

VinoManAOP (2019-2021):

**Gezieltes weinbauliches Management zur Differenzierung
der Weinstile in der Appellation d'origine protégée (AOP) -
Moselle Luxembourgeoise – unter sich verändernden
klimatischen Bedingungen**

Zwischenbericht 2019-2020

Projektdurchführung:

PD Dr. Daniel Molitor,
Dr. Arturo Torres,
Ulrich Leopold,
Dr. Jürgen Junk,
Dr. Cédric Guignard,
Audrey Lenouvel,
Marine Pallez-Barthel,
Sophie Römer,
Katrín Scherer

LIST – Luxembourg Institute of Science and Technology

Prof. Dr. Andrea Bauer,

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Projektpartner:

Robert Mannes,
Mareike Schultz,
Christopher Simon

Institut Viti-Vinicole – Remich

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	3
2. MATERIAL UND METHODEN	5
2.1 Development and application of models to simulate grape phenology, maturity and yield under climate change conditions	5
2.1.1 Model development	5
2.1.2 Transfer of existing models into R	15
2.1.3 Implementation of models into an interoperable geospatial web platform	19
2.2 Targeted steering of grape yield, quality and wine styles/profiles by means of viticultural measures	29
2.2.1 Freilandversuche	29
2.2.2 Mikro-Vinifikation und Abfüllung	32
2.2.3 Analyses of volatile wine compounds	32
2.2.4 Sensorische Untersuchung der Versuchsweine durch ein trainiertes Prüferpanel	34
2.3 Validation of viticultural adaptation strategies as reaction on climate change	34
3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	37
3.1 Modelentwicklung, -anwendung und -implementierung	37
3.1.1 UniPhen	37
3.1.2 BotRisk	55
3.1.3 Results phenological stages prediction (Arturo)	64
3.1.4 Status model implementation	84
3.2 Differenzierung der Weinstile	85
3.2.1 Freiland-Untersuchungen	85
3.2.2 Volatile wine compounds	89
3.2.3 Wine sensory	89
3.3 Anbaueignung spätreifender Rebsorten	89
3.3.1 Phänologie	89
3.3.2 Ergebnisse der Fäulnisbonituren, der Reifemessungen und der Ertragserfassungen	93
4 ZWISCHENFAZIT	98
5 DANKSAGUNG	101

6	LITERATURVERZEICHNIS	102
7	ANHANG	104
7.1	Tageswitterungsbedingungen in der Vegetationsperiode	104
7.1.1	Jahrgang 2019	104
7.1.2	Jahrgang 2020	105
7.2	Veröffentlichungen	106
7.2.1	Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen	106
7.2.2	Fachartikel	107
7.2.3	Fachvorträge	107
7.2.4	Wissenschaftliche Poster	108
7.2.5	Abschlussarbeiten	108
7.3	Pressemeldungen	109
7.4	Teilnahme an sonstigen Veranstaltungen	115

1. Einleitung

Im Jahre 2014 wurde für die Weine der "Appellation d'origine protégée (AOP) – Moselle Luxembourgeoise" ein neues Qualitätssystem eingeführt, in welchem die Herkunft des Weines, sein „Terroir“, mehr noch als bisher herausgestellt wird (Herkunftsprinzip). Es erfolgt eine Einteilung der Weine in drei Kategorien:

- „Côtes de ...“ Harmonische Einsteigerweine
- „Coteaux de ...“ Rebsortentypische Premiumweine
- „Lieu-dit“ Terroirweine

Wie eine Differenzierung der Weinstile in diesen Kategorien mittels gezielter weinbaulicher Maßnahmen möglich ist, soll in diesem Projekt mit wissenschaftlichen Methoden betrachtet werden.

Neben den weinbaulichen Maßnahmen bestimmen die klimatischen Bedingungen in entscheidendem Maße die Entwicklung der Rebe und die Typizität der Weine. Regionale Klimaprojektionen zeigen signifikante Veränderungen, sowohl in den mittleren als auch den Extremwerten verschiedener meteorologischer Größen wie Lufttemperatur, Niederschlag oder der Luftfeuchte. Diese Veränderungen der klimatischen Bedingungen werden in Zukunft signifikante Effekte auf die Rebe und die Weine der AOP-Region Moselle Luxembourgeoise haben.

Analysen und Bewertungen des zukünftigen Risikopotentials für den Weinbau in Luxemburg sind daher von besonderer Wichtigkeit. Auf Basis dieser Risikobewertungen können notwendige weinbauliche Anpassungsstrategien für eine ökonomische Nachhaltigkeit des Luxemburger Weinbaus entwickelt und getestet werden.

Das vorliegende Projekt hat das Ziel, den ökonomischen Erfolg des Weinbaus im Gebiet der Appellation d'origine protégée – Moselle Luxembourgeoise zu fördern und für die Zukunft (unter veränderten klimatischen Bedingungen) nachhaltig zu sichern.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden mit Hilfe gezielter wissenschaftlicher Untersuchungen

- Modelle zur Simulierung der Rebphänologie, der Reifeentwicklung und des Ertrags erarbeitet und Anwendungen entwickelt,
- gezielte weinbauliche Maßnahmen zur Steuerung und Ertrags, der Weinqualität und des Weinstils getestet,
- Wissenschaftliche Untersuchungen zur optimalen Terminierung des Erntetermins und der Erntemethode durchgeführt,
- Weinbauliche Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel untersucht und

- Möglichkeiten der Differenzierung der Weinstile in der AOP Moselle Luxembourgeoise mittels weinbaulicher Maßnahmen getestet.

Die Zwischenergebnisse der Untersuchungen im Rahmen des Projektes in den Jahren 2019 und 2020 werden in diesem Bericht zusammengefasst. Je nach Bearbeiter erfolgt die Berichterstattung in deutscher oder englischer Sprache.

2. Material und Methoden

2.1 Development and application of models to simulate grape phenology, maturity and yield under climate change conditions

Based on existing data of the Institut Viti-vinicole (IVV) as well as other data sets from additional regions, statistical models to simulate (i) the phenological development, (ii) the progress of grape soluble solids as well as organic acids during the maturation process and (iii) grape yield will be developed, validated and combined with different, multi model based climate change scenarios.

An internet platform (potentially linked to existing agrimeteo.lu platform) providing modelling tools and presenting model output based on regional meteorological data is supposed to be developed.

2.1.1 Model development

2.1.1.1 Development of the UniPhen model

2.1.1.1.1 Vineyard of observation

Systematic phenological assessments in the Riesling, Rivaner (syn. Müller-Thurgau), Elbling, Gewürztraminer, Pinot blanc, Auxerrois, S. blanc, Pinot gris, Chardonnay, Merlot and Pinot noir cultivars took place from 2012 to 2018 in the experimental vineyard of the IVV in Remich/Luxembourg (lat. 49°32'N; long. 6°21'E, 207 m a.s.l.). All cultivars were cultivated in a cane-pruned vertical shoot positioning system (VSP). Plots of the different cultivars were in direct proximity to each other. Grapevines were grafted onto SO4 rootstocks (except Merlot, grafted on to 101-14 MG) and planted between 1991 (Chardonnay) and 2004 (Merlot). Exact information about the cultivars of investigation is given in Tab. 1. The space per plant was 2.4 m² (2 m between rows, 1.2 m between vines) and the canopy height approximately 2 m. Retained number of buds per plant in winter pruning was approximately 10. Six plants were monitored per cultivar; plants of observation were the same in all seven years.

Tab. 1: Cultivars of observation, clones, rootstocks and year of plantation.

Cultivar	Red/white	Clone	Rootstock	Year of plantation
Riesling	White	Remich 3	SO4	1994
Rivaner	White	Remich 22	SO4	1999
Elbling	White	Remich 8	SO4	1999
Gewürztraminer	White	312	SO4	1994
Pinot blanc	White	Colmar 54	SO4	1994
Auxerrois	White	Remich 7	SO4	2000
Sauvignon blanc	White	376	SO4	1999
Pinot gris	White	Remich 7	SO4	1994
Chardonnay	White	Entav 116	SO4	1991
Merlot	Red	181 INRA	101-14 MG	2004
Pinot noir	Red	Freiburg L13	SO4	2001

2.1.1.1.2 Assessment of phenological stages

All phenological growth stages according to the BBCH scheme as defined by Lorenz et al. (1995) (Tab. 2) between BBCH 01 and BBCH 85 were recorded when 50% of the vines or shoots exhibited the respective stage. The assessment intervals ranged from two to three days. Records were taken in all years in all cultivars by the same person. The date of reaching a specific phenological stage was noted as day of the year (DOY).

Tab. 2: Phenological growth stages according to Lorenz et al. (1995).

BBCH stage	Description
01	Beginning of bud swelling: buds begin to expand inside the bud scales
03	End of bud swelling: buds swollen, but not green
05	“Wool stage”: brown wool clearly visible
07	Beginning of bud burst: green shoot tips just visible
09	Bud burst: green shoot tips clearly visible
11	First leaf unfolded and spread away from shoot
12	Two leaves unfolded
13	Three leaves unfolded
14	Four leaves unfolded
15	Five leaves unfolded
16	Six leaves unfolded
17	Seven leaves unfolded
18	Eight leaves unfolded
19	Nine leaves unfolded
53	Inflorescences clearly visible
55	Inflorescences swelling, flowers closely pressed together
57	Inflorescences fully developed; flowers separating
61	Beginning of flowering: 10% of flowerhoods fallen
63	Early flowering: 30% of flowerhoods fallen
65	Full flowering: 50% of flowerhoods fallen
68	80% of flowerhoods fallen
69	End of flowering
71	Fruit set: young fruits begin to swell, remains of flowers lost
73	Berries goat-sized, bunches begin to hang
75	Berries pea-sized, bunches hang
77	Begin of berry touch
79	Berry touch complete

81	Beginning of ripening: berries begin to develop variety-specific colour
83	Berries developing colour
85	Softening of berries
89	Berries ripe for harvest; in present study defined as 14.17° brix

Maturity control took place at weekly intervals between veraison (BBCH 81) and harvest by collecting 100 randomly selected berries (clusters from different positions of the canopy; berries from different positions in the cluster) per cultivar (avoiding berries with visible bunch rot symptoms). The date of BBCH 89 was defined as the DOY when 60° Oechsle (=14.17° brix) were reached or exceeded for the first time in the respective year. 60° Oechsle represents the legal minimum threshold of total soluble solids for the production of wines with the protected designation of origin in Luxembourg. Total soluble solids (TSS) of the extracted juice were determined by FT-IR (FOSS NIRSystems, Laurel, MD, USA). Annual yields were not systematically recorded but are estimated to range on average between 60 hl/ha and 100 hl/ha.

2.1.1.1.3 Meteorological measurements

Weather information was recorded during the period of examination by an automatic weather station of the national agricultural administration ASTA (Administration des services techniques de l'agriculture) located in Remich/Luxembourg in direct proximity (distance < 200m) of the experimental vineyard. Air temperatures at 2 m and precipitation at 1 m height were recorded at 10-minute resolution. Key meteorological data are given in Tab. 3.

Tab. 3: Key growing season (April – October) and annual meteorological data from Remich/Luxembourg in the years 2012 to 2018. Standard deviations (SD) of mean temperatures based on monthly values are given.

Year	Growing season temperature (°C)			Annual temperature (°C)	Growing season precipitation (mm)	Annual precipitation (mm)
	Mean	Min	Max	Mean	Sum	Sum
2012	14.4+-3.8	9.1+-3.2	19.7+-5.5	10.3+-6.1	449	700
2013	14.6+-4.0	9.6+-3.3	19.7+-4.9	9.8+-6.9	576	813
2014	15.9+-2.9	10.4+-2.7	21.4+-3.2	11.7+-5.7	444	723
2015	15.5+-4.7	9.7+-4.0	21.4+-5.6	11.4+-6.5	368	540

2016	15.6+- 4.5	9.9+- 4.0	21.2+- 5.1	10.9+-6.8	462	760
2017	15.5+- 4.2	9.8+- 4.3	21.1+- 4.2	11.0+-6.8	413	726
2018	17.0+- 3.5	10.4+- 3.5	23.5+- 3.7	11.8+-7.1	295	716
Average	15.5	9.8	21.1	11.0	430	711

2.1.1.1.4 Development of the unified high resolution phenological model “UniPhen”

In the present study, the approach of the high-resolution cumulative degree day-based phenological model, as previously developed for the Rivaner cultivar (Molitor et al., 2014a) and parameterized for Riesling (Molitor and Keller, 2016) and Pinot noir (Molitor and Junk, 2019), was applied to all selected cultivars.

In this approach with lower, upper and heat temperature thresholds, degree days (DD) for a specific day are calculated based on the daily average air temperatures (derived from the 10-minute values) calculated using the following conditions:

$$DD_{(a;b;c)} = \begin{cases} 0^{\circ}\text{C}, & \text{if } t < a \text{ or if } c+(b-a) < t \\ (t - a)^{\circ}\text{C}, & \text{if } a < t < b \\ (b - a)^{\circ}\text{C} & \text{if } b < t \\ ((b - a) - (t - c))^{\circ}\text{C} & \text{if } c < t \end{cases}$$

where a is the lower threshold temperature ($^{\circ}\text{C}$), b is the upper threshold temperature ($^{\circ}\text{C}$), c is the heat threshold temperature ($^{\circ}\text{C}$) and t the daily mean temperature (Abb. 1).

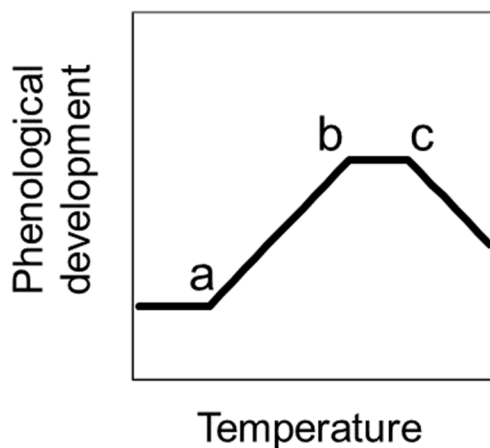


Abb. 1: General scheme of the temperature sum approach with a lower (a), upper (b), and heat (c) threshold according to Molitor et al. (2014a).

Degree days were calculated for every day for all integer temperature triplets between 6 and 11°C as lower thresholds, 18 to 22°C as the upper thresholds and 25 to 30°C as the heat thresholds.

In the following, for every growth stage, degree days (DD) were summed up to cumulative degree days (CDDs). The reference date was the day of year (DOY) at which BBCH 09 was reached in Riesling (representing a standard cultivar in Central European viticulture). Cumulative degree days relative to the reference date were calculated using the equation (1):

$$CDD_{(a;b;c)} = \sum_{i=m+1}^n DD_{(a;b;c)}(i) \quad (1)$$

where $CDD_{(a;b;c)}$ are the cumulative degree days relative to the date of BBCH 09 in Riesling; $DD_{(a;b;c)}$ the value of the degree day for the day i ; m the DOY when BBCH 09 was observed in Riesling; and n the DOY when the target phenological stage was reached in the respective cultivar.

To determine general temperature thresholds to simulate all phenological stages between BBCH 01 and BBCH 89 in all cultivars, the following unified approach was applied. For all calculations, SPSS Statistics 19 (IBM, Chicago, IL, USA) was used:

- a) For all tested threshold triplet combinations, standard deviations of the cumulative degree days were calculated for each phenological stage in each cultivar.
- b) To normalize the relative value of the standard deviations caused by the daily DD values, standard deviations were divided by the theoretical DD at 20°C (i.e. “standard reference temperature” in the respective threshold triplet combinations.
- c) Average normalized standard deviations per cultivar were calculated based on the normalized standard deviations of each of the stages BBCH 09 to BBCH 89. The lower the average normalized standard deviation, the better the fit of the model to the observation data. The temperature threshold triplet resulting in the minimum average

normalized standard deviations was defined as the optimized temperature threshold for each cultivar.

- d) Furthermore, the global average normalized standard deviation was calculated as the average value of all 11 cultivars. Based on the temperature threshold triplet resulting in the minimum average normalized standard deviations as an average of all cultivars, then the unified global optimized threshold temperature triplet was fixed.

Using the unified global optimized temperature thresholds of the best adapted approach, the average CDD values were calculated for each cultivar, relative to the date that BBCH 09 was reached in Riesling for each phenological stage between BBCH 01 and BBCH 89.

2.1.1.1.5 Data analysis

To assess the goodness of fit of the unified model approach, normalized standard deviations are given for all phenological stages and all cultivars. In fact, the normalized standard deviation represents the standard deviation in days assuming daily average temperatures of 20°C.

Calculated CDD values based on the unified global optimized temperature threshold triplet in each phenological stage were analysed for the effect of the cultivar by one-way ANOVAs using SPSS Statistics 19 (IBM, Chicago, IL, USA). For each cultivar, years of observation were considered as replicates in statistical analyses. In cases where null-hypotheses were rejected ($P \leq 0.05$), pair-wise multiple comparisons according to Duncan's multiple comparison procedure were performed for cultivar effects.

Leave-one-out cross-validations were carried out to test the model precision. For each phenological stage and each cultivar, predicted CDD were calculated by averaging all but one ($n - 1$) data sets and the comparison with observed CDD. In order to assess the goodness of fit of the cross-validated model, mean absolute errors (MAE) were calculated for all phenological stages in each cultivar. The percentage of observations situated in a range of 30 or 70 CDD above or below the predicted cumulative degree days was calculated, with this range corresponding to ± 3 or 7 days around the observation date, at daily average temperatures of 20°C.

2.1.1.2 Development of the BotRisk model

2.1.1.2.1 Assessment and meteorological data

The progress of the grape bunch rot disease on the white *Vitis vinifera* L. cultivar Riesling was monitored between 2007 and 2013 (Geisenheim, Germany) and between 2010 and 2016 (Remich, Luxembourg; Deidesheim, Germany) at weekly to bi-weekly intervals between veraison and harvest. The Riesling vineyards under observation were trained in a vertical shoot positioning system and are described in detail in Tab. 4.

Tab. 4: Features of the experimental vineyards.

Location	Geisenheim, Germany	Remich, Luxembourg	Deidesheim, Germany
Coordinates	49.98 N, 7.95 E	49.54 N, 6.35 E	49.42 N, 8.19 E
Year of plantation	1982	1994	1980
Cultivar	Riesling	Riesling	Riesling
Clone	Gm 239	unknown	N 90
Rootstock	5C	SO4	5C
Weather station	Geisenheim	Remich	Neustadt-Mussbach
Distance to weather station (km)	0.1	0.1	5.1
Observation years	7 (2007-2013)	7 (2010-2016)	7 (2010-2016)

No fungicides with known activity against *B. cinerea* (botryticides) were applied.

In the case of Geisenheim and Remich, visually observed disease severities were classified into seven classes (0%; 1-5%; 6-10%; 11-25%; 26-50%; 51-75%; 76-100%) following the EPPO guideline PP1/17. In Deidesheim, visually observed disease severities were classified into four classes (0%, 0.1-5%, 5.1-25%, 25.1-100%). One hundred randomly selected clusters were assessed in three (Deidesheim) or four (Geisenheim, Remich) replicated plots of the experimental vineyards. Average disease severities per plot were generally calculated by summing up the number of observations per class multiplied by the arithmetic mean of the class interval and dividing this sum by the total number of observations ($n = 100$). Overall averages (whole observation vineyard) are the averages of the three or four plots, respectively. For all locations, the daily average air temperatures (measured 2 m above the ground) and precipitation sums (measured 1 m above the ground) of the closest weather station were used. Distances between experimental vineyards and respective weather stations are given in Tab.

4. In the case of Deidesheim, weather data originated from Neustadt-Mussbach. Key meteorological data from the three locations in the respective observation years are shown in Tab. 5.

Tab. 5: Key annual and growing season (April – October) meteorological variables in the three observation locations.

Location	Year	Mean annual temperature (°C)	Mean growing season temperature (°C)	Annual precipitation sum (mm)	Growing season precipitation sum (mm)
	2007	11.5	15.7	509	274
	2008	10.9	15.2	535	339
	2009	10.8	16.1	583	311
	2010	9.7	14.9	658	426
	2011	11.3	16.0	469	305
	2012	10.8	15.3	531	330
	2013	10.4	15.5	557	397
	Average	10.8	15.5	549	340
	2010	10.0	15.0	695	388
	2011	11.4	15.5	533	287
	2012	10.3	14.4	700	449
	2013	9.9	14.7	813	576
	2014	11.8	15.9	722	444
	2015	11.5	15.6	540	347
	2016	10.9	15.9	760	462
	Average	10.8	15.3	680	422
	2010	10.1	15.3	742	462
	2011	11.7	16.4	566	379
	2012	11.3	15.9	593	377
	2013	10.4	15.6	644	465
	2014	12.2	16.4	524	350
	2015	11.8	16.2	400	216
	2016	11.3	16.1	582	383
	Average	11.3	16.0	578	376

2.1.1.2.2 Disease progress curves

Sigmoidal curves have been demonstrated to be well adapted to the annual bunch rot epidemic under Central European conditions (Molitor et al., 2015, Molitor et al., 2016, Molitor et al., 2017, Porsche et al., 2018, Molitor et al., 2018, Molitor et al., 2019). Such sigmoidal curves were fitted to the disease severity data of each year and for each location plotted against the thermal time (summation of the physiologically effective temperature (Trudgill et al., 2005) reflecting the phenological development using SigmaPlot 13 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA). This thermal time is expressed as the cumulative degree days $CDD_{7;18;24}$ after BBCH 65 using equation (1) following Molitor et al. (2016)):

$$y = \frac{100}{1 + e^{-((x-x_0)/a)}} \quad (1)$$

where y is the disease severity, x the cumulative degree day $CDD_{7;18;24}$, x_0 the inflection point of the curve and a the slope factor of the curve in the inflection point.

For each of the year-location combination, parameters describing the disease progress curve were determined. Coefficients of determination (R^2) and significance levels (p) were determined to quantify the adaptation of the fitted curves to the observation data. Based on equation (1), the cumulative degree day $CDD_{7;18;24}$, reaching a disease severity of 5% ($x_{5\%}$), was computed for every season.

2.1.1.2.3 Window Pane analysis

To detect critical periods during the season (relative to the date of BBCH 65), when environmental variables were related with the thermal-temporal position of the epidemic, Window Pane analysis was conducted following the approach of Coakley and Line (1982). Window Pane analyses determines the length and the starting time of temporal windows during which average values of environmental variables are significantly correlated with plant disease levels at a specific time-point (target) such as at the end of a season. In the present study, the impact of the environmental variables, i.e. the daily average air temperature and daily precipitation sum, on the cumulative degree day $CDD_{7;18;24}$ reaching a disease severity of 5%, was examined based on all 21 cases. Linear correlations between the summary environmental variables (average values of environmental variables in the different time windows) and the cumulative degree day $CDD_{7;18;24}$ reaching a disease severity of 5% (target) were calculated for the window widths of 5, 10, 20, 30, 50 and 100 days. Pearson correlation coefficients (r -values) and significance levels (p -values) were determined for each summary environmental variable. Significant correlations were declared when individual p -values were below 0.05 and highly significant correlations when $p < 0.01$.

2.1.1.2.4 Model development and validation

Window Pane analysis identified five critical meteorological constellations, hereafter referred to as “events”, with highly significant correlations between the summary environmental variables and the $CDD_{7;18;24}$ values when reaching 5% disease severity ($x_{5\%}$). A multiple linear regression model based on one summary environmental variable in each of the five events was developed to simulate the $x_{5\%}$ value using the open access software tool R. The selection of potential input variables for the novel bunch rot risk model – hereafter referred to as “BotRisk” – took place in the following order:

1. Summary environmental variables causing a local maximum of the absolute r-values in a series of highly significant Pearson correlation coefficients ($p < 0.01$) in Window Pane analysis were selected in the different window widths.
2. Of these selected potential input variables, one summary environmental variable per event was included in the multiple linear regression model. The best model was selected based on the highest adjusted R^2 value of the model.

According to their calculated $CDD_{7;18;24}$ values, annual bunch rot risk classes were declared as:

- Class 1 – “low” annual bunch rot risk:
predicted $CDD_{7;18;24}$ values reaching 5% disease severity > 1000
- Class 2 – “medium” annual bunch rot risk:
predicted $CDD_{7;18;24}$ values reaching 5% disease severity > 900 and ≤ 1000
- Class 3 – “high” annual bunch rot risk:
predicted $CDD_{7;18;24}$ values reaching 5% disease severity were ≤ 900 .

Class ranges were defined to achieve (i) approximately equal numbers of observed cases in each of the three classes as well as (ii) class boundaries that were as round as possible for practical applications.

The predictive value was tested by leave-one-out cross-validation. Predicted $CDD_{7;18;24}$ values reaching 5% disease severity values (as simulated by BotRisk) were calculated by averaging all but one ($n - 1$) data sets and compared with observed $CDD_{7;18;24}$ values (retrieved from

disease progress curves). Coefficients of determination (R^2_{adj}), mean bias errors (MBE), and mean absolute errors (MAE) of the cross-validated model were calculated. The validation of correct risk classification in the cross-validated model took place based on observed and predicted $CDD_{7;18;24}$ values reaching 5% disease severity.

2.1.2 Transfer of existing models into R

The computational implementation of the mathematical algorithms that define the models has been done into the programming language and project for statistical computing R. The reason behind to choose R, is that it constitutes a state-of-the-art programming language with focus on statistical computing. Being an open source project, R allows the implementation of algorithms by using already existing packages that are well implemented, checked and documented following a strict quality control from the Comprehensive R Archive Network, which secures high quality in the available packages developed by the open source community. Specifically, an R-package, called “vineyard”, exclusively to dispatch a set of methods and functions for the implementation of model algorithms was developed. The vineyard R-package imports functions from the packages “zoo” (Zeileis and Grothendieck, 2005) and “xts” (Ryan and Ulrich 2014) for data structure as time series and extensible time series. Also definitions for handling spatial (Pebesma and Bivand, 2005) and spatio-temporal (Pebesma, 2012) objects in R are implemented. To make the algorithms scalable, further implementations with parallel computing capabilities (Analytics and Weston, 2015), Team (2017) were done.

A flow chart illustrating the main methods and functions available in the vineyard R-package is presented in Abb. 2. In the following subsections a brief description of the main algorithms (functions) implemented in the package for the prediction of the phenological stages for vine cultivars is presented.

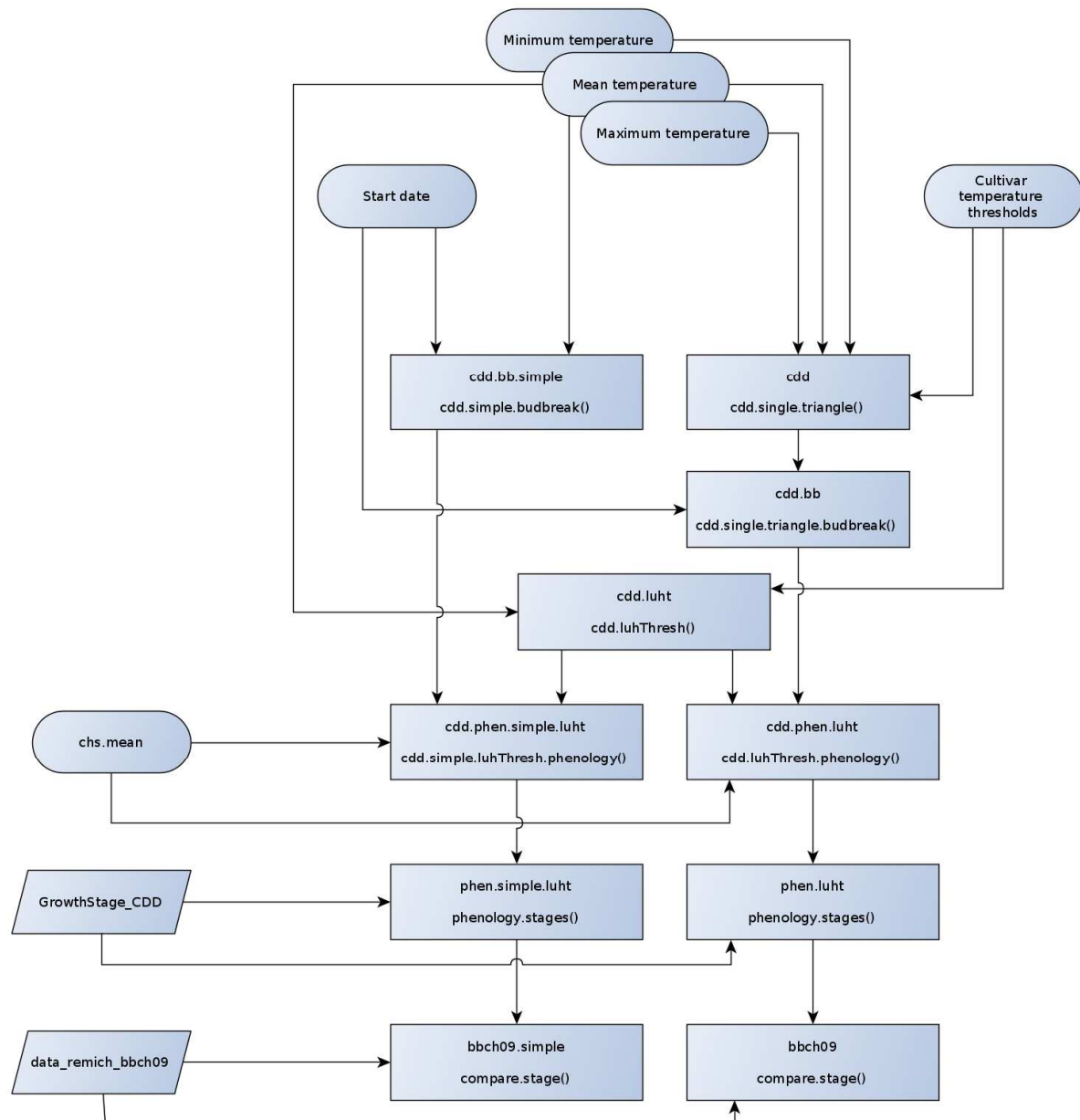


Abb. 2: Flow chart illustrating main methods and functions available in the *vineyard* R-package.

2.1.2.1 The „cdd.simple.budbreak“ function

The “cdd.simple.budbreak” function is an implementation to compute the cumulative degree days by the simple algorithm by (Nendel, 2010). The arguments of the function are the input data in format “xts” and two “numeric” entries, the column position in the input data for the daily mean air temperature vector in Celsius degrees, and the start day for the computation. The value of the function (output) is an R list object per year for the input data plus an additional

column with the cumulative degree days (in Celsius degrees). The output for each year is a "xts" time series object.

2.1.2.2 The „cdd.single.triangle“ function

The “cdd.single.triangle” function is the implementation to compute the cumulative degree days by the single triangle algorithm by Nendel (2010). This function requires five main arguments: 1) data, the input data in xts format; 2) t.zero, numeric, the threshold temperature (in Celsius degrees) for vine growth; 3) t.min.col, numeric, the column position in data for the daily minimum air temperature vector in Celsius degrees; 4) t.mean.col, numeric, the column position in data for the daily mean air temperature vector in Celsius degrees; and 5) t.max.col, numeric, the column position in data for the daily maximum air temperature vector in Celsius degrees. The value of the function is a list per year for the input data plus an additional column with the cumulative degree days (in Celsius degrees). The output for each year is a "xts" time series object.

2.1.2.3 The „cdd.single.triangle.budbreak“ function

The “cdd.single.triangle.budbreak” function is the implementation to compute the cumulative degree days by the single triangle algorithm by Nendel (2010) for bud break. Three arguments are defined: 1) cdd, the cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth in xts format as provided by "cdd.single.triangle" function; 2) start.month, numeric, calculated optimum starting month of year; and 3) start.day, numeric, calculated optimum starting day of start.month. The function value is the cumulative degree days (in Celsius degrees) plus an additional column with the cumulative degree days (in Celsius degrees) for bud break.

2.1.2.4 The „cdd.luhThresh“ function

The “cdd.luhThresh” function is the implementation to compute the cumulative degree days by the lower, upper and heat temperature thresholds by Molitor (2014b). Five arguments are required by the function: 1) data, the input data in xts format; 2) t.mean.col, numeric, the column position in data for the daily mean air temperature vector in Celsius degrees; 3) a,

numeric, the lower threshold temperature (in Celsius degrees) for vine growth; 4) b, numeric, upper threshold temperature (in Celsius degrees) for vine growth; and 5) c, numeric, heat threshold temperature (in Celsius degrees) for vine growth. The function value is a list per year for the input data plus an additional column with the cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth. The output for each year is a "xts" time series object.

2.1.2.5 The „cdd.simple.luhThresh.phenology“ function

The “cdd.simple.luhThresh.phenology” function is the implementation to compute the cumulative degree days by the simple algorithm and the lower, upper and heat temperature thresholds by Molitor et al. (2014a) for phenology. Three arguments are required for this function: 1) cdd.bb, the cumulative degree days (CDD) by the simple algorithm for bud break in xts format as provided by "cdd.simple.budbreak" function; 2) cdd.luht, cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth in xts format as provided by "cdd.luhThresh" function; and 3) chs.mean, numeric, mean cumulative heat sum for bud break (in Celsius degrees). The function value is the cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth plus an additional column with the cumulative degree days (in Celsius degrees) for phenology.

2.1.2.6 The „cdd.luhThresh.phenology“ function

The “cdd.luhThresh.phenology” function is the implementation to compute the cumulative degree days by the lower, upper and heat temperature thresholds by Molitor et al. (2014a) for phenology. Three arguments are required by the function: 1) cdd.bb, the cumulative degree days (CDD) by the single triangle algorithm for bud break in xts format as provided by "cdd.single.triangle.budbreak" function; 2) cdd.luht, the cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth in xts format as provided by "cdd.luhThresh" function; and 3) chs.mean numeric, mean cumulative heat sum for bud break (in Celsius degrees).

The function value is the cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth plus an additional column with the cumulative degree days (in Celsius degrees) for phenology.

2.1.2.7 The „phenology.stages“ function

The “phenology.stages“ function implements an algorithm to compute the phenological stages accordingly to Molitor et al., (2014). Four arguments are required by the function: 1) `cdd.phen`, list, the cumulative degree days (in Celsius degrees) for vine growth in xts format as provided by any of the functions “`cdd.simple.luhTresh.phenology`” or “`cdd.luhTresh.phenology`”; 2) `ref.data`, `data.frame`, a reference dataset to define the phenological stages e.g. “`GrowthStage_CDD`” dataset; and 3) `stage`, vector, the growth stage(s) for which the phenology should be computed, i.e., one or more out of the 27 BBCH stages that range from BBCH 11 (First leaf unfolded and spread away from shoot) to BBCH 89 (Berries ripe for harvest) according to Molitor et al. (2014a). The value of the function is a list per year, with each list containing a dataframe with the phenological stages for vine growth.

2.1.2.8 The „compare.stage“ function

The “comparestage“ function implements an algorithm to compare observations versus computations for growth stage from phenology output. The function has three arguments: 1) `ref.data`, `data.frame`, a reference dataset to define the observations for the phenological stage to compare e.g. “`data_remich_bbch09`” or “`data_remich_bbch81`” datasets (included as datasets in the package); 2) `phen`, list per year, with each list containing a `data.frame` with the phenological stages for vine growth as the output from the “phenology.stages” function; and 3) `growth.stage`, numeric, one of the growth stages to compute an output summary.

The value of the function is a `data.frame`, with each row containing a year with the comparison of the phenological stage computed and observed. The last column indicates the “Difference” between observed and computed day of year (DOY).

2.1.3 Implementation of models into an interoperable geospatial web platform

The models described in section 2.1.1, UniPhen and BotRisk, are currently being implemented as software tools in R with a number of different functions, as described in section 2.1.2. In order to make these models and their analysis and predictive functions available to experts

with different backgrounds, the models are going to be implemented into a geospatial web platform, based on a technology developed at LIST, the iGuess® software framework. iGuess® is a geospatial software technology framework aiming at providing easier access to GeoSimulation, GeoAnalytics and Decision Support for various environmental application fields. The envisaged VinoManAOP platform requires to access geospatial data published by different organisations and public portals, and with them obtain new information layers from remote geospatial modelling and analysis tools. It proposes a service-oriented approach to web-based Decision Support relying on web service standards issued by the Open Geospatial Consortium (OGC)¹. The result is a decentralised architecture independent of technologies, based on open, interoperable standards and technologies, and accessible through a rich web interface. Its modular design has allowed the successful application of iGuess® to other domains already, such as solar potential calculations, ecosystems services or land use and land cover change. iGuess® thus, presents a generic architecture for the VinoManAOP platform, addressing data and analysis interoperability requirements to support end users in decision making.

2.1.3.1 Web based decision support system

The earliest proposal for a web-based, service-oriented decision support system (SDSS) was possibly put forth by Kwon (2003). This author presents a web service specification that would allow the composition of a DSS by linking a series of distributed processing services. In several ways this specification is similar to the WPS standard subsequently issued by the OGC, but it does not address directly spatial data and its specificities.

(2004) presented a component-based software development approach to DSS in the knowledge-based planning field. The resulting system includes four components: (i) a GIS (MapObjects), (ii) a database management system, (iii) a model management system (ModelObjects), and (iv) a knowledge-based system (KBSAgents); these are all independent and interact through services. This system lays out a distinctive architecture for this type of

¹ <http://www.opengeospatial.org/ogc>

web based DSS, but its implementation relies on proprietary software. At the time few standards existed for this type of services.

Wang et al. (2004) defend collaboration as a means to facilitate the inter-organisation decision processes. They note that web based SDSS can potentiate this kind of decision making, e.g. by increasing public access, but in general SDSS tend to be application specific, inherently creating hurdles to distributed data access and model sharing. These authors thus conclude that a standardised framework for web based, collaborative SDSS is necessary, underpinned by three genres of web services: (i) metadata, (ii) spatial data and (iii) geo-processing. The usage of standards for spatial data services was possibly first suggested by these authors.

Sugumaran and Sugumaran (2007) surveyed a number of web-based SDSS and noted that at the time OGC standards were rarely used and only for data access. These authors further pointed that without the adoption of standards like those issued by the OGC, web based SDSS can not provide the level of interoperability required to tolerate distributed and heterogeneous frameworks. In the same year Geller and Turner (2007) published their Model Web concept which allows models to communicate across the web with each other and use distributed data sources.

Shafiei et al. (2012) demonstrated the usefulness of a service oriented DSS in a business context where decisions rely on data and processes from different enterprises (e.g. supply network). According to these authors this kind of architecture promotes a seamless system integration, allowing for more accurate and timely decisions. They also claim that it leads to a more flexible system, less reliant on user knowledge. Lania et al. (2013) noted that interoperable web-based platforms are one of the requirements to successfully include stakeholders into integrated assessment and planning processes. Despite these earlier exploits on service based DSS, this type of architecture is far from becoming a standard approach. In the particular case of SDSS a similar architecture was not found in published literature. iGuess® follows the observations by Sugumaran and Sugumaran (2007) and Laniak et al. (2013), relying solely on well established web service standards.

2.1.3.2 Open Geospatial Consortium standards for interoperability

The Open Geospatial Consortium (OGC) is an organisation comprising several hundred institutions, companies, government agencies and universities. It provides a collaborative framework for its members to work together towards consensus on open standards in the spatial domain. The goal of these standards is stated as “empower technology developers to make complex spatial information and services accessible and useful with all kinds of applications.”²

Among the standards issued by the OGC is found a set that defines web services to access spatial data, meta-data and processes over the internet. The more relevant in the context of a web based SDSS are:

- Web Mapping Service (WMS) - for services of geo-referenced map images, facilitating the presentation of maps over the internet (Consortium, 2006);
- Catalog Service for Web (CSW) - for the publication of geospatial meta-data catalogues (Consortium, 2005);
- Web Feature Service (WFS) - defining access to geographical features (commonly known as vector data) (Consortium, 2010);
- Web Coverage Service (WCS) - defining access to coverages, i.e., geospatial data representing space/time-varying phenomena (commonly known as raster data) (Consortium, 2012);
- Web Processing Service (WPS) - providing rules for the invocation of geospatial processing services; able to consume data served through WFS and WCS (Consortium, 2007);
- SensorThings (SensorThings) - provides an open, geospatial-enabled and unified way to interconnect the Internet of Things (IoT) devices, data, and applications over the Web (Liang et al., 2016);

² <http://www.opengeospatial.org/ogc>

- OGC Application Programming Interfaces (OGCAPI) - The OGC API family of standards are being developed to make it easy for anyone to provide geospatial data to the web. These standards build upon the legacy of the OGC Web Service standards (WMS, WFS, WCS, WPS, etc.), but define resource-centric APIs that take advantage of modern web development practices (Consortium, 2019).

2.1.3.3 Technological architecture

This subsection describes the software components on which iGuess® relies and how the OGC services are used to orchestrate the interaction between data sources and processing modules.

2.1.3.3.1 Software components

iGuess® requires the coordination of several distributed resources, each dedicated to a specific function. They are: (i) a database management system, (ii) a web map server, (iii) a web page server and (iv) a web processing server (see Abb. 3).

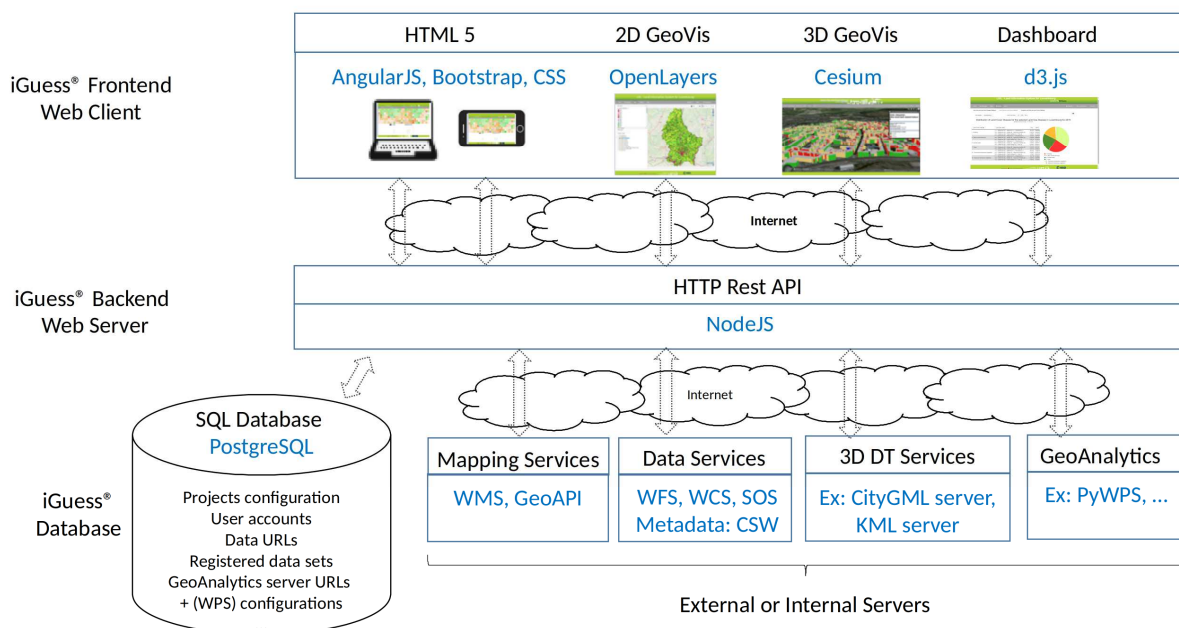


Abb. 3: The Technological Architecture supporting iGuess®. The top layer shows the frontend, typically seen by the user. The middle layer shows the backend managing all connections and the platform database. Data and processing services (internal and external) can be integrated through the different OGC standards (WMS, WPS, . . .) as interoperable web services.

The cornerstone of the infrastructure supporting iGuess® is the database management system (DBMS). It hosts the iGuess® database where all datasets and corresponding metadata are stored. The metadata not only describes the datasets but also the processing modules and their associated configurations. PostgreSQL was chosen as DBMS³, in combination with its geo-spatial extension PostGIS (Holl and Plum 2009). The database also serves PyCSW⁴, the CSW server selected to support iGuess®.

The map server provides spatial data over the world wide web (WWW) using the OGC standards previously mentioned: WMS, WFS and WCS. All spatial datasets generated from module configurations run from iGuess® are stored in this server and provided through MapServer⁵ in compliance to these OGC standards.

The iGuess® front end relies on a popular rapid application development framework, AngularJs⁶. AngularJs facilitated access to a range of modern HTML 5 interface tools. Web mapping has been leveraged on dedicated libraries: OpenLayers⁷ for the client-side interaction with WMS, WCS and WFS, plus Cesium⁸ for 3D visualisation and WebGIS usage. The web interface functions as a remote client to the Javascript based backend in node.js⁹ and its registered services in iGuess®. From their web browsers, users can create maps and time series graphs combining data provided by remote servers with the datasets produced by the various processing modules.

Modules developed for the applications powered by iGuess® rely on PyWPS¹⁰, an open source WPS implementation based on the Python programming language. The option for this versatile

³ <https://www.postgresql.org/>

⁴ <https://pycsw.org/>

⁵ <https://mapserver.org/about.html>

⁶ <https://angularjs.org/>

⁷ <https://openlayers.org>

⁸ <https://www.cesium.org>

⁹ <https://www.nodejs.org>

¹⁰ <https://pywps.org>

scripting language facilitated the development of modules by less experienced programmers. Various external third-party components can be used by these modules, such as R (Team, 2017) and GRASS GIS (Neteler and Mitasova, 2008) for space-time statistical analysis, PROJ¹¹ for geospatial data reprojection, and GDAL/OGR¹² for data format conversion. PyWPS facilitates the interoperability with all these libraries.

2.1.3.3.2 Model (WPS) interaction

A WPS server publishes a collection of services, each performing a specific calculation; iGuess® identifies each of these services as a module. A WPS service declares a series of inputs and outputs, that can either be literal values or complex data (such as geospatial datasets or references to WCS/WFS resources). Since their execution can be computationally intensive, WPS services are always invoked by iGuess® in asynchronous mode. This means no immediate response is attended, and iGuess® assumes responsibility for their monitoring. iGuess® manages this interaction with WPS servers with a sub-module that runs at the web server side acting as a WPS client. This client was specifically developed to integrate with iGuess®, it has been developed in Javascript and relies on a library called ogc-schemas for parsing and writing WPS messages¹³. It is executed upon a user request to run a module, receiving from the web server a WPS server URL, a service identifier and a set of inputs. The client sub-module starts by creating a WPS Execute request, that encodes access to data inputs through WFS or WCS, guaranteeing the correct coordinate system specification. This request is submitted to the server through the HTTP Post method. The client then manages all ensuing interaction with the WPS server: (i) monitoring of execution progress and error conditions, (ii) output retrieval and (iii) output publication and registration.

When it receives an execution request, the processing server spawns a new system process that executes the required calculations. While this process is running, the server may be queried for execution status at a specified URL address. When the process finishes its

¹¹ <https://proj.osgeo.org>

¹² <https://www.gdal.org>

¹³ <https://www.npmjs.com/package/ogc-schemas>

execution, the WPS server publishes the results, so they can later be accessed remotely by the client; this can be through a file server, a web server or a map server.

When a module execution finishes successfully, the WPS client fetches those outputs of spatial nature, automatically publishing and registering them in iGuess®. These outputs are stored in the iGuess® map server and served through MapServer in compliance to the WMS, WCS and WFS standards. Abb. 4 details this procedure using the UML notation for activity diagrams.

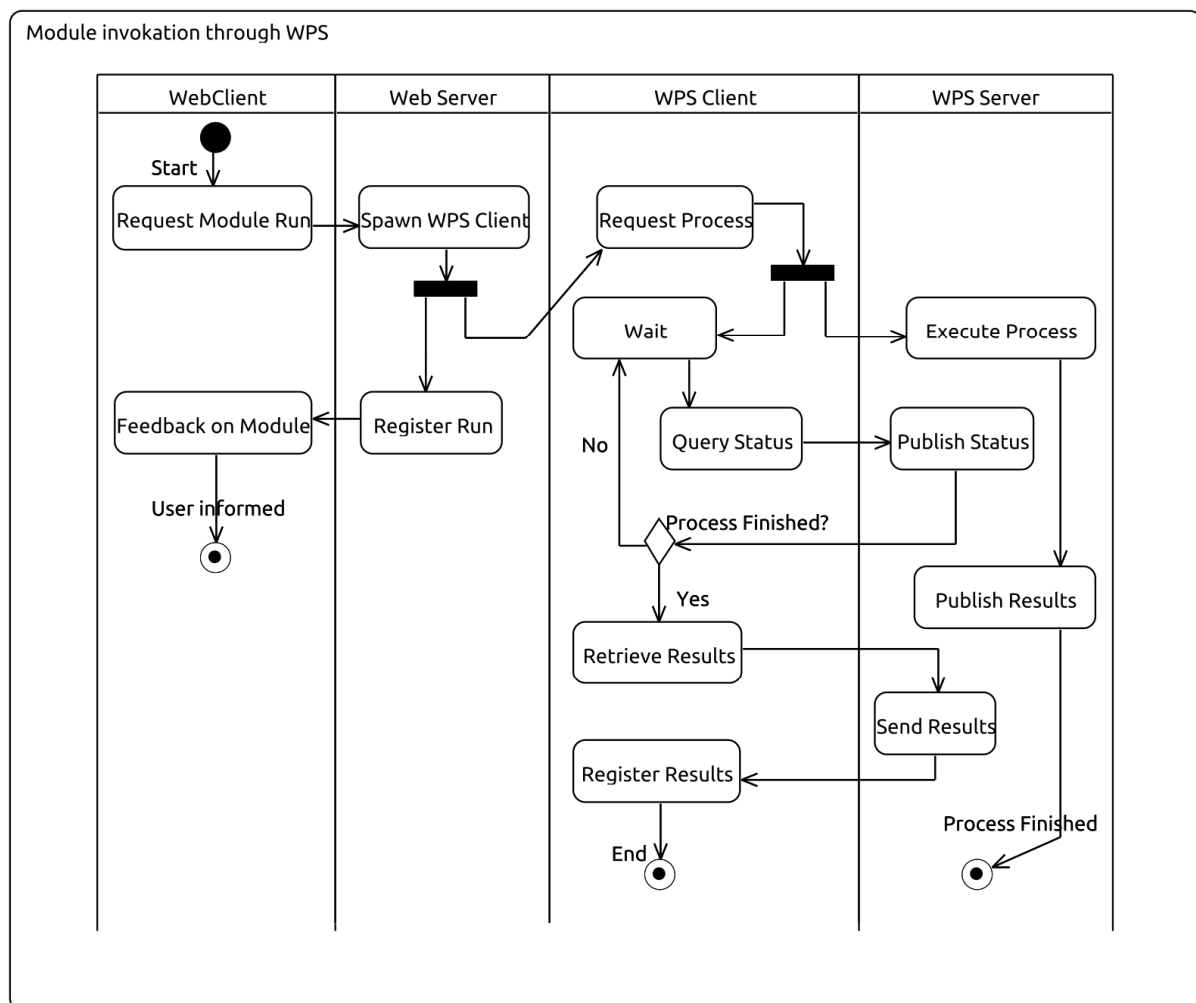


Abb. 4: The module invocation procedure through WPS.

2.1.3.3.3 Graphical User Interface

The functionalities provided by iGuess® are organised into three principal perspectives, each consisting of a sub-set of the core use cases identified; they correspond with a particular phase in the usage of iGuess®. These components also provide the main structure of the user interface: (i) Data Manager, (ii) Modules and (iii) Decision Support.

The iGuess® interface was required to be easy enough for the non-technical user to understand and navigate, while also conserving the complexity required by the processing modules eventually registered. This has been addressed in two ways: first by simplifying and thoroughly explaining the terminology, and by making use of familiar paradigms, such as the WebGIS.

2.1.3.3.3.1 Data Manager

The Data Manager is dedicated to the collection and organisation of datasets, which are the basic inputs to the processing modules; outputs of modules are themselves datasets, also catalogued by the Data Manager. The user can perform several basic operations at this interface component: (i) Register new datasets; (ii) Associate datasets with modules, by classifying them as specific module parameters (e.g. by tagging a dataset as meteo data, the user automatically associates it with a Vine Model module); (iii) Register new versions of existing datasets or discard datasets no longer required; and (iv) basic data visualisation, through a quick snapshot of a dataset.

The Data Manager does not store any data itself, it is a simple gateway for distributed data hosted remotely. Replication is thus avoided, by allowing users to simply provide the URL address of a data server, that is able to publish datasets according to the OGC standards. The server must be able to provide spatio-temporal data as images through WMS for web visualisation, and through WFS, WCS or SOS or SensorThings to feed the processing modules. To provide context, users may wish to add other remote datasets such as those hosted by national administrations or European institutions.

To ease the registration of input datasets, iGuess® offers a service harvesting mechanism. Users need only to provide the URL address of their data server and iGuess® automatically identifies available datasets, as so the OGC services in which they are published. This greatly facilitates the classification of datasets, narrowing their scope of usage as inputs to modules. It prevents, for instance, a layer with administrative boundaries being used as elevation.

Beyond this functionality, the Data Manager also provides dataset previews, that facilitates the identification of each dataset by the user.

2.1.3.3.3.2 Modules

The user is able to register with iGuess® any server complying with the WPS 1.0 and 2.0 standard. As with data servers, iGuess® provides a probing mechanism for WPS servers. Once a remote server is registered, whatever modules it may provide become available for use with the datasets registered with the Data Manager.

iGuess® maintains an explorable catalogue of modules and respective inputs available from registered servers. For a given module, the user can build a configuration that assigns particular datasets to each module input. This requires before-hand the categorisation of datasets using the available parameters. Once a module is fully configured it can be commanded to run, spawning its execution on the WPS server. When the module finishes processing, the configuration is marked as ran and the resulting dataset(s) are automatically registered with the Data Manager.

Various modules are currently implemented in R within this project, described in the previous subsection, and supported by iGuess® that will serve these models through a dedicated modelling server hosted at the LIST Data Centre.

2.1.3.3.3.3 Decision Support

This third user interface component is at its core a WebGIS, providing a single geospatial interface to all the datasets registered in the system. Users can compare the outputs of alternate module configurations and can visualise the spatial interaction between alternative planning actions. At their disposal users have a series of tools familiar in a desktop GIS: layer legends, layer overlay, feature information, printing, etc, providing means for quick decision assessment. Furthermore, tools for time series result visualisation will be implemented to view these data per location (Abb. 5).

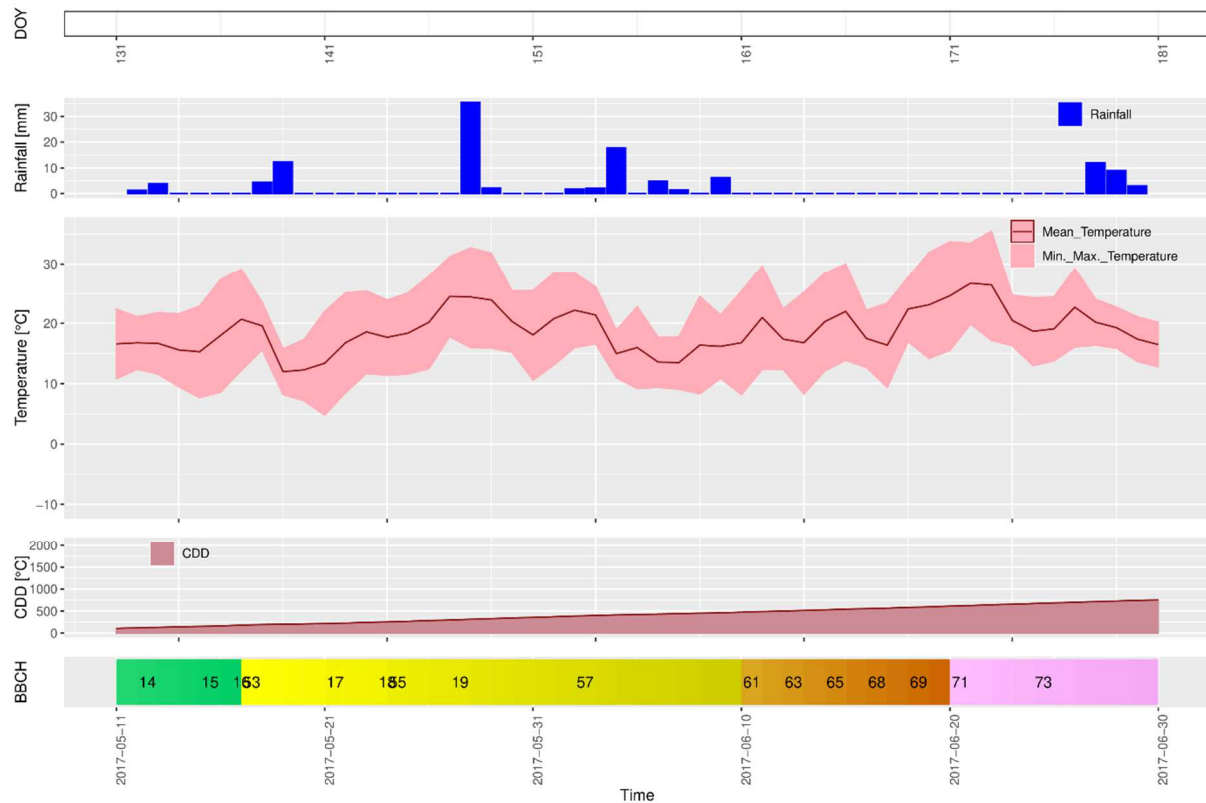


Abb. 5: Time series result visualisation prototype.

2.2 Targeted steering of grape yield, quality and wine styles/profiles by means of viticultural measures

Field trials testing different viticultural strategies to differentiate wine styles (basic, premium, super premium) by viticultural measures are conducted in the experimental vineyards of the IVV. Maturity progress and bunch rot epidemics will be followed in weekly to bi-weekly intervals. Grape yields will be recorded. Wines will be micro-vinified under standardized conditions. Wine will be analysed chemically (volatile compounds) and wine sensory will be evaluated descriptively by a trained sensorial panel.

2.2.1 Freilandversuche

2.2.1.1 Versuchsaufbau

Die vorliegenden Untersuchungen wurden in den Jahren 2019 und 2020 in den Versuchsflächen des IVV in Remich in den Rebsorten Chardonnay und Pinot gris

durchgeführt. Die genaue Koordinatenposition der Versuchsfläche ist 49°32'41.5"N 6°21'14.6"E. Die Versuchsflächen wurden mit einem Zeilenabstand von 2 Metern und einem Stockabstand von 1,20 Metern gepflanzt. Die Unterlage ist bei beiden Sorten SO4. Die Weinberge wurden in den Jahren 1994 (Pinot gris) bzw. 2013 (Chardonnay) angelegt. Kulturelle Maßnahmen der Laubwand- und Bodenbearbeitung wurden für alle Varianten identisch durchgeführt. Pflanzenschutzmaßnahmen wurden kontinuierlich und identisch zur Bekämpfung gegen *Plasmopara viticola* und *Erysiphe necator* durchgeführt. Zur Bekämpfung gegen *Botrytis cinerea* wurde keine Pflanzenschutzbehandlung durchgeführt, die Versuche wurden lediglich schattenseitig entlaubt.

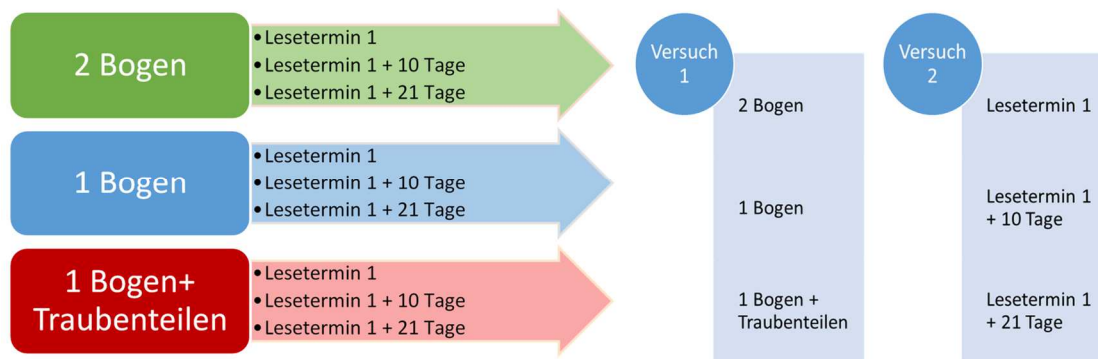


Abb. 6: Versuchsplan Differenzierung der Weinstilistik. Darstellung: Christopher Simon.

Den detaillierten Aufbau des Versuches zeigt Abb. 6.

Pro Rebsorte wurden neun Varianten untersucht. Die Versuchsglieder wurden randomisiert angeordnet, mit jeweils vier Wiederholungen von sechs Reben pro Versuchsglied (Abb. 7).

29	28	27	26
A9	B2	C1	D4
A8	B3	C9	D7
A7	B8	C6	D5
A6	B1	C4	D2
A5	B6	C7	D3
A4	B9	C3	D1
A3	B4	C5	D8
A2	B5	C2	D6
A1	B7	C8	D9

Abb. 7: Randomisierter Versuchsaufbau.

Die Ertragsversuche (Versuch 1) wurden unterteilt in drei Varianten, ein Anschnitt auf zwei Bogen, ein Anschnitt auf einen Bogen und ein Anschnitt auf einen Bogen, bei dem zusätzlich die Trauben zu BBCH 79 geteilt wurden. Die Versuche zur Bestimmung des optimalen Lesezeitpunktes (Versuch 2) wurden ebenfalls in drei Kategorien eingeteilt. Erster Lesetermin war der Tag, an dem die Luxemburgische Genossenschaft Domaine Vinsmoselle die Annahme für die Rebsorte Pinot Gris eröffnete. Die weiteren Lesetermine folgten 10 und 21 Tage auf den ersten Lesetermin.

2.2.1.2 Reifemessungen und Bonitur des Fäulnisbefalls

Die Befallsentwicklung von *Botrytis cinerea* wurde in den Jahren 2019 und 2020 mit Hilfe eines Siebenklassen-Bonitur-Schemas (0%, 1 bis 5%, 6 bis 10%, 11 bis 25%, 26 bis 50%, 51 bis 75%, 76 bis 100%) gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3) dokumentiert. Die Bonitur erfolgte ab dem Reifebeginn im wöchentlichen Abstand. Pro Versuchsglied und Wiederholung wurden jeweils 60 Trauben erfasst.

Parallel hierzu erfolgte an den gleichen Terminen eine Erfassung der Mostgewichte mittels Handrefraktometer. Hierzu wurden in jedem Versuchsglied und jeder Wiederholung 20 Beeren von verschieden exponierten Trauben von unterschiedlichen Traubenteilen entnommen und zusammen manuell mit einem Stößel entsaftet.

2.2.1.3 Ertragserfassung

Zur Erfassung des Ertrags erfolgte am jeweiligen Erntetermin eine parzellen-genaue Versuchslese. Gesundes und fäulnisbelastetes Lesegut wurden separat gelesen und verwogen. Aus den erfassten Gewichten wurde der Durchschnittsertrag pro Stock errechnet.

2.2.2 Mikro-Vinifikation und Abfüllung

In den beiden Versuchsjahren 2019 und 2020 wurde das Lesegut aus den Versuchspartellen standardisiert verarbeitet und anschliessend mikroviniert. Der von der Presse abfliessende Most wurde in Glasballons mit einem Fassungsvermögen von 10 bis 20 l überführt.

Zur Sedimentation wurden die Moste über Nacht bei 6°C gelagert und am folgenden Tag vom sedimentierten Trub abgezogen. Sofern die Moste einen natürlichen Zuckergehalt unterhalb von 220 g/l aufwiesen, erfolgte eine Anreicherung auf diesen Wert. Anschliessend erfolgte eine Beimpfung der Moste mit den Reinzuchthefen CY 3079.

Der Gärfortschritt wurde regelmässig mittels Biegeschwinger überwacht. Zum Gärende erfolgte eine Schwefelung mit 100 mg/l SO₂ (Sulfosol) und ein Abstich von der Hefe in kleinere Gebinde. Nach einem weiteren Abstich erfolgte etwa im Mai des Folgejahres die Füllung der unfiltrierten Weine in 0,5 l Flaschen mit Drehverschluss und eine Analyse der fertigen Versuchsweine mittels FTIR (FOSS Grapescan) am Wein-analytischen Labor des IVV.

2.2.3 Analyses of volatile wine compounds

The volatile compounds given in Tab. 6 will be analysed by SPME-GC-MS/MS.

Tab. 6: Analysed volatile wine compounds and their chemical families.

Volatile wine compounds	Chemical family
2-Phenylethanol	Alcohol
Ethyl butanoate, Ethyl 2-methyl butanoate, Isoamyl acetate, Ethyl hexanoate, Ethyl heptanoate, Ethyl decanoate, Ethyl dodecanoate, Hexyl acetate, Methyl octanoate, Diethyl succinate, Phenyl acetate	Esters
1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalene, beta-Damascenone, Linalool, Linalool oxides, Limonene, Nerol, Nerol oxide, Geraniol	Terpens
2-Isopropyl-3-methoxypyrazine, 2-Isobutyl-3-methoxypyrazine, 3-sec-Butyl-2-methoxypyrazine	Pyrazines

Four millilitres of wine will be placed in a SPME sealed vial with 4mL of phosphate buffer (pH 7) and NaCl (1,2g for the pyrazines method, 4g for the other compounds method).

The automated Solid Phase Micro-Extraction will be achieved using a PAL Combi-xt autosampler (CTC Analytics) according to the following conditions (Tab. 7):

Tab. 7: Applied analytical methods for pyrazines and other compounds.

	Pyrazines method	Other compounds method
Fibre	DVB/CAR/PDMS 50/30µm	PDMS 100µm
Incubation	5 min at 50°C	5 min at 50°C
Adsorption	30 min at 50°C	20 min at 50°C
Desorption	2min	2min

The analysis of volatile compounds will be realised by Gas Chromatography coupled to tandem Mass Spectrometry (Trace GC Ultra - TSQ Quantum XLS, Thermo) with the following parameters (see Tab. 8 below). Two transitions will be saved in Multiple Reaction Monitoring mode for quantification and confirmation of each target compound. Quantitative results will be provided thanks to internal calibrations.

Tab. 8: Analytical parameters of Gas Chromatography coupled to tandem Mass Spectrometry (Trace GC Ultra - TSQ Quantum XLS, Thermo) for pyrazines and other compounds.

	Pyrazines method	Other compounds method
Column	Polar column (20x0.15m, 0.15µm ID)	Apolar column (20x0.18m, 0.18µm ID)
Carrier gas	Helium at 1mL/min	Helium at 1mL/min
Oven program	50°C 5min - 30°C/min 300°C - 300°C 4min	50°C 5min - 15°C/min 300°C - 300°C 5min

If required, dilutions of wine samples will be realised to achieve the range of calibration.

2.2.4 Sensorische Untersuchung der Versuchsweine durch ein trainiertes Prüferpanel

Die Versuchsweine des Jahrgangs 2019 wurden im Sommer 2020 durch ein 13-köpfiges Panel verkostet. Die Methodik der sensorischen Verkostung sowie die Ergebnisse sind der angehängten Bachelor Thesis von Christopher Simon zu entnehmen.

Weitergehende sensorischen Untersuchungen der Versuchsweine beider Jahrgänge erfolgten im Jahr 2021 an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Professur für Sensorik. Hierbei werden im Rahmen einer Profilprüfung für die Versuchsweine charakteristische sensorische Attribute zu deren Beschreibung zusammengetragen, das Panel auf diese Attribute und die Probenrange trainiert und im Rahmen einer Profilierung die Ausprägung (Intensitäten) für jedes Attribut und jede Probe durch die Prüfer eingestuft. Die Proben werden in zweifacher Wiederholung verkostet.

2.3 Validation of viticultural adaptation strategies as reaction on climate change

In 2015, 14 late ripening grape cultivars have been planted in the framework of the research project TerroirFuture at the experimental vineyards of the IVV. Their expected ripening delay might represent an adaptation strategy as a reaction of higher temperatures in the future due to expected climate change.

In the present project, grape phenology, maturity and bunch rot progress will be followed and yield will be recorded for each cultivar to get an idea on their heat demand for full maturity and the suitability for viticulture in Luxembourg in the future.

2.4.1.1 Rebsortensortiment „Spätreifende Sorten“

2.4.1.1.1 Anlage des Sortiments

Am 12.05.2015 wurde auf einer Fläche des Weinbauinstitutes in Remich ein Weinberg mit insgesamt 13 verschiedenen spätreifenden Rebsorten angelegt. Pro Sorte wurden 8 Reben

gepflanzt. Als Vergleichssorten dienten Pinot blanc und Pinot noir. Die Reben der Rebsorte Cabernet franc wurden erst im Jahr 2016 gepflanzt. Alle Rebsorten, die Rebsorten-Klone, Unterlagen und Unterlagen-Klone sind in Tab. 9 aufgeführt.

Tab. 9: Rebsorten, -Klone, Unterlagen und –Klone im Rebsortensortiment „Spätreifende Sorten“ am Weinbauinstitut in Remich. Rote Rebsorten sind in roter Farbe dargestellt.

Rebsorte	Klon	Unterlage	Klon
Alvarinho	44 ISA PT	1103 P	113 FR
Gelber Orleans	2 Gm	SO4	60 Gm
Grüner Veltliner	A 1-1	SO4	Entav 102
Malvasia Fina			
Moscatel Graudo		1103 P	113 FR
Viognier	INRA 1042	SO4	31
Pinot blanc	FR 70	SO4	14 Op
Pinot noir	2-6 Gm	SO4	60 Gm
Cabernet Sauvignon	ENTAV-INRA 169	SO4	ENTAV-INRA 102
Touriga National	16 JBP PT	1103 P	112 FR
Tempranillo	111 JBP PT	99 R	179 FR
Zinfandel	J.6	SO4	Op 31
Syrah	ENTAV 877	5 BB	
Cabernet franc			

2.4.1.1.2 Anschnittsniveau und Traubenteilen

Das Anschnittsniveau betrug bei allen Rebsorten 10 Augen pro Rebe bzw. 5 Augen pro Quadratmeter (Standraum 2m x 1m). Im Stadium BBCH 79 erfolgte in allen Sorten ein horizontales Traubenteilen. Hierbei wurde an allen Trauben die untere Traubenhälfte entfernt.

2.4.1.1.3 Phänologische Aufzeichnungen

Während der Vegetationsperioden 2017 und 2018 erfolgte zweimal wöchentlich eine Dokumentation der erreichten phänologischen Entwicklungsstadien nach BBCH-Code (Lorenz et al., 1995). Die Tage des Jahres des Erreichens der einzelnen Stadien wurden erfasst und die zeitlichen Abweichungen im Vergleich zur Vergleichssorte Pinot noir kalkuliert.

2.4.1.1.4 Bonitur Fäulnisverlauf, Reifemessungen und Ertragserfassungen

Wöchentliche Reifemessungen und Ertragserfassungen fanden im Rebsortiment „Spätreifende Sorten“ ab dem Jahrgang 2018 statt.

Die Befallsentwicklung von *Botrytis cinerea* wurde mit Hilfe eines Siebenklassen-Bonitur-Schemas (0%, 1 bis 5%, 6 bis 10%, 11 bis 25%, 26 bis 50%, 51 bis 75%, 76 bis 100%) gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3) dokumentiert. Die Bonitur erfolgte ab dem Reifebeginn im wöchentlichen Abstand. Pro Rebsorte wurden jeweils 50 Trauben von der nördlichen Zeilenseite erfasst.

Parallel erfolgte an den gleichen Terminen eine Erfassung der Mostgewichte mittels Handrefraktometer. Hierzu wurden in jeder Rebsorte 20 Beeren von verschiedenen exponierten Trauben von unterschiedlichen Traubenteilen entnommen und zusammen manuell mit einem Stößel entsaftet.

Zur Erfassung des Ertrags erfolgte eine Rebsorten-genaue Versuchslese. Hierbei wurden alle Rebstöcke einer Sorte zusammen geerntet und aus den erfassten Gewichten der Durchschnittsertrag pro Stock errechnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Modelentwicklung, -anwendung und -implementierung

3.1.1 UniPhen

3.1.1.1 Phenological observation data

Tab. 10 shows the days of the year (DOY) on which the phenological stages BBCH 01 to 89 were reached from 2012 to 2018 in the 11 cultivars of observation.

Tab. 10: Days of the year (DOY) on which the phenological stages BBCH (Lorenz et al., 1995) 01 to 89 were reached from 2012 to 2018 in the 11 cultivars of observation.

Cultivar	BBCH stage	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Riesling	01	87	106	78	98	95	89	101
	03	91	111	91	104	101	93	108
	05	94	115	93	109	110	98	110
	07	120	123	104	112	123	104	112
	09	123	125	106	118	125	116	116
	11	129	129	109	122	127	124	120
	12	130	132	111	126	129	130	122
	13	131	137	114	128	131	133	124
	14	134	144	119	130	134	135	127
	15	140	151	122	132	140	137	129
	16	143	153	127	135	142	138	132
	17	145	158	133	139	146	141	134
	18	147	160	140	145	149	144	136
	19	149	163	143	150	152	146	138
	53	143	157	122	139	138	137	128
	55	146	161	129	146	144	143	134
	57	159	168	154	157	159	150	149
	61	169	180	160	165	175	157	153
	63	170	183	161	166	176	160	155
	65	171	185	163	167	177	161	156
68	176	187	164	169	178	163	159	
69	177	188	165	170	179	164	160	
71	178	189	167	173	181	166	163	
73	185	193	170	178	184	170	166	
75	195	201	190	187	198	179	175	
77	210	217	193	190	201	181	181	
79	222	229	202	197	207	189	189	
81	241	230	233	235	239	226	221	
83	243	233	235	237	242	229	223	
85	246	237	237	239	246	232	225	
89	262	268	252	244	262	241	233	
Rivaner	01	87	106	78	98	94	87	99
	03	94	111	91	104	100	91	103
	05	102	115	93	109	103	94	106
	07	119	123	99	113	116	99	111
	09	122	125	104	119	123	108	113
	11	127	129	106	123	126	123	116
	12	128	132	109	126	128	128	121
	13	129	137	112	128	129	133	124
	14	132	144	114	130	131	135	126
	15	138	151	119	132	134	137	129
16	145	153	124	136	141	138	131	
17	146	158	128	140	144	141	132	

	18	148	160	139	144	147	143	134
	19	149	163	141	148	149	145	138
	53	144	157	122	139	138	137	129
	55	146	161	129	146	142	141	121
	57	158	168	153	157	157	148	147
	61	169	180	159	165	172	156	151
	63	170	183	160	166	174	160	153
	65	171	185	161	167	175	161	155
	68	173	187	163	169	176	163	156
	69	174	188	164	170	177	164	158
	71	175	189	165	173	179	166	159
	73	183	193	168	178	182	171	163
	75	197	201	182	187	195	177	173
	77	210	217	199	196	203	189	181
	79	223	229	206	214	212	203	202
	81	225	230	216	218	223	207	205
	83	228	233	220	222	228	213	208
	85	229	237	224	225	232	217	212
	89	227	254	245	237	248	227	233
Elbling	01	87	106	78	98	93	85	97
	03	91	111	91	102	99	91	101
	05	94	115	93	108	107	94	106
	07	117	123	98	112	111	98	110
	09	121	124	103	117	122	101	112
	11	124	127	105	121	125	106	113
	12	125	129	107	124	127	116	114
	13	127	133	109	126	128	124	117
	14	130	140	112	128	129	130	121
	15	131	147	117	130	131	133	124
	16	138	152	121	132	134	135	127
	17	141	156	125	137	140	137	129
	18	143	158	130	142	143	138	130
	19	145	160	137	145	146	139	132
	53	143	154	122	139	132	136	124
	55	146	159	129	146	142	139	129
	57	155	169	153	157	158	148	145
	61	170	182	159	165	174	156	150
	63	171	185	160	166	175	159	152
	65	172	187	161	168	176	161	153
	68	176	188	163	170	177	163	155
	69	177	189	164	172	178	165	156
	71	179	190	166	174	180	166	159
	73	183	195	170	179	183	170	166
	75	199	204	184	188	195	178	170
	77	203	208	192	190	197	180	179
	79	215	214	198	197	205	189	184
	81	237	242	227	229	236	220	217
	83	240	246	230	232	238	224	219
	85	243	248	232	234	241	228	222
	89	248	268	259	244	255	241	240
Gewürztraminer	01	87	106	78	101	93	89	100
	03	91	110	90	106	99	91	103
	05	94	116	92	110	109	93	107
	07	118	123	96	112	115	98	111
	09	121	125	99	118	124	104	113
	11	123	128	104	122	127	120	116
	12	127	130	106	126	129	124	121
	13	130	135	109	128	131	129	124
	14	131	142	113	130	133	132	126
	15	136	150	119	132	139	135	128
	16	142	153	123	136	142	137	129
	17	144	157	126	140	145	139	132
	18	145	159	133	144	147	141	134
	19	147	161	140	147	149	143	136
	53	144	157	122	139	138	137	126
	55	146	161	129	146	144	144	129
	57	156	169	154	157	159	150	149

	61	169	182	159	164	174	160	153
	63	170	184	161	165	175	161	155
	65	171	185	162	166	176	162	156
	68	176	187	163	168	178	164	158
	69	177	188	164	169	179	166	159
	71	178	190	165	172	181	168	163
	73	186	194	170	178	184	171	173
	75	205	207	186	188	198	180	178
	77	222	213	189	191	201	183	182
	79	229	221	196	199	210	191	186
	81	235	241	225	223	231	226	213
	83	238	246	227	226	236	229	215
	85	240	248	234	229	240	232	217
	89	241	247	245	237	248	234	219
Pinot blanc	01	87	108	80	98	94	89	99
	03	94	112	92	104	100	92	103
	05	106	119	94	107	108	96	107
	07	119	123	104	112	116	102	111
	09	121	125	106	116	123	113	113
	11	123	129	109	121	126	121	115
	12	127	134	112	125	128	126	119
	13	129	137	114	128	130	131	122
	14	132	144	118	130	132	134	124
	15	136	151	123	132	138	136	128
	16	145	154	128	136	142	138	130
	17	146	158	136	141	146	141	132
	18	147	160	140	145	149	143	134
	19	148	162	143	148	153	145	138
	53	144	154	122	139	138	135	126
	55	146	159	129	146	145	142	134
	57	159	169	154	157	157	149	150
	61	168	181	159	164	173	156	152
	63	169	184	160	165	174	159	154
	65	170	185	162	166	175	161	155
	68	173	187	164	167	177	164	156
	69	174	188	166	168	178	165	159
	71	176	189	168	173	180	166	162
	73	183	193	170	177	183	170	163
	75	199	204	185	186	195	179	174
	77	207	208	191	189	200	181	180
	79	222	214	199	197	206	187	190
	81	236	244	226	227	233	218	218
	83	240	247	231	229	237	224	220
	85	243	249	234	232	242	228	222
	89	255	261	245	251	255	234	233
Auxerrois	01	87	108	80	98	94	87	99
	03	91	112	92	105	100	92	103
	05	94	119	94	109	110	96	108
	07	118	124	104	113	116	102	111
	09	121	126	106	119	123	111	115
	11	123	130	109	123	126	120	119
	12	128	133	111	125	128	126	122
	13	130	139	113	128	129	130	124
	14	132	150	117	131	131	133	127
	15	141	153	121	133	134	135	129
	16	143	156	127	136	142	137	131
	17	145	159	133	140	145	138	133
	18	147	161	140	145	148	141	134
	19	148	164	143	149	152	144	138
	53	144	153	122	139	138	134	128
	55	146	161	129	146	144	139	134
	57	161	169	155	157	159	148	150
	61	170	182	160	164	174	155	152
	63	172	185	161	165	175	158	155
	65	173	187	163	166	176	161	158
	68	178	188	164	168	177	164	160
	69	179	189	165	169	178	165	162

	71	183	191	167	174	179	167	163
	73	187	195	170	178	183	170	173
	75	200	203	189	189	195	179	177
	77	207	209	194	193	201	185	180
	79	222	217	203	200	208	198	190
	81	241	240	224	224	234	222	217
	83	242	242	227	227	238	225	219
	85	244	245	231	229	240	227	221
	89	255	261	245	244	255	234	227
Sauvignon blanc	01	89	110	82	98	93	89	99
	03	94	115	93	104	107	92	103
	05	106	122	98	109	111	96	109
	07	118	124	104	112	115	102	112
	09	122	126	106	116	120	111	114
	11	125	130	109	121	124	120	119
	12	127	133	110	124	127	124	121
	13	129	139	112	127	130	128	124
	14	135	147	119	130	133	134	126
	15	136	153	124	132	137	136	128
	16	143	156	129	135	144	138	129
	17	147	161	137	140	148	141	134
	18	149	163	140	146	150	144	136
	19	150	166	143	149	154	147	139
	53	144	156	125	139	138	137	127
	55	146	163	132	146	145	143	129
	57	156	170	158	157	161	150	151
	61	171	185	160	166	175	160	154
	63	176	187	162	167	176	161	156
	65	177	188	164	169	177	163	159
	68	180	189	165	171	178	164	161
	69	181	190	166	174	180	165	163
	71	183	192	168	178	182	166	166
	73	185	196	173	183	186	171	173
	75	203	207	190	191	199	180	178
	77	209	220	195	193	204	184	181
	79	224	224	202	209	212	196	190
	81	236	242	226	229	236	225	218
	83	239	246	230	232	238	230	220
	85	243	248	234	234	241	232	222
	89	246	252	244	246	250	233	225
Pinot gris	01	87	108	78	98	97	89	100
	03	94	112	92	103	103	92	105
	05	106	115	94	109	108	98	108
	07	118	123	104	112	121	104	112
	09	122	126	106	115	125	115	116
	11	125	129	109	120	127	124	120
	12	128	133	111	124	128	130	122
	13	130	137	114	127	129	133	125
	14	132	144	119	130	132	135	127
	15	136	152	124	133	139	137	129
	16	141	156	128	136	142	138	132
	17	145	158	137	141	144	142	134
	18	146	161	140	146	148	145	136
	19	148	163	143	150	151	147	138
	53	143	156	122	139	138	137	128
	55	146	161	129	146	145	145	129
	57	156	169	155	157	159	151	151
	61	167	179	159	164	174	156	152
	63	169	182	160	165	174	159	153
	65	170	184	162	166	175	161	155
	68	173	186	164	168	177	163	157
	69	176	187	165	169	178	164	159
	71	177	188	166	172	180	166	163
	73	183	192	170	177	183	169	165
	75	198	203	186	186	195	179	174
	77	206	206	191	189	199	181	180
	79	211	213	200	199	207	188	187

	81	232	242	224	224	230	216	217
	83	236	246	227	229	235	223	218
	85	239	249	232	236	238	226	220
	89	248	261	245	237	255	241	233
Chardonnay	01	87	104	76	94	91	82	97
	03	91	108	89	98	98	88	101
	05	94	114	91	104	105	92	105
	07	113	117	94	110	112	95	110
	09	118	123	97	112	120	98	112
	11	121	125	101	115	124	104	114
	12	125	127	104	121	126	116	116
	13	128	129	107	125	127	123	121
	14	130	133	112	128	129	133	124
	15	132	142	116	130	133	135	127
	16	136	152	121	132	138	136	130
	17	139	156	126	136	141	137	131
	18	145	158	129	140	144	138	132
	19	146	161	139	144	149	141	134
	53	143	142	120	135	132	134	126
	55	146	158	126	142	142	140	129
	57	149	167	147	154	158	145	145
	61	162	170	156	160	171	151	147
	63	166	173	158	162	172	153	148
	65	168	176	159	164	174	155	150
	68	170	183	160	165	176	159	153
	69	171	185	161	166	177	160	154
	71	174	187	162	168	179	162	156
	73	178	191	166	174	182	166	163
	75	192	202	179	184	195	177	168
	77	199	205	189	189	199	181	180
	79	215	218	199	199	209	191	192
	81	232	242	224	228	236	217	218
	83	235	245	226	230	238	222	220
	85	237	247	230	233	241	224	222
	89	255	268	238	244	255	234	233
Merlot	01	89	106	78	98	91	87	98
	03	100	114	90	104	98	92	102
	05	106	122	92	112	110	98	107
	07	119	124	97	119	115	104	111
	09	122	127	101	123	117	108	114
	11	128	130	105	125	125	120	117
	12	129	137	106	128	127	125	120
	13	130	140	109	131	129	131	123
	14	131	151	112	135	130	134	126
	15	136	154	117	139	134	136	128
	16	141	157	124	142	141	138	130
	17	144	159	128	146	145	141	132
	18	146	163	137	150	148	143	134
	19	148	165	140	154	151	145	138
	53	143	158	122	142	132	136	126
	55	146	161	129	148	147	143	129
	57	157	170	155	160	160	149	151
	61	170	183	158	166	174	155	152
	63	171	185	159	167	175	158	153
	65	172	188	160	168	176	160	154
	68	173	190	162	171	178	163	156
	69	176	191	163	173	179	164	159
	71	178	193	165	177	181	166	163
	73	185	195	169	183	184	170	166
	75	191	201	179	190	191	175	169
	77	202	221	203	209	207	189	186
	79	204	242	213	232	221	209	215
	81	246	243	231	233	238	222	219
	83	247	246	233	237	241	228	222
	85	249	248	236	241	245	234	225
	89	260	266	251	250	257	240	232
Pinot noir	01	87	106	78	98	94	87	98

03	91	112	91	103	100	91	102
05	94	119	93	107	109	95	107
07	118	123	99	111	116	102	111
09	122	125	102	114	122	108	114
11	127	128	106	119	125	121	117
12	129	131	109	123	127	126	120
13	130	135	112	126	129	133	123
14	132	142	114	129	131	135	126
15	137	151	118	131	136	136	128
16	143	154	126	133	141	138	130
17	144	157	135	137	144	141	132
18	145	159	139	143	146	143	134
19	147	163	142	147	149	145	138
53	143	154	122	135	138	136	126
55	146	159	129	142	143	142	129
57	158	169	153	156	158	148	147
61	168	177	158	162	172	154	149
63	170	181	160	164	174	157	151
65	171	183	161	165	175	160	153
68	172	185	163	166	176	162	155
69	173	187	164	167	177	163	156
71	174	188	165	170	179	165	159
73	183	192	168	175	182	169	163
75	198	201	182	184	195	178	169
77	226	221	196	194	202	188	188
79	230	239	206	209	210	209	201
81	234	240	224	223	231	216	217
83	236	245	227	227	235	222	219
85	239	249	231	231	238	226	221
89	234	254	238	230	248	227	227

3.1.1.2 Optimized temperature thresholds triplets per cultivar

Normalized standard deviations are depicted in Abb. 8, depending on the lower and upper threshold temperature in the 11 cultivars of observations, as well as on the average of all cultivars.

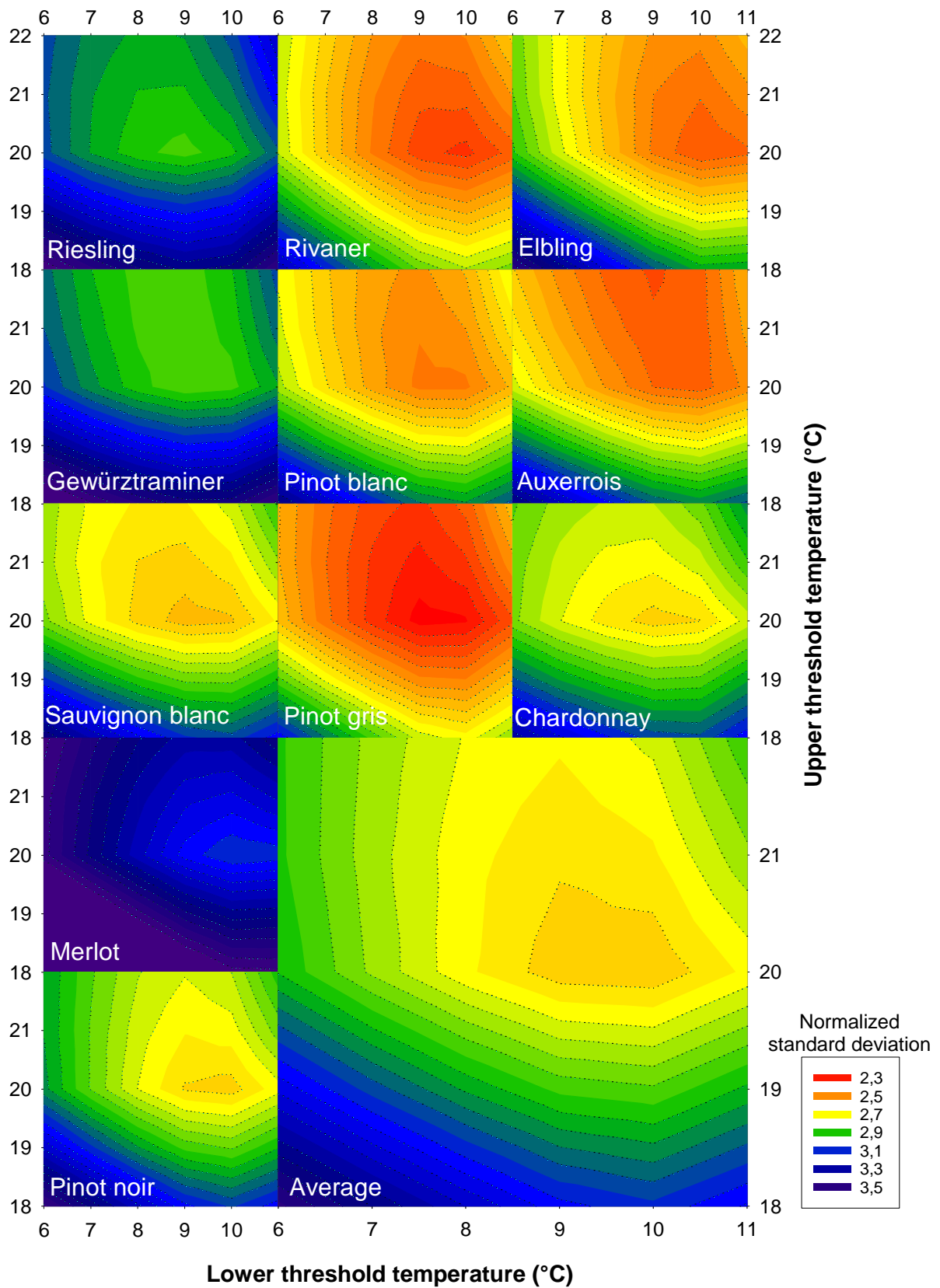


Abb. 8: Contour plots of normalized standard deviations depending on the lower and upper threshold temperatures for the 11 cultivars under observation, as well as the average for all cultivars.

The optimized temperature threshold per cultivar is given in Tab. 11.

Tab. 11: Cultivars of observation, as well as the respective lower, upper and heat threshold triplets leading to minimum average normalized standard deviations. SD_{20° = normalized standard deviation at 20°C .

Cultivar	Lower threshold	Upper threshold	Heat threshold	Average SD_{20°
Riesling	9	20	-	2.88
Rivaner	10	20	-	2.37
Elbling	10	20	-	2.44
Gewürztraminer	9	20	-	2.83
Pinot blanc	9	20	-	2.49
Auxerrois	9	22	-	2.43
Sauvignon blanc	9	20	-	2.60
Pinot gris	9	20	-	2.28
Chardonnay	9	20	-	2.66
Merlot	9	20	23	3.07
Pinot noir	10	20	-	2.64
Average				2.61

Optimized lower threshold temperatures ranged between 9 and 10°C , while upper thresholds were 20°C in all cultivars except Auxerrois (22°C).

The introduction of the heat threshold reduced the average normalized standard deviation only in the case of Merlot (3.07 instead of 3.16 in case of only two thresholds). In the other cultivars, the minimum average normalized standard deviations were achieved without heat threshold.

3.1.1.3 Unified global optimized temperature threshold triplet

The lowest global average normalized standard deviation on average of all 11 cultivars observed in case of using 10°C as the lower threshold temperature and 20°C as the upper threshold temperature. The introduction of a heat threshold did not further decrease the global average normalized standard deviation. However, to avoid overlooking the verified decelerating effects of above optimum temperatures under warmer conditions, a heat threshold of 30°C was defined for the unified phenological model, from now on referred to as “UniPhen”.

Global average normalized standard deviations using the unified optimized threshold triplet 10, 20 and 30°C was 2.63, which corresponds to 2.63 days at daily average temperatures of 20°C .

Average normalized standard deviations using optimized threshold triplets per cultivar differed only marginally from the average normalized standard deviations using the unified threshold triplet 10, 20 and 30°C (Tab. 12).

Tab. 12: Average normalized standard deviations, using optimized threshold triplets per cultivar, compared with the average normalized standard deviations using the unified threshold triplet 10, 20 and 30°C in the different cultivars. Δ = difference. SD_{20° = normalized standard deviation at 20°C.

Cultivar	Average SD_{20° using optimized threshold triplets per cultivar	Average SD_{20° using the unified threshold triplet 10, 20 and 30°C	Δ
Riesling	2.88	2.93	0.05
Rivaner	2.37	2.37	0.00
Elbling	2.44	2.44	0.00
Gewürztraminer	2.83	2.84	0.01
Pinot blanc	2.49	2.49	0.00
Auxerrois	2.43	2.46	0.03
Sauvignon blanc	2.60	2.61	0.01
Pinot gris	2.28	2.29	0.01
Chardonnay	2.66	2.68	0.02
Merlot	3.07	3.10	0.03
Pinot noir	2.64	2.64	0.00
Global average	2.61	2.62	0.02

3.1.1.4 The unified high-resolution phenological model UniPhen

Tab. 13: Average CDD_{10,20,30} values relative to BBCH 09 in Riesling until reaching the respective BBCH stage, as well as normalized standard deviation at 20°C in the 11 cultivars. Negative values indicate that the respective BBCH stage has been reached prior to BBCH 09 in Riesling. Av = Average. SD_{20°} = normalized standard deviation at 20°C. Average SD_{20°} are the averages of the BBCH stages 11 to 89. CDD_{10,20,30}= cumulative degree days using the optimized temperature threshold triplet 10, 20 and 30°C.

BBC H stage	Riesling		Rivaner		Elbling		Gewürztraminer		Pinot blanc		Auxerrois		Sauvignon blanc		Pinot gris		Chardonnay		Merlot		Pinot noir		Average	
	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}	Av	SD _{20°}
01	-42.6	1.5	-44.7	1.8	-44.9	1.8	-43.7	1.8	-42.4	1.9	-42.9	1.8	-39.8	2.1	-41.0	1.8	-45.0	1.8	-43.9	1.9	-44.7	1.8	-43.2	1.8
03	-31.1	1.5	-33.6	1.7	-35.0	1.9	-33.9	1.6	-32.8	1.7	-32.5	1.7	-30.8	1.8	-32.3	1.6	-38.5	1.7	-33.4	1.8	-34.6	1.8	-33.5	1.7
05	-24.2	1.5	-27.7	1.7	-27.6	1.7	-26.3	1.8	-25.2	1.9	-23.0	1.8	-20.2	1.6	-24.6	1.6	-31.4	1.7	-22.5	2.1	-25.8	1.9	-25.3	1.8
07	-12.7	1.2	-15.2	1.5	-19.4	1.5	-18.3	1.4	-14.2	1.5	-13.8	1.5	-12.9	1.2	-12.8	1.2	-23.1	1.5	-12.7	1.7	-16.3	1.4	-15.6	1.4
09	0.0	0.0	-5.0	1.0	-10.6	1.1	-8.7	1.0	-6.7	0.9	-0.6	0.8	-3.0	0.7	-0.5	0.5	-16.2	1.1	-0.3	0.8	-6.1	0.6	-5.2	0.8
11	7.4	0.8	5.8	0.7	-1.7	1.3	2.0	0.6	2.0	0.9	5.0	0.8	5.8	0.9	6.2	0.6	-7.8	0.6	6.7	0.9	5.1	0.6	3.3	0.8
12	14.8	1.0	12.2	1.1	1.7	1.2	9.7	0.8	10.5	1.2	11.6	1.1	9.5	1.2	13.3	1.2	2.8	0.5	12.9	1.5	9.6	1.0	9.9	1.1
13	21.7	1.0	18.0	1.2	9.4	1.2	19.1	1.1	19.9	1.0	18.4	1.2	17.1	1.2	18.1	1.0	7.6	0.8	19.2	1.4	15.7	1.1	16.7	1.1
14	37.3	1.1	26.7	1.3	17.4	1.3	25.2	1.5	30.1	1.0	28.6	1.1	34.7	1.1	32.4	0.9	17.3	1.1	27.8	2.2	26.2	1.2	27.6	1.3
15	47.0	1.0	43.7	0.8	25.8	1.1	42.2	1.3	45.4	1.2	44.1	0.8	45.9	1.2	48.7	0.9	30.9	1.1	45.5	1.7	42.2	1.4	41.9	1.1
16	59.7	0.7	60.8	1.1	40.5	1.1	53.7	1.2	60.7	1.2	59.6	0.9	59.2	1.4	59.8	0.8	47.0	0.9	59.0	1.4	54.7	0.9	55.9	1.1
17	76.5	0.8	73.6	1.2	54.4	1.2	68.2	1.2	77.9	1.1	73.2	1.1	84.8	1.2	76.7	0.6	56.8	0.9	75.1	1.4	71.1	0.7	71.7	1.0
18	89.7	0.9	86.0	1.3	63.9	1.3	79.4	0.8	87.6	1.2	87.3	1.1	97.8	1.6	90.3	0.7	68.7	1.1	90.4	1.5	79.7	0.7	83.7	1.1
19	109.1	1.1	101.6	1.1	77.1	1.2	92.3	1.0	106.1	1.3	106.1	1.3	115.9	1.5	116.0	2.0	85.5	1.2	105.0	1.6	99.5	0.6	101.0	1.3
53	54.6	1.7	57.0	1.5	46.6	2.0	54.2	2.1	51.2	2.1	51.4	2.0	55.8	1.9	54.4	1.6	40.8	1.7	49.9	2.3	49.3	1.8	51.4	1.9
55	81.7	1.3	71.0	3.0	69.3	2.0	92.3	2.6	80.0	1.3	78.3	1.5	81.3	2.4	79.0	2.3	66.9	1.8	79.9	2.4	71.2	1.9	77.4	2.0
57	158.7	2.0	149.8	2.0	146.9	1.9	157.9	1.8	156.6	2.0	160.6	2.7	167.7	2.6	163.1	2.0	129.2	2.4	167.5	2.3	150.6	2.2	155.3	2.2
61	221.8	3.2	214.4	3.0	215.6	3.5	221.2	3.1	214.5	3.1	216.5	3.3	231.4	3.0	213.4	3.2	179.7	4.3	218.4	3.4	202.2	3.6	213.6	3.3
63	232.8	3.1	226.3	2.8	228.1	3.2	231.1	2.9	225.8	2.8	232.2	3.0	247.1	3.1	223.1	2.8	194.6	3.8	228.9	3.2	217.9	3.2	226.2	3.1
65	242.6	3.0	235.8	2.6	239.3	3.2	239.4	2.9	234.9	2.6	246.8	2.9	261.7	2.7	233.9	2.6	207.8	3.5	239.9	3.4	228.5	3.0	237.3	2.9
68	261.4	3.0	250.0	2.4	255.3	3.0	258.2	3.2	251.1	2.8	263.3	2.8	273.4	2.8	251.7	2.7	226.9	3.5	256.7	3.4	240.7	2.8	253.5	2.9
69	268.9	2.9	259.5	2.4	265.3	2.9	266.2	3.0	264.5	2.6	273.6	2.9	285.7	2.9	263.8	2.7	235.7	3.5	270.1	3.2	250.1	2.9	262.9	3.1
71	283.7	2.8	271.8	2.5	277.9	2.4	284.3	3.0	281.2	2.5	292.5	2.7	302.3	3.1	279.6	2.8	251.3	3.7	289.0	3.1	266.2	2.7	280.0	2.8
73	316.1	2.9	306.1	2.5	315.4	2.5	325.0	3.7	297.0	4.2	324.9	3.7	338.3	3.0	307.9	2.7	287.0	3.1	323.2	2.8	301.2	2.7	312.9	3.1
75	406.8	3.7	391.3	3.5	398.4	3.7	422.3	4.0	402.1	3.4	412.3	2.7	431.4	3.2	401.1	3.2	376.0	4.3	374.8	3.0	384.8	4.3	400.1	3.5
77	461.3	5.6	488.5	4.1	433.0	3.2	471.2	7.2	438.9	3.8	453.4	3.1	478.0	5.7	434.0	3.5	424.0	2.9	521.9	5.5	512.9	7.4	465.2	4.7
79	538.4	6.8	607.9	2.1	496.9	3.9	536.7	7.7	513.4	5.6	544.7	3.8	570.3	4.5	502.8	3.3	526.4	3.7	669.7	10.3	627.0	5.4	557.7	5.2

81	777. 3	6.3	653. 3	2.5	759.8	2.4	739.7	2.9	752. 2	2.4	752. 0	3.2	764. 0	2.5	729. 5	3.0	745. 7	3.7	784. 3	3.0	730. 8	3.1	744. 4	3.2
83	797. 7	6.0	687. 0	2.4	782.1	2.1	766.4	2.9	780. 5	2.3	772. 6	3.3	788. 2	2.5	765. 9	1.9	769. 1	3.1	800. 0	4.8	762. 7	2.6	770. 2	3.1
85	819. 9	6.1	719. 0	3.2	801.3	2.8	792.2	3.4	803. 7	3.1	791. 7	3.2	807. 9	3.0	791. 9	1.9	788. 2	3.6	834. 3	3.7	787. 5	2.3	794. 3	3.3
89	996. 8	7.4	947. 9	9.3	1009. 0	8.1	948.2	7.6	985. 9	8.1	976. 4	7.8	965. 5	7.9	979. 4	8.5	976. 1	8.9	997. 0	7.2	939. 7	8.6	974. 7	8.1
Av (11-89)		2.9		2.4		2.5		2.8		2.5		2.5		2.6		2.3		2.7		3.1		2.6		2.6

Tab. 13 presents the average $CDD_{10,20,30}$ values (average of all 7 seasons of observation) relative to BBCH 09 in Riesling until the respective BBCH stage was reached, according to UniPhen, as well as normalized standard deviations at 20°C in the 11 cultivars.

On average of all the cultivars, the lowest average SD_{20° values were observed at BBCH 09 (0.8) and the highest at BBCH 89 (8.1). On average, for the stages BBCH 11 to 89, the lowest average SD_{20° values were observed in Pinot gris (2.3) and the highest in Merlot (3.1). (On average for all the cultivars, the lowest average SD_{20° values of the stages BBCH 11 to 89 was 2.63 (Tab. 13).

No significant differences were observed according to the Duncan test in the $CDD_{10,20,30}$ values ($P \leq 0.05$) between the 11 cultivars at stages 01, 03, 05, 07, 12, 53, 55 and 89. The earliest budburst (BBCH 09) was observed in Chardonnay and the latest in Riesling. Chardonnay and Elbling reached BBCH 09 significantly earlier than Riesling, while no significant differences were observed between the other cultivars. Flowering (BBCH 61) started significantly earlier in Chardonnay than in Riesling and Sauvignon blanc. Veraison (BBCH 81) was reached first by Rivaner and last by Merlot. In Rivaner, the $CDD_{10,20,30}$ values at veraison (BBCH 81) were significantly lower than in all other cultivars. BBCH 89 was observed first in Pinot noir and last in Elbling with no statistical differences between the cultivars of observation).

BBCH stage	Riesling	Rivaner	Elbling	Gewürztraminer	Pinot blanc	Auxerrois	Sauvignon blanc	Pinot gris	Chardonnay	Merlot	Pinot noir
01	-43	-45	-45	-44	-42	-43	-40	-41	-45	-44	-45
03	-31	-34	-35	-34	-33	-33	-31	-32	-39	-33	-35
05	-24	-28	-28	-26	-25	-23	-20	-25	-31	-23	-26
07	-13	-15	-19	-18	-14	-14	-13	-13	-23	-13	-16
09	0	-5	-11	-9	-7	-1	-3	-1	-16	0	-6
11	7	6	-2	2	2	5	6	6	-8	7	5
12	15	12	2	10	11	12	10	13	3	13	10
13	22	18	9	19	20	18	17	18	8	19	16
14	37	27	17	25	30	29	35	32	17	28	26
15	47	44	26	42	45	44	46	49	31	46	42
16	60	61	41	54	61	60	59	60	47	59	55
17	77	74	54	68	78	73	85	77	57	75	71
18	90	86	64	79	88	87	98	90	69	90	80
19	109	102	77	92	106	106	116	116	86	106	100
53	55	57	47	54	51	51	56	54	41	50	49
55	82	71	69	92	80	78	81	79	67	80	71
57	159	150	147	158	157	161	168	163	129	168	151
61	222	214	216	221	215	217	231	213	180	218	202
63	233	226	228	231	226	232	247	223	195	229	218
65	243	236	239	239	235	247	262	234	208	240	229
68	261	250	255	258	251	263	273	252	227	257	241
69	269	260	265	266	265	274	286	264	236	270	250
71	284	272	278	284	281	293	302	280	251	289	266
73	316	306	315	325	297	325	338	308	287	323	301
75	407	391	398	422	402	412	431	401	376	375	385
77	461	489	433	471	439	453	478	434	424	522	513
79	538	608	497	537	513	545	570	503	526	670	627
81	777	653	760	740	752	752	764	730	746	784	731
83	798	687	782	766	781	773	788	766	769	800	763
85	820	719	801	792	804	792	808	792	788	834	788
89	997	948	1009	948	986	976	966	979	976	997	940

Abb. 9: Heat map of the average $CDD_{10,20,30}$ values relative to BBCH 09 in Riesling until the respective BBCH stage was reached in the 11 cultivars of investigation. In each BBCH stage, the cultivar with the lowest $CDD_{10,20,30}$ value (=earliest development) is depicted in green and the cultivar with the highest $CDD_{10,20,30}$ value (=latest development) in red. Intermediate values are presented in graduated colours between green and red.

Abb. 9 shows the heat map of the average $CDD_{10,20,30}$ values relative to BBCH 09 in Riesling until the respective BBCH stage was reached in the 11 cultivars of investigation. In each BBCH stage, the cultivar with the lowest $CDD_{10,20,30}$ value (= earliest development) is depicted in green and the cultivar with the highest $CDD_{10,20,30}$ value (= latest development) in red. Intermediate values are presented in graduated colours between green and red. Until bunch closure, Chardonnay showed the earliest development in most stages. Riesling was usually the cultivar with latest development in the early pre-flowering period stages while this was the case for Sauvignon blanc between the late pre-flowering stages and pea-size of the berries. Veraison and later stages were recorded in most cases earliest in Rivaner and latest in Merlot (Abb. 9).

In the cross validated UniPhen model, average mean absolute errors (MAE) ranged from 7 (BBCH 09) to 70 CDD_{10,20,30} (BBCH 89). On average, 77% of the observations were located in a range of ± 3 days and 96% of the observations in a range of ± 7 days (assuming daily mean temperatures of 20°C) around the predicted cumulative degree day. Average mean absolute errors (MAE) per cultivar ranged between 19 in Pinot gris and 25 CDD_{10,20,30} in Merlot (Tab. 15).

3.1.2 BotRisk

3.1.2.1 Disease progress as a function of thermal time

Disease severities at the different assessment dates and locations are shown in Tab. 16.

Tab. 16: *Botrytis cinerea* disease severities at the different assessment dates in the different observation years in Geisenheim, Remich and Deidesheim. DOY = day of the year. D₆₅ = days after BBCH 65. CDD_{7;18;24} = Cumulative degree days according to Molitor et al. (2016). Assessment data from Geisenheim were originally published in Molitor et al. (2016a).

	Year	Date	DOY *	D ₆₅	CDD _{7;18;24} after BBCH 65	Disease severity
Geisenheim	2007	22.08.	234	86	850.9	0.4
	2007	28.08.	240	92	914.4	0.6
	2007	04.09.	247	99	975.5	3.3
	2007	24.09.	267	119	1120.5	9.6
	2007	09.10.	282	134	1211.5	44.4
	2008	27.08.	239	81	829.9	0.2
	2008	10.09.	253	95	967.9	1.7
	2008	09.10.	282	124	1111	32.3
	2009	15.09.	258	98	999.4	0.5
	2009	22.09.	265	105	1074.4	6.7
	2009	01.10.	274	114	1149.6	12.1
	2009	08.10.	281	121	1200	38.0
	2010	31.08.	243	70	724.2	2.2
	2010	10.09.	253	80	801	4.1
	2010	14.09.	257	84	836.4	18.6
	2010	23.09.	266	93	894.1	41.7
	2010	29.09.	272	99	921.4	48.2
	2010	07.10.	280	107	980.5	80.8
	2010	14.10.	287	114	1009.5	92.4
	2011	29.08.	241	89	884.5	7.7
	2011	05.09.	248	96	952.9	19.2
	2011	13.09.	256	104	1034.4	60.7
	2011	19.09.	262	110	1077.1	82.3
	2012	05.09.	248	83	862.2	0.8
	2012	12.09.	255	90	929.1	1.0
	2012	18.09.	261	96	973.6	2.7
	2012	25.09.	268	103	1012.7	6.8
	2012	02.10.	275	110	1048.6	11.9
	2012	08.10.	281	116	1080.2	20.9
	2012	12.10.	285	120	1090.5	25.0
	2013	09.09.	252	77	791.9	0.2
	2013	16.09.	259	84	842.4	0.7
	2013	23.09.	266	91	886.1	2.9
2013	30.09.	273	98	932	7.1	
2013	08.10.	281	106	975	13.1	
2013	14.10.	287	112	988.7	37.0	
2013	21.10.	294	119	1029.1	65.7	
Remich	2010	09.09.	252	74	743.8	0.6
	2010	21.09.	264	86	830.0	1.4
	2010	28.09.	271	93	869.9	2.9
	2010	06.10.	279	101	935.9	12.3
	2010	13.10.	286	108	980.2	30.9
	2011	10.08.	222	67	623.1	0.0

2011	24.08.	236	81	775.4	0.1	
2011	06.09.	249	94	890.8	1.6	
2011	14.09.	257	102	965.5	3.1	
2011	22.09.	265	110	1020.4	7.7	
2011	28.09.	271	116	1075.9	13.1	
2012	17.09.	260	88	865.7	0.0	
2012	01.10.	274	102	929.1	0.4	
2012	08.10.	281	109	959.5	2.3	
2012	15.10.	288	116	974.6	5.8	
2012	24.10.	297	125	1038.8	20.4	
2013	17.09.	260	75	726.1	0.5	
2013	01.10.	274	89	816.2	4.9	
2013	08.10.	281	96	858.4	7.0	
2013	14.10.	287	102	869.5	14.7	
2014	01.09.	244	79	779.0	1.1	
2014	16.09.	259	94	928.4	3.1	
2014	22.09.	265	100	988.9	5.1	
2014	30.09.	273	108	1047.1	10.3	
2014	07.10.	280	115	1105.2	22.8	
2015	31.08.	243	76	738.1	0.0	
2015	17.09.	260	93	871.5	5.5	
2015	23.09.	266	99	910.8	23.6	
2015	30.09.	273	106	956.3	38.8	
2016	05.09.	248	71	733.2	0.4	
2016	19.09.	262	85	879.1	0.6	
2016	28.09.	271	94	956.0	2.8	
2016	05.10.	278	101	1000.4	5.9	
2016	12.10.	285	108	1017.0	17.1	
2016	18.10.	291	114	1039.6	22.1	
Deidesheim**	2010	16.09.	259	92	907.1	2.3
	2010	23.09.	266	99	950.8	4.7
	2010	01.10.	274	107	990.6	8.6
	2011	05.09.	248	99	1001.9	9.7
	2011	12.09.	255	106	1075.1	20.0
	2012	03.09.	246	82	862.9	0.0
	2012	10.09.	253	89	937.0	0.1
	2012	17.09.	260	96	993.2	0.4
	2012	24.09.	267	103	1041.1	1.1
	2012	01.10.	274	110	1078.8	2.4
	2013	26.08.	238	60	629.8	0.2
	2013	02.09.	245	67	703.2	0.4
	2013	09.09.	252	74	777.3	0.4
	2013	16.09.	259	81	827.4	1.1
	2013	23.09.	266	88	871.8	6.2
	2013	30.09.	273	95	918.4	13.3
	2013	07.10.	280	102	949.6	24.6
	2014	18.08.	230	71	746.9	0.0
	2014	25.08.	237	78	801.0	0.4
	2014	01.09.	244	85	869.5	1.5
	2014	08.09.	251	92	942.4	3.2
	2014	15.09.	258	99	1004.9	7.1
	2014	22.09.	265	106	1072.5	13.5
	2015	17.08.	229	69	676.5	0.0
	2015	24.08.	236	76	748.4	0.1
	2015	31.08.	243	83	819.3	0.9
	2015	07.09.	250	90	876.9	8.6
	2015	14.09.	257	97	938.6	14.0
	2016	22.08.	234	71	740.8	0.0
	2016	29.08.	241	78	813.7	0.0
	2016	05.09.	248	85	890.7	0.7

2016	12.09.	255	92	967.6	2.3
2016	19.09.	262	99	1038.3	7.9
2016	26.09.	269	106	1093.3	12.4

* 29 February was not considered in leap years.

** Assessment data from Deidesheim were kindly provided by DLR Rheinpfalz, Neustadt/Weinstraße.

Sigmoidal curves of the type $y = \frac{100}{1 + e^{-((x-x_0)/a)}}$ fitted the disease progress curves precisely ($r^2 \geq 0.87$, $p \leq 0.069$) (Abb. 10).

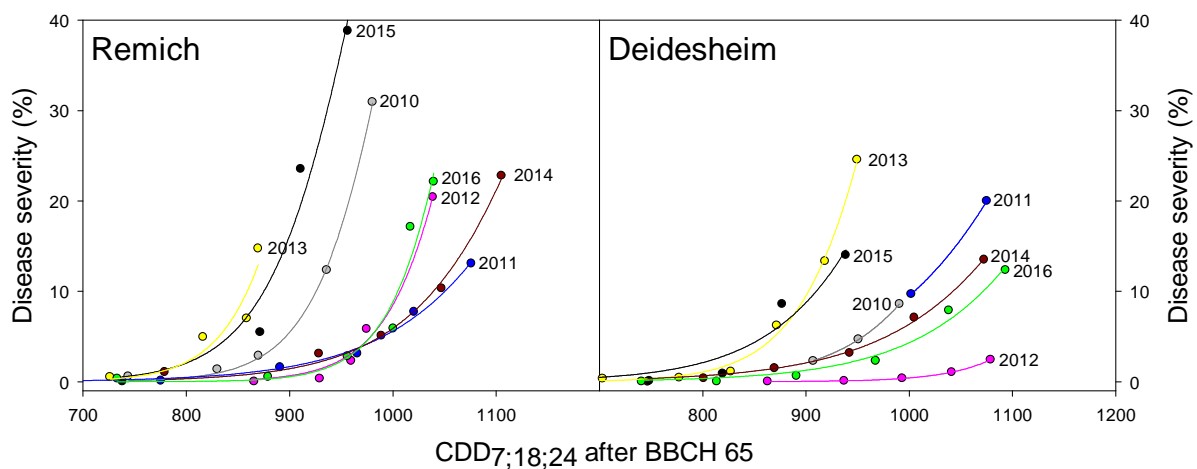


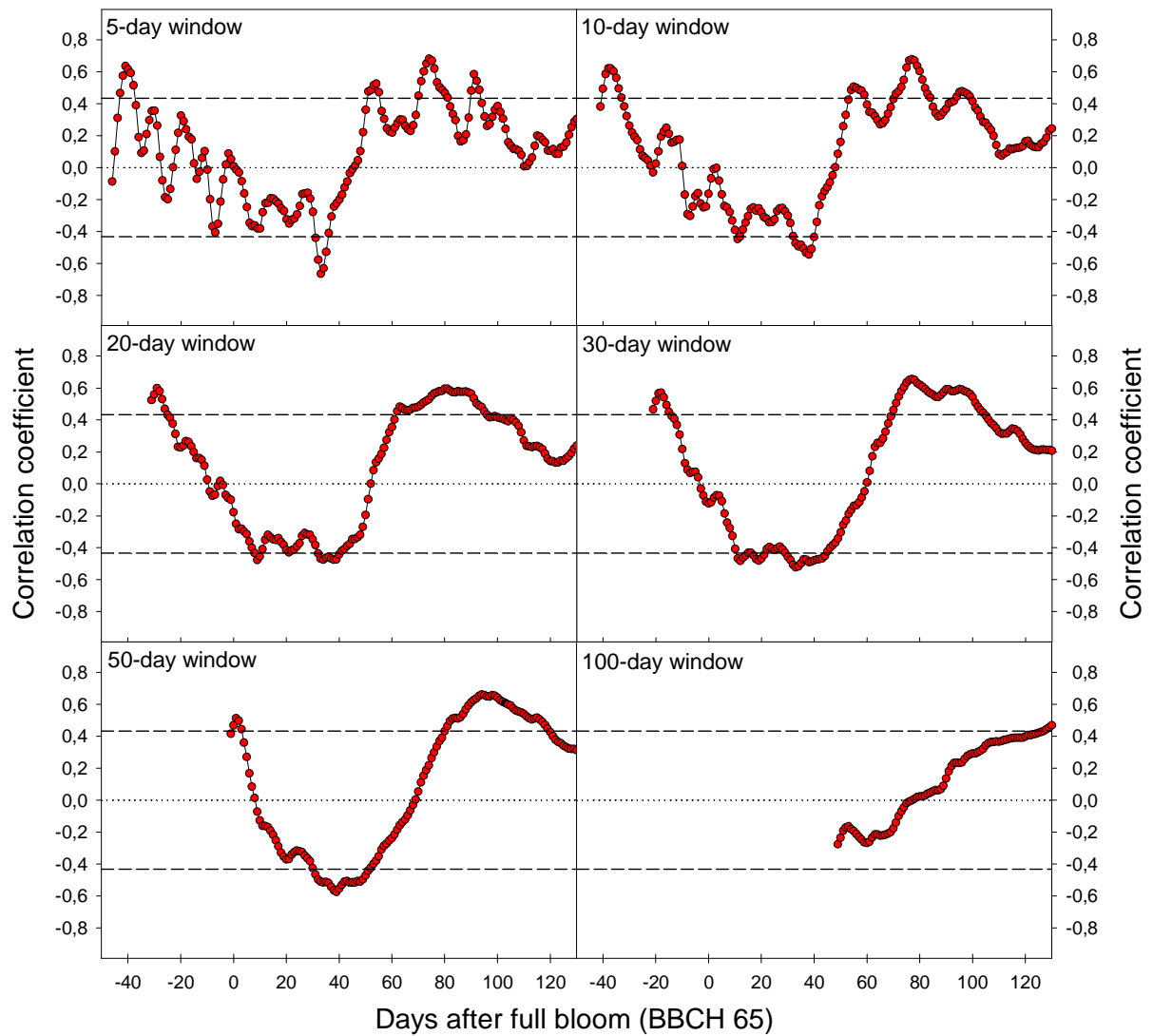
Abb. 10: Disease progress curves in Remich and Deidesheim in the different seasons as functions of the thermal time (CDD_{7;18;24} after BBCH 65). Disease progress curves of Geisenheim are illustrated in Molitor et al. (2016a).

Disease severities of 5% were reached between 781 (Geisenheim 2010) and 1112 (Deidesheim 2012) cumulative degree days CDD_{7;18;24}. The average CDD_{7;18;24} reaching 5% disease severity were 972 (Geisenheim), 931 (Remich) and 961 (Deidesheim) with no significant differences between locations according to the analysis of variance ($p = 0.05$).

3.1.2.2 Impact of environmental conditions

Abb. 11 and Abb. 12 show the results of Window Pane analysis for the summary environmental variables' daily average temperatures and daily precipitation sum using all six tested window widths (5, 10, 20, 30, 50, 100 days).

Temperature



Precipitation

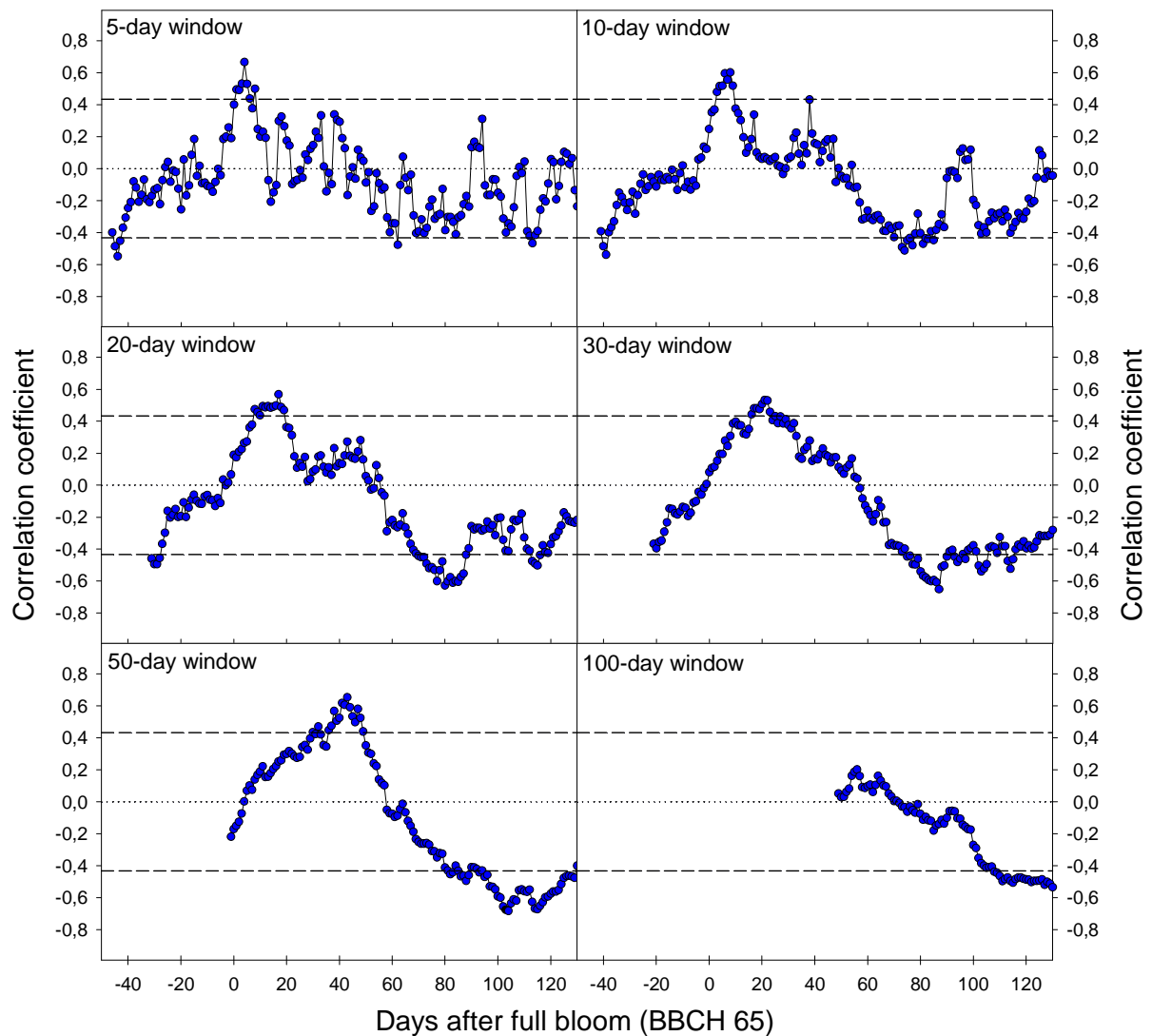


Abb. 11: Window Pane analysis. Pearson correlation coefficients between the summary environmental variables of daily average temperatures (Temperature) and daily precipitation sums (Precipitation) and the cumulative degree days $CDD_{7;18;24}$ reaching a disease severity of 5% depending on the starting date of a window and the window length. Dotted horizontal lines indicate a correlation coefficient level of 0; short dashed horizontal lines indicate the critical (positive and negative) correlation coefficients for a significance level of 0.05. Correlation coefficients between the summary environmental variables and the cumulative degree days $CDD_{7;18;24}$ reaching a disease severity of 5% are depicted as dots at the last day of the temporal window.

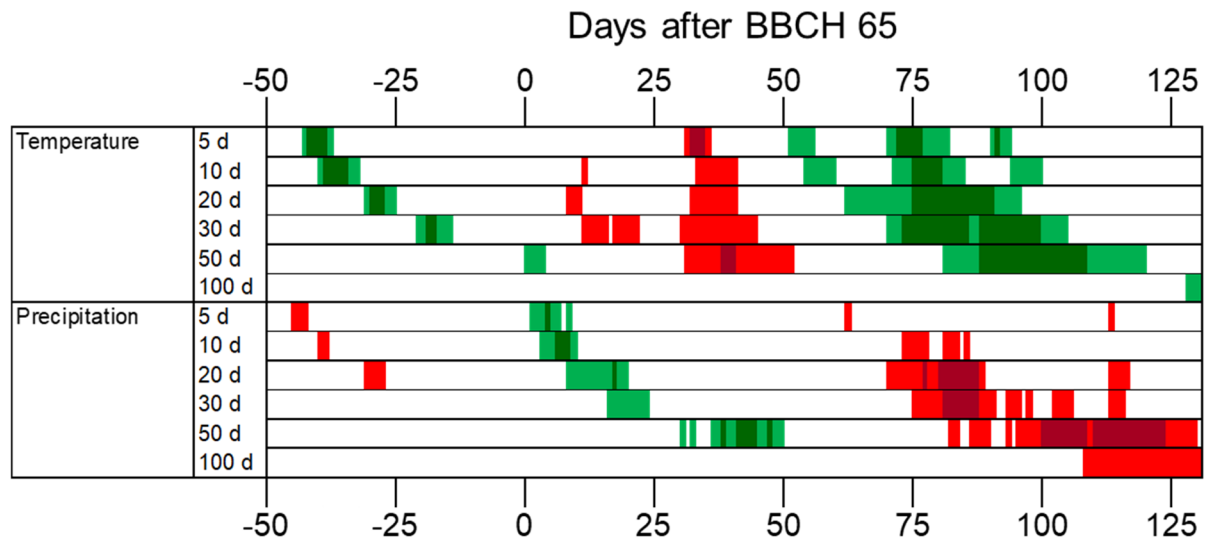


Abb. 12: Significant (significance level: $p \leq 0.05$) positive (green), highly significant ($p \leq 0.01$) positive (dark green), significant ($p \leq 0.05$) negative (red) or highly significant ($p \leq 0.01$) negative (dark red) correlations between the summary environmental variables of daily average temperatures (Temperature) and daily precipitation sums (Precipitation) and the cumulative degree days $CDD_{7;18;24}$ reaching a disease severity of 5% depending on (i) the starting date of a window (relative to the date of BBCH 65) and (ii) the window width according to Window Pane analysis. Correlation coefficients are depicted on the last day of each temporal window.

Pearson correlation coefficients as result of the Window Pane analysis are generally depicted at the end of the respective summary period.

The following summary environmental variables were highly significantly ($p \leq 0.01$) and **positively** (high value \rightarrow late epidemic) correlated with the thermal-temporal position of the epidemic ($x_{5\%}$ -value):

- summary environmental variable daily average air **temperature**
 - between -42 and -39, between 72 and 76 days as well as 91 days after BBCH 65 (D_{65}) (window width: 5 days),
 - between -39 and -35 as well as between 75 and 80 D_{65} (window width: 10 days),
 - between -30 and -28 as well as between 75 and 90 D_{65} (window width: 20 days),
 - at -19 and -18, between 73 and 85 as well as between 88 and 99 D_{65} (window width: 30 days),
 - between 88 and 108 D_{65} (window width: 50 days)
- summary environmental variable daily **precipitation** sum
 - at 4 D_{65} (window width: 5 days),

- between 6 and 8 D_{65} (window width: 10 days),
- at 17 D_{65} (window width: 20 days),
- at 38, 47 as well as between 41 and 44 D_{65} (window width: 50 days).

On the other hand, the following summary environmental variables were significantly and **negatively** (low value → late epidemic) correlated with the thermal-temporal position of the epidemic ($x_{5\%}$ -value):

- summary environmental variable daily average air **temperature**
 - between 32 and 34 D_{65} (window width: 5 days),
 - between 38 and 40 D_{65} (window width: 50 days)
- summary environmental variable daily **precipitation** sum
 - at 77 as well as between 80 and 87 D_{65} (window width: 20 days),
 - between 81 and 87 D_{65} (window width: 30 days),
 - between 100 and 108 as well as between 110 and 123 D_{65} (window width: 50 days)

Analyses revealed five critical meteorological “events” where summary environmental variables were highly significantly ($p \leq 0.01$) correlated with the thermal-temporal position of the epidemic ($x_{5\%}$ -value) in different window widths:

- temperatures around 40 days prior to flowering (event 1)
- temperatures around 30 days after flowering (event 2)
- temperatures around 70 days after flowering (event 3)
- precipitation around flowering (event 4)
- precipitation around 70 days after flowering (precipitation) (event 5).

3.1.2.3 BotRisk model to simulate the position of the annual bunch rot (*Botrytis cinerea*) epidemic

Multiple linear regression kept the following input variables for the BotRisk model:

- event 1: summary environmental variable temperature on day -38 D_{65} (window width: 10 days) = variable a

- event 2: summary environmental variable temperature on day 33 D_{65} (window width: 5 days) = variable b
- event 3: summary environmental variable temperature on day 74 D_{65} (window width: 5 days) = variable c
- event 4: summary environmental variable precipitation on day 17 D_{65} (window width: 20 days) = variable d
- event 5: summary environmental variable precipitation on day 87 D_{65} (window width: 30 days) = variable e

Based on this model, the $CDD_{7;18;24}$ reaching 5% disease severity can be calculated as:

951.476

+ 7.2173 * summary environmental variable temperature on day -38 D_{65} (window width: 10 days)

– 16.317 * summary environmental variable temperature on day 33 D_{65} (window width: 5 days)

+ 10.793 * summary environmental variable temperature on day 74 D_{65} (window width: 5 days)

+ 21.986 * summary environmental variable precipitation on day 17 D_{65} (window width: 20 days)

+ 2.512 * summary environmental variable precipitation on day 87 D_{65} (window width: 30 days).

R^2 of the model is 0.7244, $R^2_{adj.}$ (model accuracy) 0.6325 and the p-value of the model 0.0008.

Leave-one-out cross validation resulted in a coefficient of determination (R^2_{cv}) of 0.51. The

mean bias errors (MBE) in the leave-one-out cross validation were -10.8 $CDD_{7;18;24}$ for

Geisenheim, -1.5 $CDD_{7;18;24}$ for Remich and 14.4 $CDD_{7;18;24}$ for Deidesheim (overall average

MBE: 0.7 $CDD_{7;18;24}$) with mean absolute errors (MAE) of 61.5 (Geisenheim), 45.6 (Remich)

and 54.6 $CDD_{7;18;24}$ (Deidesheim) (overall average MAE: 53.9 $CDD_{7;18;24}$). The leave-one-out

cross validation of the classification of annual bunch rot risk classes demonstrated that in 11

of 21 cases, the predicted classification matched the observed classification. In four cases,

observed classes were one class higher than the predicted classes and in six cases, one class

lower than the predicted classes. No cases were observed in which the prediction indicated a

high risk but a low risk was observed in practice and *vice versa* (Tab. 17, Abb. 13).

Tab. 17: Cross-validation of the classification of annual bunch rot risk classes. The predicted number of cases according to leaf-one-out cross-validation in Classes 1 to 3 is plotted against the observed number of cases in the respective classes. Class 1 – “low” annual bunch rot risk: predicted CDD7;18;24 values reaching 5% disease severity > 1000; Class 2 – “medium” annual bunch rot risk: predicted CDD7;18;24 values reaching 5% diseases severity > 900 and <= 1000; Class 3 – “high” annual bunch rot risk: predicted CDD7;18;24 values reaching 5% diseases severity were <= 900.

		Observed			
		Class 3 “high risk”	Class 2 “medium risk”	Class 1 “low risk”	Sum
Predicted	Class 1 “low risk”	0	2	4	6
	Class 2 “medium risk”	4	4	2	10
	Class 3 “high risk”	3	2	0	5
	Sum	7	8	6	21

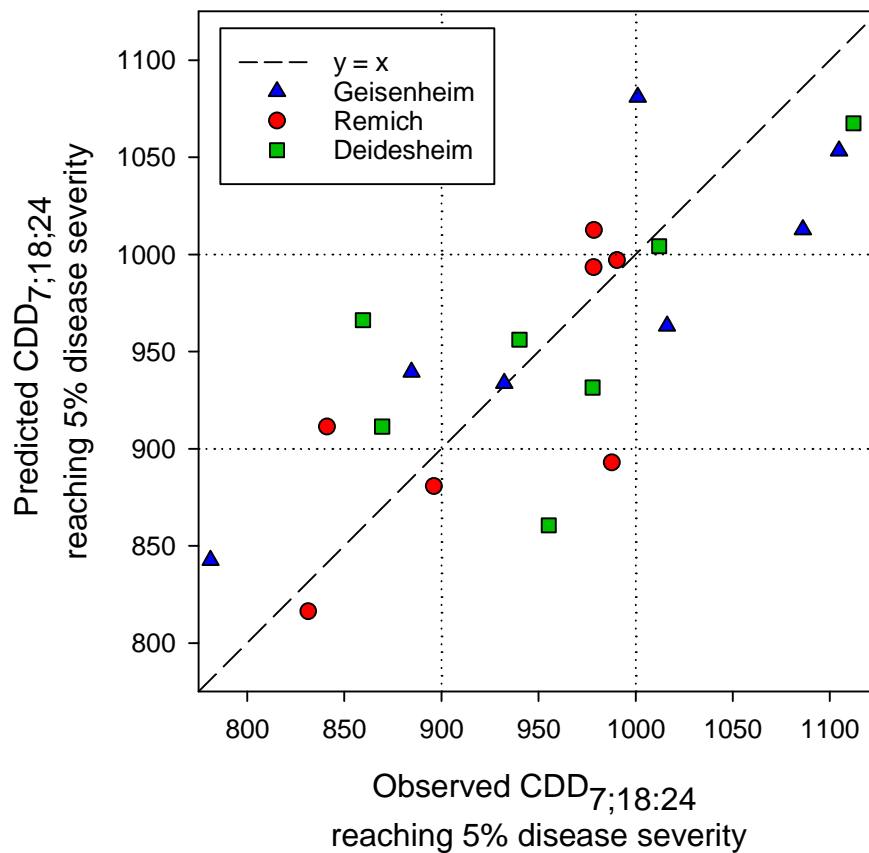


Abb. 13: Leaf-one-out cross validation: Predicted plotted versus the observed cumulative degree days CDD_{7;18;24} after BBCH 65 reaching a disease severity of 5% in Geisenheim (blue triangles), Remich (red circles) and Deidesheim (green squares). The dashed line represents the 1:1 relationship. The dotted lines represent the frontiers of the risk classes according to the bunch rot risk model BotRisk.

3.1.3 Results phenological stages prediction (Arturo)

The Remich station dataset was used as input data to predict the phenological stages for the cultivars Riesling and Rivaner (Müller-Thurgau). A summary statistics for the mean of the input data is presented in Tab. 18.

Tab. 18: Summary statistics (mean) of input data. x = longitude; y = latitude; z = elevation; T.max = Maximum temperature in Celsius degrees; T.min = Minimum temperature in Celsius degrees; T.mean = Mean temperature in Celsius degrees; Rainfall = Rainfall depth in mm.

Year	x	y	z	T.max	T.min	T.mean	Rainfall
1970	6.354936	49.54519	207	12.93616	5.535069	9.220137	2.253151
1971	6.354936	49.54519	207	14.22658	5.217260	9.714726	1.372329
1972	6.354936	49.54519	207	13.06366	5.306120	9.186393	2.138251

Year	x	y	z	T.max	T.min	T.mean	Rainfall
1973	6.354936	49.54519	207	13.72638	5.496055	9.608616	1.656438
1974	6.354936	49.54519	207	13.76548	6.335616	10.027877	2.404247
1975	6.354936	49.54519	207	13.98548	6.104110	10.308836	1.630822
1976	6.354936	49.54519	207	14.48811	5.866667	10.176639	1.417869
1977	6.354936	49.54519	207	13.46712	6.376301	9.924658	2.283699
1978	6.354936	49.54519	207	12.47000	5.207123	8.829178	1.916027
1979	6.354936	49.54519	207	12.74904	5.521918	9.290548	2.426027
1980	6.354936	49.54519	207	12.19973	4.844536	8.522131	2.528142
1981	6.354936	49.54519	207	13.14164	5.630959	9.386301	2.528219
1982	6.354936	49.54519	207	14.49370	5.912877	10.193836	2.213151
1983	6.354936	49.54519	207	14.30123	5.848356	10.074794	2.184384
1984	6.354936	49.54519	207	12.93456	5.488115	9.211066	2.220219
1985	6.354936	49.54519	207	12.50904	4.461890	8.485466	1.678356
1986	6.354936	49.54519	207	13.07452	4.911781	8.993151	1.982466
1987	6.354936	49.54519	207	12.46219	4.814794	8.638493	2.229315
1988	6.354936	49.54519	207	14.11776	6.421858	10.269809	2.327322
1989	6.354936	49.54519	207	14.83315	6.341370	10.587260	1.868493
1990	6.354936	49.54519	207	14.53605	6.298356	10.417205	2.307671
1991	6.354936	49.54519	207	14.07096	5.462740	9.766849	1.268767
1992	6.354936	49.54519	207	14.68880	6.323497	10.506148	1.831694
1993	6.354936	49.54519	207	13.92164	5.800000	9.850000	2.018082
1994	6.354936	49.54519	207	15.08000	7.116219	11.098110	2.030959
1995	6.354936	49.54519	207	14.56301	6.522740	10.542877	2.236712
1996	6.354936	49.54519	207	13.05464	4.879781	8.957514	1.459836
1997	6.354936	49.54519	207	14.74740	5.988493	10.367945	2.150411
1998	6.354936	49.54519	207	14.10822	6.346301	10.227260	2.164658
1999	6.354936	49.54519	207	15.28493	7.229315	11.257123	2.024110
2000	6.354936	49.54519	207	15.13238	7.333770	11.258757	2.590984
2001	6.354936	49.54519	207	14.67129	6.788219	10.729753	2.721918
2002	6.354936	49.54519	207	15.18932	7.005479	11.097397	2.126548
2003	6.354936	49.54519	207	17.12904	6.438904	11.783973	1.693151
2004	6.354936	49.54519	207	15.34699	6.331503	10.839249	1.743716
2005	6.354936	49.54519	207	15.70027	6.590959	11.145616	1.432329
2006	6.354936	49.54519	207	15.95233	7.136986	11.544657	1.956712
2007	6.354936	49.54519	207	16.11123	7.135616	11.623425	2.338630
2008	6.354936	49.54519	207	15.24044	6.753552	10.996994	2.076776
2009	6.354936	49.54519	207	15.49694	6.571128	11.034032	2.052603
2010	6.354936	49.54519	207	14.36452	5.596849	9.980685	1.905206
2011	6.354936	49.54519	207	16.12575	6.516247	11.323603	1.459178
2012	6.354936	49.54519	207	14.78363	5.881475	10.332555	1.911475
2013	6.354936	49.54519	207	13.88055	5.667123	9.773836	2.227945
2014	6.354936	49.54519	207	16.39945	7.156164	11.777808	1.980000

Year	x	y	z	T.max	T.min	T.mean	Rainfall
2015	6.354936	49.54519	207	16.33068	6.582466	11.456575	1.556164
2016	6.354936	49.54519	207	15.51913	6.214208	10.871448	2.076776
2017	6.354936	49.54519	207	14.84616	6.027342	10.452411	1.540274

3.1.3.1 Phenological stages prediction for Riesling

Following the flow chart, the cumulative degree day (CDD) temperature for bud break can be computed by the simple algorithm as described in Section 2.1.2.1, which requires only mean daily temperature observations, or the single triangle algorithm as described in Section 2.1.2.3, which requires besides mean daily temperature, also minimum and maximum daily temperature observations. In addition, a CDD for vine growth is computed by the lower (a), upper (upper) and heat (c) temperature thresholds algorithm as described in Section 2.1.2.4. The CDD by single triangle for bud break (cdd.st) and the CDD by lower, upper and heat thresholds for vine growth (cdd.luht) are two inputs for the CDD by the lower, upper and heat temperature thresholds for phenology (cdd.phen.luht) algorithm as described in Section 2.1.2.6. The Tab. 19 shows the initial global parameters defined for phenology prediction for Riesling, and

Tab. 20 presents the mean summary statistics computed. This summary is computed for illustration purposes because the original output is a daily time series per year (from 1970 to 2017).

Tab. 19: Initial global parameters for phenology prediction. Cultivar: Riesling. a (lower), b (upper), and c (heat) thresholds of temperature in Celsius degrees for vine growth; chs.mean = mean cumulative heat sum for bud break in Celsius degrees; start.month = calculated optimum starting month; and start.day = calculated optimum starting day of start.month.

Initial global parameters for computation. Cultivar: Riesling.						
Cultivar	Threshold_a	Threshold_b	Threshold_c	chs.mean	start.month	start.day
Riesling	7	18	24	463.1	3	2

Tab. 20: Summary statistics (mean) of variables for phenology prediction: Riesling. x = longitude; y = latitude; z = elevation; T.max = Maximum temperature in Celsius degrees; T.min = Minimum temperature in Celsius degrees; T.mean = Mean temperature in Celsius degrees; Rainfall = Rainfall depth in mm; cdd.st = cumulative degree day (CDD) by single triangle for bud break; cdd.luht = CDD by lower, upper and heat thresholds for vine growth; cdd.phen.luht = CDD by the lower, upper and heat temperature thresholds for phenology.

Year	x	y	z	T.max	T.min	T.mean	Rainfall	cdd_st	cdd.luht	cdd.phen.luht
1970	6.354936	49.54519	207	14.78852	6.880656	10.83779	2.226885	1737.525	652.9882	895.3586
1971	6.354936	49.54519	207	16.27869	6.490164	11.37582	1.382295	1876.953	717.5863	961.0405
1972	6.354936	49.54519	207	14.60295	6.194754	10.40066	2.353115	1734.311	591.7250	750.4449
1973	6.354936	49.54519	207	15.68436	6.756590	11.21736	1.760984	1843.517	685.7416	932.0157
1974	6.354936	49.54519	207	15.07016	7.099672	11.05779	2.588033	1800.933	679.5191	795.6243
1975	6.354936	49.54519	207	15.21639	6.947541	11.39795	1.683115	1832.774	695.5833	911.9649
1976	6.354936	49.54519	207	16.33689	6.938688	11.63689	1.466361	1930.760	714.7116	959.7220
1977	6.354936	49.54519	207	15.08525	7.427869	11.26033	2.000656	1814.839	667.1566	875.8160
1978	6.354936	49.54519	207	14.24279	6.318361	10.26934	1.989836	1688.533	589.9748	766.3154
1979	6.354936	49.54519	207	15.10164	7.406557	11.20410	2.480328	1802.202	660.7260	900.3614
1980	6.354936	49.54519	207	14.46066	6.569180	10.51492	2.610820	1691.252	575.6770	796.5843
1981	6.354936	49.54519	207	15.09902	7.156721	11.12787	2.673443	1895.688	731.0122	833.2704
1982	6.354936	49.54519	207	16.40000	7.525246	11.96262	2.305574	1914.280	721.3870	982.7826
1983	6.354936	49.54519	207	16.10361	6.882131	11.49287	2.275738	1876.939	676.9797	867.6764
1984	6.354936	49.54519	207	14.61295	6.605246	10.60910	2.040656	1679.567	582.2381	791.3152
1985	6.354936	49.54519	207	14.80328	6.413738	10.60851	1.797049	1783.210	682.4194	908.2271
1986	6.354936	49.54519	207	15.57148	6.811475	11.19148	2.092131	1813.381	657.8515	874.1904
1987	6.354936	49.54519	207	14.61967	6.520984	10.57033	2.348853	1734.557	650.4795	796.6496
1988	6.354936	49.54519	207	15.65311	7.410164	11.53164	2.103934	1903.294	741.3415	956.1024
1989	6.354936	49.54519	207	16.77541	7.470492	12.12295	2.042951	1997.594	767.7773	974.9149
1990	6.354936	49.54519	207	15.95902	7.217705	11.58836	2.079344	1916.391	733.0922	925.7984
1991	6.354936	49.54519	207	16.11770	6.952131	11.53492	1.214754	1910.478	689.2229	853.3671
1992	6.354936	49.54519	207	16.40426	7.577049	11.99066	2.037705	1967.174	733.2419	978.5569
1993	6.354936	49.54519	207	15.72328	7.025902	11.36164	2.105902	1933.563	770.2297	950.4301
1994	6.354936	49.54519	207	16.86492	8.381639	12.62328	1.978689	2007.653	734.5462	947.0907
1995	6.354936	49.54519	207	16.10852	7.489836	11.79918	1.845574	1921.243	713.4053	923.0370
1996	6.354936	49.54519	207	15.09082	6.170164	10.61885	1.469508	1776.904	664.8195	858.9581
1997	6.354936	49.54519	207	16.80066	7.462951	12.13180	2.113115	1970.433	747.6304	966.7383
1998	6.354936	49.54519	207	15.42852	7.549180	11.48885	2.365574	1937.695	758.8870	959.4935
1999	6.354936	49.54519	207	16.68197	7.983934	12.33295	2.105902	2029.450	825.6930	1009.0269
2000	6.354936	49.54519	207	16.77148	8.569541	12.67477	2.815082	2027.477	799.3315	1023.7157
2001	6.354936	49.54519	207	16.28138	7.903607	12.09249	2.717377	2007.600	782.1215	1000.2504
2002	6.354936	49.54519	207	16.90689	8.163934	12.53541	2.119639	2014.849	815.2118	981.4122
2003	6.354936	49.54519	207	19.44459	8.088852	13.76672	1.689836	2298.298	895.4423	1104.2469
2004	6.354936	49.54519	207	17.15180	7.538131	12.34497	1.725574	2038.546	822.0952	1001.9316
2005	6.354936	49.54519	207	17.83705	8.089836	12.96344	1.453771	2136.887	845.6156	1028.4398
2006	6.354936	49.54519	207	18.32492	8.814426	13.56967	2.120000	2130.432	822.5541	1060.6389
2007	6.354936	49.54519	207	17.48754	7.823934	12.65574	2.264262	2173.867	922.7536	1075.1694
2008	6.354936	49.54519	207	16.51016	7.758688	12.13443	2.046885	2015.096	811.9012	1046.7168
2009	6.354936	49.54519	207	17.68551	8.175612	12.93056	2.129180	2099.460	828.9568	1017.8876
2010	6.354936	49.54519	207	16.48000	6.927541	11.70377	1.919344	1988.743	763.7512	952.3946
2011	6.354936	49.54519	207	18.05049	7.623049	12.83989	1.485246	2115.107	867.1760	1041.9420
2012	6.354936	49.54519	207	16.72659	7.213180	11.96989	2.006229	1958.456	743.9960	964.3939
2013	6.354936	49.54519	207	15.97311	7.005574	11.48934	2.432459	1818.386	685.8553	876.3171
2014	6.354936	49.54519	207	18.10656	8.180984	13.14377	1.919016	2140.939	861.0285	1041.0165
2015	6.354936	49.54519	207	18.47967	7.952459	13.21607	1.501967	2073.048	769.3678	977.7010
2016	6.354936	49.54519	207	17.20590	7.283934	12.25066	1.942295	1989.639	767.2167	1018.8580
2017	6.354936	49.54519	207	16.70607	7.432066	12.08567	1.588197	2101.006	808.6793	993.1299

For each one of the years from 1970 to 2017 the phenological stages for Riesling are predicted. As an illustration, Tab. 21 presents the phenological stages predicted for Riesling for 1970 accordingly to the algorithm defined in Section 2.1.2.7. The Tab. 22 presents similar output for 2017. The comparison between prediction versus observations is done by using the function described in Section and Section 2.1.2.8, and illustrated for BBCh-09 (Abb. 14), for BBCH-81 (Abb. 15). Comparison between the single triangle algorithm versus simple algorithm in the phenological stages prediction is illustrated for BBCH-09 (Abb. 16) BBCH-81 (Abb. 17) and BBCH-89 (Abb. 18).

Tab. 22: Phenological stages predicted for Riesling, 2017. CDD_Riesling = CDD reference value for Riesling; x = longitude; y = latitude; z = elevation; T.max = Maximum temperature in Celsius degrees; T.min = Minimum temperature in Celsius degrees; T.mean = Mean temperature in Celsius degrees; Rainfall = Rainfall depth in mm; cdd.luht = CDD by lower, upper and heat thresholds for vine growth at the specific phenological stage.

BBCH_stage	Description	CDD_Riesling	x	y	z	Year	Month	Day	DayYear	T.max	T.min	T.mean	Rainfall	cdd_luht
9	Budburst: green shoot tips clearly visible	NA	6.354936	49.54519	207	2017	4	20	110	13.300000	-2.1000000	5.6000000	0.00	0
11	First leaf unfolded and spread away from shoot	32.3	6.354936	49.54519	207	2017	5	5	125	18.100000	8.9000000	13.5000000	0.00	38.2
12	Two leaves unfolded	49.1	6.354936	49.54519	207	2017	5	7	127	16.500000	10.6000000	13.6000000	0.10	50.5
13	Three leaves unfolded	66.2	6.354936	49.54519	207	2017	5	11	131	22.400000	10.8000000	16.6000000	0.30	70.2
14	Four leaves unfolded	89.6	6.354936	49.54519	207	2017	5	13	133	21.800000	11.6000000	16.7000000	3.90	89.7
15	Five leaves unfolded	113.7	6.354936	49.54519	207	2017	5	16	136	27.300000	8.6000000	18.0000000	0.00	117.6
16	Six leaves unfolded	143.7	6.354936	49.54519	207	2017	5	19	139	15.800000	8.2000000	12.0000000	12.30	144.6
17	Seven leaves unfolded	168.1	6.354936	49.54519	207	2017	5	23	143	25.400000	11.7000000	18.6000000	0.00	177.1
18	Eight leaves unfolded	192.2	6.354936	49.54519	207	2017	5	25	145	25.100000	11.6000000	18.4000000	0.00	198.8
19	Nine leaves unfolded	218.2	6.354936	49.54519	207	2017	5	27	147	31.200000	17.8000000	24.5000000	0.00	220.8
53	Inflorescences clearly visible	157.6	6.354936	49.54519	207	2017	5	22	142	25.100000	8.5000000	16.8000000	0.00	166.1
55	Inflorescences swelling, flowers closely pressed together	202	6.354936	49.54519	207	2017	5	26	146	27.900000	12.5000000	20.2000000	0.00	209.8
57	Inflorescences fully developed; flowers separating	294.5	6.354936	49.54519	207	2017	6	3	154	26.100000	16.6000000	21.4000000	2.10	297.8
61	Beginning of flowering: 10% flowerhoods fallen	370.2	6.354936	49.54519	207	2017	6	12	163	22.400000	12.4000000	17.4000000	0.00	377.7
63	Early flowering: 30% flowerhoods fallen	385	6.354936	49.54519	207	2017	6	13	164	25.200000	8.3000000	16.8000000	0.00	387.5
65	Full flowering: 50% flowerhoods fallen	407.2	6.354936	49.54519	207	2017	6	15	166	30.000000	13.9000000	22.0000000	0.00	409.5
68	80% flowerhoods fallen	428	6.354936	49.54519	207	2017	6	17	168	23.400000	9.4000000	16.4000000	0.00	429.4
69	End of flowering	452	6.354936	49.54519	207	2017	6	20	171	33.700000	15.5000000	24.6000000	0.00	462.4
71	Fruit set: young fruits begin to swell, remains of flowers lost	475.7	6.354936	49.54519	207	2017	6	22	173	35.500000	17.2000000	26.4000000	0.00	484.4
73	Berries groat-sized, bunches begin to hang	507.8	6.354936	49.54519	207	2017	6	25	176	24.400000	13.8000000	19.1000000	0.00	517.4
75	Berries pea-sized, bunches hang	608.7	6.354936	49.54519	207	2017	7	4	185	27.200000	12.6000000	19.9000000	0.00	609.1
77	Begin of berry touch	664	6.354936	49.54519	207	2017	7	9	190	29.300000	17.3000000	23.3000000	0.80	664.1
79	Berry touch complete	755.1	6.354936	49.54519	207	2017	7	18	199	31.300000	16.8000000	24.1000000	0.00	758
81	Beginning of ripening: berries begin to brighten in color	1026.8	6.354936	49.54519	207	2017	8	13	225	24.000000	12.2000000	18.1000000	0.20	1029.6
83	Berries brightening in color	1060.6	6.354936	49.54519	207	2017	8	16	228	25.100000	15.8000000	20.5000000	0.10	1062.6
85	Softening of berries	1111.5	6.354936	49.54519	207	2017	8	22	234	25.500000	14.3000000	19.9000000	0.00	1119.3
89	Berries ripe for harvest	1374.5	6.354936	49.54519	207	2017	9	25	268	20.800000	7.9000000	14.4000000	0.10	1376.5

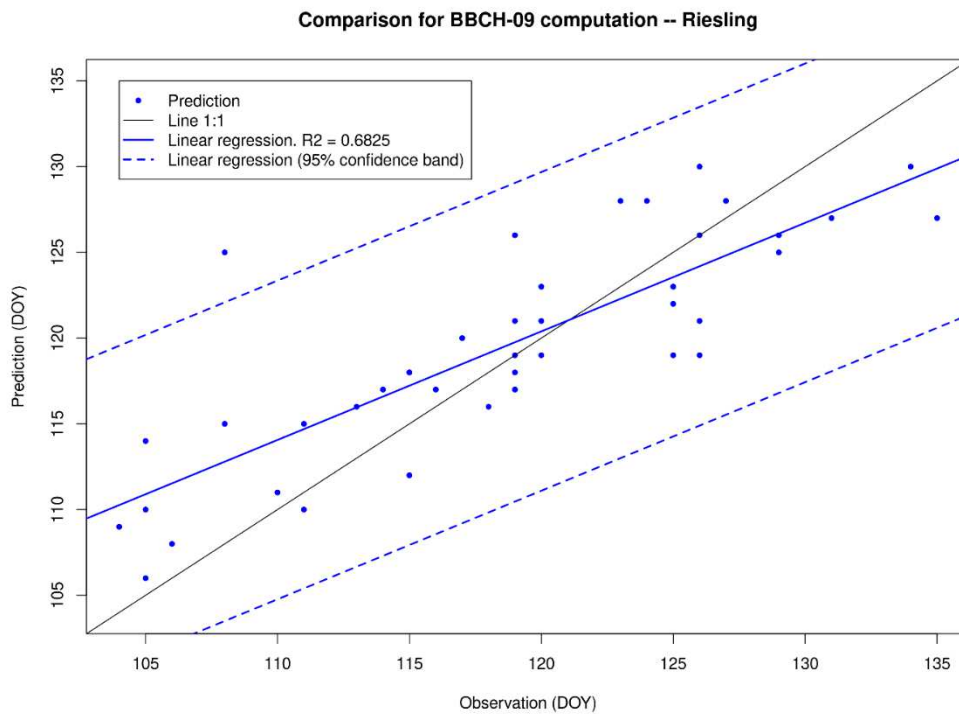


Abb. 14: Comparison prediction BBCH 09 by single triangle algorithm versus observations in Remich.

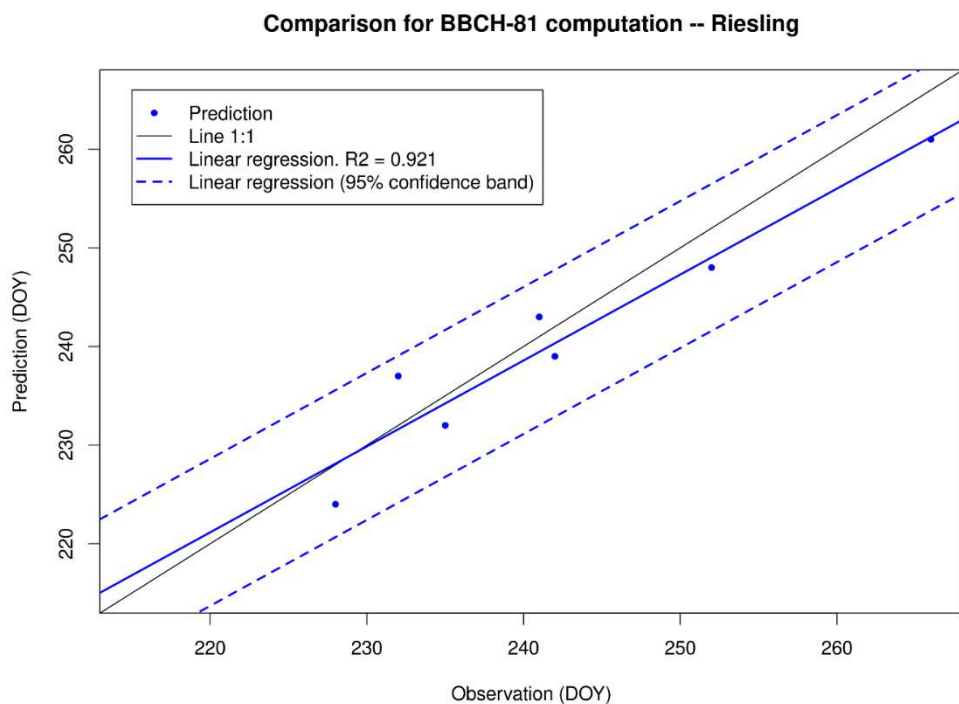


Abb. 15: Comparison prediction BBCH 81 by single triangle algorithm versus observations in Remich. The unit for x and y axes is DOY.

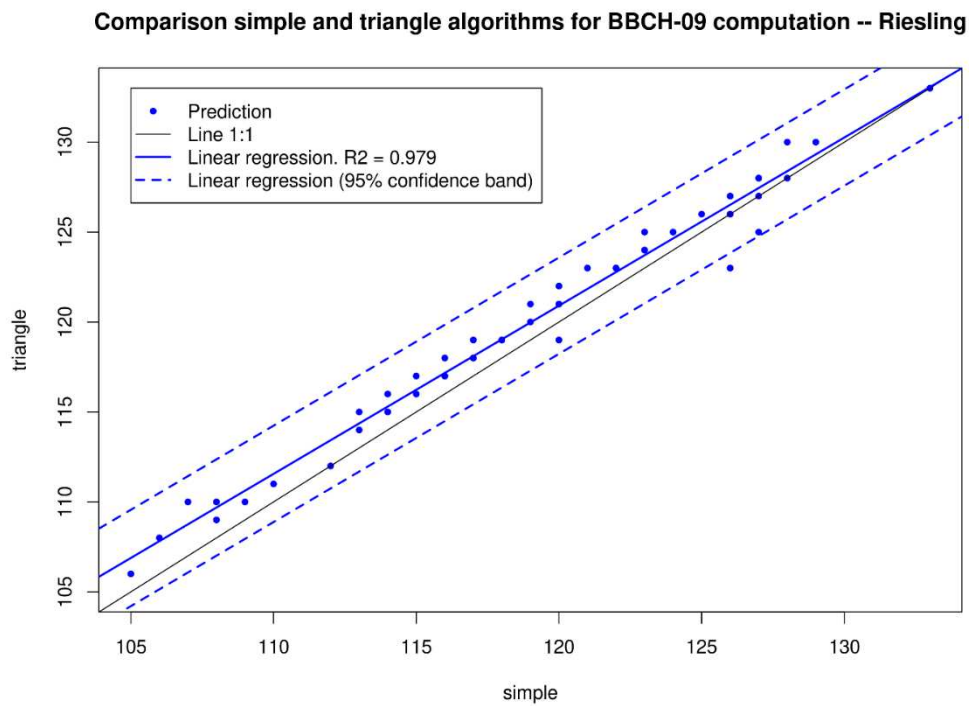


Abb. 16: Comparison prediction BBCH 09 by single triangle algorithm versus simple algorithm for Remich dataset. The unit for x and y axes is DOY.

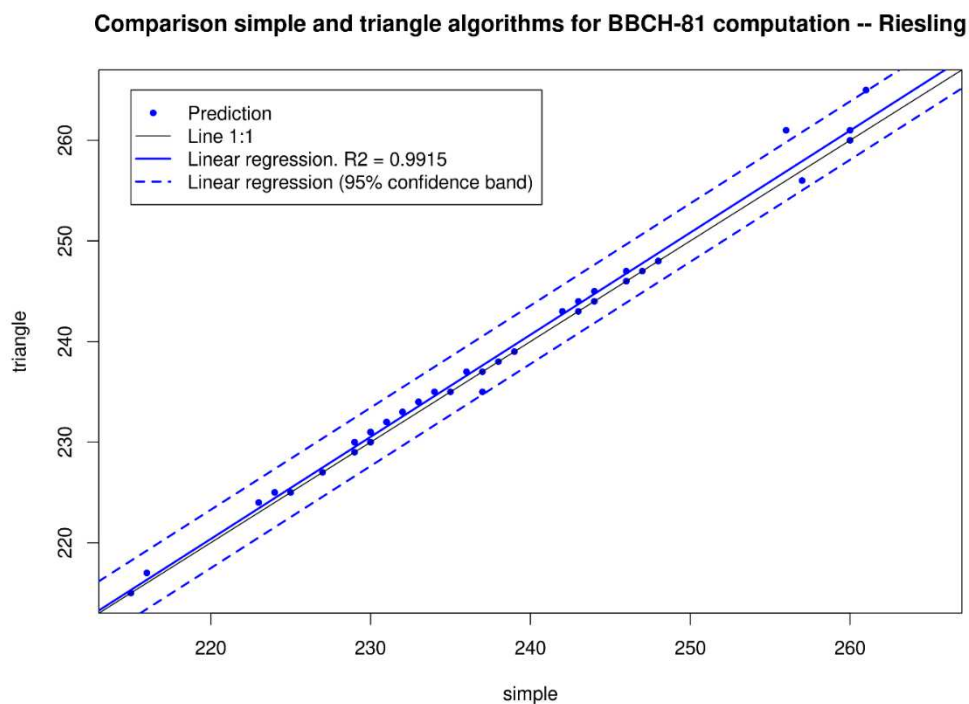


Abb. 17: Comparison prediction BBCH 81 by single triangle algorithm versus simple algorithm for Remich dataset. The unit for x and y axes is DOY.

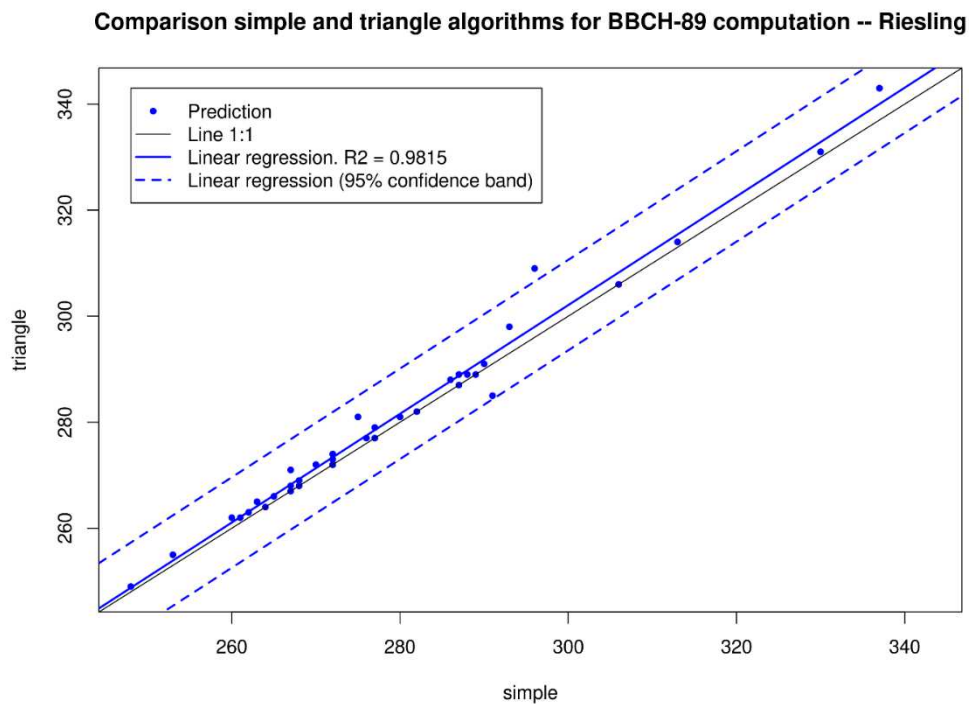


Abb. 18: Comparison prediction BBCH 89 by single triangle algorithm versus simple algorithm for Remich dataset. The unit for x and y axes is DOY.

3.1.3.2 Phenological stages prediction for Rivaner

Similarly, to the phenological stages prediction for Riesling, the same workflow is followed for the cultivar Rivaner. The Tab. 23 shows the initial global parameters defined for phenology prediction for Riesling, and Tab. 24 presents the mean summary statistics computed. This summary is computed for illustration purposes because the original output is a daily time series per year (from 1970 to 2017).

Tab. 23: Initial global parameters for phenology prediction. Cultivar: Rivaner.

Cultivar	Threshold_a	Threshold_b	Threshold_c	chs.mean	start.month	start.day
Rivaner	5	20	22	438.7	3	2

Tab. 24: Summary statistics (mean) of phenology prediction: Rivaner. . x = longitude; y = latitude; z = elevation; T.max = Maximum temperature in Celsius degrees; T.min = Minimum temperature in Celsius degrees; T.mean = Mean temperature in Celsius degrees; Rainfall = Rainfall depth in mm; cdd.st = cumulative degree day (CDD) by single triangle for bud break; cdd.luht = CDD by lower, upper and heat thresholds for vine growth; cdd.phen.luht = CDD by the lower, upper and heat temperature thresholds for phenology.

Year	x	y	z	T.max	T.min	T.mean	Rainfall	cdd.st	cdd.luht	cdd.phen.luht
1970	6.354936	49.54519	207	14.78852	6.880656	10.83779	2.226885	1737.525	878.8814	1166.046
1971	6.354936	49.54519	207	16.27869	6.490164	11.37582	1.382295	1876.953	966.7039	1235.578
1972	6.354936	49.54519	207	14.60295	6.194754	10.40066	2.353115	1734.311	847.7292	1021.344
1973	6.354936	49.54519	207	15.68436	6.756590	11.21736	1.760984	1843.517	921.1160	1213.750
1974	6.354936	49.54519	207	15.07016	7.099672	11.05779	2.588033	1800.933	947.5149	1045.791
1975	6.354936	49.54519	207	15.21639	6.947541	11.39795	1.683115	1832.774	970.8671	1206.803
1976	6.354936	49.54519	207	16.33689	6.938688	11.63689	1.466361	1930.760	997.6863	1279.329
1977	6.354936	49.54519	207	15.08525	7.427869	11.26033	2.000656	1814.839	934.7475	1140.990
1978	6.354936	49.54519	207	14.24279	6.318361	10.26934	1.989836	1688.533	826.6879	1023.528
1979	6.354936	49.54519	207	15.10164	7.406557	11.20410	2.480328	1802.202	885.5092	1154.791
1980	6.354936	49.54519	207	14.46066	6.569180	10.51492	2.610820	1691.252	797.1617	1047.968
1981	6.354936	49.54519	207	15.09902	7.156721	11.12787	2.673443	1895.688	975.9682	1095.308
1982	6.354936	49.54519	207	16.40000	7.525246	11.96262	2.305574	1914.280	989.3871	1275.544
1983	6.354936	49.54519	207	16.10361	6.882131	11.49287	2.275738	1876.939	957.6545	1172.382
1984	6.354936	49.54519	207	14.61295	6.605246	10.60910	2.040656	1679.567	801.2938	1035.848
1985	6.354936	49.54519	207	14.80328	6.413738	10.60851	1.797049	1783.210	916.8061	1168.362
1986	6.354936	49.54519	207	15.57148	6.811475	11.19148	2.092131	1813.381	904.7132	1171.728
1987	6.354936	49.54519	207	14.61967	6.520984	10.57033	2.348853	1734.557	889.8326	1069.268
1988	6.354936	49.54519	207	15.65311	7.410164	11.53164	2.103934	1903.294	1009.0469	1234.258
1989	6.354936	49.54519	207	16.77541	7.470492	12.12295	2.042951	1997.594	1044.6051	1255.105
1990	6.354936	49.54519	207	15.95902	7.217705	11.58836	2.079344	1916.391	1028.5119	1209.263
1991	6.354936	49.54519	207	16.11770	6.952131	11.53492	1.214754	1910.478	971.1995	1117.416
1992	6.354936	49.54519	207	16.40426	7.577049	11.99066	2.037705	1967.174	1021.1098	1273.898
1993	6.354936	49.54519	207	15.72328	7.025902	11.36164	2.105902	1933.563	1049.8558	1241.266
1994	6.354936	49.54519	207	16.86492	8.381639	12.62328	1.978689	2007.653	1032.0941	1264.537
1995	6.354936	49.54519	207	16.10852	7.489836	11.79918	1.845574	1921.243	1011.4312	1234.437
1996	6.354936	49.54519	207	15.09082	6.170164	10.61885	1.469508	1776.904	907.9228	1126.751
1997	6.354936	49.54519	207	16.80066	7.462951	12.13180	2.113115	1970.433	1039.9211	1260.049
1998	6.354936	49.54519	207	15.42852	7.549180	11.48885	2.365574	1937.695	1050.3552	1237.186
1999	6.354936	49.54519	207	16.68197	7.983934	12.33295	2.105902	2029.450	1150.2827	1317.070
2000	6.354936	49.54519	207	16.77148	8.569541	12.67477	2.815082	2027.477	1105.5310	1337.828
2001	6.354936	49.54519	207	16.28138	7.903607	12.09249	2.717377	2007.600	1077.6349	1303.019
2002	6.354936	49.54519	207	16.90689	8.163934	12.53541	2.119639	2014.849	1130.9592	1285.999
2003	6.354936	49.54519	207	19.44459	8.088852	13.76672	1.689836	2298.298	1228.9796	1459.763
2004	6.354936	49.54519	207	17.15180	7.538131	12.34497	1.725574	2038.546	1110.6331	1307.932
2005	6.354936	49.54519	207	17.83705	8.089836	12.96344	1.453771	2136.887	1142.2456	1346.244
2006	6.354936	49.54519	207	18.32492	8.814426	13.56967	2.120000	2130.432	1113.9174	1394.678
2007	6.354936	49.54519	207	17.48754	7.823934	12.65574	2.264262	2173.867	1286.7364	1399.569
2008	6.354936	49.54519	207	16.51016	7.758688	12.13443	2.046885	2015.096	1126.5169	1357.679
2009	6.354936	49.54519	207	17.68551	8.175612	12.93056	2.129180	2099.460	1110.1662	1340.922
2010	6.354936	49.54519	207	16.48000	6.927541	11.70377	1.919344	1988.743	1048.4203	1262.201
2011	6.354936	49.54519	207	18.05049	7.623049	12.83989	1.485246	2115.107	1172.9803	1349.835
2012	6.354936	49.54519	207	16.72659	7.213180	11.96989	2.006229	1958.456	1034.5234	1246.020
2013	6.354936	49.54519	207	15.97311	7.005574	11.48934	2.432459	1818.386	928.1974	1162.202
2014	6.354936	49.54519	207	18.10656	8.180984	13.14377	1.919016	2140.939	1174.7696	1349.658
2015	6.354936	49.54519	207	18.47967	7.952459	13.21607	1.501967	2073.048	1055.4877	1298.234
2016	6.354936	49.54519	207	17.20590	7.283934	12.25066	1.942295	1989.639	1060.6296	1327.560
2017	6.354936	49.54519	207	16.70607	7.432066	12.08567	1.588197	2101.006	1119.2935	1292.285

For each one of the years from 1970 to 2017 the phenological stages for Rivaner are predicted. As an illustration the Tab. 25 presents the phenological stages predicted for Riesling for 1970 accordingly to the algorithm defined in Section 2.1.2.7. The Tab. 26 presents similar output for 2017. The comparison between prediction versus observations is done by using the function described in Section and Section 2.1.2.8, and illustrated for BBCh-09 (Abb. 19), for BBCH-81 (Abb. 20). Comparison between the single triangle algorithm versus simple algorithm in the phenological stages prediction is illustrated for BBCH-09 (Abb. 21) BBCH-81 (Abb. 22) and BBCH-89 (Abb. 23).

Tab. 25: Phenological stages predicted for Rivaner, 1970. CDD_MuellerThurgau = CDD reference value for Müller-Thurgau (Rivaner); x = longitude; y = latitude; z = elevation; T.max = Maximum temperature in Celsius degrees; T.min = Minimum temperature in Celsius degrees; T.mean = Mean temperature in Celsius degrees; Rainfall = Rainfall depth in mm; cdd.luht = CDD by lower, upper and heat thresholds for vine growth at the specific phenological stage.

BBCH stage	Description	CDD MuellerThurgau	x	y	z	Year	Month	Day	DayYear	T.max	T.min	T.mean	Rainfall	cdd_luht
9	Budburst: green shoot tips clearly visible	NA	6.354936	49.54519	207	1970	5	10	130	16.500000	13.000000	14.750000	10.20	0
11	First leaf unfolded and spread away from shoot	34.9	6.354936	49.54519	207	1970	5	16	136	17.300000	7.000000	12.150000	14.50	40.9
12	Two leaves unfolded	58.6	6.354936	49.54519	207	1970	5	18	138	20.200000	10.800000	15.500000	0.00	60.35
13	Three leaves unfolded	80.8	6.354936	49.54519	207	1970	5	21	141	13.600000	8.500000	11.050000	3.00	85.35
14	Four leaves unfolded	110.2	6.354936	49.54519	207	1970	5	26	146	19.000000	12.600000	15.800000	0.00	120.6
15	Five leaves unfolded	144.4	6.354936	49.54519	207	1970	5	29	149	20.800000	7.800000	14.300000	17.80	146
16	Six leaves unfolded	173.6	6.354936	49.54519	207	1970	6	1	152	20.500000	9.900000	15.200000	0.00	174.1
17	Seven leaves unfolded	213.5	6.354936	49.54519	207	1970	6	6	157	24.600000	10.700000	17.650000	0.00	225.35
18	Eight leaves unfolded	248.8	6.354936	49.54519	207	1970	6	8	159	27.600000	13.500000	20.550000	1.80	255.35
19	Nine leaves unfolded	285.2	6.354936	49.54519	207	1970	6	11	162	25.000000	14.200000	19.600000	1.00	298.55
53	Inflorescences clearly visible	178.1	6.354936	49.54519	207	1970	6	2	153	18.500000	10.400000	14.450000	0.00	183.55
55	Inflorescences swelling, flowers closely pressed together	253.2	6.354936	49.54519	207	1970	6	8	159	27.600000	13.500000	20.550000	1.80	255.35
57	Inflorescences fully developed; flowers separating	375.5	6.354936	49.54519	207	1970	6	17	168	25.000000	13.500000	19.250000	0.00	378.65
61	Beginning of flowering: 10% flowerhoods fallen	463.3	6.354936	49.54519	207	1970	6	23	174	26.800000	15.500000	21.150000	0.10	466.3
63	Early flowering: 30% flowerhoods fallen	494.5	6.354936	49.54519	207	1970	6	26	177	17.200000	13.300000	15.250000	0.00	503.55
65	Full flowering: 50% flowerhoods fallen	517.5	6.354936	49.54519	207	1970	6	27	178	28.500000	15.100000	21.800000	5.80	518.55
68	80% flowerhoods fallen	548.4	6.354936	49.54519	207	1970	7	1	182	17.500000	10.900000	14.200000	1.60	551.5
69	End of flowering	569.6	6.354936	49.54519	207	1970	7	4	185	17.200000	10.500000	13.850000	0.60	576.65
71	Fruit set: young fruits begin to swell, remains of flowers lost	603.5	6.354936	49.54519	207	1970	7	7	188	28.100000	12.900000	20.500000	0.00	617.7
73	Berries goat-sized, bunches begin to hang	659	6.354936	49.54519	207	1970	7	11	192	21.700000	10.900000	16.300000	0.20	668.15
75	Berries pea-sized, bunches hang	774.9	6.354936	49.54519	207	1970	7	22	203	20.600000	8.800000	14.700000	0.00	776.45
77	Begin of berry touch	870	6.354936	49.54519	207	1970	7	30	211	24.100000	11.400000	17.750000	0.00	876.95
79	Berry touch complete	999.4	6.354936	49.54519	207	1970	8	8	220	21.000000	13.500000	17.250000	3.50	1009
81	Beginning of ripening: berries begin to brighten in color	1160.2	6.354936	49.54519	207	1970	8	22	234	18.300000	7.500000	12.900000	0.00	1163.3
83	Berries brightening in color	1219.4	6.354936	49.54519	207	1970	8	27	239	25.200000	12.200000	18.700000	0.00	1224.2
85	Softening of berries	1287.8	6.354936	49.54519	207	1970	9	1	244	19.700000	14.600000	17.150000	0.70	1291.9
89	Berries ripe for harvest	1719.8	6.354936	49.54519	207	1970	10	23	296	9.100000	5.400000	7.250000	0.00	1720.85

Tab. 26: Phenological stages predicted for Rivaner, 2017. CDD_MuellerThurgau = CDD reference value for Müller-Thurgau (Rivaner); x = longitude; y = latitude; z = elevation; T.max = Maximum temperature in Celsius degrees; T.min = Minimum temperature in Celsius degrees; T.mean = Mean temperature in Celsius degrees; Rainfall = Rainfall depth in mm; cdd.luht = CDD by lower, upper and heat thresholds for vine growth at the specific phenological stage.

BBCH stage	Description	CDD MuellerThurgau	x	y	z	Year	Month	Day	DayYear	T.max	T.min	T.mean	Rainfall	cdd_luht
9	Budburst: green shoot tips clearly visible	NA	6.354936	49.54519	207	2017	4	16	106	11.000000	6.400000	8.700000	0.40	0
11	First leaf unfolded and spread away from shoot	34.9	6.354936	49.54519	207	2017	5	1	121	15.200000	4.800000	10.000000	0.90	38.6
12	Two leaves unfolded	58.6	6.354936	49.54519	207	2017	5	4	124	17.000000	6.900000	12.000000	0.00	60.3
13	Three leaves unfolded	80.8	6.354936	49.54519	207	2017	5	7	127	16.500000	10.600000	13.600000	0.10	85.1
14	Four leaves unfolded	110.2	6.354936	49.54519	207	2017	5	11	131	22.400000	10.800000	16.600000	0.30	112.8
15	Five leaves unfolded	144.4	6.354936	49.54519	207	2017	5	14	134	21.600000	9.500000	15.600000	0.00	146.9
16	Six leaves unfolded	173.6	6.354936	49.54519	207	2017	5	17	137	29.100000	12.200000	20.700000	0.00	185.2
17	Seven leaves unfolded	213.5	6.354936	49.54519	207	2017	5	20	140	17.300000	7.200000	12.300000	0.00	214.1
18	Eight leaves unfolded	248.8	6.354936	49.54519	207	2017	5	24	144	23.900000	11.400000	17.700000	0.00	260.6
19	Nine leaves unfolded	285.2	6.354936	49.54519	207	2017	5	26	146	27.900000	12.500000	20.200000	0.00	289
53	Inflorescences clearly visible	178.1	6.354936	49.54519	207	2017	5	17	137	29.100000	12.200000	20.700000	0.00	185.2
55	Inflorescences swelling, flowers closely pressed together	253.2	6.354936	49.54519	207	2017	5	24	144	23.900000	11.400000	17.700000	0.00	260.6
57	Inflorescences fully developed; flowers separating	375.5	6.354936	49.54519	207	2017	6	1	152	28.400000	13.100000	20.800000	0.00	377.1
61	Beginning of flowering: 10% flowerhoods fallen	463.3	6.354936	49.54519	207	2017	6	9	160	21.400000	10.900000	16.200000	6.30	467.8
63	Early flowering: 30% flowerhoods fallen	494.5	6.354936	49.54519	207	2017	6	11	162	29.600000	12.400000	21.000000	0.00	494.6
65	Full flowering: 50% flowerhoods fallen	517.5	6.354936	49.54519	207	2017	6	13	164	25.200000	8.300000	16.800000	0.00	518.8
68	80% flowerhoods fallen	548.4	6.354936	49.54519	207	2017	6	15	166	30.000000	13.900000	22.000000	0.00	548.8
69	End of flowering	569.6	6.354936	49.54519	207	2017	6	17	168	23.400000	9.400000	16.400000	0.00	572.7
71	Fruit set: young fruits begin to swell, remains of flowers lost	603.5	6.354936	49.54519	207	2017	6	20	171	33.700000	15.500000	24.600000	0.00	617.7
73	Berries goat-sized, bunches begin to hang	659	6.354936	49.54519	207	2017	6	23	174	24.700000	16.300000	20.500000	0.00	662.7
75	Berries pea-sized, bunches hang	774.9	6.354936	49.54519	207	2017	7	2	183	17.400000	13.800000	15.600000	0.20	779.5
77	Begin of berry touch	870	6.354936	49.54519	207	2017	7	9	190	29.300000	17.300000	23.300000	0.80	882.8
79	Berry touch complete	999.4	6.354936	49.54519	207	2017	7	18	199	31.300000	16.800000	24.100000	0.00	1002.9
81	Beginning of ripening: berries begin to brighten in color	1160.2	6.354936	49.54519	207	2017	7	30	211	25.600000	17.300000	21.500000	0.00	1167.3
83	Berries brightening in color	1219.4	6.354936	49.54519	207	2017	8	3	215	25.300000	18.400000	21.900000	0.00	1227.2
85	Softening of berries	1287.8	6.354936	49.54519	207	2017	8	8	220	20.000000	14.100000	17.100000	3.70	1291.8
89	Berries ripe for harvest	1719.8	6.354936	49.54519	207	2017	9	14	257	14.800000	9.100000	12.000000	11.50	1723.9

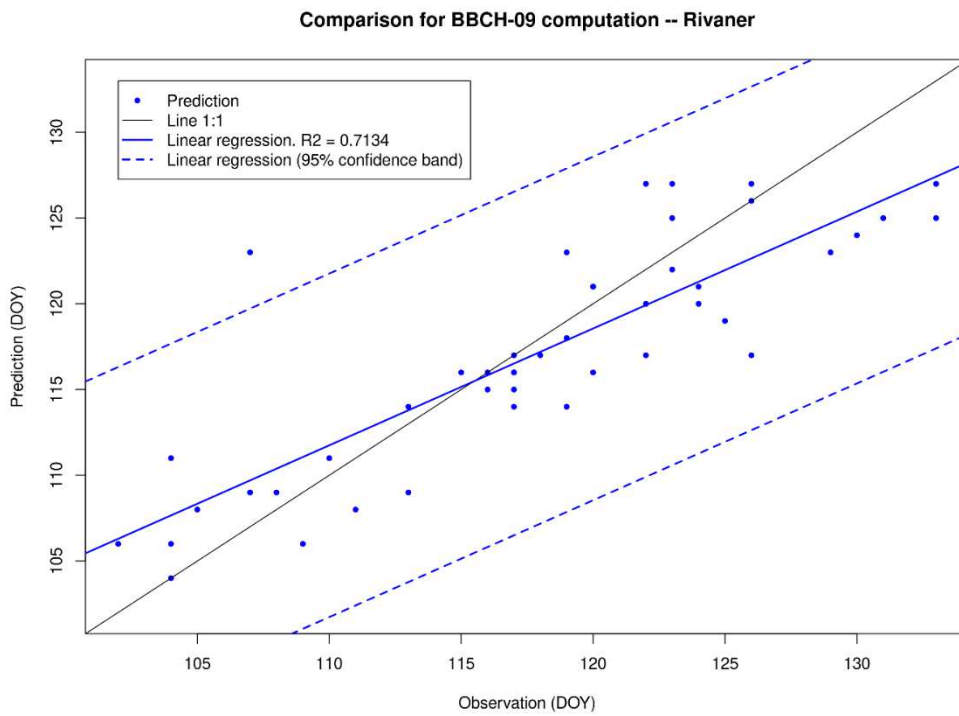


Abb. 19: Comparison prediction BBCH 09 by single triangle algorithm versus observations in Remich.

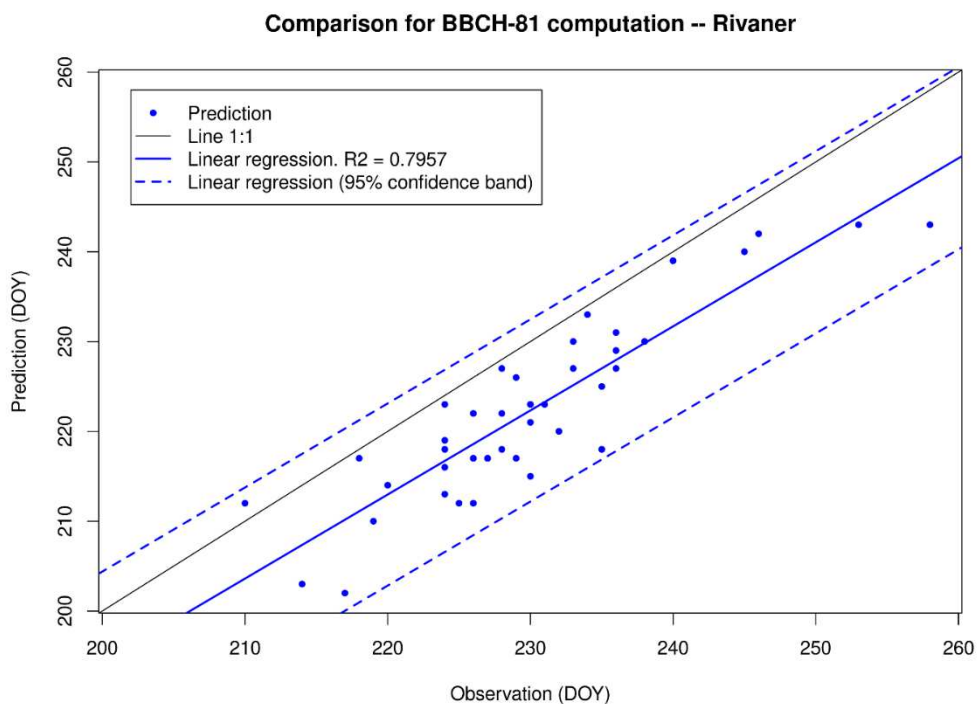


Abb. 20: Comparison prediction BBCH 81 by single triangle algorithm versus observations in Remich.

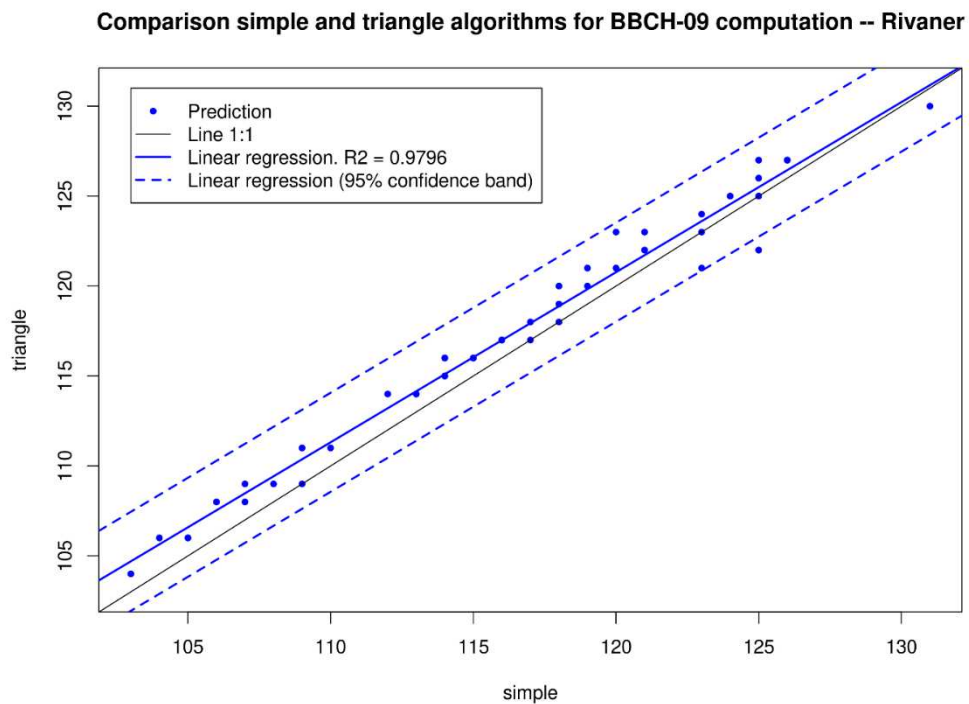


Abb. 21: Comparison prediction BBCH 09 by single triangle algorithm versus simple algorithm for Remich dataset. The unit for x and y axes is DOY.

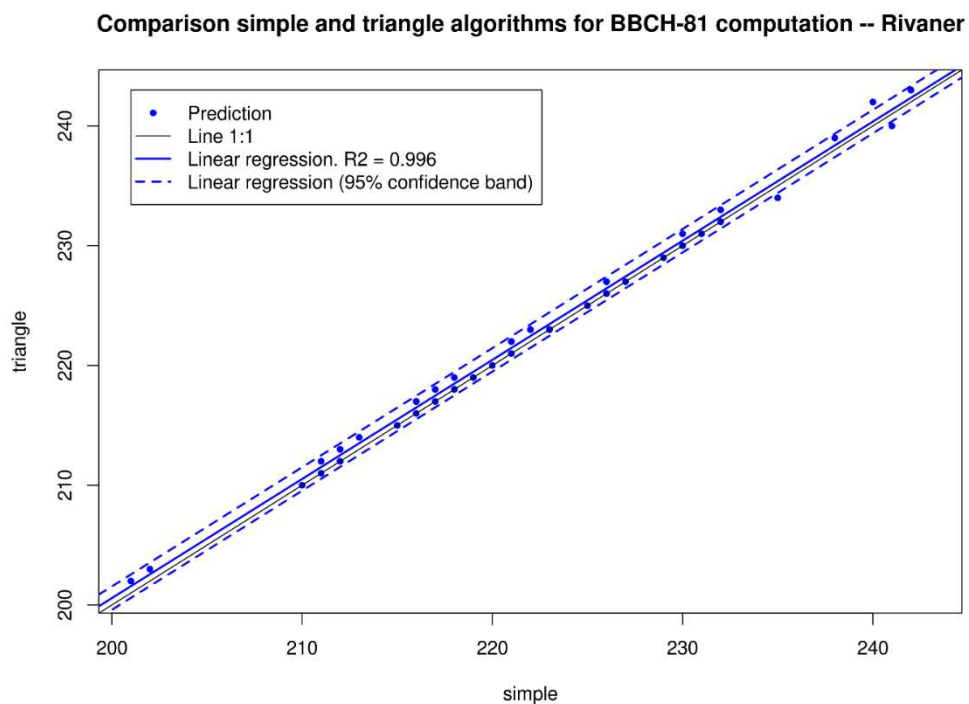


Abb. 22: Comparison prediction BBCH 81 by single triangle algorithm versus simple algorithm for Remich dataset. The unit for x and y axes is DOY.

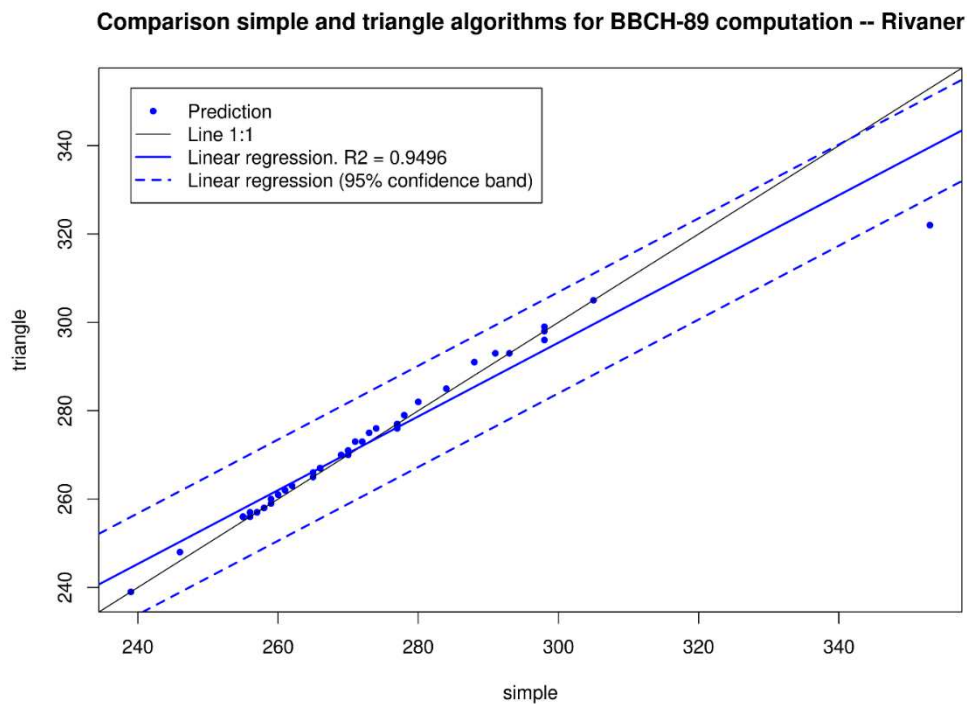


Abb. 23: Comparison prediction BBCH 89 by single triangle algorithm versus simple algorithm for Remich dataset. The unit for x and y axes is DOY.

3.1.3.3 Yield prediction for Riesling

The yield prediction is based on the model presented by Molitor and Keller (2016). The Tab. 27 presents the model coefficients for yield prediction for Riesling. A comparison of yield prediction by Molitor and Keller (2016) versus observed BBCH-68 for Riesling is presented in Abb. 24, where the observation of 1997 was excluded for be considered as an outlier. The actual Riesling yield predicted according to Molitor and Keller (2016) model is presented in Tab. 28, and a comparison with observation is illustrated in Abb. 25.

Tab. 27: Model coefficients by Molitor and Keller (2016). Cultivar: Riesling.

intercept	rain0	tmin1	tmin01	rain1	tmin02
34.609	-3.553	2.833	3.447	3.107	2.869

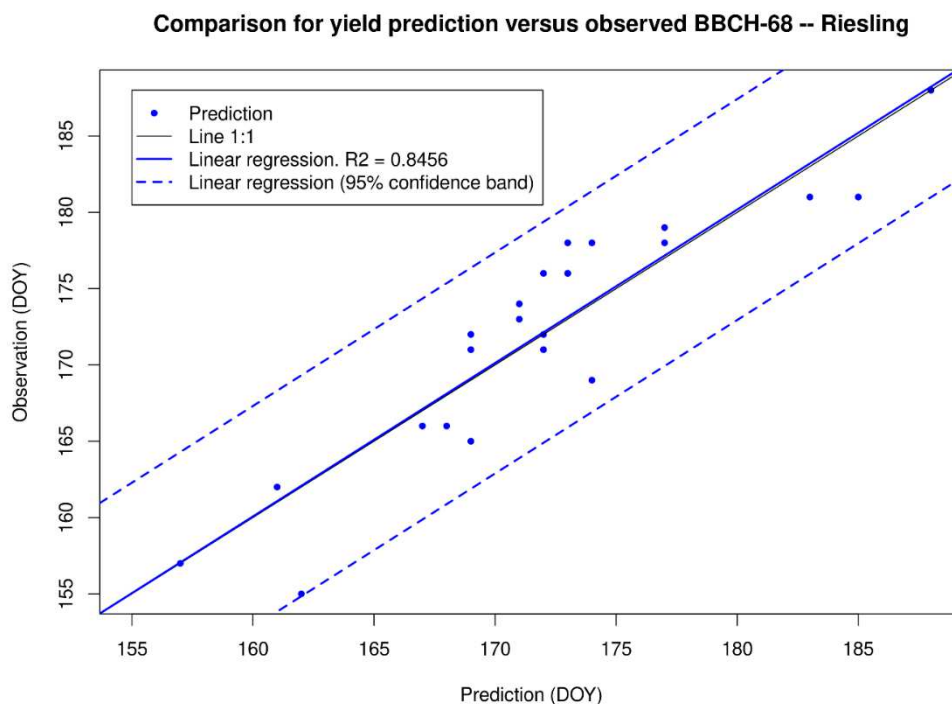


Abb. 24: Comparison yield prediction by Molitor and Keller (2016) versus observed BBCH-68 for Riesling. Remich dataset. Excluded observation of 1997.

Tab. 28: Yield predicted for Riesling. According to Molitor and Keller (2016).

year	yield	year	yield
		1994	84.4
1971	78.68	1995	82.21
1972	89.79	1996	73.67
1973	68.68	1997	78.64
1974	67.33	1998	96.97
1975	78.27	1999	104.18
1976	66.27	2000	95.58
1977	74.48	2001	80.62
1978	79.04	2002	95.39
1979	69.82	2003	86.59
1980	86.93	2004	90.47
1981	64.93	2005	77.99
1982	80.9	2006	81.15
1983	87.21	2007	112.28
1984	55.98	2008	86.61
1985	55.49	2009	91.87
1986	79.2	2010	68.67
1987	93.18	2011	92.21
1988	58.28	2012	76.69
1989	86.64	2013	57.91

1990	82.62	2014	93.17
1991	75.62	2015	73.48
1992	82.96	2016	54.06
1993	100.28	2017	71.67

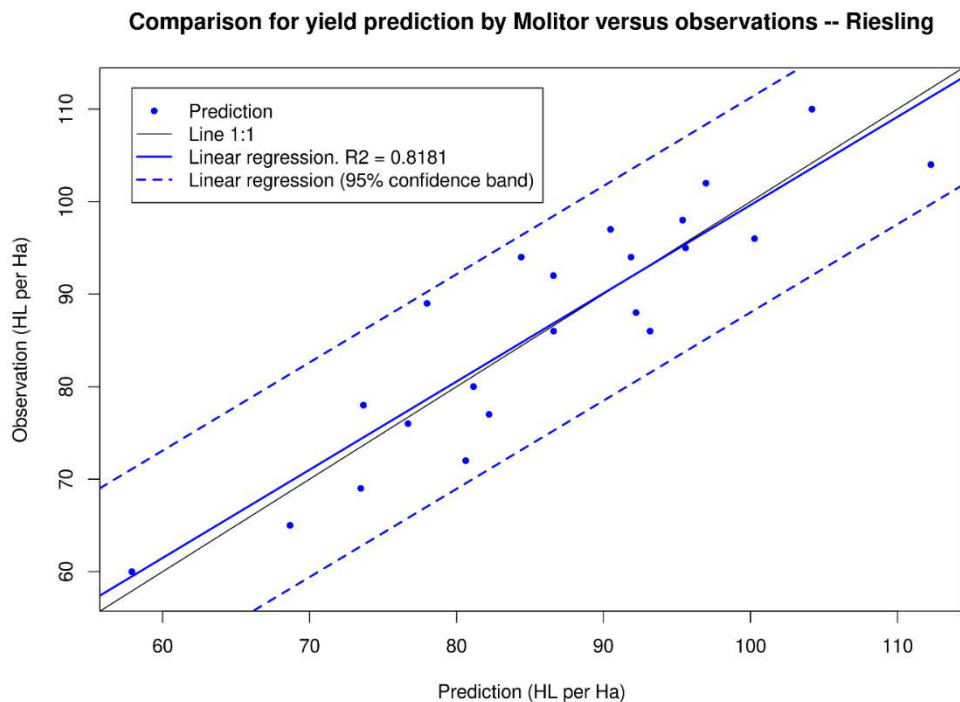


Abb. 25: Comparison yield prediction by Molitor and Keller (2016) versus observations for Riesling. Remich dataset.

3.1.3.4 Yield prediction for Rivaner

Similarly, to Riesling yield prediction, the yield prediction for Rivaner is also based on the model presented by Molitor and Keller (2016). The Tab. 29 presents the model coefficients for yield prediction for Riesling. A comparison of yield prediction by Molitor and Keller (2016) versus observed BBCH-68 for Riesling is presented in Abb. 26, where the observation of 1997 was excluded for be considered as an outlier. The actual Rivaner yield predicted according to Molitor and Keller (2016) model is presented in Tab. 30, and a comparison with observations is illustrated in Abb. 27.

Tab. 29: Model coefficients by Molitor and Keller (2016). Cultivar: Rivaner.

intercept	tmin1	tmean1	tmax1	tmean0	rain01	rain02	tmin0
-45.07	8.981	-2.603	1.428	5.487	-2.48	-1.913	2.132

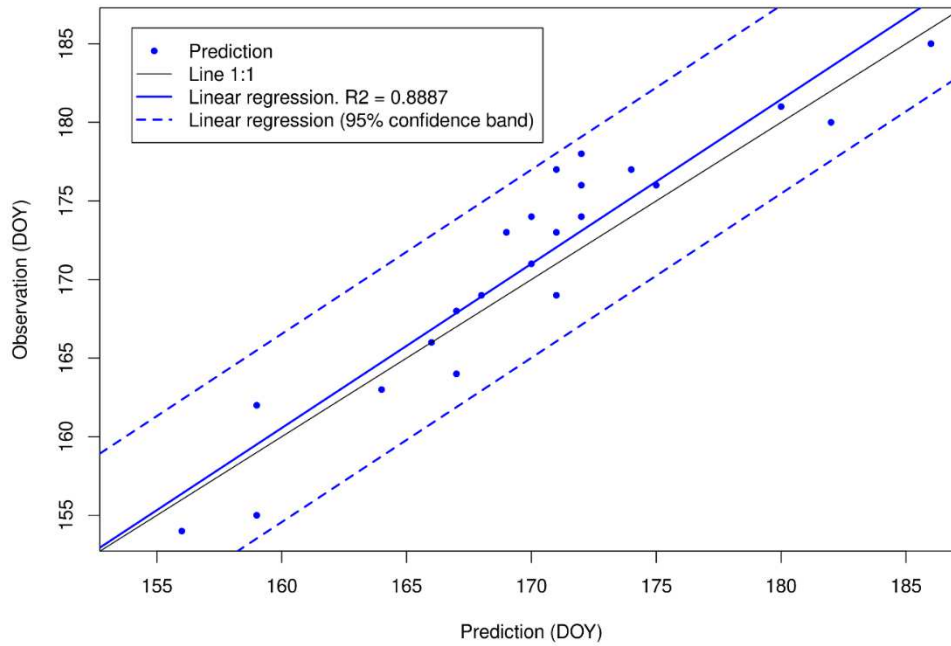


Abb. 26: Comparison yield prediction by Molitor and Keller (2016) versus observed BBCH-68 for Rivaner. Remich dataset. Excluded observation of 1997.

Tab. 30: Yield predicted for Rivaner. According to Molitor and Keller (2016).

year	yield	year	yield
		1994	138.08
1971	127.81	1995	132.2
1972	126.03	1996	121.26
1973	120.88	1997	110.65
1974	120.45	1998	127.07
1975	123.83	1999	139.23
1976	116.5	2000	108.65
1977	122.84	2001	113.3
1978	124.07	2002	123.56
1979	116.33	2003	123.68
1980	149.08	2004	139.24
1981	89.41	2005	110.76
1982	104.79	2006	116
1983	93.86	2007	124.26
1984	119.65	2008	114.6
1985	123.01	2009	132.96
1986	113.26	2010	113.03
1987	137.31	2011	130.67
1988	137.1	2012	80.95
1989	117.44	2013	91.84

1990	120.45	2014	119.28
1991	119.88	2015	112.93
1992	120.74	2016	117.69
1993	140.02	2017	105.94

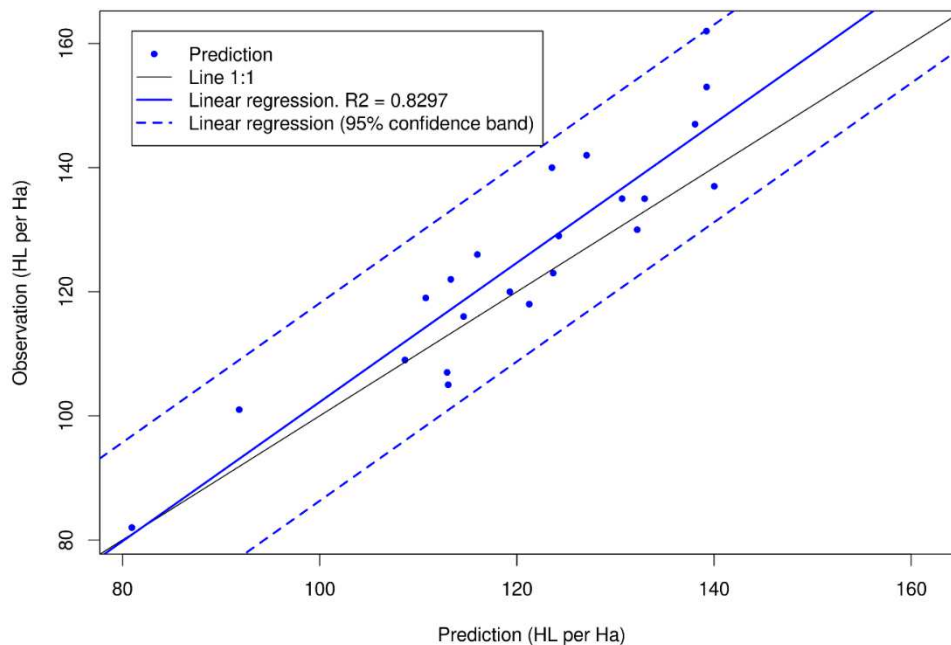


Abb. 27: Comparison yield prediction by Molitor and Keller (2016) versus observations for Rivaner. Remich dataset. Excluded observation of 1997.

3.1.4 Status model implementation

Currently the algorithms (function in R) that define the phenological models are implemented in the R-package *vineyard*. The algorithms for the yield models are implemented as well in R as scripts, for example for the computation of the summary statistics by the window pane analysis. To integrate the yield prediction algorithms into the R-package is still needed. The Botytris model will be built by using the phenology and yield algorithms, tasks that will be developed in the coming months.

After the algorithms have been implemented into R the different functions will be made available as Web Processing Services in the iGuess® based Web Platform for VinoManAOP, described in the methods section 2.1.4. The web platform will provide tools for non-expert users to integrate input data, such as meteorological and vine information and their location, to run the prediction models, analysis and visualise the results as interactive maps and time series

charts. For details on the web platform design, architecture, the underlying software technologies and the user interface components please refer to subsection 2.1.4 in chapter 2. Material und Methoden. The web platform will be set up over the coming months.

3.2 Differenzierung der Weinstile

3.2.1 Freiland-Untersuchungen

Detaillierte Ergebnisse der Freiland-Untersuchungen, sowie zum Versuchswinausbau im Jahrgang 2019 sind der angehangenen Bachelor Thesis von Christopher Simon zu entnehmen. Die wichtigsten Ergebnisse beider Versuchsjahre werden im Folgenden dargestellt.

3.2.1.1 Jahrgang 2019

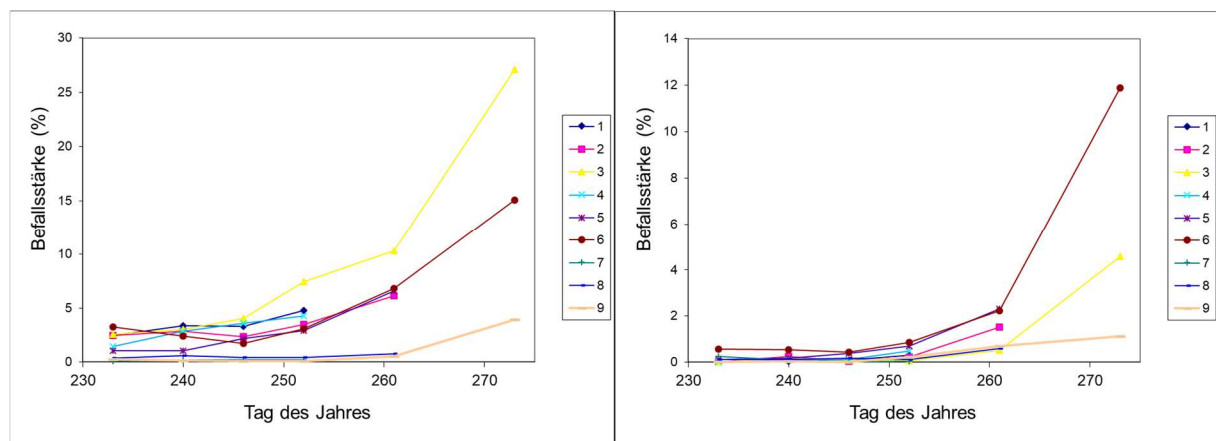


Abb. 28: Entwicklung der *Botrytis cinerea*-Befallsstärken in den Rebsorten Pinot gris (links) und Chardonnay (rechts) im Versuchsjahr 2019.

Bei beiden Rebsorten zeigte sich in allen Versuchsgliedern eine Zunahme des Fäulnisbefalls mit fortschreitendem Jahresverlauf. Das Traubenhalbieren reduzierte den Fäulnisbefall in beiden Sorten deutlich. Während beim Pinot gris der Anschnitt auf zwei Bogen die höchsten Befallsstärken aufwies, war dies beim Chardonnay beim Anschnitt auf einen Bogen der Fall (Abb. 28).

Tab. 31: Stockerträge, Mostgewichte und Gesamtsäuregehalte im Jahr 2019 bei der Rebsorte Pinot gris.

Versuchsglied	Ertrag (kg/Rebe)	Mostgewicht (°Oe)	Gesamtsäure (g/l)
1	1,7	74,7	12,9
2	1,4	85,6	10,5
3	1,5	88,9	9,4
4	0,7	75,4	13,3
5	0,9	88,9	10,2
6	1,0	90,1	9,0
7	0,6	79,3	11,6
8	0,5	88,2	10,6
9	0,6	91,3	8,5

Die Erträge bewegten sich bei beiden Sorten im Jahrgang 2019 bedingt durch die Spätfrostschäden auf einem niedrigen Niveau. Wie zu erwarten, erzielten die Varianten mit zwei Bögen im Pinot gris die höchsten Erträge, während bei den Varianten mit einem Bogen und Traubenteilen die niedrigsten Ernteerträge ermittelt wurden. Der Erntetermin zeigte keine deutlichen Effekte auf die Erträge. Bei den Mostgewichten deutet sich eine leichte Erhöhung durch den reduzierten Anschnitt und das Traubenhalbieren an. Mit späterem Lesetermin steigen die Mostgewichte in allen Varianten an und die Gesamtsäuregehalte sinken (Tab. 31).

Tab. 32: Stockerträge, Mostgewichte und Gesamtsäuregehalte im Jahr 2019 bei der Rebsorte Chardonnay.

Versuchsglied	Ertrag (kg/Rebe)	Mostgewicht (°Oe)	Gesamtsäure (g/l)
1	0,5	81,1	12,3
2	0,5	88,7	10,2
3	0,6	90,0	8,8
4	0,3	81,8	11,7
5	0,6	89,9	10,0
6	0,5	90,5	9,8
7	0,3	80,6	13,9
8	0,4	89,7	10,9
9	0,7	90,6	9,8

Bei Chardonnay bewegten sich die Ernteerträge in allen Varianten auf vergleichbarem Niveau. Mit späterem Lesetermin steigen die Mostgewichte in allen Varianten an und die Gesamtsäuregehalte sinken (Tab. 32).

3.2.1.2 Jahrgang 2020

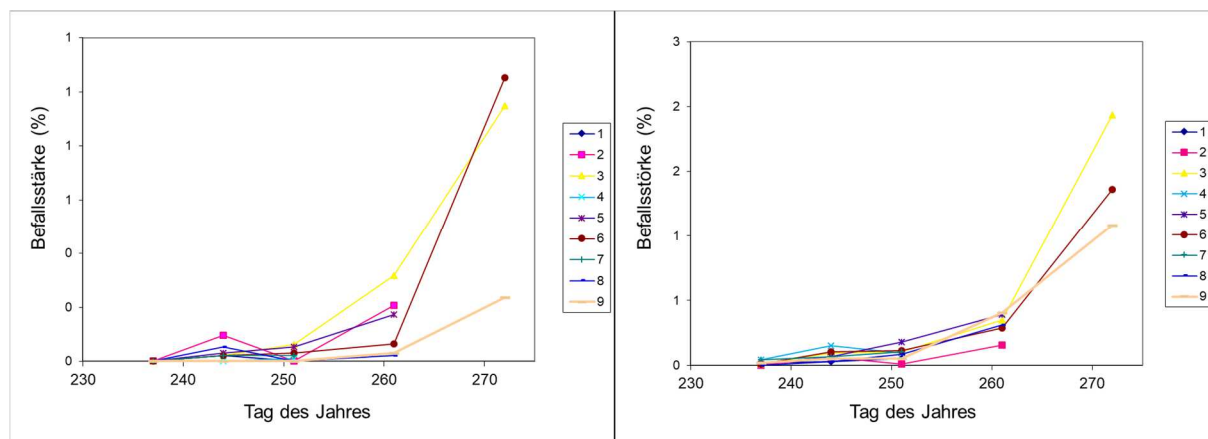


Abb. 29: Entwicklung der *Botrytis cinerea* Befallsstärken in den Rebsorten Pinot gris (links) und Chardonnay (rechts) im Versuchsjahr 2020.

Bei beiden Rebsorten zeigte sich im Jahresverlauf eine Zunahme des Fäulnisbefalls in allen Versuchsgliedern, aber auf einem generell sehr niedrigem Befallsniveau. Das Traubenhalfieren reduzierte den Fäulnisbefall beim Pinot gris deutlich, beim Chardonnay nur leicht. Zwischen den Varianten mit einem und zwei Bogen zeigten sich nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Befallsstärken (Abb. 29).

Tab. 33: Stockerträge, Mostgewichte und Gesamtsäuregehalte im Jahr 2020 bei der Rebsorte Pinot gris.

Versuchsglied	Ertrag (kg/Rebe)	Mostgewicht (°Oe)	Gesamtsäure (g/l)
1	4,6	79,8	10,0
2	4,9	87,4	8,8
3	5,4	94,5	7,1
4	2,4	86,2	10,3
5	2,7	96,0	8,3
6	2,7	98,6	7,0
7	1,6	87,3	10,1
8	1,9	99,0	9,0
9	1,7	102,7	6,8

Die Erträge bewegten sich bei beiden Sorten im Jahrgang 2020 auf einem hohen Niveau. Wie zu erwarten, erzielten die Varianten mit zwei Bögen im Pinot gris die höchsten Erträge, während bei den Varianten mit einem Bogen und Traubenteilen die niedrigsten Ernteerträge ermittelt wurden. Der Erntetermin zeigte keine deutlichen Effekte auf die Erträge. Bei den

Mostgewichten zeigte sich eine Erhöhung durch den reduzierten Anschnitt und das Traubenhalbieren. Mit späterem Lesetermin steigen die Mostgewichte in allen Varianten an und die Gesamtsäuregehalte sinken (Tab. 33).

Tab. 34: Stockerträge, Mostgewichte und Gesamtsäuregehalte im Jahr 2020 bei der Rebsorte Chardonnay.

Versuchsglied	Ertrag (kg/Rebe)	Mostgewicht (°Oe)	Gesamtsäure (g/l)
1	3,0	71,6	12,3
2	3,4	80,7	11,3
3	3,5	89,6	8,7
4	1,9	77,1	12,9
5	2,3	87,2	10,5
6	2,2	95,4	8,2
7	1,5	87,1	12,6
8	1,3	97,3	10,6
9	1,2	102,3	8,2

Bei der Rebsorte Chardonnay erzielten die Varianten mit zwei Bögen die höchsten Erträge, während bei den Varianten mit einem Bogen und Traubenteilen die niedrigsten Ernteerträge ermittelt wurden. Der Erntetermin zeigte keine deutlichen Effekte auf die Erträge. Bei den Mostgewichten zeigte sich eine Erhöhung durch den reduzierten Anschnitt und das Traubenhalbieren. Mit späterem Lesetermin steigen die Mostgewichte in allen Varianten an und die Gesamtsäuregehalte sinken (Tab. 34).

3.2.2 Volatile wine compounds

Results of the analyses of volatile wine compounds of both vintages will be published in the final project report.

3.2.3 Wine sensory

Die Ergebnisse der sensorischen Verkostungen des Jahrgangs 2019 im Rahmen der Bachelor Thesis von Christopher Simon sind in ebenfalls im Anhang zu finden.

Darüberhinausgehende deskriptive sensorische Untersuchungen beider Jahrgänge an der HAW Hamburg erfolgen im Jahr 2021. Diese Ergebnisse werden im Abschlussbericht des Projektes aufgeführt sein.

3.3 Anbaueignung spätreifender Rebsorten

3.3.1 Phänologie

Tab. 35: Tag des Jahres beim Erreaches der phänologischen Stadien 01 bis 85 nach BBCH-Code (Lorenz et al., 1995) im Jahr 2019.

BB CH	Grü ner Veltl iner	Gel ber Orle ans	Alva rinh o	Mal vasi a	Mos cate l	Viog nier	Pino t blan c	Pino t noir	C. sau vign on	Tou riga Naci onal	Tem pran illo	Zinf and el	C. fran c	Syra h
01	87	91	91	87	90	87	90	87	92	91	91	91	88	88
03	92	96	100	95	97	93	97	96	105	99	99	100	93	97
05	99	108	107	109	109	108	106	106	109	106	107	107	101	107
07	108	110	109	111	111	107	109	109	110	110	109	110	109	109
09	111	112	111	113	113	111	111	111	112	112	112	112	110	111
11	114	115	113	122	121	112	114	114	121	119	119	119	111	114
12	117	121	120	125	125	119	120	120	125	122	122	121	113	121
13	121	128	128	137	137	125	125	125	137	131	131	125	114	132
14	134	134	139	140	141	132	138	137	141	137	137	137	128	137
15	137	142	144	144	145	135	142	141	144	141	140	140	134	141
16	142	145	147	147	148	139	145	144	147	144	145	143	140	144
17	146	150	152	151	151	143	150	147	150	148	148	147	145	149
18	149	152	154	153	153	150	152	151	152	152	152	151	149	151
19	152	154	156	155	155	153	154	152	155	154	154	153	152	153
53	144	145	147	147	147	143	144	142	146	142	145	145	143	145
55	148	150	150	150	150	147	151	147	149	148	151	149	149	149
57	163	161	164	162	162	157	161	161	162	159	163	163	162	160

61	173	172	172	173	176	171	169	169	173	172	174	174	172	172
63	174	174	175	174	177	172	170	170	174	173	175	175	173	173
65	175	175	176	175	178	173	171	171	175	174	176	176	174	174
68	176	176	178	176	179	174	172	173	176	176	177	177	176	175
69	177	177	179	177	180	175	173	174	177	177	178	178	177	176
71	178	178	180	178	182	176	174	175	178	178	179	179	178	177
73	180	181	182	181	185	179	176	177	181	181	181	181	180	179
75	190	191	191	185	195	188	186	188	187	186	185	184	191	186
77	193	196	195	196	213	191	189	191	203	193	193	191	194	199
79	197	203	218	232	239	199	193	197	231	210	206	201	218	213
81	232	237	239	233	240	232	229	227	232	237	230	234	240	232
83	236	240	243	235	243	234	232	231	236	242	234	236	244	236
85	238	243	245	237	245	236	234	233	238	244	236	238	247	238

Der Austrieb (BBCH 09) erfolgte im Jahr 2019 in den meisten Rebsorten etwa zeitgleich mit der Vergleichssorte Pinot noir. Der Blütebeginn (BBCH 61) erfolgte bis auf den Pinot blanc bei allen getesteten spätreifenden Sorten später als beim Pinot noir. Der späteste Blütebeginn (7 Tage nach dem Pinot noir) wurde beim Moscatel erfasst. Auch der Reifebeginn (BBCH 81) wurde bei allen Sorten nach dem Pinot noir ermittelt. Dieser wurde bei Moscatel und Cabernet franc 11 Tage später als beim Pinot noir verzeichnet (Tab. 32, Tab. 35).

Tab. 36: Tag des Jahres beim Erreichen der phänologischen Stadien 01 bis 85 nach BBCH-Code (Lorenz et al., 1995) im Jahr 2020.

BB CH	Grün er Veltli ner	Gelb er Orle ans	Alva rinh o	Malv asia	Mos catel	Viog nier	Pino t blan c	Pino t noir	C. sauv igno n	Tour iga Naci onal	Tem prani llo	Zinfa ndel	C. franc	Syra h
01	77	83	74	79	77	82	79	79	93	84	87	87	81	87
03	83	95	94	95	95	95	94	94	96	95	95	95	95	95
05	94	98	98	99	99	98	98	98	99	98	98	99	98	98
07	98	100	100	101	101	100	100	100	102	100	100	101	100	100
09	100	102	102	103	103	102	101	101	104	103	103	103	102	103
11	101	105	105	106	106	105	104	104	107	105	106	106	103	105
12	103	107	107	108	107	107	106	106	109	107	108	108	106	107
13	107	109	109	110	110	109	109	109	111	109	110	110	108	109
14	110	113	112	112	113	112	112	113	115	113	113	113	111	113
15	113	116	115	115	115	115	115	116	118	116	116	116	115	116
16	116	118	117	117	118	118	117	118	126	118	119	120	118	118
17	119	127	126	127	128	120	125	126	134	125	130	130	125	128
18	128	134	130	134	136	130	132	135	137	130	135	135	130	134

19	131	138	137	138	139	136	137	138	140	136	138	138	136	138
53	116	119	118	118	119	118	117	118	120	117	120	119	119	118
55	128	130	130	132	134	132	130	132	134	130	134	134	130	132
57	142	146	147	144	146	144	144	144	147	144	148	145	144	143
61	154	155	153	159	161	152	151	151	158	152	154	153	154	159
63	160	160	159	160	162	154	152	152	160	154	160	159	158	160
65	161	161	160	161	163	158	154	154	162	155	161	160	159	161
68	163	163	162	163	164	160	159	159	164	159	163	161	162	163
69	164	164	164	165	166	162	160	160	166	161	164	162	163	164
71	163	165	166	167	168	164	163	163	168	164	165	164	165	166
73	169	169	170	172	173	167	166	166	173	167	169	168	168	170
75	177	176	178	183	180	176	174	175	183	176	183	177	176	177
77	185	183	194	215	201	183	182	180	199	190	189	187	191	192
79	201	196	215	222	230	196	196	194	223	199	205	201	206	208
81	222	231	233	223	231	225	219	217	225	230	224	225	235	224
83	226	233	235	226	234	227	223	223	231	233	228	231	238	226
85	229	235	237	229	236	230	225	227	234	236	232	236	241	230

Im Jahre 2020 erfolgte der Austrieb (BBCH 09) in den meisten Rebsorten später (bis zu 3 Tage beim Cabernet sauvignon) als in der Vergleichssorte Pinot noir. Lediglich beim Grünen Veltliner wurde der Austrieb einen Tag früher als in der Vergleichssorte erfasst. Der Blütebeginn (BBCH 61) erfolgte mit Ausnahme des Pinot blanc bei allen getesteten spätreifenden Sorten später als beim Pinot noir. Der späteste Blütebeginn (10 Tage nach dem Pinot noir) wurde beim Moscatel erfasst. Der Reifebeginn (BBCH 81) wurde bei den meisten Sorten nach dem Pinot noir ermittelt (Ausnahme: Pinot blanc). Beim Cabernet franc wurde der Reifebeginn 18 Tage später als beim Pinot noir verzeichnet (Tab. 33).

BBCH	Grüner Veltliner	Gelber Orleans	Alvarinho	Malvasia	Moscatel	Viognier	Pinot blanc	Pinot noir	C. sauvignon	Touriga Nacional	Tempranillo	Zinfandel	Cabernet franc	Syrah
01	0	2	1	1	2	1	1	0	6	3	4	4	1	3
03	-3	1	1	1	1	0	1	0	4	1	1	2	-1	1
5	-3	1	0	2	2	1	0	0	2	0	1	1	-1	0
07	-1	1	0	2	2	0	0	0	2	0	1	1	-1	0
09	-1	3	0	2	2	1	1	0	4	1	3	1	0	1
11	-4	1	-1	3	4	-1	0	0	4	1	3	2	-4	1
12	-4	2	0	3	4	0	0	0	4	1	3	1	-4	1
13	-4	2	1	4	5	1	1	0	5	2	4	1	-4	2
14	-3	0	0	1	2	-1	1	0	3	0	1	0	-4	0
15	-2	1	1	2	2	0	1	0	3	1	1	0	-3	0
16	-1	1	1	1	2	0	0	0	3	0	1	1	-1	0
17	-2	2	1	2	3	-1	1	0	3	0	1	2	-1	1
18	-2	1	0	1	2	0	1	0	3	-1	1	1	-1	0
19	-1	2	1	2	4	2	2	0	3	0	2	2	0	2
53	0	2	2	3	2	1	1	0	3	1	2	2	1	1
55	-1	1	1	2	1	1	1	0	2	1	2	1	1	1
57	0	1	2	1	2	-1	0	0	2	1	2	1	1	1
61	3	4	3	5	7	2	0	0	4	2	4	3	3	5
63	4	4	4	5	7	2	0	0	4	3	4	4	4	5
65	3	4	3	5	6	2	0	0	4	2	4	4	3	4
68	2	3	3	4	5	2	0	0	3	2	3	2	2	3
69	2	3	3	4	5	1	-1	0	3	2	3	2	2	2
71	1	3	2	3	5	1	-1	0	4	2	3	2	3	2
73	3	4	3	5	6	2	0	0	5	4	4	2	4	3
75	0	1	-1	1	5	-1	-1	0	4	-1	0	-2	1	-1
77	1	4	7	12	14	1	0	0	8	3	4	1	5	8
79	4	5	13	18	24	2	-1	0	20	4	6	2	14	10
81	2	8	9	4	9	4	1	0	4	8	4	5	10	4
83	1	7	8	3	8	2	0	0	4	8	5	5	9	3
85	1	6	8	3	8	2	0	0	4	8	5	5	9	4

Abb. 30: Durchschnittliche Verzögerung des Termins des Erreichens der verschiedenen phänologischen Entwicklungsstadien in den untersuchten spätreifenden Sorten im Vergleich zur Vergleichssorte Pinot noir in den Jahren 2017 bis 2020. Sorten mit einem frühen Erreichen der jeweiligen Stadien sind grün unterlegt, Sorten mit einem späten Erreichen rot.

Im Mittel der Jahre 2017 bis 2020 erfolgte der Austrieb (BBCH 09) bei den meisten Rebsorten später (4 Tage beim Cabernet sauvignon) als in der Vergleichssorte Pinot noir. Lediglich beim Grünen Veltliner wurde der Austrieb einen Tag früher als in der Vergleichssorte erfasst. Der Blütebeginn (BBCH 61) erfolgte mit Ausnahme des Pinot blanc bei allen getesteten spätreifenden Sorten später als beim Pinot noir. Der im Mittel späteste Blütebeginn (7 Tage nach dem Pinot noir) wurde beim Moscatel erfasst. Der Reifebeginn (BBCH 81) wurde im Mittel bei allen Sorten nach dem Pinot noir ermittelt. Beim Cabernet franc wurde der Reifebeginn durchschnittlich 10 Tage später als beim Pinot noir verzeichnet. (Abb. 30).

3.3.2 Ergebnisse der Fäulnisbonituren, der Reifemessungen und der Ertragserfassungen

3.3.2.1 Jahrgang 2019

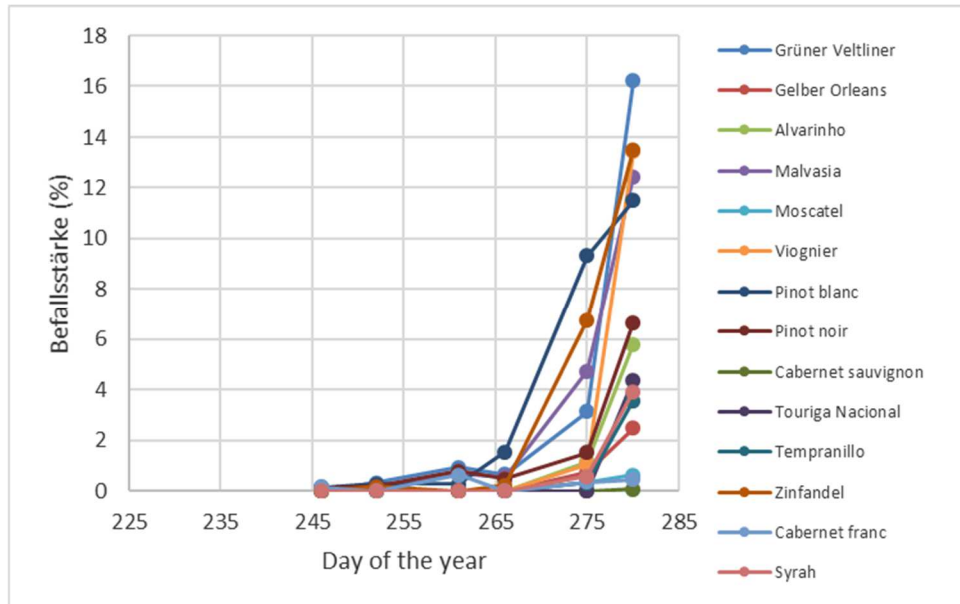


Abb. 31: Entwicklung der *Botrytis cinerea*-Befallsstärke in den untersuchten Rebsorten im Versuchsjahr 2019.

Im Jahr 2019 bewegten sich die Befallsstärken durch *Botrytis cinerea* auf einem relativ niedrigen Niveau. Lediglich in den Rebsorten Grüner Veltliner, Malvasia, Viognier, Pinot blanc und Zinfandel wurde am Erntetermin eine durchschnittliche Befallsstärke von 10% überschritten (Abb. 31).

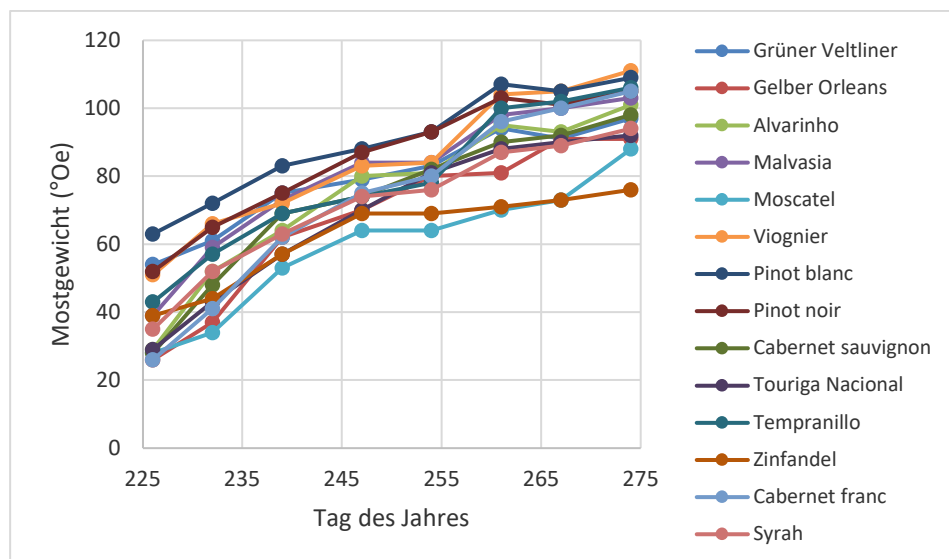


Abb. 32: Entwicklung des Mostgewichtes in den untersuchten Rebsorten im Versuchsjahr 2019.

Die Mostgewichte bewegten sich im Versuchsjahr 2019 auf einem mittleren bis hohem Niveau. So überschritten am letzten Boniturtermin (07.10.2019) die Sorten Viognier, Cabernet franc und Tempranillo die 90°Oechsle-Marke. Die übrigen Rebsorten erreichten zumeist Mostgewichte von 80 bis 90°Oe. Lediglich bei Moscatel und Syrah wurden am letzten Boniturtermin Mostgewichte unter 80°Oe gemessen (Abb. 32).

Tab. 37: Ergebnisse der Versuchslese am 07.10.2019. Für jede Rebsorte sind der durchschnittliche Ertrag, das Mostgewicht sowie der Gesamtsäuregehalt angegeben.

Rebsorte	Ertrag (kg/Rebe)	Mostgewicht (°Oe)	Gesamtsäure (g/l)
Grüner Veltliner	0,27	87,7	8,0
Gelber Orleans	0,23	84,8	13,6
Alvarinho	0,13	79,7	16,5
Malvasia	0,78	82,5	10,4
Moscatel	0,34	65,5	11,2
Viognier	0,16	91,4	9,8
Pinot blanc	0,61	86,8	11,5
Pinot noir	0,27	84,1	12,3
C. sauvignon	0,56	83,0	10,7
Touriga Nacional	0,22	82,4	12,0
Tempranillo	0,60	95,9	7,9
Zinfandel	0,46	82,6	14,2
Cabernet franc	0,29	78,2	14,3
Syrah	0,82	80,4	11,5

Die Stockerträge bewegten sich im Versuchsjahr 2019 bedingt durch die massiven Spätfrostschäden auf einem sehr niedrigen Niveau zwischen 0,13 kg (Alvarinho) und 0,82 kg (Syrah) pro Pflanze. Das höchste Erntemostgewicht wurde in der Sorte Tempranillo mit 95,9 °Oe erzielt, das geringste im Moscatel (65,5 °Oe). Die Gesamtsäuregehalte bewegten sich zwischen 7,9 bei Tempranillo und 16,5 g/l beim Alvarinho (Tab. 37).

3.3.2.2 Jahrgang 2020

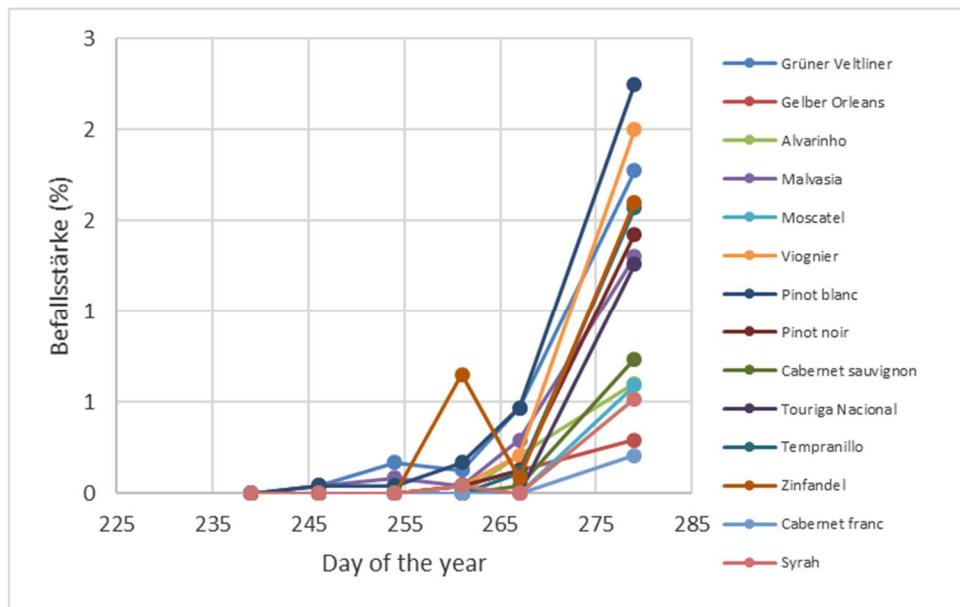


Abb. 33: Entwicklung der *Botrytis cinerea*-Befallsstärke in den untersuchten Rebsorten im Versuchsjahr 2020.

Im Jahr 2020 bewegten sich die Befallsstärken durch *Botrytis cinerea* auf einem relativ niedrigen Niveau. Lediglich in den Rebsorten Viognier und Pinot blanc wurde am Erntetermin eine durchschnittliche Befallsstärke von 2% überschritten (Abb. 33).

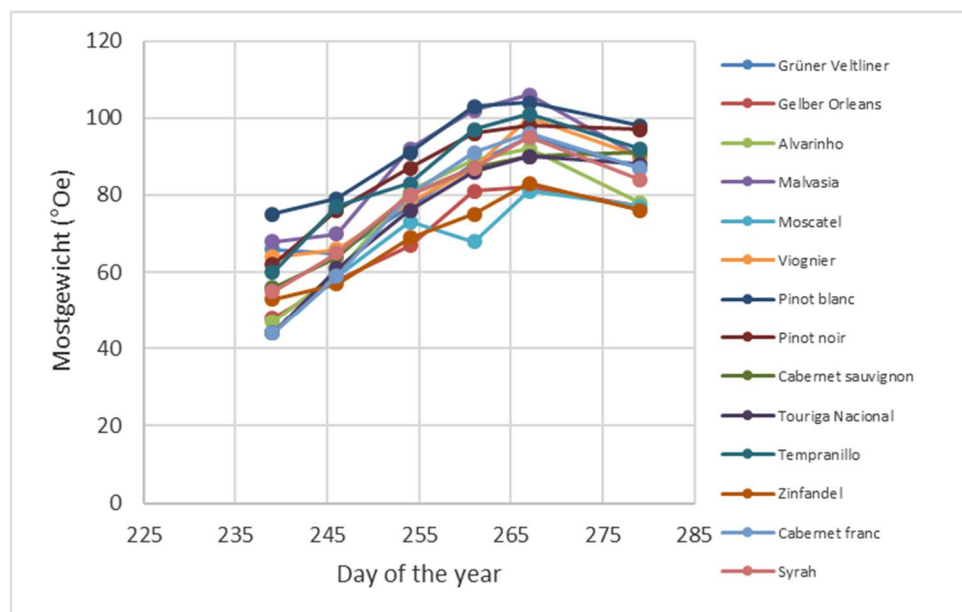


Abb. 34: Entwicklung des Mostgewichtes in den untersuchten Rebsorten im Versuchsjahr 2020.

Die Mostgewichte bewegten sich im Versuchsjahr 2020 auf einem hohen Niveau. So überschritten am letzten Boniturtermin (05.10.2020) die Sorten Malvasia, Viognier, Pinot blanc, Pinot noir, Cabernet sauvignon und Tempranillo die 90°Oechsle-Marke. Lediglich im Gelben Orleans, Alvarinho, Moscadel und Zinfandel wurden am letzten Boniturtermin Mostgewichte unter 80°Oe gemessen (Abb. 34).

Tab. 38: Ergebnisse der Versuchslese am 08.10.2020. Für jede Rebsorte sind der durchschnittliche Ertrag, das Mostgewicht sowie der Gesamtsäuregehalt angegeben.

Rebsorte	Ertrag (kg/Rebe)	Mostgewicht (°Oe)	Gesamtsäure (g/l)
Grüner Veltliner	1,38	85,4	7,7
Gelber Orleans	1,82	83,2	9,7
Alvarinho	1,12	89,9	10,0
Malvasia	1,19	102,8	6,1
Moscadel	1,58	76,1	7,9
Viognier	1,67	92,2	7,7
Pinot blanc	1,44	104,2	8,2
Pinot noir	1,49	95,5	8,7
C. sauvignon	1,11	87,3	7,9
Touriga Nacional	1,80	87,6	9,6
Tempranillo	2,23	96,6	7,2
Zinfandel	2,81	81,5	11,6
Cabernet franc	1,40	80,7	8,5
Syrah	2,39	87,7	7,8

Die Stockerträge bewegten sich im Versuchsjahr 2020 auf einem mittleren Niveau zwischen 1,11 kg (Chardonnay) und 2,81 kg (Zinfandel) pro Pflanze. Das höchste Erntemostgewicht wurde in der Sorte Pinot blanc mit 104,2 °Oe erzielt, das geringste im Moscatel (76,1 °Oe). Die Gesamtsäuregehalte bewegten sich zwischen 6,1 bei Malvasia und 11,6 g/l beim Zinfandel (Tab. 38).

4 Zwischenfazit

The unified grape phenological model developed, **UniPhen**, enables a precise simulation of all 31 BBCH stages between the beginning of bud swell (01) and berries ripe for harvest (89) for 11 cultivars grown in the climatic conditions of the Luxembourgish grapegrowing region. This is based on a unified cumulative degree day approach with three temperature thresholds at 10°C, 20°C and 30°C.

Investigations revealed that the sequence of the relative precocity of the different cultivars was not stable over the different stages of phenological development. Consequently, a classification of cultivars' relative precocity is only reasonable if it relates to a specific phenological stage.

The model is open to be extended for other grape cultivars and re-calibration in different climatic conditions. UniPhen could be used as an indicator for the suitability of a location/region for the cultivation of specific cultivars overcoming the limitations of commonly used calendar-based bioclimatic indicators.

The annual meteorological conditions during specific periods of grape development are significantly correlated with the thermal-temporal position of the bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. Based on periods of highly significant correlations between meteorological data and the thermal-temporal position of the epidemic, the bunch rot risk model **BotRisk** was developed based on a multiple linear regression approach. BotRisk allows for a simulation of the annual thermal-temporal position of the bunch rot epidemic in Riesling based on past temperature and precipitation records in different periods of grape development with an accuracy ($R^2_{adj.}$) of 0.63 and classifies the annual bunch rot risk in three risk classes. The observed minor influence of the location on model robustness indicates that a transfer into other locations of comparable climatic conditions might be possible. Presently, BotRisk represents a bunch rot risk model for the grape cultivar Riesling. However, the approach of

BotRisk is open for parameterisation for other cultivars based on respective long-term observation data sets.

Die globalen, sich stark verändernden klimatischen Bedingungen bringen neue Chancen und neue Herausforderungen für die Winzer weltweit. Eine junge, frische Stilistik, wie man sie in den nördlicheren Gebieten Europas gewohnt ist, wird in Zukunft zunehmend schwieriger zu produzieren sein. Um diese für hiesige Regionen so bedeutende Stilistik beizubehalten, ist es von hoher Wichtigkeit, das Weinbergmanagement anzupassen. So kann mit Eingriffen in das Ertragsniveau und Anpassungen des Lesezeitpunktes agiert werden. Für Luxemburg sollen diese Parameter genutzt werden, um das **Qualitätssystem der Weine von der Luxemburger Mosel zu differenzieren**.

An den Rebsorten Pinot Gris und Chardonnay wurden in den Jahren 2019 und 2020 die Auswirkungen verschiedener Lesetermine (Termin 1, Termin 1+10 Tage und Termin 1+21Tage), sowie verschiedener Ertragsniveaus (zwei Bögen, einen Bogen und einen Bogen + Traubenteilen) analysiert. Dabei wurden die Versuchsglieder auf deren Traubenstruktur, Reifeverlauf, Fäulnisanfälligkeit, Ertrag, Inhaltsstoffe, sowie die sensorischen Merkmale untersucht.

Mit zunehmender Reife stiegen das Mostgewicht und (besonders in 2019) der Befall mit *Botrytis cinerea* bei allen Varianten deutlich an. Durch eine Traubenhäufung konnte die Traubenstruktur aufgelockert und der Fäulnisbefall reduziert werden. So konnte der Lesetermin hinausgezögert werden, um die volle Aromausreife der Trauben zu erreichen. Vollmundigere und reifere Trauben, welche insbesondere für den Premiumbereich genutzt werden können, sind so produzierbar. Die erzielten Erträge stiegen mit erhöhtem Anschnittsniveau.

Im Jahrgang 2019 wurden die aus den am ersten Lesetermin geernteten Trauben als fruchtig wahrgenommen. Der späte Lesetermin führte zu einer Harmonisierung und Einbindung der Säuren, wodurch er als hochwertiger empfunden wurde. Eine Differenzierung der Weinstile

konnte auf Grund der hohen Ertragsausfälle durch die Spätfrostschäden im April im Versuchsjahr 2019 nur bedingt erreicht werden. Grundsätzlich stellen jedoch eine gezielte Ernteterminierung und Ertragssteuerung wertvolle Werkzeuge zur Differenzierung des Weinstils dar. Weiterführende sensorische und analytische Untersuchungen der Weine, in welchen neben dem Jahrgang 2019 besonders der Jahrgang 2020 im Fokus steht, werden im Projektjahr 2021 durchgeführt.

Hinsichtlich möglicher **Anpassungsmaßnahmen** zeigte sich in den Jahren 2017 bis 2020, dass die geprüften **spätreifenden Sorten** tatsächlich zumeist später in die Reifephase eintreten. Die Verschiebung des Reifebeginns im Vergleich zum Pinot noir betrug bis zu 10 Tage im Durchschnitt der vier Jahre (Cabernet franc). Bis auf die Sorte Zinfandel, der sich als relativ anfällig gegenüber einem Befall durch die Kirschessigfliege erweist, zeigten sich die Trauben-geteilten spätreifenden Sorten in den warmen Jahrgängen 2018 bis 2020 wenig fäulnisanfällig und erreichten hohe bis sehr hohe Mostgewichte – bei allerdings einem zumeist moderaten bis niedrigen Ertragsniveau. Der Reifeverlauf ist zumeist gegenüber der Vergleichsorte Pinot noir verzögert und die erreichten Erntemostgewichte liegen in der Regel etwas unter denen der Vergleichssorte. Dennoch werden häufig Erntemostgewichte im Bereich zwischen 80 und 90 °Oe erzielt.

In den folgenden Jahren werden die Untersuchungen hinsichtlich der spätreifenden Sorten fortgeführt. Insbesondere die wöchentlichen Reifemessungen sollen Aufschluss darüber geben, welche der geprüften Sorten gegenwärtig oder zukünftig das Potential für einen Anbau in Luxemburg aufweisen.

5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Institut Viti-Vinicole und deren Mitarbeitern für die finanzielle Unterstützung sowie für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen im Weinberg, im Labor und im Keller. Den beteiligten Winzern sei für die Bereitstellung der Untersuchungsflächen sowie des Traubenmaterials für den Versuchsausbau gedankt. Weiterhin gilt ein besonderer Dank Mareike Schultz, Robert Mannes, Christopher Simon und Sophie Römer für die Mitarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Versuche sowie bei der Versuchslese und Mikrovinifikation.

6 Literaturverzeichnis

- ANALYTICS, R. & WESTON, S. 2015. doParallel: Foreach Parallel Adaptor for the 'parallel' Package. R package version 1.0.10.
- COAKLEY, S. M. & LINE, R. F. 1982. Prediction of stripe rust epidemics on winter wheat using statistical models. *Phytopathology*, 72, 1006.
- CONSORTIUM, O. G. 2005. Catalogue Service Specification. New York: OGC.
- CONSORTIUM, O. G. 2006. OpenGIS Web Map Service Implementation Specification. New York: OGC.
- CONSORTIUM, O. G. 2007. OpenGIS Web Processing Service. New York: OGC.
- CONSORTIUM, O. G. 2010. OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard. New York: OGC.
- CONSORTIUM, O. G. 2012. OGC WCS 2.0 Interface Standard- Core:Corrigendum. New York: OGC.
- CONSORTIUM, O. G. 2019. OGC API - Features - Part 1: Core. New York: OGC.
- GELLER, G. & TURNER, W. The model web: a concept for ecological forecasting. Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS, 2469-2472.
- KWON, O. 2003. 'Meta web service: building web-based open decision support system. *Expert Systems with Applications*, 24, 375-389.
- LANIAK, G. F., OLCHEIN, G., GOODALL, J., V., A., HILL, M., GLYNN, P., WHELAN, G., GELLER, G., QUINN, N., BLIND, M., PECKHAM, S., REANEY, S., GABER, N., KENNEDY, R. & HUGHES, A. 2013. Integrated environmental modeling: A vision and roadmap for the future. *Environmental Modelling and Software*, 39, 3-23.
- LIANG, S., HUANG, C. Y. & KHALAFBEIGI, T. 2016. SensorThings API Part 1: Sensing. New York: OGC.
- LORENZ, D. H., EICHHORN, K. W., BLEIHOLDER, H., KLOSE, R., MEIER, U. & WEBER, E. 1995. Phenological growth stages of the grapevine, *Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*. Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1, 100-103.
- MOLITOR, D., BAUS, O., HOFFMANN, L. & BEYER, M. 2016. Meteorological conditions determine the thermal-temporal position of the annual Botrytis bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapes. *Oeno One*, 50, 231-244.
- MOLITOR, D., BIEWERS, B., JUNGLEN, M., SCHULTZ, M., CLEMENTI, P., PERMESANG, G., REGNER, D., PORTEN, M., HERZOG, K., HOFFMANN, L., BEYER, M. & BERKELMANN-LÖHNERTZ, B. 2018. Multi-annual comparisons demonstrate differences in the bunch rot susceptibility of nine *Vitis vinifera* L. cv. Riesling clones. *Vitis*, 57, 17-25.
- MOLITOR, D., HOFFMANN, L. & BEYER, M. 2015. Flower debris removal delays grape bunch rot epidemic. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66, 548-553.
- MOLITOR, D., HOFFMANN, L. & BEYER, M. 2017. Overall efficacies of combined measures for controlling grape bunch rot can be estimated by multiplicative consideration of individual effects. *Oeno One*, 51, 387-393.
- MOLITOR, D. & JUNK, J. 2019. Climate change is implicating a two-fold impact on air temperature increase in the ripening period under the conditions of the Luxembourgish grapegrowing region *Oeno One*, 53, 409-422.
- MOLITOR, D., JUNK, J., EVERS, D., HOFFMANN, L. & BEYER, M. 2014a. A high resolution cumulative degree day based model to simulate phenological development of grapevine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65, 72-80.

- MOLITOR, D., JUNK, J., EVERS, D., HOFFMANN, L. & BEYER, M. 2014b. A highresolution cumulative degree day-based model to simulate phenological development of grapevine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 65, 72-80.
- MOLITOR, D. & KELLER, M. 2016. Yield of Müller-Thurgau and Riesling grapevines is altered by meteorological conditions in the current and the previous growing seasons. *Oeno One*, 50, 245-258.
- MOLITOR, D., SCHULTZ, M., MANNES, R., M., P.-B., HOFFMANN, L. & BEYER, M. 2019. Semi-minimal pruned hedge: a potential climate change adaptation strategy in viticulture. *Agronomy*, 9, 173.
- NENDEL, C. 2010. Grapevine bud break prediction for cool winter climates. *International Journal of Biometeorology*, 54, 231-241.
- NETELER, M. & MITASOVA, H. 2008. Open Source GIS - A GRASS GIS Approach. New York: Springer.
- PEBESMA, E. 2012. spacetime: Spatio-Temporal Data in R. *Journal of Statistical Software*, 51, 1-30.
- PEBESMA, E. J. & BIVAND, R. S. 2005. Classes and methods for spatial data in R. *R News*, 5.
- PORSCHKE, F., MOLITOR, D., BEYER, M., CHARTON, S., ANDRÉ, C. & KOLLAR, A. 2018. Antifungal activity of saponins from the fruit pericarp of *Sapindus mukorossi* against *Venturia inequalis* and *Botrytis cinerea*. *Plant Disease*, 102, 991-1000.
- RYAN, J. A. & ULRICH, J. M. 2014. xts: eXtensible Time Series.
- SHAFIEI, F., SUNDARAM, D. & PIRAMUTHU, S. 2012. Multi-enterprise collaborative decision support system'. *Expert Systems with Applications*, 39, 7637-7651.
- SUGUMARAN, V. & SUGUMARAN, R. 2007. Web-based spatial decision support systems: Evolution, architecture, and challenges. *Journal of Communications of Association for Information Systems*, 19, 439-450.
- TEAM, R. C. 2017. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- TRUDGILL, D. L., HONEK, A., LI, D. & VAN STRAALLEN, N. M. 2005. Thermal time - concepts and utility. *Annals of Applied Biology*, 146, 1-14.
- WANG, M., WANG, H., XU, D., WAN, K. K. & VOGEL, D. 2004. 'A web-service agent-based decision support system for securities exception management. *Expert Systems with Applications*, 27, 439-450.
- YEH, A. G. O. & QIAO, J. J. 2004. Componente-based approach in the development of a knowledge-based planning support system (kbps). part 1: The architecture of kbps. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 517-537.
- ZEILEIS, A. & GROTHENDIECK, G. 2005. zoo: S3 Infrastructure for. *Journal of Statistical Software*, 14, 1-27.

7 Anhang

7.1 Tageswitterungsbedingungen in der Vegetationsperiode

7.1.1 Jahrgang 2019

Tab. 39: Tagesmitteltemperaturen (t_m) sowie Tagesniederschläge (N) im Zeitraum 01. April bis 30. September 2019 an der Wetterstation Remich (Quelle: IVV).

Tag	April		Mai		Juni		Juli		August		September	
	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)
1	12,8	0,0	11,5	0,0	19,3	0,0	22,1	0,0	18,5	0,0	17	0
2	10,4	0,6	12,0	0,3	21,7	0,0	19,5	0,0	21,9	0,0	15,3	0
3	6,1	2,8	11,5	0,2	21,3	0,0	19,3	0,0	19,3	0,0	15,8	0
4	5,9	1,6	6,1	1,9	21,6	0,2	19,8	0,0	22,1	0,0	16,8	0,2
5	5,7	0,0	5,1	0,0	22,6	17,7	21,2	0,0	23,5	0,2	13,8	0
6	11,4	0,0	6,6	0,0	13,6	4,4	20,7	0,0	21,6	1,0	13	0
7	10,4	1,3	10,3	0,0	15,9	1,0	18,3	0,8	20,0	10,2	12,2	4,3
8	8,8	0,0	9,5	10,9	14,3	0,0	16,1	0,0	20,2	0,0	12,3	0,6
9	11,6	10,5	11,2	17,6	15,3	0,0	15,5	0,0	22,0	11,6	12,2	0,1
10	9,4	6,0	11,9	7,6	17,3	17,9	17,1	0,1	21,3	0,0	12,7	0,1
11	7,5	0,0	9,5	26,7	15,3	0,5	19,2	5,1	17,7	1,0	13,9	0
12	5,2	0,0	9,9	0,0	15,4	10,1	19,7	5,0	16,4	4,9	17,8	0,4
13	3,7	0,2	10,7	0,0	16,2	3,6	16,9	0,0	16,6	0,0	17	0
14	4,3	0,1	10,9	0,0	17,1	0,8	17,7	1,9	18,1	0,0	18,1	0
15	9,3	0,0	10,6	0,0	19,4	4,5	16,4	0,0	17,5	1,9	17,5	0
16	10,2	6,0	12,0	0,0	17,2	0,0	16,2	0,0	16,9	0,0	17,3	0
17	14,6	1,2	15,6	2,8	19,1	0,0	19,5	0,0	17,7	15,4	16,3	0
18	15,6	0,0	16,3	0,0	20,4	0,0	20,5	0,0	20,1	5,4	12,1	0
19	17,9	0,0	17,3	3,0	21,6	0,2	20,2	3,1	17,5	0,0	11,9	0
20	17,0	0,0	16,5	0,0	19,3	0,1	23,0	0,0	15,3	0,0	13,1	0
21	17,5	0,0	12,1	0,0	18,1	0,0	21,5	0,0	16,8	0,1	16,2	0
22	17,1	0,0	12,9	0,0	17,7	0,0	21,7	0,0	18,3	0,0	16,6	5,3
23	16,0	0,0	14,9	0,0	21,2	0,0	25,7	0,0	20,3	0,0	14,7	4,2
24	14,6	12,8	16,6	0,0	24,7	0,0	28,1	0,0	21,2	0,0	12,7	0,9
25	11,4	6,1	15,7	0,0	26,9	0,0	30,5	0,0	22,5	0,0	14,2	1,4
26	12,4	0,0	14,7	0,0	26,9	0,0	28,6	0,0	24,3	0,0	15,6	0,7
27	8,8	4,5	16,7	1,9	25,4	0,0	20,8	0,2	25,1	0,0	14,9	0,5
28	7,6	4,8	12,8	0,0	22,8	0,0	17,3	1,1	24,8	0,0	14,7	0,4
29	9,1	0,0	12,8	0,0	24,3	0,0	19,4	0,0	21,8	0,0	14,9	0,3
30	15,1	0,0	13,8	0,0	24,4	0,0	20,1	0,0	20,7	0,0	13,7	0,3
31			17,8	0,0			18,7	0,0	23,3	3,1		

7.1.2 Jahrgang 2020

Tab. 40: Tagesmitteltemperaturen (t_m) sowie Tagesniederschläge (N) im Zeitraum 01. April bis 30. September 2020 an der Wetterstation Remich (Quelle: agrimeteo.lu).

Tag	April		Mai		Juni		Juli		August		September	
	t_m (°C)	N (mm)	t_m (°C)	N (mm)	t_m (°C)	N (mm)	t_m (°C)	N (mm)	t_m (°C)	N (mm)	t_m (°C)	N (mm)
1	4,70	,00	9,28	25,72	19,49	,00	19,39	,01	24,42	6,10	15,70	,00
2	5,48	,00	8,40	,93	20,35	,00	18,52	,07	21,44	,28	15,85	,12
3	6,27	,00	9,84	,08	19,16	7,73	16,66	,00	17,04	,00	16,85	,00
4	7,99	,00	12,58	,00	14,02	7,15	18,33	,00	17,58	,00	22,72	,00
5	13,49	,00	10,73	,00	10,56	2,26	20,75	,34	19,88	,00	16,61	,00
6	14,11	,00	11,20	,00	12,41	3,67	15,33	,38	22,84	,00	13,19	,00
7	15,26	,00	12,98	,00	12,49	,00	15,18	,00	25,52	,00	14,86	,00
8	15,53	,00	16,05	,00	13,96	,81	16,44	,00	27,15	,00	16,43	,00
9	15,07	,00	14,72	4,76	13,97	1,54	21,67	,00	27,12	,00	17,23	,00
10	16,58	,00	16,03	14,52	15,39	,86	18,69	,00	27,66	,00	19,00	,00
11	15,88	,00	7,82	5,11	16,11	,00	16,18	,00	27,70	,00	17,78	,00
12	14,84	,00	7,81	,00	18,07	6,73	17,75	,00	25,72	,22	18,19	,00
13	10,11	,01	9,77	,00	17,89	2,18	19,48	,00	23,88	,00	18,48	,00
14	5,95	,00	10,02	,00	16,94	,72	17,44	1,68	21,92	1,96	20,93	,00
15	10,41	,00	11,37	,00	17,01	,04	16,78	4,95	22,75	,03	22,59	,00
16	13,47	,00	12,34	,00	17,35	,00	15,37	1,80	23,87	2,17	21,08	,41
17	15,92	,00	12,87	,00	15,10	28,77	17,96	,00	20,78	2,11	18,86	,00
18	15,38	,08	15,54	,00	16,46	,00	20,54	,00	18,49	1,96	18,74	,00
19	13,68	,06	17,62	,00	16,48	,00	21,82	,00	20,00	,23	19,71	,00
20	14,23	,00	19,04	,00	16,26	,06	20,60	,00	26,26	,15	18,66	,00
21	15,57	,00	19,53	,00	18,35	,01	19,04	,00	25,89	,12	16,97	,00
22	16,39	,00	19,68	,02	17,95	,00	18,81	,00	21,64	,00	17,09	,00
23	15,58	,00	12,01	10,44	20,64	,00	19,60	,00	19,08	,00	17,41	3,70
24	14,34	,00	12,25	,04	22,52	,00	19,02	,61	17,83	,00	15,03	6,32
25	12,03	,00	14,03	,04	26,22	,00	20,25	,00	19,18	,00	10,05	2,31
26	12,40	,00	16,04	,00	20,94	23,28	20,30	,42	19,68	,00	9,79	5,99
27	13,27	,00	17,22	,00	20,90	8,96	22,42	,00	17,41	,12	10,02	18,32
28	12,83	2,28	17,48	,00	18,20	,00	20,79	,00	17,17	3,39	9,26	5,77
29	12,53	1,93	16,32	,00	16,99	,58	17,79	,00	15,91	,06	12,76	4,35
30	10,55	12,21	16,79	,00	16,00	,00	21,72	,00	15,41	,70	14,40	,32
31			16,05	,00			26,10	,00	15,28	4,93		

7.2 Veröffentlichungen

7.2.1 Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen

Molitor D., Fraga H., Junk J. (2020): UniPhen—a unified high resolution model approach to simulate the phenological development of a broad range of grape cultivars as well as a potential new bioclimatic indicator. *Agricultural and Forest Meteorology* 291, 108024. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108024.

Leolini L., Costafreda-Aumedes S., Santos J.A., Menz C., Fraga H., Molitor D., Merante P., Junk J., Kartschall T., Destrac-Irvine A., van Leeuwen C., Malheiro A.C., Eiras-Dias J., Silvestre J., Dibari C., Bindi M., Moriondo M. (2020): Phenological model intercomparison for estimating grapevine budbreak date (*Vitis vinifera* L.) in Europe. *Applied Sciences* 10, 3800. DOI: 10.3390/app10113800.

Molitor D., Baus O., Didry Y., Junk J., Hoffmann L., Beyer M., (2020): BotRisk: simulating the annual bunch rot risk on grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) based on meteorological data. *International Journal of Biometeorology*. DOI: 10.1007/s00484-020-01938-5.

Santos J.A., Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J., Dinis L.-T., Correia C., Moriondo M., Leolini L., Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Kartschall T., Menz C., Molitor D., Junk J., Beyer M., Schultz H.R. (2020): A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences* 10, 3092. DOI: 10.3390/app10093092

Fraga H., Molitor D., Leolini L., Santos J.A. (2020): What is the impact of heatwaves on European viticulture? A modelling assessment. *Applied Sciences* 10: 3030. DOI: 10.3390/app10093030

Parker A.K., Garcia de Cortazar-Atauri I., Gény L., Spring J.-L., Destac A., Schultz H.R., Molitor D., Lacombe T., Graça A., Monamy C., Stoll M., Storchi P., Trought M., Hofmann R., van Leeuwen C. (2020): Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. *Agricultural and Forest Meteorology* 285-286: 107902.

Molitor D., Junk J. (2019): Climate change is implicating a two-fold impact on air temperature increase in the ripening period under the conditions of the Luxembourgish grapegrowing region. *OENO One* 53: 409-422.

Molitor D., Schultz M., Mannes R., Pallez-Barthel M., Hoffmann L., Beyer M. (2019): Semi-minimal pruned hedge: a potential climate change adaptation strategy in viticulture. *Agronomy* 9: 173.

Rustioni L., Cola G., Maghradze D., Abashidze E., Argiriou A., Aroutiounian R., Brazão J., Chipashvili R., Cocco M., Cornea V., Dejeu L., Eiras Dias J.E., Goryslavets S., Ibáñez J., Kocsis L., Lorenzini F., Maletic E., Mamasakhlisashvili L., Margaryan K., Maul E. Mdinardze I., Melyan G., Michailidou S., Molitor D., Montemayor M.I., Muñoz-Organero G., Nebish A., Nemeth G., Nikolaou N., Popescu C.F., Preiner D., Raimondi S., Risovanna V., Savin G., Savvides S., Schneider A., Schwander F., Spring J.L., Ujmajuridze L., Zioziou E., Failla O., Bacilieri R. (2019): Description of the *Vitis vinifera* L. phenotypic variability in eno-carpological traits by a Euro-Asiatic collaborative network among ampelographic collections. *Vitis* 58: 37-46.

7.2.2 Fachartikel

Molitor D., Junk J. (2020): Der Klimawandel hat einen zweifachen Anstieg der Temperaturen in der Reifephase zur Folge. De Letzeburger Bauerekalenner 2020: 107-112.

Molitor D., Junk J. (2019): Temperaturanstieg in der Reifephase. Das Deutsche Weinmagazin (25): 32-34

Molitor D., Junk J. (2019): Keine Chance mehr für Eiswein? Die Winzer-Zeitschrift (11): 33-34.

Molitor D., Junk J. (2019): Rekordhitze mit Sonnenbrandschäden in den Weinbergen. De Letzeburger Bauer, 02.08.2019

Molitor D., Junk J., Schultz M. (2019): Spätfrostschäden in den Weinbergen entlang der Mosel. De Letzeburger Bauer, 17.05.2019.

Molitor D., Sulis M. (2019): Clim4Vitis – Europäisches Projekt zum Klimawandel im Weinbau mit Luxemburger Beteiligung gestartet. De Letzeburger Bauer, 15.03.2019.

7.2.3 Fachvorträge

Leolini L., Costafreda-Aumedes S., Santos J., Menz C., Molitor D., Merante P., Junk J., Fraga H., Kartschall T., Destrac-Irvine A., Van Leeuwen C., Bindi M, Malheiro A., Silvestre J., Dibari C., Moriondo M. (2020): Phenological model intercomparison for budbreak date estimation in Europe. International Cool Climate Wine Symposium 2020, St. Catharine, Canada, 12.-17.07.2020

Parker A.K., Garcia de Cortazar-Atauri I., Gény L., Spring J.-L., Destac A., Schultz H.R., Stoll M., Molitor D., Lacombe T., Graça A., Monamy C., Storchi P., Trought M., Hofmann R., van Leeuwen C. (2019): The temperature-based Grapevine sugar ripeness (GSR) model for adapting a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars in a changing climate. New Zealand Winegrowers Romeo Bragato National Conference, Hawke's BayNew Zealand, 27.-29.08.2019.

Parker A.K., Garcia de Cortazar-Atauri I., Gény L., Spring J.-L., Destac A., Schultz H.R., Stoll M., Molitor D., Lacombe T., Graça A., Monamy C., Storchi P., Trought M., Hofmann R., van Leeuwen C. (2019): The temperature-based Grapevine sugar ripeness (GSR) model for adapting a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars in a changing climate. 21th GiESCO International meeting, Thessaloniki, Greece, 23.-28.06.2019.

Molitor D., Junk J. (2019): Impact of climate change on viticulture in Luxembourg. Clim4Vitis Launch Event, Vila Real/Portugal, 20.02.2019.

Molitor D. (2019): Modelling grape phenology and yield. Clim4Vitis Launch Event, Vila Real/Portugal, 18.02.2019.

Molitor D., Junk J. (2019): Auswirkungen des Klimawandels auf den Weinbau in Luxemburg. 11. Lëtzeburger Wäibaudag, Wormeldange, 06.02.2019.

7.2.4 Wissenschaftliche Poster

Parker A.K., Garcia de Cortazar-Atauri I., Géný L., Spring J.-L., Destac A., Schultz H.R., Stoll M., Molitor D., Lacombe T., Graça A., Monamy C., Storchi P., Trought M., Hofmann R., van Leeuwen C. (2019): The temperature-based grapevine sugar ripeness (GSR) model for adapting a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars in a changing climate. 21st GiESCO International Meeting. Thessaloniki, Greece, 23. – 28.09.2019.

7.2.5 Abschlussarbeiten

Simon C. (2021): Differenzierung von Weinprofilen durch Steuerung des Ertragsniveaus und des Lesetermins. Master-Thesis an der Universität für Bodenkultur Wien.

Veröffentlichungen in Fettdruck hängen diesem Projektbericht an.

7.3 Pressemeldungen

De Letzeburger Bauer (22.02.2019)

Auswirkungen des Klimawandels auf den Weinbau in Luxemburg Fachvortrag im Rahmen des 11. Wäibaudag in Wormeldange

(hl)- Im Rahmen des 11. Lëtzeburger Wäibaudag, der am 6. Februar in Wormeldange stattfand, referierten die LIST-Wissenschaftler Dr. Jürgen Junk und Dr. Daniel Molitor über die Auswirkungen des Klimawandels in Luxemburg. Dr. Junk (auf dem Foto links) legte dar, dass sich binnen 20 Jahren (1990-2010 im Vergleich zu 1961-90) die Jahresdurchschnittstemperatur an der Wetterstation Fündel bereits um 1,0°C erhöht hat. Dies macht sich gerade auch während der Vegetationsperiode bemerkbar. Bei den Niederschlägen gibt es zwar eine leichte Tendenz hin zu höheren Winterniederschlägen und geringeren Sommerniederschlägen. Aber diese sind nicht signifikant. Bei den Starkniederschlägen gab es in diesem Zeitraum eine leichte Zunahme. Der Experte betonte, dass die Klimamodelle zwar immer feiner werden, aber zum Modellieren bestimmte Annahmen bezüglich der künftigen Klimage-missionen gemacht werden müssen.

Bei einem optimistischen Szenario sei für Luxemburg mit einem weiteren Temperaturanstieg von 0,9°C bis 2100 zu rechnen, bei einem pessimistischen mit 3,0°C bis 2100.

Nicht nur Risiken, sondern auch Chancen durch Klimawandel

Dr. Molitor widmete sich den direkten Folgen des Klimawandels für den heimischen Weinbau. Er kam zunächst auf eine Studie der Universität Trier zu sprechen, bei der Winzer zu ihrer Einschätzung bezüglich des Klimawandels befragt wurden. Erwartet

wird zum einen eine Zunahme bei den Parametern Hitzeperioden, Hagel/ Starkregen und hohe Temperaturen. Aber es gibt auch positive Aspekte. Die Praktiker nennen mehrheitlich vor allem die Erweiterung der Sortenmöglichkeiten sowie den günstigen Einfluss auf Reife und Weinqualität. So ist es letztlich nicht ungewöhnlich, dass drei Viertel der Winzer in ihrer Gesamtbewertung angeben, dass der Klimawandel sowohl positive als auch negative Folgen hat, das Pendel für sie also weder in die eine noch in die andere Richtung ausschlägt.

Dass der Klimawandel schon jetzt Fakt ist, erläuterte Dr. Molitor im Folgenden, denn schlechte Weinjahre durch unzureichenden Wärmegenuss (ein in den vergangenen Jahrhunderten häufiger anzutreffendes Phänomen) bleiben seit Beginn des 21. Jahrhunderts aus (s. nebenstehende Grafik). Während es noch im 20. Jahrhundert vorkam, dass selbst Rivaner nicht ausreichte, hat man nun die Situation, dass Pinotsorten und Riesling in fast allen Jahren ausreifen. In den besonders warmen Jahren erreicht der maßgebliche Huglin-Index bei uns bereits Werte, die für typisch südländische Sorten wie Grenache und Syrah ausreichen würden.

Der LIST-Wissenschaftler kam im Folgenden auf die Prognosen für den Standort Remich zu sprechen. Das Spätfrostrisiko wird in den nächsten Jahrzehnten nicht geringer werden, weil der Austrieb tendenziell immer früher erfolgt. Doch in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts ist aufgrund der milder werdenden Winter mit einer Abnahme dieses Risikos zu rechnen.

Risiken durch Reifeverfrühung

Gegenüber der Periode 1971-2000 wird sich der Reifebeginn im Zeitraum 2061-90 um über zwei Wochen verfrühen. Doch diese Verfrühung der Reife birgt auch Risiken. Für die Reifephase wird eine bedeutende Änderung bei der Durchschnittstemperatur vorhergesagt, für den o.a. Zeitraum eine Erhöhung um 5,1°C, somit quasi das Doppelte der Temperaturerhöhung für das ganze Jahr (2,6°C). Fallen in dieser Phase warme Bedingungen und hohe Niederschläge zeitlich zusammen, so steigt das Fäulnisrisiko deutlich und im schlechtesten Fall ist eine „Turbolese“ nötig, bei der die drohende Fäulnis den Lesetermin diktiert. Ein ungünstiges Zusammentreffen von hohen Niederschlägen und relativ hohen Temperaturen ist in den letzten 20 Jahren häufiger der Fall gewesen, wie der LIST-Wissenschaftler darlegen konnte. Von den 17 Jahrgängen im Zeitraum 2000-2016 fielen elf unter die Kategorie feucht-warm.

Weitere potenzielle Risiken durch zu hohe Temperaturen während der Reife sind eine abnehmende Aromenbildung (resp. Anthocyanbildung bei roten Sorten) und ein beschleunigter Äpfelsäureabbau. Die Aromenreife wird zum einen durch das Ausbleiben kühler Nächte gefährdet und zum anderen durch zu hohe Mostgewichte, die einen früheren Lesetermin nahelegen.

Daniel Molitor sprach bezüglich dieser zu erwartenden Klimawandelfolgen über potenzielle Anpassungsstrategien. Da ist zum einen der Standortwechsel zu nennen, und zwar hin zu entweder nördlicheren oder höher gelegenen, kühleren bzw. weniger sonnenexponierten Standorten. Beim Pflanzmaterial könnte man auf spätreifende Sorten bzw. reifeverzögernde Unterlagen zurückgreifen. Und schließlich gibt es noch

die Möglichkeit, die Reife durch das Erziehungssystem, die Laubwandgeometrie bzw. die Kulturführung zu verzögern. Minimalschnittsysteme gelten beispielsweise als reifeverzögernd.

Weißwein von der Our als künftige Option

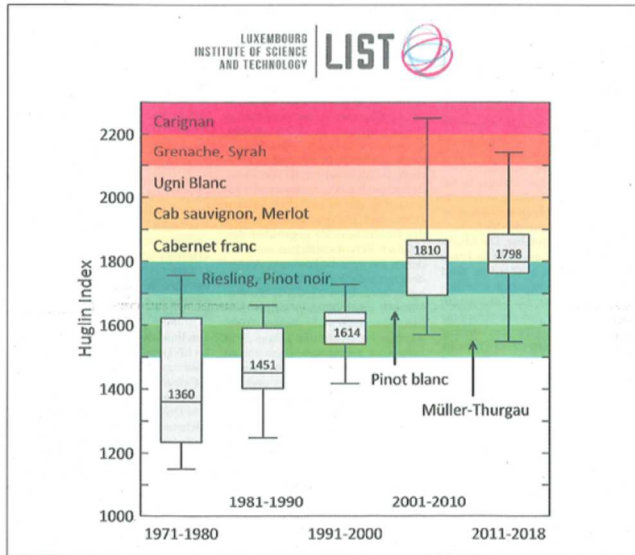
Der LIST-Wissenschaftler zeigte anhand des Projekts TerroirFuture auf, dass historische Weinbaustandorte durchaus wiederbelebt werden könnten. Bei diesem Projekt wird der Anbau der Piwi-Sorte Cabernet Blanc an den Standorten Remich und Vianden verglichen. Schon heute reichen die Bedingungen in Vianden aus, um Rivaner und Pinot blanc



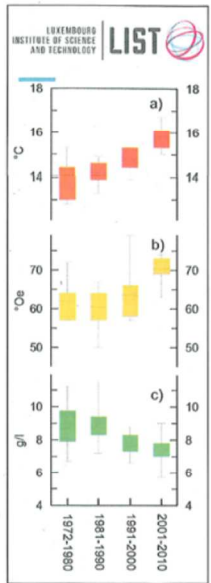
abreifen zu lassen. Laut dem LIST-Wissenschaftler war am Standort Vianden im dreijährigen Mittel eine Reifeverzögerung von zwei Wochen zu beobachten. „In Vianden ist es eine halbe Rebsorte kühler“, stellte Daniel Molitor mit Blick auf den verminderten Wert beim Huglin-Index im Vergleich zu Remich fest. Aber im Frostjahr 2017 waren deshalb am Our-Standort auch keine Frostschäden zu verzeichnen. Das 1-Blatt-Stadium wurde dort erst am 10. Mai erreicht. Beim Weintyp ergaben sich in Vianden

den Aromenschwerpunkte aus dem Bereich Grüner Spargel und Grüner Paprika, in Remich hingegen aus dem Bereich tropische Früchte und Quitte.

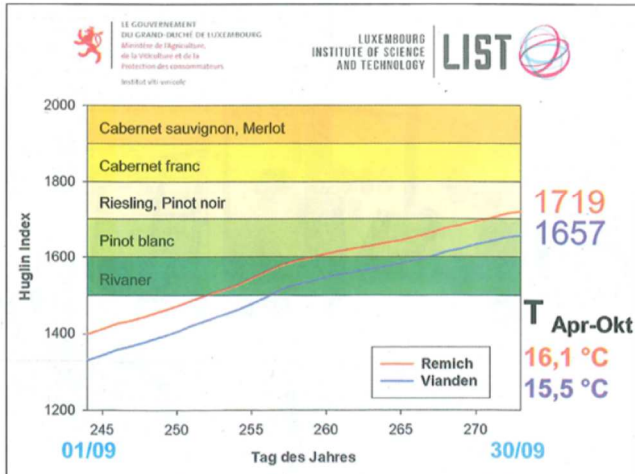
Zum Abschluss wies Daniel Molitor noch auf Clim4Vitis hin, ein dreijähriges EU-Forschungsprojekt, bei dem es um die Klimawandelfolgen auf den europäischen Weinbau und den diesbezüglichen Wissenstransfer in die Praxis geht. Die Projektpartner kommen aus Portugal, Italien, Deutschland und Luxemburg (LIST).



Werte für den Huglin Index am Standort Remich von 1971-2018
 • Wärmegenuss zumeist nicht mehr limitierender Faktor
 • Potenzial Ausreifung traditioneller Sorten gegeben
 [Verändert nach Molitor et al. (2014)]



Werte der
 - durchschnittlichen Lufttemperatur während der Vegetationsperiode (1. April - 31. Oktober) am Standort Remich (a),
 - der Mostgewichte (b) und
 - der Gesamtsäuregehalte (c) in den Mostanalysen
 in den vergangenen vier Dekaden bei der Rebsorte Rivaner im Luxemburger Weinbaugbiet. [Molitor et al. (2014)]



Forschungsprojekt TerroirFuture: Vergleich der Huglin Index-Werte für die Standorte Remich und Vianden im Projektjahr 2016.

Alcovit 04-05/2019

Luxemburger Weinbautag

Am 06. Februar 2019 lud der Wenzerverband bereits zum 11. Mal anlässlich des Luxemburger Weinbautages in das Centre culturel der Rieslinggemeinde Wormeldange. Das vielfältige Programm lockte ca. 150 Besucher aus dem In- und Ausland an.

Das Fachpublikum bestand größtenteils aus Winzern, daneben waren außerdem Vertreter aus Politik, Weinhandel und der Beratung vertreten. In seiner Ansprache begrüßte Herr Marc Weyer, der Präsident des Winzerverbandes, neben dem Landwirtschaftsminister, Herrn Romain Schneider, zunächst die zahlreichen Besucher, bevor er auf den außergewöhnlichen Jahrgang 2018 zu sprechen kam. Er betonte die herausragende Qualität des Lesegutes, das nun aber auch vermarktet werden müsse und führte an, dass die Entwicklung und Umsetzung von Marketingstrategien zukünftig gefördert werden muss.

Nach der Begrüßungsansprache stand mit der traditionellen Rede des Landwirtschaftsministers ein weiterer weinbaupolitischer Programmpunkt auf dem Plan. Der Minister für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung, Romain Schneider, betonte in seiner Rede, dass die Regierung unterstützend hinter dem Weinbausektor stehe. Das Produkt der Winzer sei nicht allein der entstehende Wein, sondern auch der positive Einfluss ihrer Arbeit auf die ganze Region. Mit dem geplanten Bau des „Centre Mosellan“ in Ehenen sollen konkrete Maßnahmen umgesetzt werden, die den Tourismus in der Region fördern



Romain Schneider, Minister für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung.

und stärken sollen. Des Weiteren stehe Umweltschutz, Klimawandel und Digitalisierung ganz oben auf der Prioritätenliste des Ministeriums. In diesem Zusammenhang begrüßte er, dass bereits erste Forschungsprojekte im Bereich Digitalisierung finanziert werden konnten und auch, dass sich der Berufsstand dieser Entwicklung gegenüber offen zeige.

Bevor der Minister den Winzern gute Witterungsbedingungen für einen exzellenten Jahrgang 2019 wünschte, betonte er die große Bedeutung des Weinbautages bezogen auf den Wissenstransfer. Dieser finde bei dem jährlichen Termin nicht nur seitens der Forschung in Richtung der Winzer, sondern auch umgekehrt statt, somit sei er eine einzigartige Plattform für den Austausch zwischen Theorie und Praxis.

Im Verlauf des Tages wurden in Fachvorträgen aktuelle ökologische, weinbauliche und umweltpolitische Fragestellungen aufgegriffen. Dazu wurden in Kooperation mit dem IVV Experten aus der Beratung, Industrie und Forschung eingeladen. Der Fokus lag in diesem Jahr, neben der bereits erwähnten Digitalisierung, auf dem Klimawandel, dem sich gleich mehrere Vorträge widmeten. Der Meteorologe Marc Krier blickte auf die extreme Witterung des Jahres 2018 zurück, für den Standort Findel handelte es sich bei dem vergangenen Jahr sogar um das Wärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Dr. Andrew Ferrone von der ASTA bestätigte den Temperaturanstieg und führte aus, dass zwischen den Vergleichsperioden 1861-90 und 1981-2010 eine Differenz von plus 1,3° C liegt.

Auch in dem Beitrag von Dr. Jürgen Junk und Dr. Daniel Molitor (LIST) wurde das Thema Temperaturanstieg aufgegriffen. Im Rahmen ihrer Forschung erstellen sie verschiedene Szenarien um mögliche Klimaentwicklungen darzustellen. In einem optimistischen Szenario wird ein Temperaturanstieg von 0,9° C angenommen, in einem pessimistischen Szenario sogar 3° C. Eine problematische Folge der steigenden Temperaturen sieht Dr. Daniel Molitor in einem um bis zu zwei Wochen früherem Reifebeginn der Trauben, wodurch die Reifephase bei deutlich wärmeren Temperaturen abläuft. Besonders kritisch wird

es, wenn in dieser Phase zusätzlich Niederschläge auftreten. Die Trauben reifen dann bei feucht-warmen Witterungsbedingungen, wodurch das Fäulnisrisiko steigt. Tritt dies ein, wird der Lesetermin nicht von der erreichten Reife, sondern von dem Gesundheitszustand der Trauben vorgegeben und die Winzer müssen ggf. mit einer sogenannten Turbolese reagieren. Als Lösungsansatz weist Dr. Molitor auf verschiedene Anpassungsstrategien hin, die dazu beitragen sollen die Reife zu verzögern. Er nennt u. A. alternative Erziehungssysteme mit einer reduzierten Blattfläche, Berücksichtigung spätreiferer Sorten bei Neupflanzungen, Ausweichen auf nörd-

**Text: Mareike Schultz,
Institut viti-vinicole**

lichere, höher gelegene Standorte. Unter dem Themenschwerpunkt Digitalisierung gab Achim Rosch (DLR Mosele) einen Überblick, welche Apps derzeit als Hilfsmittel im Keller eingesetzt werden können. Er spricht von „digitalen Inseln“, da die einzelnen Anwendungen jeweils nur Teilbereiche abdecken und keine Komplettlösung darstellen. Bis eine komplette Vernetzung aller Prozesse, eine sogenannte „SmartWinery“ möglich ist, sieht er in dem momentan bestehenden Angebot eine gute Möglichkeit, Produktionsprozesse zu verbessern und erleichtern. Freimut Stephan (DLR Mosele) gab ein Update zu seinen Erfahrungen des Sprühdrohneinsatzes. Die Erfahrung aus bisherigen Versuchsjahren zeigte, dass die Behandlung mit der Drohne gegenüber der Vergleichsvariante Bodenbehandlung eine leicht verminderte Wirksamkeit gegenüber pilzlichen Schädereignissen erzielte. In den Versuchsjahren konnte eine Flächenleistung von 0,55 ha/h erreicht werden, die mit Weiterentwicklung der Technik laut Stephan zukünftig gesteigert werden soll.

Frau Dr. Retzlaff (Uni Trier) gab einen Einblick in laufende Arbeiten im Bereich der Krankheitserkennung mittels Drohnen im Weinberg. Im Rahmen des Projektes BioVIM wird derzeit untersucht, ob der Einsatz hyperspektraler Blatt-Messungen für die Früherkennung von Peronospora geeignet ist. Dazu werden Luftbilder erstellt und mit Boden-Begleitmessungen abgeglichen. Aus den bisher erfassten Daten zeich-



Landwirtschaftsminister Romain Schneider, Dr. Roby Ley, Serge Fischer & Marc Weyer begutachten die Sprühdrohne.

nen sich Zusammenhänge zwischen den Drohnen- und Boniturdaten ab, die aber in den kommenden Jahren noch genauer untersucht werden müssen. Ein weiteres Projekt, das 2019 unter dem Namen MonESCA in 2019 startet, soll dazu beitragen, Erkenntnisse zu dem Auftreten und der Verbreitung von ESCA zu gewinnen. Mittels Fernerkundung wird an

verschiedenen Standorten untersucht, wie sich der Befall von ESCA entwickelt. Ziel des Projektes ist eine Methode für eine regelmäßige automatisierte Befallshebung zu entwickeln, die Analyse möglicher Auslöser für das Auftreten von ESCA und das Ausarbeiten einer Handlungsstrategie.



Achim Rosch referiert über Möglichkeiten der Digitalisierung.

De Letzebuenger Bauer (17.05.2019)

Spätfrostschäden in den Weinbergen entlang der Mosel

Am ersten Maiwochenende 2019 kam es entlang der luxemburgischen Mosel lokal zu massiven Spätfrostschäden in den Weinbergen. Erste Schätzungen des Weinbauinstitutes in Remich gehen davon aus, dass im gesamten Gebiet etwa 40 bis 50 Prozent der Triebe erfroren sind. Damit

liegen die Schäden in Luxemburg voraussichtlich deutlich höher als im Spätfrostjahr 2017, in welchem es europaweit zu ökonomisch bedeutsamen Schäden im Weinbau kam. Für Luxemburg deuten sich die stärksten Spätfrostschäden seit mehr als 20 Jahren an (Abb. 1).

Die überdurchschnittlich warme Witterung im April 2019 hatte einen frühen Austrieb in den Weinbergen zur Folge, so dass Anfang Mai vielfach bereits das 2- bis 5-Blattstadium erreicht war. Ein aus Norden kommender Kaltlufteinbruch (Sturmtief Herbst) führte am frühen Morgen des 5. Mai

am Standort Remich (Wetterstation am Weinbauinstitut) zu Minimaltemperaturen von $-2,0^{\circ}\text{C}$ in 2 m und $-2,5^{\circ}\text{C}$ in 20 cm Messhöhe. An der Wetterstation Wormeldingen lagen die Minimaltemperaturen in 20 cm Höhe mit $-3,4^{\circ}\text{C}$ sogar noch niedriger.

Die folgende Abb. 2 zeigt den Lufttemperaturverlauf in 20 cm Höhe am Standort Remich im Zeitraum 4. bis 7. Mai 2019.

Deutlich erkennbar ist die lange Phase mit Temperaturbedingungen unter

Die Schäden übersteigen hier deutlich die der Spätfrostjahre 2011 und 2017. Auch in anderen Teilen des Anbaubereichs sind teilweise fast komplett erfrorene Weinberge vorzufinden. Jedoch findet man häufig in nur wenigen hundert Meter Entfernung von solch massiv geschädigten Weinbergen auch Flächen, die komplett oder nahezu komplett von Frostschäden verschont geblieben sind. Besonders in Moselnähe sind die Schäden häufig weniger stark ausgeprägt. Möglicherweise wurden stärkere Schäden hier durch die dämpfende Wirkung des warmen Wasserkörpers der Mosel und aufkommenden Nebel verhindert.

Allgemein sind typische Frostlagen in den Seitentälern und Muldenlagen am Hangfuß, sowie höher gelegene Ebenen am stärksten betroffen. Hier ist die Frostgefahr durch die der Orographie folgende, abfließende Kaltluft aus Kaltluftproduktionsgebieten (z.B. höher gelegene Acker- und Wiesenflächen) bei entsprechenden Witterungslagen deutlich erhöht. Kaltluftabflüsse entwickeln sich besonders gut bei wolkenlosen Bedingungen und geringen Windgeschwindigkeiten (sogenannten Strahlungs Nächten) und folgen in der Regel dem natürlichen Gefälle. In Gebieten, in denen die Kaltluft entweder gar nicht abfließen kann, oder der Zufluss größer ist als der Abfluss, bilden sich sogenannte Kaltluftseen. Diese Gebiete weisen eine bedeutend höhere Frostgefahr mit den entsprechend negativen Folgen für den Winzer auf. Besonders an den Schädigungen des Jahres 2019 ist jedoch, dass sich diese nicht ausschließlich auf die klassischen „Frostlöcher“ beschränken (wenn auch diese häufig am stärksten betroffen sind), sondern auch viele Weinberge starke Schäden zeigen, die in den letzten Jahrzehnten bei vergleichbaren Wetterkonstellationen häufig verschont blieben.

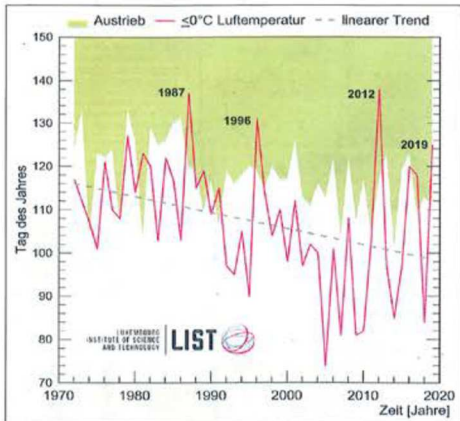


Abb. 1: Termine des Austriebes (Tage des Jahres) sowie die Termine des letzten Frostereignisses (Lufttemperatur in 2 m $\leq 0^{\circ}\text{C}$) in Remich in den Jahren 1972 bis 2019 (Datenquelle: Weinbauinstitut, Remich).

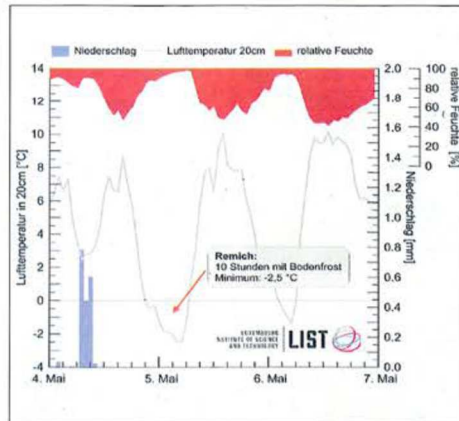


Abb. 2: Stündliche Niederschlagssummen, Temperaturverlauf in 20 cm Höhe und relative Feuchte am Standort Remich im Zeitraum 4. bis 7.5.2019 (Datenquelle: agrimeteo.lu)

0°C in 20 cm Höhe in der Nacht vom 4. auf den 5. Mai. Insgesamt herrschten am Standort Remich in 20 cm Höhe in dieser Nacht über zehn Stunden Temperaturen im Frostbereich vor.



Abb. 3: Eibling-Parzelle am Standort Remich mit nahezu 100%iger Frostschädigung (Aufnahmedatum: 8.5.2019)



Abb. 4: Schadenssymptome in der Rebsorte Pinot gris (Aufnahme: Remich, 8.5.2019).

Als Folge dieser langen Frostphase kam es hier, sowie an vielen anderen Standorten entlang der luxemburgischen Mosel, zu teilweise massiven Erfrierungen an den jungen Trieben. Am Standort Remich sind in den Versuchsfeldern des Weinbauinstitutes teilweise bis zu 100% der jungen Rebtriebe abgestorben (Abb. 3).

In den betroffenen Weinbergen zeigen sich je nach Schädigungsgrad die Frostsymptome entweder (i) durch das komplette Absterben der Triebe oder durch (ii) Erfrierungen an den Triebspitzen, den

(Fortsetzung auf Seite 8)

De Letzebuenger Bauer (02.08.2019)

Rekordhitze mit Sonnenbrand- schäden in den Weinbergen

Die außergewöhnliche Hitzewelle mit hoher Einstrahlung Ende Juli hat in den Weinbergen entlang der Mosel zu Verbrennungen an den heranwachsenden Trauben und teilweise auch an den Blättern geführt. Nach den Frostschäden Anfang Mai wurde somit der zu erwartende Ertrag in vielen Weinbergen bereits zum zweiten Mal in diesem Jahr durch ein Extremwetterereignis reduziert. Hoch aufgelöste regionale Klimaprojektionen für die Großregion zeigen, dass sowohl die Anzahl als auch die Intensität von Hitzewellen wie die aktuelle in der Zukunft häufiger zu erwarten sind und die Winzer vor wachsende Herausforderungen stellen wird.

Im Zeitraum zwischen dem 23. und 26.7. herrschten Maximaltemperaturen von deutlich über 30°C in der

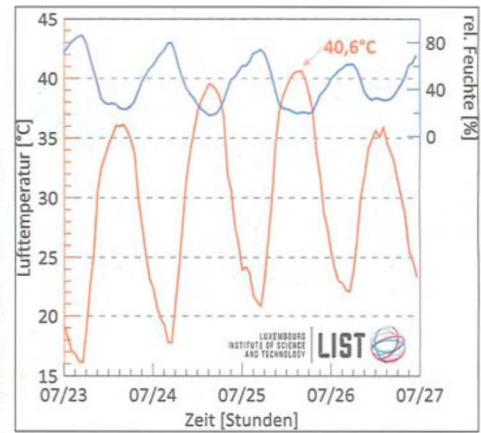
gesamten Moselregion. Die seit Jahresbeginn absolute Höchsttemperatur wurde am Standort Remich am 25.7.2019 mit 40,6°C gemessen und somit der bisherige Temperaturrekord seit Beginn der Messungen im Jahre 1970 von 40,5°C am 8.8.2003 knapp gebrochen.

Neben den extremen Temperaturen führten die extreme Einstrahlung, sowie die niedrige Luftfeuchtigkeit (<20%) in den späten Nachmittagsstunden zu deutlichen Verbrennungen im gesamten Anbaugebiet.

Verbrennungen sind besonders an den West-exponierten Zeilenseiten zu finden, welche am späten Nachmittag (Maximaltemperatur am 25.7.2019 um 16 Uhr) extrem hohen Temperaturen in Kombination mit hoher

Einstrahlung ausgesetzt waren. Besonders freihängende Trauben auf der Westseite sind am stärksten geschädigt, während innenliegende, bedeckte Trauben sowie Trauben auf der Ostseite nicht sichtbar geschädigt wurden.

Entgegen den Beobachtungen vergangener Jahre traten die Verbrennungen nicht vorwiegend beim Riesling, sondern verstärkt bei den Sorten der Pinot-Gruppe wie Pinot noir, Pinot blanc und Pinot gris auf. Hier zeigten sich die ersten Schädigungen häufig bereits am Morgen des 25.7.2019 in Form von punktförmigen Nekrosen, während beim Riesling das aus anderen Jahren bekannte Symptom des Einsinkens der exponierten Beerenhälften zu beobachten war.



Stundenmaxima der Lufttemperatur, sowie Stundenmittel der relativen Luftfeuchtigkeit an der ASTA-Station Remich, Zeitraum 23.7.2019 bis 27.7.2019, Datenquelle www.agrimeteo.lu



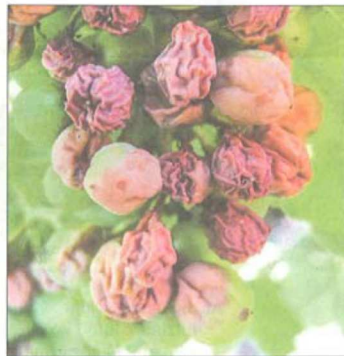
Pinot gris mit schwerem Sonnenbrandschaden in Remich



Pinot blanc mit Sonnenbrandschaden im frühen Stadium in Remich



Grüner Veltliner in Remich: Schaden am Blatt



Sonnenbrand an Pinot noir

Schädigungen waren an vielen Rebsorten sichtbar, wobei tendenziell Rivaner, Elbling und Gewürztraminer, zumindest am Standort Remich, weniger Symptome zeigten. Ein klarer Zusammenhang zwischen dem Maß der Schädigung und dem Grad oder Termin einer Teilentblätterung war zumeist nicht zu erkennen. Jedoch zeigte sich, dass Rebstöcke mit beginnenden Esca-Symptomen stärkere Sonnenbrand-Schäden an den Trauben aufwiesen.

Befallene Beeren werden in der Folge komplett eintrocknen. Nach den Erfahrungen der letzten Jahre stellen diese

komplett eingetrockneten Beeren kein zusätzliches Fäulnispotenzial dar, sollten jedoch im Herbst von der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen werden, um einen unerwünschten Eintrag von Bitterstoffen zu vermeiden.

Daniel Molitor
Jürgen Junk

Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST),
"Environmental Research and Innovation (ERIN)" Department
41, rue du Brill,

L-4422 Belvaux, Luxembourg
daniel.molitor@list.lu
Tel.: 00352 275 888 5113

Luxemburger Wort (23.10.2019)

Vollreif und mit viel Alkohol

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird.

Von Volker Hingebach

Reife. Der Klimawandel ändert die Schwerkraft der Reifezeit. Das erweist sich als ein Vorteil, sagt ein Blick auf den Wein. Viel Sonne im Herbst und die warmen Sommer lassen die Reben schneller reifen und sorgen für einen höheren Zuckergehalt. Obwohl auch die Winter etwas milder sind, sind sie für die Reben ein Vorteil, weil sie sich besser erholen können. In den kommenden Jahren wird es noch mehr davon geben, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.



Wissenschaftler David Mohler (links) und Klimaforscher Jürgen Jank (rechts) in ihrem Studienort in der Mosel.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.



Die Reife Moselle: Durch den Klimawandel wird das Lesezeit in jedem Jahr vorrücken.



Ein Klimaforscher, sondern ein Sensor-Zähler. Mit ihm ermittelt er die Temperatur und Feuchtigkeit der Trauben.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Der Klimawandel macht die Mosel ein Stückchen mediterraner. Zwei Wissenschaftler forschen daran, wie der Wein der Zukunft schmecken wird. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.

Ausbreitung durch Klimawandel

Die Ausbreitung von Weinreben durch den Klimawandel. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler. Die Reben werden reifer und die Weinlese wird früher sein. Das ist ein Vorteil, sagt der Wissenschaftler.



Durch den Klimawandel reifen die Trauben früher und sind reifer als früher.

De Letzebuenger Bauer (28.02.2020)

[LIST PRESS ARTICLE]

12. LËTZEBUGER WÄIBAUDAG



De Letzeburger Bauer, 28/02/20:

Vierter Teil unseres Berichts.- Am 5. Februar fand der 12. Weinbautag im Wormeldinger Kulturzentrum statt. Nachdem wir in der letzten Nummer auf die Klimawandelthematik eingegangen sind, geht es im nachfolgenden vierten Teil um Drohnen im Weinbau, eine weintouristische Imagekampagne sowie Alkoholreduzierung.

Drohneinsatz zur Krankheitserkennung

Dem Einsatz drohnenbasierter Aufnahmen von Krankheiten im Weinbau war der Vortrag von Dr. Myriam Machwitz vom Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) gewidmet. Die Wissenschaftlerin erklärte, dass es sich bei den Forschungsarbeiten um eine Gemeinschaftsarbeit von verschiedenen Einrichtungen handelt. Zwei Projekte mit Drohnenfernerkundung werden derzeit bearbeitet: Monesca (ESCA) und Biovim (Peronospora). Beim Projekt Biovim wird das Laub bei verschiedenen Befallsstärken von Peronospora am IVV spektrometrisch untersucht. Zwecks Datengewinnung wird u.a. Peronospora-Befall künstlich induziert. Welche spektrometrischen Auffälligkeiten sind zu beobachten: Das Infrarot-Spektrum ändert sich in Form und Höhe der Kurve je nach Befallsstärke. Die Expertin vom LIST führte hierzu aus, dass bei der Auswertung die Befallsstärke mit verschiedenen Farben visualisiert wird, von grün (befallsfrei) bis rot (stark befallen).

2017 ergab sich ein hoher Befall von bis zu 50% und die Schätzung des Schadens war mit 95% Wahrscheinlichkeit besonders gut. Schrägaufnahmen von der Seite erwiesen sich 2017 als nützlicher, während in den dünnen Beständen des Jahres 2018 die Aufnahmen direkt von oben die besten Ergebnisse brachten. 2018 handelte es sich um einen mittleren Befall mit maximal 15% und die Schadensschätzung mittels Drohne war noch recht genau. Dies war im letzten Jahr gänzlich anders. Der Befall lag unter 5% und nur in einem Beispiel war eine brauchbare Schätzung möglich.

Monesca wurde 2019 gestartet. Dieses dient einem ESCA-Monitoring an der Luxemburger Mosel durch Fernerkundung. Der tatsächliche Zustand auf den Praxisflächen wird automatisch erfasst. Daraus soll auch abgeleitet werden, wie groß die ökonomische Bedeutung der Krankheit ist, welche sich immer stärker ausbreitet.

Über die Möglichkeiten eines digitalen Einzelstockinventars im Rahmen von Monesca referierte im Anschluss Gilles Rock von Geocoptix. Diese ist nur machbar mit einer hochauflösenden Drohnenfernerkundung, wo große Flächen binnen kurzer Zeit abgeflogen werden können. Im Sommer kann man auf Aufnahmen die Einzelstöcke mitunter nicht erkennen und für Winteraufnahmen muss eine eigene Methodik entwickelt werden, um die Daten für die Vegetationszeit abzuleiten. Ein weiterer Punkt ist die Spektralerfassung auf Einzelstockebene, um sehen zu können, ob der Stock unter Stress leidet. Der Experte zeigte eine Aufnahme aus Niederdonven und erläuterte, dass man daraus ablesen kann, wo sich gesunde Stöcke befinden, wo die Fotosynthese bereits geringer ist und wo es Fehlstellen gibt.

7.4 Teilnahme an sonstigen Veranstaltungen

Wäibaudag, 6. Februar 2019, Wormeldange

On 6 February 2019, the Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) took part in the annual assembly of the **Luxembourg wine grower community**. Taking place on the first Wednesday each February in the town hall of Wormeldange, Luxembourg, this traditional event is composed of a series of invited talks covering new **legal regulations**, **technical innovations** and **latest research results** that affect **viticulture**. It is organised by the Luxembourg wine grower association (Fédération des associations viticoles) and the Luxembourg's Wine Institute (Institut Viti-vinicole - IVV).

In the 2019 edition, Jürgen Junk and Daniel Molitor, two LIST researchers in the agro-environmental systems area, presented results from two research projects: Terroir future "Impact du changement climatique sur la viticulture et la typicité du vin d'appellation d'origine protégée (AOP) Moselle Luxembourgeoise – estimation des risques et stratégies d'adaptation possibles" and Clim4Vitis "Climate Change Impact Mitigation For European Viticulture". While the first, funded by IVV, has recently been closed, the second, funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, has just started in October 2018. Thanks to them, researchers could understand how climate change will affect viticulture at the national and the European level and develop adaptation strategies.

Aspects of the theoretical background of **climate model ensembles** and how they are used; selected **consequences** currently expected in the Luxembourgish wine growing area due to climate change as well as potential **adaptation strategies** were discussed by LIST researchers.



Text und Foto: Dr. Marco Beyer (LIST)

Clim4Vitis Launch-Event, 18.-21. Februar 2019, Vila Real/Portugal

Mitte Februar 2019 fiel im portugiesischen Vila Real der Startschuss für das von der Europäischen Union im Rahmen des Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramms geförderte Projekt „Clim4Vitis“ (Fördernummer 810176). Clim4Vitis ist eine dreijährige „Coordination and Support Action“ zum Thema Klimawandelanpassung im europäischen Weinbau.

Koordiniert wird Clim4Vitis von der Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, in Vila Real/Portugal. Neben dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, PIK (Deutschland), der Sociedade Portuguesa de Inovação, SPI (Portugal) und der Università degli studi di Firenze (Italien) ist Luxemburg in Form des LIST (Luxembourg Institute of Science and Technology) im internationalen Projektkonsortium vertreten. Unterstützt wird das Konsortium durch einen mit internationalen Experten (H.R. Schultz, Hochschule Geisenheim University; B. Bois, Université de Bourgogne; I. Garcia de Cortazar-Atauri, INRA Avignon) besetzten Wissenschaftlichen Beirat.



Das internationale Projektkonsortium im durch den Klimawandel potentiell gefährdete Weltkulturerbe „Duorotal“ (Foto: UTAD).

Die Projektziele von Clim4Vitis sind:

- die Förderung des Wissenstransfers zwischen den Institutionen und Ländern,
- der Aufbau eines internationalen Forschungsnetzwerkes in den Bereichen Weinbau und Klima durch die Entwicklung von neuen Methoden und Werkzeugen zur Modellierung der Reaktion der Rebe auf sich verändernde Umweltbedingungen sowie
- die Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf den europäischen Weinbau.

So sollen auf europäischer Ebene:

- die Vorhersage und Analyse der Folgen des Klimawandels verbessert,
- die ökonomische Nachhaltigkeit des Weinbaus gesichert,
- die Versorgung des Weinbaus mit essentiellen Ressourcen für den Erhalt des Weinbaus in seinen traditionellen Anbaugebieten sichergestellt werden sowie
- neue Partnerschaften zwischen den wissenschaftlichen Institutionen und den Interessensvertretern der Weinwirtschaft entstehen.

Im Rahmen von Clim4Vitis sind unter anderem vier öffentliche, teilnahmekostenfreie Seminarserien zu den Themen „Modellierung im Weinbau“ (Februar 2019 in Vila Real, Portugal), „Methoden zur Erfassung von Klimafolgen“ (Juli 2019 in Florenz, Italien) , „Modellierung von pilzlichen und tierischen Schaderregern im Weinbau“ (Februar 2020 in Esch-sur-Alzette und Remich, Luxemburg) und „Vereinheitlichte Methoden zur Modellierung im Weinbau“ (September 2020 in Potsdam, Deutschland), thematische Kurse zum Thema „Weinbau und Klimawandel“, der Austausch von Mitarbeitern sowie Experten-Webinare im Projekt vorgesehen.



Seminarserie zum Thema “Modellierung im Weinbau“ im Rahmen des Clim4Vitis Launch-Events in Vila Real (Foto: UTAD).

Aktuelle Informationen zu den Projektzielen sowie den bevorstehenden Veranstaltungen sind auf der Projektseite www.clim4vitis.eu zu finden.

Text: Daniel Molitor und Mauro Sulis

Wäibaudag 2020, 6. Februar 2019, Wormeldange

Am 5. Februar 2020 fand im Kulturzentrum zu Wormeldange der 12. Lëtzebuerger Wäibaudag statt. Das LIST war unter anderem mit zwei Teilnehmern (Jürgen Junk und Daniel Molitor, unteres Bild, rechts) an der Podiumsdiskussion mit dem Titel „Klimawandel – Wie können wir uns anpassen?“ vertreten.

Text und Fotos: Marco Beyer