https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2026.9820

Was tun bei Hitzewellen: Wichtige Punkte zur Umsetzung von Abmilderungsstrategien zum Schutz der Beeren

Julia Gouot-Davoust[1], **Celia Barril**[2], **Jason Smith**[2,4], **Bruno Holzapfel**[3,4], **Leigh Schmidtke**[2,4], **Joanna Gambetta**[5]

[1] VITINNOV, Bordeaux Sciences Agro, ISW, F-33175 Gradignan cedex, France

[2] School of Agricultural, Environmental and Veterinary Sciences, Faculty of Science and Health, Charles Sturt University, Locked Bag 588, Wagga Wagga, 2658, NSW, Australia

[3] Wagga Wagga Agriculture Institute, NSW Department of Primary Industries and Regional Development, Pine Gully Road, Wagga Wagga, NSW 2650,

[4] Gulbali Institute, Charles Sturt University, Mumbarra Drive, Wagga Wagga, New South Wales 2678

[5] School of Environmental and Life Sciences, The University of Newcastle, Brush Road, Ourimbah, NSW 2258, Australia

Extreme Hitzeereignisse treten immer häufiger auf und können erhebliche Auswirkungen auf landwirtschaftliche Kulturen haben, darunter auch den Weinbau. Seit den 1970er Jahren haben sowohl die Dauer als auch die Häufigkeit dieser Ereignisse zugenommen. Dies hat zu Ernteeinbußen sowie zu ungünstigen Veränderungen der Traubenzusammensetzung aufgrund von Veränderungen der technischen, geschmacklichen und phenolischen Reife geführt, gefolgt von anderen problematischen Aspekten wie Sonnenbrand[1]. Es ist entscheidend zu verstehen warum, wann und wie dies geschieht, um die Auswirkungen extremer Hitze auf Trauben, Reben und Wein zu mildern, aber auch um Nachhaltigkeit, Ertrag und Weinqualität der Weingüter sicherzustellen[2].

Reaktion der Pflanzen auf Hitze

Extreme Hitze und Hitzewellen verursachen unterschiedlich starke Schäden, je nach Dauer, Intensität, Zeitpunkt und dem Vorhandensein anderer Umweltstressoren[1]. Im Allgemeinen führen steigende Temperaturen zu einer Verringerung der Photosynthese und einer Erhöhung der Transpiration. Reben vertragen Hitze und Trockenheit allein relativ gut. Kommt jedoch ein Wasserdefizit hinzu, kann es für die Pflanze schwierig werden eine Hitzewelle zu überstehen. Der Wasserstress wird darüber hinaus verschärft, weil Pflanzen die Schließung der Spaltöffnungen verzögern, um Temperaturanstiege zu regulieren. Dies ist v. a. bei anisohydrischen Sorten und in stark durchlässigen (z. B. sandigen) Böden der Fall. Bei einem gleichzeitigem Extremhitze- und Wasserstressereignis kommt es zu hydraulischem Versagen und Zelltod, gefolgt vom Verwelken der Blätter und einer dadurch erhöhten Exposition der Früchte und einer steigenden Temperatur in den Trauben.

Hitzestress wirkt sich stark auf die Zusammensetzung der Trauben und die Weinqualität aus, da er den Gehalt an Zucker, Säuren, Aminosäuren und sekundären Metaboliten verändert[2] und dadurch zu einer verminderten Qualität und unausgewogenen Weinen mit höherem Ethanolgehalt führt.

Schwere bis fatale Schäden an den Beeren

Hitzeereignisse können je nach Temperatur und Ausmaß der Schäden als schwer oder fatal eingestuft werden. Unter „schwer" versteht man Temperaturen von über 35 °C, welche die Zusammensetzung der Beeren verändern und die Gesamtqualität mindern. Als „fatal" werden Temperaturen von über 40 °C) eingestuft, welche in der Regel zu erheblichen Ertragsverlusten führen.

Sonnenbrand (SB) ruft schwere Schäden hervor und wird durch eine Kombination aus hoher Strahlung und hoher Temperatur verursacht. Er tritt hauptsächlich nach der Veraison auf und manifestiert sich in Form von gelben, braunen oder bronzefarbenen Flecken auf der der Sonne zugewandten Seite der Frucht. Die genaue Farbe der Läsionen hängt dabei von der Beerenfarbe ab und ist bei weißen Trauben deutlicher zu erkennen als bei dunklen[1]. Die Hauptsymptome von SB betreffen die Schale: zuerst verliert sie aufgrund des Abbaus von Chlorophyll ihre grüne Farbe, dann verfärbt sie sich aufgrund der Oxidation von Polyphenolen braun[3] und verdickt sich. Bei weißen Trauben bilden sich braune Läsionen, während schwarze Trauben aufgrund des Abbaus von Anthozyanen ihre Farbe verlieren. Obwohl Veränderungen im Zucker- und Säuregehalt beobachtet wurden, betrifft SB hauptsächlich die Schale und nicht das Fruchtfleisch. Andere Auswirkungen hängen hauptsächlich mit hohen Temperaturen und nicht mit dem SB selbst zusammen. Ein geringes Niveau an SB führt zur Anreicherung wichtiger Aromastoffe wie Linalool und α-Terpinen; ein starker SB führt dahingegen zu deren Abbau und zum Verlust positiver blumiger und fruchtiger Aromen, sowie der Typizität von Weinen. Im Allgemeinen führt SB zu einer Wertminderung der Früchte und zu wirtschaftlichen Verlusten für Winzer von bis zu 50 % des Erntewertes. Genauere Informationen zu den Auswirkungen von SB auf die Weinqualität sind kaum zu finden. Einige wenige Berichte weisen jedoch auf eine erhöhte Bitterkeit und Bräunung (Oxidation) bei Weißweinen hin. Wassergestresste Reben scheinen, aufgrund einer besseren Anpassung an Sonneneinstrahlung und der Anreicherung photoprotektiver Verbindungen, weniger anfällig für SB zu sein[1].

Fatale (tödliche) Schäden und Sonnenbrandnekrosen (SN) treten im Allgemeinen bei Lufttemperaturen über 40 °C auf. Dabei ist die Oberflächentemperatur der Früchte (OTF) ein besserer Indikator als die Umgebungstemperatur, da die OTF um 12 bis 15 °C höher sein kann. SN verursachen Zelltod, ein Schrumpfen der Beeren und somit erhebliche Ertragsverluste. Ein hoher Anteil an geschrumpften Beeren bei der Ernte kann sich auf die Farbe und das Aroma des Weins auswirken (Abbildung 1A, B). Ab welcher Temperatur fatale Schäden an den Beeren auftreten, hängt von deren Zusammensetzung und somit vom Entwicklungsstadium ab: Shiraz-Beeren vor der Veraison erleiden Nekrosen bei einer OTF von 43 °C und nach der Veraison bei 55 °C[4 5 6]. In einer anderen Studie wurden diese Temperaturschwellen bei Riesling, Bacchus und Calardis blanc[7] untersucht. Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass

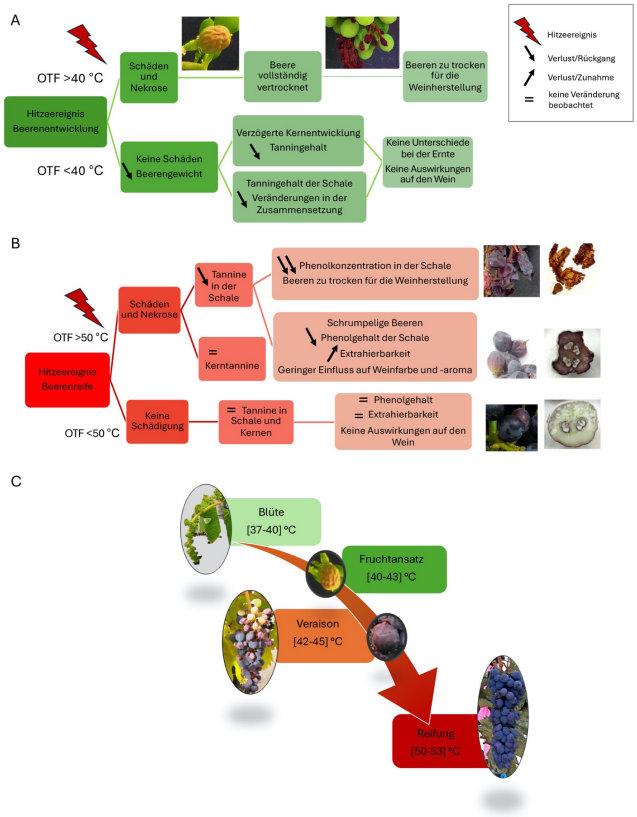


ABBILDUNG 1. Auswirkungen von Hitzeereignissen auf die Beerenentwicklung, sowie auf die Zusammensetzung von Trauben und Wein in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur der Früchte (OTF) vor (A) und nach (B) der Veraison. (C) Oberflächentemperaturbereiche, in denen fatale Schäden an Blüten und Beeren von *Vitis vinifera* auftreten können.
Die für diese Abbildung verwendeten Quellen sind auf Anfrage bei den Autoren erhältlich.

die fatale Temperatur für *Vitis vinifera*-Beeren zwischen 37 °C (Blütezeit) und 50 °C (während der Reifung) variiert (Abbildung 1C).

Die Anfälligkeit von Trauben für SB und SN variiert je nach Sorte, Entwicklungsstadium, Schalenfarbe, Lage der Trauben und Windgeschwindigkeit. Neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass bei höheren Windgeschwindigkeiten die Häufigkeit und Schwere von SN aufgrund der niedrigeren OTF abnehmen. Dies steht allerdings im Widerspruch zu den von Winzern manchmal berichteten Lufttrocknungseffekten. Unabhängig von der Schalenfarbe können sowohl dunkle als auch helle Sorten schwere Schäden durch SB und SN erleiden. Unter den weißen Sorten sind Muscat d'Alexandrie und Riesling sehr anfällig für SB, während Sauvignon Blanc und Chardonnay toleranter sind. In bestimmten Entwicklungsstadien sind Trauben besonders anfällig für Hitzeschäden: Das SB-Risiko ist nach der Veraison am höchsten, während SN für Beeren vor allem in frühen Entwicklungsstadien fatal sein können. Diese kritischen Phasen zu verstehen, ist für Produzenten von entscheidender Bedeutung, damit Schutzmaßnahmen zum richtigen Zeitpunkt ergriffen werden.

Abmilderungsstrategien bei Hitzewellen

Der Erfolg einer jeden Abmilderungsstrategie hängt davon ab zu verstehen, wann genau die Beeren einem fatalen Risiko ausgesetzt sind (Abbildung 1C), wie sich die OTF von der vorhergesagten Lufttemperatur unterscheidet, und wie wirksam die gewählten Strategien sind.

Die meisten Strategien zielen auf eine Maximierung der Transpirationskühlung und einer Minimierung der Strahlungsaufnahme ab, um die Laubdächer und Trauben so kühl wie möglich zu halten. Zu den Methoden hierfür gehören eine verstärkte Bewässerung, Laubdachmanagement (Schnitt, Spalierart/-höhe, Entlaubung), Beschattung, Gassenmanagement, reflektierende Sprays, Vernebler im Laubdach, Weinberggestaltung (Reihenausrichtung, Begrünung) und die Auswahl geeigneter Rebsorten[8] (Abbildung 2). Diese Strategien variieren in ihrer Wirksamkeit und können nach ihrer Fähigkeit zur Reduzierung der Luft-/Laubwandtemperatur sowie der OTF eingestuft werden (Abbildung 3). Sie unterscheiden sich auch in Bezug auf Kosten, Nachhaltigkeit und Anwendbarkeit. Die Wirksamkeit hängt von der Höhe der Temperatur, der

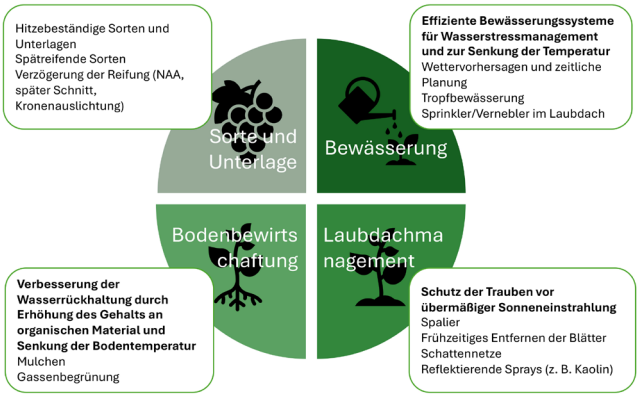


ABBILDUNG 2. Abmilderungsstrategien bei Hitzewellen.

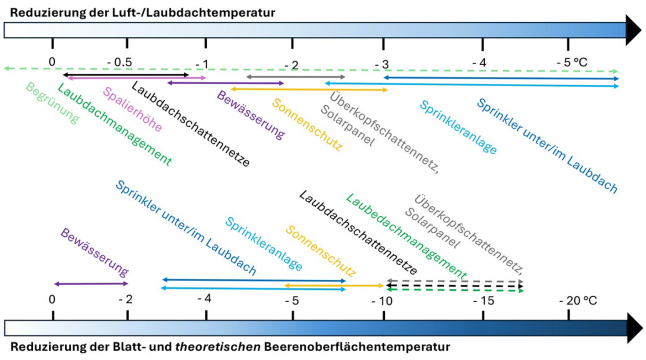


ABBILDUNG 3. Reduzierung der Temperatur von Laubdach, Blättern und Beeren durch verschiedene Abmilderungsstrategien im Weinberg (durchgezogene Linien: gemessene Werte aus publizierten Studien; gestrichelte Linien: theoretische Werte).
Die für diese Abbildung verwendeten Quellen sind auf Anfrage bei den Autoren erhältlich.

Geschwindigkeit der Umsetzung und vom phänologischen Stadium ab.

Der beste Ratschlag lautet, vor und während einer Hitzewelle zu bewässern, um die Wurzelzone so weit wie möglich feucht zu halten, die Bodentemperatur zu senken und die Transpirationskühlung zu maximieren. Der Zeitpunkt der Bewässerung hängt von der Bodenart ab: Lehmböden können bereits Tage vor einer Hitzewelle bewässert werden, während sandigere Böden am Tag oder in der Nacht zuvor bewässert werden sollten. Diese Praxis führt zwar nur zu einer geringfügigen Senkung der Luft- und Fruchttemperatur, sie reduziert jedoch den Stress für die Reben und gewährleistet die Lebensfähigkeit des Laubdachs. Eine Bewässerung in der Nacht ist wirksamer als eine Bewässerung am Tag. Eine effizientere Nutzung des Wassers kann durch den Einsatz von Überkopf- oder Laubdachsprühsystemen erreicht werden. Diese reduzieren das Luftsättigungsdefizit erheblich und erzielen eine größtmögliche Senkung der Laubdachtemperatur. Jede Strategie bei der Wasser zum Einsatz kommt, setzt natürlich voraus, dass genügend Wasser für die Bewässerung zur Verfügung steht, die Infrastruktur für die Wasserzufuhr vorhanden ist, und dass Bewässerung erlaubt ist. Während dies in Australien und anderen bewässerten Regionen üblich ist, sind die meisten europäischen Weinberge ausschließlich auf Regen angewiesen und können nur unter außergewöhnlichen Umständen das Recht zur Bewässerung erhalten. Mulchen ist eine geeignete Alternative, um die Bodentemperatur und die Wasserverdunstung zu senken, sowie die Erwärmung des Traubenbereichs und des Laubdachs durch die Reflektion des Sonnenlichtes zu reduzieren. Andere Möglichkeiten, welche die Temperaturen um bis zu 15 °C senken können, umfassen Laubdachmanagementmethoden oder die Verwendung von Schattennetzen zur Vermeidung übermäßiger Sonneneinstrahlung. Für diese Maßnahmen ist es jedoch am besten, wenn sie direkt während des Weinbergdesigns integriert werden, anstatt sie nachträglich an bestehenden Anpflanzungen vorzunehmen. Sonnenschutzmittel wie Ton (z. B. Kaolin) konnten in einigen Fällen das Auftreten von SB, insbesondere kurz vor der Ernte, verringern. Diese Partikelfilmprodukte können bei Hitzewellen zum Schutz der Laubdächer eingesetzt werden, indem sie Sonnenlicht reflektieren und Strahlungswärme reduzieren. Andere Produkte wie Kalk, Talkum und Antitranspirantien werden derzeit getestet. Die Ergebnisse variieren allerdings je nach Laubdachgröße, Anzahl der Trauben, Produktzusammensetzung, Haftungseigenschaften sowie Zeitpunkt und Häufigkeit der Anwendung im Verhältnis zu Hitzeereignissen.

Es ist daher ratsam, zwei oder mehr Strategien zu kombinieren und ergänzende Maßnahmen während der Ernte (z. B. teilweise Ernte grüner Beeren, Ernte bei Nacht, Entfernung beschädigter Beeren) und im Keller (z. B. Zugabe von Wasser wenn zulässig; Anpassung von Hefestämmen und Produktionstechniken, Entalkoholisierung usw.) in Betracht zu ziehen. Leider gibt es nur wenige praktikable und wirksame kurzfristige Abmilderungsstrategien. Befindet sich ein Weinberg in einem Gebiet, welches häufig von Hitzewellen betroffen ist, empfiehlt es sich, dauerhaftere Lösungen in Betracht zu ziehen. Diese umfassen die Installation von Beschattungsvorrichtungen, die Neugestaltung der Reihenausrichtung, und die Anpassung der angebauten Rebsorten. Ein besseres Verständnis dieser Parameter ist notwendig, um Winzer bei der Auswahl geeigneter Abmilderungsstrategien zu unterstützen. ■

1 Gambetta, J. M., Holzapfel, B. P., Stoll, M., & Friedel, M. (2021a). Sunburn in grapes: A review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 604691. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.604691

2 Gouot, J. C., Smith, J. P., Holzapfel, B. P., Walker, A. R., & Barril, C. (2019a). Grape berry flavonoids: A review of their biochemical responses to high and extreme high temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 70(2), 397-423. https://doi.org/10.1093/jxb/ery392

3 Gambetta, J. M., Romat, V., Schmidtke, L. M., & Holzapfel, B. P. (2021b). Secondary metabolites coordinately protect grapes from excessive light and sunburn damage during development. *Biomolecules*, 12(1), 42. https://doi.org/10.3390/biom12010042

4 Gouot, J., Smith, J., Holzapfel, B., & Barril, C. (2019b). Single and cumulative effects of whole-vine heat events on Shiraz berry composition. *Oeno One*, 53(2), 171-187. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.2.2392

5 Gouot, J. C., Smith, J. P., Holzapfel, B. P., Walker, A. R., & Barril, C. (2019c). Grape berry flavonoid responses to high bunch temperatures post véraison: Effect of intensity and duration of exposure. *Molecules*, 24(23), 4341. https://doi.org/10.3390/molecules24234341

6 Gouot, J. C., Smith, J. P., Holzapfel, B. P., & Barril, C. (2019d). Impact of short temperature exposure of Vitis vinifera L. cv. Shiraz grapevine bunches on berry development, primary metabolism and tannin accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 168, 103866. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103866

7 Muller, K., Keller, M., Stoll, M., Friedel, M. (2023). Wind speed, sun exposure and water status alter sunburn susceptibility of grape berries. *Frontiers in Plant Science*, 14, https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145274

8 Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Liu, Y., Baby, T., & Xiao, Z. (2022). Impact of climate change on grape berry ripening: An assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1094633. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1094633

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