van de wijnstok speelt CO₂ een rol?

De beantwoording van deze vraag richt zich in het bijzonder op fotosynthese en vegetatieve- en generatieve processen.

Deelvraag 3. Wat zijn de effecten van een hogere atmosferische CO₂-concentratie op de processen, zoals genoemd bij deelvraag 2?

Voor de beantwoording van deze vraag worden veldonderzoeken aangehaald die specifiek zijn uitgevoerd naar de processen zoals beschreven bij deelvraag 2.

Deelvraag 4. Hoe kan er in de wijngaard geanticipeerd worden op hogere atmosferische CO₂-concentraties?

Verondersteld wordt dat bij meer beschikbare CO₂ er een toename is in de groei van de wijnstok. Wijngaardbeheer zal hierop dienen te anticiperen, zodat de druiven de gewenste samenstelling blijven behouden tijdens het oogstmoment.

1.2.1 Onderzoeksmethode

Het onderzoek is een literatuuronderzoek. Een literatuuronderzoek poogt een "landschap" te creëren voor de lezer, waardoor hij of zij een volledig inzicht krijgt in de ontwikkelingen in het veld van onderzoek. Dit landschap informeert de lezer dat de auteur inderdaad alle (of de overgrote meerderheid van) eerdere, belangrijke werken in het veld heeft geassimileerd in haar of zijn onderzoek. Hiertoe heb ik een groot aantal bronnen geraadpleegd, zie literatuurlijst. Het literatuuronderzoek is aangevuld met interviews en gesprekken met wijnproducenten, zie bijlagen. Daarnaast heb ik 'deskresearch' uitgevoerd, ook wel secundair onderzoek genoemd. Deskresearch doet een review op het literatuuronderzoek door de verschillende onderzoeksresultaten aan elkaar te toetsen.

1.2.2 Reikwijdte en detailniveau van het onderzoek

Met het onderzoek voor deze scriptie focus ik op de reactie van de wijnstok op een verhoogde atmosferische CO₂-concentratie. Wat zijn de effecten daarvan op de groei van de wijnstok en de druiven? Daarnaast besteed ik aandacht aan wijngaardbeheer. De effecten van een verhoogde CO₂ in de atmosfeer in relatie tot het klimaat blijven buiten beschouwing, evenals mogelijke aanpassingen van de werkwijze in de kelder.

1.2.3 Opbouw van de scriptie

Ik heb gekozen voor de volgende opbouw van de scriptie:

- Hoofdstuk 2 geeft een inleiding over CO₂ en de rol van CO₂ bij de groei van de wijnstok.
- Hoofdstuk 3 behandelt de scenario's van de atmosferische ontwikkeling van CO₂.
- Hoofdstuk 4 gaat over het effect van een verhoogde atmosferische CO₂-concentratie op de groei van de wijnstok.
- Hoofdstuk 5 gaat over wijngaardbeheer en hoe te anticiperen op de extra groeikracht van de wijnstok.
- In hoofdstuk 6 worden de hoofdvraag en deelvragen beantwoord en samengevat in een conclusie.

Hoofdstuk 2. Wat is CO₂? En wat is de rol van CO₂ bij de groei van de wijnstok?

Dit hoofdstuk beschrijft de samenstelling van CO₂, de functie van CO₂ voor de temperatuur op aarde en de rol van CO₂ bij de groeiprocessen van de wijnstok.

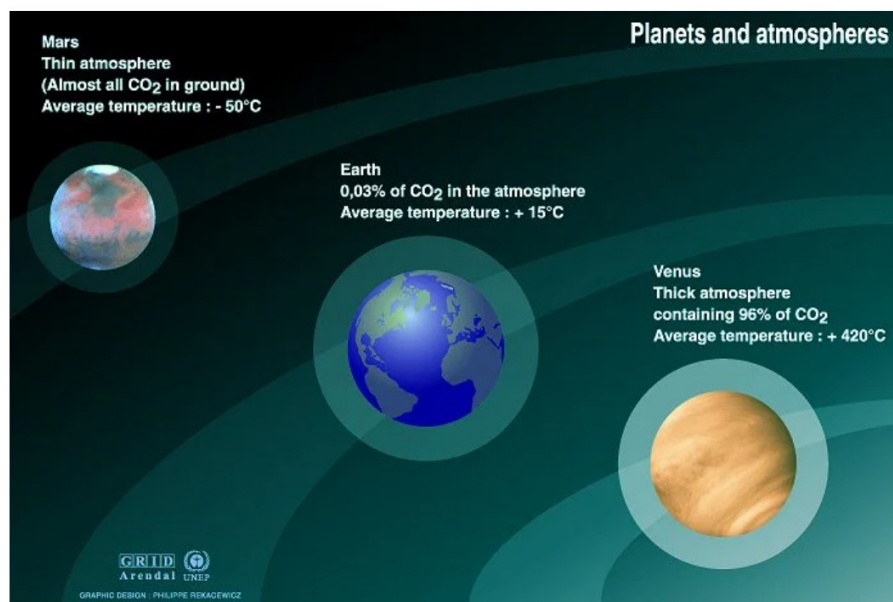
2.1 Wat is CO₂?

Chemische samenstelling

Kooldioxide (CO₂) is een molecuul dat bestaat uit twee zuurstofatomen (O) en een koolstof atoom (C), met de chemische formule CO₂, en structuurformule O=C=O. Het is in de atmosfeer aanwezig sinds de aarde condenseerde uit een bol van hete gassen, zo'n vijf miljard jaar geleden. De explosie van een enorme ster lag hieraan ten grondslag (Haigh, J. 2017). Kooldioxide wordt ook wel koolstofdioxide of koolzuurgas genoemd. Het is een klein molecuul dat onder normale omstandigheden (dat wil zeggen niet onder druk of bij temperaturen ver onder 0° C.) gasvormig is.

Broeikasgas

CO₂ is een broeikasgas, dat wil zeggen dat het warmte vasthoudt in de atmosfeer en daarmee beïnvloedt het de temperatuur op aarde. Andere 'natuurlijke' broeikasgassen zijn waterdamp, methaan, di-stikstofoxide (lachgas) en ozon. Zonder broeikasgassen zou de gemiddelde temperatuur op aarde -18°C zijn, nu is dat +15°C. Zie figuur 1 met de relatie tussen de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer en de temperatuur op een planeet.



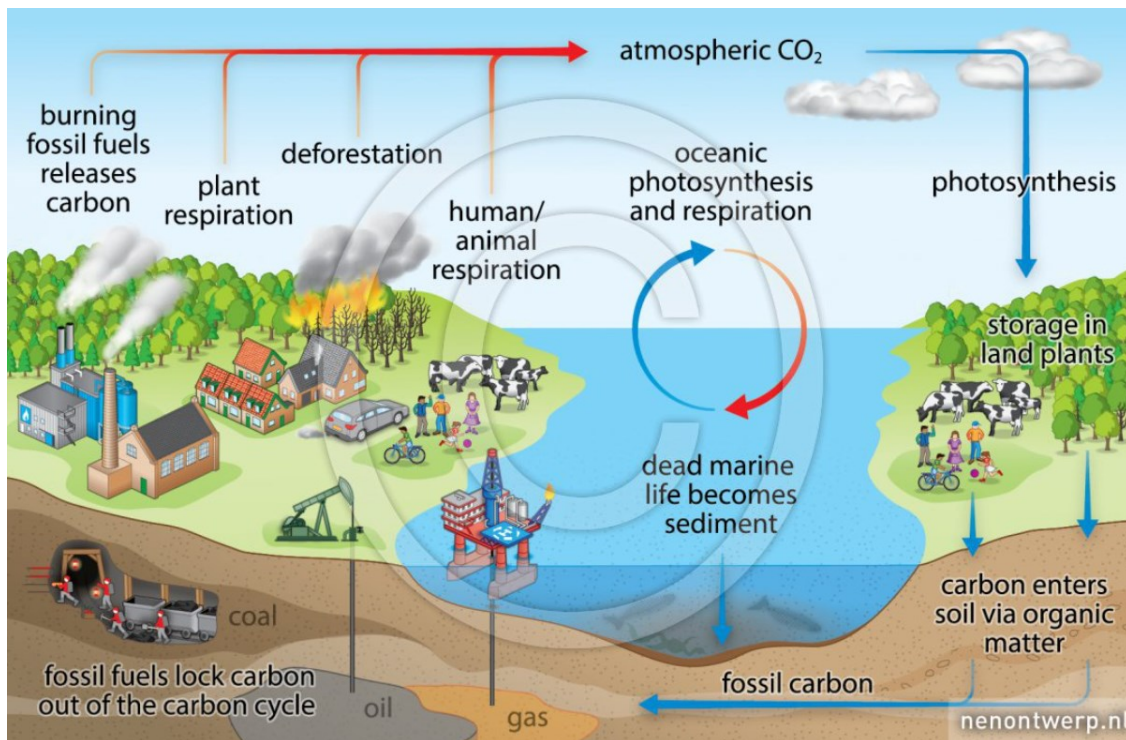
Figuur 1. Relatie tussen atmosferische CO₂-concentratie en de temperatuur op een planeet¹

Koolstofcyclus

Koolstof is de basis van al het leven op aarde. Via de zogenaamde koolstofcyclus vindt uitwisseling plaats van koolstof in de vorm van CO₂ tussen de atmosfeer en het land- en zeeoppervlak (zie figuur 2). De aarde en haar atmosfeer vormen een gesloten omgeving, binnen dat systeem verandert de hoeveelheid koolstof niet. Koolstof is continue in

¹ Bron: [Planets and atmospheres | GRID-Arendal \(grida.no\)](https://www.grida.no/publications/other/planets-and-atmospheres) . Geraadpleegd van het World Wide Web, 9 april 2020.

beweging. Een CO₂-molecuul bevindt zich enkele jaren en soms zelfs duizenden jaren in de atmosfeer, alvorens weer te worden opgenomen door organismen op aarde. Opgenomen koolstof komt bij diverse verbrandingsprocessen weer vrij in de atmosfeer door menselijk handelen, zoals het verbranden van fossiele brandstoffen, de betonindustrie en door natuurlijke processen waaronder vulkaanuitbarstingen en bosbranden. Daarnaast is er een verscheidenheid aan mechanismen verantwoordelijk voor CO₂-uitstoot, waaronder grootschalige landbouw, veeteelt en het vergaan van organisch materiaal.



Figuur 2. Animatie van de koolstofcyclus²

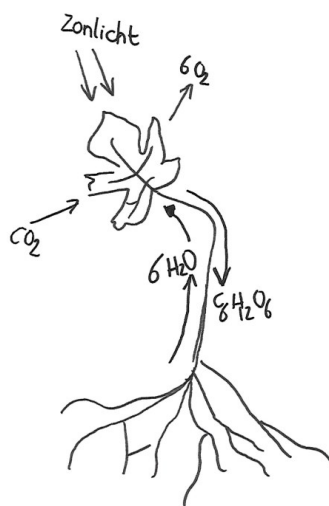
2.2 Bij welke processen van de wijnstok speelt CO₂ een rol?

Hierboven is beschreven dat CO₂ een belangrijke rol heeft in de koolstofcyclus. Op welke wijze CO₂ een rol speelt bij de ontwikkeling van planten wordt hierna toegelicht.

Fotosynthese

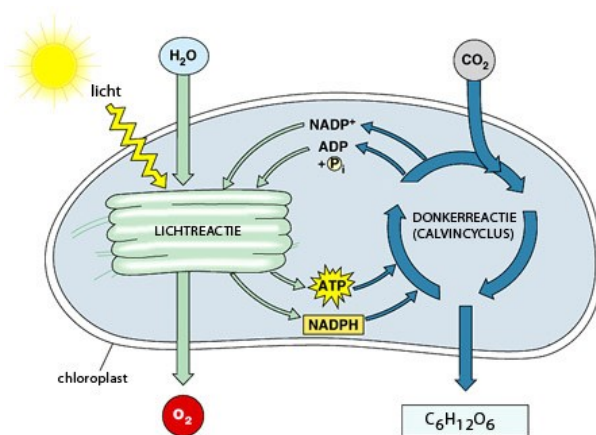
Groene planten bestaan voor meer dan 95 procent van het vers-gewicht uit koolstof (C), waterstof (H) en zuurstof (O). Met fotosynthese zijn de planten in staat hun complexe structuur op te bouwen en in stand te houden. Daarmee voorzien ze in de eigen voedingsbehoefte. Bij fotosynthese wordt CO₂ en water met behulp van lichtenergie omgezet in glucose; dit dient als bouwsteen en energiebron voor de plant. De benodigde lichtenergie wordt opgevangen in bladeren, water wordt opgenomen via de wortels en CO₂ wordt via de stomata (huidmondjes) opgenomen, die vooral aan de onderkant van de bladeren zijn te vinden (zie figuur 3).

² Bron: Martin van Wijngaarden, <https://www.lineairbeeldresearch.nl/illustrator-portfolio/image/4721?pub=mrjs1bgy> . Geraadpleegd van het World Wide Web, 30 september 2020.



Figuur 3. Impressie van de fotosynthese³

Fotosynthese bestaat uit een lichtreactie en een donkerreactie (lichtonafhankelijke reactie). Door middel van de lichtreactie wordt water en licht omgezet in energie (ATP⁴) en reductiemiddel NADPH⁵, waarbij ook zuurstof vrijkomt. Deze energie stelt de planten in staat om via de donkerreactie CO₂ te fixeren, waarbij glucose (C₆H₁₂O₆) wordt gevormd. De lichtreactie en de donkerreactie vinden voornamelijk plaats in de bladeren en wel in de chloroplast, het groene organel van de plantencel. De pigmenten en fotosystemen die de lichtreactie katalyseren kleuren de plant groen (Nb groen licht wordt niet geabsorbeerd). Zie figuur 4 van een chloroplast (bladgroenkorrel).



Figuur 4. Dwarsdoorsnede van een chloroplast⁶

De opbouw van organische stoffen (glucose) bij de fotosynthese uit anorganische stoffen (koolstof) wordt ook wel de primaire productie genoemd. De glucose wordt in een

³ Beeld: Annemarie Wielstra.

⁴ ATP, adenosinetrifosfaat, is de universele drager van chemische energie in alle levende cellen. Bron: wikipedia

⁵ NADPH, Nicotinamide-adenine-dinucleotidefosfaat wordt in de Calvinyclus gebruikt om koolstofdioxide te assimileren en om te zetten in glucose. Bron: wikipedia

⁶ Bron: [Fotosynthese in detail \(uva.nl\)](https://www.uva.nl/onderzoek/onderzoekgroepen/fotosynthese-in-detail). Geraadpleegd van het World Wide Web, 9 april 2021.

vaatbundel (floëem) door de plant verspreid met als bestemming energie-vragende processen in de plant, waaronder vegetatieve- en generatieve groei.

Vegetatieve groei

Dit betreft de blad-, stam- en wortelgroei. In het voorjaar, vanaf een drempelwaarde van 10°C. begint de uitloop van wijnstok. Voor groei in het algemeen is glucose vereist, in eerste instantie gebruikmakend van opgeslagen reserves en daarna, zoals hiervoor beschreven, door de productie van glucose in de bladeren. Glucose voorziet in de energie om deze groeiprocessen mogelijk te maken en is ook een bouwstof. Wortels zorgen ervoor dat de plant stevig vaststaat in de bodem ten behoeve van opname van voedingsstoffen en het opslaan van reservevoedsel.

Generatieve groei

Als de plant zich voldoende heeft ontwikkeld komt deze in de generatieve fase, de aanleg van bloemen, vorming en uitgroei van druiven. Tijdens deze fase remt de vegetatieve groei af en verdeelt de plant zijn energie tussen deze 2 processen. Er zijn diverse factoren die invloed hebben op dit proces, waaronder klimaat en groeiwijze. Daarnaast is de ontwikkeling afhankelijk van glucose en andere voedingsstoffen, waaronder water.

Temperatuur

Temperatuur wordt gezien als de belangrijkste factor voor de groeiprocessen van de wijnstok, en de productie van de druiven. Daarnaast heeft temperatuur grote invloed op de rijping en de kwaliteit van de druiven (Schunselaar, D. 2019).

Voedingsstoffen

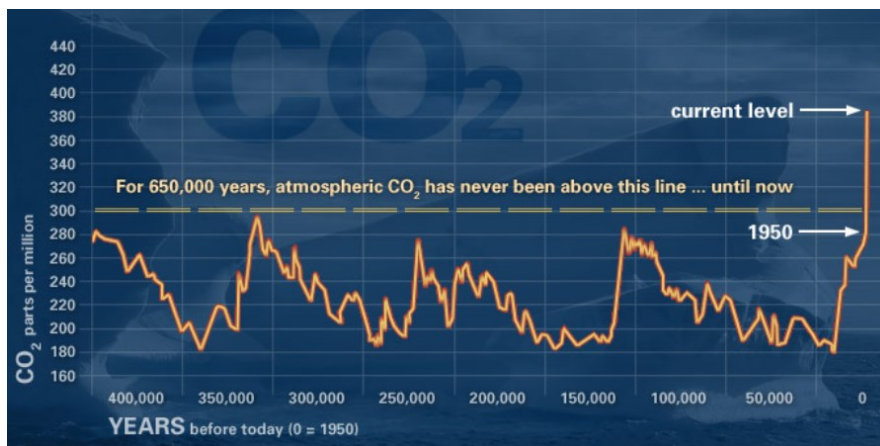
Naast glucose zijn de twee belangrijkste voedingsstoffen voor de wijnstok, mineralen opgelost in water (H₂O) en stikstof. Water wordt via wortels opgenomen en speelt een rol bij de fotosynthese, maar ook bij celdeling en daarmee de groei van de plant. Daarnaast is water van belang bij de groei van plantwortels, de kieming van zaden en het hydraulische systeemtransport in de wijnstok. Stikstof is een belangrijke component bij het ondersteunen van de plantgroei en plantproductie. Zo zit stikstof onder andere in chlorofyl en bevordert het de groei in het algemeen. Ook is het een belangrijk element voor eiwitten en DNA. Verder zijn er nog een groot aantal andere minerale voedingsstoffen die nodig zijn voor de plant: fosfor (P) kalium (K) boron (B) kalk (Ca) koper (Cu) ijzer (Fe) magnesium (Mn) mangaan (Mn) molybdeen (Mo) zwavel (S) en zink (Zn).

Hoofdstuk 3. Scenario's voor de atmosferische CO₂-ontwikkeling

Dit hoofdstuk beschrijft de atmosferische CO₂-concentraties uit het verleden, het heden en prognoses voor de toekomst.

3.1 Verleden

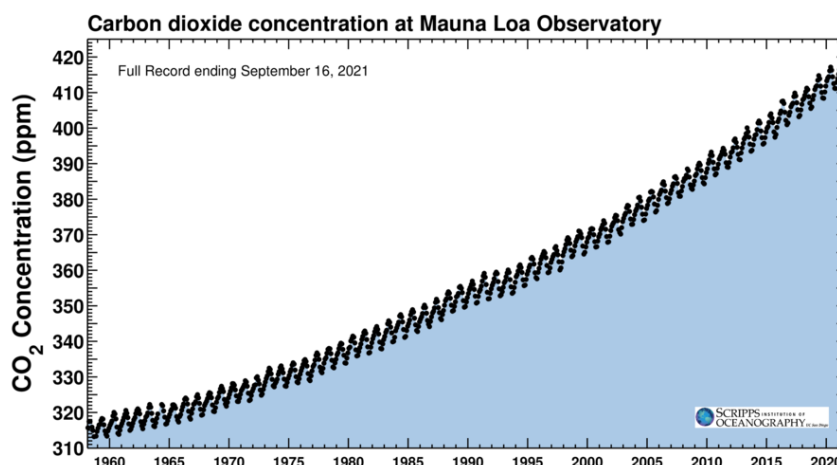
Gedurende de laatste 400.000 jaar schommelde de atmosferische CO₂-waarde tussen ongeveer 180 ppm tijdens ijstijden en 280 ppm tijdens interglaciale warme periodes (zie figuur 5). Die schommelingen zijn toe te schrijven aan de baan van de aarde om de zon (Van der Zwaan, G.J. 2003). Voor de industriële revolutie bedroeg het wereldwijde gemiddelde CO₂ ongeveer 280 ppm.



Figuur 5. De stijging van de atmosferische CO₂-concentratie⁷

3.2 Heden

Volgens recente metingen van september 2021 (zie figuur 6), uitgevoerd door het Mauna Loa Observatory (ESRL, 2021), is de huidige atmosferische CO₂-concentratie 412 ppm, Een stijging van ruim 45 procent ten opzichte van het pre-industriële tijdperk; een dergelijke toename is de laatste 400.000 jaar niet voorgekomen.



Figuur 6. Ontwikkeling van de atmosferische CO₂-concentratie sinds 1750⁸

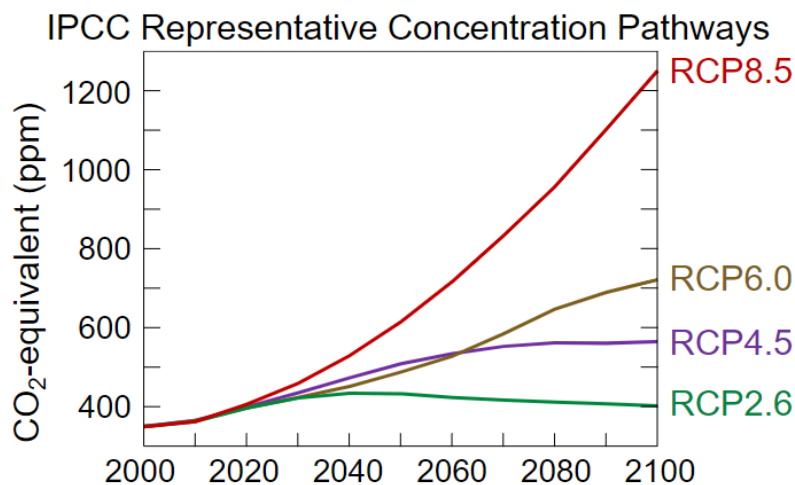
⁷ Bron: <https://globalclimate.ucr.edu/resources.html> . Geraadpleegd van het World Wide Web, 10 januari 2022

⁸ Bron: <https://keelingcurve.ucsd.edu/> , Geraadpleegd van het World Wide Web, 16 september 2021.

3.3 Toekomstscenario's voor de ontwikkeling van atmosferische CO₂-concentratie

Natuurlijke CO₂-putten, zoals vegetatie en oceanen, absorberen ongeveer de helft van alle emissies van menselijke activiteiten. Deze putten worden door verzadiging wel minder efficiënt. Sinds 1995 staat klimaatbeleid op de politieke agenda en wordt internationaal klimaatbeleid bepaald tijdens de jaarlijkse 'Conference of Parties' (COP) bijeenkomst. De belangrijkste doelstelling van dit overleg is "de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer dusdanig te stabiliseren dat gevaarlijke antropogene (menselijke) interferentie met het wereldwijde klimaatsysteem wordt voorkomen". Daarnaast heeft de Europese Unie met 'The Green Deal' zelf een programma opgezet om Europa het eerste klimaatneutrale continent te laten worden en daarmee verdere klimaatverandering tegen te gaan. Tot op heden is er echter nog steeds sprake van een stijging van het CO₂-gehalte in de atmosfeer.

In het 'Fifth Assessment Report' van het IPCC (2014) wordt een viertal scenario's geschetst over mogelijke toekomstige atmosferische CO₂-concentraties. Deze scenario's worden 'Representative Concentration Pathways' (RCP) genoemd, ofwel een 'representatief concentratie-traject'. In drie van de scenario's blijft deze toenemen tot 2100. Een vierde scenario schetst een afname vanaf 2030 (zie figuur 7). In een volgend IPCC-rapport 'Choices made now are critical for the future of our ocean and cryosphere' (2019), wordt melding gemaakt van een stijging van 2 procent van de wereldwijde CO₂-uitstoot in 2018 ten opzichte van 2017. Wetenschappers denken dat het hoogtepunt nog niet bereikt is, hoewel de stijging trager groeit dan de wereldeconomie.

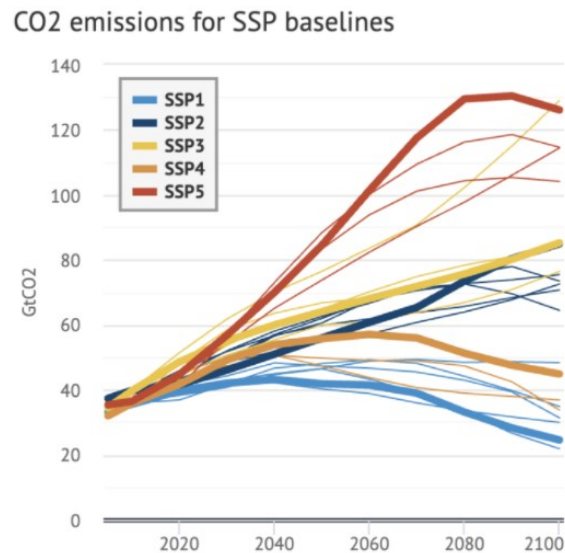


Figuur 7. Scenario's van de atmosferische CO₂-ontwikkeling⁹

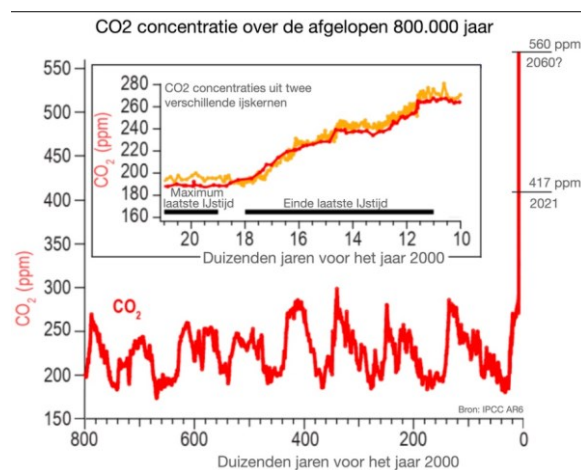
In het recent verschenen IPCC 'Sixth Assessment Report' (IPCC, 2021), worden met een vijftal prognoses voorspellingen gedaan over de toekomstige CO₂-emissies. Deze worden

⁹ Bron: IPCC, Assessment Report 5, 2014. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>. Geraadpleegd 16 september 2021.

aangeduid als SSP, 'shared socio-economic pathways': de mogelijke uitstoot op basis van bevolkingsgroei en bruto binnenlands product (BBP). Op basis van dit rapport baseert het KNMI de publicatie: 'Hoe gevoelig is het klimaat?' (KNMI, 2021). Hierin wordt melding gemaakt dat er serieus rekening dient te worden gehouden met een atmosferische CO₂-concentratie van 560 ppm in 2060 (zie figuur 8 en 9).



Figuur 8. Een vijftal scenario's van CO₂-uitstoot voor de komende decennia. In het meest positieve scenario wordt er tot 2060 in een groei voorzien¹⁰.



Figuur 9. De mogelijke CO₂-concentratie in 2060¹¹

¹⁰ Bron: IPCC, Sixth Assessment Report 2021.

¹¹ Bron: KNMI: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/hoe-gevoelig-is-het-klimaat>, geraadpleegd 20 september 2021.

Hoofdstuk 4. Het effect van een verhoogde atmosferische CO₂ op de wijnstok

In dit hoofdstuk worden de effecten besproken van een verhoogde atmosferische CO₂-concentratie op de processen, zoals toegelicht in hoofdstuk 3.

4.1 Onderzoek

Onderzoek naar de effecten van een verhoogde CO₂-concentratie kan worden uitgevoerd in kassen verrijkt met CO₂, maar ook in een zogenaamde Free Air CO₂ Enrichment (FACE) faciliteit (zie figuur 11). Dit is een onderzoekopstelling waarbij planten in een omgeving staan met een kunstmatig verhoogde CO₂, -*elevated* CO₂- (eCO₂), maar wel in de open lucht zodat het klimaat: temperatuur / wind / luchtvochtigheid / zonlicht, overeenkomstig is met een controlegroep met lokaal aanwezige hoeveelheid CO₂ - *ambient* CO₂- (aCO₂). Een derde mogelijkheid is de 'Open Top Chamber' (OTC), (zie figuur 12), waarin naast eCO₂ ook gewerkt kan worden met een (kunstmatig) verhoogde temperatuur.



FACE Installatie¹²



Open Top Chamber¹³

4.1.1 Fotosynthese

Hardie schrijft (Hardie, W. J. 2000) dat de wijnstok is ontstaan in het Krijt (136-65 miljoen jaar geleden). Atmosferische CO₂-concentraties waren destijds veel hoger dan de huidige CO₂ waarde. Met deze erfenis in de genen is het wellicht mogelijk dat de wijnstok zich kan aanpassen aan hogere CO₂-waarden dan de huidige. Bij de wijnstok stijgt de primaire productie (i.c. de productie van organisch materiaal uit CO₂) uit de fotosynthese bij een eCO₂, zo blijkt uit onderzoek van Wohlfahrt, Y. (2018). Ainsworth & Rogers (2007) schrijven die stijging toe aan een versnelling van de carboxylatie, een chemisch proces dat onderdeel is van de fotosynthese. Hierbij katalyseert het enzym rubisco¹⁴ een proces in de donkerreactie waarbij CO₂ gefixeerd wordt tot glucose (assimilatie). Bij een eCO₂, stijgt de ideale groeitemperatuur mee, in hun onderzoek noemen Drake *et al.*, (1997) een theoretische toename van 2°, 5° en 6°C, bij respectievelijke atmosferische CO₂ waarden van 450, 550 en 650 ppm, hetgeen onderschreven wordt in onderzoek van Ainsworth, E.A. (2005).

¹² Foto: Auteur, Free Air Carbon Dioxide Enrichment opstelling in Geisenheim.

¹³ Foto: M. Treeby, Agriculture Victoria.

¹⁴ Rubisco, afkorting voor ribulose-1,5-bisfosfaat carboxylase oxygenase, is het bekendste en tevens cruciale enzym in alle mogelijke vormen van fotosynthese. Bron: wikipedia.

4.1.2 Respiratie

Respiratie, ook wel ademhaling of verbranding genoemd, is het proces waarbij opgeslagen energie uit de fotosynthese vrij wordt gemaakt voor allerlei processen, daarbij gebruikmakend van zuurstof (O_2) en energie met uitstoot van CO_2 als gevolg ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$). Uit onderzoek door Drake B.J. (1999) naar respiratie in een eCO_2 -omgeving blijkt die respiratie bij een eCO_2 vermindert. Dit levert een voordeel op voor de plant, er worden minder suikers verbruikt (dissimilatie) en die vermindering draagt bij aan een positieve plant/koolstof (C) balans. Er is extra koolstof beschikbaar die ingezet kan worden voor andere processen in de plant.

4.1.3 Stomata (huidmondjes)

De '*stomatal conductance*' is een maat om de opening van stomata uit te drukken. Bij een hogere CO_2 -concentratie neemt het aantal stomata op het blad af, tegelijkertijd is er sprake van een toename van de geleiding van de stomata. In een aantal onderzoeken die plaatsvonden onder hoge CO_2 -concentraties (tot wel 700 ppm) bleek de fotosynthese-capaciteit van het blad onvoldoende om die extra CO_2 te benutten. Er treedt een verzadiging op. Dit leidt tot een afname van het aantal stomata, en levert daarmee een bijdrage aan een effectiever watergebruik (Moutinho-Pereira, J. 2009, Franks, P.J. 2009).

4.1.4 Water

Bij watergebruik voor de wijnstok zijn er diverse indicatoren inzetbaar om de status/beschikbaarheid te meten, waaronder de zogenaamde '*Pre-dawn leaf water potential*' (Ψ_{pd}). Hierbij wordt de waterbehoefte van de wijnstok gemeten voor zonsopgang. In het onderzoek van Wohlfahrt *et al.* (2018) was er een lagere waterstress/tekort bij een eCO_2 . In het onderzoek van Bindi *et al.* (2005) was er tijdens één van de zes meetmomenten sprake van een grotere waterstress bij een eCO_2 . Een tweede indicator is de '*water use efficiency*' (WUE). Waarbij gelet wordt op de hoeveelheid gebruikt water versus de opgenomen -geassimileerde- hoeveelheid koolstof (C) als biomassa. Uit diverse onderzoeken blijkt dat de efficiëntie van het watergebruik bij een eCO_2 toeneemt. Opmerking hierbij is dat het totale waterverbruik wel stijgt bij een eCO_2 , dit ten gevolge van meer biomassa, want planten kunnen tot wel voor 95 procent uit water bestaan en er wordt meer water gebruikt bij de fotosynthese bij een eCO_2 .

4.2 Vegetatieve processen

Deze processen omvatten de groei van bladeren, stengels en wortels.

4.2.1 Bladeren

Fotosynthese vindt plaats in de bladeren, waarbij het opvangen van licht cruciaal is voor de eerste fase van dit proces. In de wijngaard is het daarom van belang loofwandbeheer dusdanig uit te voeren dat alle bladeren voldoende licht kunnen opvangen. Bij eCO_2 verbetert de '*light use efficiency*' de productie van droog materiaal gemeten per eenheid onderschept licht, zo valt te lezen in Drake, B.G. (1997). Voor de wijnstok draagt dit bij tot een grotere productie uit de fotosynthese en leidt dit ook tot een versnelde ontwikkeling van bladeren, zo blijkt uit onderzoek van Zhao, X. (2019). Bladeren ontwikkelen zich sneller van heterotroof, nog afhankelijk van voeding, naar autotroof, middels fotosynthese. En daarmee kunnen bladeren voorzien in de eigen voedingsbehoefte. Naast een versnelde ontwikkeling nemen de bladeren toe in omvang en dikte. Dit wordt uitgedrukt als '*leaf mass per unit area*' (LMA). In het OTC-onderzoek van Moutinho-Pereira, J. (2009) wordt aangetoond dat de LMA stijgt bij een eCO_2 en de

relatieve samenstelling van minerale bestanddelen in het blad wijzigt, waaronder een toename van koolhydraten (C) en een afname van stikstof (N). In hetzelfde onderzoek, dat werd uitgevoerd op *touriga franca* druiven, werd met een SPAD-meter (*Soil Plant Analysis Development*), het chlorofylgehalte gemeten en daarmee de stikstof status van de plant. Ten opzichte van de controlegroep werden geen significante wijzigingen vastgesteld van het chlorofylgehalte, waaruit kan worden opgemaakt dat het stikstofgehalte van de wijnstok voldoende was. De totale biomassa, uitgedrukt in snoeigewicht, neemt toe bij een eCO₂. Deze toename is met name zichtbaar in de tweede helft van het groeiseizoen. Hoewel de totale biomassa toeneemt bij een eCO₂ is er een afname van de 'Specific Leaf Area' (SLA). SLA is de verhouding tussen het totale bladoppervlak van een plant, gedeeld door de droge massa van de hele plant en geeft de efficiëntie aan waarmee een plant zijn bladeren gebruikt om plantaardige materiaal te produceren en kan worden toegepast als indicator voor de groeistrategie van de plant. Bij een lange periode van droogte zal er minder water in het blad zitten en zal de SLA-ratio afnemen.

4.2.2 Meerjarige groei

De stamomtrek van de wijnstok kan gemeten worden als indicator van de jaarlijkse groei. In het FACE onderzoek van Wohlfahrt, Y. (2018) bij cabernet sauvignon en riesling werd een klein verschil waargenomen in de stamomvang tussen aCO₂ en eCO₂. De 'cross sectional area' de afstand van de stam, over de lengte gemeten tussen de bodem en de eerste zijtak, liet een voorzichtige trend zien in groei. Tijdens het interview gaf Wohlfahrt (zie bijlage 1) aan dat het haar aannemelijk lijkt dat de wortelgroei ook toeneemt bij een eCO₂ en daarmee plaats biedt aan voedselreserves. Ook zorgt die wortelgroei voor een betere conditie van de plant en waterreserves.

4.3 Generatieve processen.

Deze processen omvatten de groei van bloemen, vruchten en zaden.

4.3.1 Vruchtvorming

Uit de bloemknoppen ontluiken in het voorjaar bloemen waar later de druiven uit worden gevormd. Bij het FACE onderzoek van Wohlfahrt, Y. (2019), waarbij onderzoek werd gedaan naar de vorming van bloemknoppen onder een eCO₂ bij riesling en cabernet sauvignon, werd een kleine stijging waargenomen van het aantal 'Inflorescence Primordia' (IP), de gevormde bloemknoppen. Dit resulteerde echter niet in een toename van het aantal trossen. Een verklaring wordt niet gegeven in het onderzoek, mogelijk dat er bij de extra gevormde bloemknoppen een tekort aan reserves dan wel koolhydraten zou zijn, waardoor deze zich niet ontwikkelden. Wel wordt gesteld dat de 'Primary Bud Necrosis' (PBN), een aandoening die schade veroorzaakt aan de bloemknoppen, niet specifiek toenam bij een eCO₂. Bij de oogst was sprake van een stijging van het 'clean fruit yield', het trosgewicht en het aantal druiven per tros. Ook verbeterde de zogenaamde 'bunch architecture'. Diverse FACE en OTC-onderzoeken meldden een stijging van het rendement bij een eCO₂. Bindi, M. (2005) rapporteerde een potentiële toename van 45 procent in oogstgewicht. Treeby, M. (2018) zag het oogstgewicht toenemen van 10 kilogram (kg) druiven per wijnstok naar 12,7 kg en Wohlfahrt, Y. (2018) rapporteerde een maximale toename van het trosgewicht van 17,3 procent. Hiermee zou in de toekomst mogelijk de wettelijke bepaling voor rendement in het gedrang kunnen komen. Een verklaring voor de verschillen in de toename van het rendement zou kunnen zijn dat de wijnstok dient te bepalen waar de extra glucose te 'stallen'. De wijnstok kan kiezen tussen bijvoorbeeld investering in structurele groei, langdurige opslag of generatieve groei.

4.3.2 Samenstelling van de druiven en most

De toename in rendement ten gevolge van grotere druiven bij een eCO₂ zou kunnen leiden tot een wijziging in de samenstelling ervan. Wohlfart, Y. (2020) onderzocht de effecten van een eCO₂ op de samenstelling van druiven (i.c. riesling en cabernet sauvignon) tijdens groei, rijpingsperiode en most. Het '*Total Soluble Solids*' (TSS), dit is het totaal aan oplosbare bestanddelen in de druif, was tijdens het oogstmoment niet beïnvloed, wel werd een toename in het druifgewicht en zuur en een afname van wijnsteenzuur vastgesteld. Parameters van most en jonge wijn, waaronder suikers, zuren, pH, vluchtige bestanddelen en polyfenolen, lieten in het onderzoek van Gonçalves, B. (2009) zien dat er relatieve verschillen waren, waaronder een toename van bepaalde esters. Esters zijn organische verbindingen die veelal ontstaan tijdens alcoholische fermentatie bij een reactie tussen een zuur en een alcohol. Esters kunnen bloemige/fruitige aroma's hebben en leveren daarmee een positieve bijdrage aan het aroma van een wijn. Een afname werd gevonden van ethylacetaat, een ester van ethanol en azijnzuur met een scherp aroma, veelal geassocieerd met de geur van nagellak. In totaal werden 35 vluchtige bestanddelen onderzocht; hoewel er verschillen waren in samenstelling, werd gesteld dat deze afwijkingen de wijnkwaliteit niet negatief beïnvloedden. In hetzelfde onderzoek van Gonçalves is een OTC beplant met touriga franca druiven. Hier bleek het totaalgehalte aan anthocyanen en polyfenolen onder druk te staan, echter zonder een significante negatieve impact op het totaal antioxidant-gehalte van de wijn.

4.3.3 Fenologie

De diverse groeistadia van de wijnstok (fenologie), uitloop, bloei, '*veraison*' en rijping zijn processen waarbij temperatuur leidend is. Bij een OTC-onderzoek in Australië (Treeby, M. 2018) werd een lichte versnelling waargenomen, resulterend in druiven die eerder oogstrijp waren. In Europese onderzoeken bleek geen versnelling van de fenologische processen (Bindi, M. 2005, Wohlfart, Y. 2018). In het interview gaf Wohlfahrt aan dat zij meende dat de specifieke factoren, waaronder de warmte in het algemeen in Victoria (Australië), meer impact van de zon en een OTC een rol speelden bij het vervroegen van de fenologie.

Hoofdstuk 5. Wijngaardbeheer

In dit hoofdstuk worden 'best practices' besproken, op basis van gesprekken/interviews met wijnproducenten, zie bijlagen. Deze 'best practices' zijn adviezen en ervaringen die kunnen worden toegepast op de wijzigende omstandigheden ten gevolge van een stijgende atmosferische CO₂-concentratie. Met als doel de groei en productie van druiven zo goed mogelijk te managen.

5.1 Voedingsbehoefte

Om te kunnen blijven voorzien in voldoende stikstof, kan de bodem worden verrijkt met compost om daarmee de aanwezigheid van organische stof te verhogen. Ook kunnen er groenbemesters worden ingezet. Groenbemesters zijn gewassen die in een cyclus zitten met als doel de organische bestanddelen van de bodem te verrijken, waardoor stikstof meer en langer bruikbaar wordt voor de wijnstok. Groenbemesters stimuleren niet alleen de voedingsstatus, maar ook het bodemleven en hun processen. Bij een hoger gehalte aan organische materialen blijft de grond beter gestructureerd (water/lucht balans); deze is dan meer ademend en zachter van structuur. Zachtere gronden houden water beter vast en daarmee langer beschikbaar voor de wijnstok. Groenbemesters kunnen ook een rol vervullen als 'cover crops' waardoor directe verdamping van bodemwater - evapotranspiratie- afneemt.

5.2 Water

Als gevolg van een toename van de totale biomassa neemt ook de waterbehoefte toe (zie hoofdstuk 4, 4.1.4). Bij een stijgende waterbehoefte kunnen in gebieden waar dat is toegestaan, diverse irrigatietechnieken worden toegepast, waaronder druppelirrigatie. Dit is een methode waarbij met een stelsel van waterslangen door de wijngaard de juiste hoeveelheden en op het juiste moment de wijnstok van water kan worden voorzien. Bij nieuwe aanplant kan worden nagedacht over zogenaamde 'drought resistant rootstocks' en de keuze voor een wijngaard met een ondergrond die water goed vasthoudt, waaronder bijvoorbeeld klei, leem en löss. De keuze voor wijngaardinrichting, zoals het toepassen van de 'gobelet' groeiwijze en/of een lagere aanplant van wijnstokken per hectare, kan ook een bijdrage leveren aan watermanagement (van Leeuwen, C. 2019). In bestaande wijngaarden kunnen (in warme gebieden) bodembedekkers worden ingezet om evaporatie uit de bodem tegen te gaan en, zoals hierboven beschreven, het toepassen van compostverrijking.

5.3 Biomassa

In hoofdstuk 4, alinea 4.2, is beschreven dat de totale biomassa bij een eCO₂ toeneemt. Het vruchtdragend vermogen van de wijnstok wordt bepaald door het bladoppervlak. Dit is afhankelijk van de gewenste kwaliteit dan wel wijnstijl. Er wordt een formule toegepast tussen het gewenste oogstgewicht per wijnstok dan wel per hectare en hoeveel bladoppervlak er dan in de wijngaard aanwezig dient te zijn. Het is daarbij van belang de wijnstok goed te monitoren op zijn kwaliteiten en defecten en daar de snoeiwijze, voedingsbehoefte, bladmanagement en het aantal trossen op af te stemmen. Met deze handelwijze kan er op de plantbehoefte worden geanticipeerd.

5.4 Fenologie

Een toename van de atmosferische CO₂-concentratie beïnvloedt primair het klimaat, waaronder grotere frequentie van extreme klimaatgebeurtenissen, een verhoogde

temperatuur en ten gevolge daarvan mogelijk een kortere groeicyclus. Die kan op diverse manieren worden gemanaged:

- Bodembedekkers aanplanten waardoor de bodem koel blijft en het uitlopen van de wijnstok vertraagd wordt. Dit zou problemen met voorjaarsvorst ten gevolge van een vroege uitloop, kunnen vermijden. Bij het gebruik van bodembedekkers is minder water beschikbaar is. Bij het uitlopen van de wijnstok stijgt de waterbehoefte, bij een lagere beschikbaarheid van water zou de uitloop dus vertraagd kunnen worden.
- Met de snoei in het voorjaar kan er gekozen worden uit één van de volgende strategieën:
 1. Een latere snoei aan het begin van de vegetatieve fase, de ontluikende periode. Dit heeft als doel een latere uitbotting van de plant ten behoeve van het opschuiven van de rijping, zodat deze na de zomer plaatsvindt, wanneer er over het algemeen mildere/lagere temperaturen zijn.
 2. Een vroegere snoei, zoals die wel wordt toegepast in Zuid-Afrika, onder andere bij RAATS, met als doel de druiven te laten rijpen voordat hittegolven de wijngaard teisteren en de rijping geschiedt voordat de temperaturen op een maximum zijn.

Bij warme periodes kan irrigatie worden toegepast. Als de suikeropbouw te snel verloopt, zorgt water ervoor dat de plant zich gaat richten op groei en vertraagt de rijping.

- Loofwandbeheer kan ook worden ingezet om de fenologie te beïnvloeden, een kortere boven-sned, met als doel een kortere bladwand waardoor de laterale bladwand zich meer kan ontwikkelen; deze wordt dan dikker. Zodoende worden de trossen beter beschermd tegen zon (door schaduw). Deze techniek draagt bij aan een langere rijping en heeft een positieve werking op de algehele zuurgraad van de druiven. De productie van tartraten neemt bij deze techniek toe en de afbraak van ~~appelzuur~~ door te veel blootstelling aan de zon wordt tegengegaan.
- Bij de aanleg van nieuwe wijngaarden zou gekozen kunnen worden voor een minder gunstige - en minder zonnige- expositie. Een andere mogelijkheid is het op grotere hoogte aanplanten van wijnstokken, zoals onder andere in Chili, Argentinië en Spanje. Hoe hoger de wijngaard, hoe lager de temperatuur zal zijn. Deze daalt ongeveer met 0,6 °C bij elke 100 meter (Ivens, E. 2019). Daarnaast daalt op hoogte ook de CO₂-concentratie.
- Producent Creation Estate in Zuid-Afrika heeft voor wat betreft de lengte van het groeiseizoen vertrouwen in het genetische materiaal van de wijnstok (waardoor de groeicyclus niet zou worden beïnvloed). Creation Estate noemt de zogenaamde '*genetic disposition*' en doelen hiermee op genetische eigenschappen van de wijnstok, waarbij omgevingscondities de fenologie minder zouden beïnvloeden.
- Een nog experimentele techniek is het verwijderen van bladeren. Dit kan worden toegepast om de '*veraison*' te vertragen en, zoals experimenteel toegepast in de wijngaard Erwin Riske (Ahr) - het verwijderen van bladeren in de periode tussen '*veraison*' en werkelijke rijping. Door het snoeien van een deel van de meest functioneel en ook best gepositioneerde bladeren - vaak aan de bovenzijde van de loofwand - vindt er minder fotosynthese plaats wat tot een vertraging van deze processen leidt.

Hoofdstuk 6. Conclusie en discussie

6.1 Wat is atmosferische CO₂ en welke scenario's zijn er voor de atmosferische ontwikkeling?

1. CO₂, kooldioxide, is een broeikasgas en een substraat voor groene planten, algen en (sommige) bacteriën. Deze kunnen uit CO₂, zonlicht en water glucose maken ten behoeve van hun energievoorziening en/of ten behoeve van andere stoffen.
2. In publicaties van het IPCC zijn diverse toekomstscenario's uitgewerkt; op basis daarvan concludeert het KNMI dat er tot tenminste tot 2060 rekening dient te worden gehouden met een toename.

6.2 Bij welke processen van de wijnstok speelt CO₂ een rol?

1. Fotosynthese: via huidmondjes in de bladeren wordt CO₂ opgenomen om te worden verwerkt tot glucose om daarmee te voorzien in de energievoorziening en bouwstoffen van de wijnstok.
2. Vegetatieve processen: dit zijn de processen van blad-, stam- en wortelgroei, die mogelijk worden gemaakt door de productie van glucose.
3. Generatieve processen: dit zijn de processen van bloemvorming, maar ook het ontwikkelen van druiven en zaden en daarmee de voortplanting van de wijnstok en in het geval van wijnbouw, de productie van druiven.

6.3 Wat zijn de effecten van een grotere atmosferische CO₂-concentratie op de diverse processen, zoals genoemd bij de beantwoording van deelvraag 2

Uit mijn onderzoek blijkt dat de totale biomassa stijgt bij een grotere atmosferische CO₂-concentratie. Daarnaast zijn er meer reserves aan koolstof en is er een efficiënter watergebruik. Met als meest opmerkelijke resultaat een hogere opbrengst, waarbij de kwaliteit van druiven, most en jonge wijn niet negatief lijkt te worden beïnvloed.

6.4 Wat zijn de gevolgen voor het wijngaardbeheer bij een verhoogde atmosferische CO₂-concentratie?

1. Met de stijging van de productie uit de fotosynthese neemt de voedingsbehoefte, waaronder stikstof en water, toe. De wijngaardmanager zal extra aandacht moeten geven aan dit aspect zodat de bodem kan voorzien in die behoefte. Uit informatie verkregen via gesprekken met een aantal producenten blijkt dat er technieken zijn om de bodem van de wijngaard dusdanig te bewerken dat er kan worden voorzien in die extra behoefte.
2. Wijngaardmanagers dienen (en dit lijkt mogelijk te zijn om) te anticiperen op een mogelijke versnelling van de fenologische ontwikkeling.
3. De stijging van het rendement zou in potentie de wettelijke bepalingen kunnen overstijgen.

6.5 Hoofdvraag: wat is het directe effect van een toenemende atmosferische CO₂-concentratie op de wijnstok?

Hoofconclusie: De directe effecten 'sec' (los van de invloed op de temperatuur) van een verhoogde atmosferische CO₂-concentratie op de wijnstok zijn positief! Extra groei wordt mogelijk gemaakt dankzij een verhoging van de productie uit de fotosynthese. Dit resulteert onder andere in een toename van de bladgroei, maar ook in rendement dat daarbij niet negatief wordt beïnvloed qua samenstelling. Daarbij stijgt de efficiëntie van het watergebruik, waarbij dient te worden opgemerkt dat de totale voedingsbehoefte van de wijnstok stijgt.

Wijngaardbeheer dient te anticiperen zodat de bodem kan voorzien in die stijgende voedingsbehoefte; speerpunten daarin zijn stikstof en water.

6.6 Discussie

In de discussie zal ik nader ingaan op de hoofdvraag van mijn scriptie en beargumenteren hoe ik tot de hierboven geformuleerde conclusies ben gekomen. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat de atmosferische concentratie CO₂ de komende decennia zal blijven toenemen; hier zijn onderzoekers wereldwijd het wel over eens. De mate waarin CO₂ toeneemt verschilt echter, afhankelijk van de scenario's. Het meest recente IPCC-rapport van 2021 bevestigt nogmaals die verwachtingen. Ik vind het plausibel om daarom in mijn scriptie en onderzoek uit te gaan van een stijging van CO₂ en dat als basis te nemen voor het in beeld brengen van effecten op de wijnstok.

De geïnterviewden heb ik gevraagd hoe zij zouden reageren met hun wijngaardbeheer mocht er een grotere voedingsbehoefte ontstaan naar aanleiding van een hogere atmosferische CO₂-concentratie. Over de stijging 'sec' zijn ze niet bezorgd, de zorgen gaan meer over ontwikkeling van het klimaat. Carolyn Martin, mede-eigenaar van Creation Estate in Zuid-Afrika, zei dat hun wijngaarden in een '*pristine and clean air environment*' gesitueerd zijn.

Ik constateer dat er nu ruim 15 jaar (wijn)onderzoek wordt uitgevoerd in FACE dan wel OTC-opstellingen. Echter op bescheiden schaal qua onderzoeksveld, maar ook qua spreiding in klimaatzones en druivenrassen.

In vergelijking met onderzoek naar bijvoorbeeld effecten van klimaatverandering en meer specifiek toename van temperatuur en verandering in waterhuishouding, is er sprake van een achterstand. Het oudste onderzoek met een FACE installatie naar wijnbouw dat ik ben tegengekomen, dateert van 2005 en staat daarmee eigenlijk nog in de kinderschoenen.

Als ik producenten spreek over dit onderwerp lijkt het in de praktijk geen '*issue*'. Kennis over het effect van de toename van de atmosferische concentratie CO₂ op wijnstokken is nog beperkt en vanuit dat oogpunt komt mijn scriptie en onderzoek wellicht nog te vroeg. Onderzoeken die o.a. door Wohlfahrt, Treeby, Gonçalves en Bindi zijn uitgevoerd leveren waardevolle informatie op, maar gaan over een relatief korte periode. Een periode van 4 jaren is geenszins voldoende om daar conclusies en trends op te baseren; onderzoeken van 10 jaar of meer zijn wenselijk.

Al met al is het nu nog vroeg om al hele harde conclusies te kunnen trekken. Een voorbeeld daarvan is het effect op fenologische processen. In het onderzoek van Treeby in Australië werd een versnelling waargenomen en eerdere rijping, die door o.a. Wohlfahrt in Duitsland en door Bindi niet is geconstateerd. Langjarig veldonderzoek is wenselijk, maar ook een kostbare zaak. Het uitvoeren van "*in situ*" onderzoeken kan meer data opleveren. Echter, dat heeft ook zo zijn beperkingen. Bijvoorbeeld uit onderzoeken zoals van Treeby blijkt dat effecten op de groei van wijnstokken zijn toe te schrijven aan hetzij een verhoogde CO₂ in combinatie met een verhoogde luchttemperatuur of aan vooral een verhoogde CO₂-concentratie. In gecontroleerde kas- of veldonderzoeken (FACE) zijn deze twee aspecten te onderscheiden. In praktijkomstandigheden zal het echter lastig zijn om de invloed van beide factoren uit elkaar te houden.

FACE onderzoeken worden sinds de jaren '90 uitgevoerd naar de onderzoeken op C3 en C4 planten. Het verschil tussen deze twee is het type fotosynthese. C3 planten hebben een enzym, rubisco, dat minder werkzaam is bij lage temperaturen en lage CO₂-concentraties. Bij C4 planten is een ander enzym betrokken en dat heeft juist een grote aantrekkingskracht op CO₂ en daarmee een meer efficiënte fotosynthese. De wijnstok zit in de C3 'groep', in C4 zitten o.a. maïs, suikerriet en veel grassoorten. In de wetenschap is men er lange tijd vanuit gegaan dat C4 planten minder gebaat zouden zijn bij een eCO₂, maar inmiddels blijkt dat ook C4 planten baat hebben bij een eCO₂. C3 planten hebben meer profijt van een eCO₂. In een meta-analyse van eCO₂ publicaties over 'C3 groenten' (Ainsworth, E.A. & Long, S.P. 2005) is geconstateerd dat onder andere suikers, fenolen, antioxidanten en (bovengrondse) groei toenemen. Een afname is er van proteïne, magnesium, zink, ijzer en nitraat. De kennis over effecten op o.a. suikers en fenolen uit deze FACE onderzoeken is zeer bruikbaar voor verder onderzoek naar effecten van eCO₂ op de wijnstok.

Een eCO₂ leidt tot een grotere groei en meer rendement (meer en grotere druiven in een tros). Dit gaat echter wel gepaard met een grotere voedingsbehoefte, met name stikstof en water. De groei kan dus niet ongebreideld toenemen, want gebrek aan stikstof of water zijn nu al of worden dan de beperkende factoren. Wijnbouwers kunnen hieraan tegemoetkomen door maatregelen te nemen in de wijngaard. Ik constateer uit mijn literatuuronderzoek en uit de interviews (o.a. Podere Forte, Raats en Creation Estate) dat de wijnbouwers voldoende mogelijkheden tot hun beschikking hebben. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van een latere of eerdere snoei, loofwandbeheer en irrigatie. Een opmerkelijk resultaat vind ik dat bij een hogere opbrengst van druiven, de kwaliteit van deze druiven, de most en jonge wijn niet negatief lijkt te worden beïnvloed. Daarbij wil ik wel opmerken dat deze resultaten zijn gebaseerd op enkele onderzoeken. Meer onderzoek zal nodig zijn om dit te bevestigen. Echter, dit beeld komt wel overeen met onderzoeken die zijn uitgevoerd naar het effect van een eCO₂ op andere C3 planten, zoals groenten (Ainsworth, E.A. & Long, S.P. 2005), waar ook toename in opbrengst is te zien met gelijkblijvende kwaliteit.

De positieve bijdrage van een hogere CO₂-concentratie kan teniet worden gedaan door extreme weersomstandigheden als gevolg van klimaatverandering. Afgelopen decennia is al zichtbaar geworden dat er meer hagelbuien, voorjaarsvorst en extreme neerslag plaatsvindt, of juist gebrek aan neerslag. Dit kan desastreuze gevolgen hebben voor de productie. Uit mijn eigen bevindingen maak ik op dat de extra groeikracht bij een eCO₂ kan bijdragen om juist weersextremen, waaronder ook droogte en minder neerslag, te kunnen opvangen. De wijnstok kan de extra glucose/bouwstoffen voor diverse doeleinden inzetten, waaronder opslag van energie in perioden van schaarste, maar kan ook kiezen voor het uitbreiden van het wortelsysteem om daarmee beter in de voedingsbehoefte te voorzien. Het lijkt er op dat meerjarige planten waaronder de wijnstok, zich beter kunnen handhaven dan éénjarige gewassen als gevolg van de opbouw van voedingsreserves.

Samenvattend kom ik tot de conclusie op basis van literatuuronderzoek en de interviews dat een verhoogde atmosferische CO₂ een positief effect heeft op de wijnstok.

Geraadpleegde bronnen op het World Wide Web

Conference of Parties: [Conference of the Parties \(COP\) | UNFCCC](#), 7 augustus 2021.

Earth System Research Laboratories: NOAA-ESRL (2021) National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)- Earth System Research Laboratory (ESRL), USA. Monthly CO₂ concentration data set. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>, 16 september 2021.

Europese Green Deal: [Europese Green Deal - Europa Nu \(europa-nu.nl\)](#), 16 september 2021.

Global Monitoring Laboratory: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>, 16 september 2021.

Haigh, J. 2017. <https://www.bbc.com/news/science-environment-41671770>. 2 februari 2020.

Intergovernmental Panel on Climate Change: [Choices made now are critical for the future of our ocean and cryosphere — IPCC](#), 18 september 2021.

Intergovernmental Panel on Climate Change: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>, 18 september 2021.

Keelingcurve: [co2_800k_zoom.png \(1000x600\) \(ucsd.edu\)](#), 7 augustus 2021.

KNMI: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/hoe-gevoelig-is-het-klimaat>, 21 september 2021.

World Meteorological Organization: https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/GHG-Bulletin-15_en.pdf, 7 augustus 2021.

Ruschenberg, H. 2015. Geo-Engineering en Klimaat. <https://www.youtube.com/watch?v=Km7SE2QjUF0&t=912s>. 2 augustus 2021.

Literatuurlijst

- Ainsworth, E.A. & Long, S.P. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 165(2):351-372.
- Ainsworth, E.A. & Rogers, A. 2007. The Response of Photosynthesis and Stomatal Conductance to Rising CO₂: Mechanisms and Environmental Interactions. *Plant, Cell and Environment*, 30(3):258-270.
- Bindi, M., Raschi, A., Lanini, M., Miglietta, F. & Tognetti, R. 2005. Physiological and Yield Responses of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) to Elevated CO₂ Concentrations in a Free Air CO₂ Enrichment (FACE). *Journal of Crop Improvement*, 13(1-2):345-359.
- Drake, B.G., Azcon-Bieto, J., Berry, J., Bunce, J., Dijkstra, P., Farrar, J., Gifford, R.M., Gonzalez-Meler, M.A., Koch, G., Lambers, H., Siedow, J. & Wullschleger, S. 1999. Does elevated atmospheric CO₂-concentration inhibit mitochondrial respiration in green plants? *Plant, Cell and Environment*, 22(6):649-657.
- Drake, B.G., González-Meler, M.A., & Long, S.P. 1997. More Efficient Plants, A Consequence of Rising Atmospheric CO₂? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 48(1):609-639.
- Franks, P.J. & Beerling, D.J. 2009. Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25):10343-10347.
- Gonçalves, B., Falco, V., Moutinho-Periera, J., Bacelar, E., Peixoto, F. & Correia, C. 2009. Effects of Elevated CO₂ on Grapevine (*Vitis vinifera* L.): Volatile Composition, Phenolic Content, and in Vitro Antioxidant Activity of Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(1):265-73.
- Hardie, W. 2000. Grapevine biology and adaptation to viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research* Vol. 6(2):74-81.
- Ivens, E. 2019. Is kwaliteitswijn van syrah uit de Hermitage opgewassen tegen klimaatverandering? https://wijn.nl/wp-content/uploads/2019/11/definitieve_versie_scriptie_mv_eric_ivens_20190530_printversie.pdf
- Gladstones, J. 2011. *Wine Terroir and Climate Change*. ISBN 978.1.86254.924.1
- Leeuwen, van, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., Rességuier, de, L. & Ollat, N. 2019. An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy* 9:514
- Moutinho-Pereira, J., Gonçalves, R., Bacelar, Eunice., Cunha, J., Coutinho, J. & Correia, C. 2009. Effects of elevated CO₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.) Physiological and yield attributes. *Vitis* 48(4):159-165.

Reineke, A. & Selim, M. 2019. Elevated Atmospheric CO₂ Concentrations Alter Grapevine (*Vitis vinifera*) Systemic Transcriptional Response to European Grapevine Moth (*Lobesia botrana*) Herbivory. *Scientific Reports* 9, 2995. doi: 10.1038/s41598-019-39979-5.

Salazar-Parra, C., Aranjuelo, I., Pascual, I., Aguirreolea, J., Sánchez-Díaz, M., Irigoyen, J.J., Araus, J.L. & Morales, F. 2018. Is vegetative area, photosynthesis, or grape C uploading involved in the climate change-related grape sugar/anthocyanin decoupling in Tempranillo? *PubMed* 138(1):115-128.

Schunselaar, D. 2019. Kan Pinot Noir uit de Bourgogne zijn typiciteit behouden bij klimaatverandering? https://wijn.nl/wp-content/uploads/2019/11/mv_scriptie_eindversie_5_mei_2019_pdf.pdf

Treeby, M., Edwards, E., Mazza, M., Molah, M., Kerridge, B. & Unwin, D. 2017. Impact of elevated CO₂ and its interaction with elevated temperature on production and physiology of shiraz. *Oeno One*. Vol. 51:2

Wohlfahrt, Y., Smith, J.P., Tittmann, S., Honermeier, B. & Stoll, M. 218. Primary Productivity and Physiological Responses of *Vitis vinifera* L. cvs. under Free Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE). *European Journal of Agronomy*, 101:149-162.

Zhao, X., Li, W-F., L., Wang, Y., Ma, Y.-W., Ma, Z.-H., Yang, S-J., Zhou, Q., Mao, J. & Chen, B.-H. 2019. Elevated CO₂ concentration promotes photosynthesis of grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Pinot noir') plantlet in vitro by regulating RbcS and Rca revealed by proteomic and transcriptomic profiles. *BMC Plant Biology*. 19(1):42

Zwaan, van der, G.J. Cahier System Aarde. ISBN 90-73196-34-5

Bibliografie

Geraadpleegd voor een beter begrip van de onderwerpen die in deze scriptie besproken zijn.

Anderson, K., Findlay, C., Fuentes, S. & Tyerman, S. 2008. Viticulture, wine and climate change. University of Adelaide. Garnaut Climate Change Review.

Amthor, J., Koch, G. & Bloom, A. 1992. CO₂ Inhibits Respiration in Leaves of *Rumex crispus* L. *Plant Physiology* 98(2):757-760.

Becklin, K. M., Walker, S. M., Way, D.A. & Ward, J.K. 2017. CO₂ studies remain key to understanding a future world. *New Phytologist*. 214(1):34-40.

Boso, S., Pilar, G., Alonso-Villaverde, V., Santiago, J. & Martínez, M.C. 2016. Density and size of stomata in the leaves of different hybrids (*Vitis* sp.) and *Vitis vinifera* varieties. *Vitis* 55 17-22.

Cao, L., Govindasamy, B., Caldeira, K., Nemani, R. & Ban-Weiss, G. 2010. Importance of carbon dioxide physiological forcing to future climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107(21):9513-9518.

Costa, M., Ortuño, M.F., Lopes, C. & Chaves, M. 2012. Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water deficit. *Functional Plant Biology*. 39(3), 179-189.

Cox, C.M., Favero, A., Dry, P.R., McCarthy, M.G. & Collins, C. 2012. Rootstock Effects on Primary Bud Necrosis, Bud Fertility, and Carbohydrate Storage in Shiraz. *American Journal Enology and Viticulture* 63(2):277-283.

Gerhart L.M. & Ward, J.K. 2010. Plant responses to low [CO₂] of the past. *New Phytologist*. 188(3):674-95.

Gerós, H., Chaves, M. M., Hipólito, M. G. & Delrot, S. 2016. *Grapevine in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*. ISBN:9781118736050.

Gonzalez-Meler, M.A., Ribas-Carbo, M., Siedow, J.N. & Drake, B.G. 1996. Direct Inhibition of Plant Mitochondrial Respiration by Elevated CO₂. *Plant Physiology*. 112(3):1349-1355.

Gonzales-Meler, M., Taneva L. & Trueman, R. 2004. Plant Respiration and Elevated Atmospheric CO₂- Concentration: Cellular Responses and Global Significance. *Annals of Botany* 94(5):647-656.

Kizildeniz, T., Mekni, S., Santesteban, H., Pascual, I., Morales, F. & Irigoyen, J.J. 2015. Effects of climate change including elevated CO₂ concentration, temperature and water deficit on growth, water status, and yield quality of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Agricultural Water Management*, Volume 159:155-164.

Labbé, L., Pfister, C., Brönnimann, S., Rousseau, D., Franke, J. & Bois, B. 2019. The longest homogeneous series of grape harvest dates, Beaune 1354–2018, and its significance for the understanding of past and present climate. *Climate of the Past*, 15:1485–1501.

Leeuwen, van, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D. & Gaudillere, J.P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 43(3).

Long, S. 1991. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant Cell & Environment*, 14(8):729-739.

Long, S., Ainsworth, E., Leakey, A., Nösberger, J. & Ort, D. 2006. Food for thought: lower -than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science* 312(5782):1918-1921.

Martínez-Lüscher, J., Kizildeniz, T., Vucetic, V., Dai, Z., Luedeling, E., Leeuwen, van, C., Gomès, E., Pascual, I., Irigoyen, J.J., Morales, F., & Delrot, S. 2016. Sensitivity of Grapevine Phenology to Water Availability, Temperature and CO₂ Concentration. *Frontiers in Environmental Science*. 4:48.

Michels, I. 2006. Historici over het Antropoceen. Rijksuniversiteit Gent. [RUG01-002303948_2016_0001_AC.pdf \(ugent.be\)](#)

Skelton, S. 2020. Viticulture. ISBN 9780993123559

Bijlagen

- I) Interview met Y. Wohlfahrt
- II) Correspondentie met G. Mazzoni
- III) Correspondentie met C. Martin
- IV) Gesprek met B. Raats
- V) Gesprek met J. Riske

Bijlage 1. Interview met Y. Wohlfahrt

Yvette Wohlfahrt Msc. Geisenheim University. Zij is onderzoeker naar de effecten van een verhoogde atmosferische CO₂ op de wijnstok en heeft daar diverse artikelen over gepubliceerd. Doel van het interview was om een breder beeld te verkrijgen op de effecten van een verhoogde CO₂ op de wijnstok, in het bijzonder fotosynthese, vegetatieve- en generatieve processen. Dit interview heeft plaatsgevonden in de FACE wijngaard in Geisenheim, oktober 2020.

Wat kunt u in het algemeen zeggen over de vegetatieve groei bij *elevated* CO₂, (eCO₂)

- *Groene planten, in het bijzonder C3 planten (type fotosynthese) reageren met extra groei.*

Wat kunt u zeggen over de vegetatieve processen bij eCO₂? en is er een maximum aan CO₂ opname?

- *Er is een maximum aan CO₂ opname, daarna treedt er verzadiging op, die waardes zijn hoog. Ons FACE onderzoek richt zich op waardes van mid 21^e eeuw, die zijn bij benadering 450 ppm.*

Wat zijn de effecten van de extra groeikracht met het oog op blad, stam en wortelgroei.

- *Zoals u gelezen heeft in mijn onderzoek, 'Primary productivity etc' neemt deze toe, e.e.a. is wel cultivar afhankelijk.*

Wat ziet u veranderen in de stofwisselingsprocessen en fotosynthese qua productie?

- *Een versnelling van de fotosynthese hadden we verwacht, het afnemen van de respiratie ontdekten we bij toeval. In de nacht, na zonsondergang is de FACE installatie uitgeschakeld. In de ochtend zagen we op de meetapparatuur dat het CO₂ gehalte van de planten in de FACE ring, een lagere aCO₂.*

Vanaf welke toename in CO₂ concentratie ziet u een effect op de cultivars?

- *We voeren hier metingen uit bij 450 ppm, maar als je de waarden afzet tegen bijvoorbeeld 30 jaar geleden zie je al een effect op de fotosynthese.*

Wat ziet u in de samenstelling (suikers/zuren/polyfenolen/aromastoffen) van oogstrijpe druiven, en hun structuur?

- *Ik ben momenteel een studie aan het afronden over o.a. polyfenolen en aromastoffen. Suikers zijn relatief stabiel bij eCO₂, de opbrengst per hectare neemt wel toe. We zien een stijging van appelzuur bij de riesling.*

Denkt u dat er een groter rendement, meer trossen per wijnstok, mogelijk is met behoud van kwaliteit?

- *Dat is niet waarschijnlijk, dat zouden we moeten onderzoeken.*

Ziet u de voedingsbehoefte van de wijnstok veranderen?

Er is meer biomassa, dat moet onderhouden worden, de wijnstok gaat efficiënter om met bepaalde nutriënten, echter watergebruik stijgt.

Wat is uw ervaring met plant/water relaties onder eCO₂?

- *We hebben daar veel onderzoek naar gedaan, met een internationaal team. Metingen naar het 'pre dawn water potential' laten zien dat er bij een eCO₂ minder stress is dan bij een aCO₂.*

Zijn er veranderingen bij de generatieve processen?

- *In mijn onderzoek 'Grapevine bud fertility' zien we kleine wisselingen optreden. Echter het seizoen heeft een veel grotere impact dan eCO₂.*

Denkt u dat er een grotere terroir is expressie bij eCO₂?

- *Ha, wat een leuke vraag, onze wijngaard staat hier pas enkele jaren aangeplant, ik kan dat zo niet zeggen. Het is waarschijnlijk dat wortels wel dieper gaan groeien om het surplus aan energie op te slaan.*

U publiceerde een artikel over een versterkte/verbeterde genetische expressie bij herbivore en pathogene aanvallen van de wijnstok. Denkt u dat er in de toekomst wellicht minder (chemische) behandelingen nodig zijn m.b.t. ziektebestrijding?

- *We hebben daar onderzoek naar uitgevoerd, ik hoop het. Met minder stomata bij eCO₂ is er idd een kans op minder ziektedruk van schimmels.*

Meer atmosferische CO₂, betekent, onder andere, hogere temperaturen. Ziet u dat als een gevaar voor de kwaliteit van de wijn?

- *Hier in de Rheingau, hebben we nu het klimaat dat de regio Bordeaux had, 30 jaar geleden. Er is zelfs een producent die cabernet sauvignon heeft aangeplant. Helaas is dat geen succes, de Botrytis druk is te groot, en kunnen zijn druiven niet goed rijpen. Je hebt kans dat we andere druiven moeten overwegen in bepaalde regio's.*

Laatste vraag: is een verhoging van de atmosferische concentratie aan CO₂ positief voor de wijnstok?

- *Met de resultaten van de onderzoeken die we hier hebben uitgevoerd, kan ik dat met een 'ja' beantwoorden.*

Bijlage 2. Emailwisseling met G. Mazzoni

Giovanni Mazzoni. Marketing en commercieel manager van het biodynamische wijngoed Podere Forte in Toscane, Italië.

1. Due to a greater demand in nutrients, how would you work the vineyard floor in order to supply sufficient nitrogen & water?

We have increased the presence of organic substance in the soil by means of: 1) dedicated compost self-produced, 2) use of green manure.

The increase of organic substance limits the nitrogen dispersion (it is naturally much mobile) and help its stabilization, becoming more and longer usable by the vines. Also, the absorption of water management is improved by a higher organic substance presence, this in two way: 1) the soil remains better structured (water/air balance in the soil), with less surface cracks in case of dry season, more breathable and softer. 2) softer soils better hold back the water, so longer usable by the vines.

2. Although an increase in vine biomass, -bigger leaf lateral area, bigger grapes- , the so-called Specific Leaf Area is reducing. What would be your solution to maintain the right balance?

To maintain a balanced and proper ratio between Specific Leaf Area and Vine Biomass we consider each vine individually, as a unique and single "person" with its merits/defects and limits. This means that it grows according to its potentiality (vigor). The choice of pruning leaves management and number of clusters grown is individually customized and depends on the specific potentiality of each vine. During the years of growth of a vine we also noted its changes and varied potentialities; it's our purpose observe, modify and find the best adequate new balance.

3. There might be a possibility that phenology is speeding up, shortening of growth cycle, -by elevated CO₂- do you have 'best practices' to delay phenology?

Increased CO₂ means primarily climate changes: higher frequency of stronger/violent climate events and increased temperature (shorten growth cycle). We manage in two different ways: 1) slightly delayed pruning at the beginning of the vegetative phase (budding period); the result is to have a slightly delayed (so with milder climate) ripening cycle. 2) Leaves management: shorter upper cutting (shorter leaves wall) that allows the lateral bud growing and developing (thicker leaves wall). This will better protect and shade the clusters. A better protection and balanced shaded cluster ripening permits to have an overall positive freshness and acidity in the fruits. This type of leaves wall setting increases the Tartaric Acid production and limit the degradation of the Malic Acid due to the sun (over)exposure.

4. Must and young wine from vines grown at elevated CO₂-concentrations tend to have higher malic acidity and less tartaric acids. What is your comment on that? Would this influence longevity of a wine?

Due to the above-mentioned procedures that we apply in our vineyards management, we do not have noted such unbalance between these acids in our vineyards/production.

Moreover, we benefit also of an altitude 300-550 meter asl., the distance of at least 60km from the closest town (Siena), a clearer air, thus less influenced by the CO₂ increase.

In any case, we are well aware of this issue and for this reason we are monitoring under full control such problem, even in dedicated study and experimental application.

Bijlage 3. Emailwisseling met C. Martin

Carolyn Martin is mede-eigenaar van Creation Estate, Walker Bay, Zuid-Afrika.

1. Due to a greater demand for nutrients, how would you work the vineyard soil to supply sufficient nitrogen & water?

We are right at the Ocean and have a very pristine environment we have not physically noticed the effects of higher CO₂ in the last ten years, as per your experiment. We work in a very natural environment without pollution, no mass farming, and a very biodiverse environment. We are cropping at 6 tons per hectare. Something to consider is genetic differences in rootstock and cultivars that create different stomatal physiology. Leaf age also impacts on stomatal density.

We do soil and leaf analysis to see if there are shortages and we address this in various ways. We sow cover crops to add elements to the soil, fight the weeds, and improve the soil's structure and health. This not only enhances the nutrient status, but also stimulates the microbial population and their processes.

We trialed one medic and then used three different combinations of cover crops in the vineyards based on the soil analysis. We use mixed crops and no monocultures: Forage Barley (15kg/ha), Forage peas (10kg/ha), Saia Barley (15kg/ha).

Generally, we see healthy shoot growth, and where we see weaker growth, we responsibly add LAN (28). When we mulch the cover crop down there is no direct sunlight hitting the soil and there is therefore less evaporation from the soil surface. We have always farmed in an environmentally friendly/sustainable way and will continue to do so according to IPW (Integrated Production of Wine) and using best practices from organic farming.

Many factors need to be considered regarding water. When we need to, we use drip irrigation, as we have water available, to get proper shoot length to ripen to grapes. The average rainfall per year on 10 years is 680 mm.

2. Although an increase in vine biomass, -bigger leaf lateral area, bigger grapes-, the so-called Specific Leaf Area is reducing. What would be your solution to maintain the proper balance?

We planted vineyards 19 years ago and have not experienced a concern or major change in growth patterns. We do not see a bigger bunch weight or any marked increases in leaf size. Vine age, so on very young vines due to sunlight exposure we see high fertility after a year it settles down and starts to balance. If we had to do anything about this, we would work on pruning and canopy management.

3. There might be a possibility that phenology is speeding up, shortening of growth cycle, -by elevated CO₂- do you have 'best practices' to delay phenology?

Genetics also plays a role in the phenological progression of vines. We have noticed that the number of days between major phenological stages remain relatively constant – probably due to the genetic control/predisposition over the vine's development. Climatic conditions (especially temperature) can, however, influence the onset for specific phenological stages – especially bud break. We have also noticed that this effect is usually greater at the start of the season and much less later on i.e., a vineyard may bud 10 days early, but it is harvested only 2 days earlier than what is "normal" for that block

4. Must and young wine from vines grown at elevated CO₂-concentrations tend to have higher malic acidity and less tartaric acids. Would this influence longevity of a wine? What is your comment on that?

This depends on the terroir and ambient temperature. Due to the climate that we have, we sit with naturally high Malic and high TA levels even in young vineyards. Due to this higher level of natural acidity in the wine, most of our wines undergo full malolactic fermentation and have excellent maturation possibility.

Bijlage 4. Gesprek met B. Raats

Bruwer Raats, eigenaar van RAATS, Stellenbosch, Zuid-Afrika.

- Is it possible to delay phenology?

Yes, there are various ways to influence phenology.

- *You can use covercrops to remove water during budburst, the vine needs quite some water during this process.*
- *Covercrops help in keeping the soil temperature low, in order to delay budburst.*
- *Another technique is to prune light to delay budburst, or, prune earlier in order to ripen the grapes before the heatwaves (at the end of the growing season) are coming in.*
- *You can also use irrigation when it's very warm and ripening goes fast, thanks to irrigation the vine starts growing again and ripening slows down.*
- *However, to put things in perspective, these techniques can delay phenology up to 7 – 10 days.*

Bijlage 5. Gesprek met J. Riske

Jan Riske, wijnmaker bij Erwin Riske, Ahr, Duitsland.

- Is it possible to delay phenology or grape ripening?

Well, we're trying. With a group of winemakers /agronomists, we're conducting trials to delay grape ripening. We've had a series of warm vintages, much warmer than the long term average in our region, resulting in wines with higher alcohol levels and overripe fruit character.

To avoid this change in characteristics we're going to apply leaf-removal, in theory: photosynthesis will be less, so, slower sugar accumulation and an extended maturation period. The danger lies in, what happens if you take to many leaves. There is a risk of not building up enough flavour compounds, anthocyanins, high acidity in other words, unripe grapes.