

Langzeitbeobachtung im Weinberg

Phänologie der Weinrebe in Abhängigkeit der Umweltbedingungen

Liane Becker, Rosalie Schiffmann & Daniel Dreesmann

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Organismische und Molekulare Evolutionsbiologie (iomE), Johannes-von-Müller-Weg 6, 55128 Mainz, liane.becker@uni-mainz.de

Ein Weinberg ist ein Agrarökosystem unter spezifischen regionalen Bedingungen, aus dessen Ertrag ein für die Region charakteristisches Produkt entsteht. Als Folge des Klimawandels beeinflussen erhöhte Temperaturen die Entwicklung und somit den Ertrag der Weinreben. Daten aus Langzeitbeobachtungen vermitteln Schülerinnen und Schülern Kenntnisse über die Entwicklung einer landwirtschaftlichen Kulturpflanze in Abhängigkeit der Umweltbedingungen, vermitteln Kompetenzen im Umgang mit Messgeräten und Daten und zeigen Folgen des Klimawandels auf.

Stichwörter: Ökosysteme erkunden, Phänologie, Temperatur, Klimawandel, Langzeitbeobachtung

1 Der Weinberg als außerschulischer Lernort



Abbildung 1: Schülerinnen während einer Exkursion im Weinberg (Rheinhessen). Vorne: Schülerin entnimmt eine Bodenprobe zur nachfolgenden Analyse.
Foto: L. Becker

Der Weinberg eignet sich als außerschulischer Lernort, da er als Agrarökosystem sowohl eine direkte Begegnung mit der Natur als auch die Erkundung einer von Menschen genutzten landwirtschaftlichen Fläche möglich macht. Statistiken zeigen, dass der Weinanbau eine maßgebliche Rolle in Deutschland spielt: Mit einer Weinanbaufläche von ca. 102.000 ha ist Deutschland in der EU auf dem sechsten Platz (BMEL, 2021, S. 103). Der Anbau von Wein als Kulturpflanze hat vor allem in südlichen Teilen Deutschlands einen hohen Stellenwert. Bedeutung kommt dabei dem Anbaugebiet Rheinhessen zu, da es mit ca. 26.600 ha Rebfläche das größte Weinbaugebiet in Deutschland ist (Müller, 2019, S. 36). Daher liegt die Auswahl eines Weinberges als außerschulischer Lernort in dieser Region nahe (Abb. 1) und knüpft nah an die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler an (Mayer, 2018, S. 433).

Schließlich wird die Erkundung eines Weinberges in Zeiten des Klimawandels zum interessanten und zu-

kunftsorientierten Thema für Schülerinnen und Schüler. Der menschengemachte Klimawandel, begleitet von extremen Wetterereignissen, verursacht weitreichende Folgen und Schäden für Natur und Menschen. Agrarökosysteme sind ebenfalls von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, da die Ernteerträge in Qualität und Quantität beeinflusst werden (IPCC, 2022). Das Agrarökosystem Weinberg ist besonders abhängig von den klimatischen Bedingungen, da u.a. die Temperatur, die Sonneneinstrahlung und die Wasserverfügbarkeit über den Geschmack und das Aroma des Weines, der aus den Früchten der Weinreben gewonnen wird, entscheiden (van Leeuwen und Seguin, 2006, S. 1). Die gestiegenen Temperaturen beispielweise wirken sich insbesondere in der letzten Reifeperiode der Beeren auf die Zuckerkonzentration aus, was zu einem erhöhten Alkoholgehalt und einem verminderten Säuregeschmack führt (Kliwer, 1964, S. 875). In südlicheren Ländern verursachen die klimatischen Veränderungen aufgrund von gesteigerter Trockenheit bereits einen Rückgang der Flächen, die für den Anbau von Wein genutzt werden (OIV, 2021, S. 7).

2 Daten sammeln in der Langzeitbeobachtung

Die hier vorgestellte Langzeitbeobachtung umfasst den Zeitraum von April bis Mitte Juni eines Jahres. Der Zeitraum kann verkürzt oder verlängert werden, um optimal an das Unterrichtsgeschehen und an die Unterrichtsziele angepasst zu werden. Besonders geeignet ist die Langzeitbeobachtung, wenn ein Schulweinberg vorhanden ist oder in unmittelbarer Nähe zur Schule ein Weinberg erreichbar ist. Alternativ ist es ebenso möglich, bei einer einmaligen Exkursion in den außerschulischen Lernort Weinberg Daten zu sammeln und diese durch hier vorgestellte Daten zu ergänzen.

2.1 Die Phänologie der Weinrebe – Entwicklungsstadien

Der Anbau von Wein folgt der Phänologie der Weinrebe, also ihren im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungsstadien. Die Zeit im Jahr, in der die Weinrebe aktiv wächst und sich entwickelt, wird Vegetationsperiode genannt. In unseren Breiten beginnt die Vegetationsperiode der Weinrebe mit dem Anschwellen der Winteraugen etwa Anfang April und endet mit dem Blattabfall, der etwa Anfang November stattfindet. Danach beginnt die Vegetationsruhe oder auch Winterruhe (Bauer, 2008, S. 43; Müller, 2019, S. 144).

Die Phänologie der Weinrebe bietet sich im Rahmen des Biologieunterrichts für eine Langzeitbeobachtung an. Die phänologische Entwicklung der Weinrebe wird von Lorenz et al. (1994) mithilfe der BBCH-Skala in Makrostadien (0 bis 9) und Mikrostadien (00 bis 99) eingeteilt. In unserem Material wird die Entwicklung der Knospe, der Austrieb, die Blattentwicklung und die Gescheinsbildung (Bildung der Blütenstände) bis hin zur Blüte beobachtet, was in einem Schulhalbjahr möglich ist.

Der Weinberg wird dabei über das Frühjahr von April bis Mitte Juni beobachtet, was einem kriteriengeleiteten Wahrnehmen entspricht: „Beobachten ist eine menschliche Handlung, bei der ein Kriterium darüber entscheidet, worauf Beobachter ihre Aufmerksamkeit richten und damit ebenfalls, was überhaupt mit den Sinnen wahrgenommen wird, d. h., welche Daten erhoben werden [...]“ (Gropengießer, 2013, S. 273). Dabei werden die Objekte nicht verändert (ebd.).

In dieser Erkundung wird in einem wöchentlichen Abstand die Knospenentwicklung, das Wachstum der Triebe und der Gescheine und später die Entwicklung der Blüten und die Entstehung der Früchte beobachtet und fotografisch oder zeichnerisch festgehalten. Schülerinnen und Schüler sind dadurch in der Lage, die Entwicklungsstadien zu benennen und der Reihenfolge nach zu ordnen (Abb. 2, Material 1).

Bei einer längeren Beobachtungszeit kann in den Monaten Juli bis September zusätzlich die Reife der Beeren bis hin zur Vollreife dokumentiert werden. Da diese Entwicklungsstadien in den Bereich der Sommerferien fallen, sind sie in unserem Material nicht mit eingebunden.

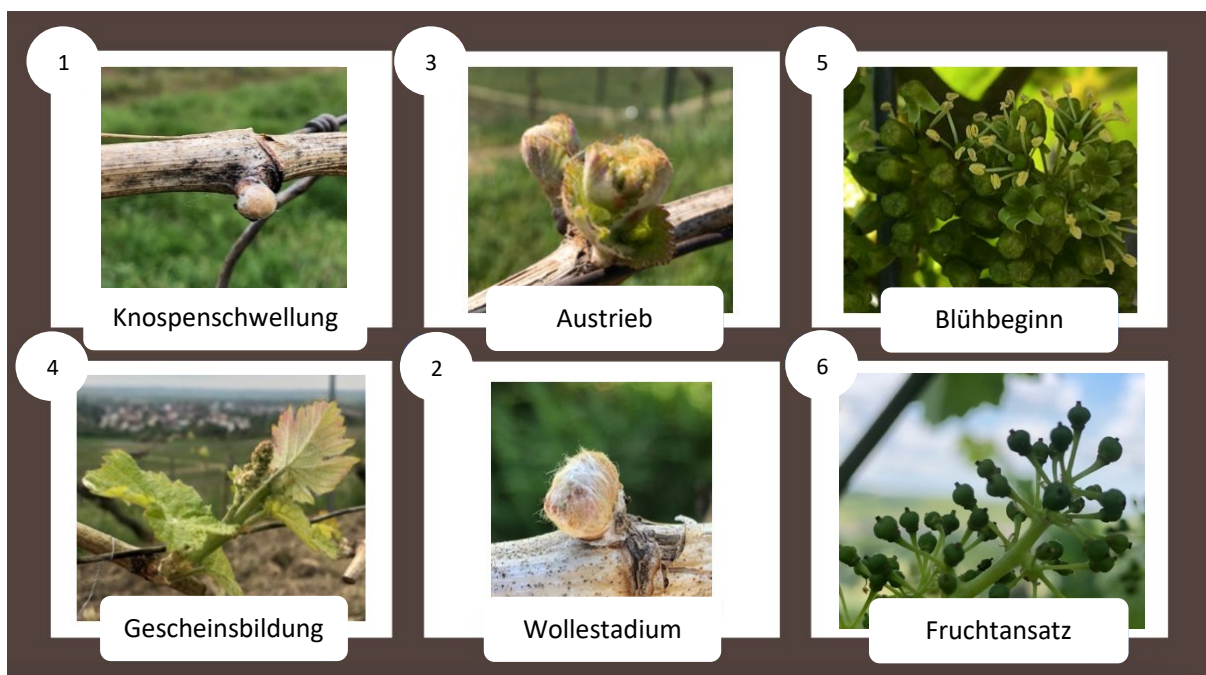


Abbildung 2: Musterlösung der Aufgabenstellung für Schülerinnen und Schüler zur Phänologie der Weinrebe. Nach der Langzeitbeobachtung können Schülerinnen und Schüler die einzelnen Entwicklungsstadien von der Knospenschwellung (1), über das Wollestadium (2), den Austrieb (3), die Gescheinsbildung (4), den Blühbeginn (5) und den Fruchtsatz (6) benennen und der Reihenfolge nach ordnen. Fotos: R. Schiffmann

Schülerinnen und Schüler erkennen mit der Methode der Langzeitbeobachtung wie und wann sich einzelne Pflanzenorgane bilden und wie diese aufgebaut sind. Mithilfe von Abbildungen wird zusätzlich der Aufbau der Blüte verdeutlicht. Bei der Blüte der Weinrebe handelt es sich um eine zwittrige Blüte mit fünf Blütenblättern, welche im geschlossenen Zustand als Käppchen geformt sind. Darunter liegen der weibliche Fruchtknoten und die männlichen Staubbeutel. Kurz vor dem Abfallen des Käppchens gelangt männlicher Pollen aus den Staubbeuteln auf die Narbe des Fruchtknotens und befruchtet diesen (Abb. 3, Material 2). Der Zeitpunkt, zu dem 25% der Blütenkäppchen

abgestoßen sind, wird als Blühbeginn bezeichnet. Ein früher Abschluss der Blüte ist wünschenswert, denn so haben die Beeren über den Sommer (Juli bis September) genügend Zeit, sich zu entwickeln und während der Reifepériode Zucker einzulagern.

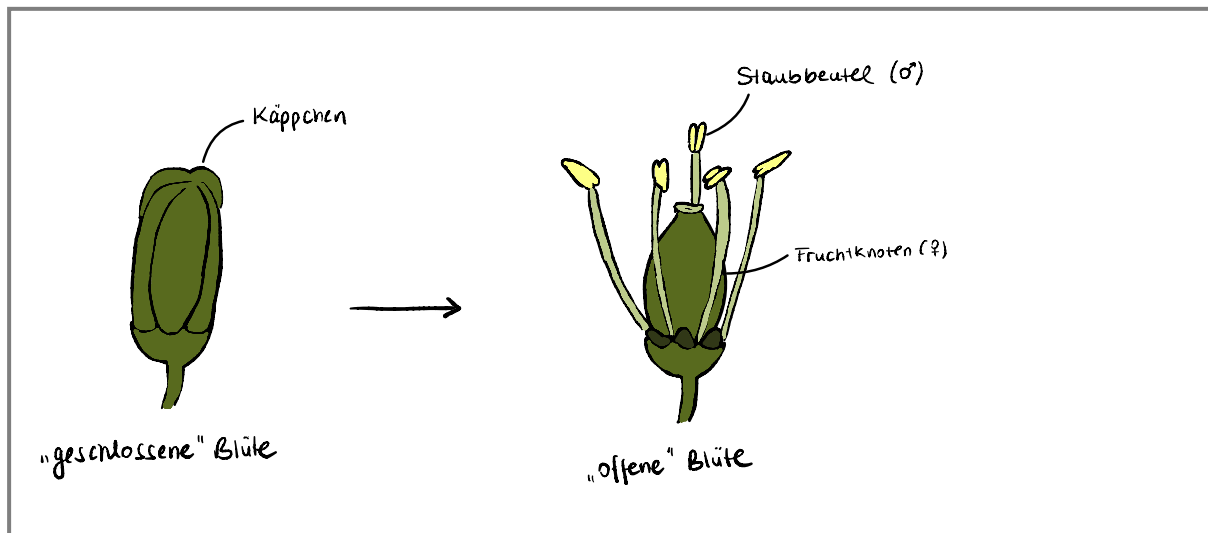


Abbildung 3: Musterlösung der Aufgabe für Schülerinnen und Schüler zur Beschriftung der Blüte der Weinrebe. Schülerinnen und Schüler können sowohl die geschlossene als auch die offene Blüte der Weinrebe beschriften. Das „Käppchen“ (links) wird aus den Blütenblättern geformt. Abbildung: R. Schiffmann.

2.2 Entwicklungsstadien in Abhängigkeit der Umweltbedingungen

Letztendlich können Wachstum und Entwicklung nur in Zusammenhang mit den herrschenden Umweltbedingungen verstanden werden, weshalb sich eine zeitgleiche Langzeitbeobachtung der Umweltbedingungen für Schülerinnen und Schüler anbietet.

Den größten Einfluss auf die phänologische Entwicklung der Weinrebe hat die Temperatur (Schultz et al., 2005, S. 4 f.). Während für den Austrieb im Frühjahr die Bodentemperaturen ausschlaggebend sind, werden die Entwicklung der Blütenanlagen und der Blüte maßgeblich von den Temperatursummen und der Globalstrahlung in der Luft bestimmt (Hoppman, 2010, S. 37). Niedrige Temperaturen und nasse Böden im April können das Triebwachstum stark hemmen. Zu niedrige Temperaturen im Juni verhindern bei der Entwicklung der Blüte das Wachstum des Pollenschlauchs und verhindern so die Befruchtung der Blüten. Dabei ist ein früher Blühabschluss wünschenswert, da dies den Zeitraum für die spätere Beerenreife verlängert (ebd.). Neben der Temperatur sind außerdem die Klimaelemente Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit ausschlaggebend für die Entwicklung der Weinrebe.

Daten sammeln

Mit handlichen und für das Freiland geeigneten Messgeräten können Messungen zu den Umweltbedingungen direkt im Weinberg durchgeführt werden (Abb. 4, Material 3). Die Geräte sind batteriebetrieben, können im Freiland eingeschaltet werden und messen direkt Windgeschwindigkeit, Bodentemperatur und Lufttemperatur.



Abbildung 4: Geräte zur Messung der Umweltfaktoren. Von links nach rechts: Technoline Sensor Windmesser (Wind und Lufttemperatur), Laserliner-Thermometer (Bodentemperatur), Datenlogger Voltcraft DL-210 TH (Lufttemperatur). Fotos: R. Schiffmann

Die im Freiland gesammelten Daten werden direkt in einer zuvor angelegten Tabelle notiert (Tab. 1). Im Zeitraum April bis Juni können etwa 11 Messungen durchgeführt werden. Schon in der Betrachtung der erstellten Tabelle wird der starke Anstieg der Boden- und Lufttemperatur über den Verlauf des Frühlings deutlich (Tab. 1).

Daten auswerten

Tabelle 1: Tabelle der Daten aus dem Freiland. Über den Zeitraum April bis Juni 2022 werden einmal wöchentlich Daten zu Bodentemperatur, Lufttemperatur und maximaler Windgeschwindigkeit im Weinberg gesammelt und eingetragen.

Datum	01.04.22	08.04.22	15.04.22	22.04.22	29.04.22	06.05.22	13.05.22	20.05.22	27.05.22	03.06.22	10.06.22
1. Bodentemp. (°C) 1	8,3	8,4	13,4	13,0	14,7	16,5	18,3	19,2	18,4	21,4	19,5
2. Lufttemp. (°C)	11,4	9,4	24,2	21,4	25,4	26,2	24,1	30,8	19,4	27,4	29,6
3. (max.) Windgeschw. (km/h) RB	10,5	7,9	0,5	20,4	0,6	9,8	13,7	1,2	14,4	7,8	6,2
Entwicklungsstadium	Knospenschwellung, Wollestadium und Austrieb			Gescheinsbildung			Blühbeginn			Fruchtsatz	

Die gesammelten Daten der Freilandmessungen werden mit den beobachteten Entwicklungsstadien in Zusammenhang gebracht (Tab. 1). Nach Feldversuchen von Alleweldt & Hofäcker stehen Austrieb der Knospe und Blühbeginn in sehr enger Beziehung zu den täglichen Maxima von Luft- und Bodentemperatur (Alleweldt & Hofäcker, 1975). Temperaturen von mehr als 7 bis 10°C können den Austrieb induzieren (diese Temperaturangabe ist jedoch sortenspezifisch), dabei sind niedrige Windgeschwindigkeiten förderlich, um die Knospen nicht abzukühlen (Keller, 2021, S. 68). Nach dem Austrieb entwickelt sich der Trieb mit den Blättern ebenfalls abhängig von der Lufttemperatur und auch abhängig von der Wurzeltemperatur. Die optimale Temperatur für den Blühbeginn, also den Abfall der Blütenköpchen, liegt bei 20 bis 25°C (ebd., S. 90).

Die Datenlogger von Voltcraft verfügen neben der Direktmessung über die Funktion, Daten über einen vordefinierten Zeitraum hinweg kontinuierlich zu messen. Mit der zugehörigen Software von Voltcraft werden die aufgezeichneten Daten grafisch dargestellt, was in unserem Material mit Daten zu Temperatur und Feuchtigkeit (Datenlogger Voltcraft DL-210 TH) und zur Lichtintensität (Datenlogger Voltcraft DL-230 L) durchgeführt wird (Abb. 5). Mit diesem Vorgehen können den Schülerinnen und Schülern die ausgewählten Umweltfaktoren im Tag- und Nachtrhythmus verdeutlicht werden. Gleichzeitig zur Wissensvermittlung werden wertvolle Kompetenzen in der Beschreibung, Analyse und Interpretation naturwissenschaftlicher Daten mithilfe digitaler Medien vermittelt.

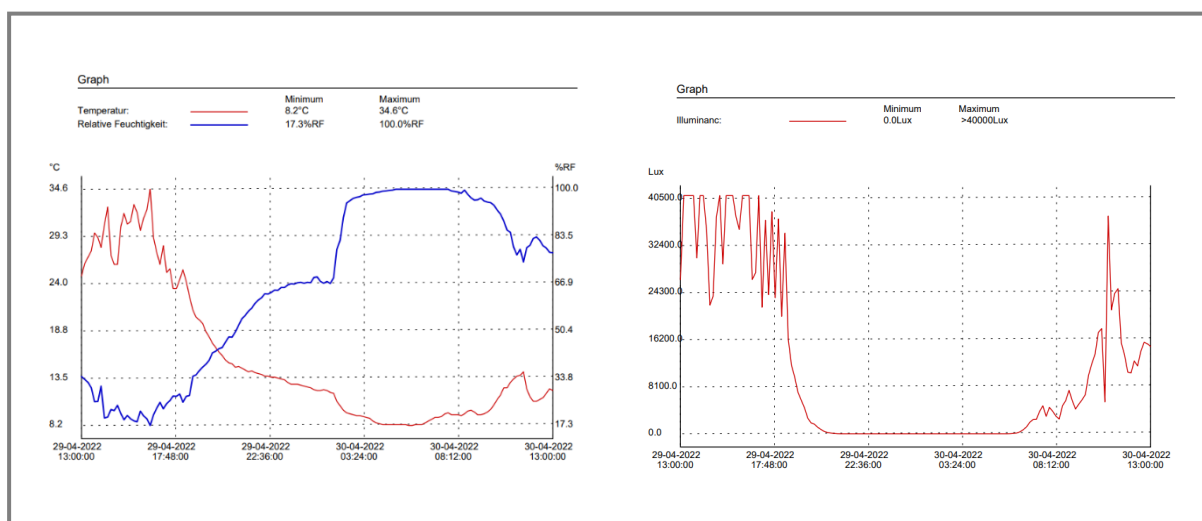


Abbildung 5: Aufzeichnung der Datenlogger von Voltcraft. Links: Aufzeichnung von Temperatur (°C) und Feuchtigkeit (% Relative Feuchtigkeit) im Weinberg über 24 Stunden vom 29.04.2022 bis 30.04.2022. Rechts: Aufzeichnung der Lichtintensität (Lux) im Weinberg über 24 Stunden vom 29.04.2022 bis 30.04.2022. Daten: R. Schiffmann

Ergebnisse vergleichen

Um zu erkennen, dass sich Weinreben unterschiedlicher Lagen (Lage = geographischer Anbauort) unterschiedlich entwickeln, bietet sich die Methode des Vergleichs an. Langzeitbeobachtungen in unterschiedlichen Weinbergslagen zeigen zeitlich versetzte Entwicklungsstadien bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf und unterstreichen die Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung von den herrschenden Umweltbedingungen.

In unserem Material wird die Langzeitbeobachtung zum Zweck des direkten Vergleichs in zwei Weinbergen unterschiedlicher Lagen in Rheinhessen durchgeführt. Die folgenden Grafiken stellen den Verlauf der Lufttemperatur und der Bodentemperatur im Zeitraum der Langzeitbeobachtung (April bis Juni) dar (Abb. 6, Material 4).

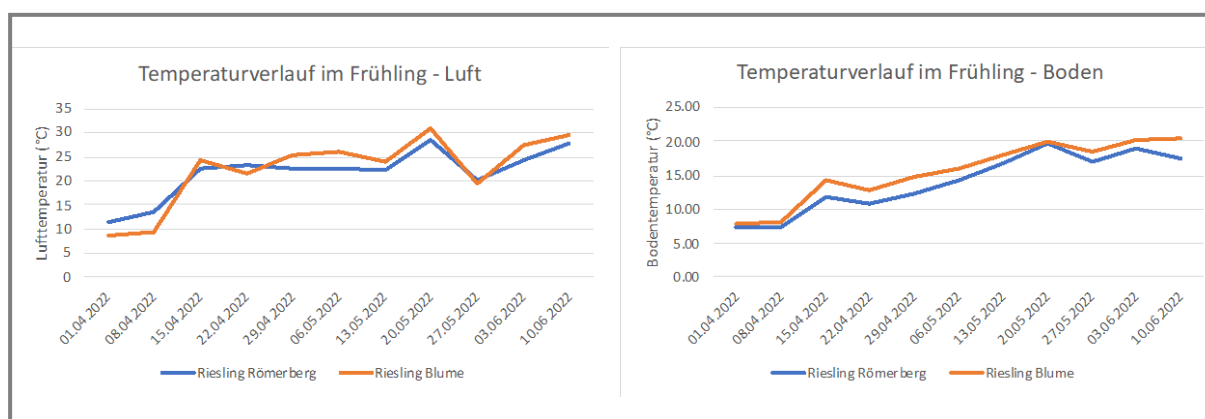


Abbildung 6: Ergebnisse der Langzeitbeobachtung in der Gegenüberstellung. Links: Lufttemperatur im Weinberg „Riesling Römerberg“ und im Weinberg „Riesling Blume“ in Rheinhessen im Verlauf. Rechts: Bodentemperatur im Weinberg „Riesling Römerberg“ und im Weinberg „Riesling Blume“ in Rheinhessen im Verlauf. Grafiken erstellt im Programm Excel von R. Schiffmann

Im Hinblick auf die Entwicklung der Weinreben in der Vegetationsperiode zeigten sich zwischen den beiden Weinbergen große Unterschiede. Durch die im Durchschnitt höheren Boden- und Luft-



Abbildung 7: Links: Knospenaufbruch mit ersten erkennbaren Blattanlagen im Weinberg „Riesling Blume“. Rechts: Wolle-Stadium im Weinberg „Riesling Römerberg“. Beide Aufnahmen vom 15.04.2022. Durch Dokumentation mit Fotoaufnahmen zum selben Zeitpunkt werden Unterschiede besonders deutlich. Fotos: R. Schiffmann

temperaturen in Weinberg „Riesling Blume“ wurden die beobachteten phänologischen Entwicklungsstadien in diesem Weinberg teilweise um zwei Wochen früher erreicht. Der Austrieb im Weinberg „Riesling Blume“ trat ungefähr eine Woche früher ein als der Austrieb im Weinberg „Riesling Römerberg“. Das Knospenschwellen war schon am 01.04.2022 an den Weinreben der „Riesling Blume“ abgeschlossen und das Wollestadium setzte langsam ein, während es im „Riesling Römerberg“ erst am 08.04.2022 zum Anschwellen der Knospen kam. Daher zeigten sich am 15.04.2022 schon einzelne Blattanlagen an den Knospen in der „Riesling Blume“, während sich im „Riesling Römerberg“ die Knospen noch im Wollestadium befanden (Abb. 7).

Die Entwicklung der Blüten findet überwiegend im Juni statt, wie auch die Erkundung der beiden Weinberge zeigt. Unterschiede zeigen sich deutlich bei der Betrachtung der Blüte bzw. den Fruchtansätzen beider Weinberge am 10.06.2022. Während zu diesem Zeitpunkt in der „Riesling Blume“ die Fruchtansätze bereits entwickelt waren, blühten die Reben im „Riesling Römerberg“ noch. Dies deutet darauf hin, dass nicht nur die Maximaltemperaturen in der Luft entscheidend für die Entwicklung der Blüten in den beiden Weinbergen ist, sondern auch ein gleichbleibend hohes Niveau der Lufttemperaturen insbesondere in der Nacht.

Insgesamt lässt sich auf der Grundlage dieser Untersuchungen schließen, dass aufgrund des unterschiedlichen Standortes des Weinbergs „Riesling Blume“ und des Weinbergs „Riesling Römerberg“ wesentliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Beeren bestehen. Der kontinuierlich steigende Trend in den Mostgewichten Beeren aus „Riesling Blume“ über die Jahre deutet darauf hin, dass sich in diesem Mikroklima des Weinbergs die klimatischen Bedingungen verändert haben müssen und sich auf die Entwicklung der Beeren und deren Zusammensetzung ausgewirkt haben (Schultz et al., 2005, S. 15; Molitor & Junk, 2019, S. 414).

Unterschiede in der Komposition der Weine, die aus den beiden Weinbergen gewonnen werden, sind auch in den höheren Werten des tatsächlichen Alkoholgehalts (% vol) und der niedrigeren Säurekonzentration (g/l) des Weines „Riesling Blume trocken“ im Jahr 2020 zu erkennen. Dies deutet erneut auf eine höhere Fotosyntheseleistung der Weinreben in der „Riesling Blume“ hin, im Zuge derer die Zuckerkonzentration der Beeren in der letzten Reifephase steigt und die Säurekonzentration sinkt (Kliwer, 1946, S. 875; Sweetman et al., 2014, S. 5980).

3 Die Folgen des Klimawandels für die Entwicklung der Weinrebe

In Abhängigkeit der steigenden Temperaturen im Zuge des Klimawandels verschieben sich die Entwicklungsstadien der Weinrebe im Jahresverlauf hin zu früheren Zeitpunkten.

Die drei maßgeblichen Zeitpunkte des Austriebs sowie des Blühbeginns und der Reife können durch die Temperaturerhöhungen von einem Jahr zum nächsten um mehr als ein Monat variieren (Keller, 2021, S. 62). Die Verschiebung der phänologischen Entwicklungsstadien wird somit zu einer sehr markanten Folge des menschengemachten Klimawandels. Die genannten Zeitpunkte werden sich in Zukunft noch weiter nach vorne verschieben, für den Austrieb wird für das Jahr 2100 ein Zeitpunkt um 3 bis 18 Tagen früher vorhergesagt. Dies hat wiederum zur Folge, dass sich die Reife der Beeren in die heißen Sommermonate verschiebt, was zu höheren Zuckerkonzentrationen in

den Beeren führt und damit in den gemäßigten Breiten zu einer höheren Weinqualität (Duchêne et al., 2010). Auf der anderen Seite liegt ein Nachteil dieser Verschiebung in der Anfälligkeit der Weinbeeren für Sonnenbrand, ein Schadbild, das durch eine Kombination von hohen Temperaturen, hoher UV-Strahlung und geringer Wasserverfügbarkeit in der letzten Reifephase immer häufiger auftritt (Gambetta et al., 2021).

In Material 5 bearbeiten Schülerinnen und Schüler im Anschluss an die Langzeitbeobachtung Aufgabenstellungen, die sich auf die Folgen des Klimawandels für die Weinrebe beziehen. Die Schülerinnen und Schüler erkennen die langfristige Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperaturen in der Region „Rheinhessen“ und können sowohl Vor- als auch Nachteile der Temperaturerhöhung für Winzerinnen und Winzer benennen und begründen.

4 Zusammenfassung

Die Methode der Langzeitbeobachtung eignet sich für die Erkundung des Agrarökosystems Weinberg als außerschulsicher Lernort. Schülerinnen und Schüler haben die Möglichkeit, Daten im Weinberg zu sammeln und diese im Anschluss zu ordnen, zu analysieren und zu interpretieren. Durch die originale Begegnung im Weinberg und das selbständige Sammeln der Daten erkennen die Schülerinnen und Schüler eigenständig die Entwicklung der einzelnen Pflanzenorgane aus einer einzigen Knospe heraus und können die Entwicklung der ihnen aus dem Alltag bekannten Weintrauben aus den Blütenständen rekonstruieren. Vor dem Hintergrund der herrschenden Umweltbedingungen und der im Zuge des Klimawandels steigenden Temperaturen lassen sich die Daten aus dem Freiland im Unterricht diskutieren.

5 Literaturverzeichnis

- Alleweldt, G. & Hofäcker, W. (1975): Einfluß von Umweltfaktoren auf Austrieb, Blüte, Fruchtbarkeit und Triebwachstum bei der Rebe. *Vitis*, 14, S. 103-115.
- Bauer, K. (2008): Weinbau, 8. Aufl., Wien: Österr. Agrarverl.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021): Ertragslage Garten- und Weinbau 2021. Daten und Analysen, Bonn: BMEL.
- Duchêne, E., Huard, F., Dumas, V., Schneider, C., Merdinoglu, D. (2010): The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Research*, 41, S. 193-204.
- Gambetta, J.M., Holzapfel, B.P., Stoll, M., Friedel, M. 2021: Sunburn in Grapes. A Review. *Frontiers in Plant Science*. 11/2021. doi:10.3389/fpls.2020.604591.

- Gropengießer, H. (2013): Arbeitsweisen im Biologieunterricht. Beobachten. IN: Harald Gropengießer, Ulrich Kattmann und Dirk Krüger (Hrsg.): Biologiedidaktik in Übersichten, 3. Aufl., Seelze. Aulis Verlag. S. 273-277.
- Hoppmann, D. (2010): Terroir. Wetter, Klima und Boden im Weinbau. Stuttgart. Ulmer Verlag.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022): Climate Change 2022. Impacts, Adaption and Vulnerability. Summary for Policymakers. Cambridge University Press.
- Keller, M. (2021): The Science of Grapevines. Third Edition. Elsevier.
- Kliwer, M. (1964): Influence of Environment on Metabolism of Organic Acids and Carbohydrates in *Vitis vinifera*. I. Temperature. *Plant Physiology*, 39 (6), S. 869-880.
- Mayer, J. (2018): Lernorte für den Biologieunterricht. Freiland, Umweltzentren und Schülerlabore. In: Harald Gropengießer, Ute Harms und Ulrich Kattmann (Hrsg.), Biologie Fachdidaktik, 11. Auflage, Seelze. Aulis Verlag, S. 429-440.
- Molitor, D. & Junk, J. (2019): Climate change is implicating a two-fold impact on air temperature increase in the ripening period under the conditions of the Luxembourgish grapegrowing region. *OENO One*, 53 (3), S. 409-422.
- Müller, E. (2019): Weinbau, Bd. 1, 4. Aufl., Bad Kreuznach. Ulmer Verlag.
- OIV – Internationale Organisation für Rebe und Wein (2021): State of the World Viticultural Sector in 2020. Paris. OIV.
- Schultz, H. R., Hoppmann, D., Hofmann, M. (2005): Der Einfluss klimatischer Veränderungen auf die phänologische Entwicklung der Rebe, die Sorteneignung sowie Mostgewicht und Säurestruktur der Trauben. *Beitrag zum Integrierten Klimaschutzprogramm des Landes Hessen (InKlim 2012) des Fachgebiets Weinbau der Forschungsanstalt Geisenheim*.
- Sweetman, C., Sadras, V. O., Hancock, R. D., Soole, K. L., Ford, C. M. (2014): Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of Experimental Botany*, 56 (20), S. 5975-5988.
- Van Leeuwen, C. & Gerard S. (2006): The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17 (1), S. 1-10.