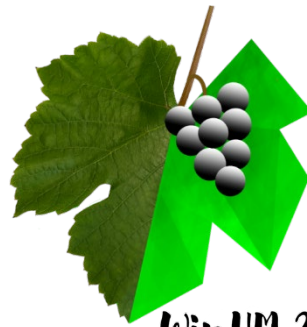


JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ



Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU)
Hochschule Geisenheim University (HGU)



WinUM 2.0

WinUM 2.0 – Die Folgen des Klimawandels im virtuellen Weinberg vermitteln

Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt
mit Projektbeginn 01.06.2021 und Laufzeit von 3 Jahren
gefördert unter dem Az: 37034/01-41 von der
Deutsche Bundesstiftung Umwelt



von

Daniel Dreesmann, Liane Becker (JGU)
Katrin Kahlen, Benjamin Spehle (HGU)

Mainz und Geisenheim – Januar 2025

Projektteam WinUM 2.0

Dr. Liane Becker, Prof. Dr. Daniel Dreesmann
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Didaktik der Biologie
Institut für Organismische und Molekulare Evolutionsbiologie (iomE)
D-55128 Mainz

Benjamin Spehle M.Sc., Prof. Dr. Katrin Kahlen
Hochschule Geisenheim University
Institut für Modellierung und Systemanalyse (MS)
D-65366 Geisenheim

Inhalt

Abkürzungen	4
Zusammenfassung	5
1 Einführung/Motivation	6
2 Durchführung des Projektes	8
3 Ergebnisse	9
3.1. Entwicklung des WinUM 2.0-Simulationstools	9
3.1.1. Pflanzenmodell <i>Virtueller Riesling</i>	9
3.1.2. Modellierungsplattform <i>GroIMP</i>	10
3.1.3. Entwicklung eines Prototyps	11
3.1.4. Vollversion des <i>WinUM 2.0</i> -Simulationstools	14
3.1.5. Online-Version des <i>WinUM 2.0</i> -Simulationstools	26
3.2. Modulentwicklung und Lehrplanorientierung	27
3.2.1. Entwicklung der Basis- und Aufbaumodule für den Unterricht	27
3.2.3. Optimierung und Weiterentwicklung	31
4 Veröffentlichungen, Vorträge, Lehre	32
5 Fazit & Ausblick	35
Literaturverzeichnis	36
Abbildungsverzeichnis	38
Tabellenverzeichnis	40
Anhang	41

Abkürzungen

BBCH-Code	Skala für morphologisches Entwicklungsstadium einer Pflanze (Akronym: B iologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bun -dessortenamt und CH emische Industrie)
CO ₂	Kohlendioxid
DOY	Tag im Jahr (day of year)
L-System	Lindenmayer-System
m	Meter
m ²	Quadratmeter
shiny	R-Paket für Entwicklung graphischer Benutzeroberfläche
<i>ViRi</i>	Kurzform für „ <i>Virtueller Riesling</i> “: Modell für Pflanzenarchitektur von Riesling-Reben
<i>WinUM 2.0</i>	Kurzform des DBU Projekttitels „ <i>Die Folgen des Klimawandels im virtuellen Weinberg vermitteln</i> “
WinUM ³	Kurzform Vorgängerprojekt „ <i>Wein und Weinberg im naturwissenschaftlichen Unterricht – Material, Methoden, Medien</i> “ der AG Didaktik der Biologie, JGU Mainz

Zusammenfassung

Die Kooperationspartnerinnen und -partner des Projektes *WinUM 2.0* haben es sich zum Ziel gesetzt, gemeinsam die *WinUM 2.0*-Simulation als neues digitales Tool für den Biologieunterricht der Sekundarstufe II zu entwickeln. Die Simulation zeigt Wachstum und Entwicklung der Weinrebe *Vitis vinifera* unter sich verändernden klimatischen Verhältnissen und wurde auf Grundlage des virtuellen Pflanzenmodells *Virtual Riesling* schrittweise im Projekt entwickelt und in der Praxis erprobt. Die Entwicklung der Simulation wurde in einem regelmäßigen Austausch der Kooperationspartner*innen vollzogen, um die Expertise aus zwei unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Arbeitsbereichen mit ihren jeweiligen Vorerfahrungen zielführend zu nutzen.

Um das neu entwickelte Tool sinnvoll in den Unterricht zu integrieren, wurde ein umfassendes, modular aufgebautes Unterrichtskonzept entwickelt, in welchem im Rahmen von vier forschungsnahen und problemorientierten Unterrichtsmodulen der Weinberg als Agrarökosystem eingeführt wird und die Folgen des Klimawandels exemplarisch vermittelt werden. Der Weinberg als Ökosystem und die Weinrebe als pflanzlicher Organismus sind ausgezeichnete Modelle, um die Folgen des Klimawandels auf vielfältige Weise unmittelbar sichtbar zu machen. Insbesondere steigende Jahresdurchschnittstemperaturen, veränderte Niederschlagsfrequenzen und ein erhöhtes Schädlingsaufkommen sind Folgen des Klimawandels, die die Branche Weinbau vor Herausforderungen stellen und die Diskussion über eine nachhaltige und zukunftsfähige Landwirtschaft eröffnen.

Für einen zeitgemäßen und forschungsnahen Biologieunterricht sind insbesondere handlungsorientierte Arbeitsweisen sowie der Einsatz digitaler Medien zur Vermittlung der Inhalte geboten. Alle vier entwickelten Unterrichtsmodule von *WinUM 2.0* wurden im Biologieunterricht der Sekundarstufe II in Rheinland-Pfalz erprobt und evaluiert. Die Evaluation hat gezeigt, dass Schülerinnen und Schüler hohe Kenntnisse im Umgang mit technischen Tools haben und den Einsatz dieser Tools im Schulunterricht begrüßen. Des Weiteren verfügen Schülerinnen und Schüler über ein solides Vorwissen zu Modellen und Simulationen, aber über ein niedriges botanisches Vorwissen. Themen von gesellschaftlichem Interesse wie der Klimawandel motivieren zu einer Auseinandersetzung mit diesem und eine Orientierung des Biologieunterrichts an der Forschung sind besonders wichtig.

Die neu entwickelte und erprobte *WinUM 2.0*-Simulation steht neben einer auf Laptops vorinstallierten Version auch online zur Verfügung, um ohne größeren logistischen Aufwand in unterschiedliche Unterrichtskonzepte integriert werden zu können. Aufgrund der Forschungsnähe und der ökologischen sowie ökonomischen Relevanz der Thematik Klimawandel und Weinbau eignet sich das Tool neben dem Einsatz im Biologieunterricht perspektivisch ebenso für das fächerübergreifende Unterrichten sowie die Lehre an Berufsschulen und Hochschulen.

1 Einführung/Motivation

Der Weinberg als Ökosystem und die Weinrebe *Vitis vinifera* sind ausgezeichnete Modelle, um die Folgen des Klimawandels auf vielfältige Weise und unter Berücksichtigung der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) im Unterricht unmittelbar sichtbar zu machen. Nicht nur in den Anbauregionen des Rhein-Main-Gebietes, wo Weinbau eine hohe Alltagsrelevanz hat, können Einflüsse des Klimawandels auf Ebene des Ökosystems und auf Ebene der Weinrebe als Modellpflanze thematisiert werden. Bezüge zu biologischen und landwirtschaftlichen Themen sind vielfältig und berühren neben ökologischen und biologischen Aspekten auch soziale und ökonomische Komponenten. Modellierungen und Computersimulationen zu möglichen Veränderungen im Ökosystem Weinberg als Folgen des Klimawandels können hierbei entsprechende Lösungsoptionen aufzeigen. In Kombination mit Echtbegegnungen im Weinberg als außerschulischem Lernort lassen sich auf diese Weise auch aktuelle Forschungsergebnisse berücksichtigen.

In diesem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben soll durch die Entwicklung von schultauglichen Computersimulationen zum virtuellen Weinberg in Verbindung mit passgenauen Unterrichtsmedien für den Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe ein neuer Ansatz zur schulischen Vermittlung des Themas Klimawandel etabliert werden, der, ausgehend von heute, einen wissenschaftlich begründeten Blick in die Zukunft wirft und unter Verwendung von fachlichen Zusammenhängen (Ökologie, Physiologie) einen multiperspektivischen Zugang im Biologieunterricht ermöglicht; dieser soll durch fächerverbindende Ansätze (Erdkunde, Politik, Mathematik, Ethik) sinnvoll erweiterbar sein.

Dabei wird aus mehreren Gründen der Schwerpunkt der abiotischen Umweltfaktoren der Simulationen auf Temperatur gelegt, weil diese von Schülerinnen und Schülern unter Verwendung entsprechender Messtechnik einfach im Ökosystem Weinberg nachvollzogen werden kann. Zudem gibt es für den der *WinUM 2.0*-Simulation zugrunde liegenden Standort Geisenheim Klimadaten, die bis in das Ende des 19. Jahrhunderts zurückreichen. Schließlich wird im Biologieunterricht neben ökologischen Aspekten auch der Einfluss von Umgebungstemperaturen auf pflanzenphysiologische Prozesse behandelt.

In das Projekt *WinUM 2.0* sind Erfahrungen aus einem vorherigen Projekt mit dem Titel „WinUM³: Wein und Weinberg im naturwissenschaftlichen Unterricht – Material, Methoden, Medien“ eingeflossen (Albedyll & Dreesmann 2017, Dreesmann 2017). Dieses wendet sich an den Biologieunterricht der Sekundarstufe I. Im Rahmen des Projektes und der darin entstandenen Module lernten die Schülerinnen und Schüler den Weinberg als Lebensraum vieler Lebewesen kennen, befassten sich mit den Aufgaben, die die Pflege eines landwirtschaftlichen Betriebs mit sich bringt, und haben die biochemischen Prozesse der Weinproduktion erarbeitet.

Mithilfe unterschiedlicher biologischer Arbeitsweisen begegneten sie dem Organismus Weinrebe und untersuchten seine Lebensweise im Ökosystem Weinberg (Albedyll et al. 2017a, 2017b).

Das Projekt *WinUM 2.0* ist modular aufgebaut und umfasst ein Basismodul, das Grundlagen zur Biologie der Weinrebe und dem Ökosystem Weinberg vermittelt („Ökologiemodul“), und zwei weitere Aufbaumodulen, die Experimente zu den Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Pflanzen, konkret Weinstöcken im Kursraum („Klimamodul“) bzw. am außerschulischen Lernort Weinberg („Exkursionsmodul“) beinhalten. Das Simulationsmodul, in dessen Zentrum die *WinUM 2.0-Simulation* mit ihrem virtuellen Weinberg steht, kann im Anschluss durchgeführt werden. Die Module sind für den Biologieunterricht der Oberstufe konzipiert und können im Lehrplan Biologie Rheinland-Pfalz optimal in das Leitthema 4 „Lebewesen in ihrer Umwelt“ eingeordnet werden. Im Kerncurriculum Biologie der gymnasialen Oberstufe in Hessen ist der Einsatz der vier entwickelten *WinUM 2.0*-Projektmodule im Kurshalbjahr Q2 „Ökologische und stoffwechselphysiologische Zusammenhänge“ möglich. Durch das Arbeiten im virtuellen Weinberg erlernen Schülerinnen und Schüler zudem den fachgerechten Umgang mit dem digitalen Medium Computersimulation, generieren selbständig Daten ausgehend von einer Problemstellung und vergleichen diese Daten anschließend miteinander. Auf Basis der Datenauswertung können die Ergebnisse in den Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel gesetzt und zeitgemäße ökologische Fragestellungen beantwortet und reflektiert werden.

2 Durchführung des Projektes

Um das Projektziel zu erreichen, wurden die Projektmodule und digitalen Werkzeuge in einem strukturierten Prozess entwickelt und erprobt. Zunächst erfolgte im Rahmen von Arbeitspaket 1 die Planung und inhaltliche Entwicklung der Basis- und Aufbaumodule, die als Grundlage für die weiteren pädagogischen Konzepte dienten. Diese werden im Teilkapitel 3.2 ausführlich beschrieben. Im Anschluss wurden in Arbeitspaket 2 geeignete fachliche Methoden ausgewählt und die Basis- und Aufbaumodule in einer Pilotphase an einem Gymnasium erprobt und evaluiert. Arbeitspaket 3 widmete sich der Erarbeitung von Methoden zur Nutzung des Modells *Virtueller Riesling (ViRi)* und der Simulationssoftware *GroIMP*, um Schülern den Umgang mit diesen Tools zu ermöglichen. Im Anschluss wurde im Arbeitspaket 4 ein Prototyp einer benutzerfreundlichen grafischen Benutzeroberfläche (GUI) mithilfe der *Shiny* App entwickelt, und es entstand das Basismodul "Simulationen – Chancen und Grenzen", das den Schülern die Möglichkeiten und Einschränkungen von Simulationen nahebringen sollte. Für die erste Haupterprobung wurden in Arbeitspaket 5 das Basismodul und ein erstes Aufbaumodul vorbereitet, die im zweiten Schulhalbjahr 2021/2022 getestet wurden. In Arbeitspaket 6 fand die erste schulische Haupterprobung in fünf Lerngruppen unterschiedlicher Schulformen statt, begleitet von einer Evaluation zur Untersuchung der Wirksamkeit und Eignung der Materialien. Nach der ersten Haupterprobung wurden die Ergebnisse der Evaluation in Arbeitspaket 7 ausgewertet, die Materialien überarbeitet und Schul-Laptops für Lehrerworkshops vorbereitet. Im Zuge von Arbeitspaket 8 erfolgte die Vorbereitung auf die zweite schulische Haupterprobung, einschließlich eines Workshops für Lehrkräfte zur Einarbeitung in die optimierten Materialien. Arbeitspaket 9 konzentrierte sich auf die Anpassung und mögliche Erweiterung der Computersimulationen und der Applikation für die zweite Erprobung. Abschließend fand im Rahmen von Arbeitspaket 10 die zweite schulische Haupterprobung in verschiedenen Schulformen statt, begleitet von einer weiteren Evaluation zur Überprüfung der Module. Dieser schrittweise und evaluative Ansatz ermöglichte es, die entwickelten Materialien kontinuierlich zu optimieren und gezielt auf die Bedürfnisse von Schülern und Lehrkräften anzupassen.

Das Projekt wurde entsprechend diesem Plan durchgeführt. Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse werden im folgenden Kapitel (3. Ergebnisse) zusammengefasst. Die Entwicklung der Simulationstools umfasst die Grundlagen samt Erarbeitung des Prototyps, sowie als Ergebnis zwei Versionen des *WinUM 2.0*-Simulationstools: eine Vollversion, die alle entwickelten Features enthält, sowie eine reduzierte Version, die als online-Tool genutzt werden kann. Die entwickelten Projektmodule für den schulischen Einsatz werden dargestellt und ein Handbuch für Lehrkräfte präsentiert, das die fachlichen Grundlagen sowie die methodischen Erklärungen und Arbeitsblätter enthält, damit sie mit ihrer Lerngruppe Computersimulationen im virtuellen Weinberg durchführen können.

3 Ergebnisse

3.1. Entwicklung des *WinUM 2.0*-Simulationstools

Auf der Grundlage des Pflanzenmodells *Virtueller Riesling (ViRi)* wurde eine vereinfachte Benutzeroberfläche für den Einsatz eines virtuellen Weinbergs in der Lehre (Mittel-/Oberstufe Gymnasium) erarbeitet. Die Simulationsergebnisse werden mit der Modellierungsplattform *GroIMP* erzeugt und mit Hilfe einer vereinfachten Benutzeroberfläche gesteuert und dargestellt. Die vereinfachte Benutzeroberfläche wurde mit Hilfe von *R Shiny* programmiert (Abb. 1).



Abbildung 1: Workflow der neuen GUI in Kombination mit der Simulationssoftware „GroIMP“. Übergabe der Eingabe-Parameter (Input) der vereinfachten GUI an die Simulationssoftware GroIMP sowie Import der erzeugten Simulations-Ausgabe (Output) für die Darstellung der Simulationsergebnisse von dem Modell Virtueller Riesling (ViRi) durch die GUI.

3.1.1. Pflanzenmodell *Virtueller Riesling*

Das Modell *Virtueller Riesling* ist ein dynamisches Pflanzenmodell für Riesling Reben, das die Variabilität temperaturabhängiger morphologischer Prozesse, wie z.B. des Austriebs, anhand von Wetterdaten berücksichtigt (Schmidt et al. 2019). *Virtual Riesling* zielt darauf ab, die natürliche Variabilität, die in den Laubwänden typischer Riesling-Weinberge beobachtet wird, so realistisch wie möglich zu simulieren. Es wurde speziell für Simulationsstudien mit Weinbergen entwickelt, die wichtige Variablen des Klimawandels und Praktiken der Bewirtschaftung der Weinberge berücksichtigen. Zu diesen Praktiken gehören Entscheidungen über die

Ausrichtung der Rebzeilen und die Bewirtschaftung der Weinberge, wie z.B. das Entfernen von Blättern, die beide einen großen Einfluss auf die Lichtabsorption und die Qualität der Beeren haben. Das Modell liefert wichtige Erkenntnisse darüber, wie sich Temperaturschwankungen auf die Architektur der Rebstöcke auswirken (Schmidt et al. 2019). Darüber hinaus ist das Modell in ein Lichtmodell integriert, um die Auswirkungen der Entlaubung auf die Lichtverteilung in der Laubwand zu untersuchen (Bahr et al., 2021a), und es enthält ein Teilmodell für Austrieb und Blüte, das kalibriert wurde, um die Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen auf das Wachstum und die Entwicklung der Rebe abzuschätzen (Schmidt et al., 2022). Ein Ansatz mit diesem Modell den Sonnenbrand an Beeren zu simulieren und Strategien zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Sonnenbrand an Beeren abzuleiten, wurden ebenfalls entwickelt (Bahr et al., 2021b). Erste Simulationsergebnisse zum Sonnenbrand bei Riesling-Beeren verdeutlichen das enorme Potenzial von *in silico*-Experimenten mit dem Modell *Virtueller Riesling* für die weitere Forschung (Kahlen et al. 2022).

Die neueste Entwicklungsversion von *Virtual Riesling* ist unter <https://github.com/dschmidt-hgu/ViRi-dev> verfügbar. Die Modelle, die in Schmidt et al. 2022 vorgestellt wurden, sind unter <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/4CB8Y> verfügbar.

3.1.2. Modellierungsplattform *GroIMP*

GroIMP (Growth-Grammar-Related Interactive Modelling Platform) ist eine erweiterbare interaktive Modellierungsplattform, die in *Java* geschrieben ist. Diese OSI-zertifizierte Open-Source-Software ist als integrierte Plattform konzipiert, die Modellierung, Visualisierung und Interaktion umfasst (<http://www.grogra.de/>). Sie ist besonders für die Modellierung biologischer und pflanzenbaulicher geeignet: Die Modellierungssprache ist *XL* und anzuwendende Regeln können interaktiv ausgewählt werden. Das Ergebnis einer Simulation wird ebenfalls in *GroIMP* visualisiert. Auch hier ist eine Interaktion möglich, z.B. durch Auswählen oder Löschen von Elementen.

GroIMP ist mit einer modernen, konfigurierbaren grafischen Benutzeroberfläche (GUI) ausgestattet (Abb. 2). Sie unterstützt benutzerdefinierte Layouts von Bedienfeldern, einschließlich der Anordnung von Bedienfeldern in Registerkartengruppen und schwebenden Fenstern. Die GUI erlaubt direkten Zugriff auf alle Konfigurationsdateien, das Modell und die Simulationsergebnisse. D.h. auch das Modell selbst kann hier verändert werden, egal ob beabsichtigt oder unbeabsichtigt. Daher eignet sich die komplexe GUI von *GroIMP* nicht für den Einsatz im schulischen Kontext eines Biologieunterrichts.

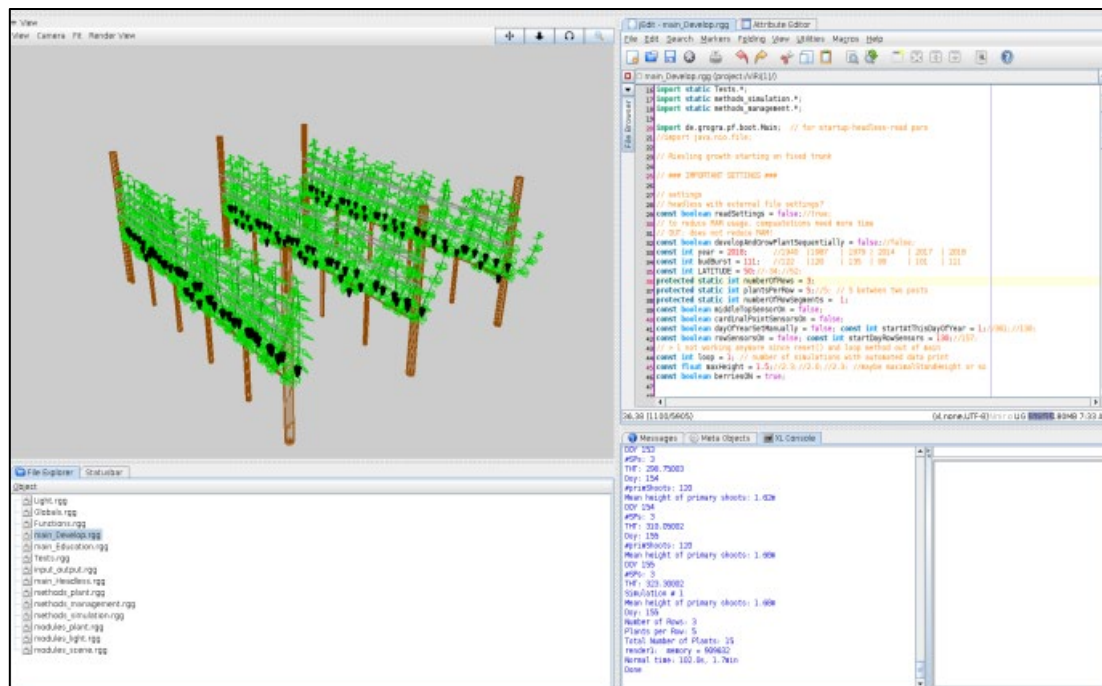


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung der graphische Benutzeroberfläche der Modellierungsplattform *GroIMP*, die neben dem ausgewählten Modellcode für *Virtueller Riesling* (oben rechts) auch die Ausgabe der Simulation des Modells in graphischer Form (oben links) darstellt, und Zugriff auf alle Konfigurationsdateien erlaubt.

3.1.3. Entwicklung eines Prototyps

Der Programmcode der Simulationssoftware *GroIMP* Version 1.5/1.6 wurde speziell für die Verwendung des Modells *Virtual Riesling* angepasst und auf einem Linux-basierten System (Ubuntu 20.04.3 LTS) installiert. Da das Modell mit der Java-Version 11.0.4 LTS entwickelt und kompiliert wurde, setzt eine fehlerfreie Ausführung der Simulation mit *GroIMP* 1.6 die Verwendung von Java 11.0.4 voraus. Auf Basis der installierten Entwicklungsumgebung und entsprechender Literatur konnten sowohl das Konzept funktional-struktureller Modelle und die Methode „Lindenmayer-Systeme“ für die Pflanzenarchitektur-Modellierung verstanden und nachvollzogen werden, als auch der Umgang mit der GUI von *GroIMP* erlernt werden. Zudem wurde die Wachstumsgrammatik *XL* als grundlegende Programmiersprache für die Pflanzenarchitektur-Modellierung in *GroIMP* sowie Besonderheiten und Features der Simulationssoftware *GroIMP* Version 1.5 anhand weiterführender Literatur (<http://www.grogra.de/>) erlernt. Anschließend wurde ein umfangreiches und detailliertes Verständnis der Struktur, der Eingabe-Parameter und der Funktionen des Modells erarbeitet. Anhand variierender Eingabe-Parameter konnten Simulationsergebnisse erzeugt und visualisiert werden.

Das temperaturabhängige Modell *Virtueller Riesling* benötigt als Input jährliche Wetterdatensätze mit der täglichen Minimal- und Maximaltemperatur. Die historischen Wetterdaten stammen vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und wurden für das Einlesen in das Modell

angepasst. Die Simulationsergebnisse werden in der Ausgangsversion als CSV- und PNG-Dateien abgelegt. Die Daten werden mit Abschluss jedes täglichen Simulationsschrittes erzeugt und unmittelbar im Ausgabeordner aktualisiert.

Es wurden Anforderungen an eine stark vereinfachte GUI vereinbart (AP4), die die Simulation virtueller Weinberge mit Bezug zum Klimawandel basierend auf *Virtual Riesling* und *GroIMP* im schulischen Einsatz ermöglichen sollen. Diese GUI sollte extrem robust in der Anwendung sein sowie einerseits autark, d.h. ohne Internetverbindung, und somit lokal auf den Rechnern installiert und betrieben werden können. Gleichzeitig soll der Installationsaufwand auf an Schulen vorhandenen Computern möglichst gering sein bzw. bestenfalls ein einfacher Online-Zugang für die Nutzung der Simulation als App auf iPads oder auf Laptops ermöglicht werden. Der Bezug des Nutzers zur Simulation und dem Modell soll dabei durch den Stil der Oberfläche und die Formulierung der Eingabe-Parameter innerhalb der vereinfachten GUI beibehalten werden.

Der Prototyp einer stark vereinfachten Benutzeroberfläche wurde mit dem *R*-Paket *Shiny* aufgebaut (R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021). *Shiny* ermöglicht die Entwicklung interaktiver Web-Applikationen direkt in *R*, die lokal auf dem Rechner ausgeführt werden können. Unter Nutzung der Entwicklungsumgebung *RStudio* (<https://posit.co/>) wurde eine erste Applikation erstellt, die Eingabe-Parameter an die Simulationssoftware übergibt und anschließend die Ausgabe der Simulation importiert und darstellt (Abb. 3).

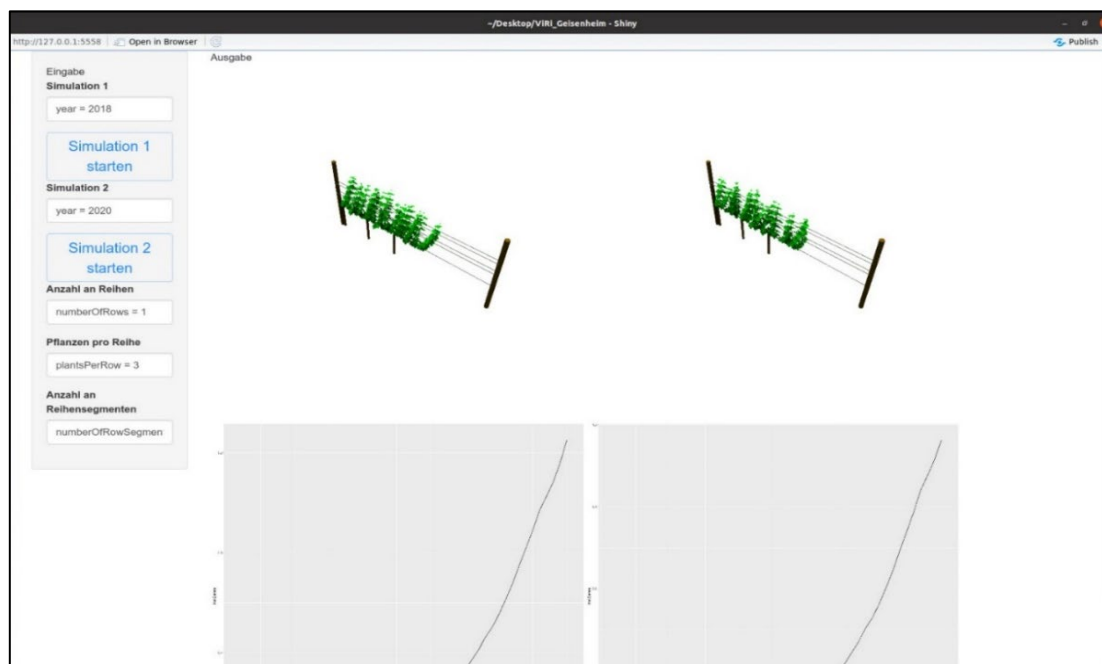


Abbildung 3: Prototyp der vereinfachten Benutzeroberfläche auf Basis des *R*-Pakets „shiny“. Eingabe- und Ausgabe-Fenster der vereinfachten GUI mit der Möglichkeit die Ausgabe zwei verschiedener Simulationen zu vergleichen.

Auf Grundlage des Datenaustausches (Input und Output) zwischen der neuen GUI und der Simulationssoftware wird das Modell *ViRi* von *GroIMP* ausgeführt. Die Shiny-Applikation übergibt dafür einen Konsolenbefehl für den Start der Simulation mit *GroIMP*. Die Eingabe-Parameter werden mit Hilfe einer Textdatei abgespeichert und beim Start der Simulation von *GroIMP* eingelesen. Die Simulations-Ausgabe wird als Bild- und Tabellendokument abgespeichert und von der neuen GUI eingelesen, verarbeitet und dargestellt. So können u.a. Weiterentwicklungen von *ViRi* eingebunden werden, ohne dass die neue GUI angepasst werden müsste. Auch kann die neue GUI nach schulischer Erprobung modifiziert werden, ohne dass *GroIMP* oder *ViRi* geändert werden müssten. Die Robustheit der Applikation wird durch Error-Handling anhand von Wenn-Dann-Abfragen innerhalb des R-Codes sichergestellt.

Die Prototyp-GUI ermöglicht die Auswahl Weinbau- und Klimafolgen-relevanter Eingabe-Parameter. Die Größe des Weinbergs kann durch die Auswahl der Anzahl an Reihen, Reihensegmenten und Pflanzen definiert werden. Außerdem können Wetterdatensätze anhand der Jahreszahl sowie der Simulationsstart und -ende anhand der Tagnummer eines Jahres ausgewählt werden. Die Ausgabe der Simulation umfasst eine graphische Darstellung des Weinberges am Ende der Simulation sowie einen Graphen zur Größe der Blattfläche über die Simulationsdauer. Eine weitere Schaltfläche für den Start einer zweiten Simulation ermöglicht einen ersten direkten Vergleich verschiedener Szenarien mit dem Prototyp (Abb. 3). Die Simulationsergebnisse von Simulation 1 und Simulation 2 können unabhängig voneinander mit Hilfe der jeweiligen Schaltflächen erzeugt werden. Die Simulationsszenarien werden für die entsprechenden Eingabe-Parameter ausgeführt, wobei die Parameter Anzahl an Reihen, Anzahl an Reihensegmenten und Pflanzen pro Reihe von beiden Simulationsszenarien geteilt werden. Die Anzeige des Ausgabefensters wird nach dem Durchlauf einer Simulation aktualisiert und ermöglicht somit die gleichzeitige Darstellung zweier Szenarien zu zwei verschiedenen Eingabe-Kombinationen.

Umfassende Tests des Prototyps durch die Projektpartner im Rahmen der alle sechs bis acht Wochen stattfindenden Projekttreffen, in Lehrkräfteworkshops und in den schulischen Erprobungen, haben im Ergebnis zur Erstellung von zwei Versionen des *WinUM 2.0*-Simulationstools geführt:

- **Vollversion**, die lokal auf einem Rechner installiert werden muss; sie enthält alle vereinbarten Features.
- **Online-Version**, die gegenüber der Vollversion reduzierte Auswahlmöglichkeiten hat, dafür jedoch mit einem Webbrowser auf Tablets und Computern genutzt werden kann.

Die Vollversion wird im folgenden Abschnitt ausführlich dargestellt. Für die Online-Version wurde ein Handbuch für Lehrkräfte erstellt, das im **Anhang** beigefügt ist.

3.1.4. Vollversion des WinUM 2.0-Simulationstools

Die Benutzeroberfläche der Vollversion besteht aus einer festen Anordnung von Bedienfeldern, die drei Bereiche abdeckt: einen Eingabebereich und zwei Ausgabebereiche (Abb. 4).

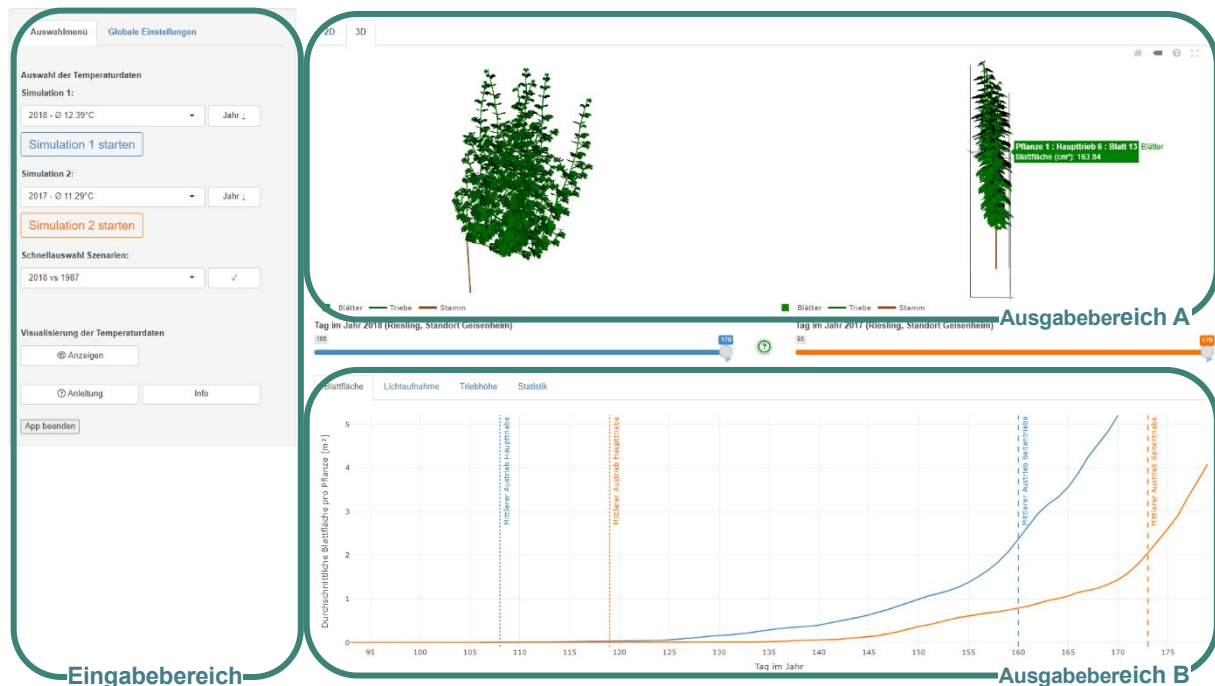


Abbildung 4: Screenshot der Benutzeroberfläche der Vollversion des WinUM 2.0-Simulation Tools mit Kennzeichnung der Ein- und Ausgabebereiche. Die GUI kann über Reiter, Dropdown-Menüs und Regelschieber bedient werden. Sie verfügt über Bedienhilfen, die über das Feld „Anleitung“ und das „grüne Fragezeichen“ geöffnet werden können. Im Eingabebereich können Temperatur-Datensätze als Input für zwei Simulationen ausgewählt und visualisiert werden. Der Ausgabebereich stellt im oberen Bereich das Simulationsergebnis in Form von simulierter Pflanzenarchitektur dar und im unteren Bereich zeitliche Verläufe und zusammenfassende Statistik.

Der Eingabebereich zeigt ein Auswahlmenü in der Grundeinstellung. Es enthält eine minimale Anzahl an Bedienelementen für einen unmittelbaren Start von Simulationen, die auch ausreichen, um die Lerneinheiten zum Simulationsmodul (siehe Kapitel 3.2.) durchzuführen. Der Farbcode (Simulation 1: blau und Simulation 2: orange) gilt für den Eingabebereich sowie für den gesamten Ausgabebereich. Der Ausgabebereich A enthält die 2D- und 3D-Visualisierung der simulierten Pflanzenarchitektur, wobei die Ergebnisse von Simulation 1 und Simulation 2 nebeneinander erscheinen. In Ausgabebereich B werden die simulierten Daten in Graphen und einer Tabelle dargestellt. Im Eingabebereich werden über eine interaktive Anleitung auch alle Funktionen der Benutzeroberfläche schrittweise kurz erklärt. Sie erleichtern den Einstieg in die Anwendung. Das Feld „Info“ öffnet eine Übersicht mit Informationen zum WinUM 2.0-Projekt, den Projektpartnern, der Förderung durch die Deutsche Bundestiftung Umwelt (DBU) und zu ergänzender Literatur. Das WinUM 2.0-Simulationstool ist über das Feld „App beenden“ zu beenden.

Das Auswahlmenü (Grundeinstellung, oben links in Abb. 4 und 5, grau hinterlegt) ermöglicht die Auswahl von Temperaturdaten einzelner Jahre, für die zusätzlich die Durchschnittstemperatur angegeben wird.

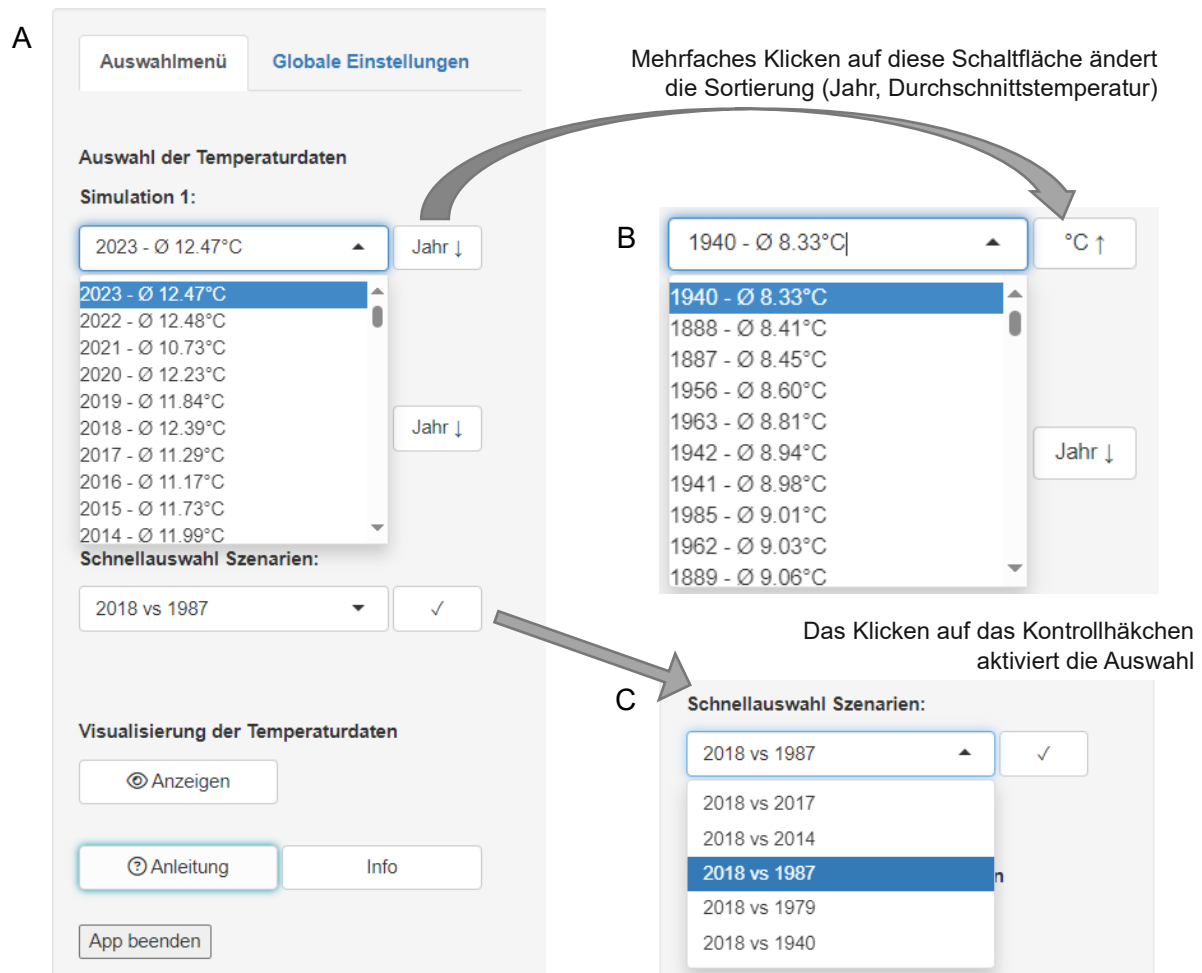


Abbildung 5: Eingabebereich in der Grundeinstellung mit ausgeklapptem Auswahlmenü für die Temperaturdaten einzelner Jahre zwischen 1885 und 2023 in Geisenheim (A). Die Reihenfolge der Sortierung kann auch über die Durchschnittstemperatur erfolgen (B). Die Schnellauswahl bietet Szenarien an, die Auswirkungen unterschiedlicher Temperaturen besonders gut sichtbar machen (C).

Die Auswahlfelder für die Temperaturdaten sind bei Start der Applikation leer. Die Auswahl der Eingabedaten kann direkt anhand einer Sortierung nach Jahr oder jährlicher Durchschnittstemperatur erfolgen. Es stehen dabei aufsteigende und absteigende Sortierungen zur Verfügung. In der voreingestellten Grundeinstellung werden die Wetterdaten aus Geisenheim der Jahre 1885 bis 2023 in Tagesauflösung bereitgestellt.

Es können zwei Szenarien gleichzeitig ausgewählt und nacheinander simuliert werden. Während eine Simulation läuft, ist die Aktionstaste zum Starten der zweiten Simulation blockiert. So wird verhindert, dass unwissentlich oder unbeabsichtigt mehr Simulationen gestartet

werden und im Verarbeitungsprozess zwischen der *Shiny*-Applikation und *Grolmp* verkettet werden, ohne gestoppt werden zu können. Um die Sichtbarkeit des Simulationsvorgangs zu erhöhen, wird der Status der Simulation („Simulation 1 starten“, „Initialisiere Simulation 1“, „Simulation 1 läuft...“ und „Simulation 1 beendet“) auf der jeweiligen Aktionstaste aktualisiert dargestellt. Zusätzlich wird während einer Simulation unten rechts in der GUI ein weiteres Feld mit dieser Information eingeblendet, das auch anzeigt, welcher Tag im Jahr gerade simuliert wird und am Ende der Simulation für 10 Sekunden anzeigt, wie lang die gesamte Simulationsdauer war (Angabe in Minuten) und wie viele Tage insgesamt simuliert wurden. Diese Angaben dienen den Schülerinnen und Schülern der Orientierung und sollen helfen, die Dauer einer Simulation zu erfassen und das Ende der Simulation abwarten zu können.

Eine vereinfachte Auswahl zweier Jahre mit deutlich unterschiedlichen Temperaturbedingungen kann über das Bedienfeld „Auswahl Szenarien“ erfolgen. Hier wurde eine Vorauswahl hinterlegt, z.B. Jahr 2018 vs. 1987, was einem sehr warmen und einem relativ kalten Jahr entspricht, um so die Auswirkungen unterschiedlicher Temperaturen besonders gut sichtbar machen zu können. Dabei ist das Jahr 2018 immer ein Vergleichsjahr. Die Auswahl wird durch Anklicken des Häkchens aktiviert. Auch hier müssen die Simulationen über die entsprechenden Aktionsfelder gestartet werden.

Zusätzlich können die in der Eingabe gewählten Temperaturdaten in einem Popup-Fenster visualisiert werden. Dies geschieht über das Anklicken des Feldes „Anzeigen“ unter der Überschrift „Visualisierung der Temperaturdaten“ (Abb. 5a). Die Form der Zusammenfassung dient dem direkten Vergleich und der vereinfachten Auswahl von verschiedener Wetterverläufen. In der Grundeinstellung wird der zeitliche Verlauf der mittleren Tagestemperaturen (24 h) für die ausgewählten Jahre über das gesamte Jahr graphisch dargestellt (Abb. 6a). Ergänzt wird diese Darstellung durch Temperaturangaben in tabellarischer Form. Es werden die mittleren jährlichen Temperaturen für Nacht, Tag und 24-Stunden-Mittelwert angegeben. Die Tagesmittelwerte werden auch in Bezug auf die Vegetationsperiode (April-September) angegeben. Die letzte Spalte der Tabelle enthält die Angabe zum geschätzten Tag im Jahr für den Austrieb (Austrieb der Knospen am Haupttrieb). Die Schätzung für den Austrieb erfolgt in der *Shiny*-Applikation über Methoden von Nendel (2010) und Zalom & Goodell (1983). Der so bestimmte Tag im Jahr dient als Starttag für die Simulationsperiode und für die Berechnung der Temperatursumme ($^{\circ}\text{Cd}$, Gradtage) ab Simulationsstart.

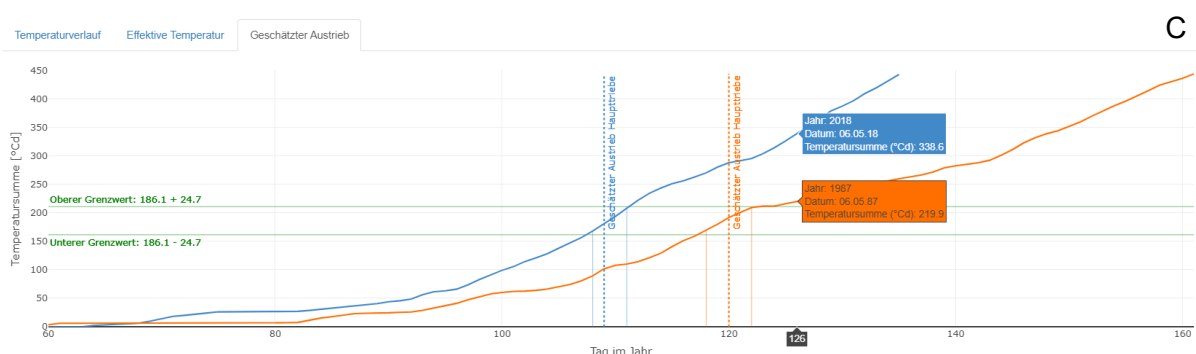
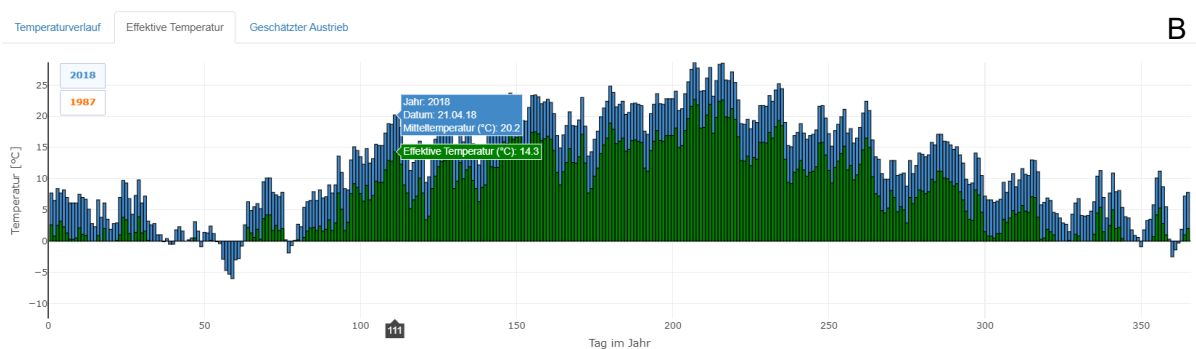
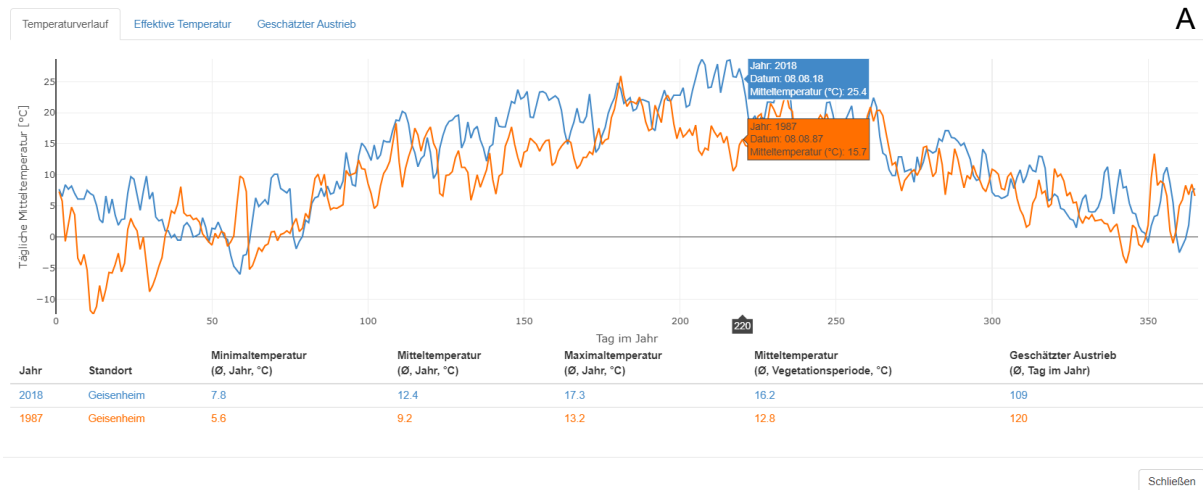


Abbildung 6: *Popup-Fenster, das in der Grundeinstellung den direkten Vergleich der ausgewählten Temperaturdaten in Form eines Graphen und einer Tabelle zeigt (A). Ergänzend kann über den Reiter „Effektive Temperatur“ der Vergleich von Mittlerer Temperatur und effektiver Temperatur für jedes Simulationsjahr dargestellt werden (B). Die effektive Temperatur berücksichtigt, dass eine Basistemperatur benötigt wird, unterhalb derer keine Entwicklung stattfindet. Die Entwicklung der Temperatursummen führt zum geschätzten Termin für den Austrieb (C).*

Dabei ergeben die aufsummierten effektiven Temperaturen (Abb. 6b) die Temperatursumme. Ein beispielhafter Verlauf von Temperatursummen wird in Abb. 6c dargestellt. Sobald der untere Grenzwert der Temperatursumme für den Austrieb (untere grüne horizontale Linie in Abb. 6c) erreicht wird, beginnt das Zeitfenster für den geschätzten Austrieb. Es schließt, wenn die obere Temperatursumme (obere grüne horizontale Linie) erreicht wird. Die Grenzwerte wurden von Schmidt et al. (2019) in Experimenten in Weinbergen der HGU ermittelt. Insgesamt ergibt sich für den geschätzten Austrieb ein Zeitfenster (vertikale Linien in blau, bzw. orange). Die

geschätzten mittleren Austriebsdaten (Tag im Jahr) werden über gepunktete vertikale Linien in der entsprechenden Farbe der Simulation dargestellt.

Dieser Ansatz vereinfacht die im Modell *Virtueller Riesling* hinterlegten Methoden, als dass beispielsweise die Variabilität des Austriebs, die u.a. in Schmidt et al. 2019 gezeigt wird, nur über das oben angesprochene Zeitfenster in der GUI dargestellt wird, aber auf die konkrete Verteilung des Austriebs verzichtet wird. Der geschätzte Tag im Jahr für den Austrieb stimmt jedoch sehr gut mit dem mittleren Austrieb Tag aus *Virtueller Riesling* überein. Er spiegelt den Tag im Jahr wider, an dem 50% aller Knospen am Haupttrieb ausgetrieben sind. Diese Angaben entsprechen den im Weinbau typischen Bonitur-Angaben und stimmen auch mit gemessenen Daten überein (Stoll et al. 2010, Schmidt et al. 2022). Die Form der Darstellung erleichtert den Schülerinnen und Schülern somit den Vergleich mit Austriebsdaten aus anderen Quellen. Über das Bedienfeld „Schließen“ kann das Popup-Fenster wieder geschlossen werden.

Die Inputdaten für das Modell können zusätzlich in den „Globalen Einstellungen“ verändert werden (Abb. 7). Hier finden sich die Bedienelemente, die nicht für einen ersten unmittelbaren Start einer Simulation mit Standardkonfiguration benötigt werden. Sie sind für fortgeschrittene Anwendungen konzipiert. In der Vollversion können hier die Begrenzung der maximalen Simulationsdauer, die Bestandsgröße, sowie Temperaturen und Standorte angepasst und auch Licht- und Traubenwachstumsmodell, sowie Zufallsprozesse aktiviert bzw. deaktiviert werden.

Es können virtuelle Bestände mit bis zu drei Reihen von je fünf Pflanzen simuliert werden (Abb. 7a). Allerdings ist bei Vergrößern der virtuellen Bestände zu berücksichtigen, dass die Dauer der entsprechenden Simulation deutlich ansteigen und ggfs. der Rahmen einer Unterrichtseinheit sprengen. Aus diesem Grund wurde dieses Feature auch nicht in der Grundeinstellung des Auswahlmenüs eingefügt (Abb. 4, 5).

Um den Effekt erhöhter Temperaturen sowie alternativer Standorte anhand von Simulationsergebnissen vergleichen zu können, kann die Auswahl von „Temperaturanpassung und Standort“ aktiviert werden. Im Reiter „Auswahlmenü“ werden dann Simulation 1 und Simulation 2 jeweils um Auswahllisten für Standort und Temperaturerhöhung ergänzt (Abb. 7b, c). Letztere beinhalten vordefinierte Temperaturerhöhungen von 0°C, 1°C, 1.5°C, 4°C und 8°C. Bei Auswahl von 0°C (Grundeinstellung) bleiben die Temperaturdaten des ausgewählten Jahres unverändert. Bei einer Erhöhung wird für den ausgewählten Temperaturdatensatz die Mitteltemperatur eines jeden Tages entsprechend dem ausgewählten Wert erhöht – und zwar unabhängig vom gewählten Standort.

Bei den Standorten können Geisenheim (Grundeinstellung), Kopenhagen und Marseille ausgewählt werden. Das Klima nördlicher gemäßigter Breitengrade eignet sich, den Einfluss der Temperatur auf phänologische Events wie der mittlere Austrieb der Weinreben anhand von

Wetterdaten mit geringeren täglichen Mitteltemperaturen zu veranschaulichen, sowie das vegetative Wachstum der virtuellen Weinberge, in weniger für den Weinbau geeigneten Regionen, und in Abhängigkeit zukünftiger Klimabedingungen zu simulieren. Standorte mit vergleichsweise hohen täglichen Mitteltemperaturen wie im europäischen Mittelmeerraum, eignen sich hingegen, die Entwicklung der Weinreben unter heutzutage bereits sehr guten und zukünftig eventuell extremen Klimabedingungen hervorzuheben.

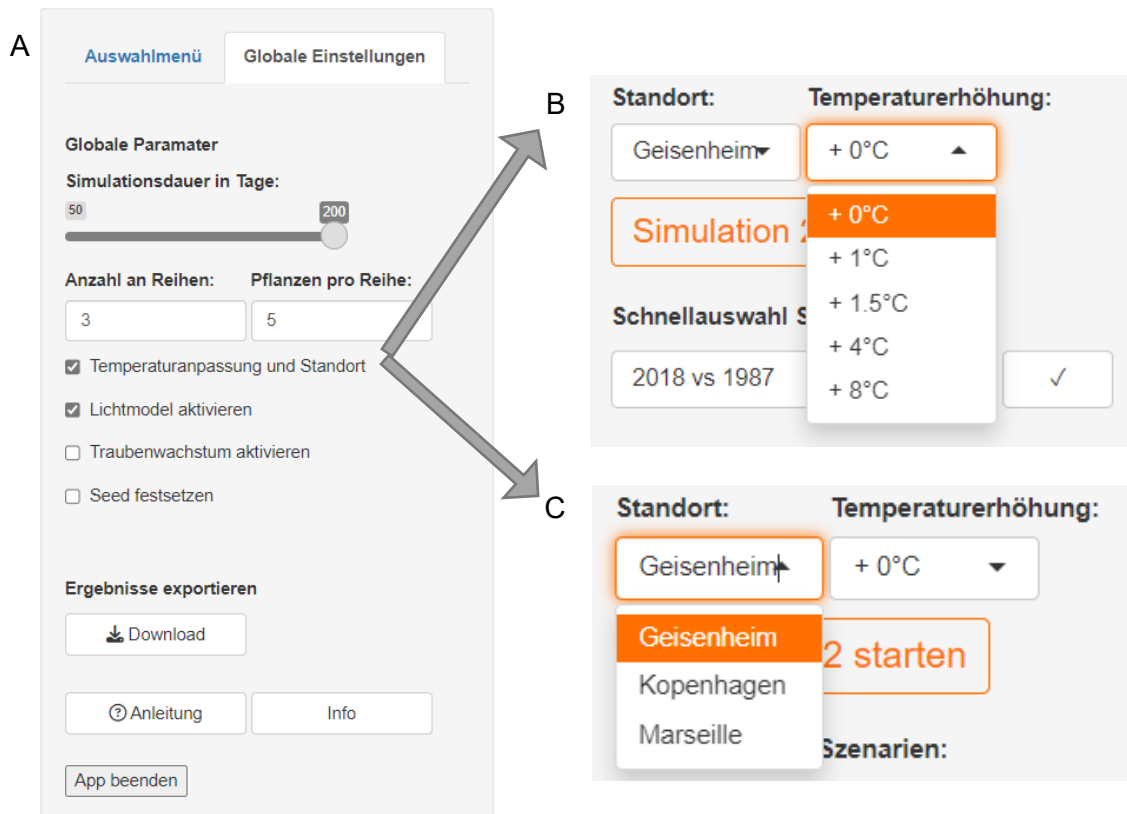


Abbildung 7: *Globale Einstellungen sind Teil des Eingabebereiches. (A) Hier kann die Simulationsdauer in Tagen begrenzt werden. Die Anzahl an Reihen und Pflanzen definieren die Größe des virtuellen Bestandes. Über vier Kontrollkästchen können weitere Features aktiviert werden, wie Temperaturerhöhung (B) und Standort (C), Lichtmodel und Traubenwachstum. Über den Download-Button werden die Simulationsergebnisse exportiert.*

Klimadatensätze und Wetterbeobachtungen des Dänischen Wetterdienstes (DMI) sind über die API (Application Programming Interface) des OpenData-Portals des DMI verfügbar (<https://opendatadocs.dmi.govcloud.dk/DMIOpenData>). Mit Hilfe des interaktiven API-Explorers (<https://dmigw.govcloud.dk/v2/climateData/swagger-ui/index.html#/>) und eines entsprechenden API-Keys (<https://dmiapi.govcloud.dk/#/>) wurden gezielt Datensätze erstellt, bzw. gewünschten Parameter aus einem BULK-Download (<https://dmigw.govcloud.dk/v2/climateData/bulk/stationValue/?api-key=<api-key>>) extrahiert. Die Daten des BULK-Downloads liegen als Textdatei pro Tag im JSON-Format vor. Die benötigten Parameter (Minimumtemperatur, Maximumtemperatur und Mitteltemperatur) in Auflösung von einem Tag wurden mit Hilfe

des R-Pakets "jsonlite" extrahiert und für die Verwendung in der *Shiny*-App (*.fst) sowie des ViRi-Modells (*.csv) formatiert. Wegen der räumlichen Nähe zur Hauptstadt Kopenhagen und einem thematischen Bezug zum Pflanzenbau, wurde die Station mit ID "06186" (Landbohøjskolen, Königliche Veterinär- und Landwirtschaftsuniversität) ausgewählt. Die Auswahlmöglichkeit entsprechender Temperaturdaten wird für den Standort „Kopenhagen“ im Auswahlmenü aktiviert. In diesem Fall stehen Jahresverläufe für die Jahre 2011 bis 2023 zur Auswahl.

Die Klima- und Wetterdatensätze des Französischen Wetterdienstes (Meteo France) sind als BULK-Download pro Departement (meteo.data.gouv.fr) und über das API-Portal des Wetterdienstes, [METEO FRANCE – Donnees Publiques Climatologie API](https://mef-metfr.github.io/mef-api/), verfügbar. Wegen der räumlichen Nähe zu der Großstadt Marseille, den Weinbauregionen Cassis und Montpellier sowie einem ausgeprägten Mittelmeerklima, wurde die Station mit ID „13054001“ (Marignane, nahe Flughafen Marseille) ausgewählt und die Input-Dateien wie oben beschrieben erstellt und formatiert. Diese Temperaturdaten mit Jahresverläufen für die Jahre 1950 bis 2023 werden im Auswahlmenü über den Standort „Marseille“ mit aktiviert. Die Visualisierung der Temperaturdaten berücksichtigen Standortauswahl und Temperaturerhöhung (Abb. 8). Die Angaben in der Tabelle werden hier um die Temperaturerhöhung ergänzt.



Abbildung 8: Beispiel für Temperaturverläufe in Marseille und Geisenheim für das Jahr 2023. Die Daten aus Marseille sind gemessene Daten, die für Geisenheim basieren ebenfalls auf gemessenen Daten, wurden aber um 4°C erhöht, um extreme Klimaänderungen abzubilden (A). In der Konsequenz sind die simulierten Austriebsdaten sehr ähnlich (B).

Wird die Option zur Temperaturerhöhung und Standortwahl in den „Globalen Einstellungen“ deaktiviert, werden die Auswahllisten auf die Standardwerte „Geisenheim“ bzw. „+ 0°C“ zurückgesetzt.

Das Lichtmodell ist in der Grundeinstellung des *WinUM 2.0*-Simulationstools aktiviert. Das Lichtmodell ist mit dem Pflanzenarchitekturmodell gekoppelt, so dass in der Simulation von *Virtueller Riesling* die lokalen Lichtbedingungen auf jedem einzelnen Blatt des virtuellen Bestandes in jedem einzelnen Simulationsschritt geschätzt werden können. Diese Kopplung ermöglicht eine realistischere Darstellung der Pflanzenarchitektur in der 2D-Ansicht (Abb. 9a versus 9b) und erlaubt auch eine graphische Darstellung der Lichtaufnahme einer Pflanze (Rebe) über die Zeit. Andererseits verlängert die Kopplung die Simulationen des Pflanzenarchitekturmodells erheblich. Weitere Details zum Lichtmodell und zur Kopplung sind in (Schmidt et al. 2019, Bahr et al. 2021) zu finden.

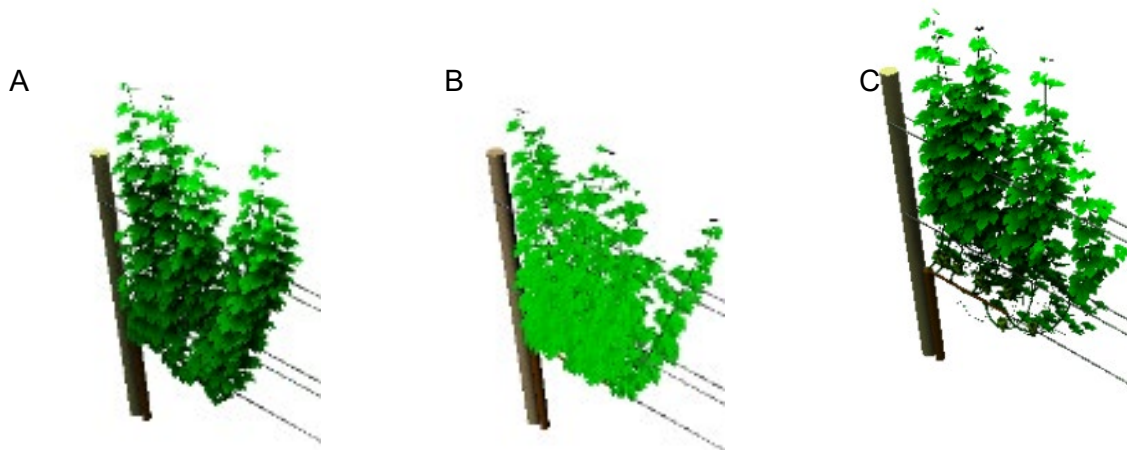


Abbildung 9: *Zweidimensionale geometrische Repräsentation einer virtuellen Rebe im WinUM 2.0-Simulation Tool bei Kopplung des Modells Virtueller Riesling mit einem Lichtmodell (A, C) und ohne Lichtmodell (B) für den Standort Marseille mit Temperaturdaten aus dem Jahr 2023 bei Erreichen der finalen Höhe. Die Unterschiede in der Pflanzenarchitektur sind ausschließlich auf Zufallsprozesse im Rebenmodell zurückzuführen (siehe 3.1.1. Pflanzenmodell Virtueller Riesling). Die Einfärbung der Blätter in (A, C) ist mit der absorbierten Lichtmenge korreliert. Ist zusätzlich das Traubenwachstum aktiviert, wird im letzten Simulationsschritt ein Laubschnitt in der Traubenzone vorgenommen, der die Trauben freistellt (C).*

In der Vollversion kann zudem das Traubenwachstum aktiviert werden. Die Traubenzone liegt in den Reben im unteren Bereich der Laubwand (siehe Abb. 9). Die Blätter in der Traubenzone verdecken die Trauben, so dass diese in der 2D-Ansicht kaum sichtbar sind. Ist das Traubenwachstum in der Simulation aktiv, werden nur im letzten Simulationsschritt virtuelle Trauben in die 2D-Ansicht übernommen. Um sie sichtbar zu machen, wird in dem Schritt ebenfalls ein virtueller Laubschnitt vorgenommen, der alle Blätter in der Traubenzone entfernt (Abb. 9c).

Für den Fall, dass Simulationsergebnisse exakt reproduziert werden sollen, kann der für Zufallsprozesse notwendige Seed im Zufallsgenerator fixiert werden. So kann beispielsweise bei Wiederholung einer Simulation in einer Session oder bei paralleler Simulation an unterschiedlichen Rechnern dasselbe Simulationsergebnis erzwungen werden. Dies kann das Vergleichen für Schülerinnen und Schüler vereinfachen, ignoriert aber den wichtigen Aspekt der Variabilität in Natur und Simulation.

Die „Globalen Einstellungen“ ist auch der Ort, an dem der Export der Simulationsergebnisse möglich ist, und zwar als Download über den Download-Button. Die Auswahl des Speicherpfades für den Download erfolgt anhand eines Auswahlfensters, das die Ordnerstruktur des lokalen Rechners anzeigt. Die Ergebnisse werden als PDF-Datei abgespeichert. Die Datei beinhaltet die geometrischen Repräsentationen der Bestände sowie Tabellen und Graphen zum Vergleich von Bestandsmerkmalen über den gesamten Simulationszeitraum.



Abbildung 10: Dreidimensionale geometrische Repräsentation einer simulierten Rebe im WinUM 2.0-Simulation Tool, die im Reiter „3D“ zu finden ist. (A) zeigt die Grundeinstellung. Unterhalb der Rebe ist eine Legende zur Farbkodierung für Blätter, Triebe und Stamm platziert, die bei Anklicken entsprechende Organe in der Darstellung aktiviert bzw. deaktiviert (B). Der Schieberegler zeigt den aktuell dargestellten Simulationszeitpunkt (Tag im Jahr) an, der durch Verschieben verändert werden kann. Das kleine blaue Dreieck am rechten Ende des Reglers aktiviert eine Animation des Rebenwachstums über die Zeit. Das grüne Fragezeichen öffnet Hilfeoptionen für die interaktive Arbeit mit der virtuellen Rebe.

Die graphische Darstellung der Simulationsergebnisse in zweidimensionaler (2D) und dreidimensional (3D) Ansicht sind in Ausgabebereich A zu finden (Abb. 4, Abb. 10). Simulation 1 wird links dargestellt (blau) und Simulation 2 wird rechts dargestellt (orange). Mithilfe der beiden Reiter über der jeweiligen Abbildung kann zwischen der 2D- und der 3D-Darstellung gewechselt werden. Die Perspektive der 2D-Ansicht der virtuellen Reben, bzw. des virtuellen Weinbergs ist fest voreingestellt; in der 3D-Ansicht ist die Perspektive hingegen veränderbar (Abb. 11). Beide Darstellungen sind in der Unterschrift mit dem Hinweis versehen, welcher Zeitpunkt dargestellt ist, sowie Angaben zum Standort und ggfs. einer Temperaturerhöhung. Der Schieberegler unter der graphischen Darstellung zeigt die Simulationsdauer an, er beginnt grundsätzlich am mittleren Austrieb der Haupttriebe und reicht bis zum Simulationseende, das erreicht ist, wenn die Triebe eine Höhe von 2.3 m über dem Boden erreichen. Die Zeitachse stellt dabei den Tag im Jahr dar. Durch Anklicken des Kreises am rechten Ende des Reglers kann die Position beliebig innerhalb der Simulationsperiode verschoben werden. Für den so ausgewählten Tag im Jahr werden die graphischen Ausgaben beider Reiter (2D und 3D) angepasst. Über das Anklicken des kleinen Dreiecks unterhalb des rechten Endes des Schiebereglers kann eine Animation der graphischen Ausgabe über die Zeit gestartet werden. Sie beginnt an der aktuellen Position des Schiebereglers und endet mit Simulationseende.

Die 3D-Ansicht erlaubt zudem ein interaktives Arbeiten mit der virtuellen Rebe. Sie bietet die Option, einzelne Pflanzenorgane wie Blätter, Triebe und Stamm durch Klicken auf die Bezeichnung an- oder auszuschalten (Abb. 10b.). Wird beispielsweise die Darstellung der Blätter deaktiviert, werden die Triebe gut sichtbar und es zeigt sich, wie unterschiedlich die Ausrichtungen der Triebe sind. Wird der Mauszeiger über die virtuelle Rebe bewegt, zeigt ein Ausgabefenster auch Informationen zum gerade aktiven Element, wie zum Beispiel, welcher Haupttrieb gerade ausgewählt wird (Beispiel: grüner Text-Box bzw. grüner Text in Abb. 10b).



Abbildung 11: Ansicht einer virtuelle Rebzeile aus drei Reben für Geisenheim, 2023 + 4°C, aus unterschiedlichen Perspektiven. (A) Grundeinstellung, (B) parallel zur Reihe und (C) mit starkem Zoom.

Zudem ist es möglich, die virtuelle Rebe, bzw. den virtuellen Bestand in der 3D-Ansicht zu zoomen, zu drehen, zu verschieben und eine Vollbildansicht zu erzeugen (Abb. 11). Die notwendigen Maus-Tastenkombinationen für diese Feature sind in der Hilfe hinterlegt. Diese kann durch Anklicken des grün pulsierenden Fragezeichens zwischen den Schieberegler geöffnet werden (Abb. 10). Dort finden sich auch weitere Hilfen zur Handhabung von Ausgabebereich A (Abb. 4).

Im Ausgabebereich B sind die Ergebnisse unter vier Reitern dargestellt: Blattfläche, Lichtaufnahme, Triebhöhe und Statistik. Über die ersten drei Reiter gelangt man zu Verläufen der Simulationsergebnisse von Blattfläche, Lichtaufnahme und Triebhöhe über die Zeit, die je in einem Graphen dargestellt sind (siehe Abb. 12 als Beispiel für Triebhöhe). Von bis zu zwei Simulationen sind hier Daten über die gesamte Simulationsdauer, bzw. bis zu den Zeitpunkten, die über die Schieberegler ausgewählt sind, grafisch dargestellt. Die Ergebnisse von Simulation 1 und Simulation 2 werden farblich unterschieden (blau bzw. orange).

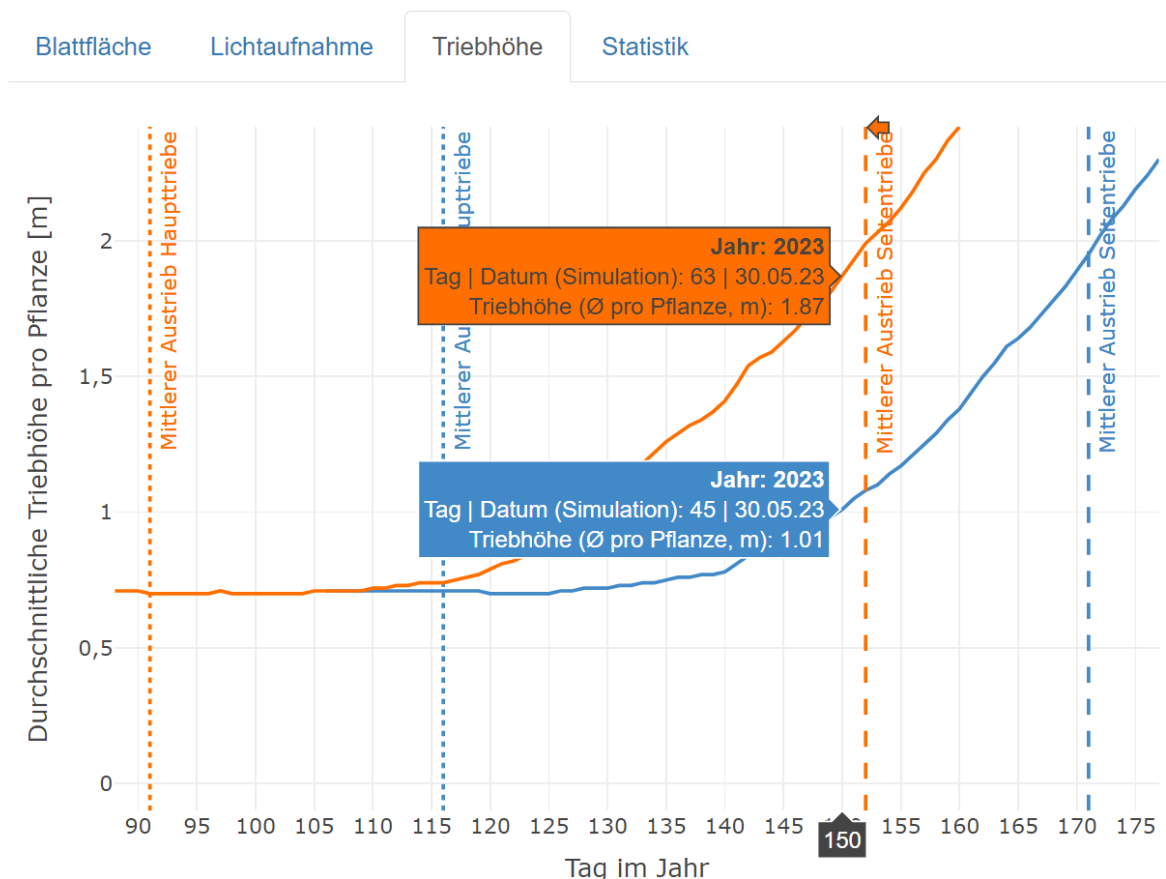


Abbildung 12: Darstellung der Triebhöhe der simulierten Reben über die Zeit mit Temperaturdaten aus Geisenheim im Jahr 2023 +0°C (blau) und +4°C (orange). Die Mauszeigerinformationen zeigen Jahr, Tag und Datum der Simulation, sowie die durchschnittliche Triebhöhe an. Auf der x-Achse wird zudem der entsprechende Tag im Jahr hervorgehoben.

Vertikale Linien der entsprechenden Farbe in der Simulation zeigen an, wann der Austrieb in der Simulation erfolgt ist. Die erste (gepunktete) Linie gibt den mittleren Austrieb der Haupttriebe an, die zweite (gestrichelte) Linie den mittleren Austrieb der Seitentriebe. Eine entsprechende Beschriftung erleichtert die Zuordnung, ebenso wie Informationen die zur jeweiligen Mauszeigerposition eingeblendet werden. Diese ermöglichen nicht nur ein exaktes Ablesen der Daten, sondern auch den konkreten Vergleich Daten von zwei Simulationen (siehe auch Arbeitsblatt 3 auf Seite 39 im Handbuch für das Online-Simulationstool im Anhang). Hierzu kann auch die Tabelle herangezogen werden, die unter dem Reiter „Statistik“ abgelegt ist (Tab. 1). In der Tabelle sind sowohl allgemeine Daten angegeben als auch Daten, die zu dem letzten Tag der jeweiligen Simulationsdauer gehören, bzw. die sich dynamisch verändern, wenn über den Schieberegler ein spezifischer Tag im Jahr ausgewählt wird. Die dynamischen Daten sind in der Farbe der jeweiligen Simulation hinterlegt. Auf der linken Seite der Tabelle sind alle Daten für Simulation 1 und auf der rechten Seite alle Daten für Simulation 2 aufgeführt. Zu den dynamischen Daten gehören hier der aktuelle Tag der Simulation, Blattfläche, Anzahl Blätter, sowie Triebhöhe. Die allgemeinen Daten sind die Mitteltemperatur des Jahres bzw. über die gesamte Simulationsperiode, Tag im Jahr für den mittleren Austrieb der Haupttriebe bzw. der Seitentriebe. Die allgemeinen Daten werden grundsätzlich in schwarz dargestellt. Sie verändern sich nicht bei Anpassung des Schiebereglers.

Tabelle 1: Ausgabe der Simulationsergebnisse in Form einer Tabelle, die unter dem Reiter „Statistik“ abgelegt ist. Die linke Seite der Tabelle gehört zu Simulation 1 (erste vier Spalten), die rechte zu Simulation 2 (rechte vier spalten). Der Farbcode deutet dynamisch veränderbare Daten an, die an den jeweiligen ausgewählten Tag im Jahr angepasst sind. Die allgemeinen (fixen) Angaben finden sich in der unteren Hälfte der Tabelle.

Blattfläche		Lichtaufnahme		Triebhöhe		Statistik	
Aktueller Tag Datum (Simulation)	Blattfläche (Ø pro Pflanze, m²)	Anzahl Blätter (Ø pro Pflanze)	Triebhöhe (Ø, m)	Aktueller Tag Datum (Simulation)	Blattfläche (Ø pro Pflanze, m²)	Anzahl Blätter (Ø pro Pflanze)	Triebhöhe (Ø, m)
177 26.06.23	4.421	606	2.3	160 09.06.23	5.895	815	2.42
Mitteltemperatur (Ø, Jahr, °C)	Mitteltemperatur (Ø, Simulationsperiode, °C)	Austrieb Haupttriebe (Ø, Tag im Jahr)	Austrieb Seitentriebe (Ø, Tag im Jahr)	Mitteltemperatur (Ø, Jahr, °C)	Mitteltemperatur (Ø, Simulationsperiode, °C)	Austrieb Haupttriebe (Ø, Tag im Jahr)	Austrieb Seitentriebe (Ø, Tag im Jahr)
12.5	16.9	116	171	16.5	17.5	91	152

Die Vollversion des *WinUM 2.0-Simulation* Tools wird interessierten Lehrkräften auf Anfrage zur Verfügung gestellt (<https://winumzweipunktnull.de/>).

3.1.5. Online-Version des *WinUM 2.0*-Simulationstools

Die Online-Version des *WinUM 2.0*-Simulationstools hat gegenüber der Vollversion, die in Kapitel 3.1.4. beschrieben wird, einen reduzierten Umfang, bietet aber noch immer die Möglichkeit, alle entwickelten Lerneinheiten und Arbeitsblätter (Kapitel 3.2) uneingeschränkt durchzuführen.

In der Online-Version wird auf den Zugriff auf die „Globalen Einstellungen“ verzichtet (Abb.7) und das Setting der Grundeinstellung bleibt im Auswahlmeneü übrig (Abb. 4). Damit fallen u.a. Simulationen größerer virtueller Weinberge weg und es wird immer nur eine Rebe simuliert. Außerdem wurde auf die eigentliche Verknüpfung der Shiny-App mit *GroIMP* und *ViRi* verzichtet. So wurden ausgewählte Simulationen von *ViRi* mittels *GroIMP* durchgeführt und alle relevanten Output-Daten in geeigneten Formaten gespeichert. Diese werden bei Auswahl entsprechender Jahre direkt als Input für die Online-Version eingelesen. Alle genannten Einschränkungen wurde gemacht, um eine Online-Kompatibilität herzustellen und zeitliche Verzögerungen in der Simulationsdauer zu minimieren.

Das Handbuch zur Online-Version des *WinUM 2.0*-Simulationstools (s. Anhang) enthält die fachlichen Grundlagen sowie die methodischen Erklärungen, damit Lehrkräfte mit ihren Lerngruppe Computersimulationen im virtuellen Weinberg durchführen können.

Die Online-Version des *WinUM 2.0*-Simulationstools wird kann über unterschiedliche Wege bereitgestellt werden. Hierzu zählen Shiny-Server, Raspberry Pi und USB-Stick. Die Shiny-App für die Online-Version wurde auf www.shinyapps.io hochgeladen. In der für die Verstetigung gewählten Version können bei einem monatlichen Kontingent an 100 Nutzerstunden maximal 25 Verbindungen gleichzeitig etabliert werden. Lehrkräften werden bei Interesse die URL mitgeteilt.

Außerdem wurde die Online-Version testweise auf einen Raspberry Pi 4 (Model B 8 GB RAM) zum Laufen gebracht. Dazu wurde für den Betrieb der online *WinUM 2.0*-App die Software R Version 4.1.2, die benötigten R-Pakete, sowie der shinyServer-Dienst Version 1.5.20 inklusive aller Dependencies (Abhängigkeiten) installiert. Durch eine Verbindung zum erzeugten WLAN Access Point (WAP) des Raspberry Pi ist die Online-Version für Endgeräte erreichbar und nutzbar. Bei diesem Ansatz können auch Tablets und Handys als Endgeräte genutzt werden.

3.2. Modulentwicklung und Lehrplanorientierung

3.2.1. Entwicklung der Basis- und Aufbaumodule für den Unterricht

Ziel des Projektes *WinUM 2.0* ist es, im Rahmen des Biologieunterrichts Schülerinnen und Schülern mit innovativen Materialien sowohl fachwissenschaftliche Inhalte zu vermitteln als auch Folgen des Klimawandels aufzuzeigen und mögliche Lösungsstrategien mit engem Bezug zur Nachhaltigkeit aufzuzeigen. Der globale Klimawandel ist das grundlegende und verbindende Element der Unterrichtsmodule. Er bietet die Rechtfertigungsgrundlage dafür, warum eine intensive und exemplarische Beschäftigung mit Modellen zielführend ist, Umweltprobleme von globalem Ausmaß zu erkennen und die eigene Rolle zu reflektieren.

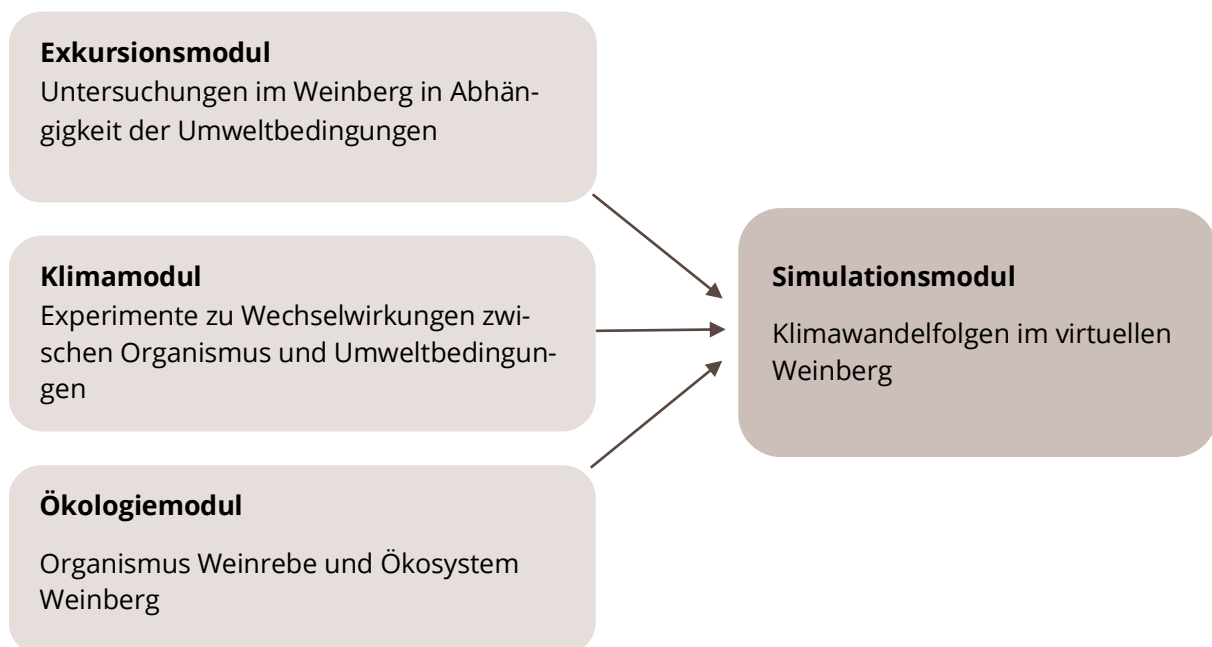


Abbildung 13: Projektmodule von WinUM 2.0 in der Übersicht. In den Modulen Ökologiemodul (Basismodul), Klimamodul und Exkursionsmodul (links) werden die thematischen Grundlagen gelegt, die Schülerinnen und Schüler zur Bearbeitung des Simulationsmoduls (rechts) benötigen.

Anhand der Weinrebe als Modellorganismus und des Weinbergs als Modellökosystem erkennen Schülerinnen und Schüler im Rahmen der neu entwickelten Projektmodule (siehe Abb. 13) grundlegende Wachstums- und Entwicklungsprozesse einer mehrjährigen Kulturpflanze, deren Anbau und Erhalt viel stärker von den Umweltbedingungen abhängt als bei einjährigen Kulturpflanzen. Hierbei können sich Schülerinnen und Schüler komplexe Wechselbeziehungen innerhalb eines Ökosystems unter sich verändernden Klimabedingungen erschließen.

Die Lernenden arbeiten im Ökologiemodul mit der Methode des Mysterys und der Methode des Lernspiels. Im Klimamodul und im Exkursionsmodul experimentieren sie mit digitalen Messsensoren, wodurch sie das Sammeln und Auswerten von wissenschaftlichen Daten im Klassenzimmer sowie im Freiland einüben und ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten in der Datenerhebung und -analyse verbessern. Durch die Originalbegegnung mit der Natur im Exkursionsmodul sammeln sie neue fachliche Erkenntnisse sowie sie der Natur ebenso emotional begegnen und zum Umwelthandeln motiviert werden (Unterbruner, 2013: 176-179). Im Simulationsmodul steht der Mensch mit seiner Verantwortung sowohl für den globalen Klimawandel als auch für die Entwicklung passender Lösungsstrategien zur Vermeidung weiterer Klimawandelfolgen bzw. zur Adaptation an diese im Fokus. Hier arbeiten Schülerinnen und Schüler mit dem *WinUM 2.0*-Simulationstool zum Wachstum der Weinrebe in Abhängigkeit der Temperatur, wodurch sie nicht nur ihre Fertigkeiten im Umgang mit digitalen Medien verbessern, sondern auch ihr methodisches Wissen zu Computersimulationen und ihr fachliches Wissen zum Pflanzenwachstum bei verschiedenen Witterungsverläufen erweitern.

In allen vier Unterrichtsmodulen wird den Schülerinnen und Schülern Fachwissen in den beiden Themenbereiche Ökologie und Stoffwechselfysiologie vermittelt, welche im Lehrplan für den Biologieunterricht der Sekundarstufe II in Rheinland-Pfalz in das Leitthema 4 „Lebewesen in ihrer Umwelt“ eingeordnet sind (Tab. 2). Die Lehrpläne der anderen Bundesländer bieten ebenfalls thematische Bezüge, indem das Ökosystem Weinberg auch gut mit „klassischen“ Ökosystemen wie Wald oder See verglichen werden können. Es wird im Projekt *WinUM 2.0* ausschließlich das erhöhte Anforderungsniveau der gymnasialen Oberstufe gewählt, da nur dort die Fachinhalte in steigender Komplexität und Tiefe betrachtet werden, komplexe Fragestellungen in konkreten Denk- und Arbeitsweisen umgesetzt und reflektiert werden, sowie die nötige Fachsprache zum Verständnis dieser Inhalte vorhanden ist (KMK, 2020: 13). Darüber hinaus sollen Schülerinnen und Schüler ihren eigenen Standpunkt in Bezug auf Umweltprobleme differenzieren und schlüssige Argumente dazu darlegen (ebd.). Das Projekt ist so angelegt, dass das Simulationsmodul am besten durchgeführt wird, wenn zuvor das Basismodul („Ökologiemodul“) unterrichtet und im Anschluss beide Aufbaumodule den Schülerinnen und Schülern eine praktische Auseinandersetzung mit abiotischen Umweltfaktoren und ihrem Einfluss auf pflanzenphysiologische Prozesse ermöglicht haben. Wenn hierfür nicht ausreichend Zeit zur Verfügung steht, ist es möglich, das Exkursionsmodul wegzulassen und die vor Ort vermittelten Inhalte lediglich unter Verwendung anderer Materialien (Erklärvideos o.ä.) zu unterrichten.

Zusätzlich ist es ein großes biologiedidaktisches Anliegen, für die Arbeitsweise Projektarbeit diejenigen Inhalte und Methoden besonders zu vertiefen, die sich im alltäglichen unterrichtlichen Kontext aus Gründen der Zugänglichkeit, der Logistik, des Zeitaufwandes oder aus

Kostengründen nicht häufig oder auch gar nicht durchführen lassen (z. B. Exkursionen ins Freiland, Arbeiten mit moderner Technik und Integration von authentischen Forschungsinhalten).

Die Nutzung von Modellen und Computersimulationen wird im Lehrplan für Rheinland-Pfalz im Rahmen der Pflichtbausteine explizit empfohlen und dient im Projekt *WinUM 2.0* zur Gewinnung neuer Erkenntnisse über den Einfluss von sich ändernden Umweltbedingungen auf das Wachstum und die Entwicklung der Weinrebe. Wahlpflichtbausteine bieten sich im Leitthema 4 an, um den Einfluss des Menschen auf Ökosysteme und besonders Agrarökosysteme noch zu vertiefen und in Bezug auf eine nachhaltige Landwirtschaft zu reflektieren. Auch der eigene Standpunkt und die Möglichkeiten, einen eigenen Beitrag zu Nachhaltigkeit und Klimaschutz zu leisten spielen dabei eine Rolle (Wahlpflichtbaustein *Landwirtschaft und Ernährung (BNE)* und Wahlpflichtbaustein *Aquatische und terrestrische Ökosysteme*).

Tabelle 2: Pflichtbausteine und Wahlpflichtbausteine (Auswahl) des Leitthemas 4: Lebewesen in ihrer Umwelt des Lehrplans Biologie für das Grund- und Leistungsfach in der gymnasialen Oberstufe (Mainzer Studienstufe) (MB, 2022). Die Projektinhalte von *WinUM 2.0* sind mit zugehörigen Fachbegriffen den passenden Bausteinen zugeordnet.

Leitthema 4: Lebewesen in ihrer Umwelt		Bezüge im Projekt <i>WinUM 2.0</i>
Pflichtbausteine	Umweltfaktoren, Ressourcen und Populationen	Abiotische und biotische Umweltfaktoren im Ökosystem Weinberg, Nützlings- und Schädlingspopulationen (Räuber-Beute-Beziehung)
	Dynamik von Ökosystemen	Exemplarische Betrachtung des Ökosystems Weinberg, räumliche und jahreszeitliche Struktur, Originalbegegnung, Biotop und Biozönose
	Angewandte Aspekte der Ökologie (BNE)	Anthropogene Einflüsse auf Ökosysteme durch Treibhauseffekt und Klimawandel, Bewirtschaftungsmaßnahmen, Förderung der Biodiversität im Weinberg, Naturschutz, Kulturlandschaft vs. Naturlandschaft
	Fotosynthese – ein aufbauender Stoffwechselprozess	Die Lichtreaktion der Fotosynthese, die Abhängigkeit der Fotosynthese von abiotischen Umweltfaktoren
	Fachliche Verfahren und biologische Denk- und Arbeitsweisen	Erfassung abiotischer Umweltfaktoren, Experimente zur Abhängigkeit der Fotosyntheserate von abiotischen Umweltfaktoren, Einsatz von Modellen und Computersimulationen zur Erkenntnisgewinnung
Wahlpflichtbausteine (Auswahl)	Landwirtschaft und Ernährung (BNE)	Erarbeitung unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen im Weinberg (konventionell vs. ökologisch), Monokulturen, Schädlingsbekämpfung
	Aquatische und terrestrische Ökosysteme	Belastung des Ökosystems Weinberg durch menschliche Eingriffe vs. natürliche Stabilität des Ökosystems

3.2.2. Erprobung und Evaluation



Abbildung 14: Ausschnitte aus den Erprobungen der Projektmodule mit verschiedenen Lerngruppen der Sekundarstufe II in Rheinland-Pfalz im Klassenraum und am außerschulischen Lernort Weinberg.

Die Unterrichtsmodule von *WinUM 2.0* wurden als „Projekte“ in den Regelunterricht integriert (siehe Abb. 14). Bei der Umsetzung spielen die Sozialformen Gruppenarbeit und Partnerarbeit sowie die Selbstorganisation und das Zeitmanagement der Gruppen eine große Rolle. Ziel davon ist es, einem schülerzentrierten und offenen Unterricht nahezukommen, in dem sich die Schülerinnen und Schüler neue Inhalte selbst erschließen und neue Methoden in einem offenen Rahmen selbst ausprobieren. So kann ein handlungsorientierter und problemorientierter Unterricht umgesetzt werden (Gropengießer, Kattmann & Krüger, 2015: 74).

In den offenen Fragen des Evaluationsbogens des Simulationsmoduls zeigten sich Schülerinnen und Schüler positiv gegenüber den neuen Unterrichtsinhalten. Hier wird das Interesse am Thema deutlich, sowie die Freude daran, selbst praktisch zu arbeiten. Die Teilnehmenden beantworteten die Frage „Was hat Ihnen am Simulationsprogramm gefallen“ u. a. folgendermaßen:

- „Mir hat das 2D und das 3D- Modell der Rebe besonders gut gefallen“
- „Ich fand es gut, weil es interessant und mal was ganz Neues war“
- „Das Ausprobieren aller Optionen“
- Die Visualisierung im 3D-Format und die Auswahl zwischen Statistik und/oder Diagrammen“
- „Abwechslungsreicher Unterricht, anschaulich, praktisch und modern“

3.2.3. Optimierung und Weiterentwicklung

Gerade in Rheinland-Pfalz und Hessen mit Nähe zur HGU als zentralem Studienort des Weinbaus, sind die Projektinhalte für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II in Hinblick auf ihre zukünftige Berufswahl sehr attraktiv. Aber auch für Schülerinnen und Schüler fern dieser Regionen kann die Beschäftigung mit dem Weinbau gerade wegen ihrer Unbekanntheit gewinnbringend sein.

Für Lehrkräfte, die das *WinUM 2.0*-Simulationstool in ihrem Unterricht einsetzen möchten, wurde zunächst ein Handbuch für die Online-Version entwickelt (siehe Abb. 15). Dieses basiert auf den Erfahrungen aus Workshops, praktischen Erprobungen und Evaluationen und liefert sowohl thematische Hintergrundinformationen als auch exakte methodische Anleitungen und die Aufgabenstellungen und Arbeitsblätter für einen Gebrauch im Unterricht.



Abbildung 15: Deckblatt des Handbuchs zur *WinUM 2.0 Online-Simulation*. Das vollständige Handbuch ist im Anhang zu finden.

Zusätzlich wird es sinnvoll sein, in die *WinUM 2.0*-Simulation neben der Temperatur weitere klimarelevante Faktoren wie Wasserverfügbarkeit und CO₂-Konzentration zu implementieren. Mit dazu passendem Unterrichtsmaterial können die neuen Daten ausgewertet werden und es kann konkret Bezug zu dem Vorkommen von Schadbildern im Weinberg und zur Wirtschaftlichkeit des Weinbaus in Zeiten des Klimawandels genommen werden. Hier zeigt sich, dass es für die schultaugliche *WinUM 2.0*-Simulation noch zahlreiche Möglichkeiten der Erweiterung gibt, welche aber wiederum mit einem hohen zeitlichen und technischen Aufwand verbunden sind.

4 Veröffentlichungen, Vorträge, Lehre

4.1. Veröffentlichungen

Becker, L., & Dreesmann, D. (2023). Simulating environmental issues: New digital tools to teach biology *in silico*. *Sustainability*, 15(19), 14325. <https://doi.org/10.14325/su151914325>

Becker, L., Balkenhohl, H., & Dreesmann, D. (2023). Weinberg im Wandel. Unterrichtsmaterial zur Ökologie und Bewirtschaftung eines regionalen Agrarökosystems in Zeiten des Klimawandels. *BU praktisch - Das Online-Journal für den Biologieunterricht*. <https://doi.org/10.11576/bupraktisch-5888>

Becker, L., Schiffmann, R., & Dreesmann, D. (2023). Langzeitbeobachtung im Weinberg: Phänologie der Weinrebe in Abhängigkeit der Umweltbedingungen. *BU praktisch - Das Online-Journal für den Biologieunterricht*. <https://doi.org/10.11576/bupraktisch-6319>

Becker, L., Gruber, S., & Dreesmann, D. (2023). Smarte Experimente zur Fotosynthese und ihren Einflussfaktoren. *BU praktisch - Das Online-Journal für den Biologieunterricht*. <https://doi.org/10.11576/bupraktisch-6320>

Becker, L., & Dreesmann, D. (2024). Ecology lessons 2.0 – a wireless approach. The impact of using wireless sensors and mobile devices in ecology instruction. *The American Biology Teacher* 86 (1): 16–23. <https://doi.org/10.1525/abt.2024.86.1.16>

4.2. Workshops mit Lehrkräften und Lehrveranstaltungen für Studierende

- Workshop für Lehrkräfte an der JGU Mainz, Januar 2023
- Seminar „Weinrebe, Weinberg und Wein aus Sicht des Biologie- und Chemieunterrichts“ im Mastermodul Fachdidaktik Biologie, JGU Mainz, Sommersemester 2021 (in Kooperation mit dem Institut für Didaktik der Chemie, Goethe-Universität, Frankfurt a.M. – Prof. Dr. Arnim Lühken)
- Je zwei Kurstage „Simulationen im Biologieunterricht einsetzen“ im Praktikum des Mastermoduls Fachdidaktik Biologie, JGU Mainz, Sommersemester 2023 und 2024
- Praktische Lerneinheit mit der Online-Version des *WinUM 2.0*-Simulation Tools im Rahmen des Wahlmoduls „Introduction to Plant Modelling“, Studiengang Bachelor Gartenbau, HGU, Oktober 2024

4.3. Abschlussarbeiten im Rahmen des Projekts (JGU Mainz)

4.3.1. Bachelorarbeiten

Balkenhohl, Hannah (2021): Die Bedeutung von Nützlingen und Schädlingen im Ökosystem Weinberg erfahren. Eine Lerneinheit im Rahmen der „Draußenschule“

Ertz, Sarah (2023): „Biodiversität in einer Monokultur erleben! Wie der Weinbergsboden dazu beiträgt. Entwicklung von Informationsmaterial für Schülerinnen und Schüler

4.3.2. Masterarbeiten

Biegler, Malte (2023): Biologie im virtuellen Weinberg unterrichten. Didaktische Überlegungen und Entwicklungen von multimedialen Arbeitsmaterialien

Schneider, Anna (2023): Wald und Weinberg - zwei Ökosysteme, viele Probleme, (k)eine Lösung? Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Escape Games

Schiffmann, Rosalie (2022): Erkundung des Agrarökosystems Weinberg in Zeiten des Klimawandels. Entwicklung und Erprobung schultauglicher Experimente im Freiland

Meyer-Rühen, Saskia (2022): Experimentieren? – Ja, aber smart! Ein Konzept für die Verwendung von Sensoren zur Erfassung abiotischer Faktoren im Biologieunterricht

4.4. Vorträge auf Tagungen

4.4.1. Präsentationen

Liane Becker & Daniel Dreesmann: Die Folgen des Klimawandels im virtuellen Weinberg vermitteln. 114. Bundeskongress des Vereins zur Förderung des MINT-Unterrichts (MNU), Jena, März 2024

Katrin Kahlen: The future belongs to virtual plants. Hansenberg-Summit der Internatsschule Schloss Hansenberg, Geisenheim, Juni 2022

4.4.2. Softwaredemonstrationen

- Im Rahmen der „10th International Conference on Functional-Structural Plant Models“ (FSPM2023), in Berlin mit mehr als 170 Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die von der HGU mitorganisiert wurde, gab es eine Software-Demonstration des *WinUM 2.0*-Simulation Tools.

- Auf dem Forschungsforum der HGU im März 2023 wurde ein Poster zum Projekt präsentiert und das *WinUM 2.0*-Simulation Tool vorgestellt.
- Die HGU war auf der Internationalen Pflanzenmesse "IPM2024" in Essen vom 22.01.2024 - 26.01.2024 mit einem Haupt-Messestand, einem zusätzlichen Messestand im "Innovation Center Gartenbau" der IPM sowie zahlreichen Präsentationen vertreten. Über den gesamten Zeitraum der Messe wurde u.a. das Poster "WinUM 2.0 - Die Folgen des Klimawandels im virtuellen Weinberg vermitteln" (Forschungsforum HGU 2023) am HGU Messestand des "Innovation Center Gartenbau" der IPM ausgestellt. Das Projekt sowie die Applikation wurden außerdem am 25.01.2024 im [Forum](#) des "Innovation Center" präsentiert sowie Rückfragen und Einblicke in die Umsetzung und Anwendung der Applikation gewährt.

4.5. Projektschulen

- Helmholtz-Gymnasium, Zweibrücken
- Integrierte Gesamtschule Auguste Cornelius, Mainz
- Georg-Forster-Gesamtschule, Wörrstadt
- Willigis-Gymnasium, Mainz
- BBS für Technologie und Umwelt, Wittlich

5 Fazit & Ausblick

Im Kooperationsprojekt *WinUM 2.0* der Hochschule Geisenheim University und der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, dass durch die DBU gefördert wurde, wurden erfolgreich die fachlichen Grundlagen sowie die methodischen Erklärungen entwickelt, damit Lehrkräfte mit ihren Lerngruppe Computersimulationen im virtuellen Weinberg durchführen können. Beide Versionen des Tools „*WinUM 2.0-Simulation*“, eine Vollversion und eine reduzierte Online-Version, sind für den Biologieunterricht der Oberstufe geeignet. Der virtuelle Weinberg kann somit optimal in die Lehrpläne eingeordnet werden. Durch das Arbeiten im virtuellen Weinberg erlernen Schülerinnen und Schüler den fachgerechten Umgang mit dem digitalen Medium Computersimulation, generieren selbständig Daten ausgehend von einer Problemstellung und vergleichen diese Daten anschließend miteinander. Auf Basis der Datenauswertung können die Ergebnisse in den Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel gesetzt und zeitgemäße ökologische Fragestellungen beantwortet und reflektiert werden.

Verstetigung des Projektes

Die Projekthomepage www.winumzweipunktnull.de wird als Informationsplattform zu den Inhalten des Projektes weiter ausgebaut. Neben einer inhaltlichen Beschreibung der vier Module sollen Lehrkräfte in einem, voraussichtlich passwortgeschützten Download-Bereich entsprechende Materialien herunterladen können.

Die technische Umsetzung der Online-Version erfolgt derzeit über die kostenpflichtige Webseite www.shinyapps.io. Hier stehen im gewählten Tarif 25 Anwendungen zur Verfügung mit einem monatlichen Zeitrahmen von 100 Stunden. Dies ist für eine Nutzung im Rahmen von Unterricht ausreichend. Aus diesem Grund erhalten Lehrkräfte, die mit der Online-Version arbeiten wollen, auf Nachfrage entsprechende Links zugeschickt. Ebenfalls auf Nachfrage werden die entsprechenden Installationsdateien beider Versionen verfügbar gemacht.

Während die Online-Version mit Hilfe des Handbuchs unmittelbar im Unterricht genutzt werden kann, setzt die Vollversion technische und fachliche Kenntnisse voraus, die am ehesten im Rahmen einer eintägigen Fortbildung für Lehrkräfte vermittelt werden können. Aus diesem Grund werden neben hochschulinternen Vermittlungsangeboten die für Rheinland-Pfalz und Hessen zuständigen Institutionen (Pädagogisches Landesinstitut RLP, Hessische Lehrkräfteakademie) kontaktiert, um für das Schuljahr 2025/2026 solche Veranstaltungen anzubieten.

Literaturverzeichnis

- Albedyll A, Dreesmann, D (2017) Wein im Biologieunterricht. (W)Einblicke in die vielfältigen Eigenschaften einer Nutzpflanze. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 66(2), 4-6.
- Albedyll A, Vogt, L, Dreesmann, D (2017a) Much More than Old Wine in New Skins: Students' and Adults' Knowledge on Grapevine and Vineyards as a Starting Point for New Topics in School. Journal of Baltic Science Education, 16(4), 612-624.
- Albedyll, A, Fritsch A, Dreesmann, D (2017b) "I learned it through the Grapevine...": Exploring Atypical Ecosystems in Schools as a New Out-of-School Learning Site. The American Biology Teacher, 79(5), 351-364. <https://doi.org/10.1525/abt.2017.79.5.351>
- Bahr C, Schmidt D, Friedel M, Kahlen K (2021) Leaf removal effects on light absorption in virtual Riesling canopies (*Vitis vinifera*). In *Silico Plants*: diab027 <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diab027>
- Bahr C, Schmidt D, Kahlen K (2021) Missing Links in Predicting Berry Sunburn in Future Vineyards. *Front. Plant Sci.* 12:715906. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715906>
- Becker et al. (2023a-d, 2024), siehe Kapitel 4.1.
- Dreesmann D (2017) Lebensraum Weinberg. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, Heft 66(2), Hallbergmoos
- Duchêne E, Huard F, Dumas V, Schneider C, Merdinoglu D (2010) The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Research*, 41, 193-204. <https://doi.org/10.3354/cr00850>
- Fraga H, Pinto JG, Santos JA (2019) Climate change projection for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: a multi-model assessment. *Climate Change*, 152, 179-193. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2337-5>
- Großengießler H, Kattmann U, Krüger D (2015). Biologiedidaktik in Übersichten. Halbergmoos: Aulis.
- Hannah L, Roehrdanz PR, Ikegami M, Shepard AV, Shaw MR, Tabor G, Zhi L, Marquet A, Hijmans RJ (2013) Climate change, wine, and conservation. *PNAS*, 110 (17), 6907-6912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>
- KMK (Kultusministerkonferenz) (2020) Beschluss der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss vom 18.06.2020. Online verfügbar: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf.
- MB (Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz, Hg.) (2022) *Lehrplan Biologie. Grund- und Leistungsfach der gymnasialen Oberstufe (Mainzer Studienstufe)*. Mainz.
- Nendel C (2010) Grapevine bud break prediction for cool winter climates. *Int. J. Biometeorol.* 2010, 54, 231–241. doi:10.1007/s00484-009-0274-8.
- Schmidt D, Bahr C, Friedel M, Kahlen K (2019) Modelling approach for predicting the impact of changing temperature conditions on grapevine canopy architectures. *Agronomy*, 9(8), 426. <https://doi.org/10.3390/agronomy908042>.

- Schmidt D, Kahlen K, Bahr C, Friedel M (2022) Towards a Stochastic Model to Simulate Grapevine Architecture: A Case Study on Digitized Riesling Vines Considering Effects of Elevated CO₂. *Plants*, 11, 801. <https://doi.org/10.3390/plants11060801>
- Stoll M, Lafontaine M, Schultz HR (2010) Possibilities to reduce the velocity of berry maturation through various leaf area to fruit ratio modifications in *Vitis vinifera* L. Riesling. *Progress Agric. Vitic.*, 127, 68-71.
- Unterbruner U (2013) Umweltbildung. In: H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hg.). *Fachdidaktik Biologie* (9. völlig überarb. Aufl., S. 169-190). Halbergmoos: Aulis.
- Zalom F, Goodell P, Wilson LT (1983) Degree-Days, the Calculation and Use of Heat Units in Pest Management: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Leaflet 21373.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** *Workflow der neuen GUI in Kombination mit der Simulationssoftware „GroIMP“. Übergabe der Eingabe-Parameter (Input) der vereinfachten GUI an die Simulationssoftware GroIMP sowie Import der erzeugten Simulations-Ausgabe (Output) für die Darstellung der Simulationsergebnisse von dem Modell Virtueller Riesling (ViRi) durch die GUI. 9*
- Abbildung 2:** *Exemplarische Darstellung der graphische Benutzeroberfläche der Modellierungsplattform GroIMP, die neben dem ausgewählten Modellcode für Virtueller Riesling (oben rechts) auch die Ausgabe der Simulation des Modells in graphischer Form (oben links) darstellt, und Zugriff auf alle Konfigurationsdateien erlaubt. 11*
- Abbildung 3:** *Prototyp der vereinfachten Benutzeroberfläche auf Basis des R-Pakets „shiny“. Eingabe- und Ausgabe-Fenster der vereinfachten GUI mit der Möglichkeit die Ausgabe zwei verschiedener Simulationen zu vergleichen. 12*
- Abbildung 4:** *Screenshot der Benutzeroberfläche der Vollversion des WinUM 2.0-Simulation Tools mit Kennzeichnung der Ein- und Ausgabebereiche. Die GUI kann über Reiter, Dropdown-Menüs und Regelschieber bedient werden. Sie verfügt über Bedienhilfen, die über das Feld „Anleitung“ und das „grüne Fragezeichen“ geöffnet werden können. Im Eingabebereich können Temperatur-Datensätze als Input für zwei Simulationen ausgewählt und visualisiert werden. Der Ausgabebereich stellt im oberen Bereich das Simulationsergebnis in Form von simulierter Pflanzenarchitektur dar und im unteren Bereich zeitliche Verläufe und zusammenfassende Statistik. 14*
- Abbildung 5:** *Eingabebereich in der Grundeinstellung mit ausgeklapptem Auswahlmenü für die Temperaturdaten einzelner Jahre zwischen 1885 und 2023 in Geisenheim (A). Die Reihenfolge der Sortierung kann auch über die Durchschnittstemperatur erfolgen (B). Die Schnellauswahl bietet Szenarien an, die Auswirkungen unterschiedlicher Temperaturen besonders gut sichtbar machen (C). 15*
- Abbildung 6:** *Popup-Fenster, das in der Grundeinstellung den direkten Vergleich der ausgewählten Temperaturdaten in Form eines Graphen und einer Tabelle zeigt (A). Ergänzend kann über den Reiter „Effektive Temperatur“ der Vergleich von Mittlerer Temperatur und effektiver Temperatur für jedes Simulationsjahr dargestellt werden (B). Die effektive Temperatur berücksichtigt, dass eine Basistemperatur benötigt wird, unterhalb derer keine Entwicklung stattfindet. Die Entwicklung der Temperatursummen führt zum geschätzten Termin für den Austrieb (C). 17*
- Abbildung 7:** *Globale Einstellungen sind Teil des Eingabebereiches. (A) Hier kann die Simulationsdauer in Tagen begrenzt werden. Die Anzahl an Reihen und Pflanzen definieren die Größe des virtuellen Bestandes. Über vier Kontrollkästchen können weitere Features aktiviert werden, wie Temperaturerhöhung (B) und Standort (C), Lichtmodell und Traubenwachstum. Über den Download-Button werden die Simulationsergebnisse exportiert. 19*
- Abbildung 8:** *Beispiel für Temperaturverläufe in Marseille und Geisenheim für das Jahr 2023. Die Daten aus Marseille sind gemessene Daten, die für Geisenheim basieren ebenfalls auf gemessenen Daten, wurden aber um 4°C erhöht, um*

extreme Klimaänderungen abzubilden (A). In der Konsequenz sind die simulierten Austriebdaten sehr ähnlich (B). 20

Abbildung 9: Zweidimensionale geometrische Repräsentation einer virtuellen Rebe im WinUM 2.0-Simulation Tool bei Kopplung des Modells Virtueller Riesling mit einem Lichtmodell (A, C) und ohne Lichtmodell (B) für den Standort Marseille mit Temperaturdaten aus dem Jahr 2023 bei Erreichen der finalen Höhe. Die Unterschiede in der Pflanzenarchitektur sind ausschließlich auf Zufallsprozesse im Rebenmodell zurückzuführen (siehe 3.1.1. Pflanzenmodell Virtueller Riesling). Die Einfärbung der Blätter in (A, C) ist mit der absorbierten Lichtmenge korreliert. Ist zusätzlich das Traubenwachstum aktiviert, wird im letzten Simulationsschritt ein Laubschnitt in der Traubenzone vorgenommen, der die Trauben freistellt (C). 21

Abbildung 10: Dreidimensionale geometrische Repräsentation einer simulierten Rebe im WinUM 2.0-Simulation Tool, die im Reiter „3D“ zu finden ist. (A) zeigt die Grundeinstellung. Unterhalb der Rebe ist eine Legende zur Farbkodierung für Blätter, Triebe und Stamm platziert, die bei Anklicken entsprechende Organe in der Darstellung aktiviert bzw. deaktiviert (B). Der Schieberegler zeigt den aktuell dargestellten Simulationszeitpunkt (Tag im Jahr) an, der durch Verschieben verändert werden kann. Das kleine blaue Dreieck am rechten Ende des Reglers aktiviert eine Animation des Rebenwachstums über die Zeit. Das grüne Fragezeichen öffnet Hilfeoptionen für die interaktive Arbeit mit der virtuellen Rebe. 22

Abbildung 11: Ansicht einer virtuelle Rebzeile aus drei Reben für Geisenheim, 2023 + 4°C, aus unterschiedlichen Perspektiven. (A) Grundeinstellung, (B) parallel zur Reihe und (C) mit starkem Zoom. 23

Abbildung 12: Darstellung der Triebhöhe der simulierten Reben über die Zeit mit Temperaturdaten aus Geisenheim im Jahr 2023 +0°C (blau) und +4°C (orange). Die Mauszeigerinformationen zeigen Jahr, Tag und Datum der Simulation, sowie die durchschnittliche Triebhöhe an. Auf der x-Achse wird zudem der entsprechende Tag im Jahr hervorgehoben. 24

Abbildung 13: Projektmodule von WinUM 2.0 in der Übersicht. In den Modulen Ökologiemodul, Klimamodul und Exkursionsmodul (links) werden die thematischen Grundlagen gelegt, die Schülerinnen und Schüler zur Bearbeitung des Simulationsmoduls (rechts) benötigen. 27

Abbildung 14: Ausschnitte aus den Erprobungen der Projektmodule mit verschiedenen Lerngruppen der Sekundarstufe II in Rheinland-Pfalz im Klassenraum und am außerschulischen Lernort Weinberg..... 30

Abbildung 15: Deckblatt des Handbuchs zur WinUM 2.0 Simulation. 31

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** *Ausgabe der Simulationsergebnisse in Form einer Tabelle, die unter dem Reiter „Statistik“ abgelegt ist. Die linke Seite der Tabelle gehört zu Simulation 1 (erste vier Spalten), die rechte zu Simulation 2 (rechte vier spalten). Der Farbcode deutet dynamisch veränderbare Daten an, die an den jeweiligen ausgewählten Tag im Jahr angepasst sind. Die allgemeinen (fixen) Angaben finden sich in der unteren Hälfte der Tabelle. 25*
- Tabelle 2:** *Pflichtbausteine und Wahlpflichtbausteine (Auswahl) des Leitthemas 4: Lebewesen in ihrer Umwelt des Lehrplans Biologie für das Grund- und Leistungsfach in der gymnasialen Oberstufe (Mainzer Studienstufe) (MB, 2022). Die Projekthalte von WinUM 2.0 sind mit zugehörigen Fachbegriffen den passenden Bausteinen zugeordnet. 29*

Anhang

Handbuch zur Nutzung des Online-Simulationstools im Biologieunterricht

Bitte erfragen Sie die aktuelle URL für die Simulation unter info@winumzweipunktnull.de.

Handbuch zur WinUM 2.0-Simulation

Das neue Online-Tool für den Biologieunterricht



WinUM 2.0

**Die Folgen des Klimawandels im
virtuellen Weinberg vermitteln**

Dieses Handbuch ist innerhalb des biologiedidaktischen Forschungs- und Entwicklungsprojektes *WinUM 2.0* entstanden, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU),



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

in Kooperation der AG Didaktik der Biologie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und des Instituts für Modellierung und Systemanalyse der Hochschule Geisenheim University.

JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ



Inhalt und Gestaltung:

Benjamin Spehle M.Sc., Prof. Dr. Katrin Kahlen
Hochschule Geisenheim University
Institut für Modellierung und Systemanalyse (MS)
D-65366 Geisenheim

Dr. Liane Becker, Prof. Dr. Daniel Dreesmann
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Didaktik der Biologie
Institut für Organismische und Molekulare Evolutionsbiologie (iomE)
D-55128 Mainz



www.winumzweipunktnull.de
Version 01-online/2025

Vorwort

Liebe Lehrkräfte,

dieses Handbuch enthält die **fachlichen Grundlagen** sowie die **methodischen Erklärungen**, damit Sie mit Ihrer Lerngruppe Computersimulationen im virtuellen Weinberg durchführen können.

Der virtuelle Weinberg wurde in dem Kooperationsprojekt **WinUM 2.0** der Hochschule Geisenheim University und der Johannes Gutenberg-Universität Mainz im Rahmen eines Drittmittelprojektes forschungsbasiert entwickelt. Er ist für den Biologieunterricht der **Oberstufe** geeignet und kann optimal in das **Leitthema 4: Lebewesen in ihrer Umwelt** eingeordnet werden.

Durch das Arbeiten im virtuellen Weinberg erlernen Schülerinnen und Schüler den fachgerechten Umgang mit dem digitalen Medium Computersimulation, generieren selbständig Daten ausgehend von einer **Problemstellung** und vergleichen diese Daten anschließend miteinander. Auf Basis der **Datenauswertung** können die Ergebnisse in den Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel gesetzt und **zeitgemäße ökologische Fragestellungen** beantwortet und **reflektiert** werden.

Wir wünschen Ihnen und Ihrer Lerngruppe gutes Gelingen!

Ihr WinUM 2.0 - Projektteam



Inhaltsverzeichnis

Inhalt	Seite
--------	-------

Die WinUM 2.0-Simulation

- | | |
|---|---|
| 1. Virtuelle Pflanzen und mathematische Modellierung | 5 |
| 2. Didaktische Betrachtungen und methodische Grundlagen | 9 |

Fachliche Grundlagen

- | | |
|---|----|
| 3. Das Agrarökosystem Weinberg | 13 |
| 4. Klimawandel und Weinbau – Herausforderungen und Perspektiven | 18 |

Methodische Erläuterungen

- | | |
|--|----|
| 5. Die Benutzeroberfläche der Computersimulation – Eingabe und Ausgabe | 21 |
| 6. Daten auswerten, interpretieren und diskutieren | 28 |

Arbeitsblätter für Schülerinnen und Schüler	35
--	-----------

Lösungsblätter für Lehrkräfte	45
--------------------------------------	-----------

1. Virtuelle Pflanzen und mathematische Modellierung

Was sind virtuelle Pflanzen?

Virtuelle Pflanzen sind Pflanzen, die im Computer abgebildet werden und detailreich die Pflanzenarchitektur zeigen. Diese Pflanzenmodelle repräsentieren ausgewählte Eigenschaften realer Pflanzen in vereinfachter Form und zeigen die geografische und topologische Struktur der Pflanzenorgane. Eine besondere Klasse der virtuellen Pflanzen bilden die funktional-strukturellen Pflanzenmodelle, kurz FSPMs (siehe Abb. 1). Diese enthalten neben der strukturellen Darstellung der äußeren Pflanzenarchitektur auch Informationen über physiologische Prozesse, welche das Pflanzenwachstum und damit die Architektur während der Entwicklung beeinflussen (dazu gehören der Prozess der Photosynthese oder der Transport und die Verteilung von Kohlenstoff).

Die physiologischen Prozesse und Funktionen innerhalb der Pflanze, die äußeren Umweltbedingungen in Form von z. B. Temperatur, Sonnenlicht und Wasserverfügbarkeit und die Pflanzenarchitektur stehen miteinander in Wechselwirkungen. Virtuelle Pflanzen sind ein dynamisches Mittel, diese Wechselwirkungen genau zu erforschen, um Aussagen über effiziente Ressourcennutzung für Pflanzen in landwirtschaftlichen Kulturen treffen zu können – besonders in Hinblick auf klimatische Veränderungen im Zuge des Klimawandels.

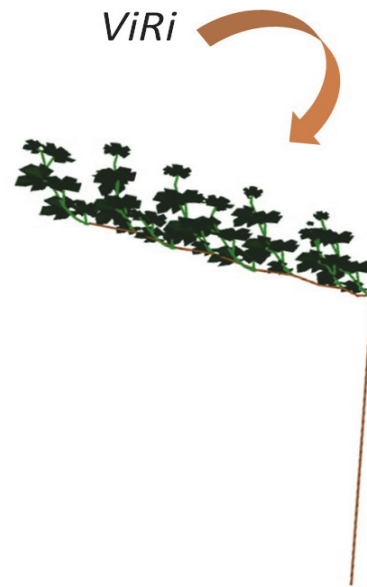


Abb. 1: Beispiele funktional-struktureller Pflanzenmodelle: Virtuelle Tomate (links), virtuelle Paprika (Mitte) und virtuelle Rieslingrebe (rechts).



Die virtuelle Riesling-Rebe

Das Pflanzenmodell, welches in der WinUM 2.0-Simulation angewendet wird, ist das dreidimensionale dynamische Modell einer Weinrebe der Sorte Riesling: *Virtueller Riesling*, kurz *ViRi*, entwickelt an der Hochschule Geisenheim University. Das Pflanzenmodell basiert auf Daten digitalisierter Riesling-Reben, erhoben in einem experimentellen Weinberg der Hochschule in Geisenheim, gelegen in der Weinregion Rheingau. Das Modell zeigt den Effekt steigender Temperaturen auf die Laubwand im Weinberg.



Eignung der Riesling-Rebe für die Forschung

Als temperatursensitive Kulturpflanze, welche in Deutschland in 13 Anbaugebieten kultiviert wird, eignet sich die Weinrebe hervorragend als Forschungsobjekt in der virtuellen Pflanzenforschung. Auf abiotische Umweltfaktoren wie z.B. Temperatur, Wasserverfügbarkeit und Nährstoffangebot und auf die weinbaulichen Maßnahmen der Winzerinnen und Winzer reagieren Weinreben mit einer Anpassung ihrer physiologischen Funktionen und Prozesse und ihres strukturellen Wachstums. Ein Großteil der Rebfläche in der Rheingau-Region ist mit der Sorte Riesling bepflanzt. Große Anbaugebiete dieser Sorte liegen außerdem in der Pfalz, an der Mosel und in Rheinhessen. Mithilfe des Pflanzenmodells soll die Variabilität der Laubwand vom Zeitpunkt des Austriebs bis zum Ende der Blüte dargestellt werden. Ziel ist, den Einfluss steigender Temperaturen auf die Architektur von Weinreben vorherzusagen und [hierbei](#) auch den Einfluss von weinbaulichen Maßnahmen mit einzubeziehen. Die Vorhersagen mithilfe des dreidimensionalen Pflanzenmodells und historischer Wetterdaten sollen perspektivisch dem Weinbau bei Strategien zur Pflege der Reben insbesondere in Bezug auf die Entblätterung nützen und sind damit ein innovatives Mittel der Klimaadaptation.



Die mathematische Modellierung von *ViRi*

Mathematische Grundlage der Darstellung von virtuellen Pflanzen bilden formale Sprachen. *ViRi* wurde gemäß der mathematischen Modellierung nach Aristid Lindenmayer entwickelt. Bei den nach ihrem Begründer benannten Lindenmayer-Systemen (L-Systeme) handelt es sich um eine mathematische Vorgehensweise, welche die Methoden der formalen Sprachen nutzt, um die Entwicklung mehrzelliger biologischer Organismen zu beschreiben. Die Idee basiert auf der Erkenntnis, dass natürliche Strukturen wie Blätter oder Zapfen symmetrisch aufgebaut sind und dass sich pflanzliche Organismen während ihres Wachstums aus repetitiven Strukturelementen entwickeln.

Die Methodik der L-Systeme ist das regelgeleitete Umschreiben simpler Strukturen zu komplexen geometrischen Formen. Die Bildung der Formen startet an einem definierten Ausgangspunkt, dem sogenannten Axiom, welches gemäß den Regeln in mehreren Schritten zu einer vollständigen geometrischen Form umgeschrieben. Wie eine geometrische Form in mehreren Schritten durch regelgeleitetes Umschreiben aus einem Axiom entsteht, zeigt das klassische Beispiel der Koch'schen Schneeflocke (siehe Abb.2).

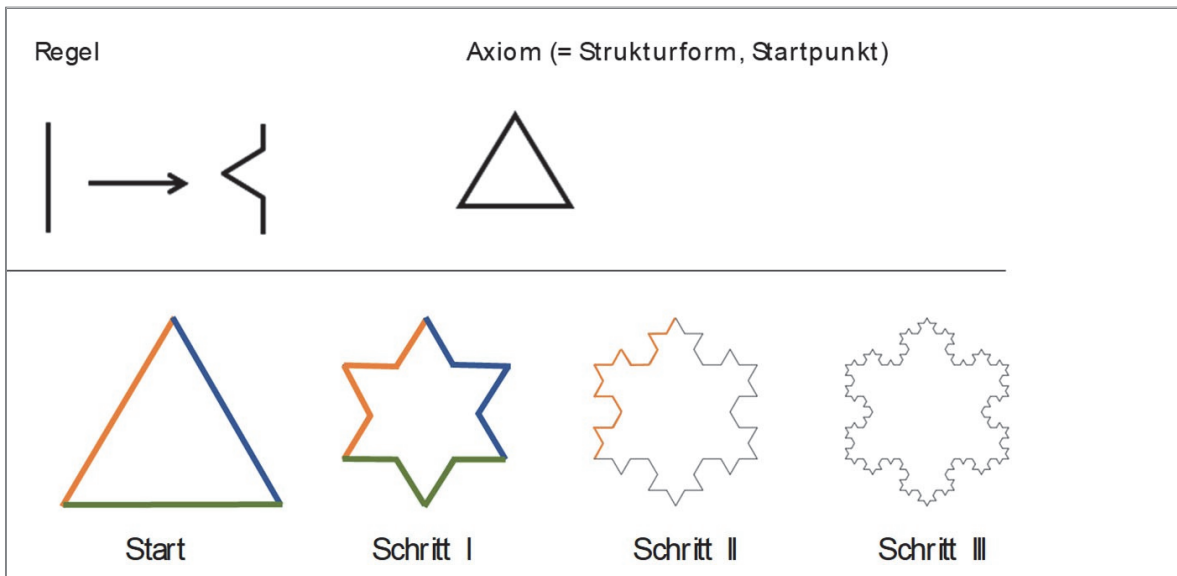
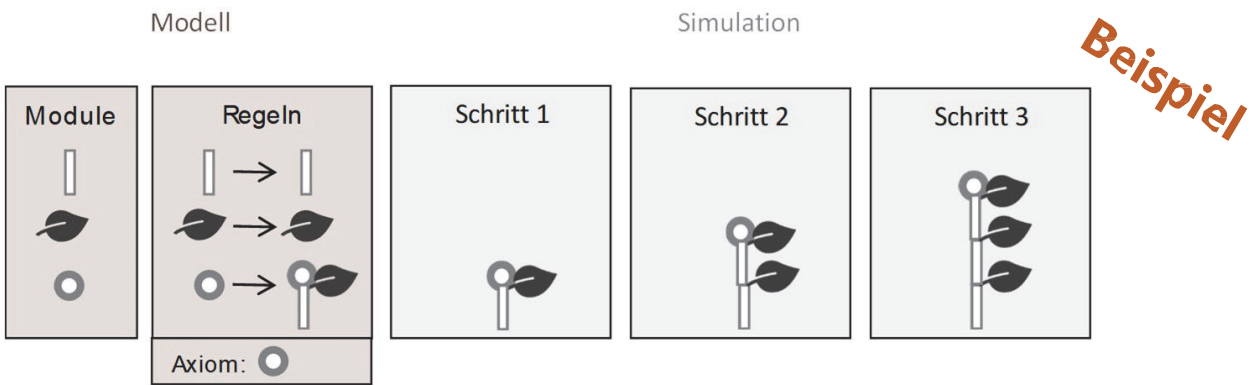


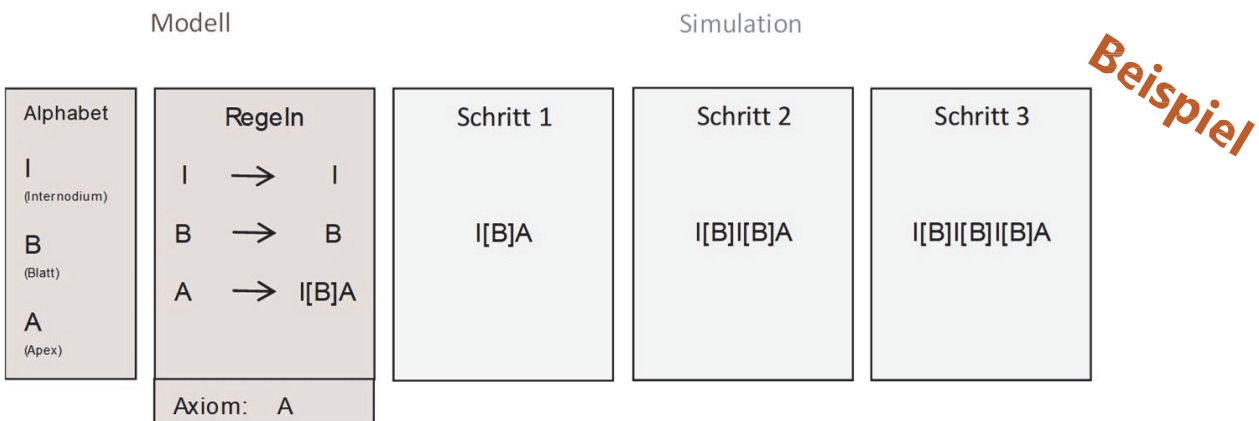
Abb. 2: Die Koch'sche Schneeflocke. Obere Zeile: Eine Regel gibt vor, wie Strukturelemente eines Axioms als Startpunkt schrittweise umgeschrieben werden sollen. Untere Zeile: In Schritt 1 wird jede der drei geraden Linien des Axioms (farbig dargestellt) gemäß der obenstehenden Regel in eine Linie mit Zacken umgeschrieben. Im zweiten Schritt wiederholt sich diese Vorgehensweise (ausschnittthaft wieder farbig dargestellt). Im dritten Schritt ist aus dem Axiom die Form einer Schneeflocke entstanden.



Bezogen auf die Pflanzenarchitektur wird eine virtuelle Pflanze durch regelgeleitetes Umschreiben ausgehend von einem Startpunkt entwickelt. Dabei werden elementare Module einer Pflanze wie das Internodium (I), die Blätter (B) und der Apex (A) durch Nachfolgesymbole ersetzt. Das folgende Beispiel zeigt die Entwicklung einer einfachen Pflanze aus den elementaren Modulen Internodium, Blatt und Apex. Das Pflanzenwachstum erfolgt regelgeleitet in die Höhe, wobei der Apex immer die oberste Struktur der Pflanze bildet.



Um diese Formen computerlesbar zu machen, wird das Alphabet der formalen Sprachen genutzt. Aus den Buchstaben des Alphabets lassen sich durch regelgeleitetes Umschreiben Zeichenketten bilden, welche computerlesbar sind und im Computer als Strukturen visualisiert werden können. Das Alphabet besteht im Fall des gewählten Beispiels aus den Buchstaben I, B und A. Bei schrittweiser Anwendung der Regeln ist zu beachten, dass die Entwicklung immer in die Höhe stattfindet und ein Blatt seitlich ausgebildet wird. Aus diesem Grund wird das Blatt (B) in eckige Klammern gesetzt. Der Apex (A) ist in jedem Schritt der letzte Buchstabe der letzte Buchstabe.





2. Didaktische Betrachtungen und methodische Grundlagen

Funktionsweise der Simulation

Modell und Simulation

Ein Modell ist die Beschreibung eines realen Systems anhand mathematischer Gleichungen. Dabei ist das Modell eine stark vereinfachte und näherungsweise Darstellung eines realen Systems.

Eine Simulation wird definiert als die Anwendung eines Modells anhand mathematischer Gleichungen. Eine Simulation zeigt in der Anwendung einen Verlauf an und variiert im Ergebnis bei jeder Durchführung.

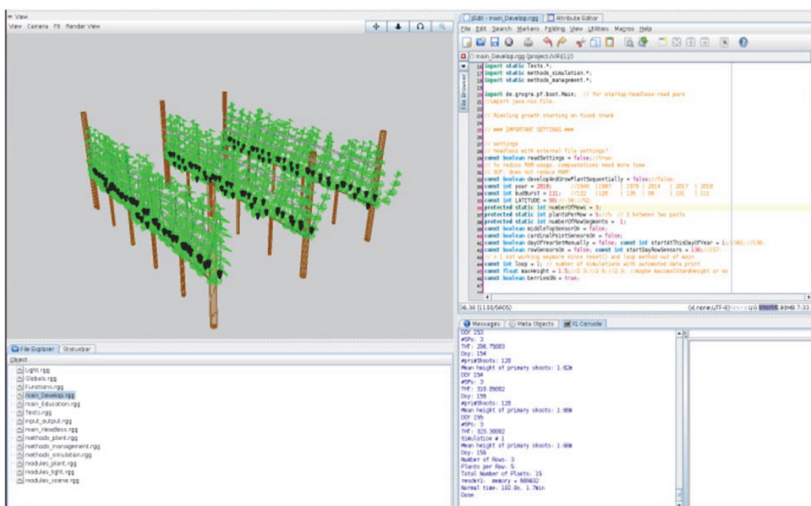
Der vorangegangene Abschnitt zur mathematischen Modellierung hat Modell und Simulation vorgestellt. Wird eine *WinUM 2.0*-Simulation gestartet, läuft der Simulationsprozess schrittweise im Hintergrund der Benutzeroberfläche auf der Modellierungs- und Simulationssoftware *GroIMP* (growth-grammar related interactive modelling platform) ab. Bei *GroIMP* handelt es sich um eine frei verfügbare Software basierend auf der regelgeleiteten Programmiersprache XL. Auf der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) der *WinUM 2.0*-Simulation ist der Simulationsprozess nicht zu sehen. Am Ende des Prozesses erscheinen dort die generierten Daten.



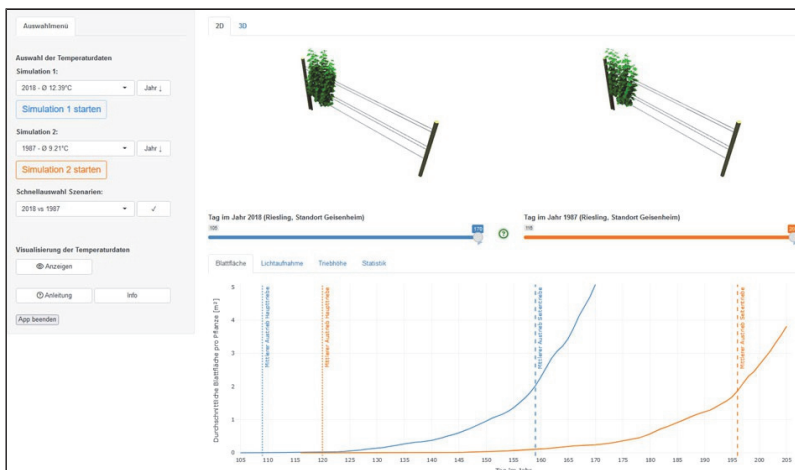
WinUM 2.0 – von der Forschung ins Klassenzimmer

Im Verlauf des Projektes *WinUM 2.0* wurde die grafische Benutzeroberfläche zur Simulation des virtuellen Weinbergs stark vereinfacht und didaktisch aufbereitet, um ein anschauliches digitales Tool für Schülerinnen und Schülern mit hoher Nutzerfreundlichkeit zu entwickeln und um die für den Unterricht relevanten Aspekte **in den Mittelpunkt zu rücken**.

Um Forschungsnähe und Authentizität der Prozesse und Daten beizubehalten, wurden keine Inhalte der Benutzeroberfläche verändert, sondern ausgewählte Inhalte **betrachtet** und die Nutzerfreundlichkeit stark erhöht. Alle Rechenprozesse finden im Hintergrund statt, um die Aufmerksamkeit der Anwender auf die Eingabe von Parametern und die Datenanalyse zu lenken. Nachstehend ist die Entwicklung der Benutzeroberfläche durch die Projektarbeit von *WinUM 2.0* in einer Vorher-Nachher-Abbildung dargestellt.



Projektarbeit WinUM 2.0





Didaktische Schwerpunkte

In der didaktischen Bearbeitung war es von besonderer Bedeutung, eine Benutzeroberfläche zu schaffen, die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit bietet, vergleichbare und aussagekräftige Daten zu generieren.

Bei der Ausgabe der Daten wurden besonders eine deutliche Visualisierung der Ergebnisse als 2D- und 3D-Darstellung priorisiert, um die Datenausgabe in Tabellen und Graphen sinnvoll und anschaulich zu ergänzen. Mit den generierten Abbildungen der Weinrebe wird Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler genommen, die in den Weinregionen häufig Weinreben sehen können.

Bei der Ausgabe der Daten in Tabellen und Graphen wurde darauf geachtet, lediglich die für den Unterricht relevanten Daten anzuzeigen, um eine Überfrachtung zu vermeiden. Durch die Möglichkeit, zwei Simulationen nacheinander durchzuführen und die Ergebnisse von Simulation 1 und Simulation 2 nebeneinander zu betrachten, ist ein direkter Vergleich deutlich unterschiedlicher Simulationsergebnisse möglich. Somit ist gewährleistet, dass Schülerinnen und Schüler die Erkenntnisse und Fähigkeiten gewinnen können, die in den Lernzielen vorgegeben sind.

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler gehen fachgerecht mit dem digitalen Medium Computersimulation um und generieren ausgehend von einer Problemstellung selbständig Daten.
- Die Schülerinnen und Schüler werten die Daten vergleichend aus, treffen Aussagen über Pflanzenwachstum und -entwicklung in Abhängigkeit der Temperatur und setzen die Ergebnisse in Zusammenhang mit den Folgen des Klimawandels für das Agrarökosystem Weinberg.
- Die Schülerinnen und Schüler beantworten zeitgemäße ökologische Fragestellungen und reflektieren gesellschaftliche sowie persönliche Verantwortung in Zeiten des Klimawandels.



Kompetenzorientierung von WinUM 2.0

In Anlehnung an die Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

Sachkompetenz

- Die Schülerinnen und Schüler strukturieren und erschließen biologische Phänomene sowie Anwendungen der Biologie (S2).

Erkenntnisgewinnungskompetenz (Kernkompetenz)

- Die Schülerinnen und Schüler generieren Daten mithilfe der Simulation als digitales Werkzeug und werten die Daten aus (E7).
- Die Schülerinnen und Schüler finden in den erhobenen Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen, ziehen Schlussfolgerungen und sie beurteilen die Gültigkeit der Daten und ermitteln mögliche Fehlerquellen (E9).
- Die Schülerinnen und Schüler diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von virtuellen Modellen (E12).

Kommunikationskompetenz

- Die Schülerinnen und Schüler wählen relevante und aussagekräftige Informationen und Daten in Bezug zum Klimawandel aus und erschließen Informationen aus den Simulationsergebnissen mit verschiedenen, auch komplexen Darstellungsformen (K2).

Bewertungskompetenz

- Die Schülerinnen und Schüler reflektieren kurz- und langfristige, lokale und globale Folgen eigener und gesellschaftlicher Entscheidungen in Bezug auf landwirtschaftliche Praktiken, Ökosystemleistungen, Lebensmittelsicherheit und Klimaschutz (B10).
- Die Schülerinnen und Schüler beurteilen und bewerten Auswirkungen von aktuellen Forschungsmethoden der Biologie im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung aus ökologischer, ökonomischer, politischer und sozialer Perspektive (B12).



3. Das Agrarökosystem Weinberg

Merkmale des Weinbergs

Ein Weinberg ist eine Intensivkultur auf dafür geeigneten Flächen, traditionell in Flusstälern und Hangbereichen. In einer typischen Monokultur wie dem Weinberg werden die geeigneten Flächen jahrzehntelang ausschließlich für den Anbau einer Pflanzenart, hier der Weinrebe *Vitis vinifera* L., genutzt. Dabei haben die Reben eine Standzeit von 20 bis 80 Jahren. Des Weiteren werden im konventionellen Weinbau auf dem Boden keine anderen konkurrierenden Pflanzen geduldet, sondern die Weinreben werden in durchgehenden geradlinigen Zeilen angepflanzt, sodass sich zwischen den einzelnen Zeilen ein bis zwei Meter breite Gassen bilden.

Weinbau ist von den Umweltbedingungen abhängig

Während sich auf der Erde je nach klimatischen Bedingungen unterschiedliche Ökosysteme an geeigneten Orten ausgebildet haben, kann auch das Agrarökosystem Weinberg nur unter spezifischen Umweltbedingungen bestehen. Dazu zählen mindestens 1300 Stunden Sonnenschein pro Jahr, eine Durchschnittstemperatur von mindestens 18° Celsius während der Vegetationsphase sowie ein jährlicher Niederschlag von mehr als 400 bis 500 Millimetern.

Weinbau kann nur in den warm gemäßigten Zonen der Erde betrieben werden. Die Weinanbauregionen der Erde liegen größtenteils zwischen dem 30. und 50. Breitenrad auf der Nordhalbkugel und zwischen dem 40. und 50. Breitengrad auf der Südhalbkugel. Tropen und Subtropen sind aufgrund der fehlenden jahreszeitlichen Unterschiede, zu früher Traubenreife und zu hohen Pilzbefalls für den Weinbau ungeeignet. Die mit Abstand flächenmäßig größten Weinanbauregionen in Europa liegen in Spanien, Frankreich und Italien. Die Weinbauregionen in Deutschland liegen global gesehen an der nördlichen Weinbaugrenze und verteilen sich vor allem auf den Südwesten des Landes. Dass sich die globale Jahresdurchschnittstemperatur erhöht und extreme Wetterbedingungen zur Folge hat, macht sich auch in deutschen Weinbergen bemerkbar und wird zukünftig die Standortbedingungen der einzelnen Regionen verändern.

Struktur des Weinbergs und der Weinrebe

In einer Weinbergszeile wachsen die Weinreben in regelmäßigem Abstand nebeneinander (siehe Abb. 3). Die Weinreben besitzen ein tiefes und weit verzweigtes Wurzelgeflecht, das für Standfestigkeit und die Wasser- und Nährstoffversorgung zuständig ist.



Abb. 3. Weinbergszeile von der Seite betrachtet. Stamm und Blätterdach sind erkennbar. Eine Weinrebe wird in Abb. 4 mit ihren Strukturelementen gezeigt.

Oberirdisch gliedert sich der Aufbau einer Weinrebe in einen Stamm aus mehrjährigem Holz, sowie, je nach Erziehungssystem, eine oder mehrere Fruchtruten. Aus den Knospen der Fruchtruten bilden sich die Triebe.

An den Trieben der Weinrebe entwickeln sich die Blätter und Blüten. Aus den Fruchtständen der Blüten werden im Sommer die Weinbeeren. Die Entwicklung der Weinrebe innerhalb eines Jahres und damit die Qualität der Weinbeeren hängt zu einem großen Teil von der Ausprägung der abiotischen Umweltfaktoren Temperatur und Sonnenlicht während der Wachstumsperiode der Reben ab.

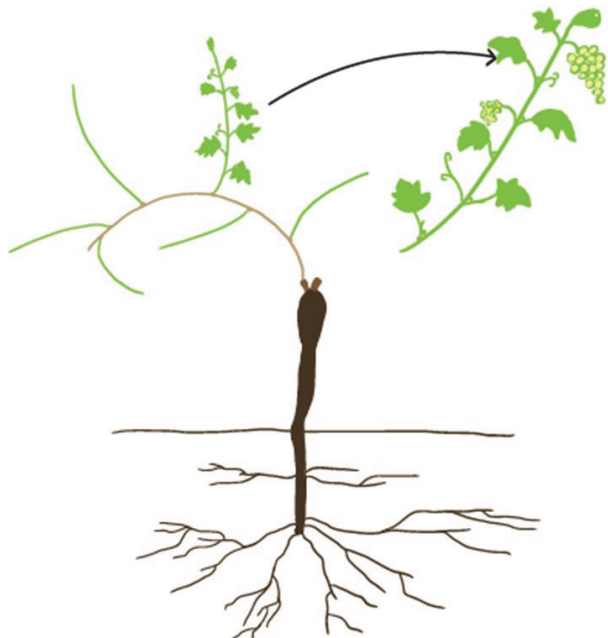


Abb. 4. Zeichnung einer Weinrebe. Ein einzelner Trieb wird hervorgehoben.

Notizen



Phänologie =
Periodisch wiederkehrende
Entwicklungserscheinungen
der Pflanzen im
Jahresverlauf.

Die phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe

Winterruhe



Knospenschwellung



Blüte



Fruchtansatz



Abb. 5: Ausgewählte phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (Rotweinsorte). Eine Vegetationsphase findet zwischen zwei Phasen der Winterruhe statt (Vegetationsruhe). Obere Reihe: Nach der Winterruhe beginnt die Knospenschwellung, die Knospen treiben aus, die Blätter und Gescheine entwickeln sich. Untere Reihe: Nach der Blüte reifen aus den befruchteten Blüten die Weinbeeren bis zur Vollreife heran.

Austrieb



Gescheinsbildung



Véraison (Reifebeginn)



Vollreife





Die phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe

Entwicklungsstadium	Vorkommnisse
Knospenschwellung	Die Knospenschwellung markiert den Beginn der Vegetationsphase und geht mit einer deutlichen Vergrößerung der bereits angelegten Knospen einher. Auf die Knospenschwellung folgen das Wollestadium und der Austrieb
Austrieb	Der Austrieb ist der definierte Zeitpunkt, zu dem die Hälfte der Knospen eines Weinbergs bereits geöffnet sind und grüne Blattspitzen erkennen lassen. Der Austrieb ist in hohem Maße temperaturabhängig und steht am Anfang der Blattentwicklung.
Gescheinsbildung	Die rispenartigen Blütenstände (Gescheine) werden im späten Frühjahr deutlich sichtbar und vergrößern sich. Aus den Knospen der Gescheine entstehen die Blüten der Rebe.
Blüte	Die Phasen der Blüte gliedern sich in den Beginn der Blüte, wenn die ersten Blütenkämpchen abgeworfen werden, die Blüte, die Vollblüte und das Ende der Blüte. Aus den befruchteten Blüten bilden sich die Früchte (Weinbeeren).
Fruchtanasatz	Die Weinbeeren entwickeln sich nach der Blüte von etwa Schrotkorngröße über die Erbsengröße. Der Traubenschluss markiert das Ende der Fruchtentwicklung, die Beeren sind ausgewachsen und verdecken das Stielgerüst.
Véraison	Sind die Früchte voll entwickelt und das Stielgerüst nicht mehr sichtbar, beginnt die Fruchtreife. Die Véraison markiert dabei den Zeitpunkt des Reifebeginns im Sommer. Die Früchte verfärben sich während der Reife und werden weich.
Vollreife	Wenn die Früchte weich und verfärbt sind, erreichen sie eine hohe Zuckerkonzentration und werden zum Zeitpunkt der Vollreife geerntet. Im Weinbau wird die Ernte „Lese“ genannt.
Laubfall / Winterruhe	Nach der Weinlese im Spätsommer/Herbst verlieren die Weinreben die Laubblätter, dies ist der letzte Abschnitt im jährlichen Vegetationszyklus. Die Weinreben treten anschließend wieder in die Winterruhe ein. Der Stoffwechsel der Weinrebe ist auch im Winter intakt und die Knospen für das nächste Frühjahr sind als sogenannte Winteraugen angelegt.

Hinweis: Bei den hier gezeigten Entwicklungsstadien handelt es sich um eine Auswahl der zahlreichen Stadien gemäß dem BBCH-Code für Weinreben. Die für den Weinbau wichtigen Zeitpunkte (Austrieb, Blüte, Véraison, Vollreife) werden fokussiert.



4. Klimawandel und Weinbau – Herausforderungen und Perspektiven

Klimawandel

= Zusätzliche Erwärmung der Erdoberfläche seit Beginn der Industrialisierung um ca. +1°C im globalen Mittel im Zuge des Treibhauseffekts, verstärkt durch anthropogene Treibhausgase.

Klimawandelfolgen

= Großflächige Veränderungen wie der Rückgang der Gletscher und des Grönland Eises, der Anstieg des Meeresspiegels, die Übersäuerung der Meere und die Verschiebung der Klimazonen in nördliche Richtung.

Klimawandelfolgen für den Weinbau

Die Lufttemperatur ist der Haupteinflussfaktor auf das Wachstum und die Entwicklung der Weinrebe. Die Temperaturerhöhung und weitere Parameter wie Wasserknappheit und extreme Unwetterereignisse wie Hagelschlag und Überflutungen als Folgen des Klimawandels triggern aktuelle Veränderungen während der Vegetationsperiode der Weinrebe. Betroffen sind davon sowohl das Wachstum und die phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe, die Rebenphysiologie und die Beerenzusammensetzung als auch letztendlich die Weinqualität.

Die im Weinbau deutlichste Konsequenz des globalen Temperaturanstieges liegt in der Verschiebung der phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe. Im Weinbau sind die maßgeblichen Zeitpunkte im Jahresverlauf der Austrieb, die Blüte, die *Véraison* und die Vollreife (Zeitpunkt der Lese). Bei durchschnittlich wärmeren Temperaturen verschieben sich die genannten Entwicklungsstadien insgesamt auf frühere Zeitpunkte im Jahr mit Unterschieden in den verschiedenen Weinregionen.



Klimawandelfolgen für den Weinbau in Deutschland

Die Klimawandelfolgen für den Weinbau unterscheiden sich für die global weit verteilten Weinbauregionen unterschiedlicher klimatischer Zonen, weshalb sich auch keine einheitliche Anpassungsstrategie für alle Weinbauregionen definieren lässt.

Die Verschiebung der phänologischen Entwicklungsstadien sowie die Verschiebung der Weinbauregionen in nördliche Richtung sind globale Phänomene. Gebiete der wärmeren Regionen, wie die Mittelmeerregion, werden in Zukunft stärker von Hitzewellen betroffen sein als gemäßigte Gebiete und werden deshalb ihre Eignung für den Weinbau eventuell ganz verlieren. In den gemäßigten Gebieten, zu denen Deutschland gehört, wird eine starke Verschiebung in der Wahl der Rebsorten bereits deutlich. Winzerinnen und Winzer setzen vermehrt auf Rebsorten, besonders Rotweinsorten, die besser an wärmere Temperaturen angepasst sind. Dies bedeutet gleichzeitig eine Herausforderung für die Branche, aber ebenso auch eine Chance.

Trotz der verheerenden Folgen des Klimawandels führen höhere Temperaturen und mehr Sonnenlicht zu stärkerem Pflanzenwachstum und süßen Beeren, was die Qualität des Weinjahrganges steigern kann. Nichtsdestotrotz stehen die Klimawandelfolgen im Weinbau symptomatisch für die Herausforderungen, vor denen die gesamte Lebensmittelproduktion steht und in Zukunft stehen wird. Die wissenschaftliche Forschung an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, wie an der Hochschule Geisenheim University, gibt richtungsweisende Anhaltspunkte für eine ressourcenschonende, effektive Landwirtschaft in Zeiten klimatischer Veränderungen.

Die Bedeutung eines frühen Austriebs

Tabelle mit Daten aus der Rheingau-Region in Deutschland, nach Schmidt et al., 2019 der Hochschule Geisenheim. Über den Zeitraum von 1940 bis 2018 wird allgemein eine Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur (Lufttemperatur) ersichtlich, verbunden mit einem Austriebsdatum, das sich im Jahr nach vorne verschiebt.

Jahr	Lufttemperatur (°C)	Austrieb (Tag im Jahr)
1940	8,3	122
1979	9,4	135
1987	9,2	120
2014	12,0	99
2017	11,3	101
2018	12,4	111

Die frühen Termine des Austriebs sind ein eindeutiges Zeichen für den Einfluss erhöhter Temperaturen auf Wachstum und Entwicklung der Weinrebe. Da die phänologischen Entwicklungsstadien aufeinander aufbauen, bedeutet ein früher Austrieb auch eine frühe Blüte sowie eine frühe *Véraison*. Während der Beerenreife sind die Beeren besonders anfällig für Hitzeschäden und Sonnenbrand-schäden (siehe Abb. 6). Bei einem frühen Austrieb verlagert sich die Beerenreife vom Spätsommer in die heißen Sommermonate und setzt die Beeren verstärkt den herrschenden Wetterbedingungen aus. Neue Schadbilder, wie der Sonnenbrand auf Früchten zum Zeitpunkt der *Véraison*, treten nicht nur im Weinbau, sondern auch im Obstbau auf und sorgen für Ernteaufälle und Qualitätseinbußen.

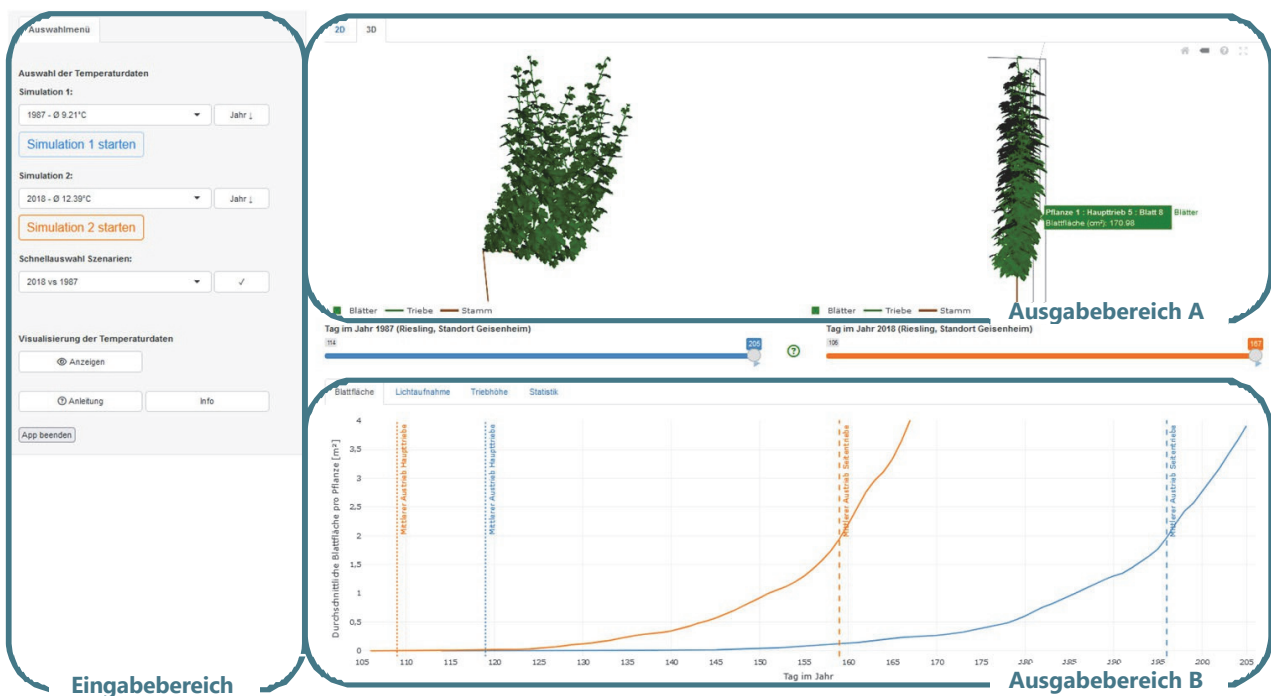


Abb. 6: Schadbild Sonnenbrand im Weinberg. Die Weinbeeren sind teilweise oder ganz eingetrocknet und verhärtet.



5. Die Benutzeroberfläche der Computersimulation – Eingabe und Ausgabe

Aufteilung der Benutzeroberfläche in drei Bereiche



Eingabebereich: Der Eingabebereich enthält neben einer Schritt-für-Schritt Anleitung zur Bedienung der Computersimulation alle Eingabefelder, damit eine Simulation nach ausgewählten Kriterien gestartet werden kann. Der Farbcode **Simulation 1: blau** und **Simulation 2: orange** gilt für den Eingabebereich sowie für den gesamten Ausgabebereich.

Ausgabebereich A: Der Ausgabebereich A enthält die 2D- und 3D-Visualisierung der Simulationsergebnisse. Nach Durchführung von Simulation 1 und Simulation 2 erscheinen die Ergebnisse nebeneinander.

Ausgabebereich B: Im Ausgabebereich B werden die generierten Daten in Form von Graphen (für Blattfläche, Lichtaufnahme und Triebhöhe) und in Form einer Tabelle (Statistik) ausgegeben. In der Datenausgabe ist ein direkter und intuitiver Vergleich der Simulationsergebnisse möglich.



Eingabebereich

Der Eingabebereich hat den Reiter **„Auswahlmenü“**. Über das Auswahlmenü lassen sich zwei Simulationen in ihren Grundeinstellungen durchführen.

The screenshot shows the 'Auswahlmenü' (Selection Menu) interface. It includes sections for 'Auswahl der Temperaturdaten' (Selection of temperature data) with two simulation options, 'Schnellauswahl Szenarien' (Quick selection of scenarios), and 'Visualisierung der Temperaturdaten' (Visualization of temperature data). Callouts explain the functionality of various elements: the year selection dropdowns, the 'Simulation 1 pausieren...' button, the 'Simulation 2 starten' button, the 'Schnellauswahl Szenarien' dropdown, the 'Anzeigen' button, the 'Anleitung' button, and the 'App beenden' button.

Über den Button **„Anleitung“** kann bei Bedarf direkt zu Beginn eine Schritt-für-Schritt Anleitung zur Bedienung des Eingabebereichs aufgerufen werden.

Die Anwendung kann ausschließlich über den Button **„App beenden“** geschlossen werden.



Visualisierung der Temperaturdaten

Nach Klicken auf den Button „Anzeigen“ erscheinen im Pop-up-Fenster eine Graphik und eine Tabelle. In der Graphik sind die **Temperaturverläufe** über die ausgewählten Jahre beider Simulationen dargestellt (Simulation 1: blau und Simulation 2: orange). Über zwei weitere Reiter können effektive Temperaturen und geschätzter Austrieb graphisch dargestellt werden.



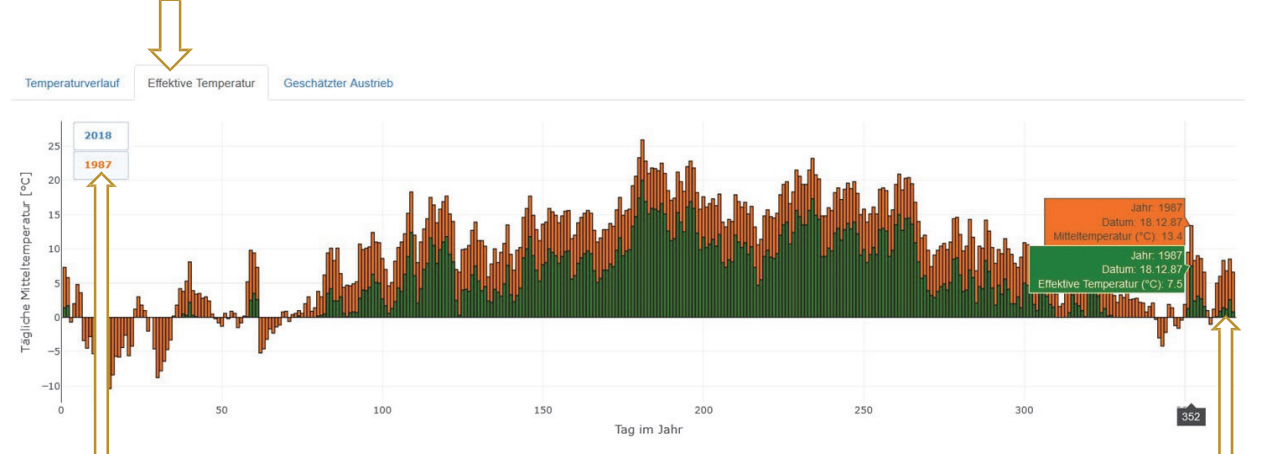
In der Tabelle sind den ausgewählten Jahren die generierten Daten zugeordnet: Minimaltemperatur, Maximaltemperatur, Mitteltemperatur in der Vegetationsperiode, Geschätzter Austrieb und Temperatursumme.

Das Pop-up kann ausschließlich über den Button „Schließen“ geschlossen werden.



Visualisierung der Temperaturdaten

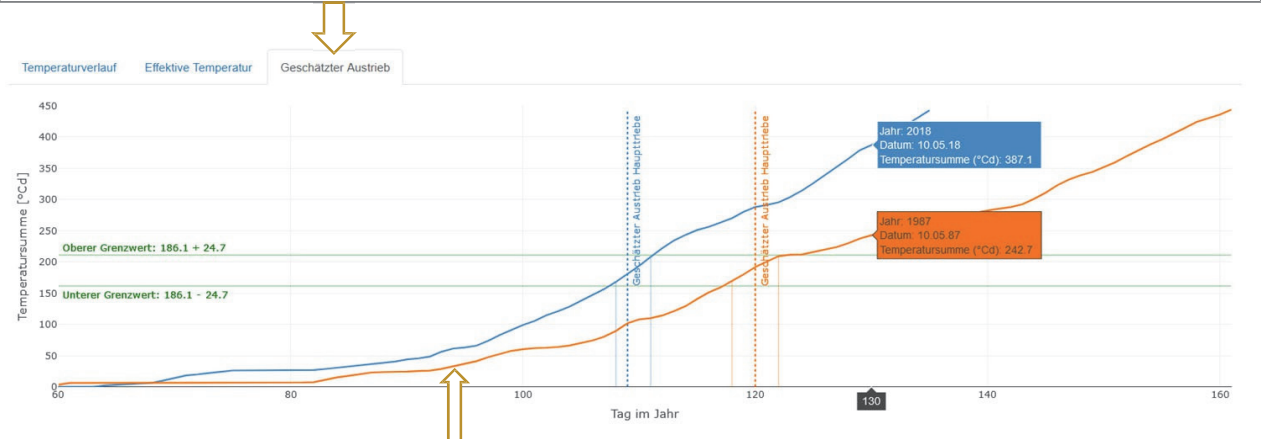
Nach Klicken auf den Button „Anzeigen“ erscheinen im Pop-up-Fenster eine Graphik und eine Tabelle. In der Graphik kann neben den Temperaturverläufe auch effektive Temperaturen und geschätzter Austrieb graphisch dargestellt werden.



Über diesen Button kann ein ausgewähltes Jahr für die Simulation aktiviert werden.

Die tägliche Mitteltemperatur wird über Balken derselben Farbe wie die Simulation dargestellt (hier orange) und die effektive Temperatur (Temperatur minus Basistemperatur) mit grünen Balken visualisiert. Die aufsummierten effektiven Temperaturen ergeben die Temperatursumme in Gradtagen (°Cd).

Um den geschätzten Austrieb anzuzeigen, auf den Reiter „Geschätzter Austrieb“ klicken.



Es werden die Verläufe der Temperatursummen (°Cd) für beide Simulationen dargestellt (blaue und orange Kurve). Sobald der untere Grenzwert für den Austrieb (untere grüne horizontale Linie) erreicht wird, beginnt das Zeitfenster für den geschätzten Austrieb. Es schließt, wenn die obere Temperatursumme (obere grüne horizontale Linie) erreicht wird. Insgesamt ergibt sich ein Zeitfenster für den geschätzten Austrieb (vertikale Linien in blau oder orange). Die geschätzten mittleren Austriebsdaten (Tag im Jahr) werden über gepunktete vertikale Linien in der entsprechenden Farbe der Simulation dargestellt.



Ausgabebereich A

Der Ausgabebereich A beinhaltet die visuelle Darstellung der Simulationsergebnisse. Die Simulation 1 wird links dargestellt (blau) und Simulation 2 wird rechts dargestellt (orange). Mithilfe der beiden Reiter über der jeweiligen Abbildung kann zwischen der 2D- und der 3D-Darstellung des virtuellen Weinbergs gewechselt werden.



Die 3D-Darstellung bietet die Option, die einzelnen Pflanzenorgane Blätter, Triebe und Stamm durch Klicken auf die Bezeichnung an- oder auszuschalten. Des Weiteren ist es möglich, die Abbildung zu zoomen, zu drehen, zu verschieben und eine Vollbildansicht zu erzeugen. Diese Funktionen sind in der 2D-Darstellung nicht bereitgestellt.

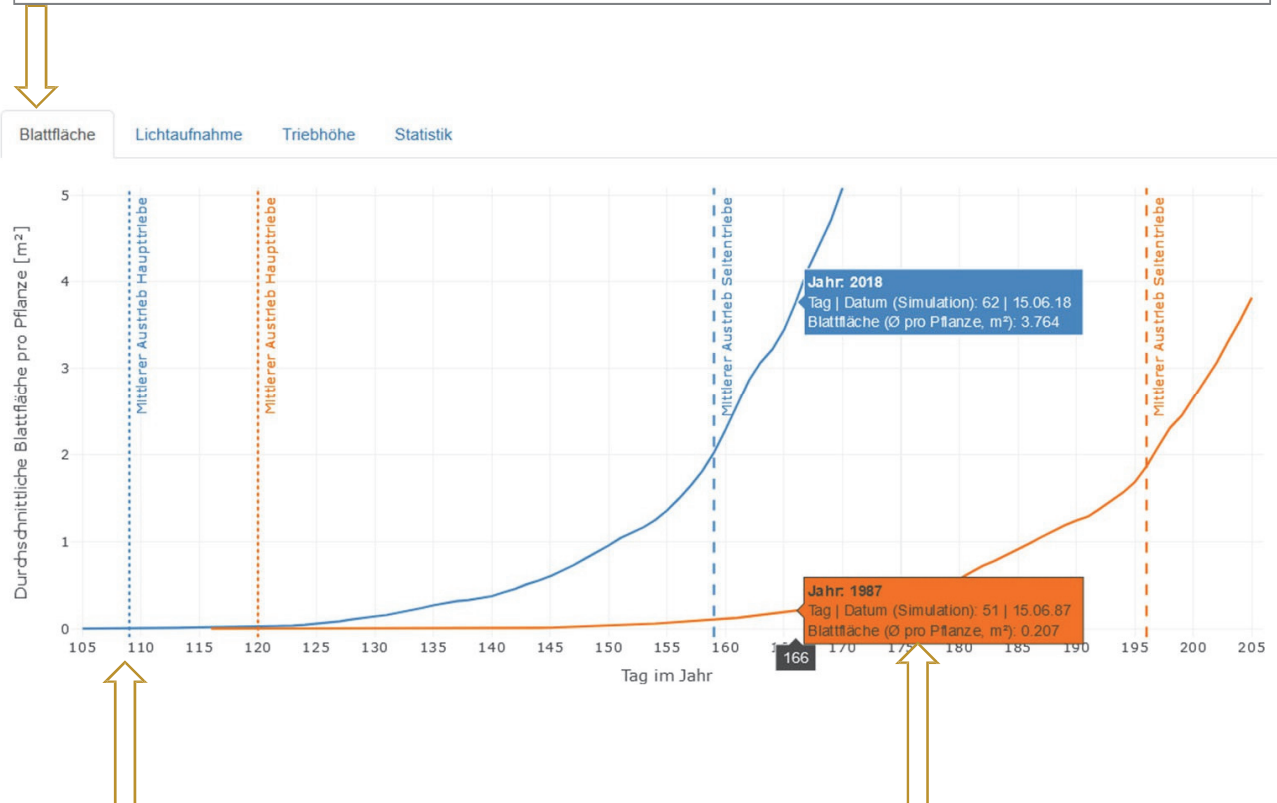
Ein Schieberegler unterhalb der Abbildungen zeigt die Dauer des Simulationsprozesses in Tagen an: Die Simulation startet am Tag des Austriebs und endet an dem Tag, an dem alle Triebe eine Triebhöhe über 2,30 m erreicht haben. Der Zeitraum zwischen diesen beiden Ereignissen kann durch den Schieberegler beliebig verkürzt werden oder der Schieberegler kann auf einen ganz bestimmten Tag im Jahr eingestellt werden.

Nach Anklicken des grünen Fragezeichens wird eine Anleitung gestartet, die alle Eigenschaften von Ausgabebereich A erläutert.



Ausgabebereich B

Im Ausgabebereich B sind die Ergebnisse unter vier Reitern darstellbar: **Blattfläche**, **Lichtaufnahme**, **Triebhöhe** und **Statistik**. Unter den Reitern Blattfläche, Lichtaufnahme und Triebhöhe gelangt man zu einer grafischen Darstellung der Simulationsergebnisse. Von zwei Simulationen sind Daten über die Simulationsdauer grafisch dargestellt, die Ergebnisse von Simulation 1 und Simulation 2 sind farblich voneinander abgesetzt. Die Werte sind ablesbar und vergleichbar.



Zwei vertikale gestrichelte Linien einer Farbe geben für eine durchgeführte Simulation an, wann der Austrieb im jeweiligen Jahr erfolgt ist. **Erste Linie:** Austrieb der Haupttriebe, **zweite Linie:** Austrieb der Seitentriebe.

Alle Mauszeigerinformationen eines x-Achsenabschnitts werden gleichzeitig in Abhängigkeit der Mauszeigerposition eingeblendet. Dies ermöglicht nicht nur ein exaktes Ablesen der Daten, sondern auch eine gleichzeitige Darstellung der Daten von zwei Simulationen.



Ausgabebereich B

Durch Klicken des Reiters „**Statistik**“, gelangt man zur Darstellung der Daten in Form einer Tabelle. In der Tabelle sind wieder die Simulationsergebnisse von zwei Simulationen gemeinsam dargestellt und farblich unterschieden.

Blattfläche	Lichtaufnahme	Triebhöhe	Statistik				
Aktueller Tag Datum (Simulation)	Blattfläche (Ø pro Pflanze, m²)	Anzahl Blätter (Ø pro Pflanze)	Triebhöhe (Ø, m)	Aktueller Tag Datum (Simulation)	Blattfläche (Ø pro Pflanze, m²)	Anzahl Blätter (Ø pro Pflanze)	Triebhöhe (Ø, m)
170 19.06.18	5.084	732	2.37	205 24.07.87	3.816	527	2.28
Mitteltemperatur (Ø, Jahr, °C)	Mitteltemperatur (Ø, Simulationsperiode, °C)	Austrieb Haupttriebe (Ø, Tag im Jahr)	Austrieb Seitentriebe (Ø, Tag im Jahr)	Mitteltemperatur (Ø, Jahr, °C)	Mitteltemperatur (Ø, Simulationsperiode, °C)	Austrieb Haupttriebe (Ø, Tag im Jahr)	Austrieb Seitentriebe (Ø, Tag im Jahr)
12.4	17.9	109	159	9.2	15.1	120	196

Simulation 1
Simulation 2

In der Tabelle der Statistik sind sowohl allgemeine Daten angegeben als auch dynamische Daten, die zu dem letzten Tag der jeweiligen Simulationsdauer gehören, bzw. sich dynamisch verändern, wenn über den Schieberegler zwischen Ausgabebereich A und Ausgabebereich B ein spezifischer Tag im Jahr ausgewählt wird. Die dynamischen Daten sind in der Farbe der jeweiligen Simulation hinterlegt. Auf der linken Seite der Tabelle sind alle Daten für Simulation 1 und auf der rechten Seite alle Daten für Simulation 2 aufgeführt.

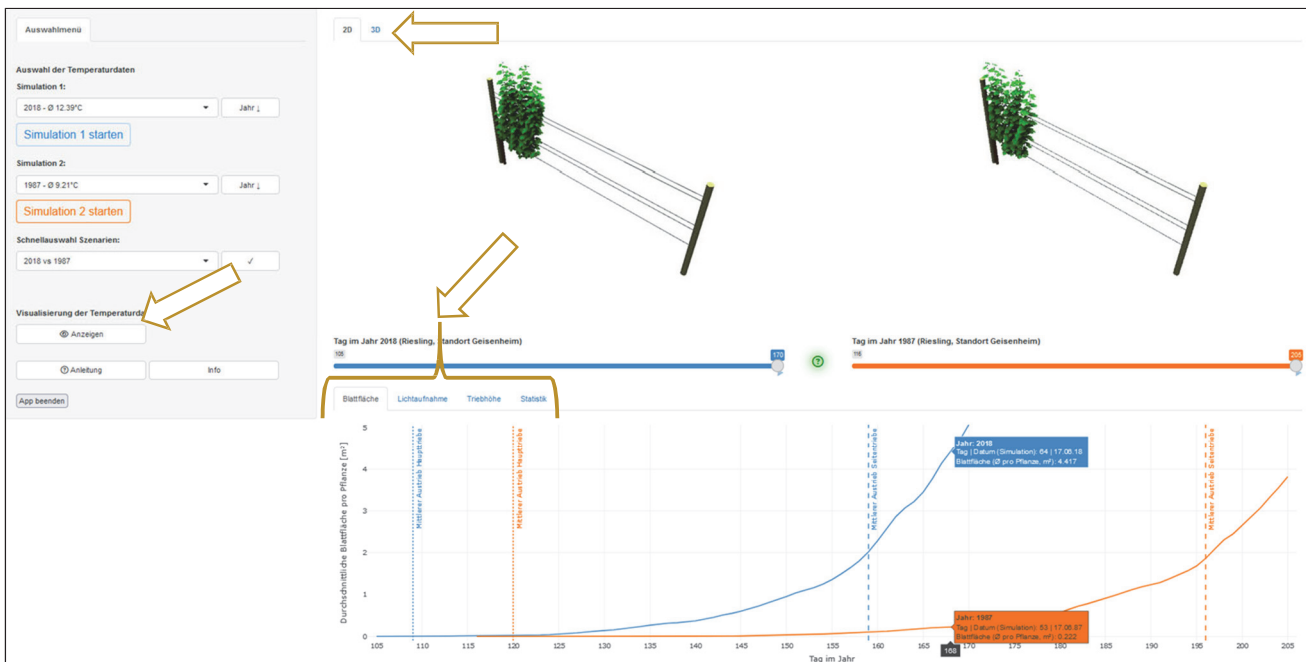
Dynamische Daten: Aktueller Tag der Simulation, Blattfläche, Anzahl Blätter, Triebhöhe, Mitteltemperatur der Simulationsdauer

Allgemeine Daten: Mitteltemperatur des Jahres, Mitteltemperatur über die gesamte Simulationsperiode, Austrieb Haupttriebe, Austrieb Seitentriebe



6. Daten auswerten, interpretieren und diskutieren

Um nach Durchführung der Simulationen die Daten auszuwerten, zu interpretieren und zu diskutieren müssen diese aus verschiedenen Bereichen der grafischen Benutzeroberfläche gesammelt werden. Dies ist im Ausgabebereich A in der 2D- und 3D-Darstellung möglich sowie im gesamten Ausgabebereich B und mit der Visualisierung der Temperaturdaten. Auf der grafischen Benutzeroberfläche ist es möglich, die Daten von Simulation 1 und Simulation 2 direkt zu vergleichen. Wird eine dritte Simulation gestartet, verschwinden die Daten der Vorgängersimulation und sind in dem Programm nicht mehr länger abrufbar.





Wichtige Parameter zur Auswertung und Interpretation der Daten:

Jahresmitteltemperatur: Die Temperatur ist der ausschlaggebende Umweltfaktor, welcher in der Simulation Wachstum- und Entwicklung der Weinrebe beeinflusst. Im Online-Tool der *WinUM 2.0*-Simulation sind Jahresmitteltemperaturen von 8,33 °C bis 12,39 °C aus den Jahrgängen 1940 bis 2018 wählbar. Eine Simulation liefert Daten, die aber allein noch keine Aussage über die Stärke des Wachstums und die Entwicklung über das Jahr möglich machen. Eine Aussage diesbezüglich wird mit dem Vergleich zweier Simulationen möglich.

Austrieb: Aus den Knospen der Fruchtrute einer Weinrebe entwickeln sich im Frühjahr die Haupttriebe. In der *WinUM 2.0*-Simulation ist die Zahl der Haupttriebe auf acht festgelegt. Der Tag im Jahr (*DOY / Day-of-year*), an dem der Austrieb der Haupttriebe stattfindet, ist entscheidend für die Entwicklung der Weinrebe in diesem Jahr. Der jeweilige Tag des Austriebs findet sich im Ausgabebereich B. Dort ist er entweder in den Daten der „Statistik“ ablesbar oder einer der Grafiken „Blattfläche“, „Lichtaufnahme“ oder „Triebhöhe“ entnehmbar. Ebenfalls wichtig für die Entwicklung der Weinrebe ist der Tag im Jahr, an dem die Seitentriebe austreiben. Sobald die Seitentriebe austreiben, verstärkt sich das Wachstum des Blätterdaches zunehmend. Auch dieser Tag ist in den genannten Bereichen ablesbar.

Durch die Übersetzungstabelle innerhalb der Benutzeroberfläche ist der *DOY* in das zugehörige Datum übertragbar und erleichtert die Interpretation der Daten. Mit den beiden Austriebs-Daten lassen sich wichtige Aussagen über den Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung der Pflanze treffen. Ein früher Austrieb der Haupttriebe im Jahr bedeutet, dass schon zu Beginn des Jahres hohe Temperaturen die Pflanzenentwicklung angestoßen haben. Treiben auch die Seitentriebe früh aus, kommt es schneller zu einem insgesamt starken Pflanzenwachstum und zu einer Erhöhung der Blattfläche.



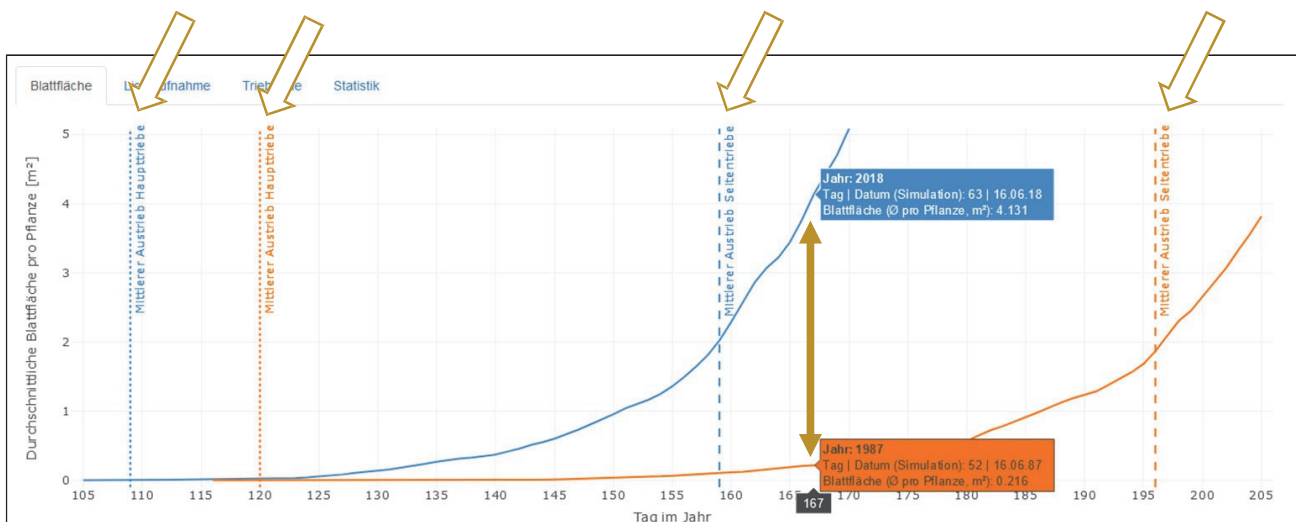
Temperatursumme: Die phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe sind abhängig von der Temperatur bzw. der Temperatursumme. Die Temperatursumme wird (in *ViRi*) gebildet, indem ab dem 1. März eines Jahres für jeden Tag eine Mitteltemperatur gebildet wird. Von jeder einzelnen Mitteltemperatur wird eine Basistemperatur von 10°C abgezogen, woraus sich die effiziente Temperatur ergibt (die effiziente Temperatur ist ausschlaggebend für das Pflanzenwachstum). Durch Aufsummieren der effizienten Temperaturen erhält man die Temperatursumme in Gradtagen. Die Knospen des Rieslings treiben aus, wenn eine Temperatursumme von 186 +/- 24,7 Gradtagen (°Cd) erreicht ist.

Triebhöhe: In einem Weinberg erfolgt im Verlauf der Triebentwicklung der sogenannte Rebschnitt, eine Maßnahme, um das Höhenwachstum der Reben zu begrenzen. Aus diesem Grund endet eine Simulation, wenn alle acht Haupttriebe die Höhe von 2,30 m erreicht bzw. überschritten haben. Über die Triebhöhe lässt sich eine Aussage über die Geschwindigkeit des Pflanzenwachstums in einer Vegetationsperiode treffen.

Blattfläche: Kurz nach dem Austrieb beginnen sich die ersten kleinen Blätter der Weinrebe zu entfalten. Die Haupttriebe wachsen im Verlauf des Frühlings in die Höhe und bilden neue Blätter, wodurch die Blattfläche pro Weinrebe langsam ansteigt. Erst mit dem Austrieb der Seitentriebe kommt es zu einer starken Zunahme der Blattfläche. Über die Blattfläche lässt sich auf die Stärke des Pflanzenwachstums insgesamt schließen.

Direkter Vergleich von zwei Simulationen

Im WinUM 2.0-Projekt wurde besonders Wert auf die Ausgabegrafik zu Blattfläche und Triebhöhe gelegt. In dieser Grafik kann die Entwicklung von Blattfläche und Triebhöhe von zwei Simulationen direkt verglichen werden. Im folgenden Beispiel ist durch das Anschauen der Grafik direkt die Aussage möglich, dass sich die Blattfläche im Jahr 2018 deutlich schneller entwickelt hat, als im Jahr 1987. Dies ist unmittelbar auf die Unterschiede in den Jahresmitteltemperaturen zurückzuführen (**2018: 12,39 °C** und **1987: 9,21 °C**). In der Grafik ist außerdem ein direkter Vergleich der Austriebsdaten möglich. Durch die vertikalen farbigen Linien wird direkt erkennbar, dass die Austriebsdaten von Simulation 1 (blau) und Simulation 2 (orange) weit auseinanderliegen (siehe vertikale Linien markiert durch Pfeile).



Die Daten aus dem direkten Vergleich von zwei Simulationen ermöglichen die Interpretation, dass hohe Jahresmitteltemperaturen zu früheren Austriebsdaten sowie verstärktem Pflanzenwachstum führen. Bezogen auf die Wirtschaftlichkeit des Weinbaus bieten Jahre mit hoher Jahresmitteltemperatur die Chance, Früchte in hoher Qualität zu lesen und einen guten Weinjahrgang zu erzielen. Diese Interpretation bezieht neben der Temperatur keine weiteren Umweltfaktoren mit ein und nimmt noch keinen Bezug zum globalen Klimawandel.



Der Vergleich mehrerer Simulationen zeigt Zusammenhänge zum Klimawandel auf WinUM 2.0

Um einen Bezug zum globalen Klimawandel herzustellen, muss ein längerer Zeitraum in die Datenauswertung einbezogen werden. Aus diesem Grund werden im Unterricht (mindestens) vier Simulationen durchgeführt und die Daten der Simulationen werden in einer Tabelle übersichtlich gesammelt. Die gewählten Jahre der Simulationen werden in der Tabelle chronologisch geordnet, damit ein Zeitverlauf sichtbar wird, in welchem sich zunächst die Jahresmitteltemperatur entlang des Verlaufs erhöht. Mit der Erhöhung der Jahresmitteltemperatur über die Zeit gehen folgende Phänomene einher: Früherer Austrieb der Haupttriebe, früherer Austrieb der Seitentriebe, frühes Erreichen der Endhöhe, größere Blattfläche, schnelleres Triebwachstum.

Kriterien	Daten			
Weinjahrgang (A, B, C oder D)				
Jahr				
Mitteltemperatur (Jahr, °C)				
Tag Datum des Austriebs (Haupttriebe)				
Tag Datum des Erreichens der Endhöhe				
Blattfläche (Ø, m²) an Tag 170 (Datum: _____)				
Pflanzenhöhe (Ø, m) an Tag 170 (Datum: _____)				
Tag Datum des Austriebs der Seitentriebe				

Abb. 7: Tabelle entnommen aus den Arbeitsblättern für Schülerinnen und Schüler. Die Daten von vier Simulationen können in der Tabelle eingetragen und miteinander verglichen werden.

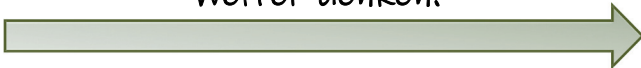
Interpretation und Diskussion: Die Folgen des Klimawandels – Chancen und Herausforderungen

Der Klimawandel äußert sich in erster Linie durch steigende Jahresmitteltemperaturen. Der Einfluss höherer Temperaturen bedeutet für Winzerinnen und Winzer in Deutschland zunächst die Chance auf einen guten Weinjahrgang, da hohe Temperaturen für verstärktes Wachstum sorgen und sich eine hohe Zahl an Sonnenstunden positiv auf den Zuckergehalt der Früchte auswirkt. In Zusammenhang mit dem Klimawandel sind in einem nächsten Schritt weitere Klimawandelfolgen wie Hitzewellen, Unwetterereignisse, Starkregen, Bodenerosion, Hagel, Pflanzenschädlinge und Krankheiten mit einzubeziehen. Alle diese Ereignisse beeinflussen den Weinbau stark.



Durch immer weiter steigende Temperaturen werden sich die eben genannten Wetterphänomene in Zukunft weiter verstärken. Aus diesem Grund ist es für Winzerinnen und Winzer unabdingbar, sich mit den Folgen des Klimawandels auseinanderzusetzen und Anpassungsmaßnahmen einzuleiten. Dabei setzen sie schon heute auf kleine Anpassungsmaßnahmen wie eine angepasste Bewässerung oder neue Managementstrategien und große Anpassungsmaßnahmen wie die gesamte Umstellung der angebauten Sorten auf hitzeresistente und/oder pilzwiderstandsfähige Sorten oder die Umstellung des Betriebes auf die ökologische Bewirtschaftungsform.

Weiter denken:



- *Übertragung der Ergebnisse aus der Simulation auf den gesamten Landwirtschaftssektor*

Weinreben sind ein geeigneter Modellorganismus, da sie sehr sensibel auf klimatische Veränderungen reagieren. Im Anbau werden sie auch für die Produktion von Trauben und Rosinen genutzt, aber in erster Linie für die Weinproduktion. Schon heute und perspektivisch werden auch alle anderen Kulturpflanzen von den Klimawandelfolgen betroffen sein, was die Lebensmittelproduktion zur Ernährung der Weltbevölkerung vor eine große Aufgabe stellt.

- *Reflexion der gesellschaftlichen Verantwortung*

Noch können Anpassungsmaßnahmen von Winzerinnen und Winzern ergriffen werden, langfristig muss aber ein weiterer Anstieg der Durchschnittstemperaturen vermieden werden, was eine politische und gesellschaftliche Aufgabe unserer Zeit darstellt.

- *Reflexion der eigenen Verantwortung*

Als Mitglieder der Gesellschaft und als Konsumenten sind Schülerinnen und Schüler in der Verantwortung, ihr eigenes Verhalten in Bezug auf den Klimaschutz und die Unterstützung nachhaltiger Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion zu hinterfragen.



*Arbeitsblätter für Schülerinnen und Schüler
mit
Lösungsblättern*



Weinjahrgang:

Info

Ein Weinjahrgang ist die Gesamtheit aller Weine eines Vegetationszyklus. Der Jahrgang bezieht sich dabei auf das Jahr, in dem die Trauben, die später zu Wein verarbeitet werden, wachsen und reifen.

Vier Beschreibungen ausgewählter Weinjahrgänge:

„Viel und gut – das ist natürlich des Winzers Traum. Dazu kommt im Jahrgang 2018 noch ein ausgezeichneter Gesundheitszustand der Trauben. Der Jahrgang 2018 brachte weltweit Wein in Hülle und Fülle.“

Jahrgang: _____

A

„Zur Beschreibung des 2021er-Jahrgangs greifen Winzer einhellig zu der Aussage: Ein Jahrgang, wie er früher einmal üblich war. Aufgrund des hohen Selektionsaufwands bei der Lese gingen erste Schätzungen von einem Rückgang der Menge aus: Jahrgang top, Qualität top, aber Mengeneinbußen.“

Jahrgang: _____

B

Auszug aus dem Gedicht von Johannes Trojan *Die 88er Weine* (1888): „In diesem Jahr am Rheine, sind leider gewachsen Weine, die an Wert nur geringe, es reiften nur Säuerlinge [...] der 88er Rheinwein ist, leider Gottes, kein Wein [...] um zu vertreiben Trauer, er ist dafür zu sauer.“

Jahrgang: _____

C

„Der Weinjahrgang 1987 bringt keine Besserung. Dünne Weine mit wenig Eleganz! Der Zucker fehlt und damit auch der Alkohol.“

Jahrgang: _____

D

Aufgaben:

- 1) Lesen Sie die vier Beschreibungen der Weinjahrgänge A bis D und ordnen Sie allen Beschreibungen eine Jahreszahl zu.
- 2) Finden Sie Erklärungen **auf Ebene der Weinrebe**, warum ein Weinjahrgang besonders gut/ besonders schlecht/ mittelmäßig war. Als Erklärung können Sie z.B. klimatische, botanische, morphologische und weinbauliche Fakten anführen – nutzen Sie dafür das Simulationsprogramm!



Arbeiten mit dem Simulationsprogramm

I. Eine Simulation durchführen und auswerten

Simulation 1

Durchführen der Simulation 1

- 1) Wählen Sie für die Simulation 1 einen der Weinjahrgänge (A-D) aus. Geben Sie diesen Parameter im Auswahlmenü ein (Abbildung links).
- 2) Starten Sie die Simulation 1 und lassen Sie die Simulation bis zum Schluss laufen.
- 3) Verschaffen Sie sich einen Überblick über die angezeigten Ergebnisse und gehen Sie zur Auswertung der Simulation 1 über.

Auswerten der Simulation 1

- 1) Vergleichen Sie das Erscheinungsbild der simulierten Rebe mit Ihren Kenntnissen über die Morphologie der Weinrebe. Listen Sie fünf Merkmale der Weinrebe auf, die Sie in der Abbildung erkennen.

Hinweis: Es kann zwischen 2D und 3D-Ansicht gewechselt werden.

- 2) Beschreiben Sie den Verlauf der Kurven von a) der Blattfläche und b) der Pflanzenhöhe.
- 3) Welche Zeitpunkte markieren die beiden gestrichelten senkrechten Linien?
- 4) Notieren Sie alle erforderlichen Werte in der vorgegebenen *Tabelle 1* (AB 4). Ordnen Sie in der Tabelle die Jahrgänge aufsteigend von links nach rechts!

Hinweis: Die für die Tabelle benötigten Werte finden Sie an verschiedenen Stellen im Simulationsprogramm.

Arbeiten mit dem Simulationsprogramm

2. Simulationen vergleichen

Simulation 2

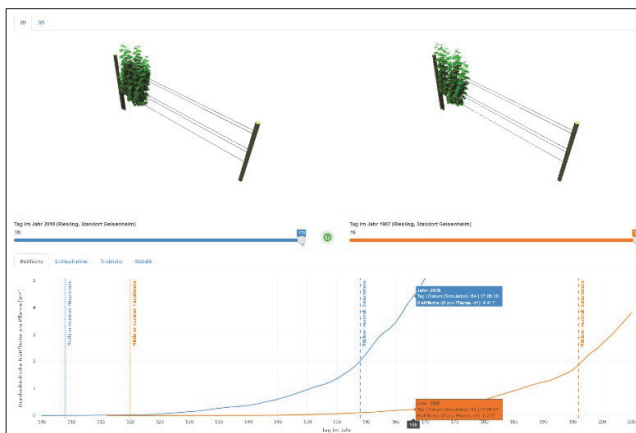
Durchführen der Simulation 2

- 1) Wählen Sie für die Simulation 2 einen zweiten Weinjahrgang aus.
- 2) Bevor Sie die Simulation starten: Notieren Sie Erwartungen für
 - a) den Tag des Simulationsbeginns
 - b) den Tag des Simulationendes

Hinweis: Nutzen Sie als Hilfestellung die Ergebnisse aus Simulation 1!

- 3) Starten Sie die Simulation 2 und lassen Sie die Simulation bis zum Schluss laufen.

Auswerten der Simulationen 1 und 2



- 1) Notieren Sie alle erforderlichen Werte in der vorgegebenen *Tabelle 1* (AB 4).
- 2) Vergleichen Sie die Kurvenverläufe der Blattfläche und der Pflanzenhöhe beider Simulationen (siehe Abbildung links). Stellen Sie mindestens zwei Vermutungen darüber an, worin sich das Pflanzenwachstum der beiden Jahre unterscheidet.

Simulation 3 und 4

Durchführen der Simulation 3 und 4

- 1) Wenn Sie die Werte der Simulation 1 und Simulation 2 in die Tabelle übertragen haben, führen
- 2) Sie nun Simulation 3 und 4 durch. Notieren Sie alle Werte in *Tabelle 1* (AB 4).

Tabelle 1: Simulationsergebnisse nach Kriterien geordnet. Übersicht der Daten der 4 Simulations-Durchläufe mit aufsteigenden Jahreszahlen von links nach rechts! Beachten Sie die Tabelle „Tag im Jahr“ zur Übersetzung der Tage im Jahr in das korrekte Datum und nutzen Sie die angezeigte Hilfestellung, wenn Sie unsicher beim Eintragen sind.

Hinweis: Das Kriterium Pflanzenhöhe entspricht der Triebhöhe in der Simulation

Kriterien	Daten			
Weinjahrgang (A, B, C oder D)				
Jahr				
Mitteltemperatur (Jahr, °C)				
Tag Datum des Austriebs (Haupttriebe)				
Tag Datum des Erreichens der Endhöhe				
Blattfläche (Ø, m ²) an Tag 170 (Datum: _____)				
Pflanzenhöhe (Ø, m) an Tag 170 (Datum: _____)				
Tag Datum des Austriebs der Seitentriebe				



Simulationsergebnisse auswerten und vergleichen

Aufgaben

Um einen Vergleich der Simulationsergebnisse und damit der vier unterschiedlichen Weinjahrgänge anzustellen, nutzen Sie die Werte der Tabelle (AB 4) und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

1. Betrachten Sie für alle 4 Spalten (Simulation 1 – Simulation 4) jeweils das Jahr und die Mitteltemperatur des Jahres. Wie verändert sich die Mitteltemperatur über die Zeit bis zum Jahr 2018?

2. Betrachten Sie für alle 4 Spalten jeweils das Jahr, die Mitteltemperatur des Jahres und das Datum des Austriebs. Welche Entwicklungstendenz stellen Sie beim Datum des Austriebs über die Zeit bis zum Jahr 2018 fest?

3. Nennen Sie jeweils das Jahr, in welchem das geringste und in welchem das größte Pflanzenwachstum stattfindet (beziehen Sie sowohl die Blattfläche als auch die Pflanzenhöhe und das Datum des Austriebs der Seitentriebe mit ein).

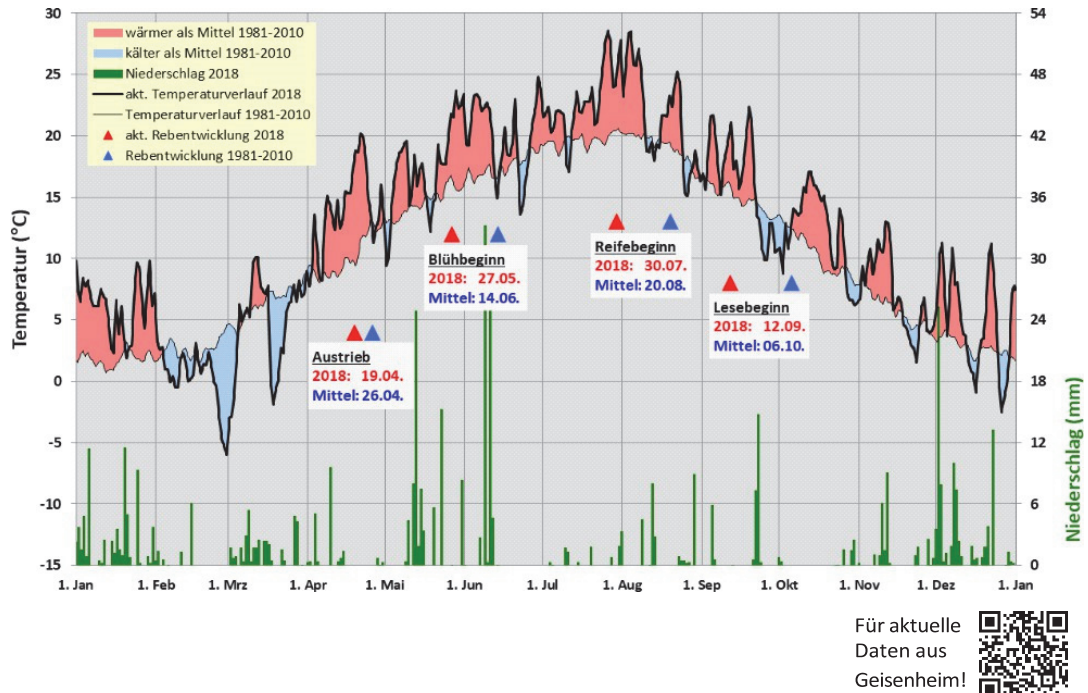
4. Nutzen Sie Ihr Wissen über die phänologischen Entwicklungsstufen der Weinrebe und über langfristige klimatische Veränderungen. Stellen Sie Vermutungen an, wie sich der Zeitpunkt des Austriebs sowie das Pflanzenwachstum allgemein in den kommenden 20 Jahren entwickeln bzw. verändern wird.

5. Nennen Sie anschließend mindestens drei Folgen des Klimawandels für den Weinberg.

M1

Titel:

Jahr 2018



Infobox

Witterung: Das durchschnittliche Wetter an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt. Wetter: Der kurzfristige Zustand der Atmosphäre mit spür- und beobachtbaren Klimaelementen (Klimaelemente in der Atmosphäre sind z.B. Wind, Luftfeuchtigkeit Niederschlag, Temperatur, Bewölkung und Sonnenscheindauer).

Klima: Der mittlere Zustand der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum (z.B. 30-jährige Klimanormalperiode) in einem bestimmten Gebiet. Klimareferenzperioden wie die 30-jährige Klimanormalperiode dienen der internationalen Vergleichbarkeit und der Erfassung von Änderungen des Klimas. Die aktuelle Klimareferenzperiode ist seit dem 01.01.2021 der Zeitraum von 1991 bis 2020.

Interpretieren Sie die Grafik in M1:

- 1) Nennen Sie die Klimaelemente (siehe Infobox), die in der Grafik M1 aufgezeigt werden. Welche Bedeutung haben diese Klimaelemente für das Pflanzenwachstum allgemein?
- 2) Beschreiben Sie, was die gezeigte Kurve darstellt, indem Sie ihr einen passenden Titel geben.
- 3) Nennen Sie die vier „Meilensteine“ der Rebenentwicklung.
- 4) Treffen Sie anhand der gesamten Grafik eine begründete Einschätzung, ob es sich bei dem Jahr 2018 um ein besonders warmes oder ein besonders kaltes Jahr gehandelt hat.

Die Folgen des Klimawandels für den Weinbau

Aufgabe: Lesen Sie die Kurzberichte A-D und finden Sie für jeden Kurzbericht einen Titel. Achten Sie darauf, dass die jeweilige Überschrift die im Kurzbericht genannten Folgen des Klimawandels konkretisiert.

Titel: **A**

Der durch den Klimawandel verursachte Temperaturanstieg ist im Weinbau bereits deutlich zu spüren: Die Vegetationsperiode der Pflanzen, der Austrieb der Reben und die Reblüte verlagern sich tendenziell früher ins Jahr. Dadurch wird auch die Traubenreife beschleunigt: Während in den 60er- und 70er-Jahren viele Trauben erst Mitte bis Ende Oktober reif wurden, ist die Lesereife heute vielfach schon Mitte bis Ende September erreicht. Die Winzerinnen und Winzer können die Trauben dann meist noch hängen und länger reifen lassen, um bessere Qualitäten zu erzielen.

Titel: **B**

Mit der früheren Reblüte steigt jedoch auch die Gefahr einer Schädigung durch Spätfröste, die sich zeitlich kaum verschieben. Wirksame, traditionelle Maßnahmen gegen die nächtliche, eisige Kälte sind beispielsweise das Aufstellen von Heizkerzen aus Paraffin oder die Frostschutz-Beregnung der Blüten. Als großräumige Maßnahme zur Spätfrostbekämpfung und Schadensbegrenzung wird auch das Aufbrechen von Inversionslagen durch Windmaschinen erfolgreich praktiziert. Später im Jahr bedrohen lang andauernde Hitzeperioden und kurzzeitige extreme Trockenereignisse die Reben. Zwar können sie als Pfahlwurzler mit einer senkrecht tief nach unten wachsenden Hauptwurzel auch über längere Zeiträume mit weniger Wasser auskommen. Dauern die Hitzeperioden länger an, kann jedoch nur Bewässerung im Weinberg Abhilfe schaffen. Diese Schutzmaßnahmen sind aber kostspielig.

Titel: **C**

Sintflutartige Regenfälle in kurzer Zeit begünstigen Schädlingsbefall der Reben durch den Mehltau in den Sommermonaten und führen zu möglichen Ernteaussfällen. Auch langanhaltender Sommerregen begünstigt Pilzfall und führt vermehrt zu Fehleraromen im Wein. Abhilfe können hier neu gezüchtete, pilzwiderstandsfähige Rebsorten, die sogenannten PiWis, schaffen, die weit weniger empfindlich gegenüber Pilzkrankungen sind als die traditionellen Rebsorten.

Titel: **D**

Hagel, Hitze, Frost und Regen - auch wenn Landwirtinnen und Landwirte heute vieles beeinflussen und managen können, auf das Wetter können sie nur reagieren. Daher spielen Früherkennungssysteme bei der Anpassung an Klimaveränderungen eine neue große Rolle. Diese Systeme ermöglichen auf der Grundlage von Daten aus langfristigen Klimadatenmonitoring einen intelligenten Pflanzenschutz ermöglichen, Risiken im Vorfeld zu minimieren. Die enge Verknüpfung von Wetterdaten aus langfristigen Monitoringsystemen verbunden mit Prognose-Apps erleichtert die Vorhersage über zukünftige Schädlingsentwicklungen im Bereich des integrierten Pflanzenschutzes.

Quelle: Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. www.Landwirtschaft.de. April 2022.

Einführung in die formale Sprache „Lindenmayer-Systeme“

Aufgabe: Lesen Sie Material 1-3. Versuchen Sie vor allem, das visuelle Beispiel aus Material 2 gedanklich nachzuvollziehen.

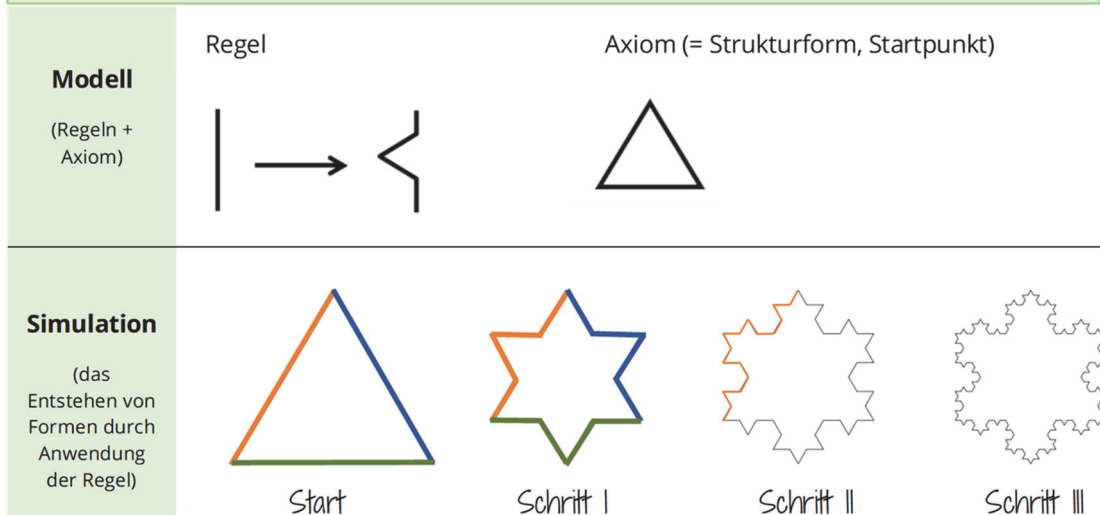
Material 1: Pflanzen und Mathematik, entnommen aus: *Die algorithmische Schönheit der Pflanzen*¹

Die Schönheit der Pflanzen zieht seit Jahrhunderten die Aufmerksamkeit von Mathematikern auf sich. Besonders auffällige geometrische Merkmale wie z.B. die Achsensymmetrie von Blättern oder die Rotationssymmetrie von Blumen sowie die schneckenförmige Anordnung der Schuppen von Kiefernzapfen wurden sehr ausführlich studiert. Dieser Fokus spiegelt sich auch in folgendem Zitat wider: **Schönheit ist untrennbar verbunden mit Symmetrie** (original: "Beauty is bond up with symmetry", H. Weyl, 1982).



Abbildung links: Weinblatt mit Achsensymmetrie.
Abbildung rechts: Kiefernzapfen mit schneckenförmig angeordneten Schuppen.

Material 2: Visuelles Beispiel zur Symmetrie: Die Kochsche Schneeflocke (Helge von Koch, 1904)



Material 3: Formale Sprachen

Formen wie die Kochsche Schneeflocke sind meistens nicht effizient von Computern lesbar, deshalb werden formale Sprachen mit einem eigenen Alphabet genutzt.

Eine formale Sprache entspricht der Menge an Wörtern, die sich aus ihrem Alphabet bilden lässt. Die Regeln zur Bildung der Wörter sind die Grammatik der formalen Sprache, während ein Algorithmus die genaue Anleitung dazu gibt.



Lindenmayer-Systeme

Die formale Sprache *Lindenmayer-Systeme* (auch *L-Systeme* genannt) verfügt wie alle formale Sprachen über ein eigenes Alphabet. Das Alphabet kann z.B. aus dem Buchstaben **P** bestehen (Übung 1). Mithilfe der L-Systeme lassen sich Zeichenketten bilden, um Formen computerlesbar zu machen (Übung 2).











¹Original (englisch): Przemyslaw Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer: *The Algorithmic Beauty of Plants*, 2004.

Einführung in die formale Sprache „Lindenmayer-Systeme“




Aufgabe: Bearbeiten Sie Übung 1 und Übung 2, indem Sie jeweils in das freie Feld **Simulation** die Simulationsschritte eintragen, welche sich aus dem gezeigten **Modell** ergeben.

Übung 1: Zeichenkette				
Modell	Regel	Axiom		
	$P \rightarrow PP$	P		
Simulation	P			
	Start	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3

Vorbereitung

Übung 2: Entwicklung einer Pflanze				
A: Visualisierung der Entwicklung mithilfe von Formen				
Modell	Formen und Bedeutung	Regeln	Axiom	
	 Internodium  Blatt  Apex <small>(Meristem = Bildungsgewebe an der Sprossspitze)</small>	1  \rightarrow  2  \rightarrow  3  \rightarrow 		
Simulation				
	Start	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3

Übersetzungsaufgabe

B: Übersetzung in formale Sprache				
Modell	Alphabet	Regeln	Axiom	
	 I  B  A	1 I \rightarrow I 2 B \rightarrow B 3 A \rightarrow IBA	A	
Simulation				
	Start	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3

AB 4 - Lösung

Tabelle 1: Simulationsergebnisse, nach Kriterien geordnet. Übersicht der Werte der 4 Simulations-Durchläufe mit aufsteigenden Jahreszahlen von links nach rechts! Beachten Sie als Hilfestellung die Tabelle „Tag im Jahr“ zur Übersetzung der Tage im Jahr in das korrekte Datum.

Jahreszahlen aufsteigend geordnet

Kriterien	Daten			
	A	B	C	D
Weinjahrgang (A, B, C oder D)				
Jahr	1940	1979	1987	2018
Mitteltemperatur (Jahr, °C)	8,33°C	9,41°C	9,21°C	12,39°C
Tag Datum des Austriebs (Haupttriebe)	121 30.04.	135 15.05.	119 29.04.	109 19.04.
Tag Datum des Erreichens der Endhöhe	194 12.07.	196 15.07.	205 24.07.	171 19.06.
Blattfläche (Ø, m²) an Tag 170 (Datum: _____)	0,872 m²	0,8 m²	0,241 m²	5,084 m²
Pflanzenhöhe (Ø, m) an Tag 170 (Datum: _____)	1,43 m	1,38 m	0,95 m	2,37 m
Tag Datum des Austriebs der Seitentriebe	185 03.07.	193 06.07.	196 15.07.	159 08.06.

Wichtige Erkenntnisse aus der Tabelle: Über den Verlauf der Zeit steigt die Mitteltemperatur eines Jahres an (Hinweis auf den globalen Klimawandel!). Hier wurden markante Jahre ausgewählt: Das Jahr 1888 war insgesamt ein sehr kaltes und somit für den Weinbau schlechtes Jahr, das Jahr 1987 zeigt sich nur etwas besser, die Jahre 2018 und 2020 waren besonders heiße Jahre, vor allem während der Vegetationsperiode der Weinrebe. Es lässt sich eine starke Verschiebung des Datums des Austriebs nach vorne im Jahr erkennen, die auf die Temperaturerhöhungen zurückzuführen ist.

Die Werte der Temperatursumme ergeben im Mittel immer etwa 184 Gradtage. 184+/-24 ist der Wert, der zum Erreichen des Austriebs für Weinreben generell nötig ist.



AB 5 – Lösung

Vergleich der Simulationsergebnisse

1. Betrachten Sie für alle 4 Spalten jeweils das Jahr und die Mitteltemperatur des Jahres. Welchen Entwicklungstendenz stellen Sie bei der Mitteltemperatur über die Zeit fest?

Über den Zeitraum 1940-2018 ist ein starker Anstieg der Jahresmitteltemperatur zu erkennen (von 8,33°C über 9,21°C und 9,21°C bis 12,37°C).

2. Betrachten Sie für alle 4 Spalten jeweils das Jahr, die Mitteltemperatur des Jahres und das Datum des Austriebs. Welche Entwicklungstendenz stellen Sie beim Datum des Austriebs über die Zeit fest?

Die Temperatursumme ist der Wert, der zum Erreichen des Austriebs nötig ist. In wärmeren Jahren wird der Wert schneller erreicht, deshalb verfrüht sich das Datum des Austriebs. In Jahren, die im Winter und Frühjahr etwas kälter sind, dauert es länger, bis die zum Austrieb nötige Temperatursumme erreicht wird. Deshalb findet der Austrieb später statt. Im Zuge der Temperaturerhöhungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel verfrüht sich der Austrieb tendenziell immer weiter.

3. Nennen Sie das Jahr, in welchem das größte Pflanzenwachstum stattfindet (beziehen Sie die Blattfläche, die Pflanzenhöhe und das Datum des Austriebs der Seitentriebe mit ein).

Im Jahr 2018 steigt die Pflanzenhöhe im Zeitraum von Tag 130 bis Tag 170 um 1,54 m. Dies ist vergleichsweise der stärkste Anstieg in der Pflanzenhöhe. Auch die Blattfläche steigt in diesem Jahr besonders stark an. Der Zeitpunkt des Austriebs der Seitentriebe ist im Gegensatz zu den anderen drei Jahren früh. Durch neue Seitentriebe werden schnell neue Blätter gebildet und verstärken das Wachstum nicht nur in die Höhe, sondern auch in die Breite.

Hinweis: Beim Pflanzenwachstum ist nie allein die Jahresmitteltemperatur entscheidend, da auch einzelne Monate sehr warm oder kalt sein können. Es lohnt sich auch die Temperatur der Vegetationsperiode zu beachten.

4. Nutzen Sie Ihr Wissen über die phänologischen Entwicklungsstufen der Weinrebe und über langfristige klimatische Veränderungen. Stellen Sie Vermutungen an, wie sich der Zeitpunkt des Austriebs sowie das Pflanzenwachstum allgemein in den kommenden 20 Jahren entwickeln bzw. verändern wird.

In den kommenden 20 Jahren wird mit weiteren Temperaturerhöhungen gerechnet (Das IPCC / International Panel on Climate Change prognostiziert weitere Temperaturszenarien für einen Anstieg von über +1,5°C). Im Zuge des Klimawandels wird es auch mehr heiße Jahre geben. Insgesamt wird sich der Zeitpunkt des Austriebs weiter verschieben und früh im Jahr stattfinden.

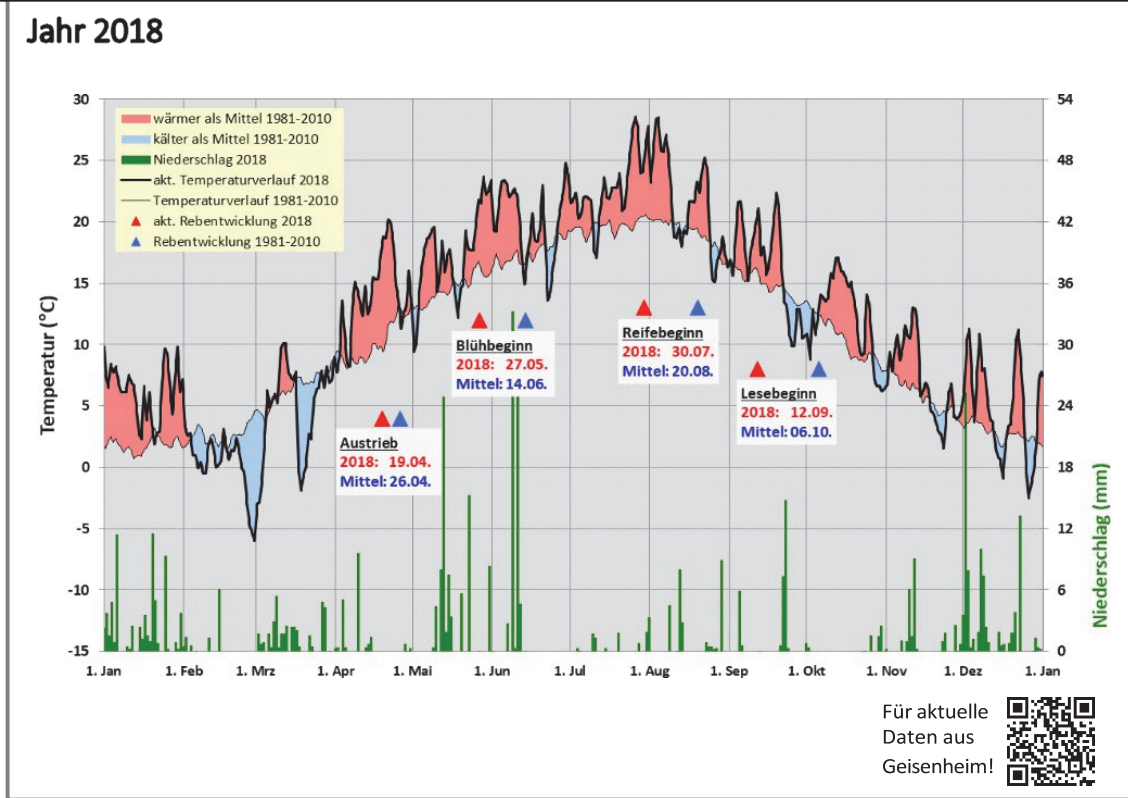
5. Nennen Sie anschließend mindestens drei Folgen des Klimawandels für den Weinberg.

Folgen des Klimawandels für den Weinberg sind eine höhere Weinqualität (nur im Rahmen eines leichten Temperaturanstiegs ohne Berücksichtigung von weiteren Klimawandelfolgen wie z. B. Extremwetterereignisse), ein früherer Austrieb, Trockenstress der Pflanzen und Sonnenbrandgefahr für die Beeren.

AB 6 – Lösung

M1

Titel: Die Rebenentwicklung im Jahresverlauf 2018 unter Einfluss von Temperatur und Niederschlag



Interpretieren Sie die Grafik in **M1**:

- 1) Nennen Sie die Klimaelemente (siehe Infobox), die in der Grafik M1 aufgezeigt werden. Welche Bedeutung haben diese Klimaelemente für das Pflanzenwachstum allgemein?

Klimaelemente: Temperatur, Niederschlag

Bedeutung: Steuerung der Winterruhe, Austrieb der Blätter, Entwicklung der Blüte, Reife der Beeren (Temperatur), Pflanzenwachstum, Stofftransport, Nährstoffaufnahme, Turgordruck (Niederschlag)

- 2) Beschreiben Sie, was die gezeigte Kurve darstellt, indem Sie ihr einen passenden Titel geben.
- 3) Nennen Sie die vier „Meilensteine“ der Rebenentwicklung.

Meilensteine: Austrieb, Blüte (Blühbeginn), Véraison (Reifebeginn), Vollreife (Lesebeginn)

- 4) Treffen Sie anhand der gesamten Grafik eine begründete Einschätzung, ob es sich bei dem Jahr 2018 um ein besonders warmes oder ein besonders kaltes Jahr gehandelt hat.

Es handelt sich um ein warmes Jahr, erkennbar am Vergleich der Mittelwerte.

AB 7 - Lösung

Die Folgen des Klimawandels für den Weinbau

Aufgabe: Lesen Sie die Kurzberichte A-D und finden Sie für jeden Kurzbericht **eine Überschrift**. Achten Sie darauf, dass die jeweilige Überschrift die im Kurzbericht genannten Folgen des Klimawandels konkretisiert.

Frühere Blüte und Reife

Der durch den Klimawandel verursachte Temperaturanstieg ist im Weinbau bereits deutlich zu spüren: Die Vegetationsperiode der Pflanzen, der Austrieb der Reben und die Reblüte verlagern sich tendenziell früher ins Jahr. Dadurch wird auch die Traubenreife beschleunigt: Während in den 60er- und 70er-Jahren viele Trauben erst Mitte bis Ende Oktober reif wurden, ist die Lesereife heute vielfach schon Mitte bis Ende September erreicht. Die Winzerinnen und Winzer können die Trauben dann meist noch hängen und länger reifen lassen, um bessere Qualitäten zu erzielen.

A

Spätfröste und Hitzeperioden

Mit der früheren Reblüte steigt jedoch auch die Gefahr einer Schädigung durch Spätfröste, die sich zeitlich kaum verschieben. Wirksame, traditionelle Maßnahmen gegen die nächtliche, eisige Kälte sind beispielsweise das Aufstellen von Heizkerzen aus Paraffin oder die Frostschutz-Beregnung der Blüten. Als großräumige Maßnahme zur Spätfrostsabmilderung und Schadensbegrenzung wird auch das Aufbrechen von Inversionslagen durch Windmaschinen erfolgreich praktiziert.

Später im Jahr bedrohen lang andauernde Hitzeperioden und kurzzeitige extreme Trockenereignisse die Reben. Zwar können sie als Pfahlwurzler mit einer senkrecht tief nach unten wachsenden Hauptwurzel auch über längere Zeiträume mit weniger Wasser auskommen. Dauern die Hitzeperioden länger an, kann jedoch nur Bewässerung im Weinberg Abhilfe schaffen. Diese Schutzmaßnahmen sind aber kostspielig.

B

Starkregen bringt Mehltau mit sich

Sintflutartige Regenfälle in kurzer Zeit begünstigen Schädlingsbefall der Reben durch den Mehltau in den Sommermonaten und führen zu möglichen Ernteausschlägen. Auch langanhaltender Sommerregen begünstigt Pilzbefall und führt vermehrt zu Fehleraromen im Wein. Abhilfe können hier neu gezüchtete, pilzwiderstandsfähige Rebsorten, die sogenannten PiWis, schaffen, die weit weniger empfindlich gegenüber Pilzkrankheiten sind als die traditionellen Rebsorten.

C

Anpassungsstrategien

Hagel, Hitze, Frost und Regen - auch wenn Landwirtinnen und Landwirte heute vieles beeinflussen und managen können, auf das Wetter können sie nur reagieren. Daher spielen Früherkennungssysteme bei der Anpassung an Klimaveränderungen eine neue große Rolle. Diese Systeme ermöglichen auf der Grundlage von Daten aus langfristigen Klimadatenmonitoring einen intelligenten Pflanzenschutz ermöglichen, Risiken im Vorfeld zu minimieren. Die enge Verknüpfung von Wetterdaten aus langfristigen Monitoringsystemen verbunden mit Prognose-Apps erleichtert die Vorhersage über zukünftige Schädlingsentwicklungen im Bereich des integrierten Pflanzenschutzes.

D















Quelle: Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. www.Landwirtschaft.de. April 2022.

Einführung in die formale Sprache „Lindenmayer-Systeme“




Aufgabe: Bearbeiten Sie Übung 1 und Übung 2, indem Sie jeweils in das freie Feld **Simulation** die Simulationsschritte eintragen, welche sich aus dem gezeigten **Modell** ergeben.

Übung 1: Zeichenkette				
Modell	Regel	Axiom		
	$P \rightarrow PP$	P		
Simulation	P			
		PP	PPPP	PPPPPPPP
	Start	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3

Vorbereitung

Übung 2: Entwicklung einer Pflanze				
A: Visualisierung der Entwicklung mithilfe von Formen				
Modell	Formen und Bedeutung	Regeln	Axiom	
	 Internodium	1  \rightarrow 		
	 Blatt	2  \rightarrow 		
	 Apex <small>(Meristem = Bildungsgewebe an der Sprossspitze)</small>	3  \rightarrow 		
Simulation		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3
				
	Start	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3

Übersetzungsaufgabe

B: Übersetzung in formale Sprache				
Modell	Alphabet	Regeln	Axiom	
	 I	1 I \rightarrow I	A	
	 B	2 B \rightarrow B		
	 A	3 A \rightarrow I [B] A		
Simulation		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3
	A	I[B]A	I[B]I[B]A	I[B]I[B]I[B]A
	Start	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3



www.winumzweipunktnull.de