iVES Technical Reviews
rebe & wein

terclimpro

https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2025.8495

Dieser Artikel wird in Zusammenarbeit mit der 2. Auflage der TerclimPro (18-19 Februar 2025) veröffentlicht. Bordeaux & Cognac, Frankreich.

Charakterisierung der Dynamik der Zuckeranreicherung in Trauben sowie standortspezifischer Faktoren, die diesen Prozess beeinflussen

Laure de Rességuier[✉1], Lauren Inchboard[2], Amber K. Parker[3], Théo Petitjean[1], Cornelis van Leeuwen[1]

[1] EGFV, Univ. Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, ISVV, F-33882 Villenave d'Ornon, France
[2] VITINNOV, Bordeaux Sciences Agro, ISVV, F-33175 Gradignan cedex, France
[3] Department of Wine, Food and Molecular Biosciences, Lincoln University, Lincoln 7647, New Zealand

Die Bestimmung der Zuckerkonzentration in Trauben ist für Winzer von entscheidender Bedeutung für die Berechnung des Alkoholgehalts der fertigen Weine und zur Optimierung des Erntetermins. Angesichts des Klimawandels und steigender Temperaturen ist es notwendig die Faktoren zu verstehen, welche die Dynamik der Zuckeranreicherung beeinflussen. Dies ist für die Anpassung von Weinbaupraktiken und für die Aufrechterhaltung der Weinqualität von hoher Wichtigkeit. Ziel dieser Studie war es daher, die entwicklungs- und umweltbedingten Faktoren zu analysieren, die an der Zuckeranreicherung der Trauben beteiligt sind. Hierzu wurden Daten verwendet, die in der Region Saint-Émilion, Pomerol und ihren Satelliten-Appellationen (Bordeaux, Frankreich) gesammelt wurden[1].

Charakterisierung der Zuckeranreicherungsdynamik

Von 2012 bis 2019 wurden 18 Standorte in mit Merlot bepflanzten Parzellen überwacht (mit Ausnahme des Jahres 2017, welches von Frühjahrsfrost stark betroffen war). Jede Versuchszone bestand aus 20 Reben, die um einen zuvor installierten Temperatursensor angeordnet waren, um die lokale Temperatur aufzuzeichnen[2]. Zusätzlich zur Temperatur wurden der Wasserzustand und die Stickstoffversorgung kurz vor der Ernte bestimmt. Dies erfolgte durch Kohlenstoff-Isotopen-Diskriminierung (δ13C)[3], bzw. Messungen des assimilierbaren Stickstoffs im Most (Nass) mittels einer enzymatischen Dosierungsmethode oder durch Formalintitration. Die phänologischen Stadien, insbesondere das mittlere Reifestadium/ Weichwerden der Beeren (BBCH 85)[4], wurden durch vierzehntägige Feldbeobachtungen bestimmt. Das Beerengewicht und die Zuckerkonzentration (gemessen mit der IRTF-Methode, FOSS Analytical, Frankreich) wurden jede Woche ab der Veraison bis kurz vor der Ernte ermittelt.

Die Dynamik der Zuckeranreicherung einer Beerenpopulation folgt einer s-förmigen Kurve, welche in einem Plateau endet[5]. Diese Studie verwendete ein Modell, welche die Dynamik der Zuckeranreicherung der Beeren nach Parzelle und Jahr charakterisierte[6]. Mithilfe dieses Modells konnte der Tag (Plateau-Tag) errechnet werden an dem 95 % der Maximalzuckerkonzentration erreicht werden würde (Plateau-Zucker, in g/L) (Abbildung 1). Außerdem wurde die Anzahl der Tage (Dauer) ab dem Weichwerden der Beeren/ der mittleren Veraison (Ver-Tag) und dem errechneten Tag, an dem 95 % des maximalen Zuckergehalts erreicht sind (Plateau-Tag), ermittelt (Ver-Plateau-Dauer) (Abbildung 1).

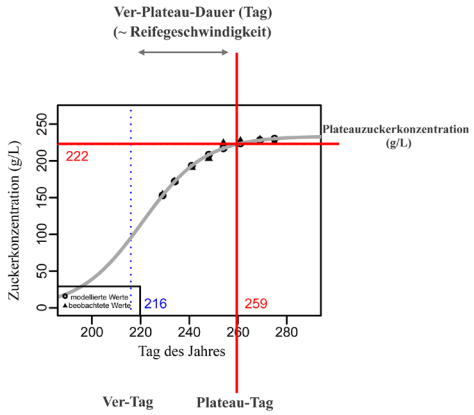


ABBILDUNG 1. Modellierung der Dynamik der Zuckeranreicherung in Trauben und ausgewählte Reifungsindikatoren vom Versuchsstandort 1 im Jahr 2012. Rote Linien: geschätzte Parameter; Blaue Linie: gemessene Parameter.

Welche Faktoren beeinflussen die Dynamik der Zuckeranreicherung?

Lineare Mischmodelle wurden verwendet, um den Einfluss verschiedener abiotischer (durchschnittliche Temperatur (TD) ab dem Weichwerden der Beeren, δ13C und Nass) und entwicklungsbedingter (Beerengewicht und ein vorzeitiges Weichwerden der Beeren) Faktoren auf die Parameter der Zuckeranreicherung zu untersuchen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Analysen ist in Tabelle 1 dargestellt.

TABELLE 1. Zusammenfassung der Ergebnisse der statistischen Analysen unter Verwendung linearer Mischmodelle zur Erklärung des Beerengewichts, dem Frühreifeplateau, der Zuckerkonzentration auf dem Plateau und der Zuckeranreicherungszeit.

	TD Ver-Plateau (°C)	δ¹³C (‰)	Nass (mg/L)	Gewicht einer Beere (g)	Ver-Tag	Ver-Plateau-Dauer (Tag)
Gewicht einer Beere (g)	ns	** Gewicht ↘ wenn beschränkt ↗	ns	/	/	/
Frühreife-plateau	*** Frühreifeé ↗ wenn TD ↗	* Frühreife ↗ wenn beschränkt ↗	ns	ns	** Frühreife-plateau ↗ wenn vorzeitige Veraison ↗	/
[Zucker] des Plateaus (g/L)	** [Zucker] ↗ wenn TD ↗	ns	ns	*** [Zucker] ↘ wenn Gewicht ↗	ns	*** [Zucker] ↗ wenn Dauer ↗
Ver-Plateau-Dauer (Tag)	*** Dauer ↘ wenn TD ↗	ns	ns	ns	/	/

Nass = verwertbarer Stickstoff des Mostes, Ver-Tag = Tag, an dem 50 % der Beeren die mittlere Veraison erreicht haben, δ13C: Kohlenstoffisotopen diskriminierung; 'ns' = nicht signifikant, '***' = signifikant mit $p < 0,001$, '**' = signifikant mit $p < 0,01$, '*' = signifikant mit $p < 0,05$, '/' = im Modell nicht berücksichtigt.

Ein frühes Plateau stand im Zusammenhang mit der Durchschnittstemperatur und dem Zeitpunkt der mittleren Veraison. Eine hohe Durchschnittstemperatur beschleunigte die Reife durch ein früheres Erreichen des Plateaus. Darüber hinaus wurde ein schwacher Effekt des Wasserzustands beobachtet: bei Wasserstress wird das Plateau früher erreicht.

Die Zuckerkonzentration zu Beginn des Plateaus wird hauptsächlich durch die Länge der Anreicherungsphase beeinflusst. Eine schnelle Reife ist mit einer niedrigeren Plateauzuckerkonzentration verbunden. Es wurde auch ein signifikanter Effekt des Beerengewichts nachgewiesen: schwerere Beeren hatten eine geringere Zuckerkonzentration.

Schließlich ist die Dauer der Zuckeranreicherung auch von der Durchschnittstemperatur abhängig: je wärmer es ist, desto kürzer ist die Zeit zwischen dem Weichwerden der Beeren und dem Erreichen des Plateaus. Andere Faktoren, wie beispielsweise die Heterogenität der Reife

Dieses Werk steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International.

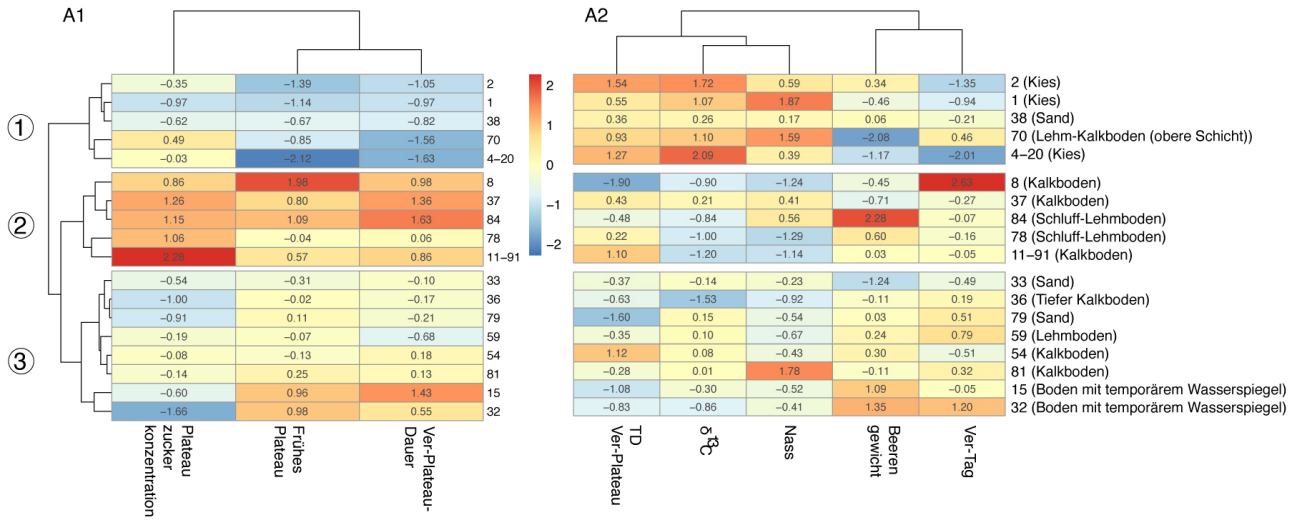


ABBILDUNG 2. A1 – Heatmap mit der Klassifizierung der Standorte nach Reifevariablen. A2 - Heatmap mit der Gruppierung der erklärenden Variablen und Klassifizierung der Standorte anhand der drei identifizierten Reifegruppen (1-3) der ersten Heatmap, sowie der Bodenarten der Parzellen.

zwischen Beeren derselben Traube[7], wurden jedoch nicht berücksichtigt. Verfügbarer Stickstoff wurde in dieser Studie nie als eine signifikante Variable identifiziert. Die Ergebnisse waren bei Verwendung eines anderen Indikators für die Stickstoffversorgung, wie beispielsweise des N-Testers, ähnlich (Daten nicht gezeigt).

Gruppierung von Versuchsparzellen mit ähnlicher Reifedynamik

Als nächsten wurden im untersuchten Gebiet einheitliche Bereiche hinsichtlich der Reifedynamik identifiziert. Zur Gruppierung der Parzellen wurden Heatmaps erstellt in Kombination mit einer hierarchisch aufsteigenden Klassifizierung. Heatmaps sind eine Möglichkeit, Datenmatrizen mittels Farbcodierung visuell darzustellen. Hohe Werte werden normalerweise durch warme Farben (Rot, Orange) dargestellt, während niedrige Werte durch kalte Farben (Blau, Grün) repräsentiert werden. Durch diese Darstellung lassen sich Trends und Abweichungen in den Daten leichter erkennen. Die Diagramme und Reifevariablen wurden in den Heatmaps neu organisiert. Diese Neuordnung basierte auf einer hierarchisch aufsteigenden Zusammenfassung von Elementen, welche auf der Basis ihrer Ähnlichkeit gruppiert wurden (Abbildung 2, A1). Die erklärenden Variablen (TD, Ver-Plateau, δ13C, Nass, Beerengewicht und Ver-Tag) wurden in einer zweiten Heatmap (Abbildung 2, A2) hinzugefügt und in den Spalten gruppiert. Die Zeilen dieser zweiten Heatmap wurden entsprechend den auf der ersten Heatmap identifizierten Parzellengruppen neu organisiert (Abbildung 2, A1). Dadurch können die Zusammenhänge zwischen der Reifedynamik der Parzellen und den erklärenden Variablen visualisiert werden. Um die Verbindung mit dem Terroir herzustellen, wurden Bodentypen hinzugefügt.

Drei unterschiedliche Reifegruppen wurden identifiziert (Abbildung 2). Gruppe 1 ist durch eine kurze Dauer des mittleren Veraison-Plateaus, ein frühes Erreichen des Plateaus und eine mäßige Zuckerendkonzentration auf dem Plateau gekennzeichnet. Diese Gruppe repräsentiert die westlich gelegenen Parzellen des Untersuchungsgebiets auf überwiegend kiesigen oder sandigen Böden, welche durch ein Wasserdefizit gekennzeichnet sind. Auf diesen Parzellen ist es während der Reifezeit warm und die Parzellen zeichnen sich durch höhere Konzentrationen an verwertbarem Stickstoff aus als die Parzellen an anderen Standorten. In dieser Gruppe ist eine schnelle Reife mit einer niedrigeren Zuckerendkonzentration verbunden. Gründe dafür sind vermutlich Einschränkungen bei der Photosynthese in Verbindung mit einem Wasserdefizit am Ende der Reifephase, welches von dem von uns gewählten Wasserversorgungsindikator nicht berücksichtigt wird (δ13C). Gruppe 2 zeichnet sich durch eine lange Reifephase, ein spätes Erreichen des Plateaus und eine hohe Zuckerendkonzentration aus. Diese Parzellen liegen auf tiefen Lehm-Schluffböden und sind weniger anfällig für Wassermangel. Die dritte Gruppe weist eine niedrige Zuckerendkonzentration sowie eine durchschnittliche Plateau- und Reifezeit auf. Es handelt sich dabei um Parzellen mit einer größeren Terroir-Heterogenität, die sich jedoch – mit Ausnahme von zwei Parzellen – durch unterdurchschnittlich tiefe Temperaturen während der Reifephase und eine geringe Konzentration an Nass auszeichnen.

Diskussion und Anwendungen

Diese Studie bestätigte den starken Einfluss der Temperatur während der Reifeperiode auf ein vorzeitiges Erreichen des Zuckerkonzentrationsplateaus in den Trauben. Es zeigte sich auch wie wichtig die Reifedauer und das Gewicht der Beeren für die Zuckerkonzentration zu Beginn des Plateaus sind. Die in dieser Studie entwickelte Analysemethode ist reproduzierbar und könnte sowohl von Genossenschaftskellereien als auch von großen Weingütern verwendet werden, um Parzellen entsprechend ihrer Reifedynamik zu gruppieren. Trauben aus Parzellen mit ähnlicher Dynamik könnten beispielsweise in denselben Gärbehältern vinifiziert oder beim Verschneiden in dieselben Mischungen integriert werden. Die erklärenden Faktoren der Beerenreife könnten durch Variablen ergänzt werden, die in dieser Studie nicht gemessen wurden, wie Erträge, Alter der Parzellen, Art der Unterlage, Klone oder andere Indikatoren der Mineralstoffversorgung und des Wasserstatus in der Vorveraison. Die Ergebnisse eröffnen auch Perspektiven hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel, etwa durch die Verwendung später reifender Rebsorten, um den Reifebeginn hinauszuzögern, oder durch die Förderung von Weinbaupraktiken, die auf eine Erhöhung des Beerengewichts abzielen, um so den Zuckerendgehalt der Trauben niedrig zu halten. ■

1 de Rességuier, L., Inchboard, L., Parker, A. K., Petitjean, T., & van Leeuwen, C. (2024). Drivers of grape berry sugar accumulation in field conditions at local scale. *OENO One*, 58(4), Article 4. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8195

2 de Rességuier, L., Mary, S., Le Roux, R., Petitjean, T., Quénol, H., & van Leeuwen, C. (2020). Temperature variability at local scale in the bordeaux area. Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in Plant Science*, 11, 515. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00515

3 van Leeuwen, C., Bois, B., Brillante, L., Destrac-Irvine, A., Gowdy, M., Martin, D., Plantevin, M., de Rességuier, L., Santesteban, L. G., & Zufferey, V. (2023). Carbon isotope discrimination (so-called δ13C) measured on grape juice is an accessible tool to monitor vine water status in production conditions. *IVES Technical Reviews, Vine and Wine*. https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2023.7742

4 Meier, U. (2001). Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées (2e éd). Centre fédéral de recherches biologiques pour l'agriculture et les forêts.

5 Coombe, B. G., & McCarthy, M. G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 131-135. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x

6 Suter, B., Destrac Irvine, A., Gowdy, M., Dai, Z., & van Leeuwen, C. (2021). Adapting Wine Grape Ripening to Global Change Requires a Multi-Trait Approach. *Frontiers in Plant Science*, 12. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.624867

7 Coombe, B. G. (1980). Development of the grape berry. I. Effects of time of flowering and competition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(1), 125-131. https://doi.org/10.1071/ar9800125