

Langzeitfreilandversuch zu den Effekten unterschiedlicher Kaliumdüngungsmengen auf die Reben und den Weingartenboden

Martin Mehofer*, Bernhard Schmuckenschlager, Karel Hanak, Andrzej Gorecki, Norbert Vitovec, Memish Braha, Veronika Schober, Christian Bader, Ingrid Hofstetter, Michael Schneider und Michael Winkler

Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau
Wiener Straße 74, A-3400 Klosterneuburg

*Korrespondierender Autor: martin.mehofer@weinobst.at

Zusammenfassung

In einem Langzeitfreilandversuch wurden die Effekte einer mineralischen Düngung mit 150 kg und 300 kg Kaliumsulfat pro Hektar und Jahr auf den Kaliumgehalt im Ober- und Unterboden, den Kaliumgehalt in den Blättern und im Most und die generative und vegetative Leistung der Rebsorte `Grüner Veltner` evaluiert. Bodenprobeentnahmen und Bodenanalysen erfolgten im Jahr 2009 vor Beginn der Düngung und in den Jahren 2016 und 2021. Im Oberboden (0 – 25 cm) waren die Kaliumgehalte durch die Düngung deutlich angestiegen. Sie lagen im Jahr 2021 in Abhängigkeit von der Düngung bei 19,8 mg, 24,6 mg und 38,1 mg pro 100 g Boden. Das Kalium/Magnesium-Verhältnis hatte sich signifikant zugunsten des Kaliums geändert und der Kaliumanteil an der Kationenaustauschkapazität war signifikant angestiegen. Im Unterboden (25 – 50 cm) waren die Kaliumgehalte im Jahr 2021 nur durch die Düngung mit 300 kg/ha/Jahr signifikant angestiegen. Die Gehalte lagen im Jahr 2021 düngungsabhängig bei 12 mg, 15 mg und 22 mg pro 100 g Boden. Gleichzeitig waren auch das Kalium/Magnesium-Verhältnis und der Kaliumanteil an der Kationenaustauschkapazität positiv beeinflusst worden. Der Kaliumgehalt in den Rebblättern lag in Abhängigkeit vom Projektjahr und der Versuchsvariante zwischen 0,91 – 1,50 %. Dabei waren in keinem Jahr signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten feststellbar. Die Ertrags- und Reifeparameter, das Schnittholzgewicht und die Magnesium- und Stickstoffgehalte im Most wurden durch die Düngung in keinem Jahr statistisch signifikant beeinflusst. Der Kaliumgehalt im Most war im Jahr 2020 in der mit 300 kg K₂SO₄ pro Hektar und Jahr gedüngten Variante signifikant, und der mit 150 kg K₂SO₄ pro Hektar und Jahr gedüngten Variante tendenziell höher als in der nicht gedüngten Variante. In den Jahren 2021 und 2022 zeigten sich bei beiden gedüngten Varianten Tendenzen zu höheren Kaliumwerten im Most. Bei der sensorischen Weinbewertung wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Düngevarianten festgestellt.

Schlagwörter: Weinbau, Kaliumdüngung, Kaliumverlagerung im Boden, Blattnährstoffgehalte, Mostkaliumgehalt

Abstract

Effects of different potassium fertilization rates on the vines and the vineyard soil in a long-term field trial. The effects of a mineral fertilization with 150 kg and 300 kg potassium sulphate per hectare and year on the potassium content in the topsoil and subsoil, the potassium content in the leaves and in the

must and the generative and vegetative performance of the grape variety 'Grüner Veltliner' were evaluated in a long-term field trial. Soil samplings and soil analyses were carried out in 2009 before fertilization started and in 2016 and 2021. In the topsoil (0 - 25 cm), the potassium contents had increased significantly due to fertilization. In 2021, potassium contents were 19.8 mg, 24.6 mg and 38.1 mg per 100 g of soil, depending on the amount of fertilizer applied. The potassium/magnesium ratio had changed significantly in favour of potassium and the potassium share in the cation exchange capacity had increased significantly. In the subsoil (25 – 50 cm), potassium contents had significantly increased in 2021 only due to fertilization with 300 kg/ha/year. The contents in 2021 were 12 mg, 15 mg and 22 mg per 100 g soil, depending on the amount of fertilizer applied. At the same time, the potassium/magnesium ratio and the potassium share in the cation exchange capacity had also been positively influenced. The potassium content in the vine leaves ranged between 0.91 - 1.50 % depending on the project year and the experimental variant without significant differences between the fertilizer variants in any year. The yield and ripeness parameters, pruning wood weight and the magnesium and nitrogen contents in the must were not statistically significantly influenced by fertilization in any year. In 2020, potassium content in the must was significantly higher in the variant fertilized with 300 kg K₂SO₄ per hectare and year and tended to be higher in the variant fertilized with 150 kg K₂SO₄ per hectare and year than in the non-fertilised variant. In the years 2021 and 2022, both fertilized variants showed tendencies towards higher potassium levels in the must. No significant differences were found between the three fertilization variants in the sensory wine evaluation.

Keywords: viticulture, potassium fertilization, potassium translocation in the soil, leaf nutrient contents, potassium content of must

Einleitung

Für einen zukunftsfähigen, qualitätsorientierten und ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Weinbau ist eine gute Nährstoffversorgung der Reben ein wesentlicher Faktor. Dabei spielt der Boden eine entscheidende Rolle. Bodenstruktur, Bodenleben, Bodendurchlüftung, Bodenwasserhaushalt und die Temperaturverhältnisse des Bodens beeinflussen das Angebot an Nährstoffen für die Reben und damit in weiterer Folge auch Charakter und Qualität der Trauben und Weine. Laut Fardossi (2001) ist eine Sicherung der Nährstoffversorgung während der gesamten Vegetationsperiode der Reben eine von mehreren Voraussetzungen für stabile, angemessene Erträge, gesunde Trauben und hohe Trauben- und Weinqualitäten. In der Rebenernährung spielt dabei Wunderer et al. (2003) und Mehofer et al. (2014) zufolge der Hauptnährstoff Kalium eine Schlüsselrolle. Kalium ist für die Wasseraufnahme und den Wasserhaushalt der Reben wesentlich, da es

osmotisch aktiv ist. Diese osmotische Wirkung ist für das Funktionieren des Regelungsmechanismus des Öffnens und Schließens der Spaltöffnungen sehr bedeutsam. Außerdem ist Kalium als wichtiges Element für viele Enzymreaktionen am Eiweiß- und Kohlehydratstoffwechsel und damit an der Zucker- und Bukettbildung beteiligt. Kaliummangel wirkt sich auf die genannten Stoffwechselprozesse negativ aus. Laut Riedel und Bachteler (2009) beeinflusst eine optimale Kaliumversorgung den Transport von Assimilaten innerhalb der Pflanze - beispielsweise von den Blättern in die Trauben – positiv. Weiters fördert Kalium die Trauben- und Holzreife sowie die Frosthärte. Kaliumreiche Weine sind gut gepuffert. Dadurch wird die geschmackliche Wirkung der Säuren im Wein als weniger scharf empfunden. Andererseits führen Perret et al. (1995) zufolge übermäßige Kaliumgehalte im Traubenmost zu vermehrter Weinsteinausscheidung und laut Mpelasoka et al.

(2003) und Marcuzzo et al. (2021) können zu hohe Kaliumgehalte in den Beeren einen negativen Einfluss auf die Weinqualität haben, da sie die Weinsäuregehalte im Most und Wein reduzieren und den pH-Wert zu stark erhöhen. Ein Beispiel dafür sind laut Kodur et al. (2010b) und Kodur (2011) Moste und Weine aus bewässerten Weingärten in den warmen Regionen Australiens. Hohe Kaliumkonzentrationen in Kombination mit hohen pH-Werten führen dort zu verringerter Farbstabilität und schlechtem Geschmack der Weine. Auch Vilette et al. (2020) zufolge hat sich in den letzten Dekaden ein stetiger Anstieg der Kaliumkonzentration in den Beeren bei gleichzeitig zu niedrigem Säuregehalt gezeigt. Nistor et al. (2022) haben in Untersuchungen mit den Rebsorten 'Cabernet Sauvignon' und 'Merlot' festgestellt, dass die stärkste Kaliumanreicherung in den Beeren 65 bis 75 Tage nach der Blüte stattfindet, wobei die Anreicherung im Fruchtfleisch höher ist, als in der Beerenhaut. Baby et al. (2022) zufolge korrelieren bei den Rebsorten 'Cabernet Sauvignon', 'Shiraz' und 'Chardonnay' die Kaliumgehalte in den Blüten und Beeren nicht mit jenen in den Blattspreiten und Blattstielen. Kaliummangelsymptome können laut Fardossi (2000) und Götz (2006) allerdings sowohl an den Blättern als auch den Trauben auftreten. Insbesondere das mit Kaliummangel in Zusammenhang stehende Auftreten von Traubenwelke bei der Rebsorte 'Zweigelt', wie von Fardossi (2000), Redl et al. (2009), Griesser (2009), Mehofer und Regner (2010) und Bachteler (2011) beschrieben, kann die Traubenqualität stark beeinträchtigen. Riedel und Rupp (2022) berichten, dass Kaliummangel in Süddeutschland vor allem an jenen Standorten mit hohem Tongehalt anzutreffen ist, die über Jahre hinweg zu wenig gedüngt und/oder neu als Rebfläche genutzt worden sind. Laut Fardossi (2001) bedeutet eine ausreichende Versorgung des Bodens mit Kalium (Gehaltsstufen C und D) nicht zwangsläufig eine ausreichende Ernährung für die Reben, da die Bodenstruktur, der pH-Wert des Bodens, die Witterungsbedingungen und weitere andere Faktoren die Aufnahme von Kalium verändern und

auch negativ beeinflussen können. Kodur et al. (2010a) zufolge steigt die von den Reben aufgenommene Menge an Kalium mit zunehmender Länge und Oberfläche der Rebwurzeln und außerdem zeigen die verschiedenen Unterlagsrebsorten Unterschiede in ihrer Kaliumaufnahmefähigkeit. Laut Mpelasoka et al. (2003) ist die Stärke des Einflusses der Kaliumdüngung auf den Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium im Boden und auf den Gehalt an Kalium in den Beeren von verschiedenen Faktoren wie der Menge und Art des Düngers, dem Zeitpunkt der Applikation des Düngers, den Bodeneigenschaften, der Art der Bodenpflege, der Bewässerungsmenge, der Aktivität der Rebwurzeln oder der anfänglichen Nährstoffversorgung der Reben abhängig.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden in einem Langzeitversuch jährlich im Herbst zwei unterschiedliche Mengen Kaliumsulfat mittels Mulchbodenlockerer in den Fahrgassen eines mit der Rebsorte 'Grüner Veltliner' bepflanzten Weingartens ausgebracht. Um die Verlagerung des Kaliums im Boden zu beobachten, wurden in drei Jahren Bodenproben entnommen und Bodenanalysen durchgeführt. Mögliche Einflüsse auf die vegetative und generative Leistung der Reben wurden mittels Bestimmung von Schnittholzgewicht, Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht, Gehalt an titrierbarer Säure im Most und pH-Wert im Most ermittelt. Da der Kaliumgehalt im Most wesentlich für die Most- und Weinqualität ist und um eventuelle Wechselwirkungen mit Stickstoff und Magnesium zu erfassen, erfolgten Analysen der Gehalte an Kalium, Stickstoff und Magnesium im Most. Zur Erhebung möglicher weiterer Effekte der Kaliumdüngung wurden die Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium, Phosphor, Calcium, Eisen, Kupfer, Zink, Mangan und Bor in den Rebblättern analysiert. Außerdem erfolgten in den Jahren 2016 bis 2021 Mikrovinifikationen und sensorische Weinbewertungen.

Material und Methoden

Rebanlage, Bodenart, Lage und klimatische Bedingungen

In Tab. 1 sind die technischen Daten der Rebanlage dargestellt.

Tab. 1: Rebanlage am Versuchsgut Agneshof.

Standort	Quartier Rothäcker III
Rebsorte / Unterlage	‘Grüner Veltliner’ / ‘SO4’
Pflanzjahr	2008
Pflanzweite	3,00 m x 1,00 m
Erziehungssystem	Mittelhohe Spaliererziehung (Stammhöhe = 75 cm)
Schnittart	2 Stecker á 6 Augen und 2 Zapfen á 2 Augen
Schnittstärke	5 Augen pro m ²

Der, in Tab. 1 beschriebene Versuchsweingarten befindet sich in der Katastralgemeinde Klosterneuburg in der Ried Rothäcker in einer steilen Hanglage (Steigung 36 – 39 %) mit Ausrichtung nach Südosten. Die Bodenart ist eine

carbonathaltige Braunerde auf Flyschmergel. Zwischen der Humusschicht (A-Horizont) und dem Ausgangsmaterial Flyschmergel (C-Horizont) liegt ein brauner Verwitterungshorizont (B-Horizont). Flyschmergel ist ein marines Sedimentgestein aus Kalk und Ton. Die Bodenschwere ist mittel.

In Tab. 2 sind die Niederschlagsmengen am Versuchsstandort im Versuchszeitraum angeführt. Dabei sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sowohl bei den Jahresgesamtniederschlagsmengen als auch bei den Niederschlagsmengen während der jeweiligen Vegetationsperioden (April bis September) zu erkennen.

Der in Tab. 2 angeführte Huglin-Index im jeweiligen Versuchsjahr sollte laut Prettenthaler und Formayer (2013) für eine entsprechende Reife der Rebsorte ‘Grüner Veltliner’ mindestens 1700 betragen, wobei der Idealbereich zwischen 1700 und 1800 liegt. In Tab. 2 ist erkennbar, dass der Mindestwert in allen 14 Versuchsjahren erreicht und zum Teil deutlich überschritten wurde.

Tab. 2: Jahresniederschlagsmengen, Niederschlagsmengen in den Monaten April bis September und Huglin-Index der Jahre 2009 bis 2022 am Versuchsstandort.

Jahr	Jahresniederschlagsmengen (l/m²)	Niederschlagsmengen in den Monaten April bis September (l/m²)	Huglin-Index
2009	1019	500	2098
2010	1044	776	1774
2011	611	412	2065
2012	617	377	2119
2013	753	462	1928
2014	853	664	1902
2015	582	279	2200
2016	836	484	2076
2017	542	329	2066
2018	576	339	2452
2019	593	370	2123
2020	587	380	2030
2021	453	314	1915
2022	386	287	2105

Ausbringungsmengen und Ausbringungstermine des Kaliumdüngers

Variante 1: Kontrolle = keine Kaliumdüngung

Variante 2: 150 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat (K_2SO_4) = 58,5 kg/ha/Jahr Kalium

Variante 3: 300 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat (K_2SO_4) = 117 kg/ha/Jahr Kalium

Die Versuchsanlage erfolgte in Form von Langparzellen mit drei Reihen (= Wiederholungen) pro Variante. Pro Reihe waren 45 bis 55 Stöcke gepflanzt.

Der Kaliumdünger wurde mittels Mulchbodenlockerer (Abb. 1) in 20 – 25 cm Tiefe an folgenden Terminen ausgebracht: 20.11.2009, 17.11.2010, 07.11.2011, 19.11.2012, 07.11.2013, 11.11.2014, 10.11.2015, 22.11.2016, 07.11.2017, 09.11.2018, 11.11.2019, 10.11.2020 und 28.10.2021.



Abb. 1: Mulchbodenlockerer mit Düngerkastenaufsatz

Bodenprobenentnahmen und Bodenanalysen

Die Bodenprobenentnahmen erfolgten am 14.04.2009, 15.04.2016 und 15.04.2021 in Form von drei Wiederholungen pro Versuchsvariante. Zu jedem Termin wurden pro Wiederholung (= pro Fahrgasse) mittels Pürkhauer-Bodenstecher zehn Bodeneinstiche gemacht, der entnommene Boden in Oberboden (0 – 25 cm) und Unterboden (25 – 50 cm) aufgetrennt und das aufgetrennte Bodenmaterial pro Bodenhorizont zu je einer Mischprobe vereinigt. Die Bodenproben wurden anschließend in die Österreichische Agentur für

Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH transportiert und dort am Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion analysiert. Folgende Parameter wurden ermittelt: pH-Wert ($CaCl_2$), Phosphor (CAL), Kalium (CAL), Magnesium und die Kationenaustauschkapazität (Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Aluminium, Eisen, Mangan, H-Wert und Austauschkapazität).

Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz

Zusätzlich zur Ausbringung von Kaliumsulfat erfolgte die Bodenbewirtschaftung in den Fahrgassen mittels Rotationsbegrünung (25 kg/ha

Sommerwicke, 20 kg/ha Buchweizen, 3 kg/ha Phacelia). Diese wurde jedes Jahr im Frühjahr abwechselnd in jeder zweiten Fahrgasse neu angelegt. Im Unterstockbereich erfolgte eine Kombination aus Herbizideinsatz und Mähen beziehungsweise Abschlagen des Bewuchses mittels Bürste. Um eine gesunde, leistungsfähige Laubmasse zu gewährleisten und hochwertiges und gesundes Traubenmaterial zu erhalten wurden in Abhängigkeit vom Schaderregerdruck jedes Jahr 6 bis 8 Applikationen mit chemischen Pflanzenschutzmitteln gemäß den Richtlinien der Integrierten Produktion durchgeführt.

Bestimmung der Blattnährstoffgehalte

Zur Analyse der Nährstoffgehalte in den Blattspreiten wurden im Juli der Jahre 2011 bis 2022 zum phänologischen Entwicklungsstadium "Traubenschluss" (BBCH 77-79) Blattspreiten aus der Traubenzone entnommen. Die Entnahme erfolgte vom ersten, zweiten oder dritten grünen Trieb an den Streckern. Entnommen wurden jene Blattspreiten, die sich gegenüber der ersten oder zweiten Traube am Trieb befanden. Für eine repräsentative Durchschnittsprobe wurden 20 – 30 Blattspreiten pro Wiederholung gesammelt. Diese wurden bei 105 °C im Trockenschrank (Memmert, Schwabach, Deutschland) getrocknet und anschließend gemahlen. Das getrocknete und gemahlene Blattprobenmaterial (600 mg) wurde mit einem Multiwave Aufschlussgerät (Anton Paar, Graz, Österreich) mit 8 ml Salpetersäure und 2 ml Wasserstoffperoxid aufgeschlossen und auf 25 ml verdünnt. Anschließend wurde mittels ICP (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, USA) Bor bestimmt. Um Kalium, Magnesium, Calcium, Eisen, Kupfer, Zink und Mangan mittels ICP zu bestimmen, musste die Probe 1:8 verdünnt und gemischt werden. Phosphat wurde aus der Verdünnung mit Hilfe der Molybdänblau-Methode am Photometer (Agilent, Santa Clara, USA) analysiert. Die Stickstoffbestimmung erfolgte mittels Kjeldahl-Methode (Büchi, Flawil, Schweiz).

Erntetermine und Bestimmung der Ertrags- und Reifeparameter sowie des Stickstoff-, Kalium- und Magnesiumgehalts im Most

Die Traubenernte erfolgte an folgenden Terminen: 13.10.2010, 05.10.2011, 12.09.2012, 03.10.2013, 30.09.2014, 01.10.2015, 03.10.2016, 25.09.2017, 03.09.2018, 14.10.2019, 30.09.2020, 29.09.2021 und 05.10.2022. Die Bestimmungen von Ertrag, Traubengewicht, 100-Beerengewicht, Mostgewicht und Gehalt an titrierbarer Säure und pH-Wert im Most erfolgten jährlich laut Versuchsplan in Form von gepoolten Proben aus allen Stöcken pro Wiederholung. Zur Bestimmung der Reifeparameter wurden unmittelbar vor der Lese Beerenproben entnommen. Der Probenumfang betrug 250 Beeren pro Wiederholung. Die Beeren wurden gleichmäßig verteilt von beiden Seiten der Laubwand, von der Vorder- und Rückseite der Trauben und jeweils vom oberen, mittleren und unteren Drittel der einzelnen Trauben entnommen. Das Gewicht von 100 Beeren wurde mit Hilfe der Präzisionswaage Modell Kern 440-49N (Swiss Waagen DC GmbH, Bertschikon, Schweiz) bestimmt. Die Entsaftung der entnommenen Beeren erfolgte mittels Saftzentrifuge Santos Anneè 90 (SANTOS SAS, Vaulx-en-Velin, Frankreich) und die Filtration mit Hilfe von Faltenfiltern des Typs 3 hw (Sartorius, Göttingen, Deutschland). Der Zuckergehalt wurde mittels Handrefraktometer, der Säuregehalt durch Titration mit 2/15 normaler Blaulauge bis zum Umschlagpunkt (pH = 7) und der pH-Wert mittels elektronischem pH-Messgerät (Mettler-Toledo GmbH, Gießen, Deutschland) ermittelt. Die Ertragsbestimmung erfolgte unmittelbar nach der Ernte direkt in der Projektanlage mittels der Waage Typ Wedo – Paket 50 (Werner Dorsch GmbH, Münster/Dieburg, Deutschland) entsprechend dem Versuchsplan für jede Wiederholung. Der Einzelstockertrag wurde im Anschluss daran rechnerisch ermittelt, indem der erhobene Ertrag durch die entsprechende Stockanzahl dividiert wurde. Während der Ernte wurde die Anzahl der Trauben ermittelt. Das Traubengewicht wurde rechnerisch mit Hilfe der

erhobenen Ertragsdaten und der ermittelten Traubenanzahl bestimmt. Der Stickstoffgehalt im Most wurde fotometrisch bestimmt: Die freien α -Aminogruppen bildeten mit dem Reagenz o-Phtalaldehyd/N-Acetyl-Cystein (OPA/NAC) einen blauen Farbstoff, dessen Intensität im Photometer Konelab 20 (Thermo Fisher Scientific Oy Clinical Diagnostics, Vantaa, Finnland) bei 340 nm gemessen wurde. Der Kalium- und Magnesiumgehalt wurden mittels Atomabsorptionsspektrometer (AAS) Thermo iCE 3000 (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, USA) bestimmt. Dazu wurden die verdünnten Mostproben mit dem Probengeber in die Zerstäuberkammer des AAS gesaugt. Das dort gebildete feine Aerosol wurde in einer Luft/Acetylenflamme atomisiert. Die Extinktion der K-Linie wurde bei 769,9 Nanometer und bei einer Brennereinstellung von 90 °C und die Extinktion der Mg-Linie bei 285,2 Nanometer und ebenfalls bei einer Brennereinstellung von 90 °C gemessen.

Bestimmung des Schnittholzgewichts

Das Schnittholzgewicht wurde nach dem Rebschnitt entsprechend dem Versuchsplan mit einer transportfähigen mechanischen Zugwaage (Spiral Reihls & Co. KG, Wien, Österreich) abgewogen. Dabei wurde das ein- und zweijährige Holz, also der ein- und zweijährige Zuwachs, der im Zuge des Ertragsschnitts entfernt wurde, berücksichtigt. Das Schnittholz verblieb in der Anlage und wurde mittels Schlegelmulcher gehäckselt.

Weinausbau und Weinbewertung

Für die Weinbereitung im Kleinmaßstab wurde in den Jahren 2016 bis 2021 jährlich eine repräsentative Traubenprobe mit einer Menge

von zirka 90 kg pro Versuchsvariante und mikroviniertem Wein verwendet. Die Trauben wurden abgebeert, mittels Hydropresse entsaftet und nach der Mostvorklärung mittels Enzym Novoclar Speed (2 g/hl; Novozymes, Bagsvaerd, Dänemark) und Zusatz der Reinzuchthefer Oenoferm Freddo (Erbslöh, Geisenheim, Deutschland) unter kontrollierten Temperaturbedingungen in Glasballons vergoren. Danach wurden die Weine zentrifugiert und geschwefelt. Die Vorfiltration erfolgte mittels Filterschichten Seitz K 150 (Pall Seitz-Schenk Filtersystems GmbH, Bad Kreuznach, Deutschland). Unmittelbar vor der Abfüllung wurde der Schwefelgehalt auf 45 mg/l freies SO₂ eingestellt und mittels 3M Filtermodul Z08PA 80MH 05 (Cuno/3M) (3M Österreich GmbH, Wien, Österreich) eine Entkeimungsfiltration durchgeführt. Die Weine wurden in verdeckten Verkostungen viermal in unterschiedlicher Reihenfolge vorgelegt und von mindestens sechs geschulten Verkostern mit Hilfe einer unstrukturierten Skala bewertet und die Verkostungsergebnisse statistisch verrechnet.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten und die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS (Version 26.0; IBM, Wien, Österreich). Die Daten wurden mittels Varianzanalyse in Verbindung mit dem F-Test aufbereitet. Danach wurden die Mittelwerte mittels Grenzdifferenz nach Tukey beurteilt ($P < 0,05$). Folgende Signifikanzgrenzen wurden verwendet: $P \leq 0,001$ = "sicher" = ***; $P \leq 0,01$ = "hoch signifikant" = **; $P \leq 0,05$ = "signifikant" = *; $P > 0,05$ = "nicht signifikant" = n.s. Varianzhomogenität und Normalverteilung wurden überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Effekte der langfristigen Kaliumdüngung auf bodenrelevante Parameter

Tab. 3: Durchschnittlicher Kaliumgehalt im Oberboden (0 – 25 cm) am 14.04.2009, 15.04.2016 und 15.04.2021 in Abhängigkeit von der Versuchsvariante. Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Versuchsvariante	mg K-CAL pro kg	Verhältnis K:Mg	K-Anteil (%) an KAK _{eff}	K austauschbar cmolc/kg
14.04.2009				
Kontrolle	126	0,89	2,23	0,38
150 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	119	1,00	2,10	0,36
300 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	125	1,02	2,33	0,39
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
15.04.2016				
Kontrolle	160 a	1,42 a	2,97 a	0,56 a
150 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	189 ab	1,58 a	3,37 b	0,66 ab
300 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	222 b	1,97 b	3,93 c	0,75 b
Signifikanz	**	*	**	*
15.04.2021				
Kontrolle	198 a	1,61 a	3,20 a	0,59 a
150 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	246 a	1,93 a	3,97 ab	0,74 ab
300 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	381 b	3,20 b	5,50 b	1,00 b
Signifikanz	**	**	*	*

Bei den in Tab. 3 dargestellten Analyseergebnissen zum Kaliumgehalt im Oberboden der Jahre 2009, 2016 und 2021 sind sowohl im Jahr 2016 als auch im Jahr 2021 signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollvariante und den gedüngten Varianten erkennbar. Die Kaliumgehalte sind in den Jahren 2016 und 2021 gegenüber dem Jahr 2009 durch die Düngung mit 150 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat leicht und durch die Düngung mit 300 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat signifikant angestiegen. Umgerechnet lagen die Kaliumgehalte am 15. April 2021 in der Kontrollvariante bei 19,8 mg /

100 g Boden und in den mit jährlich 150 kg/ha beziehungsweise 300 kg/ha Kaliumsulfat gedüngten Varianten bei 24,6 mg beziehungsweise 38,1 mg pro 100 g Boden. Auch das Kalium/Magnesium-Verhältnis und der Kaliumanteil an der Kationenaustauschkapazität wurden, wie in Tab. 3 erkennbar ist, durch beide Düngestufen signifikant beeinflusst. Das Kalium/Magnesium-Verhältnis änderte sich signifikant zugunsten des Kaliums und der Kaliumanteil an der Kationenaustauschkapazität stieg signifikant an.

Tab. 4: Durchschnittlicher Kaliumgehalt im Unterboden (25 – 50 cm) am 14.04.2009, 15.04.2016 und 15.04.2021 in Abhängigkeit von der Versuchsvariante. Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Versuchsvariante	mg K-CAL pro kg	Verhältnis K:Mg	K-Anteil (%) an KAK _{eff}	K austauschbar cmolc/kg
14.04.2009				
Kontrolle	101	0,83	1,90	0,34
150 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	104	0,83	1,90	0,35
300 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	107	0,89	1,97	0,35
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
15.04.2016				
Kontrolle	113	0,91	2,14	0,42
150 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	126	1,02	2,37	0,47
300 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	126	0,98	2,34	0,45
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
15.04.2021				
Kontrolle	120 a	0,87 a	2,03 a	0,38 a
150 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	150 a	1,09 a	2,43 a	0,46 ab
300 kg/ha/Jahr K ₂ SO ₄	220 b	1,58 b	3,17 b	0,60 b
Signifikanz	**	*	*	*

Bei den in Tab. 4 dargestellten Analyseergebnissen zum Kaliumgehalt im Unterboden der Jahre 2009, 2016 und 2021 waren nur im Jahr 2021 signifikante Unterschiede erkennbar, und zwar nur zwischen der Kontrollvariante und der Variante 300 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat. Die Kaliumgehalte waren im Jahr 2021 gegenüber dem Jahr 2009 durch die Düngung mit 300 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat signifikant angestiegen. Dieselben Effekte zeigten sich für das Kalium/Magnesium-Verhältnis und für den Kaliumanteil an der Kationenaustauschkapazität. Umgerechnet lagen die Kaliumgehalte in der Kontrollvariante am 15. April 2021 bei 12 mg pro 100 g Boden und in der mit 300 kg/ha/Jahr Kaliumsulfat gedüngten Versuchsvariante bei 22 mg pro 100 g Boden. Die in den Tab.n 3 und 4 dargestellten Analyseergebnisse bestätigten die Erfahrungen von Schramm und Resch (2008), dass insbesondere unter begrüntem Böden der Verlagerungsprozess von Kalium im Boden sehr langsam verläuft. Der Grund dafür ist Schramm und Resch (2008) zufolge, dass Begrünungspflanzen das Kalium aus der

Bodenlösung aufnehmen und es teilweise über die Erdoberfläche verlagern. Erst nach dem Absterben der Begrünungspflanzen wird das Kalium über den organischen Nährstoffkreislauf dem Boden wieder zur Verfügung gestellt. Ein weiterer Grund für die Ergebnisse im aktuellen Versuch war die, laut Wunderer et al. (2003), in Abhängigkeit von der Bodenschwere nur mäßige bis geringe Beweglichkeit von Kalium im Boden. Mehofer et al. (2014) bezeichnen in Abhängigkeit von der Bodenschwere folgende pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte als ausreichend (= Gehaltsstufe C) für die Versorgung der Reben: leichter Boden: 8,8 – 17,8 mg pro 100 g Boden; mittelschwerer Boden: 11,3 – 21,2 mg pro 100 g Boden und schwerer Boden: 13,8 – 24,5 mg pro 100 g Boden. In den Tab.n 3 und 4 ist zu erkennen, dass im aktuellen Versuch auf einem mittelschweren Boden die pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und von der Düngevariante im Oberboden zwischen 11,9 und 38,1 mg pro 100 g Boden und im Unterboden zwischen 10,1 und 22,0 mg pro 100 g Boden lagen. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit vom Beprobungstermin und

von der Düngevariante die Versorgung im Oberboden ausreichend bis hoch und im Unterboden niedrig bis ausreichend war. Im Vergleich dazu ist Riedel und Rupp (2022) und Riedel und Bachteler (2009) zufolge die anzustrebende Gehaltsklasse C in Baden-Württemberg für leichte bis mittlere Böden mit 15 bis 34 mg je 100 g Boden und für schwere Böden mit 18 bis 37 mg je 100 g Boden definiert. Die Düngung dazu kann laut Riedel und Rupp (2022) auf mittleren und schweren Böden für zwei bis drei Jahre als „Schaukeldüngung“ zusammengefasst werden und auch schon im Herbst erfolgen. Auf leichten, sandigen Böden sollte Kalium hingegen in kleineren Mengen jährlich, möglichst im Frühjahr gedüngt werden, weil aus Sandböden Kalium leichter ausgewaschen wird. Im deutschen Weinbaugebiet Mosel ist laut Schramm und Resch (2008) eine Kaliummenge von 20 mg pro 100 g Boden für eine entsprechende Versorgung der Reben erforderlich. Eine extrem hohe Kaliumversorgung

von 270 mg K_2O pro 100 g Boden nach der Ausbringung von sehr hohen Mengen an Kieselgur verhinderte Schramm und Resch (2008) zufolge das Aufwachsen von Jungreben. Auf einem kiesigen, sandigen Lehmboden hatten sich laut Conradie und Saayman (1989a) in einem Versuch mit jährlichen Düngungsmengen von 45 kg beziehungsweise 90 kg Kalium pro Hektar die Kaliumgehalte sowohl im Oberboden (0 – 30 cm) als auch im Unterboden (30 – 60 cm) nach 11 Jahren signifikant erhöht. In der Kontrollvariante stellten Conradie und Saayman (1989a) hingegen eine Verringerung der Kaliumgehalte fest.

Bei den Parametern pH-Wert ($CaCl_2$), Phosphorgehalt (CAL), Magnesiumgehalt und den Austauschkapazitäten von Calcium, Magnesium, Natrium, Aluminium, Eisen und Mangan konnten im aktuellen Versuch in keinem Jahr signifikante Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten ermittelt werden.

Einfluss der langfristigen Kaliumdüngung auf die Versorgung der Reben

Nährstoffgehalte in den Rebblättern

Tab. 5: Mittelwerte der Makronährstoffgehalte in den Blättern (%) der Rebsorte 'Grüner Veltliner' in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und vom Jahr.

Jahr	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Kalium (%)												
Kontrolle	1,39	1,1	1,11	1,31	1,38	1,1	1,15	1,24	1,4	0,91	1,29	0,96
150 kg/ha/Jahr	1,41	1,21	1,13	1,3	1,32	1,19	1,21	1,26	1,53	0,99	1,41	1,11
300 kg/ha/Jahr	1,5	1,18	1,22	1,21	1,32	1,13	1,29	1,34	1,56	0,98	1,4	1,12
<i>Signifikanz</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Magnesium (%)												
Kontrolle	0,26	0,26	0,2	0,22	0,2	0,26	0,37	0,29	0,25 b	0,21	0,28	0,3
150 kg/ha/Jahr	0,25	0,23	0,18	0,19	0,2	0,24	0,33	0,26	0,20 a	0,19	0,25	0,25
300 kg/ha/Jahr	0,2	0,24	0,18	0,2	0,2	0,23	0,31	0,25	0,19 a	0,18	0,25	0,24
<i>Signifikanz</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Stickstoff (%)												
Kontrolle	2,5	2,32	2,29	2,64	2,51	2,54	2,68	2,61	2,61	2,23	2,8	2,23
150 kg/ha/Jahr	2,44	2,34	2,15	2,67	2,58	2,59	2,67	2,63	2,6	2,19	2,7	2,31
300 kg/ha/Jahr	2,58	2,39	2,31	2,66	2,64	2,71	2,7	2,77	2,58	2,24	2,84	2,33
<i>Signifikanz</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Phosphor (%)												
Kontrolle	0,23	0,19	0,17	0,24	0,17	0,16	0,2	0,18	0,25	0,18	0,21	0,16
150 kg/ha/Jahr	0,22	0,22	0,19	0,19	0,16	0,19	0,16	0,18	0,26	0,17	0,22	0,16
300 kg/ha/Jahr	0,22	0,19	0,17	0,21	0,18	0,18	0,16	0,19	0,26	0,18	0,2	0,15
<i>Signifikanz</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Calcium (%)												
Kontrolle	3,37	3,52	2,6	2,65	2,6	3,15	3,9	3,46	3,41	1,99	2,55	3,15
150 kg/ha/Jahr	3,44	3,36	2,42	2,66	2,66	3,35	3,81	3,63	3,23	1,97	2,41	2,95
300 kg/ha/Jahr	3,31	3,35	2,56	2,74	2,78	3,23	3,64	3,5	3,23	2,02	2,43	3
<i>Signifikanz</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

In Tab. 5 ist zu erkennen, dass die Makronährstoffgehaltsmittelwerte der Rebblätter in Abhängigkeit vom Projektjahr und der Versuchsvariante in folgenden Bereichen lagen: Kalium: 0,91 – 1,50 %, Magnesium: 0,18 – 0,37 %, Stickstoff: 2,15 – 2,84 %, Phosphor: 0,15 – 0,26 % und Calcium: 1,97 – 3,90 %. Die analysierten Gehalte entsprachen laut Wunderer et al. (2003) folgenden Gehaltsklassen: Kalium, Magnesium und Phosphor: niedrig bis optimal und Stickstoff und Calcium: niedrig bis hoch. Die Gehaltsschwankungen der Makronährstoffe zwischen den einzelnen Vegetationsjahren waren stark, während innerhalb der Jahre in keinem Vegetationsjahr und bei keinem der analysierten Hauptnährstoffe Magnesium, Stickstoff,

Phosphor, Calcium und auch nicht bei Kalium statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Düngewarianten festgestellt werden konnten. Dies bestätigte die in den Bodenanalysen festgestellte extrem langsame Verlagerung des gedüngten Kaliumsulfats im Boden bis zum Haupthorizont der Rebwurzeln, wodurch (noch) keine Effekte auf die Kaliumgehalte in den Rebblättern gegeben waren. Im Vergleich dazu beobachteten Morris et al. (1987) bei einer extrem exzessiven Kaliumdüngung von 2,7 kg K₂SO₄ pro Rebe signifikant erhöhte Kaliumgehalte in den Blattstielen der Rebsorten 'Gewürztraminer', 'Cabernet Sauvignon', 'de Chaunac' und 'Cynthiana'. Laut Conradie und Saayman (1989b) zeigten sich in zehnjährigen Untersuchungen auf

einem kiesigen, sandigen Lehmboden, also auf einem deutlich leichteren Boden als in den aktuellen Untersuchungen, mit Kaliumdüngemengen von 45 kg/ha/Jahr und 90 kg/ha/Jahr signifikante Unterschiede in den Kaliumgehalten der Blätter sowohl zwischen den beiden gedüngten Varianten als auch im Vergleich zur Kontrollvariante. Die Stickstoffkonzentrationen in den Blättern und Blattstielen wurden dabei durch die Kaliumdüngung nicht beeinflusst. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass Conradie und Saayman (1989b) feststellten, dass die Reaktionen der Blätter und des Beerensaftes der Reben der Rebsorte 'Chenin blanc' auf die Kaliumdüngung nicht konsistent waren. Der Phosphorgehalt in den Blättern und in den Blattstielen wurde Conradie und Saayman (1989b) zufolge durch die Kaliumdüngung nicht beeinflusst. Sanhüter (1988) stellte bei erhöhter Kaliumdüngung einen unzureichenden Magnesiumgehalt in den Blattspalten fest und

laut Kodur (2011) führten hohe Kaliumgaben in den Boden zu höheren Kaliumgehalten in verschiedenen Organen der Reben.

In den aktuellen Untersuchungen lagen die Jahresdurchschnittsgehalte an Mikronährstoffen in Abhängigkeit vom Vegetationsjahr in folgenden Bereichen: Eisen: 81 bis 134 ppm, Kupfer: 51 bis 248 ppm, Zink: 12 bis 96 ppm, Mangan: 61 bis 212 ppm und Bor: 18 bis 58 ppm. Diese analysierten Gehalte entsprachen laut Wunderer et al. (2003) folgenden Gehaltsklassen: Eisen und Mangan: optimal, Kupfer: hoch bis sehr hoch und Zink und Bor: niedrig bis hoch. Die Gehaltsschwankungen der Mikronährstoffe zwischen den einzelnen Vegetationsjahren waren sehr stark, während bei den Mikronährstoffgehaltswerten in den Rebblättern innerhalb der einzelnen Jahre in keinem Vegetationsjahr statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten festgestellt werden konnten.

Kalium-, Magnesium- und Stickstoffgehalt im Most

Tab. 6: Kaliumgehalte (Mittelwerte (M) in mg/l, SD = Standardabweichung) im Most der Rebsorte 'Grüner Veltliner' in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und vom Jahr. N= Anzahl an Wiederholungen.

	Kontrolle			150 kg/ha/Jahr			300 kg/ha/Jahr			Signifikanz
	M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N	
2011	1258	197,6	3	1138	125,1	3	1088	156,6	3	<i>n.s.</i>
2012	653	64,2	3	731	104,4	3	634	78,2	3	<i>n.s.</i>
2013	366	126,3	3	344	115,0	3	337	113,2	3	<i>n.s.</i>
2014	495	54,6	3	506	71,6	3	498	45,6	3	<i>n.s.</i>
2015	772	103,4	3	842	180,0	3	811	202,6	3	<i>n.s.</i>
2016	645	53,7	2	640	65,0	3	614	46,5	3	<i>n.s.</i>
2017	870	58,0	2	866	41,1	3	860	46,1	3	<i>n.s.</i>
2018	1482	150,6	2	1501	17,4	3	1537	70,7	3	<i>n.s.,</i>
2019	1201	77,8	3	1234	26,6	3	1273	122,0	3	<i>n.s.</i>
2020	1278 a	18,5	3	1328 ab	52,8	3	1408 b	78,0	3	*
2021	1328	87,8	3	1406	102,9	3	1439	47,1	3	<i>n.s.</i>
2022	1433	151,0	3	1577	104,5	3	1504	58,3	3	<i>n.s.</i>

Bei den in Tab. 6 dargestellten Kaliumgehalten im Most konnten im Jahr 2020 statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten ermittelt werden. Dabei war der Kaliumgehalt im Most in der mit 300 kg K₂SO₄ pro Hektar und Jahr gedüngten Variante signifikant höher als im Most der nicht gedüngten Variante. Der Kaliumgehalt im Most der mit 150 kg K₂SO₄ pro Hektar und Jahr gedüngten Variante lag zwischen den Werten der Kontrollvariante und der mit 300 kg K₂SO₄ pro

Hektar und Jahr gedüngten Variante. Auch in den Jahren 2021 und 2022 zeigten sich Tendenzen zu höheren Kaliumwerten im Most der mit Kaliumsulfat gedüngten Varianten. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die in den Bodenanalysen des Jahres 2021 festgestellten erhöhten Kaliumwerte im Unterboden der gedüngten Varianten – insbesondere in der mit 300 kg/ha/Jahr gedüngten Variante – positiv auf den Kaliumgehalt im Most ausgewirkt haben.

Tab. 7: Magnesiumgehalte (Mittelwerte (M) in mg/l, SD = Standardabweichung) im Most der Rebsorte 'Grüner Veltliner' in Abhängigkeit von der Düngevariante und vom Jahr. N= Anzahl an Wiederholungen.

	Kontrolle			150 kg/ha/Jahr			300 kg/ha/Jahr			Signifikanz
	M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N	
2011	88	5,6	3	82	4,5	3	81	4,0	3	<i>n.s.</i>
2012	71	3,6	3	70	3,1	3	70	1,7	3	<i>n.s.</i>
2013	46	13,3	3	39	8,7	3	42	13,1	3	<i>n.s.</i>
2014	62	6,2	3	60	5,5	3	62	3,0	3	<i>n.s.</i>
2015	85	3,5	3	82	6,8	3	76	2,3	3	<i>n.s.</i>
2016	68	7,8	2	66	4,0	3	64	5,8	3	<i>n.s.</i>
2017	72	3,5	2	71	6,4	3	68	4,0	3	<i>n.s.</i>
2018	86	9,2	2	77	5,6	3	73	7,5	3	<i>n.s.,</i>
2019	68	5,0	3	68	1,7	3	68	4,0	3	<i>n.s.</i>
2020	71	4,0	3	71	4,2	3	70	4,6	3	<i>n.s.</i>
2021	62	5,1	3	65	6,0	3	67	2,6	3	<i>n.s.</i>
2022	74	9,5	3	72	5,7	3	67	9,2	3	<i>n.s.</i>

Bei den in Tab. 7 dargestellten Magnesiumgehalten im Most konnten in keinem Jahr statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten ermittelt werden.

Über alle Versuchsvarianten und Versuchsjahre betrachtet lagen die Kaliumgehalte im Most, wie in Tab. 6 erkennbar ist, zwischen 337 und 1537 mg/l und die Magnesiumgehalte im Most, wie in Tab. 7 erkennbar ist, zwischen 39 und 88 mg/l. Im Vergleich dazu betragen Mpelasko et al. (2003) zufolge die Kalium- und Magnesiumgehalte im Most der Rebsorte 'De Chaunac' 2875 mg/l beziehungsweise 110 mg/l. Außerdem ist in den Tab.n 6 und 7 ablesbar, dass zwischen den einzelnen Vegetationsjahren sowohl beim Kalium- als auch beim Magnesiumgehalt sehr große

Unterschiede vorhanden waren. Das bestätigte die Erfahrungen von Fardossi (2000), dass Störungen der Kaliumaufnahme aufgrund von jahresbedingter Trockenheit oder Wasser- und Nährstoffkonkurrenz durch die Kaliumdüngung nicht ausgeglichen werden konnten und daher zu jahresbedingten Schwankungen im Kaliumgehalt führten. Mpelasko et al. (2003) zufolge beeinflusste auch die jahresbedingte unterschiedliche Sonnenscheindauer beziehungsweise die Dauer und Stärke der Beschattung die Einlagerung von Kalium in die Beeren und damit den Kaliumgehalt des Mostes. Der Grad der Beerenbeschattung war dabei auch von der Dichte der Laubwand und damit von der Wuchsstärke und der Qualität der Laubarbeit abhängig. Während Schramm und Resch (2008) in

einem Kaliumdüngungszeitversuch keine großen Veränderungen im Mineralstoffgehalt der Weine nachweisen konnten, beobachteten Morris et al. (1987) bei einer extrem exzessiven Kaliumdüngung von 2,7 kg K₂SO₄ pro Rebe signifikant erhöhte Kaliumgehalte im Most der Rebsorten 'Gewürztraminer', 'Cabernet Sauvignon', 'de Chaunac' und 'Cynthiana'. Nach Perret et al. (1995) wurde in jungfräulichen und leichten Böden der Kaliumgehalt der Trauben durch die Düngung erheblich erhöht, während die gleichen Düngungsverfahren in schweren, bereits gut mit Kalium versorgten Böden auch nach 15-jähriger Versuchsdauer keine Erhöhung der Kaliumgehalte der Trauben bewirkten. Diese Beobachtungen bestätigten die Ergebnisse der aktuellen, auf einem mittelschweren Boden durchgeführten Untersuchungen. Bei gut versorgten Böden konnte Perret et al. (1995)

zufolge jahrelang ohne negative Auswirkungen auf die Kaliumdüngung verzichtet werden. Conradie und Saayman (1989b) stellten in zehnjährigen Untersuchungen fest, dass der Kaliumgehalt im Most sich zwischen den mit 45 kg Kalium/ha/Jahr und mit 90 kg/ha/Jahr gedüngten Varianten nicht signifikant unterschied, während der Mostkaliumgehalt in der nicht gedüngten Kontrollvariante signifikant verringert war. Dies bestätigte Conradie und Saayman (1989b) zufolge die Theorie, dass die Kaliumaufnahme der Reben unabhängig vom Kaliumgehalt des Bodens ist, außer wenn Kaliummangel besteht. Die Reaktion der Reben auf die Kaliumdüngung wird demnach noch von weiteren Faktoren wie dem Tongehalt des Bodens, der Kaliumsättigung im Austauschkomplex und dem Kalium/Magnesiumverhältnis beeinflusst.

Tab. 8: Gesamtstickstoffgehalte (Mittelwerte (M) in mg/l, SD = Standardabweichung) im Most der Rebsorte 'Grüner Veltliner' in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und vom Jahr. N= Anzahl an Wiederholungen.

	Kontrolle			150 kg/ha/Jahr			300 kg/ha/Jahr			Signifikanz
	M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N	
2011	176	80,0	3	133	37,2	3	159	27,3	3	<i>n.s.</i>
2012	161	62,0	3	158	44,5	3	159	62,3	3	<i>n.s.</i>
2013	263	93,6	3	277	48,4	3	266	78,0	3	<i>n.s.</i>
2014	230	38,8	3	271	30,2	3	289	48,8	3	<i>n.s.</i>
2015	240	20,5	3	225	37,0	3	247	35,0	3	<i>n.s.</i>
2016	221	12,0	2	226	37,6	3	235	37,5	3	<i>n.s.</i>
2017	266	26,2	2	242	16,0	3	263	46,1	3	<i>n.s.</i>
2018	238	43,1	2	256	19,0	3	275	27,1	3	<i>n.s.,</i>
2019	203	40,7	3	232	28,0	3	241	55,7	3	<i>n.s.</i>
2020	240	18,0	3	251	12,1	3	269	22,9	3	<i>n.s.</i>
2021	292	26,3	3	268	12,1	3	285	48,6	3	<i>n.s.</i>
2022	201	11,6	3	186	26,4	3	224	16,0	3	<i>n.s.</i>

In Tab. 8 ist zu erkennen, dass sich bei den Gesamtstickstoffgehaltsmittelwerten im Most innerhalb der einzelnen Jahre keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Düngewarianten zeigten. Die Werte lagen zwischen 133 und 300 mg/l.

Auch bei den Gehaltsmittelwerten an hefeverwertbarem Stickstoff und Ammonium im Most konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Düngewarianten innerhalb der einzelnen Jahre beobachtet werden. Die Gehalte lagen in Abhängigkeit vom Vegetationsjahr in folgenden Bereichen: Gehalt an hefeverwertbarem Stickstoff: 90 bis 166 mg/l und

Ammoniumgehalt: 58 bis 127 mg/l. Im Gegensatz dazu waren laut Conradie und Saayman (1989b) in zehnjährigen Untersuchungen auf einem kiesigen, sandigen Lehmboden die Stickstoffgehalte im Most in den mit 45 kg Kalium/ha/Jahr und mit 90 kg/ha/Jahr gedüngten Varianten signifikant verringert, wodurch der Antagonismus zwischen Stickstoff und Kalium bestätigt wurde.

Einfluss der langfristigen Kaliumdüngung auf die Ertrags- und Reifeparameter

Ertrag, Traubengewicht und 100-Beerengewicht

Bei den Ertragsparametern zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten innerhalb der einzelnen Jahre. Die Schwankungen zwischen den Vegetationsjahren waren hingegen sehr stark. Die jährlichen Durchschnittserträge lagen in Abhängigkeit vom Vegetationsjahr zwischen 1,44 und 7,80 kg pro Stock, die jährlichen durchschnittlichen Traubengewichte zwischen 157 und 361 g und die jährlichen durchschnittlichen 100-Beerengewichte zwischen 110 und 281 g. Auch Marcuzzo et al. (2021) konnten in einem vierjährigen Freilandversuch keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Ertrag der Rebsorte 'Glera' durch die jährliche Düngung mit 15, 30 und 60 kg K₂O pro Hektar feststellen. Hingegen ermittelten Conradie und Saayman (1989a) in einem elfjährigen Versuch bei der Rebsorte 'Chenin blanc' einen signifikant positiven Einfluss der Kaliumdüngung auf den Ertrag. Die Ursache für diese Ertragserhöhung war dabei Conradie und Saayman (1989a) zufolge eine Vergrößerung der Beeren und nicht eine erhöhte Anzahl an Trauben. Einen Einfluss der Kaliumdüngung auf den Ertrag stellten auch Schreiner und Osborne (2020) fest. Dabei verringerte sich im Rahmen eines mehrjährigen

Kaliumdüngungsversuchs bei 'Pinot noir' der Ertrag in der nicht gedüngten Kontrolle ab dem vierten Versuchsjahr.

Mostgewicht und Gehalt an titrierbarer Säure und pH-Wert im Most

Bei den Reifeparametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten innerhalb der einzelnen Jahre festgestellt werden. Die Schwankungen zwischen den Vegetationsjahren waren hingegen sehr groß. Die Jahresdurchschnittswerte lagen in Abhängigkeit vom Vegetationsjahr in folgenden Bereichen: Mostgewicht: 16,6 bis 19,9 °KMW, Gehalt an titrierbarer Säure im Most: 4,5 bis 7,4 g/l und pH-Wert im Most: 3,2 bis 3,6. Auch Conradie und Saayman (1989b) stellten in zehnjährigen Untersuchungen auf einem kiesigen, sandigen Lehmboden mit Kaliumdüngemengen von 45 kg/ha/Jahr und 90 kg/ha/Jahr keine signifikanten Einflüsse auf das Mostgewicht fest, während die Gehalte an titrierbarer Säure und der pH-Wert im Most erhöht waren. Conradie und Saayman (1989b) nannten als Gründe dafür den erhöhten Äpfelsäuregehalt beziehungsweise die höheren Kaliumkonzentrationen im Most. Marcuzzo et al. (2021) stellten in einem vierjährigen Freilandversuch mit der Rebsorte 'Glera' bei Düngemengen von 15 und 30 kg/ha K₂O keine Einflüsse auf Mostgewicht und Säuregehalt und pH-Wert im Most fest, während bei einer Düngemenge von 60 kg K₂O/ha die Gehalte an titrierbarer Säure, Äpfelsäure und Weinsäure erhöht waren, ohne dass der pH-Wert beeinflusst wurde. Schreiner und Osborne (2020) zu Folge sank der pH-Wert im Most von 'Pinot noir' in der ungedüngten Kontrolle im Rahmen eines mehrjährigen Kaliumdüngungsversuchs ab dem zweiten Versuchsjahr.

Einfluss der langfristigen Kaliumdüngung auf das Schnittholzgewicht

Tab. 9: Schnittholzgewichtsmittelwerte (Mittelwerte (M) in kg/m², SD = Standardabweichung) von 'Grüner Veltliner' in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und vom Jahr. N= Anzahl an Wiederholungen.

	Kontrolle			150 kg/ha/Jahr			300 kg/ha/Jahr			Signifikanz
	M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N	
2011	0,196	0,0816	3	0,159	0,0577	3	0,178	0,0888	3	<i>n.s.</i>
2012	0,121	0,0386	3	0,107	0,0408	3	0,126	0,0379	3	<i>n.s.</i>
2013	0,207	0,0434	3	0,207	0,0717	3	0,249	0,0161	3	<i>n.s.</i>
2014	0,177	0,0491	2	0,148	0,0424	2	0,194	0,0429	3	<i>n.s.</i>
2015	0,238	0,0361	3	0,222	0,0522	3	0,241	0,0279	3	<i>n.s.</i>
2016	0,196	0,0071	2	0,156	0,1187	3	0,218	0,0158	3	<i>n.s.</i>
2017	0,166	0,0076	2	0,161	0,0044	3	0,174	0,0182	3	<i>n.s.</i>
2018	0,174	0,0250	3	0,189	0,0212	3	0,186	0,0203	3	<i>n.s.</i> ,
2019	0,214	0,0100	3	0,218	0,0220	3	0,206	0,0110	3	<i>n.s.</i>
2020	0,157	0,0077	2	0,152	0,0086	3	0,152	0,0112	3	<i>n.s.</i>
2021	0,138	0,0118	3	0,126	0,0309	3	0,139	0,0057	3	<i>n.s.</i>
2022	0,120	0,0173	3	0,099	0,0203	3	0,091	0,0056	3	<i>n.s.</i>

Bei den in Tab. 9 dargestellten Schnittholzgewichtsmittelwerten konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten innerhalb der einzelnen Versuchsjahre ermittelt werden, während sich zwischen den einzelnen Vegetationsjahren große Unterschiede zeigten. Die Werte lagen zwischen 0,091 und 0,249 kg/m². Hingegen ermittelten Conradie und Saayman (1989a) in einem elfjährigen Versuch bei der Rebsorte 'Chenin

blanc' auf einem kiesigen, sandigen Lehmboden eine signifikante Erhöhung des Schnittholzgewichts durch die Kaliumdüngung mit jährlich 45 kg beziehungsweise 90 kg pro Hektar. Auch Schreiner und Osborne (2020) stellten Effekte auf das Schnittholzgewicht im Rahmen eines mehrjährigen Kaliumdüngerversuchs bei 'Pinot noir' fest. Dabei verringerte sich das Schnittholzgewicht in der nicht gedüngten Kontrolle ab dem vierten Versuchsjahr.

Einfluss der langfristigen Kaliumdüngung auf die sensorische Weinbewertung

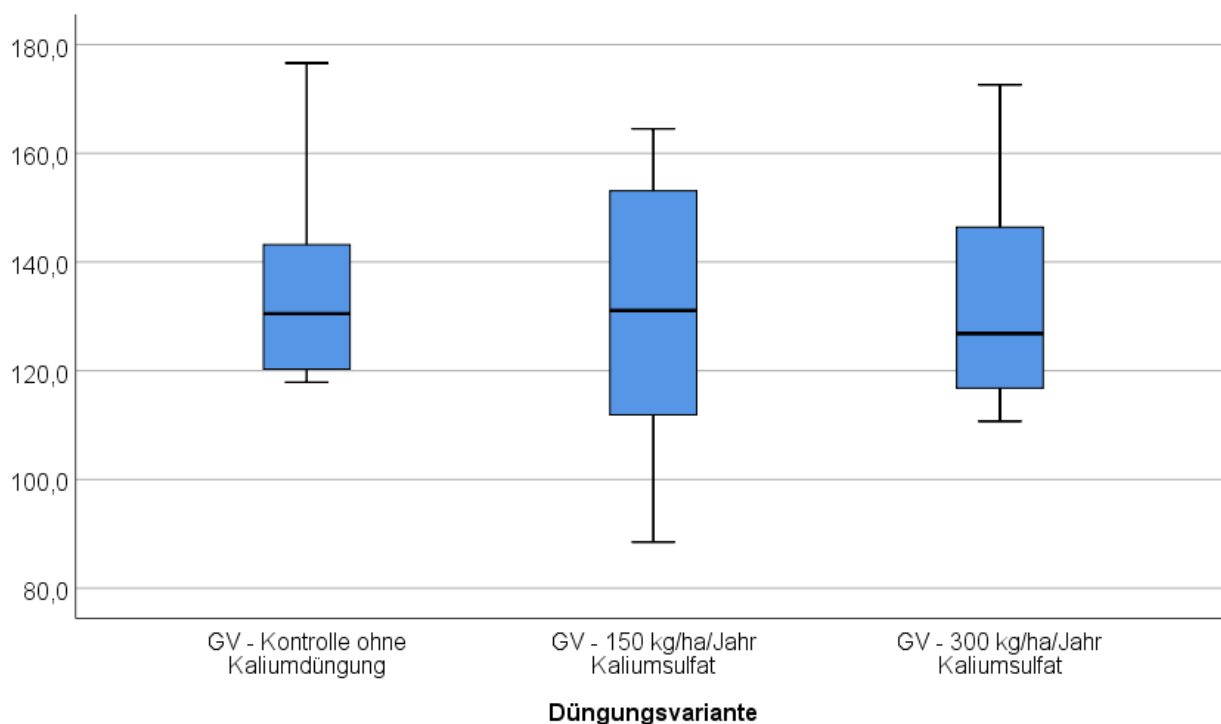


Abb. 2: Einfluss der Kaliumdüngung auf die Weinsensorik der Rebsorte 'Grüner Veltliner' im Durchschnitt der Jahrgänge 2016 bis 2021 mittels Gesamtbewertung auf der unstrukturierten Skala (0 bis 180 Punkte).

In Abb. 2 ist zu erkennen, dass die Weine aus den drei unterschiedlichen Kaliumdüngungsvarianten nicht signifikant unterschiedlich bewertet wurden. Auch Conradie und Saayman (1989b) konnten in zehnjährigen Untersuchungen mit Düngermengen von 45 kg Kalium/ha/Jahr beziehungsweise 90 kg Kalium/ha/Jahr keine signifikanten Einflüsse auf die sensorische Weinqualität ermitteln, wobei sich allerdings in zwei Jahren mit großen Botrytisproblemen Tendenzen zu einer besseren Weinqualität bei den mit Kalium gedüngten Varianten zeigten. Kodur (2011) zufolge führten sehr hohe Kaliumgehalte in Kombination mit sehr hohen pH-Werten der Moste zu verminderter Farbstabilität der Weine und schlechterem Weingeschmack.

Schlussfolgerungen

In einem Langzeitversuch auf einem Standort mit mittelschwerem Boden und Rotationsbegrünung, in dem jährlich im Herbst 150 kg beziehungsweise

300 kg Kaliumsulfat pro Hektar mittels Mulchbodenlockerer in 20 – 25 cm Tiefe eingebracht worden sind, hat sich gezeigt, dass das Kalium nur sehr langsam in den Unterboden (25 – 50 cm) verlagert worden ist. Im Oberboden sind die Düngeneffekte deutlich rascher analysierbar gewesen. Der Kaliumgehalt ist erhöht, das Kalium/Magnesium-Verhältnis zugunsten des Kaliums verändert und der Kaliumanteil an der Kationenaustauschkapazität gesteigert worden. Bei einer Düngung mit Kalium sollte daher einerseits beachtet werden, dass auch Gründüngungspflanzen Kalium aus der Bodenlösung aufnehmen und damit den Verlagerungsprozess im Boden beeinflussen, und dass andererseits das ausgebrachte Kalium in Abhängigkeit von der Bodenschwere nur mäßig bis gering beweglich ist. Eine Düngung auf leichten Böden zeigt daher rascher Effekte auf den Kaliumgehalt im Most oder in den Blättern, als eine Düngung auf schweren Böden. Zu beachten ist außerdem, dass eine ausreichende Versorgung des Bodens mit Kalium (Gehaltsstufen C und D)

nicht zwangsläufig eine ausreichende Ernährung der Reben bedeutet, da die Bodenstruktur, die Art der Bodenpflege, der pH-Wert des Bodens, die Witterungsbedingungen, die Länge und Oberfläche der Rebwurzeln und weitere Faktoren die Aufnahme von Kalium verändern und auch negativ beeinflussen können. Eine Kaliumdüngung ist daher immer standort- und bodenangepasst durchzuführen. Aus praktischer Sicht

problematisch ist, dass auf Böden mit hohem Gesteinsanteil die Einbringung von Kalium in den Unterboden technisch kaum umsetzbar ist. Die generell beste Möglichkeit, das Kalium in den Unterboden und damit in den Hauptwurzelhorizont der Reben einzubringen bietet sich mittels des tiefen Rigolens vor einer Weingartenneuanlage.

Literatur

- Baby, T., Holzapfel, B. P., Schmidtke, L. M., Walker, R. R., Rogiers, S. Y.** 2022: Differential accumulation of potassium in the vegetative and reproductive organs of three grapevine cultivars. *Acta Hortic*, 1333, ISHS 2022: 115-123. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2022.1333.16>.
- Bachteler, K.** 2011: Traubenwelke und Stielähme. *Das Deutsche Weinmagazin* (6): 15-17.
- Conradie, W. J., Saayman, D.** 1989a: Effects of Long-Term Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilization on Chenin blanc Vines. I. Nutrient Demand and Vine Performance. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 40, No. 2: 85-90.
- Conradie, W. J., Saayman, D.** 1989b: Effects of Long-Term Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilization on Chenin blanc Vines. II. Leaf Analyses and Grape Composition. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 40, No. 2: 91-98.
- Fardossi, A.** 2000: Starkes Auftreten von Kaliummangel in verschiedenen Weinbauregionen Österreichs. *Der Winzer* 56 (10): 6-12.
- Fardossi, A.** 2001: Aspekte der Rebenernährung. *Der Winzer* 57 (6): 6-14.
- Götz, G.** 2006: Kali-Nährstoffmangel. Wenn die Blätter Flecken kriegen... *Das Deutsche Weinmagazin* (17/18): 22-24.
- Griesser, M.** 2009: Österreichisches und internationales Update: Stand der Forschung zur Traubenwelke. *Der Winzer* 65 (3): 14-16.
- Kodur, S., Tisdall, J. M., Tang, C., Walker, R. R.** 2010a: Accumulation of potassium in grapevine rootstocks (*Vitis*) grafted on 'Shiraz' as affected by growth, root-traits and transpiration. *Vitis* 49 (1): 7-13.
- Kodur, S., Tisdall, J., Walker, R.** 2010b: Rootstock and rootstock-scion interaction regulate potassium in grapevines. *The Australian & New Zealand Grapegrower and Winemaker – Issue 558*: 28-30.
- Kodur, S.** 2011: Effects of juice pH and potassium on juice and wine quality and regulation of potassium in grapevines through rootstocks (*Vitis*): a short review. *Vitis* 50 (1): 1-6.
- Marcuzzo, P., Gaiotti, F., Lucchetta, M., Lovat, L., Tomasi, D.** 2021: Tuning potassium fertilization to improve pH and acidity in Glera grapevine (*Vitis vinifera* L.) under a warming climate. *Appl. Sci.* 2021, 11: 11869. <https://doi.org/10.3390/app112411869>.
- Mehofer, M., Regner, F.** 2010: Hintergründe zum häufigen Auftreten: Die Traubenwelke der Rebe. *Der Winzer* 66 (2): 20-24.
- Mehofer, M., Baumgarten, A., Bauer, K., Fardossi, A., Kneissl, G., Kühner, E., Palz, M., Regner, F., Winkovitsch, C., Wunderer, W.** 2014: Sachgerechte Düngung im Weinbau, 2. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Eigenverlag.
- Morris, J. R., Sims, C. A., Striegler, R. K., Cackler, S. D., Donley, R. A.** 1987: Effects of Cultivar, Maturity, Cluster Thinning, and Excessive Potassium Fertilization on Yield and Quality of

Arkansas Wine Grapes. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 38, No. 4.

Mpelasoka, B. S., Schachtman, D. P., Treeby, M. T., Thomas, M. R. 2003: A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 9: 154-168.

Nistor, E., Dobrei, A. G., Mattii, G. B., Dobrei, A. 2022: Calcium and potassium accumulation during the growing season in Cabernet Sauvignon and Merlot grape varieties. *Plants* 2022, 11: 1536. <https://doi.org/10.3390/plants11121536>.

Perret, P., Weissenbach, P., Roth, I. 1995: Bodennährstoffe und Düngung beeinflussen den Kaligehalt des Traubenmostes. *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau* (4): 87-90.

Prettenthaler, F., Formayer, H. 2013: Studien zum Klimawandel in Österreich, Band IX: Weinbau und Klimawandel. Erste Analysen aus Österreich und führenden internationalen Weinbaugebieten: 123.

Redl, H., Knoll, M., Achleitner, D., Peck, W. 2009: Ergebnisse mehrjähriger Forschungsarbeit: Traubenwelke ist bekämpfbar. *Der Winzer* 65 (04): 28-30.

Riedel, M., Bachteler, K. 2009: Rebendüngung. Kalium- und Magnesiumversorgung. *Das Deutsche Weinmagazin* (6): 24-26.

Riedel, M., Rupp, D. 2022: Pflanzenernährung. Kaliummangel rechtzeitig erkennen. *Rebe&Wein* (2): 35-37.

Sanhüter, S. 1988: Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Kationenverteilung in Rebblättern bei zwei verschiedenen Kaliumdüngungsstufen. *Mitteilungen Klosterneuburg* 38: 173-180.

Schramm, A., Resch, H.-A. 2008: Die globale Erwärmung der Atmosphäre: auch eine Herausforderung für den Weinbau? *Boden, Rebe, Umwelt. Das Deutsche Weinmagazin* (6): 22-26.

Schreiner, R. P., Osborne, J. 2020: Potassium requirements for Pinot noir grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* (71): 33-43. <https://doi.org/10.5344/ajev.2019.19043>.

Villette, J., Cuéllar, T., Verdeil, J.-L., Delrot, S., Gaillaerd, I. 2020: Grapevine Potassium Nutrition and Fruit Quality in the Context of Climate Change. Mini review article. *Front. Plant. Sci., Sec. Plant Nutrition*, Volume 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00123>.

Wunderer, W., Fardossi, A., Baumgarten, A., Bauer, K. 2003: Richtlinien für die Sachgerechte Düngung im Weinbau, 1. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Eigenverlag.

Eingelangt am 25. Februar 2023