

Der prognostizierte Temperaturanstieg hat eine Verschiebung der Rebentwicklung zur Folge, welche sich wiederum besonders auf die Temperaturverhältnisse in der Reifephase auswirkt.

Foto: Gerd Altmann/Pixabay

# Temperaturanstieg in der Reifephase

## Folgen des Klimawandels

In der Zukunft ist ein weiterer Temperaturanstieg in der Vegetationsperiode in den Weinbauregionen Mitteleuropas zu erwarten. Da die Rebe stark auf Änderungen der Temperaturbedingungen reagiert, sind deutliche Auswirkungen auf die Rebphänologie, die Traubenreife und die Weintypizität die Folge. Daniel Molitor und Jürgen Junk, beide vom Luxembourg Institute of Science and Technology, zeigen in einer Studie die phänologische Entwicklung sowie die Temperaturbedingungen in den verschiedenen Phänophasen, unter sich ändernden klimatischen Bedingungen.

Die Basis der Untersuchungen der Studie vom Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) stellten Zeitserien der Tagesmitteltemperaturen im Zeitraum 1970 bis 2100 für das Luxemburgische Weinbaugebiet dar. Es wurde ein Ensemble von zehn regionalen Klimaprojektionen (basierend auf dem A1B Emissionsszenario) verwendet. Die Klimaprojektionen dienten als Antriebsdaten für das Austriebsmodell gemäß Molitor et al. (2014a) sowie das temperatursummenbasierte, hochaufgelöste Phänologiemodell nach Molitor et al. (2014b).

Basierend auf diesen Modellen wurden für die Rebsorten Riesling, Müller-Thurgau und Spätburgunder die Tage des Jahres (DOY – Day of the Year) des Erreichens der phänologischen Stadien nach BBCH-

Code (Lorenz et al., 1994) zwischen Austrieb und Erntereife, sowie die Länge der einzelnen Phänophasen berechnet.

Eine Phänophase ist definiert als der Zeitraum zwischen dem DOY des Erreichens eines BBCH-Stadiums und dem Erreichen des Folgestadiums. Für alle drei Rebsorten wurden die durchschnittlichen Daten (30 Jahre \* 10 Ensemble-Mitglieder) des Erreichens aller 27 Stadien in den folgenden Zeitfenstern bestimmt:

- Referenzperiode: „Vergangenheit“ von 1971 bis 1990
  - „Gegenwart“ von 2001 bis 2030
  - „Nahe Zukunft“ von 2031 bis 2060
  - „Ferne Zukunft“ von 2061 bis 2090
- Weiterhin wurden die folgenden Mitteltemperaturen (jeweils für zehn regionale Klimaprojektionen) ermittelt:

- Jahres- und Monatsmitteltemperaturen
- Vorblüte-Temperatur (Austrieb BBCH 09 bis Blütebeginn BBCH 61)
- Blüte-Temperatur (Blütebeginn BBCH 61 bis Blüteende BBCH 69)
- Nachblüte-Temperatur (Blüteende BBCH 69 bis Reifebeginn BBCH 81)
- Reife-Temperatur (Reifebeginn BBCH 81 bis Erntereife BBCH 89)

Die Datensätze für die Zeitfenster „Gegenwart“, „Nahe Zukunft“ und „Ferne Zukunft“ wurden auf signifikante Unterschiede gegenüber der Referenzperiode getestet (nicht-parametrischem Mann-Whitney U-Test [ $p \leq 0,001$ ]).

Abbildung 1 zeigt die gemessenen Jahresmitteltemperaturen am Standort Remich (Datenquelle: Weinbauinstitut, Remich) sowie das Multi-Modell-Mittel der zehn Ensemble-Mitglieder, welche einen signifikanten Anstieg der Jahresmitteltemperaturen in der Zukunft prognostizieren.

## Projizierte Eintrittstermine der Entwicklungsstadien

Die Tage des Jahres (DOY) des Erreichens aller phänologischen Stadien liegen laut Berechnungen für die „Gegenwart“, „Nahe Zukunft“ und „Ferne Zukunft“ bei allen Stadien früher als beim Zeitfenster „Vergangenheit“ (Tab. 1). Der Grad der zeitlichen Verfrühung vergrößert sich kontinuierlich von der „Gegenwart“ zur „Fernen Zukunft“. Weiterhin zeigten die Untersu-

chungen, dass die Gesamtlänge der Vegetationsperiode BBCH 09 bis BBCH 89 sich in der Zukunft verkürzen wird.

Der projizierte Termin des Austriebs liegt drei (Gegenwart), neun (Nahe Zukunft) beziehungsweise 14 Tage (Ferne Zukunft) früher als in der Referenzperiode. Die Auswirkungen des früheren Austriebs auf die Spätfrostgefährdung werden in der Literatur kontrovers diskutiert: Während Analysen von Molitor et al. (2014a) andeuten, dass das Spätfrostisiko in der Zukunft eher zurückgehen wird, zeigen andere Studien inkonsistente Ergebnisse oder deuten ein steigendes Risiko an. Diese abweichenden Schlussfolgerungen sind möglicherweise mit den zugrundeliegenden Austriebsmodellen zu erklären.

Die bereits zum Austrieb (BBCH 09) bestehende zeitliche Differenz zur Referenzperiode bleibt relativ konstant bis zum Beginn der Reifeperiode (Tab. 1). Entsprechend werden für das Zeitfenster 2001 bis 2030 im Vergleich zur Referenzperiode keine signifikanten Änderungen in der Länge der Phänophasen zwischen BBCH 09 und BBCH 77 errechnet. Das heißt, die Verschiebung der phänologischen Phasen in Richtung des Jahresbeginns ist vor allem im früheren Austrieb begründet.

**Die Rebentwicklung vom Austrieb bis zum Reifebeginn bleibt gleich**

Für den praktischen Weinbau bedeutet die relative stabile Länge der phänologischen Stadien vor Reifebeginn, dass die zeitliche Verteilung der Arbeitsbelastung auch in der Zukunft relativ konstant bleiben wird. Da die phänologische Entwicklung in dieser Phase sich nicht beschleunigen wird, bedeutet dies, dass zum Beispiel Spritzintervalle und die Länge der

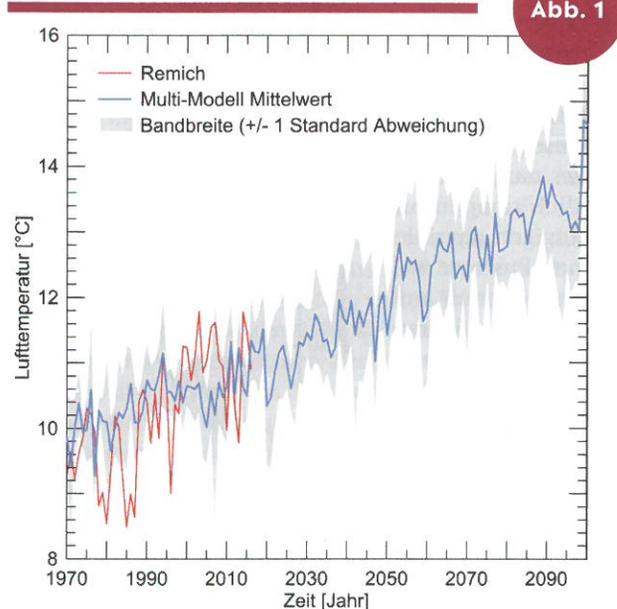
Zeitfenster für Laubarbeiten voraussichtlich nicht systematisch beeinflusst werden.

Die Erklärung für diese zunächst überraschenden Effekte (relativ konstante Phänophasenlängen trotz generellem Temperaturanstieg) ist im Verlauf der mittleren Tagesmitteltemperaturen der vier Zeitfenster zu finden: Abbildung 2 zeigt, dass der Temperaturanstieg gegenüber der Referenzperiode im Verlauf des Jahres relativ konstant ist (links). Trägt man jedoch die Tagesmitteltemperatur relativ zum Tag des Austriebs auf, so zeigt sich, dass die Temperaturbedingungen in der Phase rund um den Austrieb (BBCH 09) weitgehend unverändert bleiben (Abb. 2; rechts). Diese vergleichbaren Temperaturen in der Austriebsphase führen dazu, dass sich die Länge der Phänophasen hier kaum ändern, sondern lediglich die Entwicklung in Richtung des Beginn des Jahres verschoben wird.

Im Gegensatz hierzu zeigen die Berechnungen eine signifikante Verkürzung der Phänophase 85, dem Zeitraum zwischen BBCH 85 und BBCH 89 (Tab. 1).

**Temperaturbedingungen in den Phänophasen**

Die projizierten Jahres- und Monatsmitteltemperaturen (Ausnahmen: Januar,



Beobachtete (rote Linie) sowie projizierte Jahresmitteltemperaturen (A1B Emissionsszenario; Multi-Modell-Mittelwerte aus zehn Ensemble-basierten regionalen Klimamodellen; blaue Linie) für den Standort Remich im Zeitraum 1970 bis 2100. Die Streuung zwischen den Ensemble-Mitgliedern (+/- 1 Standardabweichung) ist grau hinterlegt.

Mai, Oktober, Dezember) liegen bereits in der Gegenwart signifikant höher als in der Referenzperiode. In der „Nahen Zukunft“ sowie in der „Fernen Zukunft“ werden den vorliegenden Berechnungen nach die mittlere Jahres- sowie alle Monatstemperaturen höher sein als in der Referenzperiode. Dabei liegt der berechnete Anstieg der Jahresmitteltemperatur im Vergleich zur Referenzperiode bei 0,5 °C (Gegenwart), 1,5 °C (Nahe Zukunft) und 2,6 °C (Ferne Zukunft).

In Folge der Verfrühung des Austriebs termins in Richtung des früheren, meist kühleren Frühjahres, zeigen die berechneten Vorblüte-Temperaturen keine sig-

Tab. 1: Durchschnittliche\* Termine (Tag des Jahres) des Erreichens der phänologischen Stadien im Riesling in den verschiedenen 30-jährigen Zeitscheiben

BBCH Stadium	Vergangenheit (1971 bis 2000)		Gegenwart (2001 bis 2030)			Nahe Zukunft (2031 bis 2060)			Ferne Zukunft (2061 bis 2090)		
	DOY	Datum	DOY	Datum	Δ	DOY	Datum	Δ	DOY	Datum	Δ
09	116	26. April	112	22. April	-3	107	17. April	-9	102	12. April	-14
15	137	17. Mai	133	13. Mai	-3	128	8. Mai	-9	122	2. Mai	-13
61	168	17. Juni	164	13. Juni	-4	159	8. Juni	-9	152	1. Juni	-14
69	177	26. Juni	173	22. Juni	-4	167	16. Juni	-10	161	10. Juni	-14
77	198	17. Juli	195	14. Juli	-4	189	8. Juli	-10	184	3. Juli	-15
81	234	22. Aug.	230	18. Aug.	-5	224	12. Aug.	-11	206	25. Juli	-16
89	279	6. Okt.	270	27. Sept.	-9	259	16. Sept.	-20	248	5. Sept.	-27

\* 10 Ensemble-basierte regionale Klimawandelprojektionen; DOY = Day of year (Tag des Jahres); Δ = Differenz (Tage) zur Referenzperiode (Vergangenheit; 1971-2000)

nifiktanten Unterschiede zwischen der Referenzperiode und den weiteren Zeitfenstern. In Konsequenz bedeutet dies, dass die hauptsächlich temperaturabhängigen physiologischen Prozesse zwischen Austrieb und Blüte, wie die Differenzierung der Gescheine und die Initiation der Einzelblüten (Keller 2015, Molitor and Keller 2016) trotz steigender Frühjahrstemperaturen voraussichtlich nicht systematisch vom Klimawandel beeinflusst werden.

Dagegen liegen die berechneten Nachblüte- und Reifephase-Temperaturen in der

„Gegenwart“, „Nahen Zukunft“ sowie „Fernen Zukunft“ signifikant über denen der Referenzperiode. Hierbei ist der Anstieg in der Reifephase am stärksten ausgeprägt. Für die Rebsorte Riesling wird ein Temperaturanstieg im Vergleich zur Referenzperiode von 1,3 °C (Gegenwart), 3,2 °C (Nahe Zukunft) und 5,1 °C (Ferne Zukunft) erwartet.

In der „Nahen Zukunft“ liegt der erwartete Temperaturanstieg in der Reifephase beim Riesling 2,1 mal höher (+ 3,2 °C) als der erwartete Anstieg der Temperaturen im Gesamtmonat September (+ 1,5 °C). Dieses Phänomen ist das Ergebnis der Kombination zweier Effekte: der generelle Temperaturanstieg sowie der Shift der Reifephase in Richtung einer früheren, in der Regel wärmeren Phase des Jahres.

### Veränderung der Weintypizität bei Riesling

Dieser ausgeprägte Temperaturanstieg in der Reifephase lässt einen deutlichen Effekt auf die Weintypizität erwarten. So führen höhere Reifetemperaturen unter anderem zu Änderungen im Aromaprofil der erzeugten Weine (Trought et al., 2015) und einem beschleunigten Äpfelsäureabbau (Duchene et al., 2010). Die zu erwartenden höheren Zuckergehalte der Trauben haben höhere Alkoholgehalte im Wein zur Folge. Beide vorgenannten Effekte gefährden die Frische und Leichtigkeit, die besonders für Weißweine aus den

(vormaligen) Cool Climate Weinbaugebieten, wie Mitteleuropa, stilprägend sind.

Um die Typizität einer Weinbauregion zu erhalten, könnten praktische Anpassungsstrategien Maßnahmen zur Reifeverzögerung und damit zum Verschieben der Reifephase in kühlere Perioden des Jahres beinhalten. Dies könnte durch ein Ausweichen auf kühlere Standorte (zum Beispiel aufgrund der Höhenlage oder der Exposition) oder nördlichere Anbauregionen, Rebsorten oder Klone mit einer späteren Reifecharakteristik, reifeverzögernde Unterlagen oder durch spezifische Kulturmaßnahmen inklusive Erziehungssysteme (Molitor et al., 2019), verspätetem Winterschnitt (Friend and Trought, 2007) und eine Anpassung der Laubwandpflege (Parker et al., 2016; Stoll et al., 2013; Trought et al., 2015) realisiert werden.

### Fazit

Gemäß vorliegender Analysen wird unter den Bedingungen des luxemburgischen Moseltals jede einzelne der 27 phänologischen Entwicklungsstadien nach BBCH-Code in der Zukunft früher im Jahr eintreten als in der Vergangenheit. Während signifikante Änderungen in der Länge der Phänophasen in den frühen Entwicklungsstadien absent sind, verkürzt sich nach vorliegenden Projektionen die Länge der Reifephase signifikant.

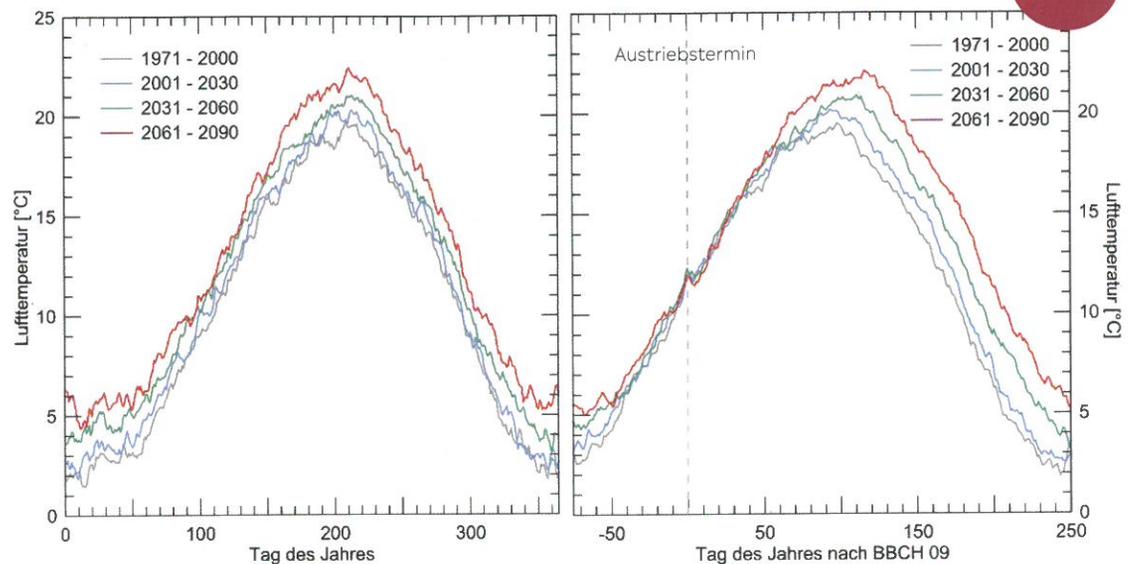
Aufgrund des projizierten generellen Temperaturanstieges und des Verschie-

bens des Zeitraums der Reifephase in Richtung einer früheren (und damit in der Regel wärmeren) Phase des Jahres, impliziert der Klimawandel einen zweifachen Anstieg der Temperaturen in der Reifephase. Als Konsequenz ist der zu erwartende Anstieg der Temperaturen in der Reifephase („Ferne Zukunft“ im Vergleich zur Referenzperiode in der Rebsorte Riesling: + 5.1 °C) deutlich stärker ausgeprägt als im Jahresmittel (+ 2.6 °C). Dieser signifikante Anstieg der Reife-Temperaturen lässt eine Veränderung der Weintypizität der traditionellen Weinbauregionen erwarten und erfordert voraussichtlich spezifische Anpassungsmaßnahmen. ●

### Weitere Ergebnisse

Die vorliegenden Ausführungen fokussieren sich auf die Ergebnisse bei der Rebsorte Riesling. Ergebnisse für die Rebsorten Müller-Thurgau und Spätburgunder sowie Informationen zum Aufbau der Modelle und den Berechnungen sind der Originalveröffentlichung (Molitor and Junk, 2019) zu entnehmen, welche unter <https://oeno-one.eu/article/view/2329> kostenfrei abrufbar ist. Das Literaturverzeichnis kann beim Autor erfragt werden: daniel.molitor@list.lu

Abb. 2



Tagesmitteltemperaturen in den vier Zeitfenstern (Vergangenheit: 1971-2000; Gegenwart: 2001-2030; Nahe Zukunft: 2031-2060; Ferne Zukunft: 2061-2090), relativ zum 01.01. (Tag des Jahres - DOY; links) oder relativ zum Austriebstermin (BBCH 09; rechts).