

De temperatuur: geen onbekende

We delen vermoedelijk de ervaring dat het tijdstip van bijvoorbeeld bloei en het moment van oogsten van de druiven afhangen van het weersverloop over het jaar. We spreken over vroege en late jaren, waarbij de vroegheid vooral bepaald wordt door de luchttemperatuur: bij hogere temperatuur verloopt de ontwikkelingsgang door het seizoen sneller dan bij lagere temperaturen.

TEELT



Door Jan Vos gewascoloog
Centre for Crop Systems Analysis
Wageningen University and
Research.

Het aardige is dat we het effect van de temperatuur vrij goed kunnen berekenen en het ontwikkelingsverloop in beginsel kunnen voorspellen. Inzicht

in de effecten van de temperatuur maakt het ook mogelijk de geschiktheid van vroege of late rassen voor een locatie te schatten. De temperatuur

Box 1. Groei en ontwikkeling

Voor beantwoording van de vraag hoe de temperatuur het functioneren van planten beïnvloedt is het goed om twee begrippen helder voor de geest te hebben. We weten allemaal dat de wijnstok een jaarlijkse cyclus doormaakt met onder andere de volgende stadia: knopuitloop, bloemvorming en bloei, vruchtgroei en oogstrijpheid. Dit cyclische proces, het doorlopen van de opeenvolgende stadia, noemen we de ontwikkeling van de plant. Naast ontwikkeling spreken we over groei van de plant. De definitie van groei is toename in gewicht en volume. De ontwikkelingssnelheid van de druif wordt primair bepaald door het ras (erfelijke aanleg) en het temperatuursverloop. De groeisnelheid wordt bepaald door een reeks van factoren zoals de hoeveelheid zonlicht, beschikbaarheid van water en minerale voedingsstoffen in de bodem (stikstof, kali, fosfaat, enz.). Ziekten en plagen en vervuilende stoffen in lucht en bodem kunnen de groei ook negatief beïnvloeden. 'Last but not least': net als voor de ontwikkeling is de temperatuur ook voor de groei een zeer belangrijke factor. Ontwikkeling en groei worden dus elk door verschillende factoren bepaald, waarbij ze één factor gemeenschappelijk hebben, namelijk de temperatuur. Ontwikkeling en groei zijn duidelijk heel verschillende processen die in hoge mate onafhankelijk van elkaar verlopen (..... is natuurlijk niet helemaal waar, want als er geen enkele groei is stopt ook de ontwikkeling). Illustraties van de onafhankelijkheid van groei en ontwikkeling kunt u wellicht in uw eigen tuin of op een veld mais vinden: men kan bijvoorbeeld twee planten aantreffen die allebei in bloei staan (= zelfde ontwikkelingsstadium), maar de ene plant is maar half zo groot als de ander (= verschil in groei) [mais is een gewas dat verschillen in groei tussen planten heel uitgesproken toont].

heeft invloed op zowel de ontwikkeling als de groei van de plant. Voor het verschil tussen deze twee begrippen wordt verwezen naar Box 1. In dit artikel richten we ons op de ontwikkeling: het doorlopen van de opeenvolgende stadia door het jaar.

Beschrijving van ontwikkelingsstadia

Als de ene wijngaardenier de andere vraagt 'hoe ver zijn jouw stokken in hun ontwikkeling' dan heb je definities en begripsomschrijvingen nodig om elkaar duidelijk te maken hoe het er voor staat in de wijngaard. Er zijn allerlei zogenaamde ontwikkelingscyclussen in omloop die de opeenvolgende ontwikkelingsstadia beschrijven. Een bekende is de BBCH code ('code' is ander woord voor ontwikkelingschaal); voor details raadplege men publicaties als Lorenz et al. (1995), Coombe et al. (1995) en Molitor et al. (2014) of online: Wikipedia (a) 'BBCH-Skala für Weinreben' en 'Wijnbouwers der Lage Landen (a)'. Vaak worden de ontwikkelingsstadia aangegeven met een getal: 'mijn wijngaard bevindt zich in stadium 61 van de BBCH code'; ieder die vertrouwd is met die schaal weet dan dat in die wijngaard de bloei begonnen is. Tabel 1 geeft ter illustratie enkele stadia met hun nummer volgens de BBCH code. In het onderzoek naar het verband tussen temperatuur en ontwikkelingssnelheid wordt bijgehouden op welke datum opeenvolgende stadia worden bereikt. Analyse van zulke gegevens levert het gezochte verband op.

Nog meer begrippen: duur en snelheid

Bij het waarnemen van de ontwikkeling verkrijgen we in eerste instantie inzicht in hoe lang de plant er over doet om een bepaalde ontwikkelingsfase te doorlopen (een fase is de periode tussen het bereiken van twee opeenvolgende stadia). De **duur** van de bloei, bijvoorbeeld, is het aantal dagen

| Nummer ontwikkelingsstadium | Omschrijving ontwikkelingsstadium |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 01 | knoppen beginnen te zwellen |
| 09 | einde van het zwellen van de knoppen |
| 15 | vijf ontvouwde bladeren per scheut |
| 19 | negen ontvouwde bladeren per scheut |
| 61 | begin van de bloei |
| 69 | einde van de bloei |
| 71 | vruchtzetting |
| 81 | begin van de rijping |
| 89 | druiven oogstrijp |

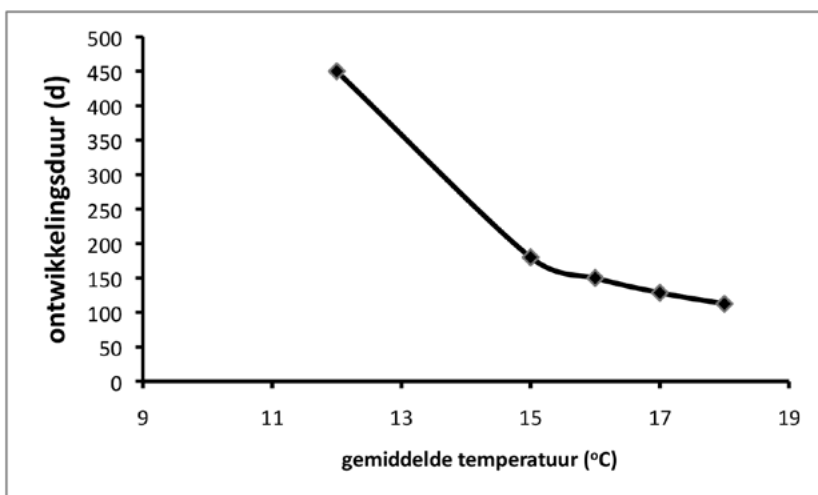
Tabel 1. Voorbeelden van nummers en bijbehorende korte omschrijvingen van ontwikkelingsstadia van de wijnrank volgens de zogenaamde BBCH code.

tussen het bereiken van de stadia 61 en 69 (Tabel 1). In koude en warme jaren, of in noordelijker of zuidelijker, of in hoger - dan wel lager gelegen wijngaarden kunnen we gegevens verzamelen over de duur, gemeten in dagen, van de ontwikkelingsfasen. Het is gebleken dat het voor het analyseren van temperatuurseffecten veel handiger is om de **ontwikkelingssnelheid** te relateren aan de temperatuur in plaats van de ontwikkelingsduur. Duurt een fase in gegeven omstandigheden lang dan is de ontwikkelingsnelheid langzaam en is de duur kort dan is de snelheid hoog. Een ander voorbeeld is het afleggen van een bepaald traject met een auto die sneller of langzamer rijdt, waarbij de rit navenant korter of langer duurt. Snelheid is de 'prestatie' per eenheid van tijd. Voor een auto

is dat kilometers per uur; voor een plant is dat de fractie van de ontwikkelingsduur die op een dag wordt gerealiseerd. Vandaar de volgende definitie van ontwikkelingsnelheid:

$$\text{ontwikkelingssnelheid} = 1 / \text{ontwikkelingsduur}$$

In woorden gezegd: snelheid is het omgekeerde van duur. Als de duur van een fase 30 dagen is dan is de ontwikkelingsnelheid $1/30 = 0.033$ per dag. De eenheid van snelheid is het omgekeerde van 'dag' en luidt dus 'per dag'. Men kan het ook zo zien: per dag wordt $1/30$ van de gehele ontwikkeling van die fase door gemaakt. Nu hebben we nog even aangenomen dat op elk van die 30 dagen $1/30$ e deel wordt bijgedragen, maar straks laten we zien



Figuur 1. Rekenvoorbeeld van de duur van de jaarlijkse cyclus van de wijnrank tegen de gemiddelde temperatuur (verzonnen, maar wel realistische gegevens).

hoe die snelheid, hoe die dagelijkse bijdrage aan de voortgang in de ontwikkeling, afhangt van de temperatuur.

Een rekenvoorbeeld van de temperatuursresponse van de wijnstok

In Figuur 1 staat een verzonnen, maar realistisch verband tussen de temperatuur (dag-gemiddelden) en de duur van de gehele jaarlijkse ontwikkeling van het zwellen der knoppen in het voorjaar tot oogstrijpheid van de druif in nazomer/herfst.

Zou de gemiddelde temperatuur maar $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ zijn dan is de ontwikkelingsduur meer dan een jaar, met andere woorden de druiven zullen niet rijp worden. Bij toename van de gemiddelde temperaturen zien we de duur snel afnemen, met andere woorden de ontwikkelingsnelheid wordt groter; iedere dag wordt er een grotere bijdrage geleverd aan de voortgang van de ontwikkeling. In Figuur 1 blijkt de duur korter te worden naarmate de temperatuur stijgt. Er zijn echter ook processen waarbij voorbij een zekere optimum temperatuur (= die temperatuur waarbij de ontwikkelingsduur het kortste is) de duur weer gaat toenemen (de curve buigt weer omhoog). Dit wordt vaak waargenomen bij kieming van zaden. We beperken ons in dit artikel tot de situatie zoals in Figuur 1. In Figuur 2 zijn precies dezelfde gegevens afgedrukt als in Figuur 1, maar nu als ontwikkelingsnelheid tegen de temperatuur. We zien dan een rechte lijn verschijnen: de ontwikkelingsnelheid neemt lineair toe met de temperatuur! Dat is een gemakkelijk te hanteren verband. Er kunnen twee heel belangrijke dingen aan Figuur 2 ontleend worden:

1. de minimumtemperatuur voor voortgang in de ontwikkeling, meestal de basistemperatuur genoemd met als afkorting T_b ;
2. de warmtesom boven T_b die nodig is om de ontwikkelingsfase onder beschouwing te doorlopen.

De basistemperatuur vinden we door de lijn in Figuur 2 naar links te ver-



| Datum | Gemiddelde etmaaltemperatuur (oC) | Basis-temperatuur (oC) | Dagelijkse bijdrage aan warmtesom, DT (oC d) | Opmerking |
|-------------|-----------------------------------|------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 april | 8 | 10 | 0 | alleen positieve bijdragen tellen mee |
| 1 mei | 10 | 10 | 0 | |
| 1 juni | 13 | 10 | 3 | |
| 1 juli | 16 | 10 | 6 | |
| 1 augustus | 22 | 10 | 12 | |
| 1 september | 20 | 10 | 10 | |

Tabel 2. Rekenvoorbeeld om dagelijkse bijdrage aan de warmtesom af te leiden uit de gemiddelde etmaaltemperatuur

lengen totdat de x-as gesneden wordt. In dit geval is dit bij 10 oC. Bij 10 oC wordt de ontwikkelingssnelheid (= waarde op de y-as) gelijk aan nul. Beneden de 10 oC „gebeurt er niks“ in de wijngaard. De warmtesom berekenen we als volgt. Het wordt even wat wiskundig. De vergelijking voor de lijn in Figuur 2 is: $y = 0.0011x - 0.0111$. Het kan bewezen worden (we zullen dat nu niet doen) dat het omgekeerde van de hellingshoek (0.0011) de gezochte warmtesom is. De waarde daarvan is dus $1/0.0011 = 909$. De eenheid daarvan is graad-dagen – de vermenigvuldiging van tijd en temperatuur – even wennen.

Nu we basistemperatuur en warmtesom kennen kunnen we gaan rekenen. Voor het doorlopen van de ontwikkeling van het zwellen der knoppen tot oogstrijpheid van de druiven is (in dit rekenvoorbeeld!) 909 graad-dagen nodig. De bijdrage van iedere dag aan het

ophogen van de warmtesom, weergegeven met DT ((°C d), maar dag = 1), berekenen we als volgt:

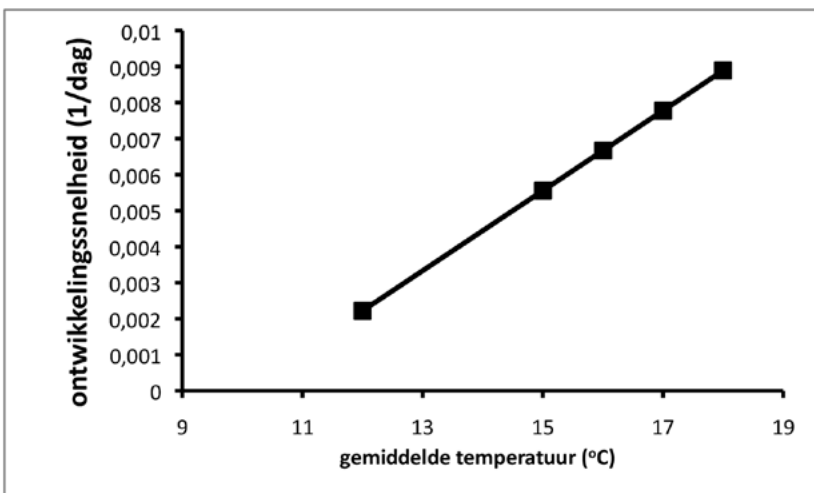
$$DT = (T_{gem} - T_b) \text{ (}^\circ\text{C d)}$$

In woorden: de dagelijkse bijdrage aan de warmtesom is de gemiddelde etmaaltemperatuur minus de basistemperatuur. Hiermee wordt recht gedaan aan het feit dat er beneden de basistemperatuur “niks gebeurt”. Tabel 2 geeft wat rekenvoorbeelden. In Tabel 2 zijn voor een aantal data gegevens vermeld. Wil men deze berekeningen echt toepassen voor de eigen wijngaard dan moet van iedere dag in het jaar de gemiddelde temperatuur bekend zijn. De laatste stap in de berekeningen is het bijhouden van de cumulatieve warmtesom. Dit is de optelsom van de dagelijkse waarden. In Tabel 2 dus $0+0+3+6+12+10 + \dots$. Iedere dag komt er een

hoeveelheid graad-dagen bij, totdat – in ons rekenvoorbeeld- het totaal van 909 graaddagen is bereikt en de druiven oogstrijp zijn.

Het is een beetje discutabel wanneer men begint met het sommeren van de graaddagen. Bij toepassing van warmtesommen op de kieming van zaden is het eenvoudig: de teller begint te lopen op de datum van zaaien. Bij een overjarig gewas als de druif is er discussie mogelijk wat als startpunt van het sommeren van de warmtesommen wordt genomen. Men kan uitgaan van 1 januari of 1 april. In de praktijk zullen verschillen gering zijn omdat dagen met een gemiddelde temperatuur van tenminste 10 °C in januari, februari en maart als regel niet talrijk zijn. Ook wordt het moment dat de knoppen activiteit beginnen te vertonen wel als startpunt voor de warmtesomming gebruikt. Het is dus zaak om in artikelen of internetsites die warmtesommen geven zich altijd af te vragen hoe die berekend zijn.

Een volgende vraag is: hoe bereken ik de gemiddelde etmaaltemperatuur? Als regel wordt het gemiddelde genomen van de minimum en de maximumtemperatuur van die dag. Weerstations publiceren als regel deze getallen. Men kan met een minimum-maximum-thermometer die temperaturen iedere dag zelf meten. Wel moet de thermometer zo opgehangen zijn dat deze niet blootgesteld wordt aan directe bestraling door de zon. Tegenwoordig is er ook een keur aan digitale temperatuursensoren die goede diensten kunnen bewijzen, mits oordeelkundig geïnstalleerd.



Figuur 2. Rekenvoorbeeld van het verband tussen ontwikkelingssnelheid en gemiddelde temperatuur (gebaseerd op dezelfde gegevens als Figuur 1).

| Minimum temperatuur (oC) | Maximum temperatuur (oC) | Gemiddelde temperatuur (oC) | DT volgens GDD | DT volgens Huglin |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|
| 9 | 17 | 13 | 3 | 5 |
| 10 | 20 | 15 | 5 | 7.5 |
| 12 | 26 | 19 | 9 | 12.5 |
| 14 | 28 | 21 | 11 | 14.5 |

Tabel 3. Rekenvoorbeeld van de bijdrage per dag aan de warmtesom, DT, berekend volgens het Growing Degree Days concept (GDD) en volgens de Huglin-index.

Dit zijn de namen.....

Het concept dat we tot nu toe besproken hebben, dat wil zeggen een warmtesom boven de basistemperatuur, wordt in Engelstalige literatuur aangeduid met Growing Degree Days, GDD. Toetst men in Google (met name de wetenschapsafdeling, scholar.google.com) zoekwoorden in als GDD, grapevine, base temperature, heat requirement dan komen er wel publicaties met toepassingen tevoorschijn. Andere in dit verband gebezigde begrippen zijn thermal requirement (warmtebehoefte), heat sum (warmtesom) en thermal time (warmte-tijd). In het vervolg van dit artikel zullen we deze berekening het 'GDD-concept' noemen.

In de Nederlandse wijnwereld is er ook warmtesommenconcept bekend onder de naam vegetatie-eenheden som ofwel VE – som (van Rijsingen, 2003). Het verschil met het GDD-concept is dat er met correctiefactoren wordt gewerkt (van Rijsingen 2003;

Wijnbouwers der Lage Landen (b); FABWG, 2007). Op onze breedtegraad zou de dagelijkse bijdrage aan de warmtesom 10-11 % groter zijn dan gemiddelde etmaal temperatuur minus basistemperatuur. Een zeer besloten ligging van de wijngaard is goed voor 100 – 150 graad-dagen extra. De internationale wijnwereld kent nog een ander warmtesommenconcept, namelijk de Huglin-index, een buitenbeentje met een eigen plaats.

De Huglin- index

De Fransman Pierre Huglin heeft ook een methode van berekenen van warmtesommen in de wereld gebracht die in de wijngaardenierswereld vrij brede toepassing heeft gevonden (Huglin, 1986; Huglin-index in Wikipedia (b)). De index is een buitenbeentje omdat de berekeningswijze afwijkt van het GDD-concept dat in de plantenwereld en zelfs daarbuiten gebruikelijk is.

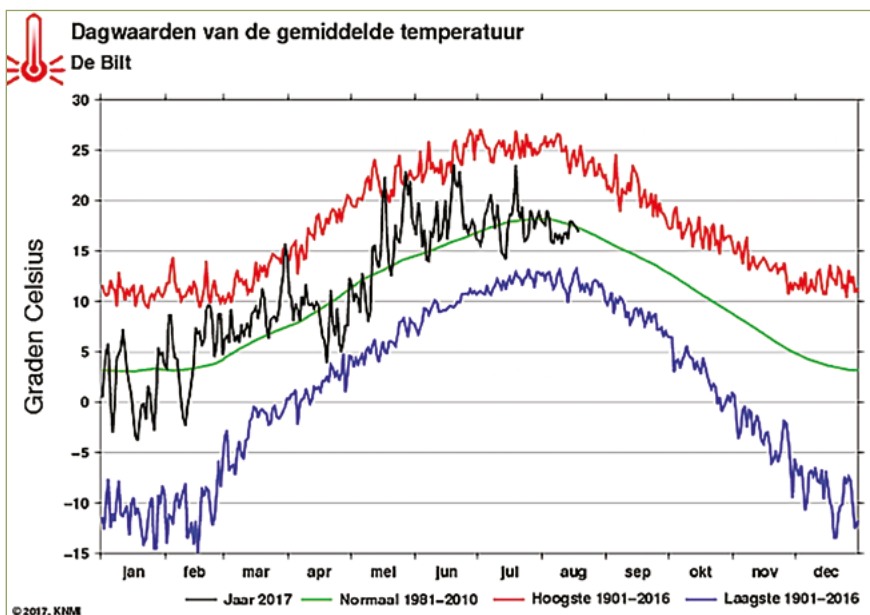
Huglin gaat ook uit van een basistem-

peratuur van 10 °C. De dagelijkse bijdrage aan de warmtesom (hierboven DT genoemd) berekent hij als volgt: Waarbij Tgem de gemiddelde etmaal temperatuur is (gelijk aan maximum – minimum gedeeld door twee) en Tmax de op die dag bereikte maximumtemperatuur is; 10 is de waarde van de basistemperatuur en K een correctiefactor die afhangt van de breedtegraad van de betreffende locatie (afstand tot pool of evenaar). Tabel 3 geeft voor een aantal willekeurig gekozen dagelijkse temperaturen een vergelijking van de dagelijkse bijdrage aan de warmtesom, berekend volgens het GDD-concept, danwel met de Huglin-index. De conclusie is duidelijk: deze twee rekenmethoden geven duidelijk verschillende uitkomsten, waarbij de dagelijkse bijdrage aan de warmtesom, DT, bij de Huglin-index altijd groter is dan bij het GDD-concept. Als men ergens leest 'ras X heeft zo en zoveel graaddagen nodig om rijp te worden' hoort de eerste vraag je zijn 'mooi, maar berekend volgens welke methode?'

De correctiefactor K is nodig omdat het effect van temperatuur bij lange dagen in de zomer (noordelijker streken) net iets groter is dan bij kortere dagen in de zomer (zuidelijker streken). Op 40 graden noorderbreedte (midden Spanje) is de waarde van K gelijk aan 1.02; op 50 graden (midden Duitsland) is de waarde 1.06 (en bij ons op 52 graden nog een fractie groter). Ook is het belangrijk te weten dat de Huglin-index warmtesommen optelt over de periode 1 april t/m 30 september.

Toepassingen van warmtesommen

Warmtesommen kunnen op de volgende manier toegepast worden:



1. Karakterisering van de warmtebehoefte van rassen. Hoe lager de benodigde warmtesom is om de ontwikkeling tot en met rijpheid te doorlopen, hoe noordelijker een ras nog geteeld kan worden. Van Rijsingen (2003) schrijft: 'De meeste resistente en vroegrijpende rassen zitten tussen 1050 °C d en 1150 °C d. Een ras als Cabernet Sauvignon heeft zeker 1300 °C d nodig'. Juist genoemde getallen betreffen toepassing van het VE-concept (waarbij niet duidelijk is welke correcties ten opzichte van het GDD-concept zijn toegepast). FABWG (2007) en de 'Wijnbouwers der Lage Landen (b)' geven aan dat de volgende rassen de volgende VE-som nodig hebben om oogstrijp te worden: Madeleine en Solaris (beide wit): 1050 °C d; Regent (rood) en Bianca (wit): 1100 °C d. Ook met de Huglin-index kan men rassen rangschikken op warmtebehoefte en dus ook vroegheid. Zulke lijstjes zijn op internet wel te vinden bijvoorbeeld Wikipedia (b).
2. Voor rassen waarvan het aantal benodigde GDD of de Huglin-index bekend zijn kan men geschiktheidskaarten tekenen voor de teelt van die rassen.
3. Het klimaat warmt snel op. Er zijn berekeningen voor iedere plaats mogelijk die een verwachting laten zien van de toename van de temperatuur in de toekomst. Zeker bij langjarige teelten als wijnstokken is het van belang rekening te kunnen houden met mogelijke verslechtering of verbetering van het klimaat binnen de levensduur van nieuw aan te leggen wijngaarden.
4. Als men ieder jaar de datum noteert waarop belangrijkste ontwikkelingsstadia bereikt worden kan men zelf inzicht verkrijgen in de warmtesommen die nodig zijn voor het doorlopen van iedere fase en voor de gehele cyclus. Tenminste, als men ook de minimum- en maximumtemperaturen per dag ter beschikking heeft. Al gaande het seizoen komt er dan al zicht op een te verwachten oogstdatum. Ook

als men de gewasontwikkeling niet bijhoudt, maar men heeft wel de weersgegevens dan kan lopende het seizoen de toename van de cumulatieve warmtesom worden berekend; dat geeft ook getalsmatig inzicht in de vroegheid of laatheid van het lopende seizoen.

5. Warmtesommen zijn een belangrijk element in computermodellen waarmee de groei, ontwikkeling en produktie van wijngaarden wordt berekend in relatie tot omgevingsfactoren als zonnestraling, water en meststoffen. Alle ontwikkelingsprocessen, zelfs tot het niveau van verschijnen, uitgroei en afsterven van individuele bladeren, worden in zulke modellen in termen van ontwikkelingsnelheden warmtesommen worden beschreven.

Wat moet men nu echt uit dit artikel onthouden?

Het moge uit dit artikel duidelijk zijn dat we de effecten van de temperatuur op de ontwikkeling van de wijnstok in getallen, vergelijkingen en grafieken kunnen vangen. Voor en praktische wijngaardenier volstaat het met te begrijpen dat het doorlopen van ieder ontwikkelingsproces een vast aantal graad-dagen vergt. Naarmate de gemiddelde etmaaltemperatuur hoger is worden er per dag meer graad-dagen bijgedragen en duurt de periode tot rijpheid korter. Hoe berekenen we het aantal graad-dagen dat een bepaalde dag bijdraagt? Simpel: gemiddelde etmaaltemperatuur minus de basistemperatuur (10 °C). Die dagelijkse bijdragen tellen we bij elkaar op en zo krijgen het verloop van de warmtesom door het seizoen.

Literatuurverwijzingen

FABWG, 2007. Cursus wijnmaken voor gevorderden. Blad 20.

Lorenz, D.H., Eichhorn, K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U. and Weber, E. (1995), Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*VITIS VINIFERA*

L. ssp. VINIFERA)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1: 100–103. doi:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x

Coombe, B.G. (1995), Growth Stages of the Grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1: 104–110. doi:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x

Huglin, Pierre (1986). *Biologie et écologie de la vigne*. Lavoisier (Edition Tec & Doc), Paris, ISBN 2-60103-019-4. 371 p.

Molitor D., Junk J., Evers D., Hofmann L., Beyer M. (2014): A high resolution cumulative degree day based model to simulate the phenological development of grapevine. American Journal of Enology and Viticulture 65 (1). 72-80. DOI: 10.5344/ajev.2013.13066

Rijsingen, P. van (2003). Het wijnbouwklimaat van Nederland. De Wijngaard, januari 2003, p. 21-24.

Wijnbouwers der Lage Landen (a). Ontwikkeling van de wijnrank. Online: <http://www.brabantsewijnbouwers.nl/index.php?section=13&page=82>. Gecheckt op 12 augustus 2017.

Wijnbouwers der Lage Landen (b). Klimaat en de druivelaar. Online <http://www.brabantsewijnbouwers.nl/index.php?section=13&page=57&student=1171>. Gecheckt 12 augustus 2017.

Wikipedia (a). BBCH-Skala für Weinreben. Online https://de.wikipedia.org/wiki/BBCH-Skala_f%C3%BCr_Weinreben. Gecheckt op 28 juli 2017

Wikipedia (b). Huglin-Index; online <https://de.wikipedia.org/wiki/Huglin-Index>. Gecheckt 29 juli 2017.

In het artikel 'De temperatuur: geen onbekende'(Editie 100, jaargang 25, september 2017) is op pagina 9 de formule voor de berekening van de Huglin-index weggevalen. De bestaande tekst is rood gedrukt, de aanvulling in zwart
Huglin gaat ook uit van een basistemperatuur van 10 oC. De dagelijkse bijdrage aan de warmtesom (hierboven DT genoemd) berekent hij als volgt:

$$DT=K \times T_{\text{gem}}-10+T_{\text{max}}-10/ 2$$

Waarbij T_{gem} de gemiddelde etmaal temperatuur is