



Die Reduzierung synthetischer Fungizide durch die Verwendung des normalisierten Differenzvegetationsindex (NDVI) als Frühindikator für das Risiko der *Botrytis*-Traubenfäule in Weinbergen

Marc Fermaud¹, Carolina Pañitur-De la Fuente², Jean Roudet¹, Nicolás Verdugo-Vásquez², Mario Herrera Défaz⁵, Jean Pascal Goutouly^{3,4}, César Acevedo-Opazo⁶, Héctor Valdés-Gómez⁵

¹ Inrae, UMR Save, Bordeaux Science Agro, ISVV, 33882 Villenave d'Ornon, France

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro de Investigación Intihuasi, Colina San Joaquín s/n, PO Box 36-B, La Serena, Chile

³ Inrae, UMR EGFV, ISVV, 33882 Villenave d'Ornon, France

⁴ Inrae, UEVB, ISVV, 33882 Villenave d'Ornon, France

⁵ Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Fruticultura y Enología, Santiago, Chile

⁶ Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2 norte 685, Talca, Chile

Bei der Entwicklung von Entscheidungshilfen für Landwirte sind Indikatoren zur Früherkennung und zur Vorhersage des Epidemierisikos entscheidend für die Optimierung von Vorsorgemaßnahmen, sowie für den Einsatz von chemischen und/ oder biologischen Pflanzenschutzmitteln. Im Weinberg ist die durch *Botrytis cinerea* verursachte Graufäule eine sehr schwerwiegende Krankheit mit einem komplexen, multifaktoriellen Zyklus. Diese Studie konzentriert sich auf zwei sehr wichtige Einflussfaktoren, die eine frühe Vorhersage des Epidemierisikos erlauben. Die Bedeutung dieser beiden Faktoren wird durch übereinstimmende Ergebnisse in zwei großen Wein produzierenden Ländern (Frankreich und Chile) gestützt, die global gesehen absolut gegensätzliche bodenklimatische Bedingungen vorweisen. Diese Studie stellt nicht nur die Auswahl an Frühindikatoren vor, sondern auch praktische Beispiele, wie sie im Weinberg gemessen werden können. Ein sehr wichtiger Schwerpunkt ist dabei der genaue Zeitpunkt, an dem solche landwirtschaftlichen Präzisionsmessungen durchgeführt werden sollten¹. Drei Risikoindikatoren zur Früherkennung wurden bewertet: i) ein Indikator, der mit der Pektin- und Tanninzusammensetzung der Beerenschale in Zusammenhang steht; ii) ein Indikator, der mit dem vom normalisierten Differenzvegetationsindex (normalised difference vegetation index, NDVI) geschätzten frühen Rebenwachstum verbunden ist; und iii) die Nutzung beider Indikatoren in Kombination mit meteorologischen Daten.

Die Versuche² wurden in zwei Weinbergen an Merlot-Reben durchgeführt: in der Region Nouvelle Aquitaine (Frankreich) am Standort „Grande Ferrade“ (Villenave d'Ornon), und in der Region Maule in Chile (Panguilemo). Die klimatischen Bedingungen in der chilenischen Testregion sind nicht besonders günstig für die Entwicklung der BTF², weshalb zusätzlich ein Versuch mit Sauvignon Blanc realisiert wurde, da diese Rebsorte besonders anfällig für *B. cinerea* ist. Der NDVI wurde unter Verwendung eines tragbaren GreenSeeker® RT-100 (Trimble Agriculture Division, Sunnyvale, Kalifornien, USA), wie von Drissi *et al.* (2009) beschrieben¹, gemessen.

Beziehungen zwischen den Komponenten der Beerenschale und dem Schweregrad der BTF zum Zeitpunkt der Ernte

Dass es signifikante Zusammenhänge zwischen der Anfälligkeit der Rebe gegenüber der BTF und dem Phenolgehalt in der Beerenschale gibt, wurde bereits in mehreren Laborexperimenten nachgewiesen^{3,4,5}. In der hier vorgestellten Studie² wurde zudem eine positive Beziehung zwischen dem Pektin Gehalt in der Beerenschale und der Häufigkeit und

Die *Botrytis*-Traubenfäule (BTF) ist eine der weltweit am häufigsten auftretenden Rebkrankheiten. Maßnahmen zur Bekämpfung dieser Krankheit beruhen noch immer weitgehend auf der Behandlung mit synthetischen Fungiziden in festgelegten Intervallen. Dies führt jedoch häufig zu Rückständen in den Trauben und in Weinen, die sich negativ auf die Umwelt und/ oder auf die menschliche Gesundheit auswirken können. Zur Verbesserung des BTF-Managements wurden Indikatoren zur Früherkennung der Krankheit entwickelt und in Feldversuchen bewertet, die zwischen 2010 und 2019 sowohl in Frankreich als auch in Chile durchgeführt wurden.

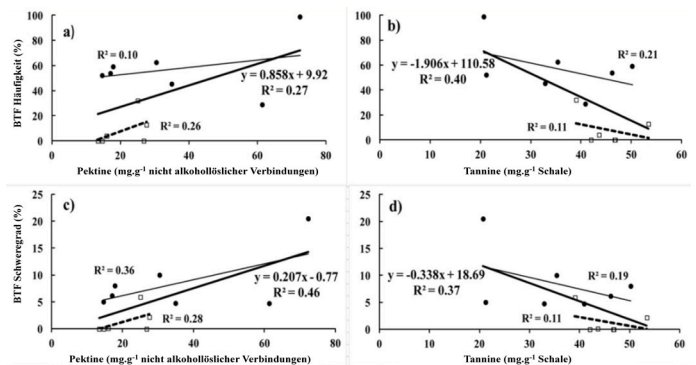


ABBILDUNG 1. Beziehungen zwischen der Häufigkeit der BTF (%) und der Konzentration an (a) Pektinen und (b) Tanninen in der Schale junger Beeren. Beziehungen zwischen dem BTF-Schweregrad (%) und der Konzentration an (c) Pektinen und (d) Tanninen in der Schale junger Beeren. Frankreich (●), cv. Merlot Noir; Chile (□), cv. Merlot Noir oder Sauvignon Blanc. Jeder Punkt entspricht der Daten einer Vegetationsperiode. Die schwarze, fettgedruckte Hauptlinie in der Mitte stellt die Beziehung aller Daten dar (Frankreich und Chile).

Schwere der BTF bei der Ernte beobachtet (Abbildung 1 a, c). Darüber hinaus wurde eine negative Beziehung zwischen dem Tanningehalt und der Krankheitsinzidenz und -schwere bei der Ernte festgestellt (Abbildung 1 b, d). Alle Korrelationen, einschließlich gepoolter Daten aus Frankreich und Chile, waren statistisch signifikant ($p = 0,05$), mit Ausnahme der Beziehung zwischen Pektin und der Häufigkeit des Auftretens der BTF.

Die Beziehungen zwischen dem vegetativen Wachstum und dem Schweregrad der BTF zum Zeitpunkt der Ernte

Das vegetative Wachstum der Rebe wurde relativ früh, zum Zeitpunkt als die Beere etwa das erbsengroße Stadium erreicht hatte, bewertet. Dies entsprach unter unseren Versuchsbedingungen etwa 40 Tagen vor der Veraison. Aus praktischer Sicht ist ein solcher Frühindikator ein wichtiges Werkzeug, welches es Erzeugern ermöglicht, kostengünstige NDVI-Messungen als Weinberg-Managementstrategie zur BTF-Kontrolle einzusetzen. Der Vorteil des NDVI ist, dass er auf genauen und reproduzierbaren Bewertungszeitpunkten beruht, die jedes Jahr gleich sind. Um die Planung der Messungen zu erleichtern, wurde ein temperaturabhängiges phänologisches Modell genutzt. Demzufolge war der beste Zeitpunkt für die Messung bei



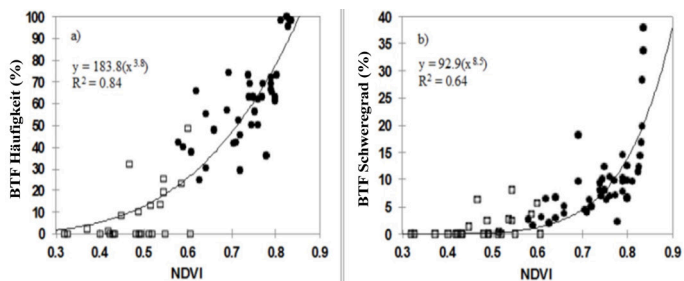


ABBILDUNG 2. Die Korrelationen in Frankreich (●) und Chile (□) zwischen (a) der Häufigkeit (%) und (b) des Schweregrades (%) der BTF nach einer früh in der Vegetationsperiode durchgeführten NDVI-Messung.

300 Wachstumsgradtagen (WGT) (Basistemperatur = 10 °C, ab der Vollblüte gezählt; d. h. wenn 50 % der Blütenköpchen abgeworfen sind, Code 23 nach der Phänologischen Skala von Eichhorn-Lorenz). Eine NDVI-Messung, die früh in der Vegetationsperiode stattfindet, vermeidet negative Effekte einer NDVI-Sättigung aufgrund der Schließung des Laubdaches. Laut verschiedener Studien liegen die Werte, die eine NDVI-Sättigung anzeigen, zwischen 0,8 und 0,86^{6,7}. In dieser Studie² lagen die NDVI-Werte nie höher als 0,85. Eine exponentielle Beziehung herrscht zwischen den NDVI-Werten, gemessen bei 300 WGT nach der Vollblüte, und der Häufigkeit und Schwere der BTF bei der Ernte (Abbildung 2). Die Beziehung zwischen der BTF (Häufigkeit und Schweregrad) und dem vegetativen Wachstum (NDVI) wurde grafisch unter Verwendung eines nichtlinearen Modells, welches gemäß dem R²-Wert die beste Option war, mit der Gleichung BTF Häufigkeit/ Schwere = a*(NDVI)^b dargestellt. Die Beziehungen zwischen diesen Variablen waren positiv und zeigten, dass Reben mit einer besseren Wüchsigkeit in einem frühen phänologischen Stadium, im Laufe der Saison mit höherer Wahrscheinlichkeit mit *B. cinerea* infiziert werden. Obwohl das Muster für beide Variablen ähnlich war, ergab sich ein stärkerer Anstieg der Kurve in Falle von NDVI in Kombination mit dem Schweregrad der Krankheit (Abbildung 2b). Ein klarer Trend in der Häufigkeit und Schwere der BTF war bei NDVI-Werten ab 0,5 - 0,6 erkennbar.

Die BTF zum Zeitpunkt der Ernte in Bezug auf erklärende Variablen: vegetatives Wachstum und Klima

Das beste Modell, welches die Häufigkeit des Auftretens der BTF erklärt, schloss die folgenden Variablen ein: i) die Summe der Niederschlagsmenge der 35 Tage vor der Ernte (NSM35) war die erklärende Hauptvariable, und ii) die Bestimmung des NDVI früh in der Saison. Abbildung 3 zeigt eine gute Korrelation (nahe Y = X) zwischen der beobachteten und der modellierten BTF-Häufigkeit aus den Langzeitexperimenten in Frankreich und Chile (2010–2017). Das beste Regressionsmodell zur Schätzung des BTF-Schweregrades basierte ebenfalls auf zwei Variablen: i) dem vegetativen Wachstum (NDVI), welches die erklärende Hauptvariable war, und ii) die Summe der Niederschlagsmenge der 15 Tage vor der Ernte (NSM15).

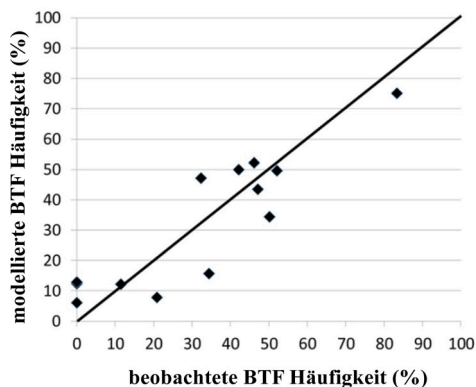


ABBILDUNG 3. Die Korrelation zwischen der beobachteten und modellierten BTF-Häufigkeit (Tabelle 4, erstes Häufigkeitsmodell in Pañitru-De la Fuente *et al.*, 2020)². Die Gleichung Y = X ist angegeben.

Fazit

Die in dieser Studie entwickelten neuen Management- und Risikoindikatoren standen in signifikantem Zusammenhang mit der Entwicklung der BTF zum Zeitpunkt der Ernte. Um Botrytizidbehandlungen in den Weinbergen zu minimieren, sollten derartige neue Werkzeuge in Zukunft zur Entwicklung spezifischer Entscheidungsunterstützungssysteme verwendet werden. Die Regressionsmodelle beinhalteten die Summen der Niederschläge der Wochen vor der Ernte, was die Bedeutung dieses Klimafaktors für die Entwicklung der BTF bestätigt. Aus praktischer Sicht ist es wichtig, dass das frühe vegetative Wachstum der Weinrebe (in dieser Studie mithilfe des NDVI gemessen) sich als ein Hauptfaktor für eine *B. cinerea*-Infektion erwiesen hat. Zudem kann der Tanningehalt der Beerenschalen im Erbsengrößestadium als BTF-Risikoindikator in integrierten Pflanzenschutzstrategien verwendet werden. Weitere Untersuchungen sollten die Trauben-Kompaktheit und das Pathogen-Inokulum während der gesamten Saison berücksichtigen, um deren Beziehungen zur BTF bei der Ernte besser zu verstehen. Des Weiteren sollten Management- und Kontrollmethoden von Pflanzenschutzstrategien gegen diesen hochgefährlichen Rebschädling optimiert werden⁸. ■

Danksagung: Die Autoren danken dem Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux (CIVB), dem chilenischen CONICYT Doctoral Fellowship 2013 N° 21130505, und den chilenischen Projekten CONICYT-FONDECYT/Regular 1191244 und Inserción académica PUC für die finanzielle Unterstützung. Die Autoren möchten zudem der Bordeaux INRAE – BSA – IFV Mixed Technology Unit (UMT SEVEN) danken.

Basiert auf dem wissenschaftlichen Artikel "Vigor thresholded NDVI is a key early risk indicator of Botrytis bunch rot in vineyards" (OENO One, 2020).

- 1 Drissi R., Goutouly J.-P., Forget D. and Gaudillère, J.-P., 2009. Nondestructive Measurement of Grapevine Leaf Area by Ground Normalized Difference Vegetation Index. *Agronomy Journal* 101, 226–231.
- 2 Pañitru-De la Fuente, C., Valdés-Gómez, H., Roudet, J., Verdugo-Vásquez, N., Mirabal, Y., Laurie, V. F., Goutouly, J. P., Acevedo Opazo, C., & Fermaud, M. (2020). Vigor thresholded NDVI is a key early risk indicator of Botrytis bunch rot in vineyards. *OENO One*, 54(2), 279–297. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2.2954>
- 3 Sarig P., Zutkhi Y., Lisker N., Shkelerman Y., Ben Arie R., Bielski R., Laing W. and Clark C., 1998. Natural and induced resistance of table grapes to bunch rots. *Acta Horticulturae* 464, 65–70.
- 4 Pezet R., Viret O. and Gindro K., 2004. Plant microbe interaction: The Botrytis gray mold of grapes. In A. Hemantaranjan. Ed. *Advances in plant physiology India: Varanasi*, vol. 7, pp. 75–120.
- 5 Deytieu-Belleau C., Geny L., Roudet J., Mayet V., Donèche B. and Fermaud M., 2009. Grape berry skin features related to ontogenic resistance to Botrytis cinerea. *European Journal of Plant Pathology* 125, 551–563.
- 6 Yang J., Guo N., Huang L.N. and Jia J.H., 2008. Analyses on MODIS-NDVI Index Saturation in Northwest China. *Plateau Meteorology* 27, 896–903.
- 7 Zhang K., Ge X., Liu X., Zhang Z., Liang Y., Tian Y., Cao Q., Cao W., Zhu Y. and Liu X., 2017. Evaluation of the chlorophyll meter and GreenSeeker for the assessment of rice nitrogen status. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture* 2017, 8(2), 359–363.
- 8 Ky, I., Lorrain, B., Jourdes, M., Pasquier, G., Fermaud, M., Geny, L., Rey, P., Doneche, B., Teissedre, P.-L., 2012. Assessment of grey mould (Botrytis cinerea) impact on phenolic and sensory quality of Bordeaux grapes, musts and wines for two consecutive vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00191.x>