



Bestimmung der für die Esca-Anfälligkeit der Rebsorte Gamaret ausschlaggebenden pedoklimatischen Bedingungen

Vinciane Monod^{1,2}, Vivian Zufferey³, Matthieu Wilhelm², Olivier Viret⁴, Katia Gindro², Daniel Croll¹, Valérie Hofstetter^{✉2}

¹ Laboratory of Evolutionary Genetics, Institute of Biology, University of Neuchâtel, CH-2000 Neuchâtel, Switzerland

² Agroscope, Plant Protection, Mycology, 1260 Nyon, Switzerland

³ Agroscope, Viticulture, Avenue de Rochetaz 21, 1009 Pully, Switzerland

⁴ General Direction of Agriculture, Viticulture and Veterinary Affairs (DGAV), Department of Finances and Agriculture (DDFA), CH-1110 Morges, Switzerland

Um die stark variierende Anfälligkeit der Rebsorte Gamaret für die Esca-Krankheit zu verstehen, wurden in einer vierjährigen Studie die für die Krankheitsausprägung wichtigsten Umweltfaktoren (Klima, Pflanzenphysiologie und Boden) untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Wasserhaltekapazität des Bodens den stärksten Einfluss auf das Auftreten von Esca hat. Auch starke Niederschläge im Frühsommer sind für die Zunahme der Blattsymptome verantwortlich. Diese Forschungsarbeit bietet ein hilfreiches Modell für die Identifizierung der wichtigsten Umweltfaktoren für die Ausprägung von Esca-Symptomen bei Gamaret und anderen Rebsorten.

Material und Methoden

Die Studie wurde in 19 Rebbergen in vier Westschweizer Regionen durchgeführt (Abb. 1A). Um Störfaktoren in Bezug auf Sortenvariabilität, Rebalter und Schnittmethode zu minimieren, wurden 2003 alle Rebparzellen einheitlich mit *Vitis vinifera* L. cv Gamaret (eine Kreuzung aus Gamay und Reichensteiner) bepflanzt, wobei 3309C als Veredelungsunterlage diente. Alle Pflanzen wurden in derselben Rebschule mit homogenem Material veredelt und nach dem einfachen Guyot-Schnittsystem erzogen.

Die vor dem Versuch (2003–2017) erhobenen Daten zur kumulierten Pflanzensterblichkeit wiesen je nach Rebparzelle Schwankungen von 0 % bis 48 % auf (Abb. 1B). Aufgrund dieser Variabilität wurde die Rebsorte Gamaret als ideales Modell für die Untersuchung des Einflusses biotischer und abiotischer Faktoren auf das Auftreten von Esca ausgewählt. In vier aufeinanderfolgenden Jahren (2018–2021) wurden rund 300 Rebstöcke pro Rebparzelle von Ende August bis Anfang September, wenn die Symptome am sichtbarsten sind, auf Esca untersucht (insgesamt 5700 Pflanzen in der ganzen Rebanlage). Die Symptome wurden je nach Schwere in fünf Kategorien eingeteilt: 1) asymptomatische Pflanzen (keine erkennbaren Symptome), 2) schwache Blattsymptome (ein einzelner symptomatischer Trieb), 3) mittlere Blattsymptome (mehr als ein symptomatischer Trieb), 4) schwere Blattsymptome (alle Triebe weisen Symptome auf) und 5) Apoplexie. Der Anteil der befallenen Pflanzen pro Parzelle wurde jährlich gestützt auf die Anzahl der 2003 gepflanzten und im Beobachtungsjahr noch vorhandenen Rebstockwurzeln ermittelt.

Die Klimadaten (Niederschlag und Temperatur) für repräsentative Standorte der vier untersuchten Weinbauregionen stammten von <https://www.meteoswiss.admin.ch/>. Zudem wurden Daten aus früheren Jahren (1990–2017) erhoben, um eine Klimanorm für Vergleichsanalysen zu erstellen.

Zur Schätzung der Wasserhaltekapazität der einzelnen Parzellen wurden Löcher zwischen den Rebstockzeilen gegraben. In den meisten Parzellen (n=15) waren die Löcher 1,5 m tief und 1 m breit. In Parzellen mit tiefer reichenden Rebstockwurzeln wurden bis zu 2 m tiefe Löcher ohne Erreichen der Felsschicht ausgehoben. Die Wasserhaltekapazität wurde für jede Parzelle nach der von Letessier und Fermond¹ beschriebenen Methode berechnet.

Daneben wurden weitere physiologische und agronomische Daten wie Wasserstatus der Rebstöcke, Kohlenstoffisotopenzusammensetzung der Beeren bei der Ernte, Nährstoffgehalt der Blätter (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Kalzium und Magnesium), Beerengewicht und Zwischenfruchtanbau erhoben.

Ergebnisse

Bei dieser Publikation handelt es sich um eine gekürzte Fassung des in OENO

ONE veröffentlichten Artikels², s. hier nicht aufgeführte Abbildungen und Tabellen). Die gemessenen biotischen (Pflanzenphysiologie und Zwischenfruchtanbau) und abiotischen (Klima und Wasserhaltekapazität [Tabelle 1]) Variablen sowie das Auftreten von Esca wurden mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) zusammengefasst.

Laut den Ergebnissen der PCA (hier nicht dargestellt; s. Monod *et al.*, 2025²) ist die Wasserhaltekapazität des Bodens ein wichtiger Faktor für die Symptomausprägung. Daher wurde der Zusammenhang zwischen der Gesamtsterblichkeit seit der Anpflanzung der Rebstöcke (2003) und der Wasserhaltekapazität in den 19 Rebparzellen untersucht. Die lineare Regression ergab einen positiven Zusammenhang zwischen der Pflanzensterblichkeit und der Wasserhaltekapazität (Abb. 2).

Zusätzlich wurden die Pearson- und κ -Korrelationskoeffizienten (Paket verfügbar in R; 3) von 70 Variablen mit Esca-Inzidenz berechnet und diejenigen mit der höchsten Assoziation ausgewählt (Abb. 3). Die Summe der Symptome und die Niederschläge im Juni (Abb. 3A) wiesen den höchsten Pearson-Korrelationskoeffizienten auf ($R = 0,58$). Beide Korrelationskoeffizienten zeigen auch den positiven Zusammenhang mit dem im Juni beobachteten Niederschlagsregime. Die Gesamtniederschläge und die Abweichung von der Klimanorm für Regenfälle im Juni von 1991–2017 wiesen einen relativ hohen Zusammenhang mit den Esca-Inzidenzindizes auf (für Erstere laut beiden Korrelationskoeffizienten und für Letztere laut dem κ -Korrelationskoeffizienten, Abb. 3). Weitere relativ eng korrelierte Variablen waren die Zwischenfrüchte und der Chlorophyllgehalt.

Diskussion

Unser Hauptziel war es, Zusammenhänge zwischen verschiedenen pedoklimatischen Faktoren und der Prävalenz der Esca-Krankheit in verschiedenen Weinbauregionen zu untersuchen und diejenigen zu identifizieren, die die sehr unterschiedliche Anfälligkeit von Gamaret für Esca erklären. Dazu wurden jährliche epidemiologische Messungen zu Esca durchgeführt, verschiedene physiologische Indikatoren auf allen Rebparzellen genau überwacht und Bodenmerkmale sowie klimatische Bedingungen erfasst.

In den vier Beobachtungsjahren unterschied sich die Esca-Inzidenz jährlich und in den bioklimatischen Regionen. Die Variabilität der Krankheitsausprägung bei einer einzigen Rebsorte bestätigt die bereits früher getroffene Annahme, dass bestimmte abiotische Faktoren die Krankheitshäufigkeit beeinflussen³. Deshalb wurde untersucht, welche Faktoren die Häufigkeit und Schwere der bei Gamaret auftretenden Esca-Symptome beeinflussen.

Die Hauptkomponentenanalyse (2) zeigte einen Zusammenhang zwischen Esca-

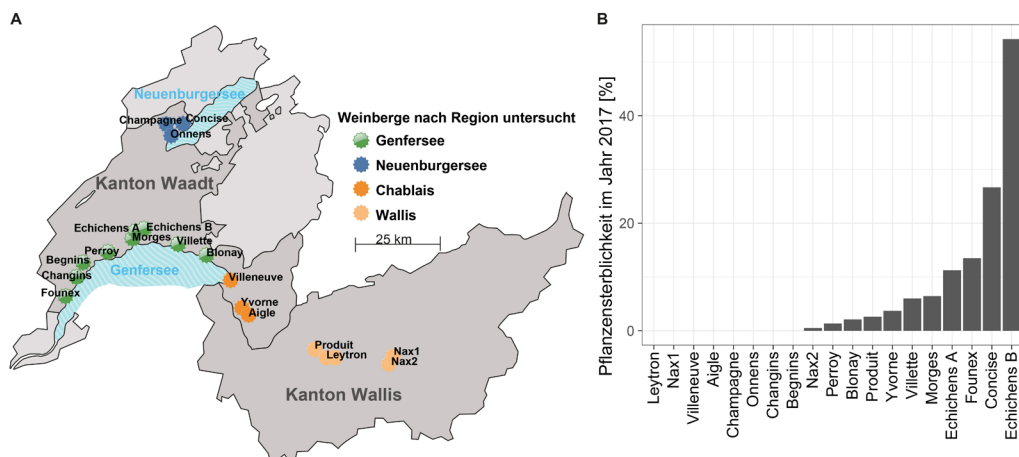


ABBILDUNG 1. A. Karte der beobachteten Gamaret-Rebberge in der Westschweiz. B. Kumulative Erneuerungsrate [% der Pflanzen] in den Rebbergen von 2003 bis 2017 in allen untersuchten Parzellen.

TABELLE 1. Versuchsstandorte in vier Weinbauregionen (Schweiz) sowie jeweilige Bodenbewirtschaftung (% Bodenbedeckung durch Zwischenfrüchte) und Wasserhaltekapazität (SWHC).

Standort	Region	Bodenart	% Zwischen-früchte	SWHC (mm)	SWHC-Kategorie
Founex	Genfersee	Kiesige Moränen	70	155	Mittel
Changins	Genfersee	Grundmoränen	70	110	Mittel
Begnins	Genfersee	Grundmoränen	70	130	Mittel
Perroy	Genfersee	Grundmoränen	70	155	Hoch
Morges	Genfersee	Grundmoränen	70	240	Hoch
Echichens A	Genfersee	Grundmoränen	70	230	Hoch
Echichens B	Genfersee	Grundmoränen	70	230	Hoch
Villette	Genfersee	Mergel-Sandstein	70	250	Hoch
Blonay	Genfersee	Mergel-Sandstein	70	200	Hoch
Onnens	Neuenburgersee	Jura-Sandstein	70	120	Mittel
Champagne	Neuenburgersee	Jura-Sandstein	60	95	Niedrig
Concise	Neuenburgersee	Jura-Sandstein	70	180	Hoch
Villeneuve	Chablais	Kiesige Moränen	70	90	Niedrig
Yvorne	Chablais	Kiesige Moränen	50	100	Niedrig
Aigle	Chablais	Kiesige Moränen	50	80	Niedrig
Produit	Wallis	Tonschiefer	0	160	Hoch
Leytron	Wallis	Steinige Moränen	0	100	Niedrig
Nax1	Wallis	Steinige Moränen	0	90	Niedrig
Nax2	Wallis	Kolluviale/steinige Moränen	0	140	Medium

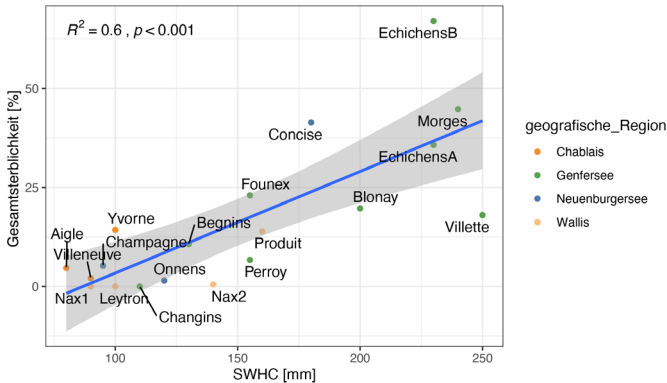


ABBILDUNG 2. Lineare Regression zwischen der Gesamtsterblichkeit pro Rebparzelle (2003–2021) und dem Wasserhaltekapazitätsindex für jede Parzelle.

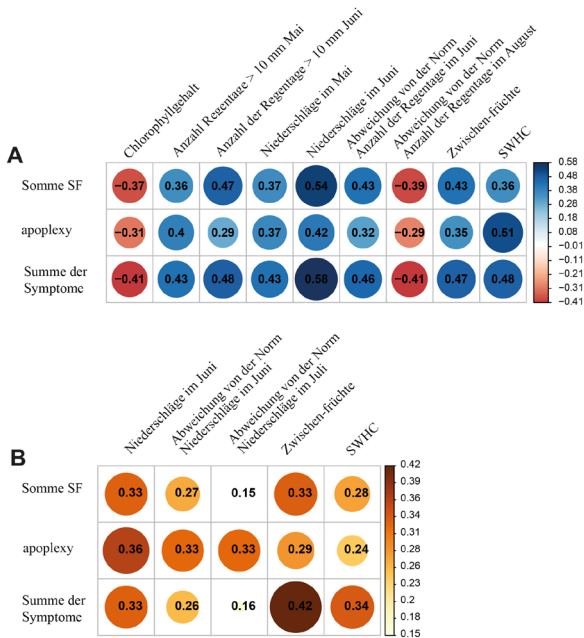


ABBILDUNG 3. Korrelationskoeffizienten-Matrix mit den Variablen, die am stärksten mit den Esca-Inzidenzindizes korrelieren: Anzahl der Pflanzen mit Blattsymptomen (FS_sum), Anzahl der Pflanzen mit apoplektischen Symptomen (apoplexy) und Anzahl der von Esca befallenen Pflanzen (FS_sum + apoplexy). Die Punktgrösse gibt die Stärke der Korrelation wieder. A. Variablen mit der stärksten Korrelation mit den Esca-Inzidenzindizes gemäss dem Pearson-Korrelationskoeffizienten B. Variablen, die gemäss dem τ -Korrelationskoeffizienten am engsten mit den Esca-Inzidenzindizes korrelieren.

Inzidenz und Wasserhaltekapazität. Zur genaueren Untersuchung wurden über einem Zeitraum von 18 Jahren Sterblichkeitsdaten erhoben und eine lineare Regressionsanalyse für alle Rebanlagen durchgeführt (Abb. 2). Die Analyse zeigte, dass im Chablais, wo alle untersuchten Rebparzellen eine niedrige

Wasserhaltekapazität aufwiesen, die Sterblichkeit der Rebstöcke am geringsten war (Tab. 1; Abb. 1 und 2). In der Genferseeregion, wo die Rebparzellen auf Böden mit mittlerer bis hoher Wasserhaltekapazität angelegt sind, war die Sterblichkeit am höchsten. Im Wallis und in der Neuenburgerseeregion sind die Rebparzellen auf Böden mit heterogener Wasserhaltekapazität angelegt; dort wurde die höchste Sterblichkeit in Parzellen auf Böden mit der höchsten Wasserhaltekapazität verzeichnet. Unsere Ergebnisse bestätigen den Zusammenhang zwischen Wasserhaltekapazität und Sterblichkeit der Rebstöcke sowohl zwischen als auch in den Regionen, was mit aktuellen Studien übereinstimmt^{4, 5}. Zudem zeigen unsere Korrelationsanalysen (Abb. 3), dass die Krankheitsinzidenz mit Niederschlägen vor allem im Juni zusammenhängt. Wie von anderen Autoren bereits vermutet², scheinen regenreiche Sommer und insbesondere die Niederschlagsmuster von Mai bis Juli die Ausprägung von Esca-Symptomen zu begünstigen. Im niederschlagsreichsten Beobachtungsjahr 2021 wurde in drei der vier Weinbauregionen die höchste Anzahl an Blattsymptomen und Apoplexie-Ereignissen verzeichnet. Auf einen besonders regenreichen und kalten Mai folgte 2019 ein heisser Sommer sowie 2021 ein heisser und regenreicher Sommer (Daten nicht dargestellt; s. Monod *et al.*, 2025²). Unsere Ergebnisse stehen im Gegensatz zur vorherrschenden Auffassung, dass die Kombination aus hohen Temperaturen und Trockenheit die Pflanzenschäden verschlimmert³. Dagegen stimmen sie mit Erkenntnissen überein, wonach längere Trockenheit (wie im Wallis) die Anfälligkeit bestimmter Rebsorten für Esca anscheinend nicht verändert³. Womöglich ist dies ein Hinweis darauf, dass die Rebsorte Gamaret auf Böden mit hoher Wasserhaltekapazität empfindlicher auf Esca reagiert, in einem heissen und trockenen Klima jedoch weniger davon betroffen ist. Unsere Ergebnisse bieten den Winzern einige Anhaltspunkte für die optimale Auswahl der Parzellen für den Anbau der Rebsorte Gamaret, um das Auftreten von Esca zu minimieren. Die Schlussfolgerungen basieren auf einer vierjährigen Studie mit nur einer Veredelungsunterlage und sind daher lediglich begrenzt aussagekräftig. ■

1 Lelessier I & Fermond C (2004). Étude des terroirs viticoles vaudois (Suisse), Géopédologie. Zone pilote de La Côte : Appellations Bursinel, Vinzel, Luins et Begnins. Rapports SIGALES. https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/sol/fichiers_pdf/Cartographie_des_sols_viticoles_-_article_Agroscope.pdf

2 Monod, V., Zufferey, V., Wilhelm, M., Viret, O., Gindro, K., Croll, D., & Hofstetter, V. (2025). Identifying the pedoclimatic conditions most critical in the susceptibility of a grapevine cultivar to Esca disease. *OENO One*, 59(1). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2025.59.1.7659>

3 Fischer, M., & Peighami-Ashnaei, S. (2019). Grapevine, Esca complex, and environment: the disease triangle. *Phytopathologia Mediterranea*, 58(1), 17–37. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-25086

4 Calvo-Garrido, C., Songy, A., Marmol, A., Roda, R., Clément, C., & Fontaine, F. (2021). Description of the relationship between trunk disease expression and meteorological conditions, irrigation and physiological response in Chardonnay grapevines. *OENO One*, 55(2), 97–113. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4548>

5 Calzarano, Francesco, Di Marco, S., D'agostino, V., Schiff, S., & Mugnai, L. (2014). Grapevine leaf stripe disease symptoms (Esca complex) are reduced by a nutrients and seaweed mixture. *Phytopathologia Mediterranea*, 53(3), 543–558. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-15253

6 Bortolami, G., Gambetta, G. A., Cassan, C., Dayer, S., Farolfi, E., Ferrer, N., Gibon, Y., Jolivet, J., Lecomte, P., & Delmas, C. E. L. (2021). Grapevines under drought do not express Esca leaf symptoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(43). <https://doi.org/10.1073/pnas.2112825118>